

Alexi Ylinen

SOVELLUSTEN VAATIMUKSET
4G/5G-MOBIILIVERKOILLE

Tieto- ja viestintätekniikan koulutusohjelma
2020

SOVELLUSTEN VAATIMUKSET 4G/5G-MOBIILIVERKOILLE

Ylinen, Aleksi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintätekniiikan koulutusohjelma
Toukokuu 2020
Sivumäärä: 38
Liitteitä: -

Asiasanat: 4G/LTE, 5G, IoT, matkaviestinverkot, datasiirto

Opinnäytetyössä selvitettiin, mitä nykypäivän käyttötarkoitukset edellyttävät mobiili-dataverkolta ja mitä verkkoa kukin sovellutus vaatii. Teoriaosuudessa esiteltiin lyhyesti verkkogeneraatioiden historia ja kuvattiin 4G/LTE-, ja 5G-verkkojen arkkitehtuurit ja keskeiset tekniikat. Niiden jälkeen analysoitiin verkkojen käyttötarkoituksia esimerkkitapausten valossa ja mitä ominaisuuksia verkoilta vaaditaan nykypäivänä tukemaan yhteiskunnan tarpeita tyydyttävästi.

APPLICATION REQUIREMENTS FOR 4G/5G MOBILE NETWORKS

Ylinen, Aleksi

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Information- and communications technology

May 2020

Number of pages: 38

Appendices: -

Keywords: 4G/LTE, 5G, IoT, mobile networks, data transmission

It was investigated in this thesis what is required of mobile data networks and which network generation is required by various applications. The history of network generations was briefly introduced in the theoretical part and the architectures and key technologies of 4G/LTE, and 5G networks were described. These application requirements were then analyzed in the light of the network service case examples and which features are required of the mobile networks today to support the needs of society satisfactorily.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MOBIILIVERKKOJEN KEHITYS.....	6
2.1	1G.....	6
2.2	2G.....	6
2.3	3G.....	7
2.4	4G/LTE.....	8
2.5	5G.....	8
3	4G-VERKKOARKKITEHTUURI JA TEKNIIKAT	11
3.1	4G-verkkoarkkitehtuuri	11
3.1.1	The User Equipment.....	11
3.1.2	The E-UTRAN (radioverkko).....	12
3.1.3	The Evolved Packet Core (Runkoverkko).....	13
3.2	LTE-verkkojen avaintekniikat	13
3.2.1	Radioyhdeydet	14
3.2.2	Carrier Aggregation	14
3.2.3	MIMO	15
3.2.4	Cell hardware	16
3.2.5	IoT-tuki	17
4	5G-VERKKOARKKITEHTUURI JA AVAINTEKNIIKAT	18
4.1	5G-verkkoarkkitehtuuri	19
4.1.1	5G-Radioverkko (RAN)	20
4.1.2	5G-Ydinverkko (Core)	21
4.2	5G-verkkojen avaintekniikat.....	22
4.2.1	MEC	22
4.2.2	MassiveMIMO.....	22
4.2.3	NFV	24
4.2.4	Verkon viipalointi	24
4.2.5	5G spektri ja taajuus.....	25
4.2.6	5G-tilanne	27
5	KÄYTTÖTARKOITUKSET.....	29
5.1	Datavaatimukset.....	29
5.2	Viihdekäyttö.....	30
5.3	Teollisuuskäyttö	33
6	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Mobiilidatan siirtomäärä kasvaa ja käyttäjiä tulee jatkuvasti lisää nopeasti. Älypuhelimien ja sosiaalisen median vaikutuksesta, sekä kasvavasta IoT (Internet of things) ja D2D-yhteyksistä (Device-to-Device) tarvitaan nopeampaa ja vakaampaa Internetiä suurille käyttäjämäärille, kun nykyään voi kytkeä jopa jääkaapin tai lampun verkkoon. 4G-LTE (long term evolution) on verkkoratkaisu, joka on jo standardoitu viimeiseen versioonsa 5 vuotta sitten, mutta verkko-operaattorit eivät välttämättä ole vielä ottaneet käyttöön kaikkia tekniikoita. LTE-yhteyksiä parannellaan vieläkin jatkuvasti, jotta verkko pysyisi mukana tässä kasvussa edes jotenkin. 5G (viides generaatio) tulee olemaan juuri tälle kasvulle suunniteltu kokonaisuus, mutta sekin tulee käyttämään aluksi paikalla olevan LTE-verkon runkoa ja sen ominaisuuksia vielä usean vuoden ajan, kunnes 5G:n Standalone-versio saadaan rakennettua, ja jopa vielä tämän jälkeenkin. Mutta kun 5G-SA verkko saadaan kuntoon, niin todennäköisesti langaton viestiminen mullistuu aivan uudelle tasolle.

2 MOBIILIVERKKOJEN KEHITYS

Työssä mainitaan 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Se on maailmanlaajuinen organisaatio, joka yhdistää ja päättää mobiiliteknologian standardien määritelmät. Siitä on tullut 3G-verkon jälkeen olevien matkaviestinverkkojen keskipiste. Sen edistymistä määritelmien tarkistamisessa mitataan ”Releaseina”, eli julkaisuina. (Kavanagh a.)

2.1 1G

1970-luvulla otettiin käyttöön ensimmäisen sukupolven eli 1G:n matkapuhelinverkot. Näitä järjestelmiä kutsuttiin ”cellular:eiksi”(solu), jotka myöhemmin lyhennettiin ”cell”, johtuen menetelmästä, jolla signaalit luovutettiin tornien välillä. Matkapuhelin-signaalit perustuivat analogisiin järjestelmäsiirtoihin. Isoimpia järjestelmiä olivat Advanced Mobile Phone System (AMPS) Pohjois-Amerikassa, Total Access Communication Systems (TACS) UK:ssa ja Nordic Mobile Phone (NMT) Euroopassa. Niiden ominaisuudet rajoittuivat vain puheluihin, jotka lähetettiin datapaketteina tornien välillä, sekä ne olivat usein saatavilla kansallisella tasolla rajoitetusti tai ilman kansainvälistä verkkovierailua. (Nubarron J) Maailmanlaajuiset matkapuhelinmarkkinat kasvoivat 30 prosentista 50 prosenttiin vuosittain 1G-verkon ilmestymisen myötä, ja maailmanlaajuisesti tilaajien määrä oli noin 20 miljoonaa vuoteen 1990 mennessä. (Nubarron J)

2.2 2G

1990-luvun alussa aloitettiin 2G-puhelinten käyttöönotto. GSM (Global System for Mobile communications) käyttää digitaalista modulaatiota äänenlaadun parantamiseksi, mutta verkko tarjoaa myös rajoitettua datapalvelua. Se käyttää TDMA-tekniikkaa (Time-division multiple access), joka jakaa lähetysskanavien signaalit eri aikaväleille. Oleellinen ero edelliseen sukupolveen on se, että 2G-verkko on digitaalinen. Digitaalisuuden avulla puhelut saatiin salattua. Kysynnän herätessä matkapuhelimiin 2G-operaattorit jatkoivat tiedonsiirron laadun ja kattavuuden parantamista. 2G-operaattorit alkoivat myös tarjota lisäpalveluja, kuten fakseja, tekstiviestejä (SMS) ja

ääniviestejä. Rajoitetut 2G-datapalvelut sisälsivät WAP:n (Wireless Application Protocol) ja HSCSD:n (High Speed Circuit Switched Data). (Nubarron J)

Niin sanottu 2.5G otettiin käyttöön 1990-luvun lopulla. Siinä käytettiin CDMA-protokollaa (Code-division multiple access). Se käyttää GPRS-standardia (General Packet Radio Service), joka toimittaa pakettikytkentäisen datan olemassa oleviin GSM-verkoihin ja se mahdollisti datan siirtämisen 50kbps:n nopeudella. Sen avulla käyttäjät voivat lähettää graafisia tietoja paketteina. Pakettikytkennän merkitys kasvoi Internetin ja Internet-protokollan, eli IP:n nousun myötä.

EDGE-verkko (Enhanced Data rates for GSM Evolution), joka on GPRS:n muunnelma, on esimerkki 2.5G-mobiilitekniikasta. Sillä saatiin 240kbps:n tiedonsiirtonopeudet uudistamatta verkkoa. (Telcoantennas.)

2.3 3G

3G mahdollisti matkapuhelinasiakkaiden käyttää ääni- ja videosovelluksia. 3G:n kautta on mahdollista katsella suoratoistovideoita ja osallistua videopuheluun, vaikka tällaisia toimintoja rajoitti voimakkaasti verkon pullonkaulat ja liiallinen käyttö. UMTS avasi tien Internet-tyylisiin sovelluksiin. (Nubarron J)

3G-standardissa hyödynnetään UMTS-tekniikkaa (Universal Mobile Telecommunications System) sen ydinverkkoarkkitehtuurina. Tämä verkko yhdistää 2G-verkon ominaisuudet uusiin tekniikkoihin ja protokoliin, jolloin datanopeus on huomattavasti nopeampi. UMTS pohjautuu WCDMA:han (Wideband Code Division Multiple Access) ilmarajapinnassa, joka on paranneltu versio 2G:n CDMA:sta. UMTS käyttää HSPA-protokollaa (High Speed Packet Access), joka on HSDPA-protokolla (downlink) ja HSUPA-protokolla (uplink) yhdistelmä. 3G-puhelimen nopeudet antavat jopa 2 Mbps:n nopeutta, mutta vain parhaissa olosuhteissa ja paikallaan. Suurella nopeudella liikkuminen voi pudottaa kaistanleveyden vain 145 kbps:iin. 3G-tekniikka tukee sekä paketti- että piirikytkentäistä tiedonsiirtoa, ja yhtenäistä standardisarjaa voidaan käyttää maailmanlaajuisesti yhteensopivuuteen useiden mobiililaitteiden kanssa. UMTS

tarjoaa ensimmäisen mahdollisuuden maailmanlaajuiseen verkkovierailuun, ja mahdollisen pääsyn Internetiin mistä tahansa paikasta. (Nubarron J; Telcoantennas.)

3.5G:ssä päivitettiin HSPA+:n (Evolved High Speed Packet Access), joka oli seuraava versio HSUPA and HSDPA 3G-standardeista. Sen päätarkoitus oli parantaa huonot 3G:n kantavuudet. Sen nopeudet vastaavat ensimmäisiä LTE-verkkoja. HSPA+ käyttää Dual Carrier tekniikkaa ja 64QAM modulaatiota (Quadrature Amplitude Modulation). Teoreettisilla nopeuksilla sanottiin olevan 168 Mbps:n latausnopeus ja 22 Mbps:n lähetysnopeus. (Telcoantennas.)

2.4 4G/LTE

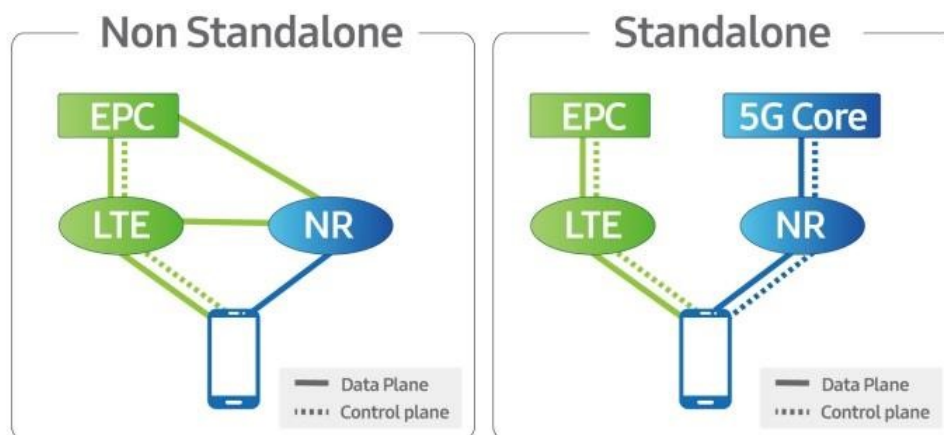
Koska tietokulutustarpeemme kasvoivat, ymmärrettiin, että saavutamme päätepysäkin jossain kohtaa. Vuosituhannen vaihteessa The International Telecommunications Union (eli ITU, joka hallinnoi esimerkiksi radiotaajuuksia) antoi 3GPP:lle tehtäväksi selvittää, mitä voitaisiin tehdä olemassa olevien verkkojen parantamiseksi. Keksittiin LTE. Termi tulee sanoista Long Term Evolution. Sen pääidea oli rakentaa standardi, jota voitaisiin päivittää helposti nopeammaksi lähituleisuudessa, ja että se olisi taaksepäin yhteensopiva. LTE-verkko olisi uudelleensuunniteltu siitä, mikä oli tällä hetkellä käytössä, joten kustannukset olivat suhteellisen alhaiset. Koska molemmat CDMA, sekä GSM olivat saavuttaneet tasaisuuden tiedonsiirtonopeudessa, LTE vaikutti hyvältä vaihtoehdolta. Se oli halvempi, käytti nykyisiä teknologioita ja se voitaisiin kehittää aika nopeasti. LTE-standardi viimeisteltiin 3GPP:n Release 8:ssa vuonna 2008 ja ensimmäinen verkko julkaistiin vuonna 2009 (Swanner N.)

2.5 5G

5G on nyt maailmalla rakenteilla oleva, ja monessa maassa toimiikin jo kaupunkialueilla 5G-NSA (Non-standalone) viidennen generaation verkko. 5G jatkaa LTE:n tietä, mikä mahdollistaa entistä korkeammat datanopeudet, huomattavasti suuremman liitettävyyden ja entistäkin tehokkaamman mobiililaajakaistan. 5G:n laajuus on kuitenkin paljon laajempi kuin pelkästään parannettu mobiililaajakaista. 5G:tä kuvataan usein

alustana, jonka pitäisi mahdollistaa langattoman yhteyden luominen olennaisesti mihin tahansa laitteeseen tai sovellukseen, joka saattaa liittyä toisiinsa. Konetyyppisen viestinnän (Machine-type communication, MTC) käsite on osa tätä laajennettua käyttötapausten joukkoa, joita odotetaan 5G-aikakaudella. LTE:n kehittymisen yhteydessä on jo toteutettu merkittäviä toimia tiettyjen MTC-sovellusten tuen lisäämiseksi. Tarkemmin sanottuna nämä vaiheet ovat keskittyneet massive-MTC-sovelluksiin. Ne liittyvät erittäin edullisiin laitteisiin, joilla on erittäin pitkä akun käyttöikä, mutta suhteellisen vaatimattomat datanopeudet ja viivevaatimukset. (Dahlman, Parkvall, Skold. 2016, 4.)

On kuitenkin tärkeää tajuta, että vaikka 5G-liittymiä, ja niille tarkoitettuja mobiililaitteita kaupataan jo, niin kunnan 5G-verkko on vielä monen vuoden päässä. Tämän hetkinen Non-standalone (NSA) 5G NR (New Radio) versio julkaistiin 2017 joulukuussa. Se on ensimmäinen 5G-standardi. Standalone (SA) standardi valmistui syyskuuhun 2018 mennessä. Avain NSA:n ja SA:n erojen ymmärtämiseen on verkon taustalla. Ensimmäiset NSA-standardiin perustuvat 5G-verkot käyttävät olemassa olevaa 4G LTE-infrastruktuuria ohjaustason (control plane/user plane) käsittelemiseen. Ohjaustaso käsittelee signaaliliikennettä, hallitsee kuinka käyttäjän laitteet muodostavat yhteyden tukiasemiin, tarkistavat liittymät jne. Sillä välin, datataso (data plane) on mitä käytämme datan lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Tämä on havainnollistettu kuvassa 1



Kuva 1 Nonstandalone vs standalone (Robert T.)

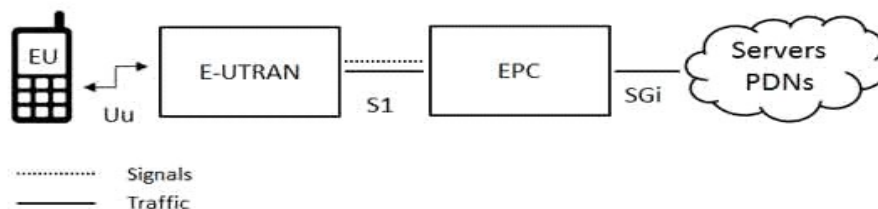
5G NSA:n voidaan ajatella olevan vain ylimääräinen nopea dataputki kiinnitettynä olemassa olevaan 4G LTE-ydinverkkoon. Standalone (SA) -määrityksen hyväksyminen tarkoittaa ohjaustason siirtymisen 5G-ytimeen ja merkitsee paljon suurempia muutoksia verkkojen toimintatapoihin. (Robert T.)

Mitä latausnopeuksiin tulee, todellisessa käyttöympäristössä DOCOMO (Japanin suurin teleoperaattori) on tallentanut yli 2 Gbps nopeuksia. 10Gbps on laajalti hyväksytty 5G:n realistiseksi odotukseksi, kun se on standalone versiossa, mutta on epätodennäköistä, että varhaiset palvelut saavuttavat tällaiset nopeudet alusta alkaen. Huomiona, että käyttäjänopeudet eivät ole samat kuin verkon realistinen odotusnopeus. (Kavanagh 2018)

3 4G-VERKKOARKKITEHTUURI JA TEKNIIKAT

3.1 4G-verkkoarkkitehtuuri

LTE:n verkkoarkkitehtuuri kokonaisuutta kutsutaan nimellä System Architecture Evolution (SAE), joka sisältää EPC (Evolved Packet Core) -verkon. LTE on GSM/UMTS-standardien seuraava versio. LTE:n tavoitteena oli lisätä langattoman tiedonsiirtoverkon kapasiteettia ja nopeutta käyttämällä uutta digitaalista signaalinkäsittely tekniikkaa ja modulaatiota, jotka kehitettiin vuosituhaten vaihteessa. Tavoitteena oli myös uudistaa ja yksinkertaistaa verkkoarkkitehtuuria IP-pohjaiseen järjestelmään, jossa siirron latensi oli huomattavasti pienempi kuin 3G-järjestelmässä. (Rémy & Letamendia. 2014, 14) LTE-verkko (kuva 2.) koostuu kolmesta eri osasta: The User Equipment (UE), The Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ja The Evolved Packet Core (EPC).

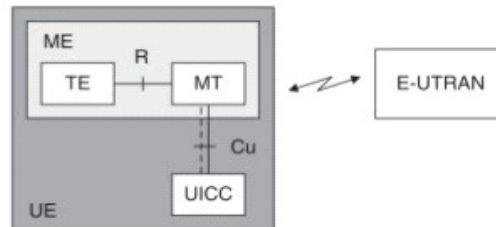


Kuva 2 Yksinkertaistettu kuva LTE-verkko kokonaisuudesta (Tutorialspoint.)

3.1.1 The User Equipment

LTE:n käyttäjälaitteen sisäinen arkkitehtuuri on havainnollistettu kuvassa 3. Tämä laite voi olla mobiili- tai IoT-laite. Laitteet koostuvat seuraavista tärkeistä moduuleista: Mobile Termination (MT), joka kattaa kaikki kommunikaatiotehtävät, Terminal Equipment (TE), joka huolehtii datavirroista ja Universal Integrated Circuit Card:sta (UICC), joka on LTE-laitteiden SIM-kortti, se käyttää sovellusta USIM (Universal Subscriber Identity Module). USIM tallentaa käyttäjäkohtaiset tiedot, kuten puhelinnumeron, kotiverkon tunnisteet ja salausavaimet. (Tutorialspoint.)

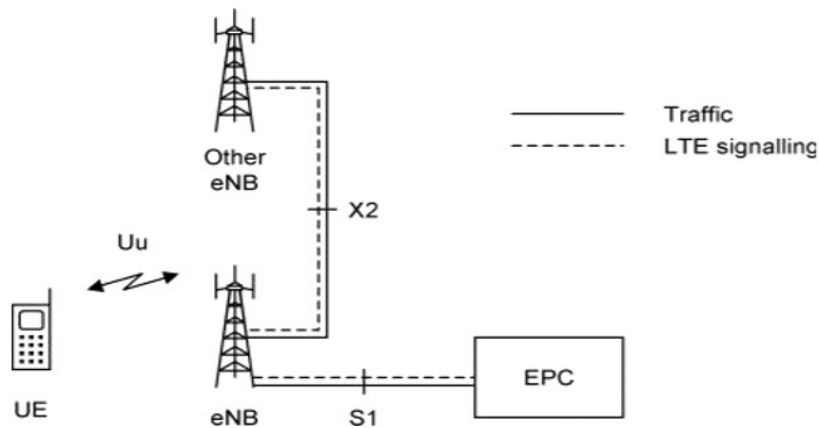
User Equipment: Architecture of the UE



Kuva 3 Käyttäjälaitteen sisäinen arkkitehtuuri (An Introduction to LTE 2012, 22.)

3.1.2 The E-UTRAN (radioverkko)

Alla olevassa kuvassa 4 näkyy radioverkon arkkitehtuuri:

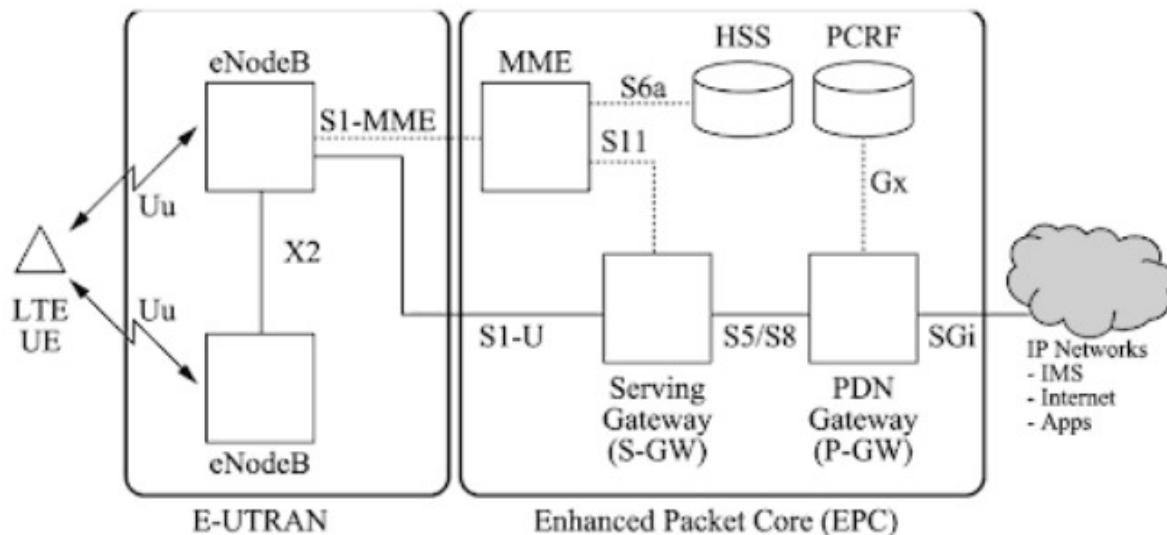


Kuva 4 E-UTRANin arkkitehtuuri (An Introduction to LTE 2012, 23)

E-UTRAN hoitaa päätelaitteen ja EPC:n välillä olevan radioyhteyden. Sillä on vain yksi komponentti, The Evolved Base Station, jota kutsutaan eNodeB:ksi. Jokainen eNB on tukiasema, joka ohjaa laitteita yhdessä tai useammassa solussa. Tukiasema, joka on yhteydessä laitteeseen, tunnetaan Serving eNB:nä. LTE-laite kommunikoi vain yhden tukiaseman ja siitä yhden solun kanssa kerrallaan. ENodeB:llä on kaksi pääfunktiota: eNB lähettää ja vastaanottaa radiolähetyksiä kaikille laitteille käyttäen LTE-ilmarajapinnan analogisia ja digitaalisia signaalinkäsittelytoimintoja ja eNB ohjaa kaikkien sen laitteiden matalan tason toimintaa lähettämällä niille signalointiviestejä, kuten handover-viestejä (kanavanvaihtokomentoja). (Tutorialspoint.)

3.1.3 The Evolved Packet Core (Runkoverkko)

EPC:n arkkitehtuuri on käsitelty kuvassa 5.



Kuva 5 LTE:n koko arkkitehtuuri (LTE Standards 2014, 15)

Seuraavaksi lyhyt kuvaus kustakin edellä mainitussa arkkitehtuurissa esitetystä komponentista: Home Subscriber Server (HSS)-komponentti on keskustietokanta, joka sisältää tietoja kaikista verkko-operaattorin tilaajista. PDN-yhdyskäytävä (P-GW) on yhteydessä ulkomaailmaan eli pakettidataverkkoihin, kuten internet tai IP-multimediajärjestelmiin. Jokainen pakettidataverkko tunnistetaan yhteyspisteen nimellä (APN). Palveleva yhdyskäytävä (The Serving Gateway, S-GW) toimii reitittimenä ja välittää datan tukiaseman (eNB) ja PDN-yhdyskäytävän välillä. Liikkuvuudenhallintayksikkö (The mobility management entity, MME) ohjaa laitteen korkean tason toimintaa signaalointiviestien ja Home Subscriber Server (HSS) avulla. (Tutorialspoint.)

3.2 LTE-verkkojen avaintekniikat

LTE-verkoista on monta versiota, jotka ovat julkaistu 3GPP:n eri julkaisuissa. Versioita ovat LTE, LTE-A ja LTE-A Pro/Gigabit LTE. Jokaisessa versiossa tuotiin joko uusi tekniikka kehiin, tai parannettiin aiempaa. Käsitelen tässä kappaleessa olevat tekniikat uusimman, eli Gigabit LTE:n näkökulmasta, joka julkaistiin alun perin julkai-

sussa 13:ssa, mutta sitä parannettiin julkaisussa 14:ssa. Tämä verkkoversio tulee säilymään 5G:n tukena aluksi kaupunkialueille, mutta myöhemmin varsinkin taajama-alueilla verkon kantavuuden lisäämiseksi.

3.2.1 Radioyhdeydet

LTE-verkot käyttävät ortogonaalista taajuusjakomultipleksointia (OFDMA) downlinkin suunnassa, joka välittää dataa useilla kapeakaistaisilla 180 kHz:n kantoaalloilla. Yksittäisen nopean lähetyksen sijasta datavirta jaetaan moniin hitaampiin datavirtoihin (subcarriers), jotka lähetetään samanaikaisesti. Sen hyötyjä ovat muun muassa vahvempi signaali ja se käyttää tehokkaammin taajutta. (Sauter 2017, 211.)

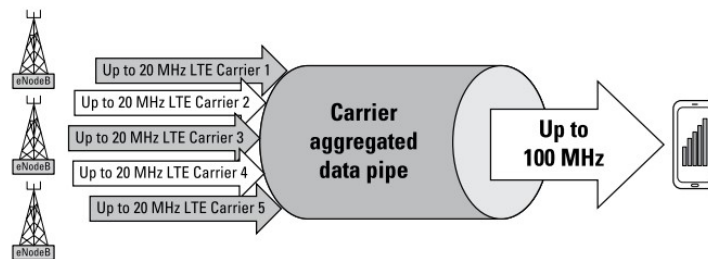
Uplink-suunnassa se käyttää SC-FDMA:ta (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Se on käytännössä kuin OFDMA, mutta siinä on muutama lisäkohta. Sen sijaan että signaalia jaettaisiin, ja siitä jaetusta signaalista tehtäisiin oma signaali (subcarrier), aikapohjainen signaali muunnetaan taajuuspohjaiseksi signaaliksi FFT-toiminnolla. (Sauter 2017, 230.)

LTE:n ilmarajapinnasta (radioyhteysosa tukiaseman ja päätelaitteen välillä) on kaksi eri versiota. Useimmat verkot ympäri maailmaa käyttävät Frequency Division Duplexausta (FDD), joka jakaa uplinkin ja downlinkin lähetykset erilleen. Osa maailman verkoista taas tukee Time Division Duplexia (TDD), joka puolestaan käyttää samaa signaalia, mutta ne ovat eroteltu ajallisesti. (Sauter 2017, 212.)

3.2.2 Carrier Aggregation

Todennäköisesti LTE:n tärkein tekniikka on ”taajuusalueiden yhdistys” (Carrier Aggregation, CA). Tämä tekniikka on suunniteltu moninkertaistamaan yhteyksien kaistanleveyden, niin LTE, kuin 5G:ssäkin sallimalla tiedostojen lataamisen samanaikaisesti useista verkkokaistoista. LTE-taajuusalueet tai -kaistat jaetaan tietokantoihin, joiden kaistanleveys voi olla maksimissaan 20 MHz (Megahertziä). Viisi taajuusaluetta voitiin yhdistää ensimmäisessä versiossa. CA yhdistää näiden eri taajuuksien signaalit, jolloin kaistanleveys voi nousta jopa 100 MHz:iin yhdellä yhteydellä. Tämä koskee

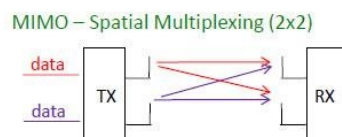
sekä FDD-verkkotyyppettä, että TDD-verkkotyyppettä, sekä lataus- että lähetyssyhteyksissä. Carrier Aggregation voi toimia vierekkäisillä (Contiguous) taajuusalueilla, jotka sijaitsevat samassa toimintataajuuskaistassa, tai ei-vierekkäisillä (Non-Contiguous) kaistoilla eri taajuusalueilta. (Wannstrom 2013.) Gigabit LTE:ssä standardoitiin Advanced Carrier Aggregation, joka kasvattaa samaan aikaan tuettavien kantojen määrää viidestä (LTE-A:ssa) 32:een. Tämä saavutetaan käyttämällä lisensoitua käyttöoikeutta (Licensed-Assisted Access, LAA), jonka 3GPP otti käyttöön 2015. (Kavanagh S a.) LAA sallii lisensoitujen ja lisensoimattomien taajuusalueiden samanaikaisen käytön. LAA:n ajatuksena on antaa 5 GHz:n palveluiden, kuten Wi-Fin siirtää mobiilidataa sen ollessa mahdollista. (Carritech telecommunications.) Kuvassa 6. näemme havainnollistetusti, miten tämä tekniikka toimii.



Kuva 6 Carrier Aggregation yhdistää useamman LTE-kantajan signaalin, joka kasvattaa datavirtaa ja parantaa netin tehoa (Miller 2016, 9.)

3.2.3 MIMO

Multiple Input Multiple Output technology (MIMO) on teknologia, jota tarvitaan LTE-A:n toimimiseen. MIMO lisää yleistä siirtotaajuutta yhdistämällä kahden tai useamman antennin tietovirrat samaan aikaväliin ja se mahdollistaa Carrier Aggregationin. Sen sijaan, että lähetettäisi yksittäistä tietoa yhdeltä lähettimeltä yhdelle vastaanottimelle, voit lähettää saman yksittäisen tiedon useilta lähettimiltä useille vastaanottimille, jotka päätelaite sitten yhdistää oikein. (Wannstrom 2013.)

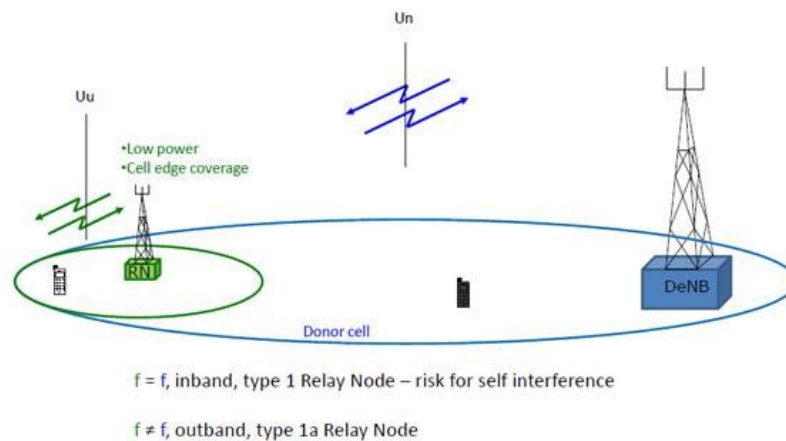


Kuva 7 Yksinkertaisin versio MIMO:sta. 2 lähetintä (TX) ja 2 vastaanotinta (RX) (Wannstrom, J. 2013)

Yllä olevassa kuvassa 7. on havainnollistettu 2x2 MIMO-antenni. MIMO on rinnakkainen prosessi, joka suurentaa huomattavasti tietojen määrää ja jonka avulla voit lähettää ja vastaanottaa joka toinen sekunti (bittiä per hertziä kohti), jos sinulla on vastaanottomodeemi laitteessa, joka voi lajitella kaikki tiedot oikeaan järjestykseen. Lisääntynyt MIMO-järjestely parantaa myös vanhojen yhteyksien, kuten CDMA, GSM ja WCDMA, nopeutta ja yhteyden laatua. (Wannstrom 2013.) Julkaisu 14:ssa standardoitiin tuki yli 64 antenniportille eNB:ssä, tehden tietä 5G:n MassiveMIMO:a varten. (Kavanagh, S a)

3.2.4 Cell hardware

Yksi LTE-tekniikan käyttöönotettu osa on operaattorin oma laitteisto, jota kutsutaan välityssolmuksi (Relay Node). Vaikka välityssolmut eivät ole olennainen osa tiedon siirtonopeuksien parantamista, ne parantavat LTE-yhteyksien saatavuutta ja tarjoavat enemmän yhteyksiä.



Kuva 8 Relay Node (RN) yhdistettynä DeNodeb:hen (3GPP:n kotisivu)

Yksinkertaisesti sanottuna välityssolmu on matalaenerginen tukiasema, jota käytetään parantamaan verkon peittoaluetta pääaseman yhteyssäteiden alueella ja sen ulkopuolella. Nämä välityssolmut muodostavat langattoman yhteyden (Un) pääasemaan (DeNB), ja niiden pitäisi auttaa parantamaan signaalia, kun kulkee lähellä LTE-verkon reunaa. Parempaan yhteyden saatavuus riippuu tietenkin siitä, ovatko operaattorit investoineet näiden solmujen rakentamiseen. Tämä tekniikka voi myös parantaa taajuusalue yhdistyksien määrää, kun signaalit ovat laadukkaampia. (Triggs 2018.)

3.2.5 IoT-tuki

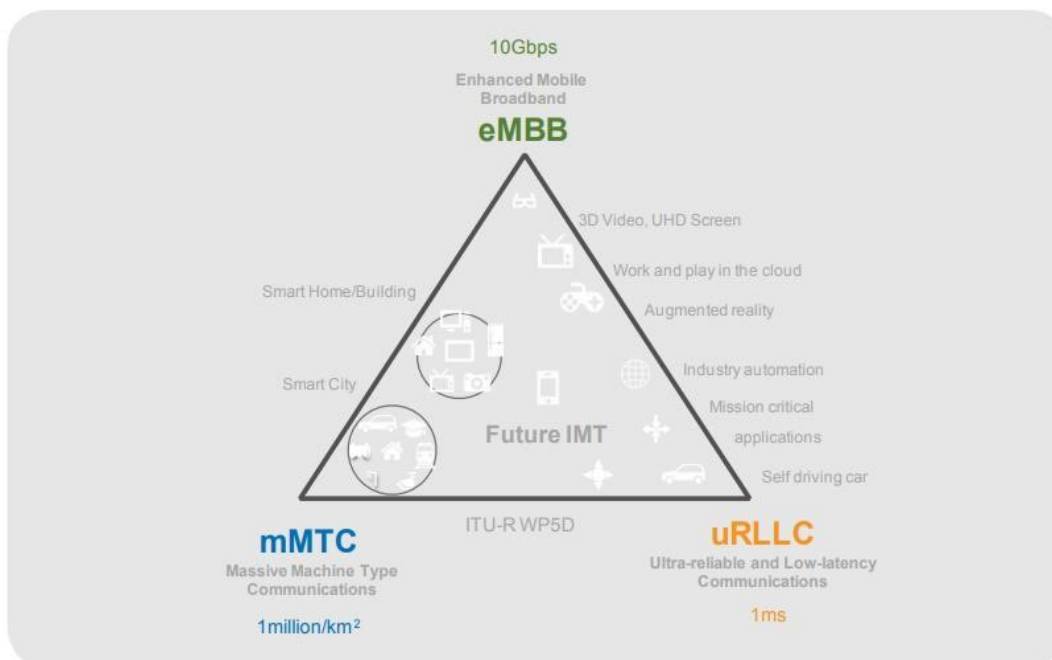
Termi IoT (Internet-of-things) on ollut paljon käytetty sana 5G:n ympärillä, mutta todellisuudessa IoT-tekniikat, kuten NB-IoT (Narrowband IoT) sekä LTE-M ovat standardoituja tekniikoita jo LTE-verkoissa. NB-IoT on virallisesti myös 5G-standardissa.

Narrowband-IoT, eli kapeakaistainen IoT-tekniikka julkistettiin alun perin julkaisussa 13, mutta sitä paranneltiin julkaisussa 14 vuonna 2015. Tämä protokolla kehiteltiin vastaamaan suurta tarvetta IoT-laitteille ennen kuin 5G-standardi olisi valmis. Se on langaton pienitehoinen laaja-alueinen yhteysprotokolla IoT-koneiden massiiviseen viestintään. Tekniikka tarjoaa kapeakaistaisia, 180kHz:n kaistoja laitteille, joilla on pieni tehontarve ja pienet datan siirtomäärät. NB-IoT:n ominaisuuksiin kuuluu laajennettu kattavuus, 10 vuoden akun kesto, rajoitetut tiedonsiirtonopeudet (127 kbps downlink ja 159 kbps uplink), ei-niin vähäiset viiveet (yli 10 sekunttia), erittäin yksinkertainen arkkitehtuurimääritelmä ja kokonaisuudessaan alempi kustannustaso, kuin seuraavaksi käsitellyssä LTE Cat M1:ssä. Tekniikka tarjoaa noin 60 000 laitteen potentiaalia per neliökilometri. Näiden ominaisuuksien vuoksi tekniikka soveltuu parhaiten esimerkiksi älykkäisiin hehkulamppuihin, älymittareihin, antureihin, toimilaitteisiin ja kytkimiin. Autentikointiin molemmat tekniikat käyttävät SIM-korttia. Molemmat tekniikat voidaan sisällyttää LTE:n perustajuuksiin, tai niille voidaan tapauskohtaisesti määrittää oma spektri. (Haltian A. ja B.)

LTE kategoria M1 protokolla julkistettiin 3GPP:n toimesta julkaisussa 13. Kattavuudeltaan tämä protokolla yletyy paikkoihin, joihin ennen matala energiset laitteet eivät yltäneet. Energiatehokkuus on edelleen isoin huolenaihe akkukäyttöisten laitteiden keskuudessa. Tälläkin tekniikalla saavutetaan 10 vuoden akunkesto, sillä laitteet menevät idle- tilaan kun se ei lähetä tai vastaanota dataa. Kaistanleveys on 1.08Mhz, joten siirtokapasiteetiltaan M1-protokolla ylittää 1Mbps:n nopeuteen, sekä uplinkissä, että downlinkissä ja viiveeltään yhteydet ovat 10-15 millisekuntia tehden tästä paljon nopeamman ja vasteajaltaan paremman kuin NB-IoT. (Haltian C.)

4 5G-VERKKOARKKITEHTUURI JA AVAINTEKNIIKAT

5G:n uudella aikakaudella uudet viestintävaatimukset asettavat haasteita olemassa olevien verkkoteknologioiden ja liiketoimintamallien suhteen. Sitä suunniteltaessa asetettiin suorituskyvyn kannalta kunnianhimoisia, mutta silti realistisia tavoitteita. Nämä olivat, että verkko saavuttaa 10 Gbps:n latausnopeuden, yhden millisekunnin kokonaisviiveen ja miljoonan laitteen liitettävyyden per neliökilometri. Seuraavan sukupolven matkapuhelinverkon on vastattava monipuolisia vaatimuksia. Kansainvälinen teleliitto (ITU) on luokitellut 5G-matkaviestinverkkopalvelut kolmeen luokkaan: Parannettu mobiililaajakaista (eMBB), erittäin luotettava ja pienen viiveen tiedonsiirto (uRLLC) ja massiivinen konetyyppi viestintä (mMTC). Tämä on havainnollistettu kuvassa 9.



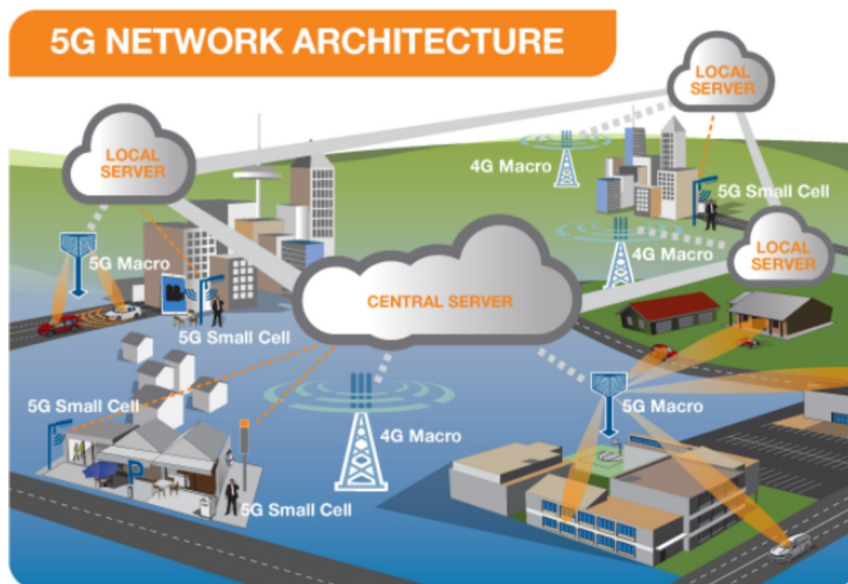
Kuva 9 5G:n tavoitteet, IMT2020 (Huawei white sheet)

eMBB pyrkii vastaamaan yhä enemmän ihmisten dataraskaaseen elämäntapaan ja keskittyy palveluihin, joilla on korkeat vaatimukset kaistanleveydelle, kuten 4K videot, virtuaalitodellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR). Kuten kuvasta 9 näkyy, niin 10Gbps on merkattu eMBB:n odotukseksi. Tavoitteena on myös saada hinta-per-bitti mahdollisimman alhaiseksi. uRLLC:n tavoitteet vastaavat digitaaliteollisuuden odotuksiin ja keskittyy latenssiherkkiin palveluihin, joiden yhteys ei saisi katketa, ja viiveen tulisi pysyä aina 1 millisekunnissa, kuten avustettuun ja automatisoituun ajoon, ja etähallintaan tai vaikka paljon puhuttuun etäleikkauksiin sairaalatasolla. mMTC

pyrkii vastaamaan kehitetyn digitaalisen yhteiskunnan vaatimuksiin ja keskittyy palveluihin, joihin sisältyy korkeat yhteysmäärät, kuten älykaupunkeihin ja älykkääseen teollisuuteen. Tavoitteena on saada miljoona laitetta per neliökilometri. Seuraavaksi tutustumme asioihin, jotka mahdollistavat kyseiset tavoitteet. (Huawei white sheet.)

4.1 5G-verkkoarkkitehtuuri

Palvelukeskeisen 5G-verkkoarkkitehtuurin tavoitteena on taata joustavasti ja tehokkaasti monipuoliset mobiilipalveluiden vaatimukset. Tämä saavutetaan ohjelmallisesti määritetyllä verkolla (SND, software-defined networking) ja verkkotoimintojen virtualisoinnilla (NFV, Network function virtualization), jotka tukevat taustalla olevaa fyysistä infrastruktuuria. 5G ”pilvittää” (cloudifies) liityntä-, kuljetus- ja ydinverkon. Pilven käyttöönotto mahdollistaa paremman tuen monipuolisille 5G-verkon palveluille, ja se mahdollistaa E2E (End-to-End) avainteknologiat verkon viipalointiin, tilattujen palveluiden käyttöönottoon ja komponenttipohjaisen verkon toimintaan. (Huawei white sheet.)



Kuva 9 5G-arkkitehtuuri yksinkertaistettuna (EMF)

Useimmat operaattorit integroivat 5G-verkot olemassa oleviin 4G-verkkoihin jatkuvan yhteyden aikaansaamiseksi. Tämän näemme kuvassa 9. Todellisuudessa LTE-verkot eivät tule katoamaan mihinkään, vaan ne jäävät taustalle tukemaan 5G-verkkoa katkeamattoman yhdeyden aikaansaamiseksi, samalla lailla kuin 2G- ja 3G-verkot tukevat LTE-verkkoa. Käsittelemme nyt 5G-SA radio- ja ydinverkon. Ne eivät kuitenkaan

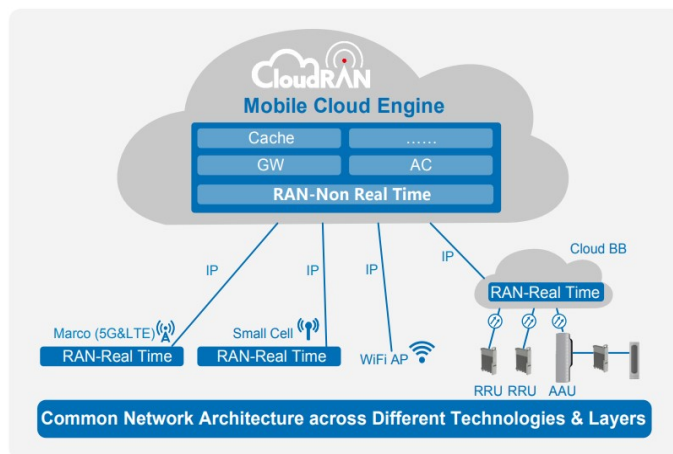
ole niin yksiselitteiset kuin LTE-verkossa. 5G:tä käsitellessä tarvitsee muistaa, että mikään yksittäinen tekniikka ei mullista kaikkea, vaan jokainen tekniikka on osallisena siihen.

4.1.1 5G-Radioverkko (RAN)

Radioverkko voidaan jakaa periaatteessa kahteen osaan, RAN on fyysinen verkkoarkkitehtuurin osa, joka kommunikoi päätelaitteen kanssa, ja CloudRAN on virtualisoitu moottori, johon RAN:i lähettää kaiken tiedon. Näiden kahden erotus pienentää viivettä, sillä RAN:in tehtävä on enää vain kuljettaa raakaa dataa, kun kaikki prosessointi ja erottelu tapahtuu pilvessä olevassa moottorissa. CloudRAN-arkkitehtuuria käytetään toteuttamaan RAN-reaaliaikaisia toimintoja (esim. uudelleen lähetyksen, modulaation ja koodauksen), ei-reaaliaikaisten resurssien (esim. solujen valinnan ja vaihdon) tarvittavaa käyttöönottoa, komponenttipohjaisia toimintoja, joustavaa koordinaatiota ja RAN-viiväpääntä. Mobile Cloud Engine (MCE):n avulla CloudRAN voi toteuttaa joustavan järjestelyn RAN-reaaliaikaisiin ja ei-reaaliaikaisiin toimintoihin, jotka perustuvat erilaisiin palvelun vaatimuksiin ja lähetyksresurssien määrityksiin RAN:in pilvistämiseksi.

MCE voi toteuttaa monimutkaisen hallinnan koordinoimalla useita käsittelyominaisuuksia alueellisen ajan, taajuuskaistojen ja tilan perusteella. Tämän päivitetyn hallintajärjestelmän avulla

CloudRAN tukee 4G-, 5G- ja Wi-Fi-yhteyksiä sekä toteuttaa makro-, mikro- ja picoasematyyppien koordinoimista ja ajoituksen. (Huawei white sheet.)



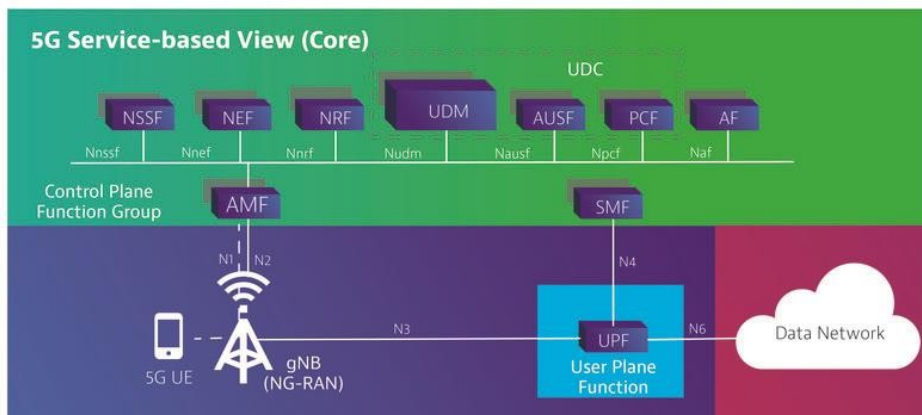
Kuva 10 CloudRAN havainnollistettu (Huawei white sheet)

RAN-Real Time koostuu erityyppisistä välineistä, kuten piensoluista (small cell), tukiasemista (macro cell) ja erillisistä rakennuksen sisällä ja kotona olevista järjestelmistä, kuten Wi-Fi:stä, jotka yhdistävät verkon käyttäjät ja langattomat laitteet pääverkkoon (näkyvä kuvassa 9). Piensolut ovat tärkeä ominaisuus 5G-verkoissa, etenkin

kaupunkialueilla uusilla millimetriaalto (mmWave) taajuuksilla, joissa kantama on hyvin lyhyt. Jatkuvan yhteyden aikaansaamiseksi pienet solut jaetaan klustereihin sen mukaan, missä käyttäjät tarvitsevat yhteyttä, joka täydentää laaja-alaista peittoa tarjoavaa makroverkkoa. 5G-makrosolut käyttävät massiveMIMO-antenneja. Tämä on yksi mahdollistaja useampien laitteiden samanaikaiseen yhteyteen. (EMF.)

4.1.2 5G-Ydinverkko (Core)

Kuten 4G Evolved Packet Core (EPC), myös 5G-ydin yhdistää dataliikenteen pääte-laitteista. 5G-ydin myös autentikoi tilaajat ja laitteet, soveltaa henkilökohtaisia käytäntöjä ja hallitsee laitteiden liikkuvuutta ennen liikenteen ohjaamista operaattoripalveluihin tai Internetiin. Vaikka EPC ja 5G-ydin suorittavat samanlaisia toimintoja, on joitain suuria eroja siinä, että 5G-ydin erottuu lukuisiksi palvelupohjaisen arkkitehtuurielementin (SBA) elementeiksi ja se on suunniteltu alusta alkaen erottamaan ohjaus- ja käyttäjätaso toisistaan. Fyysisten verkkoelementtien sijasta 5G-ydin käsittää virtualisoidut, ohjelmistopohjaiset verkkotoiminnot (tai palvelut), ja siksi se voidaan toteuttaa MEC-pilvi-infrastruktuureissa. Tämä uusi arkkitehtuuripohja antaa operaattoreille joustavuuden, jota he tarvitsevat täyttääkseen erilaisten 5G-käyttötapausten monipuoliset verkkovaatimukset. Ja uuden 5G-ydinarkkitehtuurin ytimessä on pilvipäinen ohjelmistojen suunnittelu, eli NFV. (Ian M.)



Kuva 11 5G-ydinverkko (Viavi.)

Kun nonstandalone versiossa ohjaus- ja käyttäjätaso erotettiin, niin standalone versiossa UPF edustaa LTE:stä tutun Packet Gatewayn (P-GW) seuraavaa versiota. Tämä erottaminen mahdollistaa datansiirron käyttöönoton ja skaalautuvuuden itsenäisesti,

jotta paketin käsittely ja liikenteen yhdistäminen voidaan jakaa verkon reunalle. Liityntä ja liikkuvuuden hallintatoiminto (AMF) vastaa 4G:n EPC-liikkuvuuden hallintayksikköä (MME), joka jakautui kahteen toiminnalliseen elementtiin. AMF vastaanottaa kaikki yhteys- ja istuntatiedot loppukäyttäjälaitteista tai RAN:sta, mutta käsittelee vain yhteyden ja liikkuvuuden hallintatehtäviä. Kaikki istuntojen hallintaan liittyvät tehtävät siirretään istunnonhallintatoimintoon (SMF). Istunnon hallintatoiminto (Session Management Function) on vastuussa vuorovaikutuksesta irrotetun datatason kanssa luomalla, päivittämällä ja poistamalla protokolladatayksikön (PDU) istuntoja ja hallitsemalla istuntoyhteyttä UPF:n sisällä. Irrottamalla muut ohjaustason toiminnot käyttäjätasolta, SMF suorittaa myös dynaamisen isäntäkonfiguraatioprotokollan (DHCP) palvelimen ja IP-osoitteenhallintajärjestelmän (IPAM) roolin. (Ian M.)

4.2 5G-verkkojen avaintekniikat

4.2.1 MEC

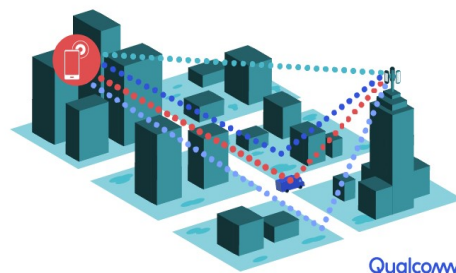
MEC (Multi-Access Edge Computing) on tärkeä osa 5G arkkitehtuuria. Se on pilvipalvelu, joka tuo sovellukset keskitetyistä tietokeskuksista verkon reunalle, ja siten lähemmäksi käyttäjää ja heidän laiteitaan. Tämä luo sisällön toimittamiselle oikotien käyttäjän ja hostin välillä. Operaattorit voivat esimerkiksi avata pääsyn valtuutetuille kolmansille osapuolille verkon reunalle, joten he pääsevät käsiksi reaaliajassa saatuun dataan, ja voivat tämän pohjalta tehdä sovelluksia verkon käyttäjille. Tämä tekniikka ei ole yksinomaan 5G:lle tarkoitettu, mutta on ehdottomasti olennainen osa sen tehokkuutta. MEC:n ominaispiirteitä ovat pieni viive, suuri kaistanleveys ja reaaliaikainen pääsy RAN-tietoihin. Tämän myötä saavutettu laskentatehon jakaminen mahdollistaa paremmin kytkettyjen laitteiden suuret määrät, joka on perusvaatimus 5G-standardille ja IoT:lle. (Viavi.)

4.2.2 MassiveMIMO

MassiivinenMIMO, joka on jo LTE:ssä käytetty tekniikka MIMO:n jatke, laajenee vanhojen järjestelmien ulkopuolelle lisäämällä tukiasemalle (gNB) paljon enemmän

antenneja. "Massiivinen" antennimäärä auttaa keskittämään energian, mikä tuo huomattavia parannuksia suorituskykyyn ja tehokkuuteen. Antennien lisääntyessä, sekä verkko, että mobiililaitteet toteuttavat monimutkaisempia malleja ja algoritmeja MIMO-toimintojen koordinoimiseksi. Tämä tekniikka voidaan purkaa kolmeen osaan, jotka muodostavat tämän kokonaisuuden.

Ensimmäiseksi käydään läpi alueellinen monimuotoisuus (spatial diversity). Tämä on yksi peruskivi massiivieMIMO:ssa. Lyhyesti sanottuna tavoitteena on parantaa järjestelmän luotettavuutta lähettämällä saman datan eri reittejä pitkin. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 12. Tämä on yksinkertaisesti mahdollista siksi, että päätelaitteissa sekä tukiasemassa on enemmän fyysisiä antenneja.



Kuva 12 Spatial diversity havainnollistettu (Qualcomm A.)

Alueellinen monimuotoisuus kehittyy monimutkaisemmaksi käsitteeksi, joka on ”paikallinen multipleksointi”. Nyt ei vain ilmakehän (air interface) monipuolisia kokemuksia käytetä suorituskyvyn parantamiseen, vaan useita viestejä voidaan lähettää samanaikaisesti häiritsemättä toisiaan, koska ne ovat erillään ajallisesti.

Säteemuotoilu (Beamforming) on toinen tärkeä langaton tekniikka, jossa hyödynnetään edistyneitä antennitekniikoita, sekä päätelaitteissa, että verkkojen tukiasemissa langattoman signaalin kohdistamiseksi tiettyyn suuntaan sen sijaan, että lähetettäisiin laajalle alueelle. Koska massiivisessa MIMO-järjestelmässä on valtava määrä antennielementtejä, säteenmuodostuksesta saadaan 3D-tyylinen. 3D-säteilymuotoilu luo vaaka- ja pystysuuntaisia palkkeja käyttäjiä kohti, mikä lisää tiedonsiirtonopeutta (ja kapasiteettia) kaikille käyttäjille. Signaalin seurattessa käyttäjää, on mahdollista saavuttaa korkeammat suorituskyvyt myös nopeasti liikkuvissa olosuhteissa. Esimerkkinä asiasta voisi miettiä taskulampun ja laserpointterin eroa. Toinen valaisee koko huoneen ja toisen saa tarkasti seuraamaan haluttua suuntaa.

Viimeinen termi aiheessa on ”Multi-user-MIMO”. Tämä sallii useiden käyttäjien jakaa saman verkon resurssit samanaikaisesti. ”MU-MIMO” sallii eri käyttäjien viestien kulkea turvallisesti samoja dataputkia pitkin, jotka lajitellaan sitten yksittäisille käyttä-

jille, kun data saapuu heidän mobiililaitteisiinsa. Useiden käyttäjien palveleminen samalla lähetyksellä lisää kapasiteettia ja mahdollistaa resurssien paremman hyödyntämisen. Tämä lisää kyvyn ladata tai suoratoistaa parannetun käyttökokemuksen avulla käyttäjälle myös ruuhkaisilla alueilla. (Qualcomm A.)

4.2.3 NFV

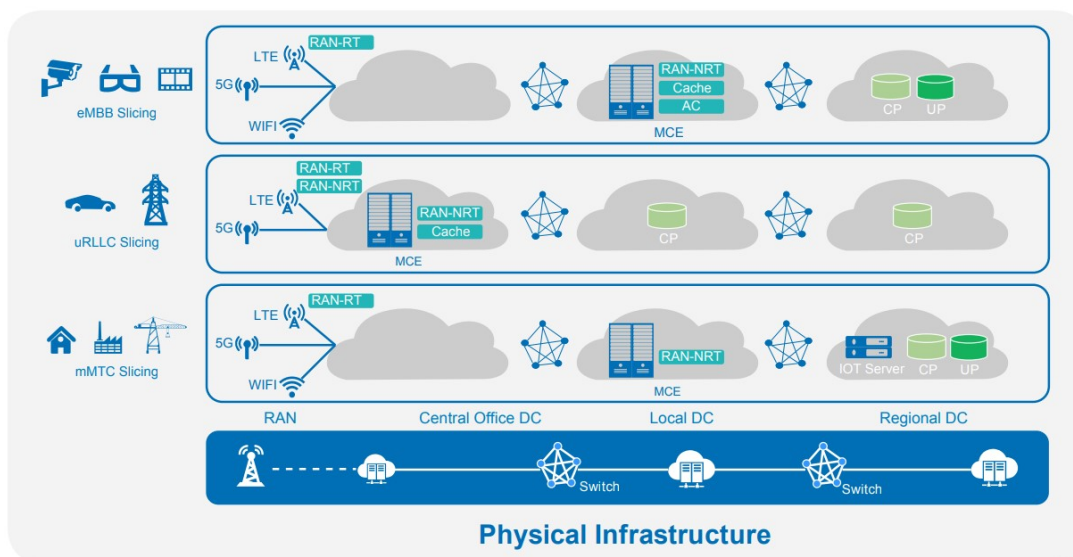
NFV (Network function virtualization) on kyky toteuttaa verkkotoimintoja reaaliajassa missä tahansa halutussa paikassa operaattorin pilvialustalla. Se erottaa tietokoneohjelmistot laitteistosta korvaamalla erilaiset verkkotoiminnot, kuten palomuurit, kuorman tasaukset ja reitittimet virtuaalisoiduilla palveluilla. NFV mahdollistaa 5G-infrastruktuurin virtualisoiduilla laitteilla 5G-verkkoon. Tämä poistaa tarpeen investoida kalliisiin laitteistoelementteihin. Tämä sisältää verkon viipalointitekniikan (Network Slicing), joka mahdollistaa useiden virtuaalisten verkkojen samanaikaisen ajamisen. NFV pystyy myös vastaamaan muihin 5G:n tuomiin haasteisiin virtualisoidun tiedonkäsittelyn, tallennuksen, ja verkkoresurssien avulla, jotka on räätälöity sovellusten ja ostajan tarpeiden mukaisesti. NFV on elintärkeä nopeuden, tehokkuuden ja ketteryyden mahdollistamiseksi uusien liiketoimintasovellusten tukemiseksi ja on tärkeä osa 5G ydinverkkoa. (Viavi & EMF.)

4.2.4 Verkon viipalointi

Verkon viipalointi (Network Slicing) mahdollistaa useiden virtuaalisten verkkojen luomisen yhteisen jaetun fyysisen infrastruktuurin päälle. Virtuaaliset verkot räätälöidään sitten sovellusten, palveluiden, laitteiden, asiakkaiden tai operaattoreiden erityistarpeisiin. Jokainen viipale optimoidaan tarjoamaan resurssit ja verkon topologian tietyille palvelulle ja liikenteelle, joka käyttää kyseistä viipalointia käyttäen NFV:tä. Toiminnot kuten nopeus, kapasiteetti, liitettävyyden ja peiton laajuus määritellään vastaamaan kunkin käyttötavan erityistarpeita, mutta toiminnalliset komponentit voidaan myös jakaa eri verkko-osioihin. Näin voidaan erotella verkosta eri liikennetyypit, ja siten ne eivät vie kaistaa toisiltaan.

Esimerkiksi autonominen auto luottaa V2X (vehicle-to-everything) -viestintään uRLLC-viipaleessa, joka vaatii matalaa latenssia, mutta ei välttämättä suurta suorituskykyä.

Auton liikkeellä ollessa matkustaja katsoo 4K suoratoistopalvelua, joka vaatii suurta latausnopeutta, mutta ei ole herkkä viiveelle. Molemmat voitaisiin toimittaa saman yhteisen fyysisen verkon välityksellä virtuaalisissa verkkoviipaleissa ilman, että ne häiritisivät toisiaan fyysisen verkon käytön optimoimiseksi. Kuva 13 alla havainnollistaa miten verkkoa voidaan jakaa eri viipaleisiin eri komponenteilla. (Kavanagh S, D.)



Kuva 13 Verkon viipalointi (Huawei white sheet.)

4.2.5 5G spektri ja taajuus

Eniten kohua nostattanut 5G-tekniikka on mmWave (millimetriaalto), mutta kantoaalot hyödyntävät myös uutta taajuutta sub-6GHz WiFi-alueella, matalilla taajuuksilla olevia alle 1 GHz taajuuksia, ja myös nykyisillä 4G LTE -kaistoilla. Tällä hetkellä on paljon käyttämätöntä korkeataajuusspektriä, joka tunnetaan nimellä millimetriaalto. Mitä korkeampi taajuus, sitä enemmän kaistanleveyttä on saatavana, mutta kompromissi on, että tällä tekniikalla on lyhyempi alue kuin LTE:ssä käytettävissä alhaisemmissa taajuuksissa. Pääidea on lisätä huomattavasti käytettävissä olevan taajuuksien määrää yhdistämällä kaikkien näiden eri taajuuksien edut ja haitat. Yhdistämällä enemmän taajuuksia Carrier Aggregation:illa, saadaan enemmän kaistanleveyttä ja paljon nopeampia yhteyksiä kuluttajille. (Robert Triggs.)

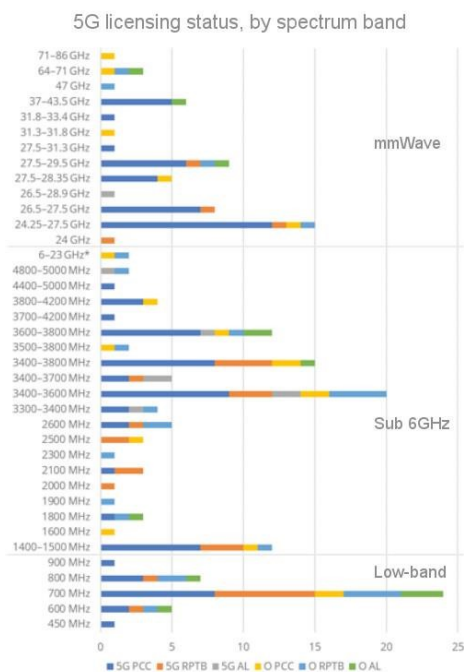
Useita taajuusalueita on omistettu uudelle 5G- New Radiolle (NR). Radiospektrin osat, joiden taajuudet ovat välillä 30 GHz - 300 GHz, tunnetaan millimetriaaltona, koska

aallonpituudet ovat välillä 1-10 mm. Taajuusalueet väliltä 24 GHz - 100 GHz on varattu 5G:lle useilla alueilla ympäri maailmaa. Millimetriaallon lisäksi 5G:lle järjestetään uudelleen käyttämättömiä UHF (ultra high frequency) -taajuuksia väliltä 300 MHz - 3 GHz. Millimetriaaltotaajuudet ovat ihanteellisia tiheään asutuilla alueilla, mutta tehottomia kaukoliikenteeseen. Kuva 14 on suuntaa-antava miten verkon kantoalueet tullaan toteuttamaan. (Viavi.)



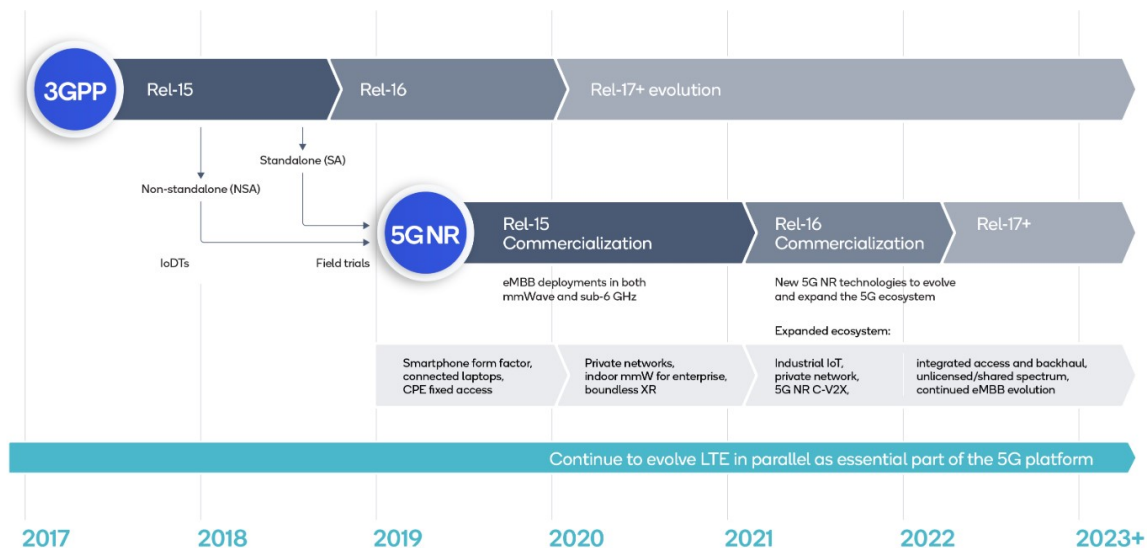
Kuva 14 Taajuuksien käyttöalueet (Robert T.)

Vaikkakin 5G:n spektriä käsitellessä puhutaan yleensä vain millimetriaallosta ja suurista taajuuksista, on GSA:n (Globaali matkapuhelintuottajien liitto) julkaissut vuonna 2018 julkaisun, jossa näkyy suurimmat varausmäärät 700 MHz taajuudelle. Matalan taajuuden, eli signaalin pitkä kantomata on erittäin tärkeä osa verkon reuna-alueilla. Jos otetaan esimerkiksi älykaupunki, ja vaikka siellä hallittavat älyliikennevalot, niin eihän operaattori voi rakennuttaa satoja millimetriaalto-tukiasemia niiden hallitsemiseksi. (Robert T. B)



Kuva 15 Spektrin varaukset (Robert T. B)

4.2.6 5G-tilanne

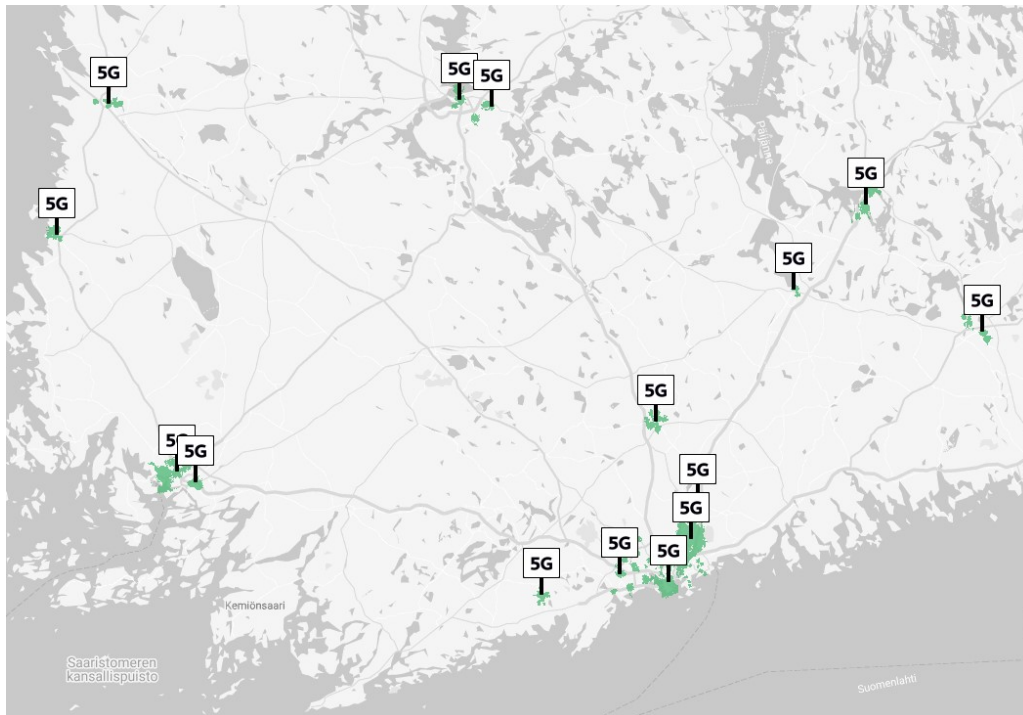


Kuva 16 5G-verkkojen aikajana (Qualcomm)

Kuten kuvasta 16 saa selville, niin vuonna 2019 operaattorit alkoivat asentamaan 5G-New Radiota, eli NSA versiota. Julkaisussa 15 määriteltiin 5G-järjestelmän 1 vaihe, johon kuului New Radio ja mMTC:n ja IoT:n perusteet. Julkaisussa 16 määriteltiin taas järjestelmän kakkosvaihe, jonka tarkoituksena oli panostaa autonomiseen ajamiseen ja teollisuus IoT:hen esimerkiksi parantelemalla URLLC:tä paljon. Kirjoittamishetkellä olemme tuossa julkaisu 15:sta kohdilla operaattoritasolla, joten vaikka 5G-aiheisia kirjoitelmia ja hypetyksiä on paljon, niin saamme silti odottaa vielä ainakin vuoden, ennen kuin operaattorit pystyvät tarjoamaan näitä ”todellisia” 5G:n mahdollistajia julkiseen ja teolliseen käyttöön, kuten verkon viipalointia ja pilvilaskentaa, jotka tulevat 5G-ydinverkon kautta mahdollisiksi. (John D.)

Vaikka operaattorit myyvät 5G-liittymiä tänä päivänä, niin todellisuudessa kyseessä on ns. 4.9G, eli NSA-versio. Käytännössä nämä liittymät ovat vain tiedonsiirtonopeudeltaan hieman nopeammat kuin 4G-liittymät. Tällä hetkellä operaattori Elisa tarjoaa puhelin- ja mobiililaajakaistaliittymää, jonka maksiminopeus on 1000Mbit/s hintaan 49.90e/kk, ja tämä on vielä kaukana mitä 5G:ltä odotetaan. Elisa kylläkin on ilmoittanut arvioiduksi nopeudeksi 10-1000Mbit/s, joten realistiseksi nopeudeksi voimme olettaa noin 100Mbit/s per käyttäjä hyvillä yhteyksillä. Toki ostaakseen kal-

liin 5G-liittymän täytyy myös päivittää uusi päätelaite, jonka modeemi tukee 5G-taajuuksia, ja MIMO:a. Päätelaite käyttää silti LTE-verkkoa aina taustalla, ja varsinkin tippuessaan erittäin rajoitetuista 5G-yhteyksistä, joita on vain kaupunkien ytimessä. Kuvassa 17 on näytetty 5G-verkon peiton alue 7.5.2020. Suomessa (Elisa A.) Kuten huomaamme, niin verkon rakentaminen on aivan alkuvaiheilla valtakunnallisella tasolla.

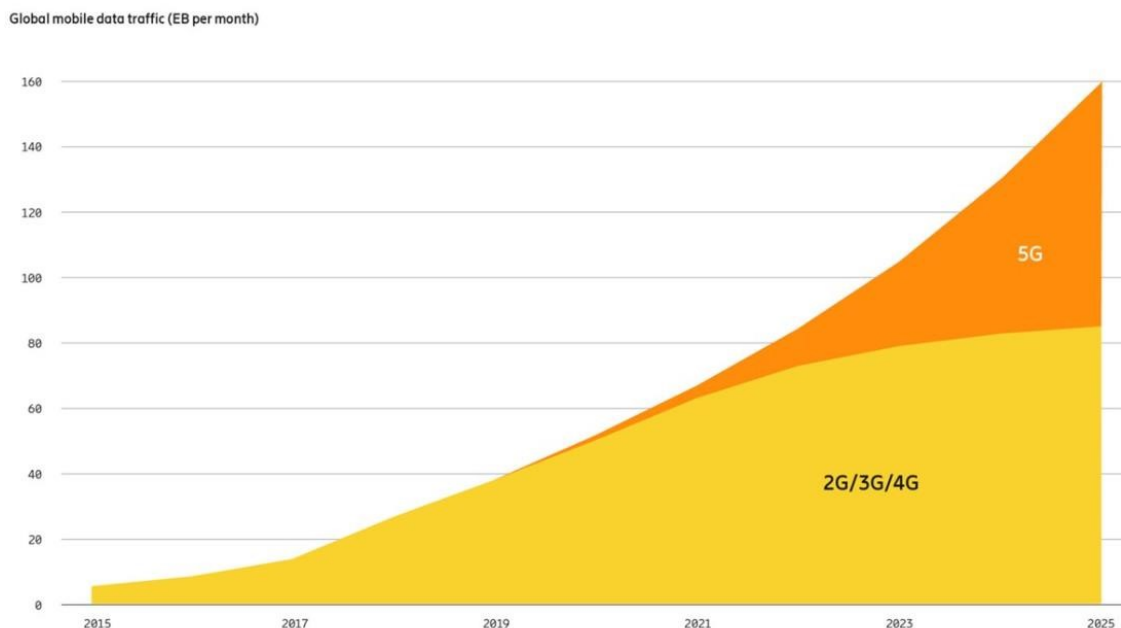


Kuva 17. Elisan 5G-kuuluvuuskartta (Elisa B.)

5 KÄYTTÖTARKOITUKSET

Ennen pakettiverkkoja mobiiliverkkojen ainoa käyttötarkoitus oli reitittää puhelu henkilöltä A henkilölle B, mutta se on historiaa. Mobiiliverkot tarjoavat tällä hetkellä monipuolisia vaihtoehtoja yrityksille ja yksityishenkilöille ja ovat elintärkeä osa yhteiskuntaa. Tässä kappaleessa pohdin mitä sovellutuksia näille verkoilla on, ja mille palveluille ne ovat kriittiset. Vertailen ja pohdin tarviiko käsitelty asia 5G-SA verkon, vai käykö sille tällä hetkellä oleva 5G-NSA vai jopa perus LTE-verkko.

5.1 Datavaatimukset



Kuva 16 Datan kasvumäärän ennustus marraskuulta 2019 (Ericsson)

Aloitetaan nykypäivän datavaatimuksista. Kuten kuvasta 16 käy ilmi, niin spekuloidusti kestää vielä yli viisi vuotta, ennen kuin 5G tulee hallitsemaan datan kuljetusmäärässä. 4G tulee selvästi saavuttamaan oman datakattonsa lähitulevaisuudessa, eikä se enää nouse, tässäkin tarvitsemme 5G-verkkoa. Tästäkin voin päätellä, että 5G-palvelut ovat erittäin rajoitetut ainakin vielä pari vuotta.

5.2 Viihdekäyttö

Nyky päivänä ihmisille on tarjolla viihdekäyttöön niin monia eri vaihtoehtoja. Pete Bellin kirjoittamassa artikkelissa todettiin, että suomalaiset johtivat alkuvuonna 2019 mobiilidatankäytössä per asukas. Suomessa päästiin 34.3 gigabittiin per asukas, siinä missä toiselle sijalle tuli Taiwan 25 gigabitillä (Pete B). Tämä johtuu puhtaasti siitä, että Suomessa liittymät ovat datarajoittamattomia.

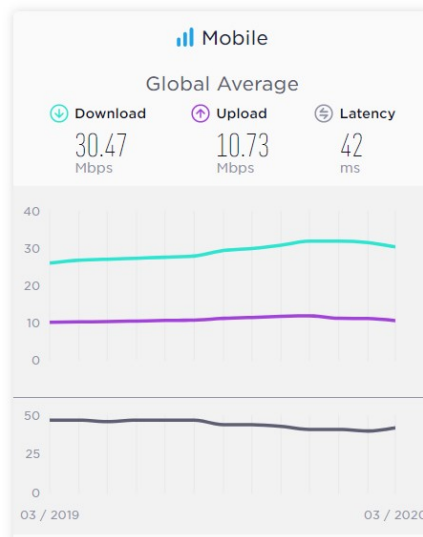
Datan määrä kasvaa suuresti vuosi vuodelta, eikä sille ole tulossa hidastusta. Mutta kuinka paljon mikäkin sovellus sitten vie dataa. Viihdekäyttöön liittyen tässä esimerkki kuinka paljon nopeutta tarvitaan näihin yleisimpiin palveluihin. Korkelaatuisen musiikin toistaminen vie noin 1 Mbps, full HD video 4-5Mbps:n, 4K video 15-25Mbps ja Internet pelaaminen 3Mbps. Kuten huomaan, niin LTE-verkko tarjoaa tarpeeksi nopeutta näihin jokaiseen palveluun, riippuen tietenkin operaattorista ja maasta. (Robert T. C)

Kuvassa 17. näemme tämän vuoden maaliskuussa

tehdyn globaalien mobiiliverkkonopeudesta tehdyn keskiarvotutkimuksen. Vertailussa Suomi sijoittui sijalle 25 nopeudella 44.15Mbps. (Speedtest A.)

On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että vaikka nopeus riittäisi kyseisten palveluiden ylläpitoon, niin on eri asia riittääkö kaistanleveys tuottamaan jokaiselle henkilölle haluamansa palvelut ilman verkon pätkimistä. Tämän ilmiön huomaa parhaiten isoissa tapahtumissa, kuten vaikka festivaaleilla, kun yrittää lähettää yksinkertaista Whatsapp-viestiä, niin saattaa mennä pitkäkin aika sen lähtemiseen. Newsbreezen tutkimuksessa selvitettiin, että yksi 10 sanainen tekstiviesti vie 0.732 KB dataa, minuutin kestävä tavallinen puhelu 0.344MB ja minuutin kestävä videopuhelu 6.7MB (Newsbeezer). VoLTE (Voice Over LTE) -palvelut, kuten Whatsapp-puhelut käyttävät puhelujen muodostamiseen pakettiverkkoa, joten tämän tyylinen puhelu kyseisessä esimerkissä ei toimisi. Tässä tulee vastaan LTE-verkon ruuhkautuminen, ja tämä on ongelma verkon vakauden kannalta. Tähän 5G:llä on vastaa verkon viipaloinnilla eli datan erottelulla, korkeammilla taajuuksilla, jotka kasvattavat hurjasti kaistanleveyttä ja

Global Speeds March 2020



Kuva 17 Globaalit mobiiliverkon nopeudet maaliskuu 2020. Yllä nopeus ja alla viive (Speedtest A.)

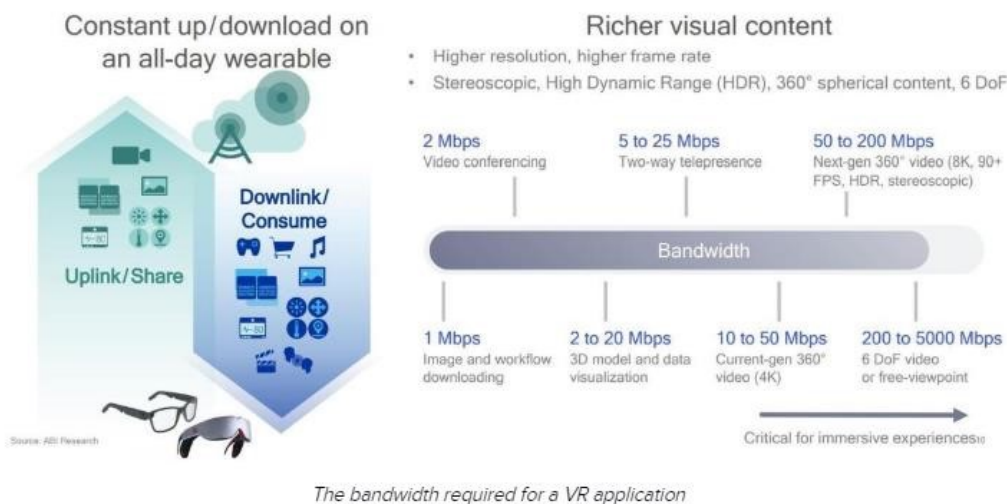
yhtä aikaa kuljetettavaa dataa ja MassiveMIMO:n multi-user ominaisuudella, joka kuljettaa samalla alueella olevien henkilöiden datat yhdessä putkessa useiden signaalien sijasta. Näistä kolmesta ratkaisusta uudet taajuudet ja MIMO on jo käytössä NSA-verkossa.

Online pelaaminen on nykyään suuren suosion kasvattanut viihdemuoto, jossa mahdollisimman matalasta viiveestä on etua. Vaikkakin LTE:llä pystyy pelaamaan, niin yhteys ei ole aina parhain ja pakettihävikki (Packet loss) voi haitata kokemusta. Viive on luokkaa 45 ms kunnan yhteyksillä siinä missä kuidulla saa tuon optimiviiveen, joka on 5ms. 5G:n keskivertoviive tällä hetkellä Speedtestin mittauksien mukaan on 21ms, mutta se on vain ajan kysymys, kun se pienenee. (Mobile gaming, Speedtest B.)

Vaikka virtuaalinen todellisuus (VR) ja lisätty todellisuus (AR) usein liitetäänkin viihdekäyttöön, niin niillä tulee olemaan suuri vaikutus myös teollisuudessa, myöhemmin käyn läpi. Nämä tekniikat avaavat uusia tapoja työskennellä muun muassa valmistuksen, pelien, median, autoteollisuuden ja terveydenhuollon aloilla, mikä mahdollistaa sekä lisääntyneen tuottavuuden, että täysin uudet käyttökokemukset. Se on 5G-liityntäverkkojen, reunalaskennan, korkean suorituskyvyn hajautettujen 5G-ydinominaisuuksien yhdistelmä. VR on tietokoneella luotu todellisen tai vaihtoehdoisen maailman simulointi. Sitä käytetään peleissä ja viihteessä, koulutuksessa, koulutuksessa ja tieteen aloilla. AR taas yhdistää todellisen maailman joihinkin virtuaalisiin elementteihin, tästä esimerkkinä vaikka kameroitten erilaiset filterit. AR parantaa katselukokemusta asettamalla kuvia todella reaali maailman päälle. Todellisen maailman ja käyttäjän liikkeiden yhdistäminen ja synkronointi digitaaliseen maailmaan vaatii valtavan määrän graafisia renderointiprosesseja. Koska grafiikka vaatii raskaita hahmonnuksia, laiteprosesseja täydennetään jakamalla työkuormat AR / VR-laitteen ja reunapilven välillä. Grafiikka, jonka avulla reunapilvi lisää latenssiherkkyyttä laitteen pään seurannassa, ohjaimen seurannassa, käden seurannassa ja liikkeen seurannassa. Tätä konseptia kutsutaan jakorenderöinniksi. Mutta kun renderointi tapahtuu pilvessä eikä mobiililaitteella, tarvitset myös nopean ja luotettavan 5G-yhteyden lopullisen kokemuksen toimittamiseksi käyttäjälle. Alhaalla olevassa kuvassa 18 näet havainnollistetusti verkon kaistan, ja nopeuden eri kokemusten toimittamiseen. Kuten nopeuksista selviää, niin yksinkertaiset palvelut toimivat jo LTE-verkon tarjoamilla meriiteillä, mutta

jotta AR/VR voitaisiin hyötykäyttää, niin kunnollinen 5G-verkko on välttämätön (Balaji E.)

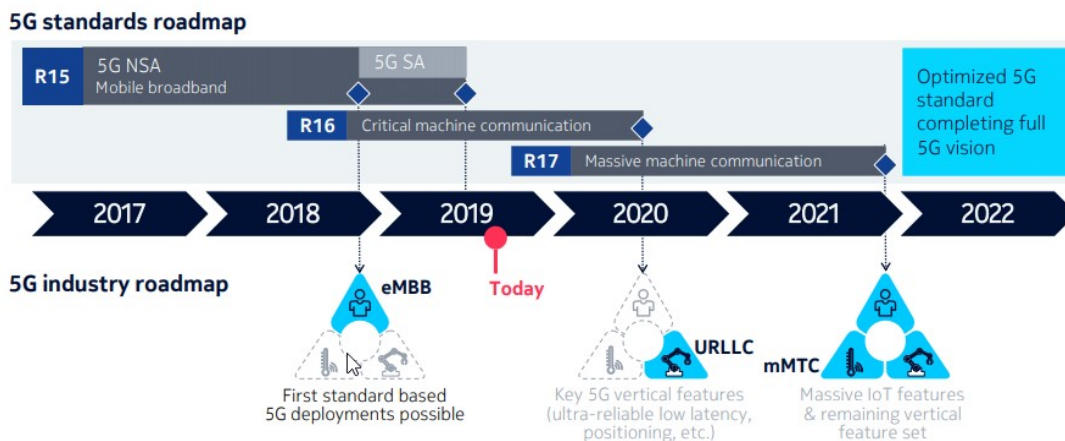
VR and AR require efficient increase in wireless capacity



Kuva 18 AR/VR-verkon vaatimukset (Qualcomm.)

IoT-laitteiden, kuten vaikka aktiivirannekkeiden suurin ongelma LTE-verkon kanssa on huono akun kesto, sillä LTE:n suhteellisen korkeat tehotarpeet, johtuen julkisesti tarjottavien IoT-signaalien olevan yleensä 1800MHz, rajoittavat hyötylaitteiden yhdistämistä verkkoon. Toinen ratkaiseva asia, varsinkin isoissa kaupungeissa on yhtä aikaa yhdistettävien laitteiden määrä. 4G NB-IoT standardi tukee 60,680 laitetta per neliökilometri, siinä missä 5G tukee miljoonaa. 5G:n ratkaisu tähän on käyttää matalatehoista 600MHz taajuutta tähän tarkoitukseen. Samoja ominaisuuksia, jotka tekevät 5G-tekniikasta sopivan IoT-laitteille, voidaan käyttää myös palvelun laadun parantamiseen tilanteissa, joissa suuri määrä kytkettyjä laitteita käyttää laajasti matkaviestinverkkoa tiheään asutuilla alueilla, tai kuten vaikka yleisötapahtumissa. (James S, Harald R.)

5.3 Teollisuuskäyttö



Kuva 19 5G-tilanne teollisuuden kannalta. (Nokia.)

Teollisuuskäyttöön 5G:n puhutaan vaikuttavan eniten, ja mahdollistamaan niin sanotun Industry 4.0 aikakauden, jossa ihminen ja kone työskentelevät langattomasti yhdessä. Lähtökohtaisesti kaikki tämän päivän langattoman LTE-verkon rajoitteet liittyvät korkeaan viiveeseen. LTE-verkon mahdollistamalla IoT:lla päästään tiettyyn pisteeseen asti, mutta kriittiset toiminnot, joissa vaaditaan reaaliaikaista viivettä eivät onnistu tällä ratkaisulla. Näitä voivat esimerkiksi olla antureiden tai laitteiden etäluku, jossa viiveellä ei ole merkitystä. Tosi älyteollisuuden mahdollistaja on vasta 5G-SA, sillä verkon viipaloinnilla ja MEC:n tuomalla reunapilvellä on kriittinen rooli viiveen pienentämiseksi eri IoT-laitteiden kommunikoidessa keskenään reaaliajassa. (Data-economy)

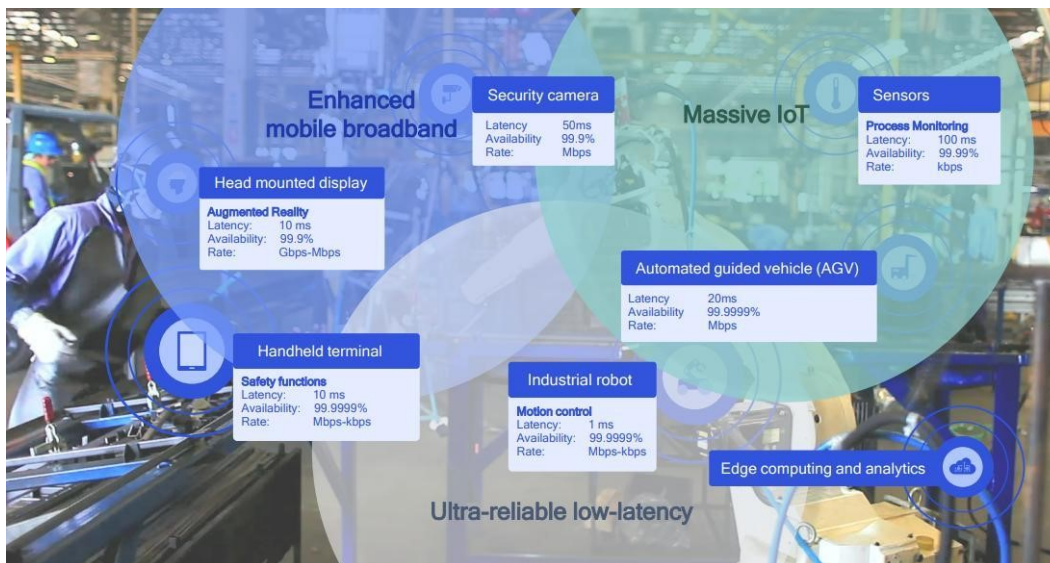
Yllä olevassa kuvassa 19 Nokia on kuvannut vuosi sitten teollisen 5G:n vaiheet, ja sen milloin voidaan realistisesti odottaa julkiseen yrityskäyttöön eri ominaisuuksia. Julkaisussa 16 esimerkiksi tulee suuria uudistuksia URLLC yhteyksiin ja niiden vakauksen, sekä tuki lisättiin 5G Time Sensitive Networking (TSN), joka huolehtii kaikkien laitteiden ajan synkronoinnista, eli on tärkeä osa älytehtaan mahdollistamista. Niiden ansioista tulee uusia käyttömahdollisuuksia, kuten tehdasautomaatio ja kuljetusteollisuus. Julkaisussa 17 sitä parannetaan edelleen lisäämällä Wide Area Time Sensitive Communications (TSC) tuki järjestelmään, joka mahdollistaa suuren alueen laitteiden kontrolloinnin ja niiden keskeisen kommunikoinnin synkronissa. Tässä versiossa myös lisättiin laitteen paikannukseen liittyviä parannuksia, jota tarvitaan esimerkiksi droneissa. (Nokia)

5G:n tarjoama URLLC on välttämätön kriittisen koneviestinnän tukemisessa. Ja eMBB reunalaskennan kanssa antaa yrityksille mahdollisuuden hyödyntää keräämäänsä dataa työssä.

IoT teknologialla on avainrooli Industry 4.0:n tulevaisuudessa, ja vuoteen 2025 mennessä yli 75 miljardia IoT-laitetta on asennettu. 5G antaa yrityksille myös mahdollisuuden hyödyntää parhaiten datanälkäisiä tekniikoita, kuten AI (Artificial Intelligence) ja koneoppimista. IoT-laitteet, tietokonenäkö ja pilvipohjainen AI voivat auttaa automatisoimaan prosesseja siten, että ihmistyöntekijät voidaan laittaa työskentelemään monimutkaisemmissa tehtävissä. 5G voi myös auttaa valmistajia toiminnan optimoinnissa käyttämällä IoT-antureita seuraamaan laitteiden ja työntekijöiden suorituskykyä, jotta mahdolliset työprosessien parannukset voidaan tunnistaa.

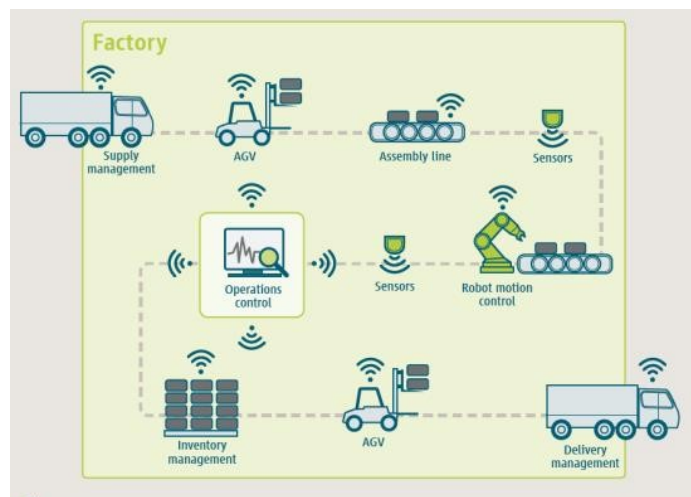
Lisäksi yhteyksien alhainen viive voi mahdollistaa laitteiden etäkäytön. Tämä mahdollistaa koneiden automatisoinnin ja robottien käytön, mikä tekee tehtaista turvallisempia. 5G-infrastruktuuri voi myös auttaa huomaamaan erilaisia näkemyksiä valtavasta tietomäärästä, jota kasvava määrä kytkettyjä laitteita tuottaa. (Data-economy)

Tietoanalytiikka voi tuoda toiminnan tehokkuutta ja säästää kustannuksia, kun taas logistiikkaa voidaan parantaa myös reaaliaikaisella seurantatiedolla. Monet valmistusyritykset hyödyntävät yksityisiä, omissa tiloissa olevia 5G-verkkoja. Vaikka julkiset 5G-verkot ovat vielä alkuvaiheessa, tämä osoittaa, kuinka yritykset voivat aloittaa 5G-tulevaisuuden suunnittelun nyt. Yhdessä ensimmäisistä 5G-käyttöisistä onnistuneista tehdasoperaatioista suoritti Nokia Oulussa. Kokeilu toteutettiin yhteistyössä verkkooperaattori Telian ja suomalaisen ohjelmistoyrityksen Finwen kanssa, joka toimitti verkon reuna- ja ydinpilviominaisuudet. Kokeilussa kokoonpanolinjan prosessia tarkkailtiin videosyötteellä, joka mahdollisti koneoppimisen tunnistaa epäjohtonmukaisuudet, jotta yritys voisi korjata ne reaaliaikaisesti. Tämä auttoi varmistamaan lopputuotteiden luotettavuuden ja laadun. Lisäkoee osoitti myös Telian kyvyn mahdollistaa 5G:n pilvipalvelun etäpalvelutoimitusta yritysasiakkaille. (Data-economy.)



Kuva 20 Älytehdas (Qualcomm C.)

Kuvassa 20 on havainnollistettu 5G:n tuoman älyteollisuuden vaikutukset, ja mitä eri vaatimuksia eri laitteilla on älytehtaassa. Työntekijällä on päässä AR-lasit, jotka antavat jatkuvaa palautetta mitä linjalla tapahtuu, ja se voi neuvoa käyttäjää, miten ratkaista jokin tilanne. Tämän tyyppinen yhteys vaatii korkeaa tiedonsiirtonopeutta pilveen ja takaisin, mutta ei ole ihan niin viiveriippuvainen, joten se voidaan toteuttaa eMBB-siivussa. Varastossa voi olla tuhansittain sensoreita eri käyttötarkoitukseen, kuten esimerkiksi tuotteen määrän valvomiseen, joka lähettää tiedon työntekijälle tai suoraan kuljetusfirmalle, että kuljetus olisi valmiina haettavaksi. Nämä eivät vaadi kriittistä viivettä, ja ne voidaan toteuttaa mMTC-siivussa. Viimeiseksi jää URLLC, jota tarvitaan reaaliaikaisessa kommunikoinnissa, jotta tuontanto pysyy katkeamattomana ja tarvittaviin asioihin tulisi samantien muutos. Kaikki näiden laitteiden tiedot menevät firman omaan pilveen, missä laitteiden välinen kommunikointi, ja datan prosessointi tapahtuu. Kuten tästä huomaa, niin kyseiset asiat eivät onnistu LTE-infrastruktuurilla.



Kuva 21 Älytehtaan esimerkki toiminta (Nokia.)

Sairaalakäytössä on myös tarvetta nopeammalle ja viiveettömämmälle langattomalle teknologialle, jos kehitystä halutaan tapahtuvan. Sairaalassa otettujen kuvien tiedostokoot voivat olla yhden gigatavun kokoisia, ja niiden lähetys ei onnistu matalakaistaisilla yhteyksillä tehokkaasti. 5G:n avulla tiedot lähtevät lähes viiveettä eri asiantuntijoille ja potilas saa nopeammin oikeaa hoitoa. Etähoitojen massiivinen yleistyminen on myös mahdollista nopeamman langattoman verkon myötä. Tämä vaatii reaaliaikaista korkealaatuista videopuhelua potilaan kanssa, ja vaikka yhteydet riittäisivät jo nykypäivänä puhelujen muodostamiseen, niin pointti tässä on 5G-ytimen tuoma yhteinen datakanta, johon sairaaloilla on yhteys, ja monet kolmannen osapuolen kehittelemät sovellukset. Tämän avulla potilas saa vaikka specialistin käyttöönsä, joka ei muuten ole mahdollista. Vaikka AR, VR ja spatiaalia laskentaa käytetään jo rajoitetusti terveydenhuollossa, niin parannettu kokemus voi auttaa lääkäriä diagnosoinnissa. 5G:n monien potentiaalisten sovellusten joukossa yksi kiinnostavimmista on sen rooli monimutkaisten lääketieteellisten skenaarioiden simuloinnissa ja kriittisesti sairaiden vaihtoehtoisten hoitomuotojen mahdollistamiseksi. Tekoälyn (AI) tuominen alalle myös parantaa huomattavasti palvelun laatua. IoT-laitteita käyttämällä terveydenhuollon tarjoajat voivat seurata potilaita ja kerätä tietoja, joita voidaan käyttää henkilökohtaisen ja ehkäisevän hoidon parantamiseksi. Robottileikkausta tapahtuu jo tänä päivänä leikkaussalissa, mutta kirurgin ollessa robotin vieressä eikä etäältä. Tällaiset toimenpiteet suoritetaan käyttämällä haptista palautetta ja teräväpiirtokuvan suoratoistoa, joka vaatii 1ms viivettä ja korkean suorituskyvyn viestintää. 5G-verkot ovat välttämättömiä etäpalvelujen tarjoamiseksi. Näihin moniin vaatimuksiin, jota terveydenhuolto tuo mukanaan LTE-tekniikka ei kykene vastaamaan viiveen, kaistanleveyden, liian pienen laitteen ja IoT-laitteiden huonon akun iän takia. (AT&T Business, Ericsson healthcare.)

Mitä liikenteeseen tulee, niin monet kaupungit ympäri maailmaa käyttävät nykyään älykkäitä kuljetusjärjestelmiä (ITS) ja suunnittelevat tulevansa kytkettyä ajoneuvo-teknologiaa. Näiden järjestelmien näkökohdat on suhteellisen helppo asentaa käyttämällä nykyisiä viestintäjärjestelmiä, jotka tukevat älykästä liikenteen hallintaa ajoneuvojen ruuhkien käsittelemiseksi ja hätäajoneuvojen reitittämiseksi. Mutta jotta itsejyvät autot olisi arkipäivää, niin 5G-SA:n on oltava siellä. Autonomisten autojen perimmäisenä tavoite on ajoneuvojen ja ympäristön välinen (V2X, Vehicle-to-anything)

viestintäverkko. Tämän avulla ajoneuvot voivat reagoida automaattisesti esineisiin ja niiden ympärillä tapahtuviin muutoksiin melkein heti. Ajoneuvon on kyettävä lähettämään ja vastaanottamaan viestejä millisekunnissa, jotta se kerkee jarruttamaan tai vaihtamaan suuntaa. Vertaillaan 4G- ja 5G-viivettä: Oletetaan, että auto, joka kulkee tiellä nopeudella 50km/h, sen täytyy vastaanottaa signaali, jottei se osuisi esteeseen. Nykyisellä 4G-viiveellä, joka on noin 100 millisekuntia, auto kulkisi noin 1,2 metriä. 5G-SA viiveellä, joka on noin realisistisesti noin 10 millisekuntia, ajoneuvo olisi kulkenut vain 12 senttimetriä. Ero on merkittävä ja voi tarkoittaa elämää tai kuolemaa. Tähän tarvitaan aina vakaa ja minimiviiveinen netti, joka ei ole mahdollinen LTE:llä. Julkaisussa 16 3GPP standardoi kehittyneen V2X tuen, joka on askeleen lähempänä tämän infrastruktuurin viimeistelyä, mutta siihenkin menee vielä vähintään vuosi, kunnes voimme nähdä julkisessa käytössä itseajavia autoja muiden seassa turvallisesti. (Harald R.)

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni perehdyin laajasti käytössä olevien mobiiliverkkojen toteutustapoihin ja sovellutuksiin, jotka lähinnä vaativat uusimman verkon ominaisuuksien läsnäolon. Huomasin, että vaikka 5G-hype on päällä, ja hirveästi verkosta lupailaan jo tänä päivänä, niin ydinverkon standardointi on vielä kesken ja kaikkia osa-alueita tutkitaan ja jatkojalostetaan. Uskoisin, että yleisökäyttöön 5G-SA verkko saadaan rajoitetusti vasta noin vuoden päästä, joka kykenee edes lähimain siihen mitä 5G-verkosta luvataan, sekin on täysin kiinni, milloin mikäkin operaattori ottaa käyttöön ratkaisevat tekniikat.

Näkemykseni on, että useat palvelut toimivat jo olemassa olevassa Gigabit LTE-verkkostandardissa, mutta erittäin rajoitetusti. Huomasin, että suurin rajoittaja palveluiden mahdollistamiseksi on liian korkea viive. Mutta myös IoT-laitteiden samanaikainen määrä ja akunkesto jarruttavat kehitystä, kunnes 5G-NR tai jopa SA saadaan asennettua kokonaan. Kaikki korkea älyä ja suurta prosessointia vaativat sovellutukset tulevat vasta 5G-pilvilaskennan kautta. Jotkut sovellutukset myös vaativat suurempia langattomia datanopeuksia (AR/VR). Huomasin, että 5G-NSA yhteyksiä on vain suppeasti kaupunkialueilla, ja nekin ovat vielä kaukana siitä, mitä on luvattu. Toki 5G-NR:n tuoma hieman pienempi viive ja suurempi latausnopeus auttaa vähän kaupunkialueilla, mutta tällä hetkellä se on vain viihdekäyttöön suunnattua. Verkon rakentaminen on pitkä prosessi, ja se vie aikaa sekä rahaa huomattavasti.

Suosittelenkin lukemaan huolellisesti 5G-liittymää hankkiessa, että mitä tekniikoita operaattori lupaa ja tukee, ja mitä suorituskyky realistisesti on.

LÄHTEET

- Nubarron J. Viitattu 18.4.2020 <https://www.brighthub.com/mobile/emerging-platforms/articles/30965.aspx>
- Telcoantennas. Guide to mobile networks Viitattu 18.4.2020 <https://www.telcoantennas.com.au/site/guide-to-mobile-networks>
- Swanner N. 2013. Viitattu 5.3.2019 <https://www.androidauthority.com/4g-lte-guide-146347/>
- Dahlman E., Parkvall S., Skold, J. 2016. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G. Lontoo: Elsevier. Viitattu 18.4.2020
- Kavanagh S a. LTE-Advanced Pro. Viitattu 20.4.2020 <https://5g.co.uk/guides/lte-advanced-pro/>
- Kavanagh S b. 5G verkoista <https://5g.co.uk/guides/what-is-5g-new-radio/> Viitattu 19.4.2020
- Kavanagh S. 2018. 5G:n nopeudet. Viitattu 19.4.2020 <https://5g.co.uk/guides/how-fast-is-5g/>
- Rémy J. G. & Letamendia C, LTE standards. 2014. Lontoo: John Wiley & Sons, Inc Viitattu 18.4.2020
https://books.google.fi/books?id=r_yjBAAAQBAJ&pg=PA23&lpg=PA23&dq=lte+standards&source=bl&ots=wBmdeTZ-Uy&sig=ACfU3U2s1to68plYApcqRnHx2eXMXhr4Qg&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKUwjF97fi5PngAhXlzKYKHZJ5AVQQ6AEwDXoECAEQAAQ#v=onepage&q&f=false
- Tutorialspoint LTE Network Architecture. Viitattu 20.4.2020 https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm
- Cox C, 2012. Mobiiliverkkojen esittely. Lontoo: John Wiley & Son. Viitattu 19.4.2020
- Huawei white sheet <http://huawei.com/minisite/hwmbbf16/insights/5G-Nework-Architecture-Whitepaper-en.pdf>
- EMF. Viitattu 19.4.2020 <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>
- Viavi. Viitattu 19.4.2020 <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture>
- (ITUnews. Viitattu 21.4.2020 <https://news.itu.int/why-end-to-end-network-slicing-will-be-important-for-5g/>)
- Qualcomm A. Viitattu 21.4.2020 <https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/06/20/how-5g-massive-mimo-transforms-your-mobile-experiences>
- Robert T. Androidauthority. Viitattu 23.4.2020 <https://www.androidauthority.com/what-is-5g-explained-944868/>
- Huawei White sheet. Viitattu 24.4.2020 https://www-file.huawei.com/-/media/corporate/pdf/mbb/5g_network_architecture_whitepaper_en.pdf?la=en-gb&source=corp_comm
- Haltian A. NB-IoT protokolla. Viitattu 27.4.2020 <https://haltian.com/connectivity-garage/iot-protocols-overview/nb-iot/>

Haltian B. NB-IoT protokolla 2. Viitattu 27.4.2020 <https://haltian.com/connectivity-garage/iot-protocols-overview/nb-iot/nb-iot-3gpp-release-14/>

Haltian C. LTE-CAT M1 protokolla. Viitattu 27.4.2020 <https://haltian.com/connectivity-garage/iot-protocols-overview/lte-cat-m1/>

Ian M. Introducing the 5G core. Viitattu 27.4.2020 <https://www.rcrwireless.com/20191127/opinion/readerforum/introducing-5g-core-network-reader-forum>

Robert T. B Forget mmWave. Viitattu 27.4.2020 <https://www.androidauthority.com/mmwave-vs-6ghz-5g-893004/>

Robert T. C 5G-hype on tulossa. Viitattu 28.4.2020 <https://www.androidauthority.com/dont-fall-5g-hype-896610/>

Ericsson. Data traffic. Viitattu 28.4.2020 <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2019/mobile-data-traffic-outlook>

Speedtest A. Viitattu 28.4.2020 <https://www.speedtest.net/global-index>

Harald R. 5G käyttötarkoitukset. Viitattu 28.4.2020 <https://www.digi.com/blog/post/5g-applications-and-use-cases>

Pete B. Mobiilidatan käyttö. Viitattu 28.4.2020 <https://blog.telegeography.com/finns-lead-the-way-in-mobile-data-usage>

Newsbeez. Viitattu 30.4.2020. <https://newsbeez.com/venezuelaeng/how-many-megabytes-of-data-whatsapp-uses-audios-calls-messages/>

Ana S. Qualcomm B. Viitattu 7.5.2020 <https://developer.qualcomm.com/blog/5g-rollout-roadmap-mobile-innovation>

John D. 5G in Europe. Viitattu 7.5.2020 <https://blog-idcuk.com/5g-europe-timeline-availability/>

Elisa A. 5G-kuuluvuuskartta. Viitattu 7.5.2020 <https://elisa.fi/kuuluvuus/?verkko=5G>

Elisa B. Tietoa Elisan 5G-verkosta. Viitattu 7.5.2020 <https://elisa.fi/asiakaspalvelu/aihe/mobiililaajakaista/ohje/5g/>

James S. 5G cheat sheet. Viitattu 10.5.2020 <https://www.techrepublic.com/article/5g-mobile-networks-a-cheat-sheet/>

Data-economy. Viitattu 10.5.2020 <https://data-economy.com/how-5g-will-drive-the-future-of-industry-4-0/>

Nokia. 5GMomentum. Viitattu 10.5.2020 https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Putkonen%20Jyri_5GMomentum_5GIIoT_JPutkonen_20191029.pdf

AT&T Business. Viitattu 10.5.2020 <https://www.business.att.com/learn/updates/how-5g-will-transform-the-healthcare-industry.html>

Ericsson healthcare. Viitattu 10.5.2020 <https://www.ericsson.com/en/networks/trending/insights-and-reports/5g-healthcare>

Qualcomm C. Viitattu 10.5.2020 <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/future-of-5g.pdf>

Mobile gaming. Viitattu 10.5.2020 <https://www.4g.co.uk/news/4g-injecting-new-lease-life-online-gaming-mobile-broadband/>

Speedtest B. 5G-viive. Viitattu 11.5.2020 <https://www.speedtest.net/insights/blog/5g-united-kingdom-2019/>

Balaji E. AR&VR. Viitattu 11.5.2020 <https://www.ericsson.com/en/blog/2020/4/how-5g-and-edge-computing-can-enhance-virtual-reality>

Kavanagh S, D. Viitattu 24.4.2020 <https://5g.co.uk/guides/what-is-network-slicing/>