

Harjoitus 10: Matkapuhelinverkot

Nelli Sviili

nekasvii@student.jyu.fi

TIES436 Langattomat teknologiat

Informaatioteknologian tiedekunta

16.6.2020

Sisällys

1.	Yleistä	3
1.1	Ensimmäinen sukupolvi, 1G	3
1.2	Toinen sukupolvi, 2G	4
1.3	Kolmas sukupolvi, 3G.....	5
2	Solukkojärjestelmä	6
3	Nykyiset LTE -verkot ja tulevaisuus	8
3.1	LTE	8
3.2	LTE Advanced.....	11
3.3	LTE Advanced pro	12
3.4	5G NR -verkko	13
	LÄHTEET	16

1. Yleistä

Kirjallisuuskatsauksen ensimmäisessä teorialuvussa tutustutaan kolmen ensimmäisen sukupolven – 1G, 2G ja 3G – matkapuhelimien historiaan ja tekniikkaan yleisellä tasolla. Tekniikassa perehdytään matkapuhelinverkkojen taajuusalueisiin, kanavalle pääsyn tekniikoihin ja muun muassa datanopeuksiin.

1.1 Ensimmäinen sukupolvi, 1G

Langattomien matkapuhelinverkkojen aikakausi alkoi jo 1980-luvulla ensimmäisen sukupolven eli 1G-matkapuhelimien myötä. 1G-laitteet olivat yksinkertaisia analogisia tai puolianalogisia laitteita ja pääsääntöisesti kalliita. Toisen sukupolven matkapuhelinlaitteet hyödynsivät GSM-tekniikkaa ja tarjosivat jo rajalliset mahdollisuudet käyttää dataa. 3G-laitteet mahdollistavat digitaalisuuden ja sitä kautta äänen, kuvan ja videoiden käsittelyn. Matkapuhelinverkot perustuivat soluverkkotekniikkaan. Kukin solu muodostuu maakohtaisesta radioverkosta, jossa toimii vähintään yksi kiinteä tukiasema. Häiriöiden ehkäisemiseksi ja tietyn kaistanleveyden saavuttamiseksi jokainen solu käyttää erilaisia taajuusjoukkoja kuin naapurisolut. (Shukla et al., 2013, s.54)

1G-matkapuhelinverkkojen järjestelmät olivat analogisia ja piirikytkentäisiä. Nämä laitteet olivat suhteellisesti kevyempiä, mutta kalliita ja toimivat joko täysin analogisesti tai osittain. Puolianalogisia järjestelmiä kutsuttiin NMT-laitteiksi (engl. Nordic Mobile Telephone). Pohjois-Amerikassa oli käytössä AMPS-järjestelmä (engl. Analog Mobile Phone Systems) ja Euroopassa TACS-järjestelmä (engl. Total Access Communication Systems). Nämä 1G-laitteet oli suunniteltu pääasiassa tukemaan vain puhetta ja puheeseen liittyviä palveluita, lisäksi ne olivat hyvin yhteensopimattomia toisten ensimmäisen sukupolven matkapuhelinlaitteiden kanssa. (Shukla et al., 2013, s. 54-56)

1G-laitteet käyttivät 800 MHz taajuutta ja 30KHz kantoaaltoa, datansiirtonopeus oli 2,4-14,4 kb/s (Z Series Innovations, 2015). 1G-laitteet perustuivat FDMA-taajuusjakokanavointimenetelmää (engl. Frequency-Division Multiple Access, jossa taajuusalue jaetaan siten, että kukin käyttäjä saa tietyn osa-alueen käytön ajaksi. Ensimmäisen polven matkapuhelimille tyypillistä oli heikko äänenlaatu, epäluotettavuus, matala kapasiteetti ja heikko tietoturva. (Shukla et al., 2013, s. 56)

1.2 Toinen sukupolvi, 2G

2G-laitteiden kultakausi kesti 1980-luvun lopulla aina 1990-luvun jälkimmäiselle puoliskolle. Toisen sukupolven matkapuhelimissa oli käytössä GSM-tekniikkaa (engl. Global System for Mobile Communication), jossa hyödynnettiin digitaalista äänenlaadun modulointia laadun parantamiseksi, mutta verkkoyhteydet tarjosivat vain rajalliset mahdollisuudet datapalveluiden käytölle. 2G-laitteet mahdollistivat digitaalisuutensa ansiosta erinäisten palveluiden käyttöönoton, kuten lyhytviestit ja matalan nopeuden datapalvelut. CDMA2000 1xRTT ja GSM ovat ensisijaisesti 2G-tekniikoita, vaikkakin CDMA2000 1xRTT saatetaan lukea kuuluvaksi jo 3G-aikakauteen, koska tekniikka täyttää 3G-matkapuhelimen suorituskyvylle asetetun datansiirtonopeuden vaatimuksen. (Shukla et al., 2013, s.54)

2G-laitteet oli suunniteltu pääasiassa äänen siirtämiseen digitaalisesti jopa 64 kb/s nopeudella. Merkittävin ero käyttäjän kannalta oli se, että 2G-teknologia tarjosi lyhytviestipalvelun eli SMS-viestit (engl. Short Message Service). Tekstiviesteistä tuli nopeasti tärkeä osa matkapuhelin-kulttuuria, jopa jotkin operaattorit ovat kertoneet SMS-viestien muodostaneen suurimman osan matkapuhelinverkon dataliikenteestä. (Shukla et al., 2013, s.56)

Toisen sukupolven matkapuhelimet mahdollistivat paremman äänenlaadun ja verkkojen kattavuuden. Se mahdollisti myös toisenlaiset palvelut matkapuhelinverkon yli, kuten faksit ja ääniviestit. 2G-verkkoyhteydet toivat myös lisäpalveluina muun muassa langattomien sovellusten WAP-protokollan (engl. Wireless Application Protocol) ja GSM-verkon laajennuksen HSCSD:een (engl. High Speed Circuit Switched Data). HSCSD tarjosi mahdollisuuden lähettää paremman grafiikan omaavaa dataa pakettikytkennällä GSM-verkon yli. Tekniikka luokitellaan ensiaskeleeksi 3G-sukupolven matkapuhelimille. (Shukla et al., 2013, s. 56)

Perinteisellä GSM-tekniikalla datansiirtonopeus oli parhaimmillaan 9,6 kb/s, GPRS:llä (engl. General Packet Radio Services) optimiolosuhteissa 150 kb/s ja EDGE:n (engl. Enhanced Data rates for global evolution) avulla datansiirron huippunopeus oli jopa 384kb/s päästä päähän viiveen ollessa alle 150ms (Shukla et al., 2013, s. 57). GSM käytti 900 MHz ja 1800 MHz taajuualueita ja CDMA 800MHz kantoaallon ollessa 200 KHz (Z Series Innovations, 2015).

1.3 Kolmas sukupolvi, 3G

Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia perustuu kansainvälisiin puhelinliikenteen IMT-2000 vaatimuksiin (engl. International Mobile Telecommunications). 3G-matkapuhelimien sukupolvi tarjoaa käyttäjilleen ääni-, grafiikka- ja videonsovelluksien käyttömahdollisuuden. Kolmannen sukupolven matkapuhelinlaitteiden tiedonsiirtonopeusvaatimus on vähintään 200 Kbit/s 3G-laitteiden ensisijaisia tekniikoita ovat UMTS-HSPA ja CDMA2000 EV-DO. Myös WiMAX on nimitetty yhdeksi viralliseksi 3G-tekniikasta. (Shukla et al., 2013, s.54-55, 57)

3G-teknologia käyttää kanavalle pääsyyn koodijakokanavoinnin CDMA-tekniikkaa. 3G-laitteiden Internet on toteutettu langattomasti ja laajakaistaperusteisesti. Kolmannen sukupolven matkapuhelinten taajuuskaistan on 2100Hz alueella ja kaistanleveys 25 Hz. Kantoaalto on 5MHz. Tekniikalle on tyypillistä korkea tietoturvan taso ja kansainvälinen roaming-verkko. Tekniikan heikkouksia ovat korkea virrankulutus, matala verkon kattavuus, ja kalliit taajuuslisenssit. Sovellusmahdollisuuksia ovat muun muassa videoneuvottelut, mobiili-Tv ja GPS-teknologia. (Z Series Innovations, 2015)

3GPP LTE-standardin (engl. Long Term Evolution) mukainen langaton tiedonsiirtotekniikka on ensimmäisenä julkaistu kansainvälisen puhelinviestintäjärjestön ITU:n (engl. International Telecommunication Union) 4G-teknologialle asettamat vaatimukset täyttävä kolmannen sukupolven kumppanuushanke. Tekniikasta käytetään nimitystä IMT-Advanced. IMT-2000 -vaatimukset asettavat 3G-verkoille tavoitteiksi globaaleiden standardien kehittämisen edullisten ja maailmanlaajuisten verkkoierailuiden mahdollistamiseksi, korkean äänenlaadun ja edistyneiden palveluiden tuen. (Shukla et al., 2013, s. 59)

Käyttäjän kannalta yksi keskeisimmistä matkapuhelinverkkojen tarjoamista palveluista on se, että verkkoja on mahdollisuus käyttää katkeamattomasti melkein kaikkialla niin paikallaan ollessaan kuin liikkeessäkin. Tämän mahdollistaakseen matkapuhelinoperaattorit ylläpitävät toisiinsa kytkettyjä ja päällekkäisiä matkapuhelinverkkoja, jolloin loppukäyttäjä voi vaivattomasti liikkua solun alueelta toisen solun alueelle ilman, että verkko katkeaa. Solut on yhdistetty toisiinsa takaisinkytkentäverkkoilla, joista on mahdollista siirtyä myös julkiskytkentäiseen puhelinverkkoon. (Shukla et al., 2013, s. 57)

2 Solukkojärjestelmä

Solukkojärjestelmä (engl. cellular network) eli matkapuhelinverkko tai matkaviestinverkko on maa-alueittain jaettu radioverkko, jonka jokaisessa solussa on oltava vähintään yksi kiinteä tukiasema (engl. base station). Jokaisessa solussa on käytössä eri taajuudet häiriöiden minimoimiseksi. Toisiinsa yhteen liitetyt solut tarjoavat laajan maantieteellisesti kattavan radioverkon. Solukkojärjestelmä mahdollistaa lukuisten kannettavien vastaanottimien, kuten matkapuhelimien, liittämisen radioverkkoon myös liikkumisen aikana. Matkapuhelinverkot kattavat suurimman osan maapallon asutetusta pinta-alasta. Mobiiliverkkojen avulla matkapuhelimet ja muut matkaviestintälaitteet voi kytkeä puhelinverkkoon ja internetiin. Yksityisiä matkapuhelinverkkoja käytetään joissain suurissa organisaatioissa esimerkiksi puolustusvoimissa tai vaikka isoissa taksifirmoissa. (Shukla et al., 2013, s. 55)

Nykyaikainen mobiiliverkkoteknologia perustuu suurten ja voimakkaiden solutornien (engl. cell towers) laajalle alueelle jakamaan signaaliin. Solut ovat usein säännöllisen kuusikulmaisia. Jokaiselle solulle on osoitettu useita taajuusalueita. Vierekkäiset solut eivät voi hyödyntää samoja taajuuksia, jotta liikenne pysyy häiriöttömänä. Solujen välissä on oltava vähintään yksi solu, jotta samoja taajuuksia voidaan hyödyntää uudestaan. Yksi lähetin kykenee hallitsemaan yhtä lähetystä yhdellä taajuudella. (IEEE Spectrum, 2017)

Solukkojärjestelmät ovat nopean ja suuren kapasiteetin ääni- ja tietoliikenneverkkoja. Niille olennaista on saumaton verkkovierailukyky ja paranneltu multimedian liikkuminen. Solukkojärjestelmät tarjoavat kattavan matkapuhelinverkon niin itse matkapuhelimille kuin monille muillekin palveluille, kuten esimerkiksi kriittisille E-911 -palveluille ja rahoitusalan liiketoiminnalle. Verkon hajoaminen tai sen häiriöt voivat johtaa suuriin taloudellisiin menetyksiin tai jopa ihmishenkien menettämiseen, joten niiden vakauden turvaaminen on keskeisen tärkeää. Solukkojärjestelmä on suunniteltu suorituskykytavoitteet keskiössä vanhojen matkapuhelinverkkojen pohjalta, verkkojen turvallisuuteen on kiinnitetty suhteellisen vähän huomiota. Tästä syystä solukkojärjestelmät sisältävät monia tunnettuja ja suojaamattomia haavoittuvuuksia. Myös Internet-yhteydet solukkojärjestelmässä aiheuttavat merkittäviä haavoittuvuuksia mahdollistaen Internet-käyttäjien pääsyn suoraan solukkojärjestelmän heikkoihin kohtiin. (Vacca et al., 2013, s.319)

Solukkojärjestelmän kannalta taajuusresurssien havainnointi ja niille pääsy ovat keskeisessä asemassa. Mobiiliteknologiassa neljä keskeistä kanavallepääsytekniikkaa, jotka ovat

taajuusjakoinen monipääsytekniikka eli FDMA (engl. frequency-division multiple access), aikajakoinen monipääsytekniikka eli TDMA (engl. time-division multiple access), ortogonaalinen taajuusjako eli OFDMA (engl. orthogonal frequency division multiple access) ja tilajakomonipääsytekniikka eli SDMA (engl. space-division multiple access). FDMA-tekniikka sallii usean käyttäjän lähettää dataa yhdellä kanavalla. Kanava jaetaan esimerkiksi mikrosäteen avulla jokaiselle käyttäjälle omaksi alikanavaksi. OFDMA on monen käyttäjän versio OFDM:sta. Siinä monipääsy on toteutettu osoittamalla alikantoaaltojen alajoukot yksittäisille käyttäjille. SDMA:ssa luodaan rinnakkaisia signaalialueita kehittyneen antennitekniikan avulla. (Miao et al., 2016, s. 32-34)

3 Nykyiset LTE -verkot ja tulevaisuus

Tässä teorialuvussa tutustutaan LTE-teknologiaan ja sen kehittyneempiin versioihin LTE Advanced ja LTE Advanced Pro. Luvun lopuksi käännetään katse tulevaisuuteen ja tutustutaan 5G NR-verkon keskeisiin kehityssuuntiin.

3.1 LTE

LTE (engl. long-term evolution) on solukkojärjestelmään perustuva matalamman energiankulutuksen moniantenniverkkoratkaisu langattomaan tiedonsiirtoon, joka luetaan kuuluvaksi 4G-teknologian. LTE-tekniikan ensimmäiset määrittelyt on jo julkaistu vuonna 2009. Se on noussut yhdeksi menestyneimmistä mobiililaajakaistateknologioista maailmanlaajuisesti. Mobiililaajakaistat ovat ja tulevat myös jatkossa olemaan tärkeä osa solukkoviestintäteknologiaa. Teknologia mahdollistaa suurien mobiiliverkkosolujen rakentamisen, jotka voivat olla halkaisijaltaan yli 100km, sekä paremman tiedonsiirron myös nopeassa liikkeessä. (Dahlman, 2018, s. XV)

LTE-tekniikka on kehitetty kolmannen sukupolven yhteistyöprojektissa 3GPP, joka koostuu useista standardointiorganisaatioista, jotka kehittävät yhteistyönä mobiiliverkkoratkaisuja. 3GPP on ollut mukana kehittämässä myös aiempia mobiiliverkkogeneraatioiden osa-alueita, kuten GSM-teknologiaa ja kansainvälistä mobiiliverkkojärjestelmää UMTS:ia. 3GPP on kuvannut LTE-teknologiaa kolmetoistaosaisessa julkaisusarjassaan. LTE-tekniikka ei ole täyttänyt ITU:n 4G-verkolle alun perin määrittämiä teknisiä vaatimuksia. Tästä syystä LTE-tekniikkaa kutsutaan toisinaan 3.95G-tekniikaksi. Myöhemmin ITU on muuttanut 4G standardia siten, että LTE-tekniikka täyttää neljännen mobiiliverkkosukupolven tekniset vaatimukset. LTE-standardi on ensimmäinen koko maapallon yhteinen mobiiliverkkostandardi. LTE-tekniikka on rantautunut eri aikoina eri maihin. Jotkut Euroopan maat ovat ottaneet LTE-standardit käyttöön jo vuonna 2009. (SearchMobileComputing, 2020)

Uutta LTE-tekniikassa verrattuna aiempiin generaatioihin on tapa lähettää myös äänipuhelut datapaketteina perinteisten puheluiden sijaan. Tekniikka tukee monien soittajien yhtäaikaista ja puheluiden keskeytyksistä seurannutta hukkadatan määrää kaistoilla. Tekniikka mahdollistaa myös yhteystiedoissa olevien henkilöiden aktiivisuustietojen näkemisen. (SearchMobileComputing, 2020)

4G LTE -teknologia on tuonut mukanaan tehokkaammat laajakaistaratkaisut loppukäyttäjän kannalta korkeammat tiedonsiirtonopeudet verrattuna 3G-teknologiaan. Myös viiveitä on pienennetty ja nopeat pakettidataratkaisut eli HSPA (engl. hig-speed packet access) ovat tehostaneet dataliikennettä lisäämällä alasuuntaisen linkin nopeutta. Tämän kaiken on mahdollistanut moniantennitekniikka ja OFDM-perustainen datansiirtotekniikka tuoden mukanaan laajemmat tiedonsiirtokanavat. (Dahlman, 2018, s. 2)

Kun 3G teknologia mahdollisti mobiiliviestinnän parittomilla spektreillä TD-SCDMA-tekniikan avulla, LTE-tekniikka tukee niin taajuusjakoista FDD-tekniikkaa (engl. frequency division duplexing) kuin aikajakoista TDD-tekniikkaakin (engl. time division duplex) operaatioita, joiden ansiosta mobiiliviestintä on mahdollista sekä parittomilla että parillisilla spektreillä. Tämän ansiosta LTE-standardi tukee monia kaistanleveyksiä 1,4-20 MHz alueella. E-ULTRA mahdollistaa käyttöalueen laajentamisen 700 MHz:stä aina 2,7 GHz alueelle asti. LTE-standardipäivityksissä on julkaistu uusia kaistoja esimerkiksi multimedialähetysten monilähetyspalvelua MBMS:n (engl. multimedia broadcast multicast service) ja eNB-tekniikan kotiversiota varten. (3GPP, 2020b)

LTE-verkon arkkitehtuuri on aiempia sukupolvia yksinkertaisempi. Tämän seurauksena tiedonsiirron viiveet pienenevät ja kustannukset laskevat. LTE-verkon arkkitehtuuri koostuu käyttäjälaiteista, E-UMTS maanpäällisestä kehittyneestä radioliityntäverkosta ja kehittyneestä paketin ytimestä. Kehittynyt pakettiydin kommunikoi esimerkiksi internetin kanssa. Näin käyttäjäystävällisyys kasvaa ja tekniikan hinta laskee. (Tutorials point, 2020)

LTE-verkossa data liikkuu kehittyneemmän pakettijärjestelmän, EPS:in (engl. evolved packet system) kautta. Se on puhtaasti IP-pohjainen protokolla, joka kuljettaa sekä reaaliaikaiset palvelut että tietoliikennepalvelut IP-protokollan mukaisesti. IP-osoite allokoidaan matkapuhelimen käynnistyttyä yhteydessä ja sammutetaan suljettaessa matkapuhelin. LTE-tekniikka hyödyntää kanavalle pääsyssä OFDMA-tekniikkaa (engl. orthogonal frequency division multiple access) eli ortogonaalista taajuusjaon monipääsytekniikkaa. OFDMA-tekniikan lisäksi LTE-verkoissa käytetään suurissa kaistanleveyksissä korkeamman asteen modulaatiota ja downlinkissä alasuuntaista multipleksointia. Näiden tekniikoiden ansiosta voidaan saavuttaa korkea tiedonsiirtonopeus. Suurin teoreettinen tiedonsiirtonopeus ylälinkille on 75 Mbit/s ja alasuuntaista multipleksointia käyttäen jopa 300 Mbit/s. (3GPP, 2020b)

Monikantaaaltotekniikka OFDM jakaa koko käytettävissäolevan kaistanleveyden kapeiksi ortogonaalisiksi alikantaaalloiksi. Alikantaaallot voidaan jakaa usealle eri käyttäjälle, jolloin kanavalle mahtuu enemmän käyttäjiä ilman, että käyttäjien dataliikenne aiheuttaa toisilleen häiriötä. OFDMA-tekniikka vaatii korkean huippunopeutensa seurauksena korkeiden lineaarisuusvaatimukset täyttäviä ja kalliita tehovahvistimia. Näiden seurauksena lähettäjän virrankulutus kasvaa. eNB-tekniikassa tästä ei ole haittaa, koska uplinkille on valittu yksiaaltainen SC-FDMA-tekniikka (engl. single-carrier FDMA). (SearchNetworking, 2020)

LTE-liityntäverkkona toimii kehittynyt NodeB-verkko eli eNB. Siinä eNB:et on liitetty X2-rajapinnan kautta S1-liitännällä ydinverkkoon ilman älykästä kontrolleria. Tämän seurauksena kanavanvaihtoon tarvittava aika pienenee. Loppukäyttäjän kannalta yhteyden muodostamiseen käytetty aika on oleellisen tärkeää esimerkiksi online-pelaamisen yhteydessä. Toinen keskeinen hajautettujen ratkaisujen etu on se, että ajoituksesta vastaava MAC-kerros on vain käyttölaitteessa ja tukiasemassa, jolloin kokonaistiedonsiirto nopeutuu. (3GPP, 2020b)

LTE-tekniikka on hyödyntänyt ensimmäisestä julkaisusta asti moniantennitekniikkaa. Nykyään LTE-tekniikka hyödyntää yleensä sekä vastaanottajan että lähettäjän antenneissa vähintään kahta antennia. Moniantennitekniikka mahdollistaa uutena ulottuvuutena paikkatietojen hyödyntämisen. Tästä tulee keskeistä pyrittäessä suurempiin spektritehokkuuksiin. On todettu, että teoreettisesti saavutettavissa olevat spektrin maksimitehokkuudet korreloivat suoraan käytettyjen lähetävien ja vastaanottavien antennien määrän kanssa. Moniantennitekniikka mahdollistaa uusien ominaisuuksien kehittämisen verkkotekniikoihin. Moniantennitekniikan avulla voidaan lisätä radioaallon monimuotoisuutta, tehokkuutta säteenmuodostuksen avulla sekä radioaallon tilan muutoksia. (Ericsson blog, 2020)

Käyttämällä moniantennitekniikassa alueellista multipleksointia, voidaan lähettää useita datavirtoja monimuotoisen MIMO-kanavan (engl. multiple-input-multiple-output) kautta. Esimerkiksi yhden käyttäjän SU-MIMO:ssa multipleksoidut datavirrat päätyvät samalle loppukäyttäjälle ja sijoitusten mukauttaminen mahdollistaa loppukäyttäjän datavirtojen dynaamisen muuntamisen. Datavirtojen paikallista multipleksointia kutsutaan MU-MIMO:ksi. (Ericsson blog, 2020)

3.2 LTE Advanced

LTE Advanced -teknologian tavoitteena on parantaa olemassa olevaa LTE-teknologian arkkitehtuuria ja radiotekniikkaa. LTE Advanced otettiin testeihin jo vuonna 2011. LTE-A-teknologialla on mahdollisuus kolminkertaiset latausnopeudet molempiin suuntiin verrattuna aiempaan LTE-teknikkaan. Uusi teknologia tukee kantoaaltojen yhdistämistä nopeuden ja luotettavuuden parantamiseksi. (SearchMobileComputing, 2020)

Kantoaaltojen yhdistämisen seurauksena verkon kapasiteetti kasvaa jopa 100 MHz taajuuden verran viidellä 20 MHz aaltokomponentin verran. LTE-A -tekniikka käyttää useita signaaleja ja moninkertaisia antennoja perinteisen LTE-version tavoin hyödyntäen MIMO-teknikkaa. LTE-A:aan moniantennitekniikka mahdollistaa usealla taajuudella samanaikaisen datan vastaanottamisen. Tällä hetkellä Qualcomm, Nvidia ja Broadcom valmistavat erityisiä siruja, joiden avulla laitteet saadaan tukemaan LTE-A-teknologiaa. Myös useat uudet laitteet, kuten Applen iPhone 8 tukee standardia. LTE-A -laitteet ovat yhteensopivia LTE-laitteiden kanssa. Muutamat laitevalmistajat tarjoavat jo LTE-A-laitteita. Niitä markkinoidaan 4G+ -laitteina. Tosin LTE-A verkon kattavuus on matala. (SearchMobileComputing, 2020)

3GPP:een LTE-verkkoratkaisuja koskeva kymmenes julkaisu määrittelee LTE-Advances-teknologian teknisiä tavoitteita. LTE-A -teknologian tavoitteena on tarjota korkeampia datansiirtonopeuksia kustannustehokkaammalla tavalla. Lisäksi yksi sen keskeisin tavoite on täyttää ITU:n IMT-Advanced-teknikalle, jota kutsutaan myös 4G-teknikaksi, asettamat vaatimukset. LTE-A-teknikan downlinkin huippunopeus on 3Gb/s ja uplinkille 1,5Gb/s. Suuremman spektritehokkuutensa ansiosta samanaikaisten aktiivisten käyttäjien määrää voidaan lisätä merkittävästi. Teknikalle on myös ominaista parempi suorituskyky myös solujen reuna-alueilla. Tärkeimpiä LTE Advanced -tekniikassa käyttöön otettuja toiminnallisuksia on operaattoreiden yhdistäminen eli CA (engl. carrier aggregation), moniantennitekniikoiden tehostettu käyttö ja tuki relesolmuille (engl. relay nodes). Relesolmujen avulla voidaan toteuttaa heterogeenisiä verkkoratkaisuja sekoittamalla sekä pieniä että isoja verkkosoluja keskenään. (3GPP, 2013)

3.3 LTE Advanced pro

3GPP on julkaissut jo lokakuussa 2015 LTE Advanced Pro -teknologiaa käsittelevän julkaisunsa. Julkaisun keskeisimmät uudistukset suhteessa aiempaan LTE-A-teknologiaan on LTE-A-Pro-tekniikan MTC-parannukset, turvallisuusominaisuuksien kehittyminen, pienisoluinen kaksoisyhteys, operaattoreiden yhdistämisen parannukset, yhteistyö Wi-Fi:n kanssa, lisensoitu ja avustettu kanavalle pääsy, 3D/FD-MIMO, sisätilojen sijainti ja työskentelyviiveen vähentäminen. Monien edellä mainittujen ominaisuuksien kehittäminen on jo aloitettu teknologian aiemmissa versioissa, mutta vasta nyt saatu kehitettyä valmiiksi. (3GPP, 2015)

LTE-A Pro -teknologia pyrkii vastaamaan uusien vaatimusten, kuten IoT-teknologian laajentumisen, perusteella syntyviin verkkohaasteisiin. IoT-laitteiden osalta LTE-A Pro-teknologian kaksi keskeistä tavoitetta on tehostaa suorituskyyä ja mahdollistaa internet-yhteydet. LTE-A-Pro -teknologian nopeus on yli 3Gb/s, jonka lisää IoT-laitteiden pattereiden kestoja. Viiveen taasen tulee olla alle kaksi millisekuntia, jolloin laitekustannuksia pystytään madaltamaan. Lisäksi 32x20MHz kaistanleveys mahdollistaa suuremman kattavuuden. (Artiza Networks, 2019)

LTE Advanced Pro -teknologialle on asetettu viisi tärkeintä tavoitetta tekniseen suorituskyyyn liittyen. Ne ovat paranneltu kantoaaltojen yhdistäminen, LTE-tekniikan laajentaminen lisensoimattomille taajuualueille, 64 antennin portit ja täyden ulottuvuuden MIMO-moniantennitekniikka, teollisuuteen NB-IoT-verkko ja laitteiden keskinäiseen kommunikaatioon eMTC. Kantoaaltojen yhdistämistä on jo kehitetty aiempien generaatioiden yhteydessä. LTE-A määritteli 5-komponenttiset kantoaallot, kun taasen LTE-A-Pro pyrkii kehittämään tekniikkaa 32-komponenttisiksi kantoaalloiksi. Tämä lisäisi merkittävästi tiedonsiirtonopeutta ja mahdollistaa monien operaattoreiden yhdistämisen eri kaistoille. LTE-tekniikan laajentaminen lisensoimattomille taajuualueille parantaisi spektritehokkuutta ja tarjoaisi paremman käyttökokemuksen. Masiivisen MIMO-tekniikan avulla tavoitteena on laajentaa aiemmasta 8 antenniportista jopa 64 antenniporttiin. Kapeakaistainen teollisuuden tarpeita palveleva NB-IoT-tekniikan tavoitteena on madaltaa laitekustannuksia ja energiankulutusta. eMTC-tekniikan tavoitteena on NB-IoT-tekniikan tavoin laitekustannusten ja energiankulutuksen madaltaminen. eMTC-tekniikalle on ominaista suhteellisen korkea datanopeus verrattuna muihin IoT-sovelluksiin. Sekä NB-IoT- että eMTC-tekniikat pyrkivät tarjoamaan verkon perinteisesti katvealueella oleviin tiloihin, kuten kellareihin. (Artiza Networks, 2019)

3.4 5G NR -verkko

5G-verkko mahdollistaa mobiililiikenteen tuhatkertaistamisen 4G-verkkoon verrattuna ja jopa kymmenen kertaa nopeammat verkkoyhteyden kuin, mitä 4G LTE. Viidennen sukupolven verkkoyhteydet ovat perusedellytyksiä monille tulevaisuuden teknologioille, kuten virtuaalitodellisuudelle, itseohjautuville autoille ja IoT-tekniikalle. Tällä hetkellä 5G perustana on viisi teknologiaa. Ne ovat millimetriaallot (engl. millimeter waves), pieni solutekniikka (engl. small cell), massiivinen MIMO (engl. Massive MIMO), säteenmuotoilu (engl. beamforming) ja täysi kaksisuuntaisuus (engl. full duplex). 5G-teknologia on vielä kehitysvaiheessa. IEEE ennustaa, että edellä mainitut viisi teknologiaa tulevat olemaan keskeisessä roolissa 5G-teknologiassa, mutta on mahdollista, että näiden lisäksi joillain muillakin uusilla teknologioilla tulee olemaan keskeinen rooli 5G-verkkojen toimivuuden suhteen. IEEE ennustaa myös vuonna 2017, että 5G saattaisi olla jo käytettävissä vuonna 2022. (IEEE Spectrum, 2017)

Perinteisesti verkkoratkaisut käyttävät alle kuuden gigahertsin taajuusalueita, joka on nykyään jo kovin ruuhkautunut. Lyhyet millimetriaallot yltyvät 30-300GHz taajuusalueelle, jolla ei ole muuta liikennettä. Tämä mahdollistaa nopeamman ja esteettömämmän dataliikenteen. Teknologian suurimpana ongelmana on se, etteivät lyhyen kantaman aallot läpäise yhtä hyvin esteitä, jolloin esimerkiksi rakennusten seinät, kasvillisuus ja jopa sade vaikuttaa lyhyen kantaman aaltojen liikenteeseen. Pieni solutekniikka auttaa ratkaisemaan millimetriaaltojen ongelmia. Isojen solutorien sijaan rakennetaan tiheästi pieniä perusasemia (engl. base stations). Etenkin kaupunkialueilla teknologian hyödyntämisestä on suurta etua. (IEEE Spectrum, 2017)

Massiivinen MIMO on lyhenne englanninkielisistä sanoista multiple input and multiple output. Perinteiseen 4G-teknologiaan verrattuna massiivisen MIMO teknologian solutorit lisäävät verkkoliikenteen määrää jopa yli 22-kertaisesti. Massiivisen MIMO:n ongelmana on lukuisat joka puolelle suuntaavat radioaallot, jotka haittaavat toistensa liikennettä. Säteenmuotoilun tekniikka on ratkaisu massiivisen MIMO-tekniikan ongelmille. Säteenmuotoilu suuntaa signaalin tietyn käyttäjän suuntaan, jolloin vältetään signaalien päällekkäisyydestä syntyvät ongelmat. Tekniikka laskee signaalien tulosuunnan ja algoritmin perusteella parhaimmat suunnat lähettävät omaa signaaliaan käyttäjille. Ongelmana on se, että nykyaikainen radiotekniikka mahdollistaa signaalin liikkumisen vain yhteen

suuntaan kerrallaan. Täyden kaksisuuntaisen radioliikenteen tekniikka tulee ratkaisemaan tämän ongelman rakentamalla signaalitielle eräänlainen ohituskaista, jolla vastakkaisiin suuntiin kulkevat signaalit voivat ohittaa toisensa törmäämättä toisiinsa. (IEEE Spectrum, 2017)

5G NR (engl. new radio) uusi 5G-langattoman lähiverkon teknologia. 5G NR teknologia koostuu paremmasta langattomasta pääsystä (engl. fixed wireless access), sisätilojen verkkomahdollisuuksista, yksityisistä ja julkisista verkoista, massiivisesta IoT:stä, XR-laajennetusta todellisuudesta, äärimmäisen tehokkaasta laajakaistasta sekä älyautoilusta. 5G NR-teknologia hyödyntää niin matalia alle 1 GHz taajuuksia kuin korkeitakin yli 24 GHz taajuuksia sekä niiden yhdistelmiä alueella 1-6 GHz. Qualcomm (2020) ennustaa 5G ratkaisuiden lisäävän 60-kertaisesti maailmanlaajuista dataliikennettä vuosien 2013-2024 välillä. Se arvioi myös globaalin kuukausittaisen datamäärän olevan noin 131 miljardia gigatavua vuonna 2024 ja tästä datamäärästä noin 75% liikkuisi mobiililaitteiden välillä. (Qualcomm, 2020)

5G-teknologian yhteydessä puhutaan usein kolmesta keskeisimmästä käyttötapavasta, jotka ovat tehostettu laajakaista eli eMBB (engl. enhanced mobile broadband), massiivinen konetyyppinen viestintä eli mMTC (engl. massive machine-type communication) ja hyvin luotettava ja pienen viiveen viestintä eli URLLC (engl. ultra-reliable and low-latency communication). Dahlman et al. (2018) huomauttaa 5G teknologian käyttötapausluokittelun olevan keinotekoista ja sen tavoitteena pitkälti vain yksinkertaistaa asioita. Moni käyttökohde ei sovi edellä mainittuihin luokkiin tai sitten se voi sopia moneen luokkaan. (Dahlman et al., 2018, s. 4)

eMBB-tekniikalle on tyypillistä korkeat datanopeudet ja suuret datamäärät. mMTC-tekniikka mahdollistaa suurten laitemäärien liittämisen verkkoon, se on edullinen ja energiatehokas teknologia, jonka mahdollistaa esimerkiksi langattomien laitteiden pattereiden pidemmän käyttöajan. Sen avulla saa liitetyksi verkkoon esimerkiksi liikuteltavat sensorilaitteet, toimilaitteet ja sen avulla voi toteuttaa helposti lukuisten laitteiden valvontaa. URLLC-tekniikalle keskeistä on erittäin matalat viiveet tiedonsiirrossa ja hyvin korkea luotettavuus ja saatavuus. Esimerkkejä URLLC-tekniikan käyttökohteille ovat muun muassa liikenneturvallisuus, automaattinen laitteiden kontrollointi ja teollisuusautomaatiot. Vaikka 5G NR-teknologia on vasta kehittymässä, suunnitellaan jo uutta 5GCN-teknologiaa (engl. core network), joka tulee mahdollistamaan LTE-sukupolven laitteille yhdistettävyyden 5G-verkkoihin (Dahlman et al., 2018, s. 3-4, 6)

3GPP päätti joulukuussa 2019 5G NR -tekniikan jatkokehityksen linjoistaan. 5G NR -radioteknologian kehittämiseen osallistuvat lukuisat niin kaupalliset kuin teollisetkin sidosryhmät. Jatkokehitys keskittyy fyysisen kerroksen ominaisuuksiin, radioprotokollien kehittämiseen ja radioarkkitehtuurin parantamiseen. Seuraavan kerran työryhmä tekee uusia päätöksiä ja linjavetoja 5G NR-tekniikan kehityksen suuntaviivoista vuoden 2020 kesäkuussa. Tammikuussa 2020 on alkanut työ muun muassa MIMO:n, spektrinjakoparannusten, UE-virransäästön ja kattavuuden parantamisen parissa. Maaliskuussa 2020 on taas alkanut työ protokollaparannusten parissa. (3GPP, 2020a)

LÄHTEET

3GPP (2020a). 5G in Release 17 – strong radio evolution. Viitattu: 12.6.2020. Saatavilla: <https://www.3gpp.org/news-events/2098-5g-in-release-17-%E2%80%93-strong-radio-evolution>

3GPP (2020b). LTE. Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

3GPP (2013). LTE-Advanced. Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

3GPP (2015). LTE-Advanced Pro. Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: https://www.3gpp.org/news-events/1745-lte-advanced_pro

Artiza Networks (2019). Introduction to LTE-A Pro. Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/lteapro.html>

Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2018). 5G NR: The next generation wireless access technology. Academic Press.

Ericsson blog (2020). Multi-antennas for improved LTE performance. Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://www.ericsson.com/en/blog/2015/1/multi-antennas-for-improved-lte-performance>

IEEE Spectrum (2017). Everything You Need to Know About 5G. Viitattu: 11.6.2020. Saatavilla: <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>

Miao, G., Zander, J., Sung, K. W., & Slimane, S. B. (2016). *Fundamentals of mobile data networks*. Cambridge University Press.

Qualcomm (2020). Future of 5G. Viitattu: 12.6.2020. Saatavilla: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/making-5g-nr-a-commercial-reality.pdf>

SearchMobileComputing (2020). LTE (Long Term Evolution). Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/Long-Term-Evolution-LTE>

SearchNetworking (2020). Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM). Viitattu: 16.6.2020. Saatavilla: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/orthogonal-frequency-division-multiplexing>

Shukla, S., Khare, V., Garg, S., & Sharma, P. (2013). Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G. *J. Eng. Comput. Appl. Sci*, 2(4), 55-63.

Tutorials point (2020). LTE Network Architecture. Viitattu: 12.6.2020. Saatavilla: https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm

Vacca, J. R. (Ed.). (2013). *Network and system security*. Elsevier.

Z Series Innovations, 2015. Generations in Telecommunication (1G, 2G, 3G, 4G). Z Series Innovations. Viitattu: 3.6.2020. Saatavilla: <https://www.zseries.in/telecom%20lab/telecom%20generations/>