

Toni Pekkanen

VOLTE

Tietotekniikan koulutusohjelma

2015

VOLTE

Pekkanen, Toni
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2015
Ohjaaja: Aromaa Juha, DI
Sivumäärä: 48
Liitteitä: -

Asiasanat: VoLTE, IP puhelintekniikka, mobiiliverkot, LTE, IMS

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin teoriassa erilaisiin Voice over LTE -puhelutapauksiin, sekä osakokonaisuuksiin, mitkä mahdollistavat nämä puhelut, kuten neljännen sukupolven matkapuhelinverkot ja IP Multimedia Subsystem.

Työn alussa käsiteltiin matkapuhelinverkkojen kehitystä ja kehityksen takana olevaa tarvetta ensimmäisistä sukupolvista aina neljanteen saakka. Neljännen sukupolven matkapuhelinverkkojen toimintaan tutustuttiin syvällisemmin. Työssä perehdyttiin myös IP Multimedia Subsystemin arkkitehtuuriin ja toimintaan siltä osin läpi, mitä oli tarpeellista työn muut osat huomioon ottaen.

VOLTE

Pekkanen, Toni
Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology
May 2015
Supervisor: Aromaa Juha, M.Sc
Number of pages: 48
Appendices: -

Keywords: VoLTE, IP telephony, mobile networks, LTE, IMS

Different types of Voice over LTE phone call scenarios and entities that make them possible, such as fourth generation mobile networks and IP Multimedia Subsystem were studied in this thesis.

The evolution and needs for evolution of mobile networks from first to fourth generation were covered in the first part of the thesis. Architecture and functions of fourth generation mobile networks were also presented in a more profound way in the thesis. The architecture and functions of IP Multimedia Subsystem were presented in a way it was necessary by taking the other parts of the thesis into consideration.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	MATKAPUHELINVERKKOJEN KEHITYS.....	9
2.1	Matkapuhelinverkkojen kehitys.....	9
2.1.1	0G- ja 1G-matkapuhelinverkot.....	9
2.1.2	2G-matkapuhelinverkot.....	10
2.1.3	3G-matkapuhelinverkot.....	10
2.2	Matkapuhelinverkkojen neljäs sukupolvi	13
2.3	4G-verkkoarkkitehtuuri.....	15
2.3.1	Päätelaite	15
2.3.2	4G-radioverkon arkkitehtuuri.....	16
2.3.3	EPC-runkoverkko	18
2.3.4	OFDMA ja SC-FDMA	19
3	IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM	21
3.1	VoIP	21
3.2	Session Initiation Protocol	21
3.2.1	SIP-verkkoelementit	23
3.2.2	SIP pyynnöt ja vasteet	24
3.3	IP Multimedia Subsystem - IMS.....	26
3.4	IMS Arkkitehtuuri.....	27
3.4.1	Call Session Control Function.....	28
3.4.2	S-CSCF	28
3.4.3	P-CSCF	29
3.4.4	I-CSCF	29
3.4.5	E-CSCF	29
3.4.6	HSS & SLF	30
3.4.7	AS	31
4	VOLTE.....	32
4.1	EPS Attach.....	32
4.2	IMS-Rekisteröityminen.....	35
4.3	EPS-oletusyhteyden ja -dedikoidun yhteyden muodostaminen.....	37
4.4	Circuit Switched Fallback.....	38
4.4.1	Mobile Originating Call CSFB:llä.....	40
4.4.2	Mobile Terminating Call CSFB:llä	41
4.5	IMS VoLTE-puhelu	43
5	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET.....	47

LYHENTEET JA TERMIT

0G	Matkapuhelinverkkojen nollannes sukupolvi
1G	Matkapuhelinverkkojen ensimmäinen sukupolvi
2G	Matkapuhelinverkkojen toinen sukupolvi
3G	Matkapuhelinverkkojen kolmas sukupolvi
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Matkapuhelinverkkojen neljäs sukupolvi
APN	Access Point Name
ARP	Autoradiopuhelin
AS	Application Server
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
BTS	Base Transceiver Station
CN	Core Network
CSFB	Circuit Switched Fallback
DNS	Domain Name Server
E-CSCF	Emergency Call Session Control Function
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European jotain jotain jotain
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GSM	Global System for Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
HSPA	High-Speed Packet Access
HLR	Home Location Register
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HSS	Home Subscriber Server

I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
IMS	IP Multimedia Subsystem
ITU	International Telecommunication Union
LIA	Location Information Answer
LIR	Location Information Request
LTE	Long Term Evolution
LRF	Location Retrieval Function
MME	Mobility Management Entity
MT	Mobile Terminal
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFMDA	Orthogonal Frequency-division Multiple Access
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
PDF	Policy Decision Function
PDN	Packet Data Network
P-GW	PDN Gateway
PoC	Push-to-talk over Cellular
RNC	Radio Network Controller
RTP	Real-time Transport Protocol
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single-carrier Frequency-division Multiple Access
S-CSCF	Serving Call Session Control Function
S-GW	Serving Gateway
SGsAP	SGs application protocol
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIP	Session Initiation Protocol
SLF	Service Location Function
SMSC	Short Message Service Center
TDD	Time Division Duplex
TE	Terminal Equipment
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UE	User Equipment
UICC	Universal Integrated Circuit Card
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLTE	Voice over LTE
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
xDSL	Digital Subscriber Line

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee erilaisia Voice over LTE puhelutapauksia ja erilaisia osakokonaisuuksia, mitkä tukevat näitä puhelutapauksia. Työssä käydään läpi erilaisten puhelutapauksien lisäksi matkapuhelinverkkojen kehitystä sukupolvesta toiseen ja tutustutaan myös jokseenkin monimutkaiseen IP Multimedia Subsystemiin, mikä mahdollistaa nämä VoIP-puhelut LTE-verkossa.

Puhelut on perinteisesti toteutettu piirikytkentäisesti 2G- ja 3G-matkapuhelinverkoissa, mutta neljännen sukupolven matkapuhelinverkon arkkitehtuurissa piirikytkentäinen osa sai siirtyä kokonaan pois, kun on haluttu tehdä verkkoarkkitehtuurista yksinkertaisempi edeltäjiinsä nähden. Tänä päivänä ratkaisuna piirikytkentäisen verkon puutteeseen neljännen sukupolven matkapuhelinverkoissa on Circuit Switched Fallback, missä käyttäjän puhelin siirtyy aiempien sukupolvien 2G- tai 3G-matkapuhelinverkkoon puhelutilanteissa. Jotta puhelut saadaan kulkemaan kokonaan pakettikytkentäisessä verkossa, tarvitaan rinnalle myös toinen verkko – IP Multimedia Subsystem verkko, että puhelut saadaan 4G-verkoissa toteutettua pakettikytkennän periaatteiden mukaisesti.

2 MATKAPUHELINVERKKOJEN KEHITYS

2.1 Matkapuhelinverkkojen kehitys

Matkapuhelimet ja matkapuhelinverkot jaetaan usein eri sukupolviin käytössä olevan tekniikan ja ominaisuuksien mukaan. Ajan saatossa on ollut erilaisia sukupolvia ja nyt on edetty jo neljänteen sukupolveen asti. Seuraavassa käydään lyhyehkösti läpi jokaista sukupolvea ja syitä uuden sukupolven evoluutioon. Kaikista sukupolvista ei tulla käymään kaikkia tekniikoita läpi, lähinnä sellaiset mitkä koskettavat suomalaisia ja eurooppalaisia.

2.1.1 0G- ja 1G-matkapuhelinverkot

Suomen ensimmäinen kaupallisesti toiminut matkapuhelinverkko oli autoradiopuhelinverkko, eli ARP. Siihen kuitenkin viitataan nollantena sukupolvena, koska tukiasemasolujen välillä liikkuminen ei toiminut vielä automaattisesti. Posti- ja lennätinlaitos ehdotti verkon perustamista vuonna 1968 ja rakentaminen aloitettiin heti seuraavana vuonna. Autoradiopuhelinverkko aukesi kuluttajille vuonna 1971 ja oli toiminnassa aina vuoteen 2000 asti. Vaikka laitteet olivatkin melko kalliita, (radiopuhelin maksoi noin 4 kuukauden palkan keskituloiselle) saavutti ARP kuitenkin suhteellisen suuren suosion. Parhailaan sillä oli käyttäjiä yli 35 000 vuonna 1986. /10/.

Matkapuhelinverkko, mihin viitattiin matkapuhelinverkkojen ensimmäisenä sukupolvena, oli NMT (Nordic Mobile Telephone). 1970-luvulla Pohjoismaiden valtiolliset telelaitokset alkoivat kehittää yhteistyönä matkapuhelinverkkoa, minkä ominaisuuksia olisi täysi automaattisuus tukiasemasolujen välillä liikuttaessa, sekä toiminta kaikissa Pohjoismaissa. NMT-verkko otettiin käyttöön muualla Pohjoismaissa vuonna 1981 ja Suomessa vuotta myöhemmin. Aivan ensimmäisenä verkko tuli kaupalliseen käyttöön Saudi-Arabiassa, kuukauden aiemmin kuin Pohjoismaiden ensimmäinen kaupallinen NMT-verkko. /11/.

NMT toimi alkuun 450 MHz:n taajuudella. Ajan kuluessa ja tilaajien määrän lisääntyessä verkon kapasiteetti alkoi loppua, silloin otettiin käyttöön 900 MHz:n taajuudella toimiva verkko. NMT:n heikkoja puolia oli se, että puhelut eivät olleet salattuja millään tavalla. Näin puheluita pystyi salakuuntelemaan FM-radiokannerilla asettamalla se vain oikealle taajuudelle. NMT ja ARP molemmat olivat solukoverkkoja. ARP:ssa solukoko oli aina noin 30km halkaisijaltaan. NMT:ssä oli sellainen ominaisuus, mitä ei ollut ARP:ssa, että solukokoa voitiin muuttaa. Käytännössä solukoko oli 2-30km. Solukokoa pienentämällä mahdollistettiin suurempi kapasiteetti esimerkiksi kaupunkialueille. /11/.

2.1.2 2G-matkapuhelinverkot

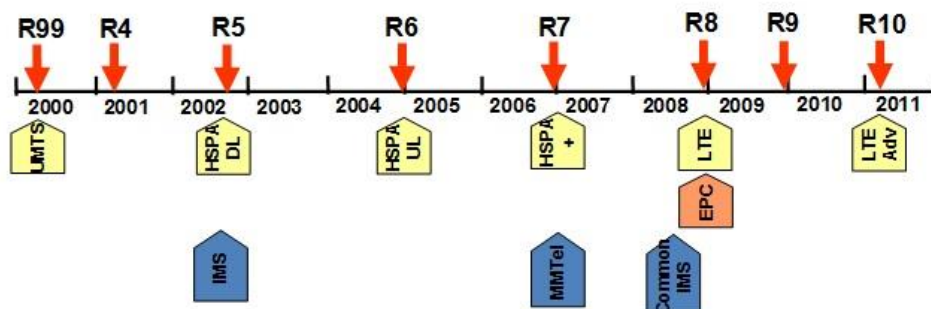
Vuonna 1982 GSM-työryhmä aloitti yleiseurooppalaisen matkapuhelinjärjestelmän kehitystyön. Vuonna 1989 GSM-työryhmä ja vastuu standardoinnista siirtyi Euroopan posti- ja telehallintojen yhteistyöelimen alta ETSI:lle (European Telecommunication Standard Institute). Vuonna 1991 Harri Holkeri soitti ensimmäisen GSM-puhelun ja vuotta myöhemmin GSM-verkko aukesi Suomessa kaupalliseen käyttöön.

Alkuun GSM-verkko toimi Suomessa 900 MHz:n taajuudella, mutta suuri käyttäjämäärä oli vähällä ruuhkauttaa verkon, niin rinnalle perustettiin myös 1800 MHz:n verkko. Tiedonsiirron tarpeen kasvaessa GSM-verkkoihin kehitetään pakettikytkentäinen ratkaisu datansiirtoa varten, GPRS (General Packet Radio Service). GPRS tuli kuluttajille saataville vuonna 2000. Teoriassa GPRS:llä pystyttiin saavuttamaan 114 kb/s tiedonsiirtonopeus, mikä on nykystandardeilla erittäin heikko. Jo tuohon aikaan datan siirto ja siirtonopeudet olivat koko ajan kasvamaan päin ja siitä seurasi myös GPRS:n seuraava kehitysaskel EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). EDGE tuli kaupallisesti saataville 2003 ja se mahdollisti teoreettisesti noin neljä kertaa nopeamman tiedonsiirron kuin GPRS. /12, 13, 14/.

2.1.3 3G-matkapuhelinverkot

Matkapuhelinverkkojen kolmannen sukupolven kehitystyö alkoi 1990-luvun alkupuolella ITU:n toimesta (International Telecommunications Union). Vuonna 1998

ETSI päätti, että WCDMA tulee olemaan radiorajapinta 3G-verkoissa. Tämän jälkeen 3GPP, usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio aloittaa oman 3G-verkkojen määrittelyprojektinsä. Ensimmäistä kertaa 3G-verkko on täysin määritelty 3GPP:n release 99:ssä. Myöhemmissä releaseissa on tuotu laajennuksia ja tarkennuksia määrittelyihin. Alla olevassa kuvassa näkyy, mitä isoja uusia asiakokonaisuuksia on tullut missäkin releasessa. /16, 17/.



Kuva 1. 3GPP Release aikajana /15/.

Loppukäyttäjän kannalta hyödyllisimpiä lisäyksiä näissä releaseissa on varmasti release 5:ssä ja 6:ssa tulleet HSPA ja release 7:ssä tullut HSPA+, sekä viimeisenä release 8:ssa tullut LTE ja Release 10:ssä tullut LTE-Advanced. Release 99 aikoihin maksimi lataus- ja lähetysnopeus olivat molemmat 384 kb/s. Toki siihen aikaan datan käyttö ei ollut vielä niin suuri asia mitä se on tänä päivänä, mutta release 5 ja 6 myötä HSPA nosti lataus ja lähetysnopeudet moninkertaisiksi käyttämällä parempaa modulaatiota. Näillä saatiin teoreettiset lataus- ja lähetysnopeudet 14,4 Mbit/s ja 5,7 Mbit/s. Release 7:n myötä esiteltiin HSPA+, mikä nosti latausnopeuksia entisestään, nostaen teoreettisen maksiminopeuden 42,2 Mbit/s.

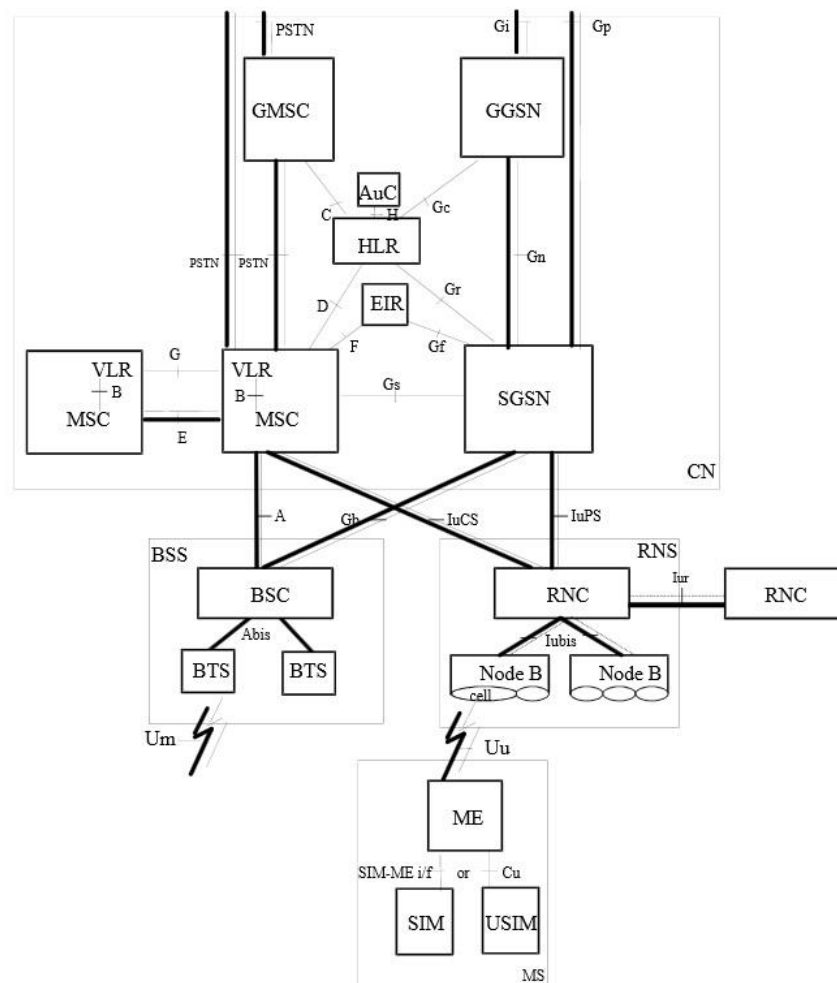
Runkoverkossa ja radioverkossa on myös tapahtunut muutoksia release 99:n jälkeen. Release 5:ssä siirtoverkko muutettiin kokonaan IP-pohjaiseksi. Release 5:een asti UTRAN:in kaikki rajapinnat, poislukien radiorajapinta tukiaseman ja matkapuhelimen välillä on toteutettu ainoastaan ATM:llä (Asynchronous Transfer Mode). /15, 16, 17/.

Radiotaajuuksiksi WCDMA:lle on määritelty 1900 MHz ja 2100 MHz. Suomessa näiden lisäksi operaattorit ovat ottaneet käyttöön 900 MHz taajuuden, millä saadaan katettua harvaan asutetut seudut hyvin. WCDMA:ssa on käytössä kaksi perustek-

niikkaa, FDD (Frequency Division Duplex) ja TDD (Time Division Duplex). FDD-tekniikassa tukiasemille ja päätelaitteille on annettu omat 5 MHz:n taajuusalueet myötä- ja paluusuunnalle. 1920-1980 Mhz taajuudet ovat varattu paluusuunnalle ja taajuudet 2110-2170 MHz on varattu myötäsuunnalle. TDD-tekniikassa tiedonsiirto tapahtuu vuorosuuntaisesti ja käytössä on samat taajuusalueet molempiin suuntiin. TDD:lle on varattu taajuusalueet 1900-1920 MHz ja 2020-2025 MHz. /16, 18/.

Molemmilla on omat hyötynsä. FDD soveltyy hyvin äänipuheluihin, koska myötä- ja paluusuunnan kaistanleveydet ovat yhtä suuret, aivan kuten datavirratkin molempiin suuntiin. TDD:ssä taas järjestelmä voi päättää, kuinka paljon aikaa varataan kummallekin suunnalle. Se tekee sen soveliaammaksi esimerkiksi webselaukseen, missä yleensä paluusuunnan datavirta on suurempaa. /5/.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) on kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä, joka on laajalti levinnyt Euroopassa ja pohjautuu GSM:ään. GSM ja UMTS muistuttavat radioverkkoarkkitehtuuriltaan toisiaan hyvin paljon. GSM-verkon GERAN (GSM EDGE Radio Access Network) koostuu tukiasemasta BTS (Base Transceiver Station), sekä tukiasemaohjaimesta BSC (Base Station Controller). UMTS-verkon UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) koostuu samalla tavalla tukiasemista, jotka ovat nimeltään Node B, sekä radioverkon ohjaimista RNC (Radio Network Controller). Runkoverkko (CN, Core Network) on pysynyt muuttumattomana, toki UTRAN:sta on omat rajapinnat IuCS piirikytkentäiseen verkkoon ja IuPS pakettikytkentäiseen verkkoon. /15, 16, 17/.



Kuva 2. 3G-verkkoarkkitehtuuri. 3GPP TS 23.002 Rel 99.

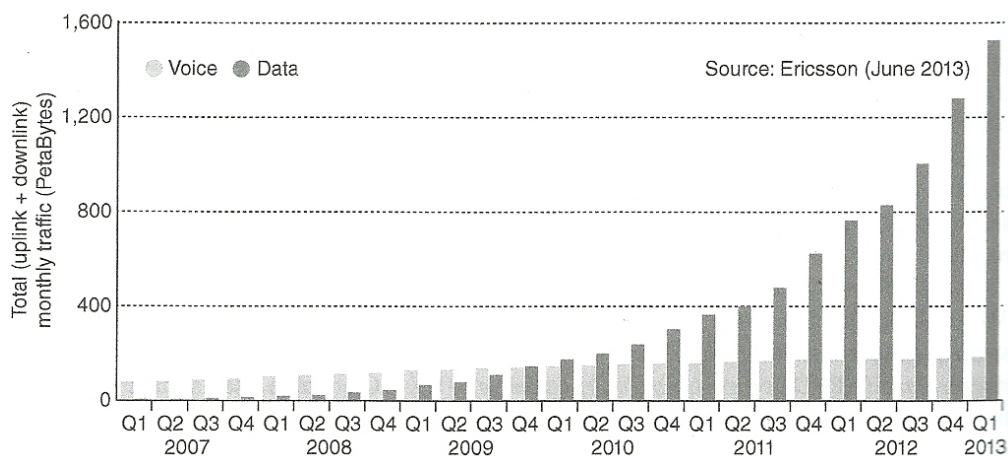
Kuvassa 3G-tukiaseman ja radioverkonohjaimen välinen rajapinta Iubis saa uuden nimen Iub heti seuraavassa releasessa ja näin ollen kulkee kuvan nimellä vain ensimmäisessä 3G teknisessä määritelmässä.

/15/.

2.2 Matkapuhelinverkkojen neljäs sukupolvi

Monia vuosia äänipuheluiden osuus matkapuhelinverkkojen liikenteestä oli kirkkaasti enemmistö. Mobiilidata kuitenkin kasvoi tasaisesti vuosi vuodelta ja osaltaan varmasti paremmat 3G-verkot ja samoihin aikoihin tulleet iPhone ja Android-

älypuhelimet vuosina 2007-2008 vauhdittivat mobiilidatan osuuden kasvua, lopulta menen reippaasti ohi äänipuheluiden osuudessa. /5/.



Kuva 3. Ääni- ja dataliikenteen määrät matkapuhelinverkoissa maailmanlaajuisesti. /5/.

Mobiilidatan käytön nopea kasvu toi esiin 3G-verkon rajoittuneisuuden. Se ei enää pystynyt vastaamaan kunnolla tiedonsiirron tarpeisiin ja ne alkoivat olla jo aika tukkoisia vuoden 2010 tienoilla. 2G- ja 3G-verkoissa operaattoreiden täytyy ylläpitää kahta verkkoa, piirikytkentäistä verkkoa puheluita varten ja pakettikytkentäistä mobiilidataa varten. Jos verkko ei olisi kovin tukkoinen, voitaisiin pakettikytkentäisessä verkossa siirtää myös äänipuheluita käyttäen VoIP-tekniikkaa. 3G-verkot eivät kuitenkaan ole kovin ihanteellisia tällaisille VoIP-puheluille, koska 3G-verkoissa latenssit ovat hieman turhan suuret ollen luokkaa 100ms. Vuosien saatossa UMTS- ja GSM-verkoista on tullut myös kokoajan monimutkaisempia, kun on tullut tarvetta lisätä uusia ominaisuuksia verkkoon ja pitää huolta, että kaikki on taaksepäin yhteensopivaa. Nämä kaikki edellämainitut syyt ovat vauhdittaneet ja antaneet suuntaa kokonaan uudenlaisen neljännen sukupolven matkapuhelinverkon kehitystyöhön. /5/.

Vuonna 2004 3GPP aloitti tutkimustyön neljännen sukupolven matkapuhelinverkkoja varten. Tavoitteena oli pitää 3GPP:n matkapuhelinverkot kilpailukykyisenä seuraavien 10 vuoden ajan ja sen yli tarjoamalla korkeita siirtonopeuksia ja matalia latensseja, mitä käyttäjät tulevaisuudessa tulisivat tarvitsemaan. Alunperin nimi LTE (Long Term Evolution) oli UMTS-verkon kehitykselle annettu työnimi. Ensimmäistä kertaa neljännen sukupolven matkapuhelinverkko on määritelty Release 8:ssa ja

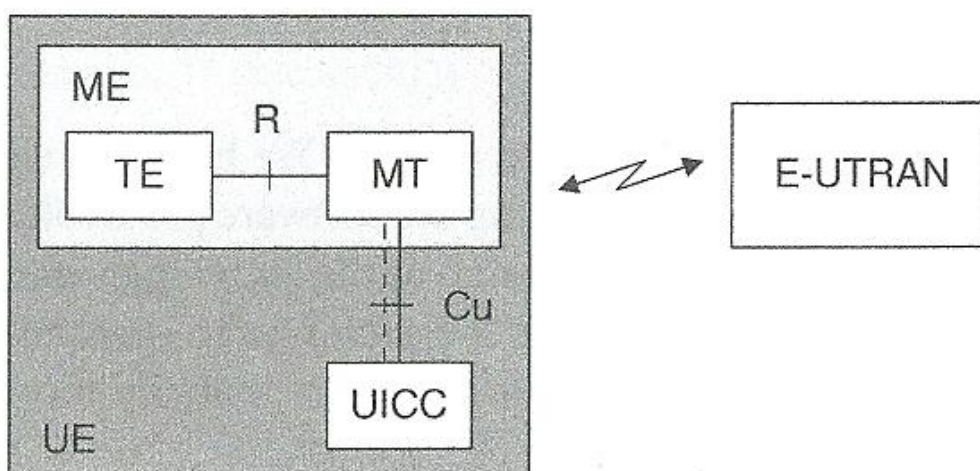
myöhemmissä releaseissa sitä on viety vielä eteenpäin parantaen verkon suorituskykyä. /5/.

2.3 4G-verkkoarkkitehtuuri

Neljännän sukupolven matkapuhelinverkkojen arkkitehtuurikehittely jakautui kahteen osaan, System Architecture Evolutioniin (SAE) ja Long Term Evolutioniin (LTE). SAE piti sisällään runkoverkon kehityksen ja LTE puolestaan radioverkon ja radiorajapinnan, sekä päätelaitteen. Virallisesti koko neljännän sukupolven matkapuhelinverkko tunnetaan nimellä Evolved Packet System (EPS). Vaikka LTE:llä viitataan vain radioverkkoon ja radiorajapintaan, on se kuitenkin vakiinnuttanut asemansa puhekielessä kuvaamaan koko neljättä matkapuhelinverkkojen sukupolvea. /5/.

Uudessa arkkitehtuurissa EPC korvaa suoraan UMTS:n ja GSM:n pakettikytkentäisen verkon. EPC (Evolved Packet Core) on suunniteltu puhtaasti datan siirtoa varten ja siinä ei olekaan mitään vastaavaa piirikytkentäistä verkko-osaa, kuten UMTS:ssa ja GSM:ssa oli. E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) taas korvaa täysin toisen ja kolmannen sukupolven GERAN:in ja UTRAN:in. /5/.

2.3.1 Päätelaite



Kuva 4. Päätelaitteen sisäinen arkkitehtuuri. /5/.

Päätelaitteen tehtävä on edelleen sama kuin aiemminkin. Päätelaite UE (User Equipment) koostuu kahdesta osasta, ME (Mobile Equipment) ja UICC (Universal Integrated Circuit Card), mikä kulkee yleisemmin nimellä SIM-kortti. ME, nykypäivänä useimmiten älypuhelin, koostuu kahdesta osasta: MT (Mobile Termination) ja TE (Terminal Equipment). MT huolehtii esimerkiksi verkkoon kiinnittymisestä ja hallitsee data- ja merkinantovirtoja. TE tarjoaa pääsyä palveluihin ja toiminnallisuuksiin mitä MT mahdollistaa, ollen näin datavirtojen päätepysäkinä. /5/.

UICC on älykäs kortti, joka suorittaa sovellusta USIM (Universal Subscriber Identity Module). Se tallentaa käyttäjään liittyvää dataa, kuten puhelinnumeron ja tiedot kotiverkosta. USIM suorittaa erilaisia salaukseen ja tietoturvaan liittyviä laskusuorituksia käyttäen uniikkeja salausavaimia, mitä niihin on talletettu. LTE tukee päätelaitteita, mitkä käyttävät Release 99:n määritelmien tai uudempien julkaisujen mukaisia USIM-kortteja. Tukea ei siis löydy vanhemmille GSM-julkaisujen aikaisille SIM-kortteille. /5/.

2.3.2 4G-radioverkon arkkitehtuuri

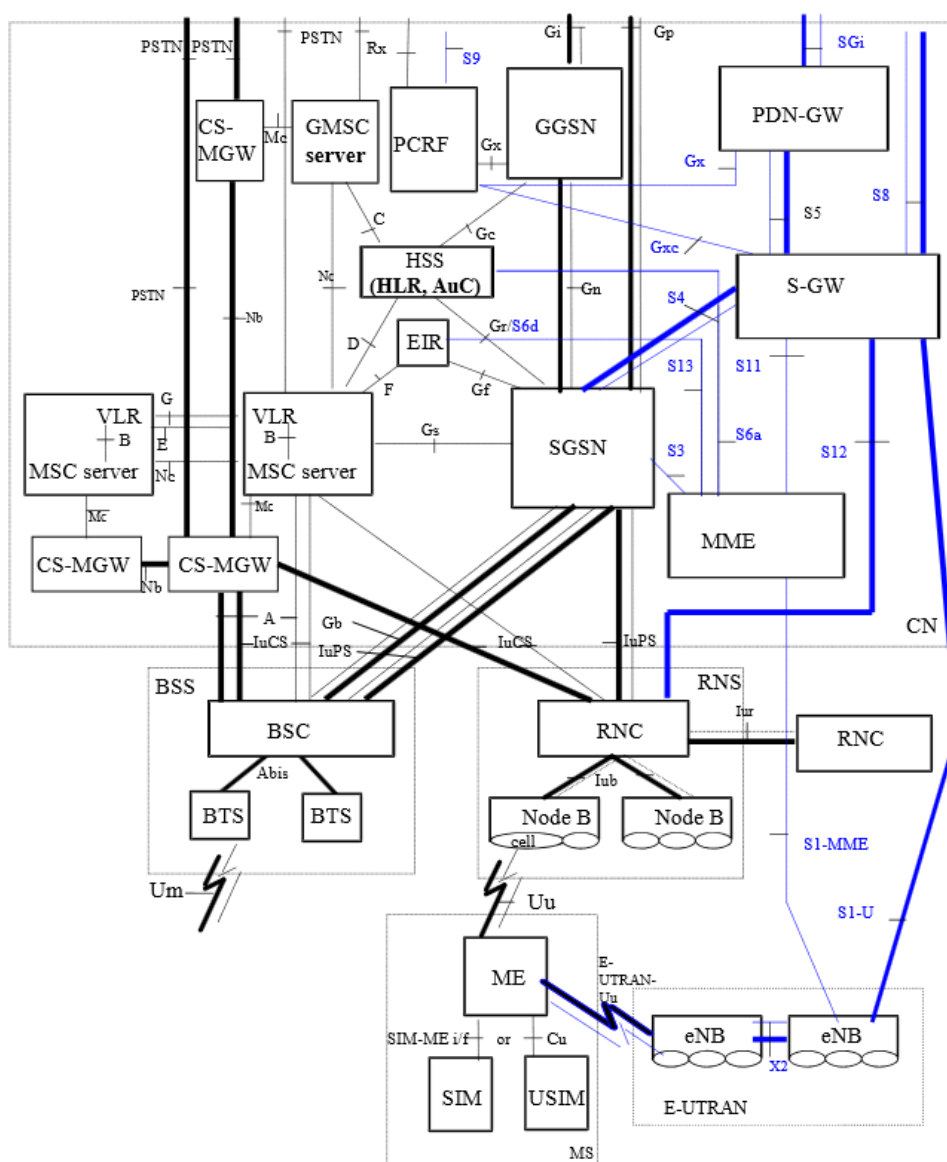
Neljännän sukupolven matkapuhelinverkkojen radiorajapinnan E-UTRAN:n tehtävä on vastata päätelaitteen ja runkoverkon välisestä liikenteestä. E-UTRAN pitää sisällään ainoastaan yhden komponentin, tukiaseman, jota nimitetään eNB:ksi (Evolved Node B). E-UTRAN:n arkkitehtuuri on muuttunut vastaamaan paremmin neljännän sukupolven matkapuhelinverkoille asetettuja vaatimuksia. Kuvasta 5 voi tehdä vertailua kolmannen ja neljännän sukupolven radioverkkoarkkitehtuurien välillä. Kuten voidaan huomata, on arkkitehtuuri yksinkertaistunut jonkun verran radioverkko-ohjaimen RNC pudottua kokonaan arkkitehtuurista pois. Jokainen tukiasema on yhteydessä päätelaitteisiin yhdessä tai useammassa eri solussa. Päätelaitteet ovat yhteydessä kuitenkin vain yhteen tukiasemaan ja soluun kerrallaan, näin ollen se eroaa aiemmista tekniikoista ja esimerkiksi UMTS soft handover, missä päätelaite on samanaikaisesti yhteydessä useampaan soluun, on mahdottomuus. /5/.

Tukiasemalla eNB on kaksi pääasiallista tehtävää, ensinnäkin se huolehtii liikenteestä päätelaitteen ja tukiaseman välillä, mutta toiseksi se myös huolehtii merkinannosta esimerkiksi handover-tilanteissa, missä pitäisi vaihtaa solusta toiseen. Verrattuna aiempaan, eNB suorittaa sekä Node B:n, että RNC:n (Radio Network Controller) työt. Näin ollaan saatu latensseja myös alhaisemmiksi, kun on karsittu turhat osat pois integroimalla sama toiminnallisuus toiseen verkon komponenttiin. Tukiasemat eNB ovat liittyneet toisiinsa X2-rajapinnalla ja tukiasemat runkoverkkoon rajapinnalla S1. X2-rajapinnassa kulkee lähinnä merkinantoon liittyvää asiaa, mutta handover-tilanteissa siellä liikkuu myös käyttäjädataa. /5/.

3GPP TS 23.002 version 8.6.0 Release 8

46

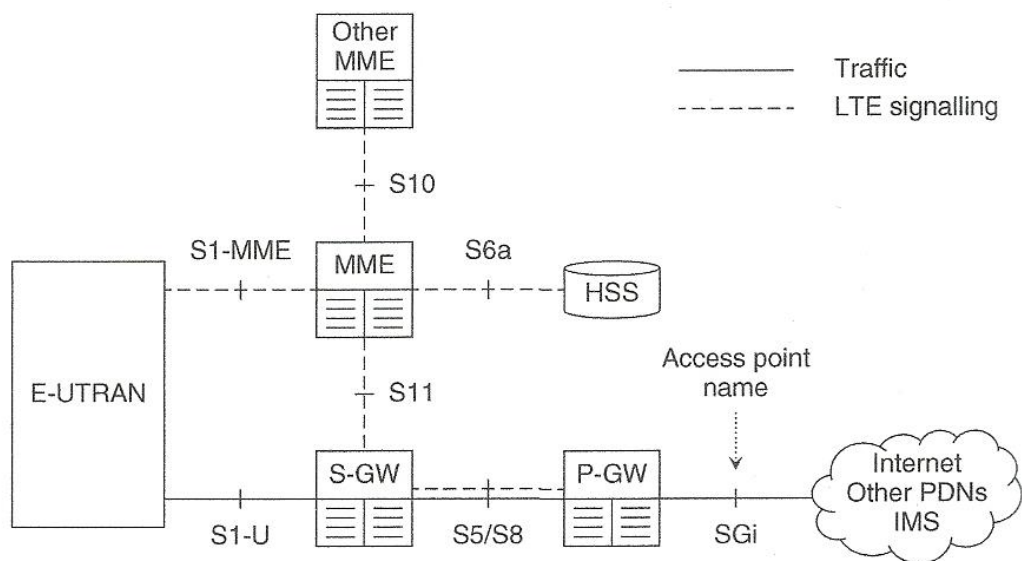
ETSI TS 123 002 V8.6.0 (2009-10)



Kuva 5. 4G-verkkoarkkitehtuuri - 3GPP TS 23.002 Release 8.

Kuvassa sinisellä kuvattu 4G-rajapinnat.

2.3.3 EPC-runkoverkko



Kuva 6. EPC-Runkoverkon komponentit. /5/.

Runkoverkko EPC koostuu erilaisista komponenteista, mitkä muistuttavat monilta osin aiempien sukupolvien matkapuhelinverkkojen komponentteja. Näistä komponenteista HSS (Home Subscriber Server) on ainoa, mikä on suoranainen jäännösjäänne aiemmista UMTS- ja GSM-verkoista. Jos vertaa kuvia 2 ja 5, voi huomata pienen kehityksen HSS:n suhteen, sillä ennen Release 5:tä ei ollut edes olemassa vielä HSS komponenttia, vaan se kulki erillisinä osina HLR (Home Location Register) ja AuC (Authentication Center). Release 5:ssä esitellyn IMS:n (IP Multimedia Subsystem) myötä oli tarpeellista lisätä toiminnallisuksia runkoverkkoon ja samalla HLR ja AuC toiminnot siirtyivät HSS:n alle. HSS:n toiminnasta enemmän myöhemmin kappaleessa, mikä käsittelee IP Multimedia Sybsystemiä. /5/.

Runkoverkko on yhteydessä erilaisiin pakettidataverkkoihin PDN (Packet Data Network) P-GW:n kautta (Packet Data Network Gateway). P-GW on yhteydessä yhteen tai useampaan päätelaitteeseen, sekä pakettidataverkkoihin kuten teleoperaattoreiden servereihin, internetiin ja IMS:iin. Jokaisella palvelulla on oma tunnisteensa APN (Access Point Name), esimerkiksi internetillä ja IMS:llä on molemmilla omat APN:t. /5/.

S-GW (Serving Gateway) toimii reitittimenä ja reitittää dataa tukiaseman ja P-GW:n välillä. Tyypillisesti verkossa on useita S-GW:tä, joista jokainen huolehtii omasta maantieteellisestä alueestaan. Näin ollen yksi ja sama S-GW palvelee samaa tilaajaa lähestulkoon aina, poikkeuksena tapaukset, missä tilaaja liikkuu tarpeeksi kauas ja toisen maantieteellisen alueen S-GW ottaa tilaajan haltuunsa. /5/.

MME (Mobility Management Entity) on tärkeä verkon komponentti. MME on vastuussa S-GW:n valitsemisesta käyttäjälle, kun käyttäjä liittyy verkkoon. MME:n toimenkuvaan kuuluu myös käyttäjän autentikointi yhdessä HSS:n kanssa. Samaan tapaan S-GW:n kanssa MME:tä on verkossa useita ja jokainen palvelee tiettyä aluetta. /5/.

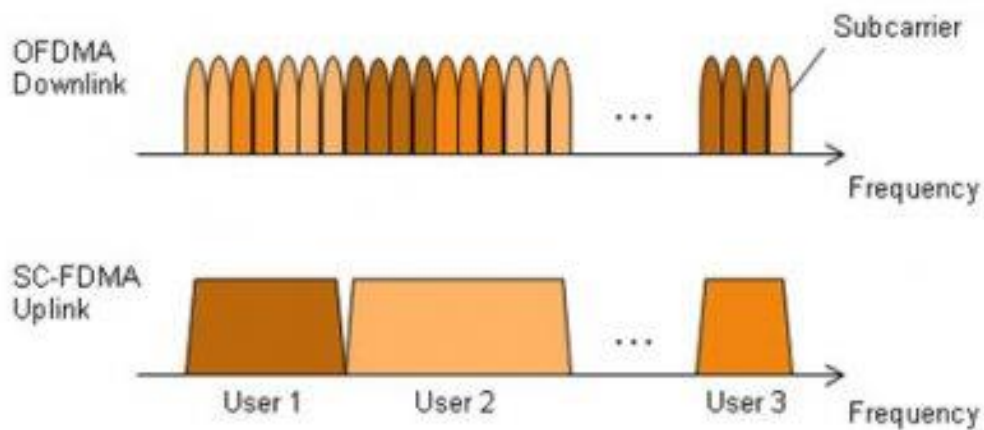
UMTS- ja GSM-verkkoihin verratessa P-GW toimii samaan tapaan, kuin GGSN (Gateway GPRS Support Node). SGSN:n (Serving GPRS Support Node) toiminnallisuus on EPC:ssä jaettu S-GW:n ja MME:n kesken. Tällä jaolla verkon skaalautuvuus on tehty helpommaksi operaattoreita ajatellen. Jos verkossa siirretyn datan määrä kasvaa, voivat operaattorit kasvattaa S-GW:den määrää, jos taas päätelaitteiden määrä kasvaa, voidaan kasvattaa MME:den määrää. /5/.

2.3.4 OFDMA ja SC-FDMA

LTE-verkossa tukiasemalta päätelaitteelle päin kulkeva liikenne käyttää OFDMA-tekniikkaa (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). OFDMA toimii kuten monet muutkin multiple access-tekniikat sallien tukiaseman kommunikoida useiden päätelaitteiden kanssa samanaikaisesti. OFDMA-tekniikkaa käytetään myös esimerkiksi WLAN-verkoissa. /5/.

OFDMA soveltuu hyvin tukiasemalta päätelaitteelle, mutta toiseen suuntaan se ei toimi yhtä optimaalisesti. OFDMA-tekniikan heikkous on se, että se vaatii lähettimeltä paljon, kuten kalliita vahvistimia, millä saadaan varmistettua ettei signaali vääristy. Mobiililaitteiden taas tarvitsee olla mahdollisimman halpoja, ja näin ollen niihin ei voida laittaa tällaisia vahvistimia. Se johtaa siihen, että OFDMA-tekniikka ei ole käypä tekniikka mobiililaitteelta tukiasemalle päin kulkevaan liikenteeseen. /5/.

Päätelaitteelta tukiasemalle päin kulkevaan liikenteeseen käytetään hyvin paljon OFDMA:n kaltaista tekniikkaa nimeltä SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access). Ero OFDMA:n ja SC-FDMA:n välillä on se, että SC-FDMA:ssa käyttäjän data kulkee yhdellä jatkuvalla alikantoaaltojen lohkokolla ilman mitään välejä (Katso kuva 7). /5/.



Kuva 7. OFDMA- ja SC-FDMA taajuuskaistat. /19/.

3 IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM

IP Multimedia subsystem on huomattavan iso asiakokonaisuus ja työssä sen käsittely on rajattu sellaisiin asiakokonaisuuksiin, mitkä ovat keskeisiä tätä opinnäytetyötä silmällä pitäen. Myös VoIP ja SIP ovat tärkeässä asemassa VoLTE:ssa ja siksi niitä kuvataan tässä kappaleessa.

3.1 VoIP

VoIP (Voice over IP) on termi tekniikalle, millä puhelu siirretään internetin välityksellä vastaanottajalle. VoIP-puhelut ovat muuten samankaltaisia, kuin perinteiset puhelut ja pitävät sisällään merkinantoa ja analogisen puheen muuttamista digitaaliseen muotoon. Sen sijaan, että puhe siirrettäisiin piirikytkentäisessä puhelinverkossa, puhe paketoidaan ip-paketeiksi ja siirretään pakettikytkentäisessä verkossa vastaanottajalleen.

VoIP:ssa pidetään ongelmana sitä, että se ei ole yhtä luotettava, kuin piirikytkentäinen perinteinen puhelu. Pakettikytkentäisenä tekniikkana media jaetaan ip-paketeiksi tiedonsiirtoa varten. Pakettikytkentäisessä tiedonsiirrossa ei ole päästä-päähän yhteyttä soittajan ja soitettavan henkilön päätelaitteiden välillä ja näin ollen paketit voivat matkustaa määränpäättään kohti eri reittejä pitkin ja mahdollisesti myös kadottaen osan paketeista. Tämä voi näkyä puhelussa viiveenä ja pätkimisenä.

VoIP-puheluiden muodostamiseen on aikojen saatossa ollut useampiakin erilaisia käytössä olleita protokollia. Laajimpaan käyttöön ovat levinneet ITU-T:n vuonna 1996 julkaisema H.323 ja IETF:n standardoima SIP (Session Initiation Protocol). Näistä kahdesta SIP on enemmän käytetty protokolla.

/20/.

3.2 Session Initiation Protocol

SIP on protokolla erilaisten multimediaistuntojen hallintaa ja merkinantoa varten. SIP protokollaa voidaan käyttää multimediaistunnon perustamiseen, muokkaamiseen

ja lopettamiseen. SIP-protokolla määrittelee sanomat, millä näitä multimediaistuntoja luodaan, muokataan ja lopetetaan. SIP-sanomat on jokseenkin helppolukuisia, sillä SIP on tekstipohjainen protokolla ja muistuttaakin HTTP:tä jonkun verran.

SIP-protokollalla on viisi perustoimintoa istuntojen perustamiseksi ja niiden lopettamista varten:

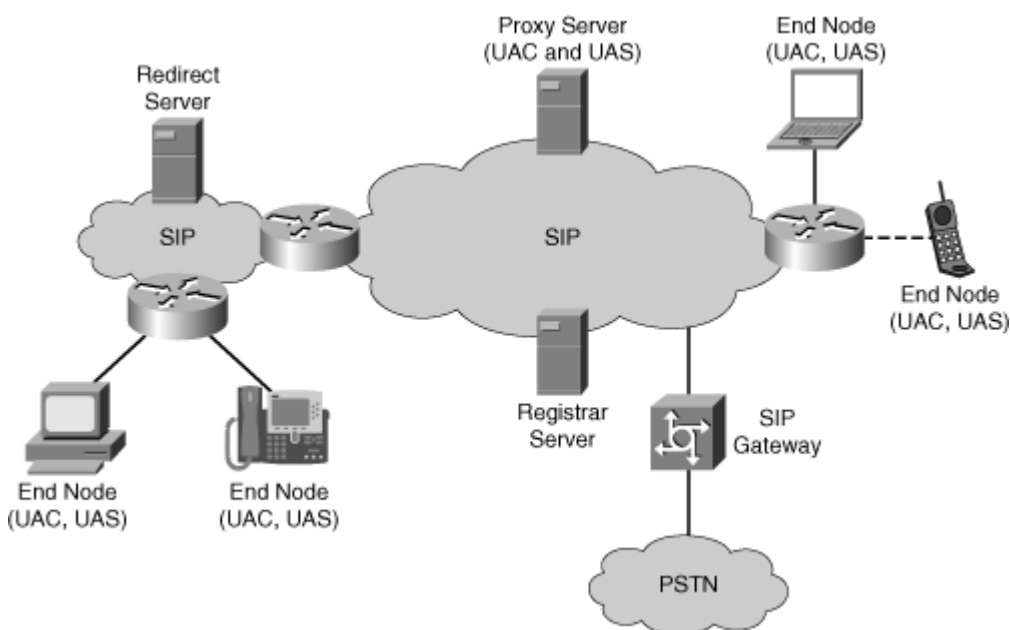
- Käyttäjän sijainti. Rekisteröityessään käyttäjän sijainti tallennetaan tietokantaan. Nyt kun käyttäjän sijainti on tiedossa, voidaan häneen olla yhteydessä erilaisilla multimediaistunnoilla.
- Käyttäjän saatavuus. Tämä toiminto lähinnä määrittelee sen, onko käyttäjä tavoitettavissa puheluita tai muita multimediasesessioita varten.
- Käyttäjän ominaisuudet. Tämä toiminto määrittelee millaisiin erilaisiin multimediaistuntoihin käyttäjä voi osallistua sen hetkisen päätelaitteensa kanssa. Esimerkiksi tavallisella VoIP-puhelimella käyttäjä ei voi osallistua videokonferenssiin.
- Istunnon asetukset. Määrittelee molempien osapuolien parametrit.
- Istunnon hallinta. Pitää sisällään paljon kaikenlaista. Esimerkkinä soitonsiirto, puhelun lopetus tai vaikka olemassa olevan istunnon muokkaaminen vaikkapa äänipuhelusta videokonferenssiksi.

/7, 8/.

3.2.1 SIP-verkkoelementit

SIP-verkkoelementtejä on neljä erilaista:

- Käyttäjäagentit (User Agent)
- Välityspalvelimet (Proxy Server)
- Rekisteröintipalvelimet (Registrar Server)
- Uudelleenohjauspalvelimet (Redirect Server)



Kuva 8. SIP-verkkoelementit. /9/.

Käyttäjäagentteja ovat kaikki päätelaitteet, oli se sitten IP-puhelin tai jokin SIP-ohjelma tietokoneella. Nämä käyttäjäagentit voidaan jakaa vielä kahteen: käyttäjäagentti asiakas ja -palvelin (User Agent Client ja User Agent Server). Tämä jako kahteen on ainoastaan looginen, sillä yksi fyysinen päätelaite pitää sisällään kuitenkin nämä molemmat kokonaisuudet. Asiakas lähettää SIP-pyyntöjä ja palvelin vastaanottaa ne ja palauttaa pyyntöihin vastet.

Välityspalvelimet toimivat sekä asiakkaana, että palvelimena. Niiden tehtävänä on välittää käyttäjäagenttien pyynnöt lähemmäksi kohteena olevaa käyttäjää. Sanomat voivat siis kulkea useamman välityspalvelimen läpi, kunnes ne lopulta tulevat välityspalvelimelle, mikä tietää kohteen sijainnin ja sanoma saadaan kohteeseen.

Rekisteröintipalvelin ottaa käyttäjiltä vastaan SIP REGISTER pyyntöjä ja tallettavat niistä talteen sijaintitietoja, kuten IP-osoitteen, portin ja käyttäjänimen. Näin ollen kun välityspalvelin saa kutsun mikä on osoitettu sip:bob@b.com:lle, se käy läpi sijaintitietoja ja löytää tarkemmat tiedot sip:bob@1.2.3.4:5060 ja ohjaa kutsun tuohon osoitteeseen. Rekisteröintitiedot vanhenevat ajan kuluessa, jotta tilaaja voi vastaanottaa puheluita jatkossakin, pitää tilaajan suorittaa uudelleen rekisteröinti ennen, kuin rekisteröintitiedot vanhenevat. Nämä rekisteröintipalvelimet ovat useimmiten vain loogisia kokonaisuuksia ja sijaitsevat useasti välityspalvelimien yhteydessä.

Uudelleenohjauspalvelin saa pyyntöjä ja selvittää rekisteröintipalvelimien generoimista sijaintitietokannoista, missä pyyntöjen kohde (tilaaja) sijaitsee. Uudelleenohjauspalvelin ei hoida reititystä ollenkaan, se vain palauttaa sijaintitiedot pyynnön esittäjälle, mikä hoitaa jatkotoimenpiteet.

/7, 8/.

3.2.2 SIP pyynnöt ja vastheet

Alla on taulukko yksinkertaisimmista ja yleisimmistä SIP-pyyntöistä, mitä tarvitaan puhelun luomiseen. Näitä pyyntösanomia, mitä kutsutaan myös metodeiksi on vielä enemmänkin, mutta tässä vain tärkeimmät.

Pyynnön nimi	Kuvaus
REGISTER	Rekisteröintipyyntö, millä käyttäjä samalla ilmoittaa sijaintitietonsa rekisteröintipalvelimelle
INVITE	Tämä pyyntö aloittaa puhelut
ACK	Kuittaa viimeisen INVITE pyynnön
BYE	Lopettaa puhelun
CANCEL	Peruuttaa kaikki avoinna olevat pyynnöt
OPTIONS	Tiedustelee palvelimen tai vastapuolen ominaisuuksista

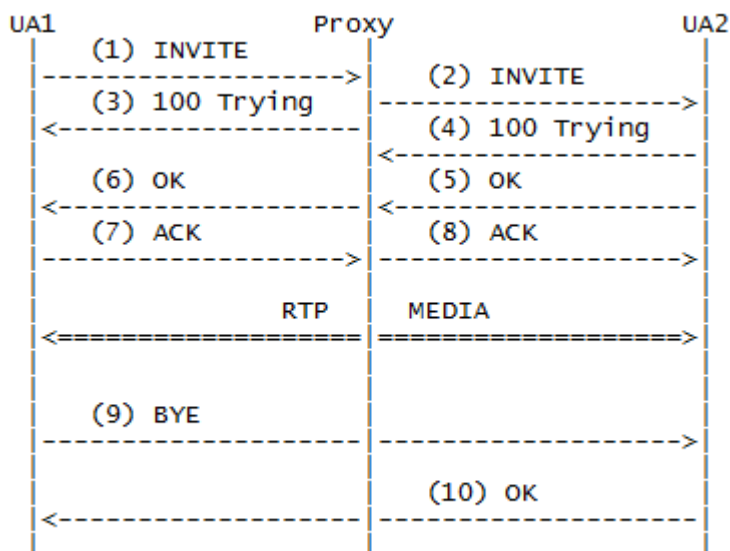
Taulukko 1. SIP-metodit

Pyyntöihin vastataan vasteilla. Näitä SIP-vasteita löytyy kuusi erilaista luokkaa. Vasteet on numeroitu 1xx-6xx. Vasteen ensimmäinen numero kertoo sen mihin luokkaan se kuuluu.

Luokka	Kuvaus
1xx	Tietoa antava vaste. Esimerkiksi 180 Ringing ilmoittaa, että vastapuolen puhelin soi.
2xx	Kertoo onnistuneista asioista
3xx	Uudelleenohjaukseen liittyviä vasteita
4xx	Pyyntöjen epäonnistumiset
5xx	Palvelimiin liittyvät virhevasteet
6xx	Globaalit virhevasteet

Taulukko 2. SIP-vasteet

/7, 8/.



Kuva 9. Tyypillinen SIP-puhelun kulku.

Ylläolevassa kuvassa käyttäjä UA1 haluaa soittaa käyttäjälle UA2. Sanomat kulkevat välityspalvelimen kautta, koska käyttäjä UA1 ei tiedä UA2:n sijaintia. Puhelu aloitetaan INVITE-sanomalla. Välityspalvelin ilmoittaa puhelun aloittaneelle osapuolelle, että pyyntö on mennyt eteenpäin. OK-sanoma viittaa siihen, että käyttäjä UA2 on nostanut luurin ja vastannut puheluun. ACK-sanomalla kuitataan onnistuneen vas-

teen (OK) vastaanottaminen. Niin kauan kuin puhelu on käynnissä, niin RTP-media virtaa (Real-time Transport Protocol) suoraan käyttäjien välillä. BYE-sanomalla käyttäjä lopettaa puhelun ja mediavirta loppuu.

3.3 IP Multimedia Subsystem - IMS

IMS (IP Multimedia Subsystem) suunniteltiin alunperin reaaliaikaisten multimedialpalveluiden hallintaa ja kuljettamista varten 3G pakettikytkentäisessä verkossa. Ensimmäistä kertaa se esiteltiin 3GPP:n Release 5:ssä. Myöhemmissä releaseissa (Rel 6 ja 7) näitä määritelmiä kuitenkin paranneltiin siten, että IMS tukee myös muita liityntäverkkoja, kuten WLAN- tai xDSL-verkkoja.

Alkuunsa matkapuhelinoperaattoreilla ei ollut kovinkaan suurta mielenkiintoa IMS:ä kohtaan, koska 3G-verkossa kulkee niin ääni-, kuin videopuhelutkin ja IMS:stä saatava lisäarvo palveluineen olisi ollut suhteellisen pientä (pikaviestit, PoC (Push-to-talk over Cellular)).

/5/.

3GPP:n release 8:ssa vuonna 2008 esiteltiin kuitenkin ensimmäistä kertaa LTE (Long Term Evolution), puhtaasti pakettikytkentäinen verkko. Tarkoituksena oli, että LTE-puhelut toteutettaisiin VoIP:na. Matkapuhelinoperaattoreiden mielenkiinto IMS:ä kohtaan heräsi taas, koska se on kuitenkin tähän parhaiten sopiva sovellus.

/5/.

3.4.1 Call Session Control Function

Call Session Control Functionit (CSCF) ovat IMS:n tärkeimpiä osia, näitä on neljä erilaista ja jokaisella on omat nimensä mukaiset tehtävät:

- P-CSCF (Proxy-CSCF)
- S-CSCF (Serving-CSCF)
- I-CSCF (Interrogating-CSCF)
- E-CSCF (Emergency-CSCF)

Näitä SIP-välityspalvelimia käytetään IMS:ssä SIP-merkinantopakettien prosessointiin.

/2/.

3.4.2 S-CSCF

S-CSCF on tärkein SIP-istunnon hallintasolmu koko IMS-verkossa. S-CSCF toimii SIP-rekisteröintipalvelimena, lisäksi se käsittelee kaikkia IMS-istuntoja kutsuen erilaisia palveluita AS:ltä tarpeen vaatiessa. S-CSCF käsittelee SIP-rekisteröintejä ja näin ollen pystyy niputtamaan käyttäjän päätelaitteen IP-osoitteen ja SIP-osoitteen yhteen.

Kun jotain palvelua tarvitaan S-CSCF reitittää SIP-sanoman AS:lle, mikä tarjoaa kyseisen palvelun. Suorittaakseen tällaista toimintaa S-CSCF:llä on liitäntä HSS:ään, mistä se saa ladattua käyttäjän profiilin. Käyttäjän profiili pitää sisällään palveluprofiilin, mikä on joukko erilaisia laukaisimia (trigger) palvelun käynnistämiseen. Jos SIP-sanoma vastaa jotain tällaista laukaisinta, sanoma välitetään sellaiselle sovelluspalvelimelle, mikä on tähän laukaisimeen määritelty.

Verkossa voi olla useita S-CSCF:iä, jotta kuormaa saadaan jaettua ja näin ollen palvelut eivät ruuhkaudu. S-CSCF sijaitsee aina tilaajan kotiverkossa, näin saadaan varmistettua, että vaikka käyttäjä ei olisi kotiverkossaan, on palvelut silti tavoitettavissa vaikka oltaisiinkin jossain toisessa verkossa.

/2, 4, 5/.

3.4.3 P-CSCF

P-CSCF (Proxy CSCF) on välityspalvelin, joka toimii ensimmäisenä pisteenä käyttäjän päätelaitteen ja IMS-verkon välillä. P-CSCF pitää huolen merkinantoviestien tietoturvasta liityntäverkon yli salaamalla viestit ja suojaamalla niiden koskemattomuutta. Nimensä mukaan P-CSCF toimii välityspalvelimena käyttäjän päätelaitteen ja S-CSCF:n välillä, näin ollen kaikki käyttäjän verkkoon lähettämät pyynnöt kulkevat tämän solmun kautta. P-CSCF voi pitää sisällään myös Policy Decision Functionin, mikä hallitsee erilaisten mediavirtojen palvelun laatua. Välttämättä näin ei ole, koska PDF voi myös olla oma erillinen komponentti verkossa. P-CSCF hoitaa myös SIP-sanomien purkamisen ja pakkaamisen käyttäen SigCompia, mikä on suunniteltu nimenomaan tekstipohjaisen datan, kuten SIP-sanomien pakkaamiseen. P-CSCF myös generoi laskutustiedot, mitkä se välittää eteenpäin laskutuksesta vastaavalle funktiolle. /4, 5/.

3.4.4 I-CSCF

I-CSCF on verkon solmukohta, mikä toimii koti- ja vierasverkon välillä. Kun vieraasta verkosta tulee sanoma, mikä on osoitettu tilaajalle, I-CSCF etsii tilaajaa palvelevan S-CSCF:n kysymällä tätä tietoa HSS:ltä. Sen jälkeen I-CSCF välittää sanoman S-CSCF:lle. I-CSCF:n tiedot löytyvät DNS:stä, jotta vieraiden verkkojen palvelimet voivat käyttää tätä SIP-sanomien välittämiseen kohdeverkossa.

I-CSCF:llä on kolme pääasiallista tehtävää.

- Hakea HSS:ltä seuraavan hypyn nimi, joko S-CSCF tai AS
- Määrää S-CSCF:n tilaajalle HSS:ltä saatujen tietojen perusteella
- Saapuvien sanomien välittäminen S-CSCF:lle tai AS:lle

/4, 5/.

3.4.5 E-CSCF

Emergency Call Session Control Function (E-CSCF) on omistautunut täysin IMS-hätätapauksia varten. E-CSCF:n pääasiallinen tehtävä on valita hätäkeskus, mihin

tällaiset hätäpuhelut väylöitetään. Yleensä kriteerinä toimii lähinnä sijainti, mikä saadaan Location Retrieval Functionilta (LRF), jos sitä ei ole alkuperäisessä hätäpyynnössä vielä saatu.

/4, 21/.

3.4.6 HSS & SLF

Home Subscriber Server, HSS on pääasiallinen tietokanta, mikä palvelee IMS:n muita kokonaisuuksia. HSS:stä löytyy sekä tilaajien tiedot (käyttäjäprofiilit), sekä palveluihin liittyvät tiedot. HSS pitää sisällään HLR:n (Home Location Register) ja AuC:n (Authentication Center) toiminnallisuudet ja lisäksi muuta toiminnallisuutta, mikä on tullut tarpeelliseksi esimerkiksi IMS:n myötä.

IMS:ssä voi olla useampia kuin yksi HSS, esimerkiksi tilanteessa, missä tilaajia on niin paljon, ettei yksi HSS siitä selviä. Tällaisessa arkkitehtuurissa tarvitaan lisäksi SLF (Service Location Function), minkä tehtävänä on palauttaa tietyn tilaajan tiedot sisältävän HSS:n nimi.

HSS pitää sisällään seuraavia tilaajaan liittyviä tietoja:

- Tilaaajan tunnistetiedot, numerointi- ja osoitetiedot
- Tilaaajan autentikointiin liittyviä tietoja
- Tilaaajan profiili (palvelut jne.)
- Tieto S-CSCF:stä

HSS:n toimintoihin kuuluu mm. CSCF:ien toimintojen tukeminen. HSS pitää sisällään myös osia HLR:n ja AuC:n toiminnallisuuksista, mitä tarvitaan paketti-, sekä piirikytkentäisen verkon tarpeisiin.

/4, 5, 6/.

3.4.7 AS

AS (Application Server) tarjoaa tilaajille erilaisia palveluita, mitä ikinä tilaaja tarvii-
kaan. Multimediapuheluista tekstiviesteihin jne. Näitä sovelluspalvelimia ei avian
mielletä puhtaiksi IMS osakokonaisuuksiksi, koska ne ovat enemmänkin toimintoja
IMS:n päällä. On kuitenkin helpompi ajatella ne osana IMS:ä, koska ne kuitenkin
tarjoavat lisäarvoa multimediapalveluillaan nimenomaan IMS:lle. Sovelluspalvelimet
voivat sijaita kotiverkossa, tai yhtä hyvin jossain muualla. Sovelluspalvelin voi olla
pyhitetty vain yhtä palvelua varten, tai samalla palvelimella voidaan suorittaa use-
ampia palveluita samanaikaisesti. /4/.

4 VOLTE

Tässä kappaleessa käydään läpi keskeisiä asioita VoLTEen liittyen kuten EPS Attach, rekisteröityminen IMS:n, CSFB (Circuit Switched Fallback) ja End-to-end VoLTE-puhelu.

4.1 EPS Attach

EPS attachin tärkeimmät tehtävät on rekisteröidä päätelaite palvelevalle MME:lle, saada päätelaitteelle joko IPv4- tai IPv6-osoite, tai molemmat. EPS attach tarjoaa myös yhteyden oletus pakettidataverkkoon. Seuraavaksi käydään kuva 11 läpi vaihe vaiheelta. /5/.

Ennen kuin EPS attach voi varsinaisesti alkaa, pitää päätelaitteen ja tukiaseman suorittaa keskenään RRC setup (Radio Resource Control):

1. RRC setupilla käyttäjän päätelaite saa itselleen palvelevan tukiaseman ja tukiasema saa tietoa esimerkiksi siitä, mikä MME on viimeksi palvellut kyseistä päätelaitetta.

Kun RRC setup on suoritettu, voidaan aloittaa varsinainen EPS attach:

2. Päätelaite lähettää Attach requestin tukiasemalle. Viesti voi pitää sisällään erilaisia tietoja tilaajan preferensseistä. Esimerkiksi ensisijaisesti käyttää IMS:n pakettikytkentäisiä puhepalveluita ja toissijaisesti piirikytkentäisiä palveluita.
3. Tukiasema eNodeB välittää viestin eteenpäin MME:lle.
4. MME käynnistää käyttäjän autentikoinnin HSS:n kanssa yhdessä. Autentikointiprosessi menee niin, että MME lähettää pyynnön autentikoinnista HSS:lle. Pyyntö pitää sisällään tilaajan IMSI:n (International Mobile Subscriber Identity). HSS palauttaa MME:lle autentikointiin tarvittavat elementit RAND, AUTN, XRES, K_{ASME} .

RAND on satunnainen luku, mitä käytetään autentikoinnissa, AUTN on lähinnä merkki tilaajalle, millä voi varmistua verkon oikeellisuudesta, sillä AUTN:n arvon voi laskea ainoastaan sellaiset ketkä tuntevat K:n arvon (Käyttäjäkohtainen avain, minkä arvon tietää ainoastaan verkko ja käyttäjän

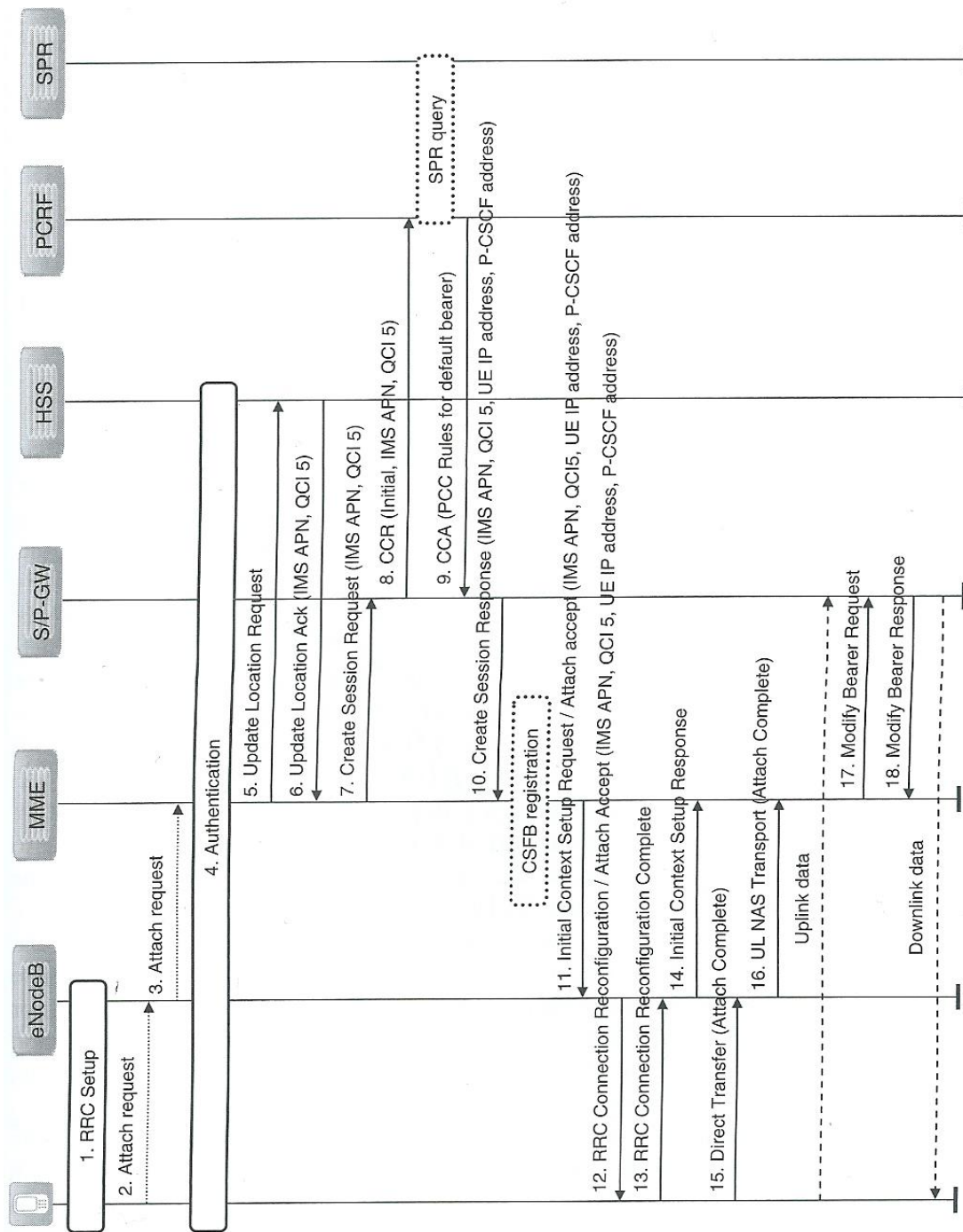
SIM-kortti). XRES on autentikointihaasteen odotettu tulos, K_{ASME} on tulos, mikä on johdettu käyttäjäkohtaisesta avaimesta K ja satunnaisluvusta RAND.

MME lähettää käyttäjälle näistä autentikointiin liittyvistä tiedoista ainoastaan satunnaisluvun RAND, sekä AUTN:n, millä käyttäjä voi varmistua verkon oikeellisuudesta. Käyttäjä laskee satunnaislukua RAND ja uniikkia avainta K käyttäen vastauksen RES. Se laskee myös arvot CK (Cipher key) ja IK (Integrity key). Näistä arvoista lasketaan K_{ASME} . Lopulta kaikki palautetaan MME:lle, mikä vertaa käyttäjän tuottamaa tulosta odotettuun tulokseen XRES. Jos tulokset ovat samat, autentikointi onnistuu ilman ongelmia.

5. MME lähettää Update location pyynnön HSS:lle, että se päivittäisi tilaajan tiedot.
6. HSS vastaa pyyntöön palauttamalla MME:lle tilaajan oletus APN:n sekä QoS-parametrejä. (Quality of service).
7. Tilaajalle valitaan tässä välissä S-GW ja P-GW. Kuten aiemmin jo mainittu, S-GW valitaan maantieteellisen alueen mukaan ja P-GW valitaan APN:n mukaan.
8. P-GW pyytää PCRF:ltä (Policy and charging rules function) tilaajan laskutukseen ja muuhun liittyvää tietoa.
9. PCRF palauttaa halutut tiedot MME:lle.
10. S-GW lähettää MME:lle Create session response, mikä pitää sisällään QoS-parametrejä, APN:n, päätelaitteelle tulevan IP-osoitteen ja P-CSCF:n osoitteen.
11. MME välittää tarvittavat tiedot tukiasemalle yhteyden muodostamista varten.
12. Tukiasema välittää tiedot eteenpäin päätelaitteelle. Päätelaite saa IP-osoitteen ja P-CSCF:n osoitteen IMS-merkinantoa varten. Samalla tukiasema uudelleen konfiguroi RRC-asetukset.
13. RRC-asetusten uudelleen konfigurointi on valmis.
14. Tukiasema vastaa MME:ltä saatuun Initial context setup sanomaan.
15. Päätelaite lähettää Attach complete sanoman tukiasemalle.
16. Tukiasema välittää viestin MME:lle. Päätelaite voi nyt siirtää dataa tukiasemalle päin, mistä se tunneloidaan S-GW:lle ja P-GW:lle.
17. MME lähettää Modify Bearer Request sanoman S-GW:lle. Tämä sanoma indikoi, että yhteyttä tulee hieman muokata.

18. S-GW vastaa sanomaan MME:lle ja yhteydet ovat nyt kunnossa ja dataa voidaan liikutella molempiin suuntiin.

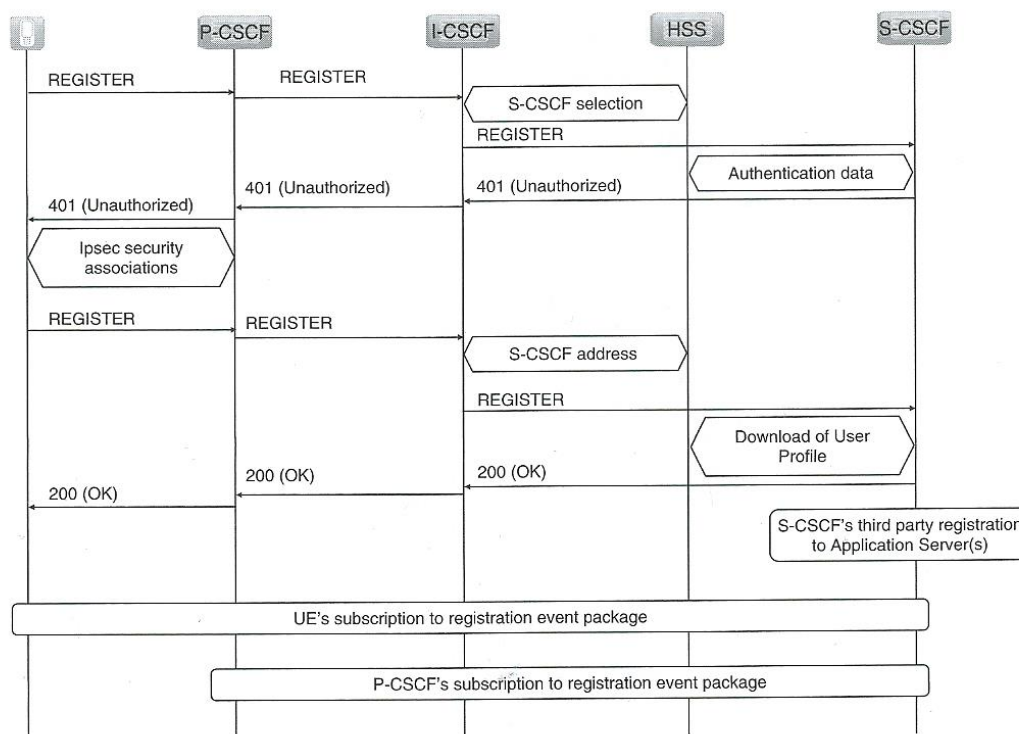
/4, 5/.



Kuva 11. EPS Attach tilanne. /4/.

4.2 IMS-Rekisteröityminen

Jotta käyttäjä voisi suorittaa VoLTE puheluita, pitää hänen ensin rekisteröityä IMS:iin. Kuvassa 12 näkyy vaiheittain tilaajan rekisteröityminen IMS:iin. Kuvan alla selitetty vaihe vaiheelta mitä tapahtuu.



Kuva 12. Tilaaajan rekisteröityminen IMS:iin. /4/.

1. Nyt kun EPS attach on suoritettu ja tilaajalla on IP-osoite ja P-CSCF:n osoite selvillä, voidaan suorittaa rekisteröityminen IMS:iin. Ensimmäinen piste tilaajan ja IMS-verkon välillä on P-CSCF. Tilaajan REGISTER-pyyntö menee päätelaitteelta P-CSCF:lle.
2. P-CSCF suorittaa DNS-kyselyn saadakseen selville seuraavan hypyn lähemäs kohdetta. P-CSCF ohjaa REGISTER-pyyntön I-CSCF:lle.

3. Kaikki REGISTER-pyyntö kulkevat I-CSCF:n kautta. I-CSCF ei kuitenkaan tiedä minkä S-CSCF:n kuuluisi palvella tilaajaa, joten se kysyy HSS:ltä asiaa. HSS palauttaa tiedon S-CSCF:n osoitteen.
4. Nyt kun I-CSCF tietää tilaajaa palvelevan S-CSCF:n, se lähettää REGISTER-pyyntö eteenpäin S-CSCF:lle.
5. S-CSCF tajuaa, että tilaajaa ei ole autentikoitu vielä ja siksi se pyytää HSS:ltä dataa autentikointia varten. Jotta autentikointi voidaan suorittaa, hylkää S-CSCF ensimmäisen REGISTER-pyyntö 401 (Unauthorized) vasteella, mikä pitää sisällään mm. autentikointiin tarvittavaa dataa. P-CSCF lähettää vain tarpeelliset tiedot autentikointia varten päätelaitteelle.
6. Päätelaite suorittaa autentikointihaasteen USIM-sovelluksessa, missä mm. varmennetaan verkon oikeellisuus ja lasketaan tulos RES saadusta satunnaisluvusta RAND ja yhteisestä salausavaimesta. Kun nämä on suoritettu, voi päätelaite lähettää uuden REGISTER-pyyntö eteenpäin.
7. Lopulta REGISTER-pyyntö tulee taas S-CSCF:lle, mikä vertaa tilaajan päätelaitteelta tullutta autentikointihaasteen tulosta RES odotettuun tulokseen XRES, mikä saatiin HSS:ltä. Tulokset ovat identtiset ja autentikointi on onnistunut. Onnistuneen autentikoinnin jälkeen S-CSCF lataa tilaajan IMS-palveluprofiilin HSS:ltä.
8. S-CSCF lähettää vasteen 200 (OK) indikoimaan tilaajaa onnistuneesta rekisteröitymisestä. Vaste kulkee käänteisessä järjestyksessä S-CSCF:ltä UE:lle I-CSCF:n ja P-CSCF:n kautta.
9. Onnistuneen rekisteröitymisen jälkeen S-CSCF informoi erilaisia sovelluspalvelimia tilaajan onnistuneesta rekisteröitymisestä, että nämä tietävät hänen olevan saavutettavissa. Myös UE:n, sekä P-CSCF:n täytyy vielä rekisteröinnin jälkeen tilata 'rekisteröinnin tila'-paketit, mitä tarvitaan jos verkko pyytää tilaajaa autentikoitumaan uudestaan.

/4/.

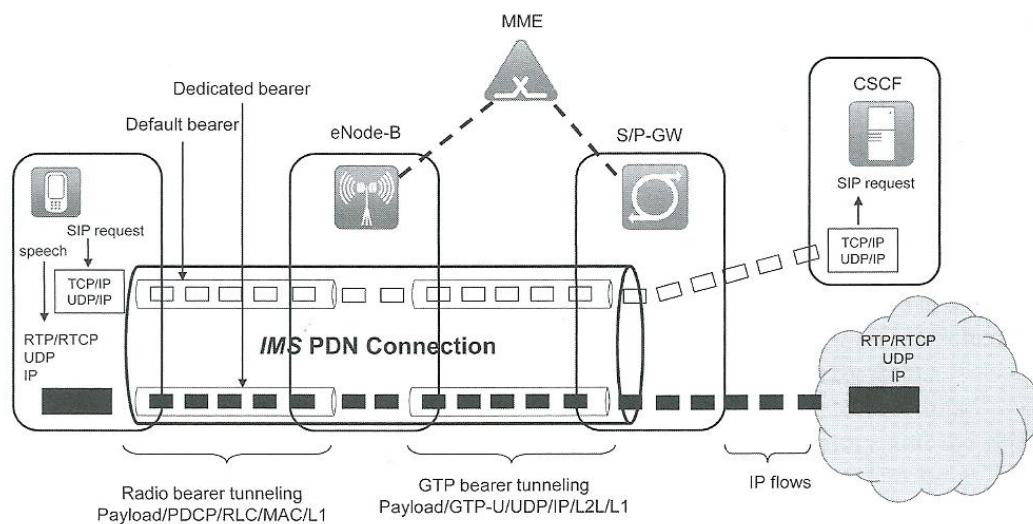
4.3 EPS-oletusyhteyden ja -dedikoidun yhteyden muodostaminen

LTE-verkko kuljettaa datapaketteja käyttäen samoja protokollia, joita käytetään internetissäkin. Siirtomekanismit ovat kuitenkin hieman monimutkaisempia, koska LTE-verkon tarvitsee ottaa huomioon asioita mitä normaalisti internetissä ei tarvitse huomioida. Ensimmäinen huomioitava asia on se, että LTE-verkossa päätelaitteiden oletetaan liikkuvan tukiasemilta toisille ja siirtymän aikana yhteyden oletetaan pysyvän. Toinen huomioitava seikka on QoS (Quality of Service), eli yhteyden laatu, missä parametreina on esimerkiksi taattu bittivirta, enimmäinen sallittu virheiden määrä ja suurin sallittu viive. LTE-verkko pystyy tarjoamaan erilaisia QoS-luokkia erilaisille datavirroille, esimerkiksi VoIP-puhelulle voidaan taata dedikoidulla yhteydellä tarvittava määrä kaistaa, ettei puhelu pätki. Näihin asioihin LTE-verkko käyttää ratkaisuna EPS-yhteyksiä (EPS bearer), jotka voidaan mieltää kaksisuuntaisina dataputkina, mitkä kuljettavat dataa verkossa. /5/.

Kun käyttäjä suorittaa EPS-attachin, ottaa se yhteyden vähintään yhteen pakettidata-verkkoon. Jokaista pakettidataverkkoyhteyttä kohden käyttäjälle määritellään vähintään yksi oletusyhteys (Default bearer), ja jokaista oletusyhteyttä kohden käyttäjä saa joko IPv4-osoitteen tai molemmat IPv4, sekä IPv6 osoitteet. Esimerkiksi käyttäjä on yhteydessä IMS APN:ään, niin silloin käyttäjällä on yksi IP-osoite ja yksi oletusyhteys. Kun oletusyhteys luodaan, P-GW hakee käyttäjälle IP-osoitteen HSS:ltä. Oletusyhteyden parametrit, kuten käyttäjälle määritelty maksimi kaistanleveys, QoS, IP-osoitteistus jne. tulevat myös HSS:ltä. /4/.

Kun käyttäjä soittaa VoLTE-puhelun IMS:ssä, tarvitaan oletusyhteyden rinnalle vielä dedikoitu yhteys, koska oletusyhteyden QoS ei ole tarvittavalla tasolla puhelua varten. Äänipuhelutapauksissa PCRF saa P-CSCF:ltä tietoja puhelun liittyen (tarvittava QoS esimerkiksi), ja näiden tietojen pohjalta PCRF tekee QoS provisiointi pyynnön P-GW:lle. P-GW muodostaa dedikoidun yhteyden käyttäjälle ja informoi yhteyden muodostuksen jälkeen PCRF:ää asiasta. Dedikoitu yhteys jakaa saman IP-osoitteen oletusyhteyden kanssa, mutta sillä on eri QoS. Tällä dedikoidulla yhteydellä on taattu

bittivirta, millä varmistetaan puhelun hyvä laatu, jos taattuun bittivirtaan ei päästä, puhelu joudutaan purkamaan. Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu hyvin nämä yhteydet. Yhteydet jakavat saman IP-osoitteen, oletusyhteyttä pitkin kulkee puhelua koskeva SIP-merkinanto IMS:iin ja dedikoidussa yhteydessä kulkee reaaliaikaiset RTP-paketit, jotka tarvitsevat taatun laadun siirtotielle. /4/.

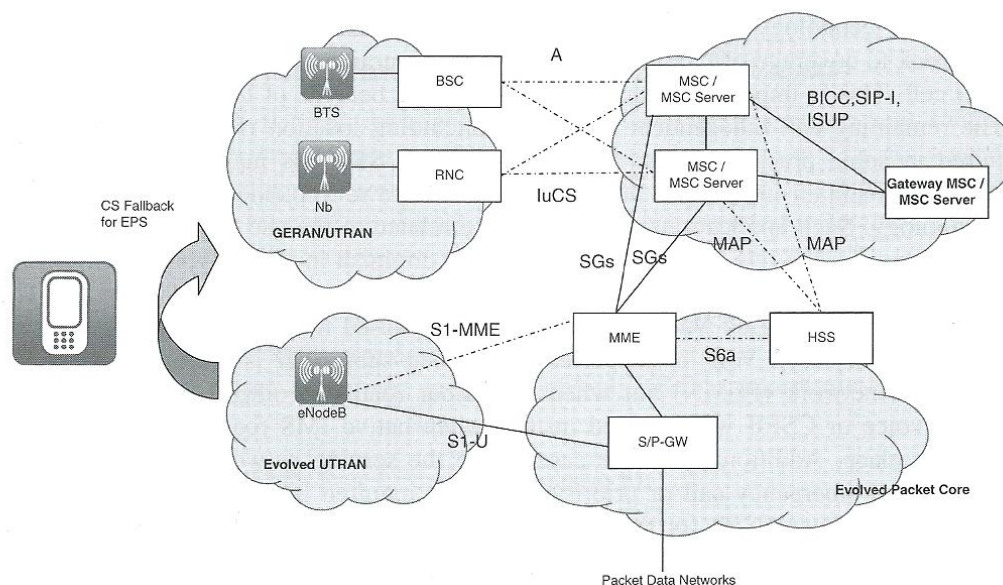


Kuva 13. Oletus- ja dedikoitu yhteys havainnollistettu. /4/.

4.4 Circuit Switched Fallback

Neljännän sukupolven matkapuhelinverkot ovat suunniteltu lähinnä vain dataputkeksi, missä liikkuu käyttäjien dataa. Useimmille datapalveluille, kuten internetin selaukselle tai sähköpostille tästä ei ole mitään haittaa, koska nämä sovellukset ovat täysin riippumattomia siirtojärjestelmästä. Puhe- ja tekstiviestipalvelut sen sijaan ovat aina olleet operaattoreiden piirikytkentäisen verkon tarjoamia ja tiukasti sidoksissa siirtojärjestelmään. 3GPP tukee kahta lähestymistapaa Voice over LTE tapauksia varten. Pitkän tähtäimen ratkaisu on IP multimedia subsystem, ulkoinen verkko mikä hoitaa merkinannon VoIP-palveluita varten. Lyhyen tähtäimen ratkaisu on Circuit Switched Fallback (CSFB), missä tilaajan päätelaite siirtyy tarvittaessa 2G/3G-piirikytkentäiseen verkkoon puhelutilanteessa esimerkiksi. /5/.

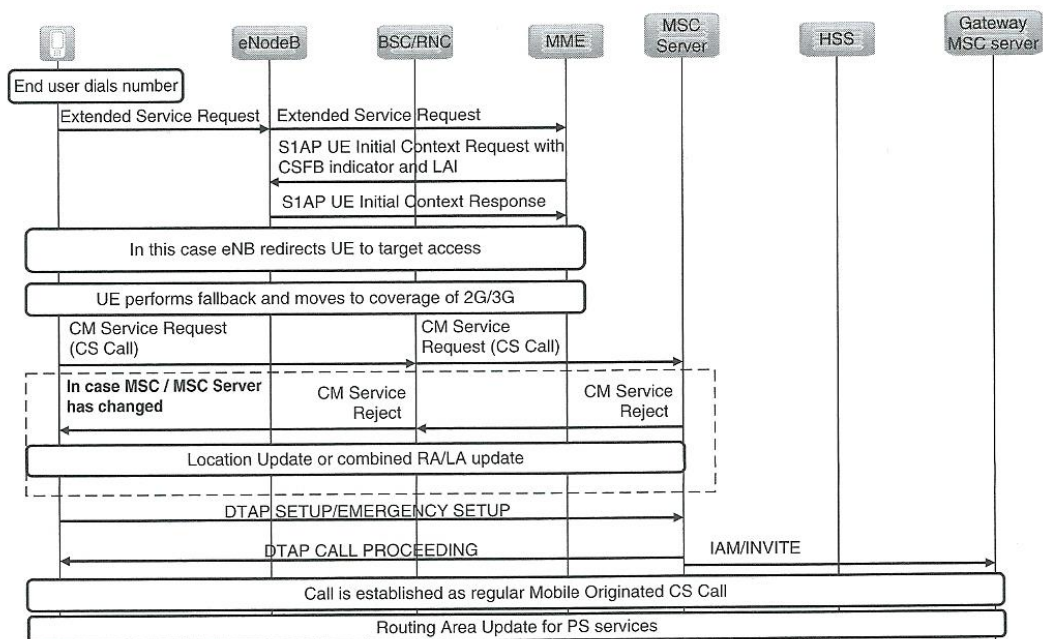
Alunperin CSFB esiteltiin release 8:ssa ja sitä on sittemmin paranneltu seuraavissa releaseissa. CSFB:n merkitys tulee kuitenkin pitkällä aikavälillä pienentymään huomattavasti, kunhan operaattorit saavat IMS:iin pohjautuvat VoLTE-ratkaisut tuotua markkinoille. /4/.



Kuva 14. CSFB-arkkitehtuuri. /4/.

Tukeakseen CSFB:tä, verkkojen arkkitehtuuriin on tarvinnut tehdä pieniä muutoksia. Näistä muutoksista näkyvin on uusi merkinantorajapinta SGs MME:n ja MSC-serverien (Mobile Switching Center) välillä. SGs rajapinnassa kulkee SGsAP-sanomia (SGs application protocol), mitkä mahdollistavat MME:n rekisteröidä käyttäjän 2G/3G-piirikytkentäiseen verkkoon ja näin ollen tuo piirikytkentäisen verkon palvelut käyttäjän saataville. Arkkitehtuuria voidaan käyttää kahteen erilaiseen palveluun. Esimerkiksi äänipuhelut hoidetaan niin, että käyttäjä putoaa 4G-verkosta aiempien sukupolvien 2G/3G-verkkoon, missä äänipuhelut kulkevat kuten ennenkin. Tekstiviestejä sen sijaan voidaan vastaanottaa ja lähettää pysymällä yhä LTE-verkossa käyttämällä palvelua nimeltä SMS over SGs. Siinä MME välittää viestit SGs-rajapintaa pitkin MSC-serverille ja siitä eteenpäin SMSC:lle (Short Message Service Center), mistä tekstiviesti sitten lähtee normaalisti vastaanottajalle. /4, 5/.

4.4.1 Mobile Originating Call CSFB:llä



Kuva 15. Mobile originating call vaiheittain. /4/.

Tilanne, missä 4G-verkossa oleva tilaaja soittaa puhelun on monia vaiheita ennen päätelaitteen siirtymistä 2G/3G-verkkoon ja itse puhelun syntymistä. Kuvassa 14 on havainnollistettu vaiheittain mitä tapahtuu tällaisessa puhelutapauksessa, kun käytetään CSFB:tä puhelun syntymiseen. Alla selitetään tarkemmin vaihe vaiheelta tapahtumaa.

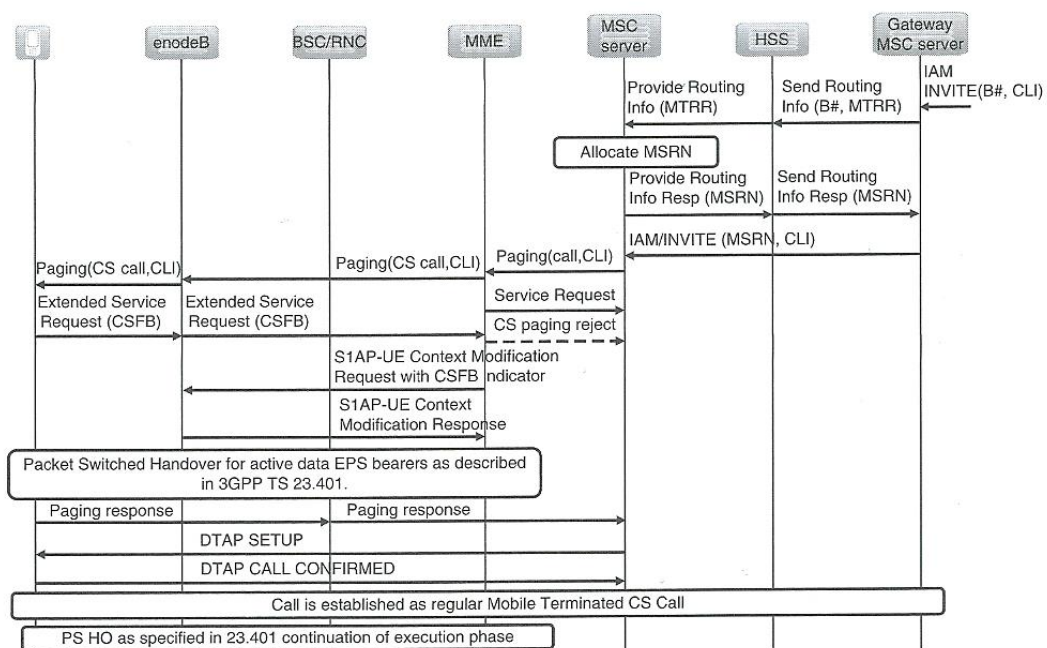
1. Koko tilanne alkaa tilaajan näppäillessä numeron, mihin hän haluaa soittaa. Tämä laukaisee palvelupyynnön MME:lle. Pyyntö pitää sisällään parametrin, mikä indikoi, että kyseessä on puhelutapaukseen liittyvä CSFB-pyyntö.
2. Saatuaan pyynnön MME lähettää S1AP Initial Context Request sanoman tukiasemalle tiedottaakseen tätä, että päätelaite on pyytänyt CSFB:n suorittamista.
3. Tukiasema vastaa MME:n sanomaan kertoakseen, että tieto on saapunut perille.
4. Tässä välissä tilaajan puhelin siirtyy joko 2G- tai 3G-verkkoon.
5. Nyt kun tilaaja on 2G/3G-verkossa, aloittaa se puhelun muodostamisen aivan normaalisti lähettämällä CM Service Request-pyyntön tukiaseman kautta

MSC serverille. Pyyntö pitää sisällään millaista palvelua tilaaja tarvitsee, tässä tapauksessa kyseessä on puhelu. MSC server voi hyväksyä tai hylätä palvelupyynnön. Jos käy niin, että MSC server hylkää palvelupyynnön, joutuu tilaaja suorittamaan Location updaten. Muussa tapauksessa puhelun syntyminen jatkuu normaalisti.

6. Tämän jälkeen päätelaite lähettää SETUP sanoman MSC serverille, mikä pitää sisällään mm. millaisesta palvelusta on kyse, kutsutun henkilön puhelinnumero ja mitkä puhekoodekit ovat tuettuna.
7. MSC server informoi DTAP CALL PROCEEDING sanomallaan, että puhelun muodostuminen etenee. Samaan aikaan MSC server lähettää IAM-sanoman (Initial Address Message) Gateway MSC serverille kertoakseen, että puhelu muodostetaan.
8. Puhelu on muodostunut kahden osapuolen välille.

/4/.

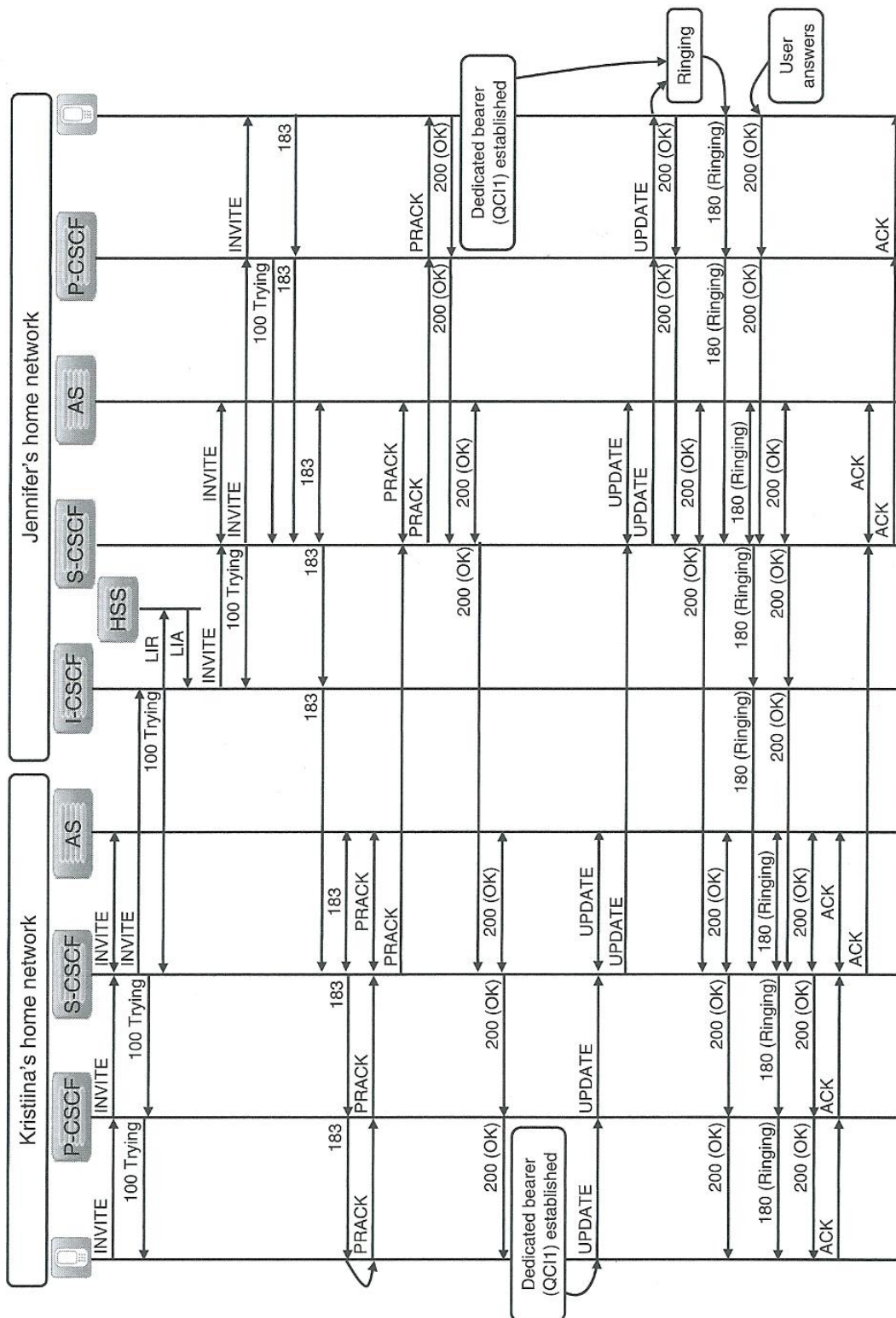
4.4.2 Mobile Terminating Call CSFB:llä



Kuva 16. Mobile terminating call vaiheittain. /4/.

Toisenlaisessa tilanteessa, missä puhelu on tulossa verkosta päin tilaajalle, asiat menevät hieman eri tavalla. Koko tapahtuma alkaa sillä, että Gateway MSC-server saa IAM/INVITE-sanoman, mikä kertoo että puhelu olisi tulossa tilaajalle. Tämän jälkeen MSC server lähettää SGs-rajapinnan kautta MME:lle tiedon, että tilaajalle on saapumassa puhelu. Sanoma pitää sisällään tietoja siitä mille tilaajalle se on esitetty, minkälaisesta palvelusta on kyse ja kuka soittaa. Tilaaja vastaa tähän pyyntöön lähettämällä MME:lle samanlaisen palvelupyynnön, kuin aiemmassakin tapauksessa. Tällä kertaa palvelupyyntö pitää sisällään myös tiedon siitä onko tilaaja hyväksynyt puhelun vai hylännyt sen. Tämän jälkeen puhelun muodostuminen jatkuu samaan tapaan kuin aiemmassakin tapauksessa, paitsi jos tilaaja päättää olla vastaamatta puhelun, niin MME informoi MSC serveriä SGs-rajapinnan kautta. /4/.

4.5 IMS VoLTE-puhelu



Kuva 17. VoLTE-puhelu IMS:ssä. /4/.

Tässä käydään läpi VoLTE-puhelun muodostuminen kahden osapuolen välillä, siten kuin se on tarkoitettu kulkevan operaattoreiden saatua IMS-verkot luotua. Monimutkaisin asia tässä lienee SIP-sanomien reititys IMS-verkossa.

Puhelun muodostumiseen IMS-verkossa päätelaitteet käyttävät SIP-merkinantoprotokollaan ja SDP-protokollaan (Session Description Protocol) perustuvaa INVITE-pyyntöä. INVITE-pyyntö pitää sisällään mm. tärkeää tietoa sanoman reititykseen liittyen, kuten kutsutun osapuolen julkisen identiteetin (Public user identity) muotoa *jennifer@abc.com*, kutsuvan osapuolen P-CSCF:n osoitteen, minkä se on saanut EPS-attachin yhteydessä ja viimeisenä kutsuvaa osapuolta palvelevan S-CSCF:n osoitteen, mikä on saatu IMS-rekisteröitymisen yhteydessä. /4/.

Kun INVITE-sanoma lähtee päätelaitteelta verkkoa kohti sen ensimmäisenä pysäkinä on P-CSCF, minkä osoite löytyy sanomasta. P-CSCF reitittää sanoman tilaajaa palvelevalle S-CSCF:lle, mikä lähettää sanoman edelleen sovelluspalvelimelle AS, mikä tietää millaisesta palvelusta on kyse. INVITE-sanoma tulee takaisin S-CSCF:lle, mikä suorittaa DNS kyselyn kutsutun osapuolen julkisen identiteetin perusteella abc.com. Vastaukseksi DNS kyselyyn S-CSCF saa kutsutun osapuolen kotiverkon I-CSCF:n osoitteen, mihin INVITE-sanoma reititetään seuraavaksi. /4/.

I-CSCF toimii ainoastaan porttina kutsutun osapuolen verkkoon. I-CSCF kysyy HSS:ltä kutsuttua osapuolta palvelevan S-CSCF:n osoitetta LIR-pyyntöllä (Location Information Request). HSS vastaa pyyntöön palauttamalla S-CSCF:n osoitteen LIA-vasteella (Location Information Answer). Nyt kun I-CSCF tietää kutsuttavaa osapuolta palvelevan S-CSCF:n osoitteen, reitittää se INVITE-sanoma eteenpäin sille. S-CSCF käyttää INVITE-sanoman myös sovelluspalvelimella AS samaan tapaan kuten kutsuvan osapuolen verkossa tapahtui. Nyt S-CSCF reitittää sanoman kutsuttavaa osapuolta palvelevalle P-CSCF:lle, minkä osoitteen S-CSCF on saanut kutsutun osapuolen rekisteröidyttyä IMS-verkkoon. Lopulta P-CSCF lähettää sanoman kutsutulle osapuolelle, mikä vastaa siihen SIP-vasteella 183 (Session in Progress), mikä viittaa siihen, että puhelun muodostuminen on vielä kesken. /4/.

SIP-vaste, minkä kutsuttu osapuoli lähettää takaisin soittajalle pitää sisällään mm. soitettavan osapuolen IP-osoitteen ja portin, mistä hänet tavoittaa. Tämän jälkeen

sanoma menee takaisin samaa reittiä pitkin jokaisen CSCF:n kautta kutsuvalle osapuolelle. Alkuperäinen INVITE-sanoma on löytänyt kutsutun osapuolen luo sanoman sisältävän Route-kentän perusteella. Jokainen CSCF on vuorollaan poistanut oman osoitteensa Route-kentästä ja lisännyt osoitteensa Record-route kenttään ja Via kenttään. Näin tulevat sanomat löytävät takaisin vastaanottajalleen järkevästi. Nyt jokainen CSCF poistaa oman osoitteensa Via kentästä vuorollaan ja lähettää sanoman seuraavalle. Lopulta sanoma päättyy kutsuvalle osapuolelle, mikä tallentaa sanomassa olevan kutsutun osapuolen IP-osoitteen, sekä käänteisen Record-routen, mitä käytetään tulevien sanomien reitityksessä. /4/.

Kutsutulta osapuolelta tulleeseen 183-vasteeseen soittaja vastaa PRACK-pyyntöllä, millä se vain ilmoittaa saaneensa vasteen. PRACK-pyyntöön kutsuttu osapuoli vastaa 200 (OK) vasteella. Kun kutsuttu osapuoli lähettää soittajalle vasteen 200, aloittaa se samalla varaamaan verkosta resurssit yhteyttä varten. Tällaista puhelua varten pitää olla taattu tietty bittinopeus, jotta puhelu olisi jouheva ilman pätkimistä. Kun soittava osapuoli on saanut resurssit verkosta varattua lähettää se UPDATE-sanoman kutsutulle osapuolelle. UPDATE-sanoma pitää sisällään tiedot siitä, että resurssit puhelua varten on varattu. Kun kutsuttu osapuoli on vastannut UPDATE-sanomaan OK-vasteella, alkaa puhelin soimaan. Kun käyttäjä vastaa, lähettää se vielä OK-vasteen kutsujalle. Kutsuva osapuoli vastaa vielä OK-vasteeseen ACK-metodilla, mikä on merkki siitä, että käyttäjä on saanut lopullisen vastauksen alkuperäiseen INVITE-pyyntöönsä. Puhelu kahden osapuolen välillä on muodostunut. /4/.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni tutustuin teoriassa Voice over LTE:hen liittyviin asioihin, kuten 4G-verkon ja IP Multimedia Subsystemin toimintaan ja erilaisiin tämän hetken VoLTE ratkaisuihin, kuten Circuit Switched Fallbackiin.

Työn tulokset eivät tällä hetkellä ole erityisen konkreettiset, mutta tulevaisuudessa kun SAMKin matkapuhelinverkkolaboratorioon saadaan 4G-verkko, voidaan hyödyntää työni tuloksia apuna mahdollisen VoLTE-toiminnallisuuden saavuttamiseen esimerkiksi jo olemassa olevaa OpenIMS:ä käyttäen. Oman tuotantoverkkotasaisen IMS:n hankkiminen SAMKin NGN-laboratorioon voi olla hankalaa, ja näinpä seuraava vaihe akateemisen OpenIMS-ympäristökäytön jälkeen saattaisi olla pyrkimys liittää SAMK-verkko jonkin operaattorin IMS-palveluun tulevaisuudessa.

Kuten työssä jo mainittiin, ovat Suomen teleoperaattorit vielä muutaman askeleen päässä puhtaista VoLTE-puheluista. Selvää kuitenkin on, että tekniikan kehitys ja kilpailutilanne pakottaa operaattorit tulevaisuudessa IMS-käyttöönottoihin.

LÄHTEET

- /1/ Poole, I. 2013, Radio-Electronics.com, Voice over LTE – VoLTE. Viitattu 6.5.2015.
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/voice-over-lte-volte.php>
- /2/ Chakraborty, S. Frankkila, T. Peisa, J. Synnergren, P. 2007. IMS Multimedia Telephony over Cellular Systems. John Wiley & Sons Ltd
- /3/ Poikselkä, M. Mayer, G. Khartabil, H. Niemi, A. 2006. The IMS IP Multimedia Concepts and Services. John Wiley & Sons Ltd
- /4/ Poikselkä, M. Holma, H. Hongisto, J. Kallio, J. Toskala, A. 2012. Voice over LTE – VoLTE. John Wiley & Sons Ltd
- /5/ Cox, C. 2014. An Introduction to LTE – LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications. John Wiley & Sons Ltd
- /6/ 3GPP TS 23.002 (2013). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Network architecture.
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123002/11.06.00_60/ts_123002v110600p.pdf
- /7/ iptel.org. SIP Introduction. Viitattu 6.5.2015.
<http://www.iptel.org/sip/intro>
- /8/ Wikipedia. Session Initiation Protocol. Viitattu 6.5.2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Session_Initiation_Protocol
- /9/ eTutorials.org. Technology-Specific MIBs for Accounting and Performance Viitattu 6.5.2015.
<http://etutorials.org/Networking/network+management/Part+II+Implementations+on+the+Cisco+Devices/Chapter+4.+SNMP+and+MIBs/Technology-Specific+MIBs+for+Accounting+and+Performance/>
- /10/ Wikipedia. Autoradiopuhelin. Viitattu 6.5.2015.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Autoradiopuhelin>
- /11/ Wikipedia. Nordic Mobile Telephone. Viitattu 6.5.2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone
- /12/ Wikipedia. GSM. Viitattu 6.5.2015. <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>
- /13/ Poole, I. Radio-Electronics.com. GPRS General Packet Radio Service Tutorial. Viitattu 6.5.2015.

- http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gprs/gprs_tutorial.php
- /14/ Poole, I. Radio-Electronics.com. GSM EDGE Tutorial. Viitattu 6.5.2015.
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm-edge/basics-tutorial-technology.php>
- /15/ 3GPP. 2010. Overview of 3GPP Release 99 V0.1.1 (2010-02).
http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/
- /16/ Holma, H. Toskala, A. 2002. WCDMA For UMTS Radio Access For Third Generation Mobile Communications. John Wiley & Sons Ltd
- /17/ Wikipedia. Universal Mobile Telecommunications System. Viitattu 6.5.2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
- /18/ Wikipedia. W-CDMA. Viitattu 6.5.2015.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/W-CDMA>
- /19/ 3GPP. LTE. Viitattu 6.5.2015.
<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- /20/ Wikipedia. Voice over IP. Viitattu 6.5.2015.
http://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_IP
- /21/ 3GPP TS 23.167 (2010). IP Multimedia Subsystem (IMS) emergency sessions, Release 9
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123100_123199/123167/09.03.00_60/ts_123167v090300p.pdf

