

Teemu Virhiä

Kohti 5G-verkkoja

Tietotekniikan koulutusohjelma

2018

Kohti 5G-verkkoja

Virhiä, Teemu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Ohjaaja: Aromaa, Juha, DI
Toukokuu 2018
Sivumäärä: 39
Liitteitä: -

Asiasanat: 5G-tekniikka, tietoliikenneverkot, matkapuhelinjärjestelmät, esineiden internet.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin yleisesti 5G-teknologiaa. Työssä tarkasteltiin matkapuhelinjärjestelmiä, sekä niiden historiaa aikaisempien sukupolvien osalta. Tutkimus keskittyi pääasiassa 5G:lle asetettuihin vaatimuksiin eri osa-alueiden osalta, sekä mahdollisiin käytettäviin tekniikoihin. Työssä luotiin katsaus myös 5G:tä koskettaviin aiheisiin kuten esineiden internettiin, tietoturvaan, sekä markkinoihin ja toimijoihin 5G:n ympärillä.

Towards 5G networks

Virhiä, Teemu

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Information Technology

Supervisor: Aromaa, Juha, M.Sc. (eng)

May 2018

Number of pages: 39

Appendices: -

Keywords: 5G technology, telecommunication networks, mobile phone systems, internet of things.

5G technology was studied in this thesis. The work involved examining mobile phone systems and their history for older generations. Focus of the study was mainly on the requirements of 5G and possible technologies close to it. Overview of topics related to 5G, such as the Internet of Things, security and market and actors around the 5G were also provided by the thesis.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	HISTORIAA	8
2.1	Sukupolvet	8
2.1.1	0G	8
2.1.2	1G	8
2.1.3	2G	9
2.1.4	3G	9
2.1.5	4G	10
2.1.6	5G	10
2.2	Tiivistelmä	11
3	5G:N VAATIMUKSET	12
3.1	Tavoitteet	13
3.2	Taajuusalueet	18
4	TEKNIikka	19
4.1	Taajuuskaistat	24
4.1.1	Alle 6GHz	26
4.1.2	Yli 6GHz	26
4.2	Massive MIMO	27
4.3	Slicing	28
4.4	Tietoturva.....	29
5	MARKKINAT JA TOIMIJAT.....	31
5.1	Markkinat.....	31
5.2	Projekteja Suomessa	33
5.2.1	Olympialaiset	33
5.2.2	LuxTurrin5G	34
6	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET.....	36

LYHENTEET

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
5G NR	5G New Radio
5GS SBA	5G System Service Based Architecture
AF	Application Function
AMF	Access and Mobility management Function
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AN	Access Network
API	Application Programming Interfaces
AUSF	Authentication Server Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CUPS	Control and User Plane separation
D2D	Device to Device
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eMBB	enhanced Mobile Broadband
eNB	evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
GMSA	GSM Association
gNB	next generation NodeB
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HSPA	High Speed Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMT	International Mobile telecommunications
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU-R	International Telecommunication Union-Radio Sector
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MAC	Media access control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity

mMTC	massive Machine Type Communication
NEF	Network Exposure Function
NMT	Nordisk Mobile Telephones
NRF	NF Repository Function
NSSF	Network Slice Selection Function
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
PCF	Policy Control Function
PCRF	Policy and Charging Rules Function
P-GW-C	PDN Gateway Control
P-GW-U	PDN Gateway User plane Function
RAN	Radio Access Network
SAE	System Architecture Evolution
SCEF	Service Capability Exposure Function
S-GW-C	Serving Gateway Control
S-GW-U	Serving Gateway User plane function
SMF	Session Management Function
SMS	Short Message Service
TACS	Total Access Communications System
TDMA	Time Division Multiple Access
UDC	User Data Convergence
UDM	Unified Data Management
UDR	Unified Data Repository
UE	User Equipment
UMTS	The Universal Mobile Telecommunications System
UPF	User Plane Function
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
WCDMA	Wide band CDMA
Wi-Fi	Wireless Fidelity
VR	Virtual Reality

1 JOHDANTO

Mobiilidata ja käyttäjämäärät ovat kasvaneet nopealla vauhdilla. Tämä kasvu tulee jatkumaan yhä kiivaammin tulevaisuudessa. Älypuhelimien, sekä sosiaalisen median vaikutuksesta nopeampien ja luotettavimpien palveluiden kysyntä lisääntyy jatkuvasti. Pelkästään tästä syystä seuraavan sukupolven verkolle on kasvava tarve.

IoT (*Internet of Things*) tulee olemaan suuri osa tulevaisuuden arkea, jolloin M2M (*Machine to Machine*) ja D2D-yhteydet (*Device to Device*) tulevat tarvitsemaan uusia ratkaisuja, sekä tekniikoita, jotta tulevaisuuden tarpeisiin voidaan vastata. Luotettaville ja matalaa viivettä hyödyntäville sovelluksille on myös kysyntää. 5G:n odotetaan vastaavaan tähän tarpeeseen ja kehitys on jo hyvinkin pitkällä.

5G-verkot tulevat siis olemaan käytössä monissa sovellutuksissa ja mahdollistamaan monia eri käyttötarpeita. 5G-verkkojen odotetaan tulevan kaupalliseen käyttöön jo muutaman vuoden sisällä.

Tässä työssä tutustutaan tämänhetkiseen tilanteeseen 5G:n osalta, sekä mahdollisiin ratkaisuihin, tekniikoihin ja sovellutuksiin.

2 HISTORIAA

Ihmiset ovat aina halunneet kommunikoida keskenään. Matkapuhelinverkot ja mobiilikommunikaatio olivat alkuun lähinnä armeijoiden ja yhtiöiden käytössä, koska niiden kehittäminen vaati tarkkaa määritystä tiettyyn tarkoitukseen. Mobiilikommunikaatio on kehittynyt puheluista, SMS-viesteistä (*Short Message Service*) aina internetiin, joka mahdollistaa hyvin suurten datamäärien siirtämisen käyttäjille. Lisääntynyt dataliikenne onkin suurin osa-alue tämän hetken matkapuhelinverkoissa. [1]

2.1 Sukupolvet

Matkapuhelinverkkojen sukupolvet eivät ole täysin selviä käsitteitä. Siirtymisessä seuraavaan sukupolveen on usein yhteydessä uudet taajuuskaistat, suuremmat datansiirtonopeudet, sekä uudet teknologiat, jotka eivät ole yhteensopivia vanhojen järjestelmien kanssa. Uusi sukupolvi on kehittynyt n. 10 vuoden välein. [17]

2.1.1 0G

Järjestelmiä, joita kutsutaan takautuvasti 0G olivat alussa paljolti kokeellisia. Ensimmäiset verkot luotiin 1940-luvulla kiinteästi autoihin ja ihmisoperaattorit kytkivät puhelut manuaalisesti. 1960-1980 kehitettiin monia järjestelmiä, jotka tarjosivat automaatiikkaa, sekä paremman laadun, jonka taajuus-/vaihemoduloitu radioverkko mahdollisti. Transistorit mahdollistivat kannettavien laitteiden kehittelyn, varsinkin henkilöhakulaitteiden osalta. [1]

2.1.2 1G

70-luvulla tehtyjen innovaatioiden ansioista matkaviestintä otti suuria askeleita. Analoginen teknologia mahdollisti satojen radiotaajuuksien käsittelyn vain muutamien kymmenien sijaan. Kanavien määrän kasvaessa järjestelmät pystyivät palvelemaan suurta määrää asiakkaita. Taajuussyntetisointi mahdollisti myös kannettavien laitteiden lisääntyneen produktion.

Ensimmäisen sukupolven verkot olivat siis analogisia standardeja, jotka otettiin käyttöön 1980-luvulla. Suurimpia järjestelmiä olivat NMT (*Nordisk Mobile Telephones*) Euroopassa, AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) Amerikassa ja TACS (*Total Access Communications System*) Britanniassa. [1] [2]

2.1.3 2G

1980-luvulla integroitujen virtapiirien laskentatehon valtava kasvu mahdollisti teknologioiden nopean etenemisen. Vokooderien kehitys mahdollisti siirtymisen analogisesta täysin digitaaliseen lähetykseen. Juuri digitaalisuus on suurin ero 2G:ssä vanhaan sukupolveen. 1982 GSM (*Global System for Mobile communications*) kehitettiin ja, koska CDMA (*Code-division multiple access*) tarvitsi vielä liikaa laskentatehoa, valittiin yksinkertaisempi TDMA (*Time-division multiple access*) yleiseksi tekniikaksi. 1990-luvun alussa GSM alkoi tulemaan kaupallisesti saatavaksi. GSM esitteli myös tärkeän osa-alueen mobiiliin kommunikointiin SMS-viestien muodossa.

GSM levisi lähes joka puolelle maapalloa. GSM synnytti myös GPRS:n (*General Packet Radio Service*), joka mahdollisti datan siirtämisen aina 50kbps asti. GPRS mielletään usein myös sukupolvien väliin ns. 2.5G CDMA:n käyttö tuli myös mahdolliseksi ja kilpailun takia GSM:ää varten kehitettiin GPRS:n modifikaatio EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*). Tämä variantti pystyi hyödyntämään samaa infrastruktuuria ilman tarvetta rakentaa uutta verkkoa. EDGE mahdollisti datan siirtämisen aina 240kbps asti ja se otettiin käyttöön kaikilla GSM-operaattoreilla. [1]

2.1.4 3G

3G nosti verkon nopeutta todella paljon verrattuna 2G:hen. 3G:n kehitystä ajoikin paljon datasiirron vaatimukset. Pohjoismaissa kehitettiin CDMA variantti WCDMA (*Wideband Code-division multiple access*) ja se voitti kehittäjäkilpailun. Tätä varianttia käyttää 3GPP:n (*3rd Generation Partnership Project*) kehittämä ja ylläpitämä UMTS (*The Universal Mobile Telecommunications System*). Toisin kuin EDGE, UMTS tarvitsi uusia tukiasemia ja taajuuskaistoja. 2000-luvun alussa UMTS tuotti

järjestelmät HSPA (*High Speed Packet Access*) ja HSPA+, jotka pystyivät palvelemaan datan käyttäjiä jälleen paremmin. 3G oli tärkeä digitaalisen datan kannalta. [1] [3]

2.1.5 4G

3GPP alkoi tutkimuksissaan pyytää täysin uutta systeemiä mobiilidatan siirtoon. Tämä systeemi ei olisi takaisinpäin yhteensopiva vanhojen järjestelmien kanssa, mutta kuitenkin toimisi niiden rinnalla. Tärkeitä ominaisuuksia olivat, että uusi järjestelmä on IP-pohjainen (*Internet Protocol*) ja arkkitehtuuriltaan yksinkertainen. ITU-R (*International Telecommunication Union Radiocommunication Sector*) julkaisi vuonna 2008 IMT-Advanced vaatimukset 4G-järjestelmälle. Projektit, jotka vastasivat vaatimukseen olivat 802.16m IEEE:n (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) standardoimana ja LTE (*Long-Term Evolution*) 3GPP:n standardoimana. LTE-standardi finalisoitiin vuonna 2008 release 8 myötä. [1] [4]

2.1.6 5G

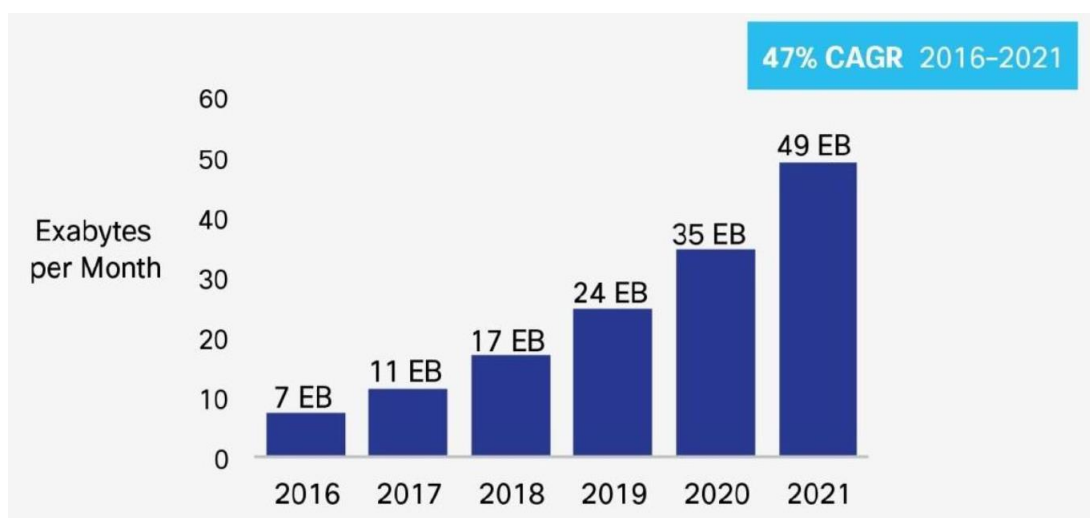
5G-järjestelmiä kehitetään tällä hetkellä ja niitä on tarkoitus ottaa käyttöön vuonna 2018 ja kaupallisia sovelluksia odotetaan vuonna 2020. Erilaisia järjestelmiä on kehitteillä ja niissä tullaan hyödyntämään taajuuskaistoja hyvinkin laajasti. Eri operaattoreilla on suunnitelmia hyödyntää eri kaistoja. Yli 6 GHz kaistoihin on suuri kiinnostus, koska ne voivat tarjota tarvittavia suuria nopeuksia. Monet 4G:n kehitystä johtaneet yhtiöt kehittelevät myös 5G-teknologiaa. Näitä yhtiöitä ovat mm. Samsung, Intel, Qualcomm, Nokia, Huawei, Ericsson, ZTE. [5]

2.2 Tiivistelmä

- 1G-tekniikat olivat analogisia (NMT, AMPS ja TACS)
- 2G oli ensimmäinen digitaalinen sukupolvi (CDMA, GSM ja TDMA)
- 3G vastasi lisääntyneeseen datan vaatimukseen (EVDO, HSPA ja UMTS)
- 4G on tämänhetkinen teknologia, joka perustuu IP-verkkoihin (WiMAX ja LTE)
- 5G pyrkii vastaamaan lisääntyneeseen datan määrään ja IoT:n vaatimukseen. Laitteiden määrä, jotka ovat jatkuvassa yhteydessä tulee kasvamaan valtavasti ja teknologialla on paljon eri osa-alueisiin asetettuja tavoitteita, jotta tulevaisuuden tarpeisiin voidaan vastata.

3 5G:N VAATIMUKSET

Datan määrä joka kulkee mobiiliverkkojen läpi kasvaa jatkuvasti. On laskettu, että 2010-2020 datan määrä tulisi kasvamaan 1000x. Toinen arvio on, että vuoteen 2021 mennessä mobiilidataliikenne kasvaa 50 miljardin Gigatavun kuukausivauhdilla. Syynä tähän valtavaan kasvuun on paljolti älypuhelimet ja niiden tarjoama multimedia, varsinkin HD-tason video. Merkittävä tekijä tässä on ollut sosiaalinen media ja sen vaikutus ihmisten mobiilikäyttöön. Dataliikenne on vuonna 2022 7-8 kertainen nykyiseen verrattuna. Näihin tuleviin tarpeisiin ei voida vastata muutoin kuin ottamalla käyttöön uusia taajuuskaistoja ja tekniikoita. [25] [6]



Kuva 1. [37]

Kuvaajassa nähdään Cison ennuste datamäärien kasvamisesta vuoteen 2021 asti. 1 EB (*eksatavu*) = 1 miljardi Gigatavua. [37]

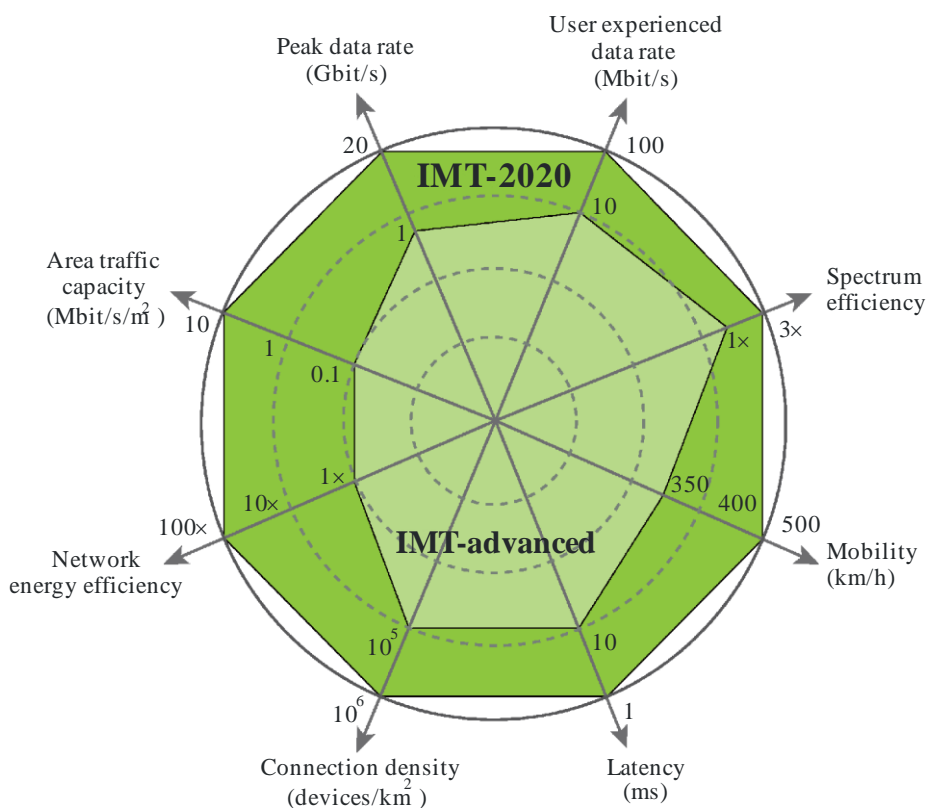
Lisääntyneen datan lisäksi suuri haaste tulee olemaan verkkoon yhdistettyjen laitteiden määrä. Tulevaisuudessa odotetaan kaikkien laitteiden olevan yhteydessä keskenään, tätä kutsutaan yleensä nimellä IoT ja M2M. Tämä mahdollistaisi älykkäiden kaupunkien, laitteiden ja palveluiden kehittelyn. [6]

5G:stä suunnitellaan tekniikkaa, joka tulee olemaan alusta monille eri palveluille. 5G tulee olemaan olennainen osa VR-kokemuksia (*Virtual Reality*), liikenteen automaatiikkaa, terveyden etäpalveluita, viisaita energiaverkkoja ja ratkaisuja, automatisoitua tuotantoa, älykkäitä kaupunkeja ja infrastruktuureja, sekä digitaalista kaupankäyntiä.

Koska 5G:tä tullaan käyttämään lukemattomissa palveluissa ja kohteissa on sillä tärkeitä asetettuja tavoitteita. [6] [7] 5G:n tärkeimpiin ominaisuuksiin voidaan lukea luotettavuus ja energia tehokkuus. Sen pitää pystyä suuriin nopeuksiin ja matalaan viiveeseen. Verkossa kiinni olevien laitteiden lisääntymisen myötä tarvitsee 5G:n olla hyvin tietoturvallinen ja huolehtia käyttäjien yksityisyydestä. [7]

3.1 Tavoitteet

ITU on hyväksynyt IMT-2020 vaatimukset 5G:n suhteen. On selvää, että 5G sisältää paljon erilaisia palveluita, joilla on eriävät tarpeet. Tämän toteuttaminen tulee vaati-
maan paljon eri tekniikoita, sekä ratkaisuja, jotta kaikkien palveluiden tarpeisiin voidaan vastata. Yleisen palvelun laadun oletetaan vastaavaan kiinteitä yhteyksiä. Tulevaisuuden videopalveluiden tulee pystyä liikuttamaan suuria datamääriä. Tietyt sovellukset tulevat tarvitsemaan todella matalaa viivettä. M2M ja IoT lisää laitteiden ja yhteyksien määrää. Itseohjautuvat kulkuneuvot tulevat tarvitsemaan todella luotettavia yhteyksiä. 5G haaste on siis palvella ja toteuttaa näitä kaikkia monimuotoisia tarpeita. IMT-2020 onkin asettanut tavoitteet joihin 5G:n tulisi pyrkiä. [16]



M.2083-03

Kuva 2. [18]

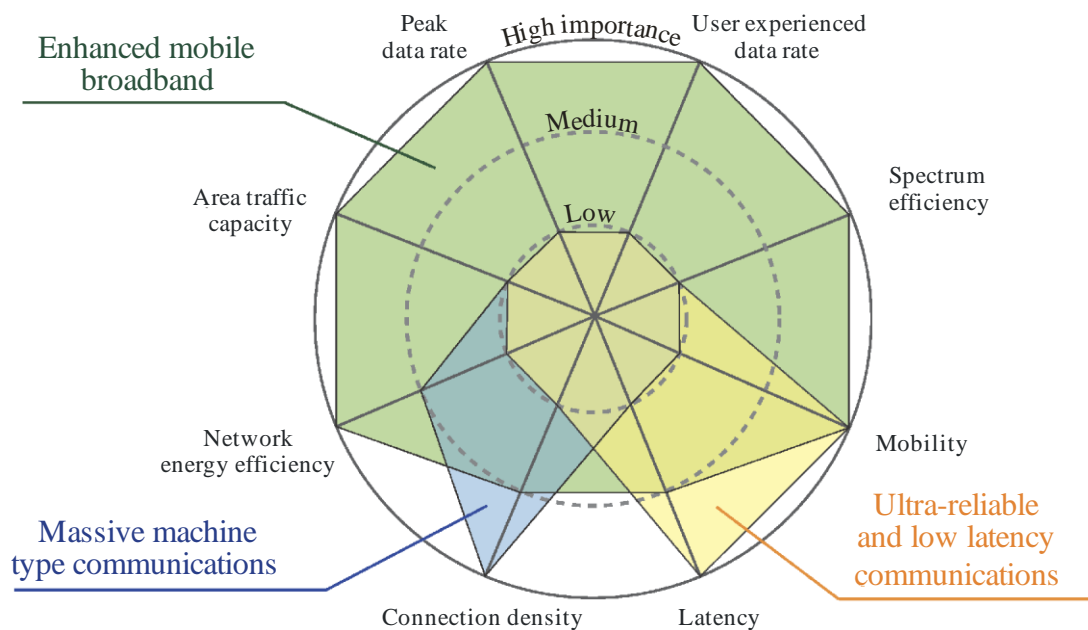
Kuvassa nähdään tämänhetkinen IMT-advanced verrattuna IMT-2020 asetettuihin tavoitteisiin. Esitetyt luvut ovat teoreettisia, sekä tavoitteita tutkimukselle ja ovat avoimia muutoksille kehityksen jatkuessa.

Datanopeuden oletetaan saavuttavan 10Gbit/s huippunopeuden ja tietyissä olosuhteissa jopa 20Gbit/s. Käyttäjille datanopeuden uskotaan pääsevän 100Mbit/s. Taajuuksien tehokkuuden oletetaan kolminkertaistuvan, mutta kasvu vaihtelee käyttötarkoitusten mukaan.

Energiatehokkuus on äärimmäisen tärkeää. 5G:n RAN:in (*Radio access network*) pitää pystyä tarjoamaan parempia ominaisuuksia, kuitenkin samalla pitäen energiatehokkuuden nykyisellä tasolla. Koska datamäärät ja yhteydet tulevat kasvamaan valtavasti pitää verkon energiatehokkuuden kasvaa samassa tasossa, kuten kuvaajassa on 100x energiatehokkuuden kasvu toivottavana tavoitteena.

Ilmassa kulkevan viiveen tulee olla myös hyvin matala, jotta palvelut, jotka tätä vaativat ovat mahdollisia. Suuri laitteiden ja yhteyksien tiheys tulee myös olla mahdollista

M2M- ja IoT-tyyppisten yhteyksien takia. Junat ja liikkuvat kulkuneuvot tulevat myös vaatimaan korkean liikkuvuuden mahdollistamista, kuvaajassa 500km/h. [18]



M.2083-04

Kuva 3. [18]

Kuvassa näkyy kolmen tärkeän osa-alueen eroavat vaatimukset. Vaikka kaikki nämä tulevat tarvitsemaan parannuksia monessa suhteessa on kuitenkin eroja mitä parannuksia eri palvelut vaativat.

eMBB (*enhanced Mobile Broadband*) tulee tarjoamaan käyttäjille nopeita mobiililaa- jakaistapalveluita. Mobiilidata tulee jatkamaan 3G:n ja 4G:n mahdollistamaa datansiirtoa, mutta parannuksia tulee olemaan usealla osa-alueella. eMBB tulee luultavasti hyödyntämään yli 24GHz taajuuskaistoja, joita voidaan kutsua nimellä mmWave. Nämä korkeat taajuudet mahdollistavat erittäin nopean mobiililaa- jakaistan tarjoamisen käyttäjille. Älypuhelimet ovat yleistyneet ympäri maapalloa ja viihdepalveluita käytetään yhä enemmän. Tämän takia eMBB:lle tärkeää on datansiirtonopeudet, liikkuvuus, kapasiteetti, sekä energia- ja taajuustehokkuus. Tarpeet kuitenkin vaihtelevat, datanopeus ja liikkuvuus eivät aina ole yhtä tärkeitä riippuen vaadittavasta tilanteesta.

URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communication*) vaatii erittäin matalaa viivettä sovelluksiin, joissa se on turvallisuuden ja toiminnan takaamiseksi tärkeää. Näissä tilanteissa suuret datanopeudet eivät ole tarpeellisia. Erittäin matalaa viivettä ja luotavuutta tarvitaan sovellutuksissa kuten robotiikka, sekä automaatio. Molemmat vaativat luotettavia, matalalla viiveellä toimivia sovellutuksia. Tehtaat hyötyvät näistä mahdollisuuksista, kun laitteita voidaan yhdistää toisiinsa ja ongelmatilanteita pystytään selvittämään, sekä ratkaisemaan nopeammin. Sairaanhoidossa on paljon mahdollisuuksia toteuttaa palveluita 5G:n tarjoamien yhteyksien ansioista. Potilaiden tarkkailu, sekä esimerkiksi robotiikan avulla toteutettavat hoitotoimenpiteet tulevat mahdolliseksi yhteyksien vastatessa vaadittaviin tarpeisiin. Itseohjautuvat autot, sekä kuluneuvot tulevat tarvitsemaan yhteyksiä, joilla ne pystyvät keskustelemaan ja jakamaan informaatiota keskenään. Tärkeitä tulevat siis olemaan tilanteet, sekä sovellukset, joissa yhteydessä olevien sensorien ja laitteiden on oltava täysin luotettavia. Tietoturva on myös erittäin tärkeää näissä sovellutuksissa.

mMTC (*massive Machine Type Communication*) / Massive IoT tulee yhdistämään valtavan määrän laitteita, jolloin yhteyksien määrä ja energiatehokkuus korostuu. Laitteet eivät kuitenkaan välttämättä kommunikoi jatkuvasti ja pysyvät paljolti paikoillaan. Tavoite on mahdollistaa lukuisten laitteiden toiminta pienelläkin alueella. mMTC yhdistää yksinkertaisia ja vähän energiaa kuluttavia laitteita suuren määrän verkkoon. Laitteilla on pitkä elinikä ja eivät välttämättä ole koko ajan toiminnassa. Sovellutuksia ovat mm. rakennusten monitorointi ja automaatio, älykäs maanviljely, logistiikka ja seuranta. Yksi 5G:n suurimpia odotuksia onkin juuri IoT ja sen mahdollistamat älykkäät kaupungit, sekä ratkaisut. Infrastruktuurin yhdistäminen kokonaisuudeksi, jota voidaan kehittää ja hallita paremmin. Älykkäät kodit tulevat myös hyödyntämään näitä ratkaisuja. Maatalous ja logistiikka ovat loistavia kohteita 5G-ratkaisuille. Tietoturva on myös tässä osa-alueessa korostunutta. [18] [32] [36]

Technical requirement	Usage scenario applicability				Target value		
	eMBB	mMTC	URLLC	General/ Non-specific			
4.1 Peak data rate	√				DL: 20 Gbps UL: 10 Gbps		
4.2 Peak spectral efficiency	√				DL: 30 bps/Hz UL: 15 bps/Hz		
4.3 User experienced data rate	√				DL 100 Mbps UL 50 Mbps		
4.4 5th percentile user spectral efficiency	√				TE	DL	UL
						(bit/s/Hz)	(bit/s/Hz)
					InH	0.3	0.21
					DU	0.225	0.15
					RU	0.12	0.045
4.5 Average spectral efficiency	√				TE	DL	UL
						(bit/s/Hz)	(bit/s/Hz)
					InH	9	6.75
					DU	7.8	5.4
					RU	3.3	1.6
4.6 Area traffic capacity	√				10 Mbit/s/m ²		
4.7.1 User plane latency	√		√		URLLC: 1ms eMBB: 4ms		
4.7.2 Control plane latency	√		√		20ms (10ms encouraged)		

Kuva 4. [40]

Technical requirement	Usage scenario applicability				Target value		
	eMBB	mMTC	URLLC	General/ Non-specific			
4.8 Connection density		√			1,000,000 devices/km ²		
4.9 Energy efficiency	√				Qualitative measure		
4.10 Reliability			√		1-10 ⁻⁵ Success Probability for TX 32B in 1ms		
4.11 Mobility	√				TE	TCDL(bits/s/Hz)	Mobility(km/h)
					InH	1.5	10
					DU	1.12	30
					RU	0.8	120
					RU	0.45	500
4.12 Mobility interruption time	√		√		0 ms		
4.13 Bandwidth				√	At least 100MHz, up to 1GHz for higher frequency bands		

Kuva 5. [40]

Kuvissa nähdään IMT-2020 asetettuja vaatimuksia 5G:n osalta. [40]

3.2 Taajuusalueet

Tärkeimpiä tavoitteita 5G:n potentiaalin saavuttamiseksi on kolmen tärkeän taajuusalueen yhtenäinen hyödyntäminen, jotta kaikkiin tulevaisuuden tarpeisiin voidaan vastata.

Tärkeät alueet ovat:

- Alle 1 GHz, joka tukee laajaa toiminta-aluetta kaupunkeihin, sekä maaseudulle. Tärkeä tekijä alle 1 GHz alueen käyttöönottamisessa on IoT-palveluiden odotettu kasvu ja mobiililaajakaistan kattavuuden lisääminen.
- 1-6 GHz tarjoaa hyvän tasapainon verkon kattavuuden, sekä kapasiteetin osalta. Nämä taajuusalueet ovat osittain jo 3G ja 4G:n käytössä, myös näitä käytössä olevia alueita voitaisiin vähitellen mukauttaa 5G:n tarpeisiin. Näille alueille osa operaattoreista tulevat luultavasti tarjoamaan ensimmäisiä 5G-palveluita.
- Yli 6 GHz-alueelle on suuri tarve, jotta voidaan vastata ultra-nopean verkon vaatimuksiin, jota 5G:n toivotaan tarjoavan. Suurin keskittyminen tulee olemaan mmWave alueella, eli yli 24 GHz taajuuksilla. Kiinnostusta on 24/28 GHz taajuuksiin, niiden läheisyyden takia, jolloin näitä voidaan hyödyntää samassa laitteessa. 6-24 GHz alueisiin on osoitettu myös lisääntyntä kiinnostusta. [8] [9]

4 TEKNIikka

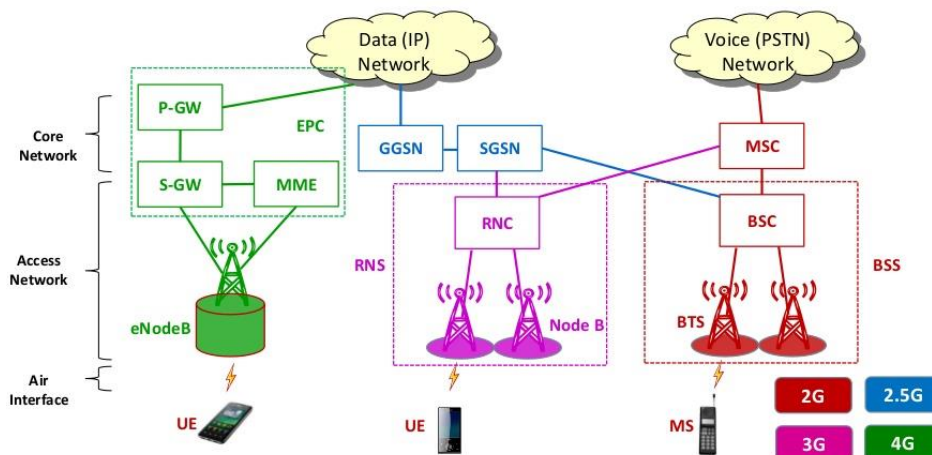
5G-tekniikka on vasta kehitteillä ja selvää tietoa ei ole mitä tekniikoita 5G tulee lopulta käyttämään. IMT-2020 on asettanut tavoitteet, johon tulevien 5G-palveluiden tulisi pyrkiä ja 3GPP on joulukuussa 2017 allekirjoittanut ensimmäisen spesifikaation 5G:lle. Tämä spesifikaatio mahdollistaa vankan pohjan sille, miltä 5G tulee näyttämään. [15]

5G NR (*5G New Radio*) on uusi radiokommunikaatiosysteemi. 5G NR sisältää mm. seuraavia asioita:

- Skaalautuva ja optimoitu OFDM-pohjainen ilmarajapinta. OFDM on jo nyt käytössä LTE:ssä ja Wi-Fi:ssä (*Wireless Fidelity*), joten täysin uutta kanavointitekniikkaa ei 5G tule käyttämään.
- Flexible framework. Tehokkaan multipleksoinnin hyödyntäminen, sekä tulevaisuuden yhteensopivuuksien varmistaminen, jotta 5G:n laajoihin palvelutarpeisiin voidaan vastata.
- Kehittynyt kanavakoodaus ja langattoman verkon teknologiat. eMBB, uRLLC ja IoT tulevat tarvitsemaan uusia ratkaisuja, jotta nämä kolme erilaista käyttökohdetta voidaan toteuttaa. Teknologioita tulevat olemaan mm. massiveMIMO (*Multiple Input Multiple Output*) ja mmWave-tekniikat.

5G muistuttaa kokonaisuutena paljon 4G:n SAE (*System Architecture Evolution*) runkoverkkoarkkitehtuuria eli corea. SAE taas on kehitystä GPRS Core Networkista. SAE on IP-pohjainen arkkitehtuuri, jossa control plane- ja user plane-liikenne on eroteltu. [21]

2G – 4G Reference Point Network Architecture



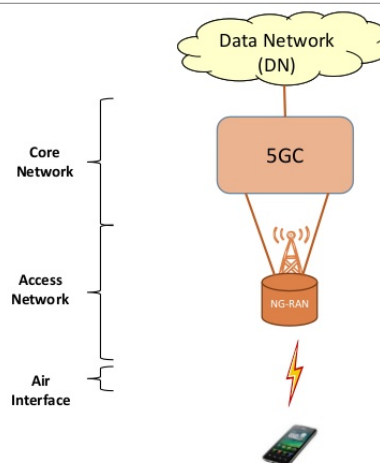
Kuva 6. [23]

Tässä nähdään vertailun vuoksi yksinkertaistetut mallit vanhoista verkkoarkkitehtuurista. Seuraavaksi esitellään sama 5G:n osalta.

5G System (5GS) – Simplified

5G System is defined as 3GPP system consisting of 5G Access Network (AN), 5G Core Network and UE. The 5G System provides data connectivity and services.

3GPP TS 23.501: System Architecture for the 5G System; Stage 2
 3GPP TS 23.502: Procedures for the 5G System; Stage 2



Kuva 7. [23]

Kuvassa nähdään todella yksinkertaistettu malli 5G-systemistä. Kuvassa nähdään UE (*user equipment*) taso, jolla otetaan yhteys AN:ään (*access network*), joka on yhteydessä 5G-runkoverkkoon eli 5G-coreen.

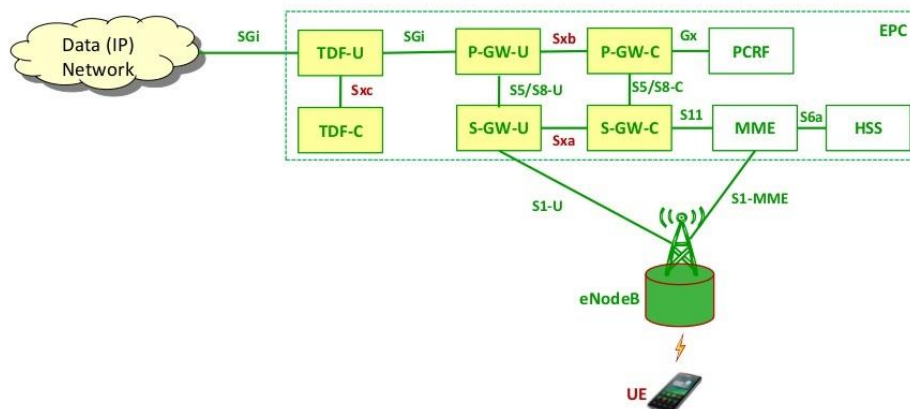
Vanhassa runkoverkossa on:

- Selvät fyysiset yksiköt.
- Yksi core.
- Dedikoidut protokollat.

5G tulee olemaan:

- Palvelupohjainen (Service Based).
- Sisältää virtualisointia (slicing).
- Pilvipalveluita.
- Vapaampi kolmansille osapuolille.
- Eteenpäin ja taaksepäin yhteensopiva.

EPC



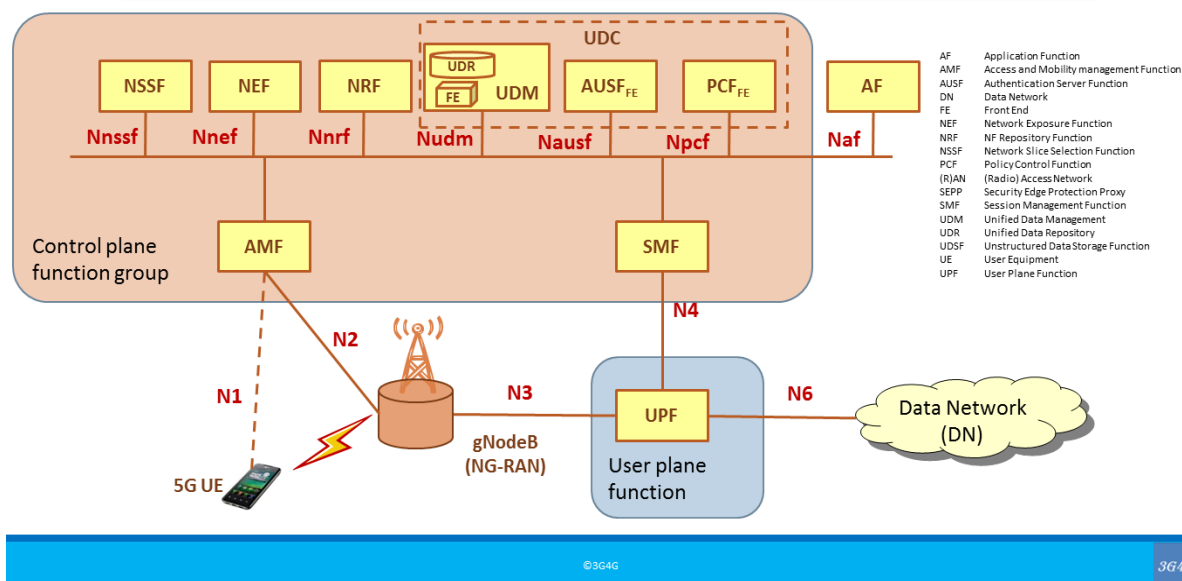
©3GPP

3GPP

Kuva 8. [23]

Kuvassa näkyy EPC (*Evolved Packet Core*) CUPS:in (*Control and User Plane separation*) käyttöönoton jälkeen. Control ja Userplane on siis tässä systeemissä erotettu toisistaan. Tämä systeemi on käytössä tällä hetkellä 4G:ssä.

5GS Service Based Architecture (SBA)



Kuva 9. [23]

Kuvassa on hahmoteltu uusi 3GPP:n 5GS SBA (*5G System Service Based Architecture*).

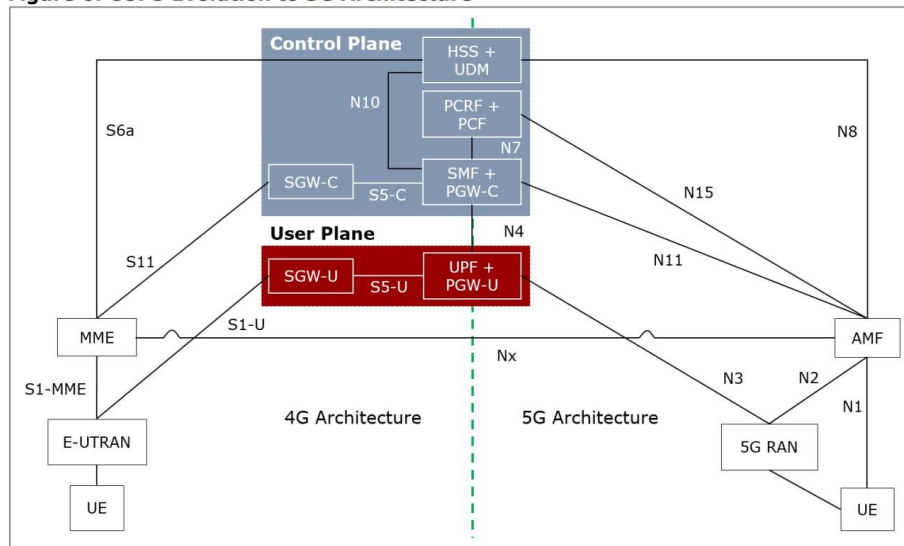
- UE on yhteydessä gNB:hen (*next generation NodeB*). gNB vastaa LTE:n eNB:tä (*evolved NodeB*). eNB on laitteisto, joka on langattomasti yhteydessä käyttäjätason laitteiden kanssa.
- gNB on yhteydessä UPF:ään (*User Plane Function*), joka hoitaa User Plane funktioita ja hoitaa samoja asioita kuin CUPS:in S-GW-U (*Serving Gateway User plane function*) ja P-GW-U (*PDN Gateway User plane function*).
- UPF kiinnittyy Dataverkkoon vastaten SGi yhteyttä CUPS:issa.
- Control planen osalta P-GW-C (*P-GW-control*), S-GW-C (*S-GW-control*) ja MME:n (*Mobility Management Entity*) ominaisuudet jaetaan SMF:n (*Session Management Function*) ja AMF:n (*Access and Mobility management Function*) välillä. Useampi SMF voi palvella samaa UE:ta. SMF voi sisältää useita ominaisuuksia, mutta kaikissa ei samoja ominaisuuksia välttämättä ole. AMF on yhteydessä UE:seen ja gNB:hen. AMF hallitsee UE:hen liittyviä

ominaisuuksia ja korvaa P-GW-C, S-GW-C ja MME:n toimintaa. AMF voi olla myös useita eri instansseja, mutta vain yksi AMF hoitaa signaloinnin UE:n kanssa.

- NSSF (*Network Slice Selection Function*) hoitaa mitä siivuja ja siivu informaatiota UE:lle jaetaan. NSSF päättää myös mitkä AMF kokonaisuudet käyttäjälle annetaan, tai konfiguraatioista riippuen voi NSSF tiedustella NRF:ltä (*NF repository Function*) potentiaalisia AMF:iä.
- NEF (*Network Exposure Function*) vastaa SCEF (*Service Capability Exposure Function*) toimintaa EPC:ssä.
- NRF hoitaa monia asioita. Se palvelee control planella toimivia ohjelmistoja ja auttaa niitä löytämään, sekä kytkeytymään toisiinsa. Eri NF:ät (network functions) ovat yhteydessä ns. Service based interface avulla. Yksittäinen NF sisältää pienempiä yksiköitä NFservices. Eri NFservicet, jotka sijaitsevat eri NF:ssä voivat olla toisiinsa yhteydessä ilman, että niiden tarvitsee kulkea useamman noden läpi. NRF auttaa näitä NFservicejä löytämään toisensa.
- UDM (*Unified Data Management*) vastaa HSS:ää (*Home subscriber server*) EPC:ssä ja erottaa datan säilömistä ja hallitsemisen Front end käsittelystä. UDR (*Unified Data Repository*) on kohde missä käyttäjät dataa säilötään ja hallitaan.
- AUSF (*Authentication Server Function*) hoitaa autentikaatioon liittyviä asioita.
- PCF (*Policy Control Function*) vastaa PCRF:ää (*Policy and Charging Rules Function*) EPC:ssä
- UDM, AUSF ja PCF muodostavat yhdessä UDC:n (*User Data Convergence*). UDC on konsepti, joka mahdollistaa datan johdonmukaisuuden ja helpottaa uusien palveluiden luomista, tarjoamalla helpon pääsyn käyttäjät dataan. Se pyrkii myös varmistamaan varastoimisen ja datamallien johdonmukaisuuden, sekä rasittamaan mahdollisimman vähän verkon muita osia.

- AF (*Application Function*) vastaa Application Serveriä ja kommunikoi 3GPP Core-verkon kanssa palveluiden tarjoamiseksi. Operaattorin hyväksymät ja luotetut palvelut voivat käyttää verkon funktioita suoraan AF:n kautta, kun taas ulkopuoliset käyttävät NEF:iä kytkeytyäkseen verkon funktioihin. [23]

Figure 6: CUPS Evolution to 5G Architecture



Source: 3GPP, Huawei

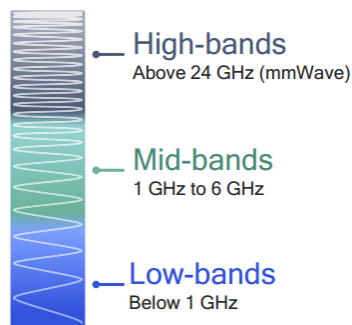
Kuva 10. [24]

Kuvassa voidaan nähdä samaa kehitystä 4G- ja 5G-arkkitehtuurin välillä. [24]

4.1 Taajuuskaistat

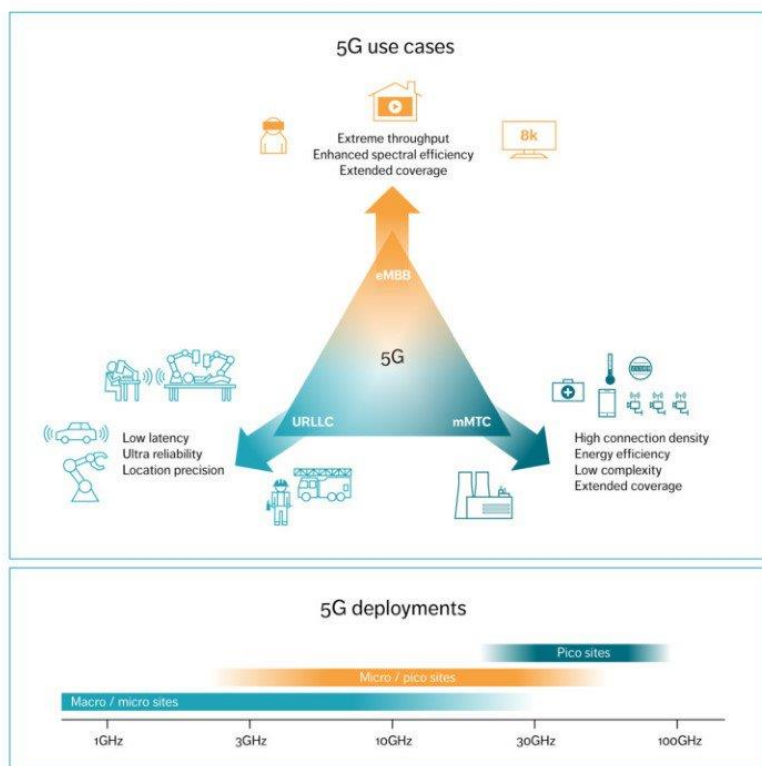
5G tarvitsee taajuuksia hyvinkin laajalti, jotta se voi vastata kaikkiin tarpeisiin. Lisääntynyt mobiililiikenne ja vaadittavat nopeudet tarvitsevat uusien kaistojen käyttöönottamista ja operaattoreiden on suunnaut kehitystään yli 6GHz alueisiin. [16] Taajuuksien haasteisiin koitetaan vastata monin eri tavoin. Tehokkuutta koitetaan parantaa mm. modulaation, koodausjärjestelmien, sekä fyysisen tason spatiaalisen multipleksoinnin avulla. Solujen kokoja voidaan pienentää ja vähentää lähetystehoja, sekä käyttää taajuuskaistaa älykkäästi. Yli 6GHz alueella olisi vapaata tilaa ja kaistan laajuus antaisi mahdollisuuden toteuttaa eMBB:n vaatimat tarpeet dataliikenteen ja nopeuden osalta. 5G NR tulee toimimaan alle 1GHz alueella aina kenties 100GHz asti. Korkeat taajuudet vaativat pieniä soluja toimimaan heterogeenisinä kokonaisuuksina, jotka optimoivat kuljetettavaa sisältöä. Macro-solut ovat alueita, jotka toimivat

matalilla taajuuksilla ja kattavat isompia alueita. Micro- ja pico-solut tarjoavat pienemmän katteen ja alueen, koska ne toimivat korkeammilla taajuuksilla. [16] [19]



Kuva 11. [42]

Taajuusalueita kutsutaan usein myös nimillä low-band <1GHz, mid-band 1-6 GHz ja high-band 24>GHz. Tämä on selvä nimeämisperuste, jolla erottaa taajuudet matalista korkeampiin. Macro, micro ja pico viittaavat lähinnä sijoitettavien solujen kokoluokkaan. [42]



Kuva 12. [19]

Kuvassa nähdään Ericssonin kuvausta miten eri taajuiskaistoista ja niiden käyttömahdollisuuksista. Kuvassa esiintyvät yleisimmät 5G:n sovellutukset ja niiden oletettavat kaistavaatimukset taajuuksien, sekä solujen koon osalta. [19]

4.1.1 Alle 6GHz

Alle 6GHz kaistat ovat tällä hetkellä paljolti käytössä ja tulevat olemaan suuressa osassa myös 5G:n osalta. Alle 6GHz taajuudet sopivat hyvin laajan peiton tarjoamiseen. Matalamman taajuuden ansioista signaali etenee hyvin pitkänkin matkan ja pysyy kulkemaan huolimatta rakennuksista ja maastosta. Signaali kulkee myös hyvin sisätiloihin ja niistä ulos. 5G tulee tarvitsemaan alle 6GHz taajuuksia tulevaisuudessakin, koska vanhojen palveluiden tarpeet eivät tule katoamaan. Paikoissa, joissa pienet solut eivät ole mahdollisia tulevat nämä taajuusalueet palvelemaan käyttäjiä samoin kuin 4G:ssä. Uudet IoT/M2M palvelut tulevat luultavasti hyödyntämään matalia taajuusalueita. [16]

4.1.2 Yli 6GHz

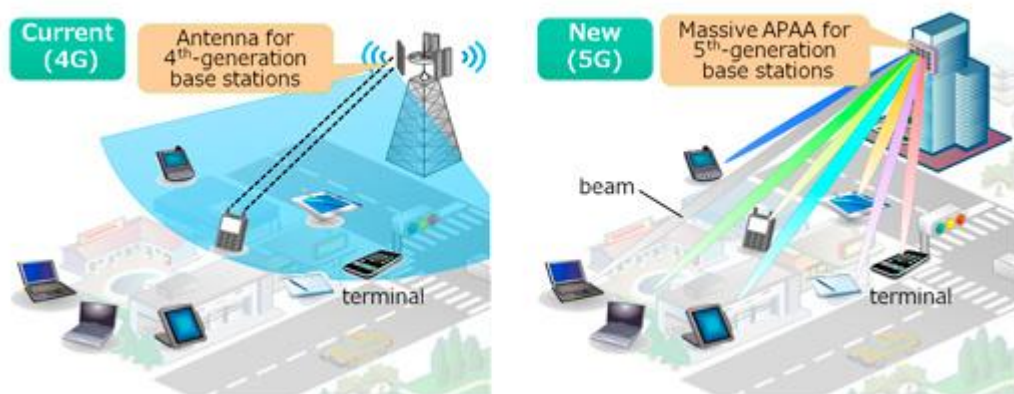
Yli 6GHz taajuudet ovat tärkeitä lisääntyneen dataliikenteen takia. Uusia taajuusalueita tarvitaan, jotta kaistaa riittää kaikille palveluille tulevaisuudessakin. 5G:n pitää pystyä myös tarjoamaan riittävät resurssit mobiililaajakaistan tarpeisiin nopeuden ja datamäärien osalta. Tulevat tekniikat voivat hyötyä paljonkin pienistä aallonpituuksista, jotka ovat osa korkeita taajuuksia. Näitä tekniikoita ovat mm. massive MIMO ja pienet solut. [16]

Millimetritaajuuskaistat eli mmWave toimivat yli 24GHz alueilla. Nämä alueet pystyvät tarjoamaan ison kaistanleveyden ansioista tarvittavat nopeudet ja kapasiteetin mobiililaajakaistan tarpeisiin. Kehittyneiden antennitekniikoiden ansioista mmWave-kaistoja on tulevaisuudessa mahdollista hyödyntää, eikä signaalin häviäminen ja huono läpäisykyky ole enää este niiden käyttämiselle varsinkaan ulko- tai sisäkäytössä. mmWave-kaistat tarjoavat haasteita ulkoa sisälle kulkevissa lähetyksissä. Niillä voidaan kuitenkin kattaa ulkotiloja laajasti ja vapauttaa alle 6GHz kaistoja tilanteisiin, joissa signaalin pitää kulkea ulkotiloista sisätiloihin, sekä toisinpäin. Isoja sisätiloja, kuten tapahtuma-areenoita voitaisiin lisäksi kattaa mmWave-tekniikoilla. mmWave-sovellutukset tulisivat tukemaan jo vanhoja 4G LTE-verkkoja tiiviillä yhteistoiminnalla. [25]

4.2 Massive MIMO

Massive MIMO on teknologia, jota voidaan hyödyntää 5G:ssä. MIMO-teknologia on jo nyt käytössä LTE:ssä ja Wi-Fi:ssä. MIMO:lla tarkoitetaan useampaa kiinnitettyä antennia lähettimessä ja vastaanottimessa. Mitä enemmän antennia on, sitä paremmin signaali pääsee kulkemaan tarjoten paremman laadun ja luotettavuuden. [10] [11]

Massive MIMO on usean käyttäjän MIMO, joka käyttää satoja tai tuhansia antennia, joita voidaan käyttää adaptiivisesti. Massive MIMO omaa todella isoa hyötyjä. Sen spektrinen tehokkuus on todella hyvä. Spatiaalisen multipleksointi tekee mahdolliseksi, että montaa käyttäjää voidaan palvella samanaikaisesti samassa aika-taajuus-resurssissa. Hyvä energiatehokkuus on lisäksi mahdollista. Lisätyt antennit auttavat keskittämään energiaa pienemälle alueelle lisäten suoritustehoa ja energiatehokkuutta. [11] [13] Muita Massive MIMOn tarjoamia hyötyjä ovat, että se käyttää halpoja vähän energiaa kuluttavia komponentteja, sen viive on vähäisempi ja MAC-taso (*Media access control*) on yksinkertaistettu. [14]



Kuva 13. [12]

Kuvassa havainnollistetaan eroa tavallisen 4G MIMOn laajan peiton ja massive MIMOn keskitetyn lähetyksen välillä. [12]

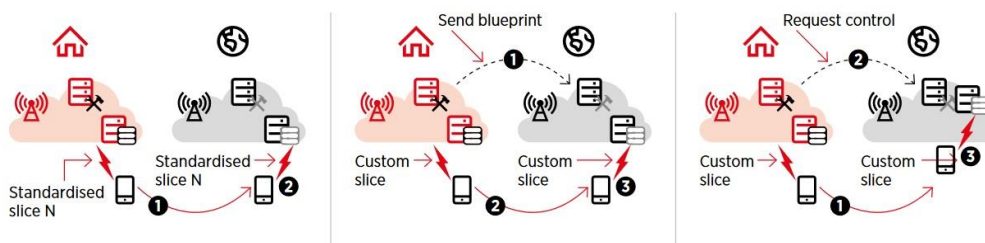
4.3 Slicing

Yksi suuri osa 5G:tä tulee olemaan virtualisointi ja verkon ”siivuttaminen”. Slicing mahdollistaa usean virtuaalisen verkon muodostamista fyysisen infrastruktuurin sisällä. 5G:ssä mahdollistetaan, että yksi fyysinen verkko voi palvella montaa eri RAN:ia tai RAN:in sisällä voi toimia useita eri palveluita.

5G tulee vaatimaan paljon erilaisia palveluita, joten eri tarpeisiin tarvitaan verkolta useita eroavia ominaisuuksia. Toiset sovellukset tarvitsevat matalaa viivettä ja toiset nopeaa verkkoa. Näitä ominaisuuksia voitaisiin tarjota samaa fyysistä verkkoa pitkin hyödyntämällä verkon sisällä toimivia virtuaalisia siivuja, jotka ovat optimoitu tiettyyn tarkoitukseen ja palvelemaan juuri oikeita tarpeita. Operaattoreiden olisi mahdollista tarjota siivuja tiettyyn tarkoitukseen tai paketoita useampia siivuja kokonaisuudeksi, joita esimerkiksi yritys voisi hyödyntää heille räätälöitynä palveluna. [22] [28] Siivu voi kulkea useiden verkon osien läpi, sekä operaattoreiden välillä. Roaming eri operaattoreiden välillä voitaisiin turvata mahdollisin eri keinoin.

- Vierailtava verkko voisi tarjota kotiverkon siivua vastaavan palvelun. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi standardoiduilla siivuilla.
- Kotiverkko voisi siirtää kustomoidun siivun mallin vierailtavaan verkkoon, jolloin sama palvelu voitaisiin luoda toisessa verkossa.
- Kotiverkon siivu saa oikeuden siirtyä vierailtavaan verkkoon, jolloin se tarvitsee luvan resurssien hallitsemiseen vieraassa verkossa. [28]

Examples of Instantiating a Network Slice for International Roaming



Kuva 14. [28]

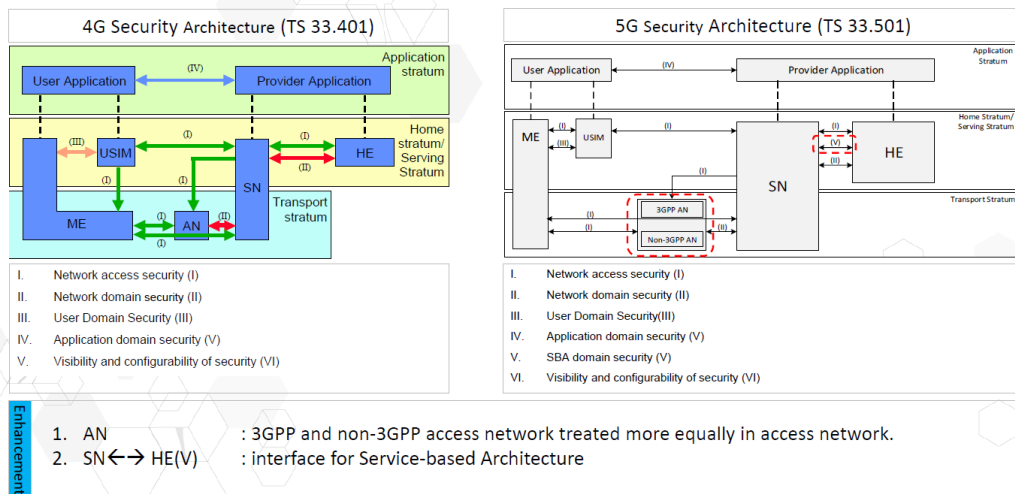
4.4 Tietoturva

5G tulee pohjautumaan paljon vanhaan 4G LTE-teknologiaan. Silti todella paljon 5G:stä tulee olemaan uutta koko radioverkon osalta. 2G oli ensimmäinen järjestelmä, jossa oli kunnolla rakennettu tietoturva. Tämä kehitys jatkui 3G:n ja 4G:n osalta. 5G tulee tietoturvan vastaamaan hyvin paljon samoihin vanhoihin tarpeisiin. Kuitenkin 5G:stä odotetaan yhteiskunnan eri osa-alueet toisiinsa yhdistävää teknologiaa ja sen haasteet tulevat tietoturvan osalta olemaan todella suuria verrattuna vanhoihin sukupolviin. [26]

Pilvipalvelut ja virtualisointi tulevat yleistymään. API:en (*Application programming interfaces*) avaaminen käyttäjien ja kolmansien osapuolien hyödynnettäväksi on myös suuri muutos. Parempien palveluiden tarjoamiseksi tulevat kolmannen osapuolten ohjelmistot toimimaan samassa fyysisessä raudassa operaattoreiden ohjelmistojen kanssa. Tämä tarjoaa omat haasteensa, kuten virtualisoinnin tarkka rajaaminen.

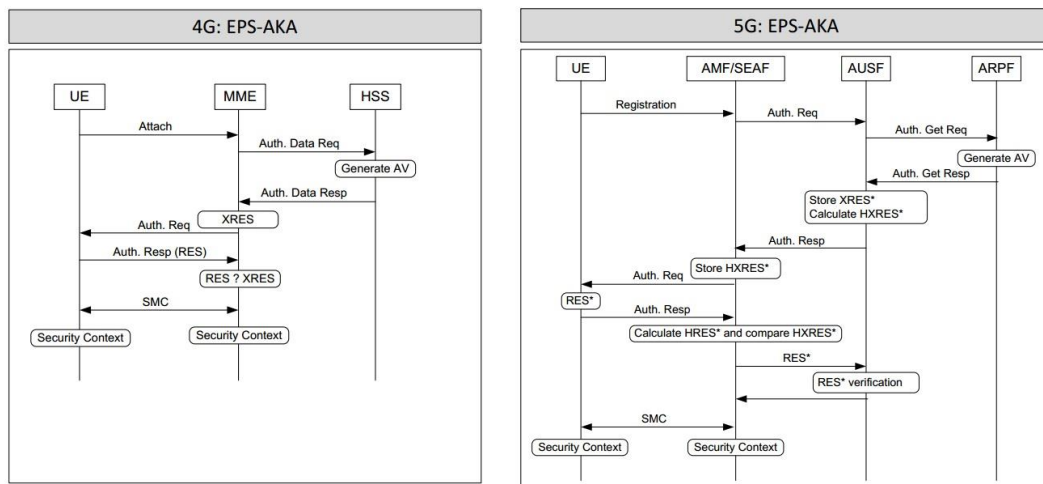
Ihmisten tietoisuus tietoturvasta on myös lisääntynyt valtavasti. Tietovuodoista on uutisoitu laajasti ja käyttäjien datan ja kommunikaation turvaaminen on ajankohtainen aihe. 5G:n uskotaan tulevan koskettamaan laajasti koko yhteiskuntaa. Se tulee toimimaan tehtaissa, kulkuvälineissä, kaupungeissa, sairaaloissa, sähköverkoissa, sekä lukemattomissa eri sovellutuksissa. Tämän takia yksityisyys ja tietoturva tulevat olemaan todella suuressa osassa. Uudet lait ja säädökset tulevat varmasti vaikuttamaan mihin suuntaan tietoturva tulevaisuudessa kulkee. [26] Juuri voimaan tuleva EU:n tietosuojauudistus on hyvä esimerkki tästä muutoksesta. Ihmisten tietojen, sekä datan käsittelyyn kiinnitetään entistä enemmän huomiota ja tämä näkyy uusissa säädöksissä. [27]

Security Architecture



Kuva 15. [20]

Kuvassa nähdään ero 4 ja 5G:n turvallisuusarkkitehtuurin välillä. [20]

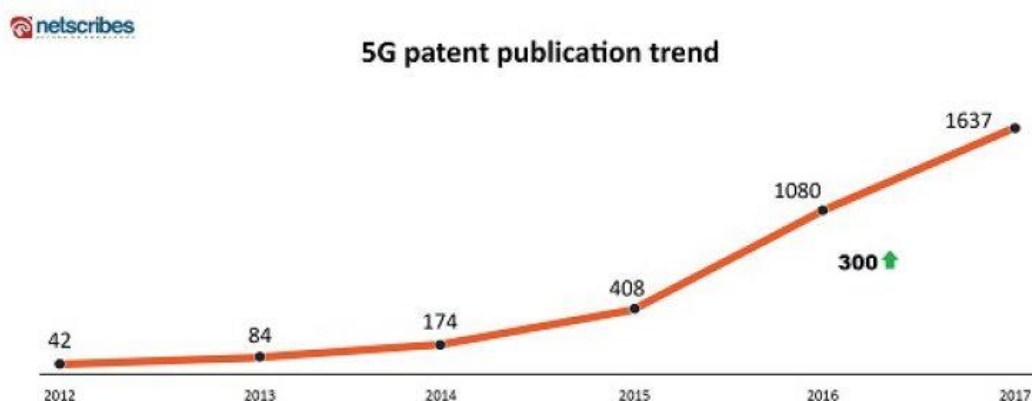


Kuva 16. [20]

Kuvassa nähdään kehitys autentikaatio protokollien välillä siirryttäessä 4G:stä 5G:hen. Autentikaatio toimii hyvin samalla tavalla mitä 4G:ssä, mutta muutoksia aiheuttaa uuden SBA-core verkon eroavaisuus vanhaan coreen. [20]

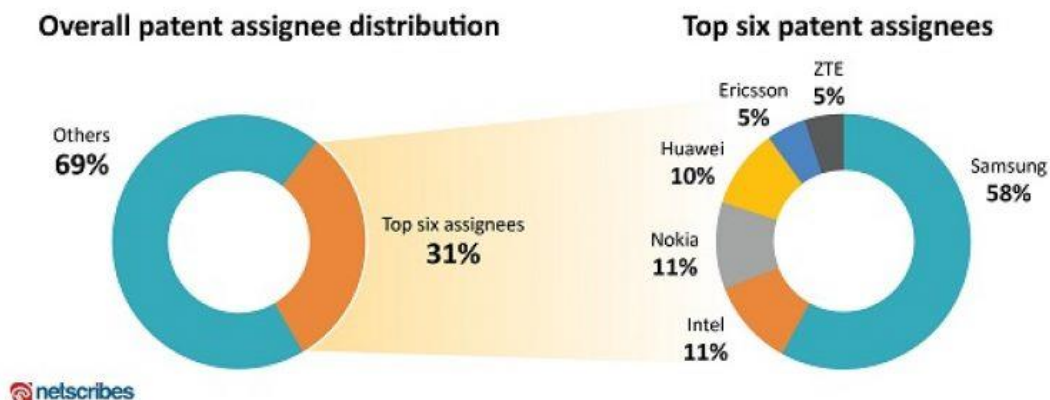
miljardia dollaria. 5G ja IoT tulee vaatimaan massiivisia investointeja. Yhtiöiden arvioidaan sijoittavan niiden kehitykseen, jopa 275 miljardia dollaria. [30] [35]

Useat yhtiöt kehittävät monia eri teknologioita mm. kotiverkkolaitteita, antennitekniikoita, sekä uusia radioverkon tekniikoita. 5G onkin hyvin laaja alue, johon kuuluu useita eri alueita, joten yhtiöt tulevat varmasti keskittämään resurssejaan ja kehitystään. 5G-patenttien määrä on kasvanut kovalla vauhdilla viime vuosina. Matkapuhelinteknologiat ovat olleet aina hyvin laajasti patentoituja ja niistä kiistelläänkin usein.



Kuva 18. [29]

Kuvassa nähdään miten 5G-patenttien määrä on kasvanut vain muutamassa vuodessa. [29]



Kuva 19. [29]

Kiinnostavaa on myös miten suuri osa patenteista on muutaman suuren yrityksen hallinnassa. [29]

Kilpailu 5G:n kehityksessä on kovaa ja tarjoaa haasteita, sekä mahdollisuuksia myös operaattoreille. Ericssonin mukaan 2016-2026 operaattoreiden tarjoamien palveluiden voitot kasvavat vain 1.5% vuodessa. Tämä on hyvin pieni luku verrattuna koko digitalisaatiota koskeviin odotettuihin kasvulukuihin. Onkin odotettavissa, että operaattorit tulevat olemaan mukana paljossa muussakin kuin verkkojen operoinnissa ja kehittävät palveluitaan ja tuotteitaan monin eri osa-aluein. [31]

5.2 Projekteja Suomessa

Suomessa on suuri matkapuhelinverkkojen osaaminen ja monet yritykset ovatkin mukana 5G:n kehityksessä. Nokia on yksi suurimpia tekijöitä 5G:n osalta. Suomalaiset operaattorit ovat myös hyödyntäneet ja kehittäneet uusinta teknologiaa hyvin nopeasti.

Viestintävirasto on myöntänyt yli kaksikymmentä testilupaa teleoperaattoreille, laitevalmistajille, sekä tutkimushankkeille. Testiluvat mm. ovat nopeiden yhteyksien, älyliikenteen, sekä teollisuudenautomaation kehitykseen. Viestintävirasto ilmoittaakin sivuillaan, että:

”5G:n testaaminen ja kehittäminen tulevat jatkossa entisestään lisääntymään uusien innovaatioiden ja tarpeiden myötä. Suomessa on uuden tutkimiseen, kehittämiseen ja testaamiseen erinomaiset mahdollisuudet. Viestintävirasto kannustaa toimijoita uuden kokeilemiseen ja tukee kokeiluja myöntämällä joustavasti ja nopeasti radiolupia.”

Viestintävirasto aikoo huutokaupata 3.5GHz taajuusalueen (3.4-3.8GHz) syyskuusta alkaen. Huutokauppa vaatii kuitenkin vielä valtioneuvoston päätöksen. Viestintävirasto arvioikin, että Suomi on 5G-kehityksessä ensimmäisten joukossa. Suomalaisen operaattorien ratkaisut tulevatkin aluksi toimimaan 3.5GHz alueella ja keskittymään isojen kaupunkien keskustoihin. [38] [39]

5.2.1 Olympialaiset

Yhtiöt kehittävät omia ratkaisujaan ja palveluitaan 5G:tä varten. Käytännön sovelluksia ja testejä on kuitenkin ollut vielä hyvin vähän. Yksi suuri tapahtuma, jossa 5G esiintyi oli helmikuussa 2018 järjestetyt Pyeonchangin olympialaiset.

Olympialaisissa järjestettiin ensimmäinen mannertenvälinen 5G-yhteys Etelä-Korean ja Suomen välille. Virtuaalitodellisuuskokemus järjestettiin Gangneungin olympiapuiston ja Oulun pääkirjaston, sekä Kastellin monitoimitalon välille. 5G:tä esiteltiin muutenkin laajasti olympialaisten aikana.

5.2.2 LuxTurrin5G

LuxTurrin5G on projekti, jota kehitetään Suomessa Nokia Bell Labsin ja useiden toimijoiden yhteistyönä. Projekti kehittää ja tutkii nopean pienistä soluista koostuvan 5G-verkon rakentamista älykkäiden katulamppujen avulla. Lamput sisältävät mm. antennejä, tukiasemia, sensoreita ja näyttöjä. Projektin tarkoitus on demonstroida älykkäiden kaupunkien mahdollisuuksia. Nykyisten mobiiliverkkojen kapasiteetti tulee tulevaisuudessa olemaan riittämätön ja LuxTurrin5G tutkii pienten solujen tarjoamaa vaihtoehtoa.

On suuri haaste rakentaa soluja hyvin lyhyillä välimatkoilla. Projekti ratkaiseekin tätä ongelmaa sijoittamalla ne katulamppuihin, jotka ovat usein tasaisen 40-50m etäisyydellä toisistaan. Tällä tavoin pienet solut olisi mahdollista sisällyttää jo olemassa olevaan kaupunki-infrastruktuuriin. Kaupungit omistavat katulamput joten verkon rakentaminen vaatii luonnollisesti kaupungin ja operaattorin välistä yhteistyötä, jotta toteutus tällä tekniikalla olisi mahdollista.

LuxTurrin5G esittelee mahdollisuuksia miten katulamput voisivat sisältää mm. integroidun 5G-radion, langattoman yhteyden, kameroita, ilma- ja sääsensoreita, sekä tietenkin älykkään LED valaistuksen. Taustalla toimisi virtualisoitu tietokone ympäristö, jossa 5G-pilveen on helppo ja turvallinen pääsy. Haasteena on jälleen kerran käytettävien korkeiden taajuuksien huono läpäisykyky rakennuksiin, mutta tätä voidaan ratkaista mm. uusien ikkunateknologioiden avulla. LuxTurrin5G on siis yksi ratkaisu tulevaisuudessa tarvittavien pienten solujen sijoittamiselle ja älykkäiden kaupunkien rakentamiselle. [33]

6 YHTEENVETO

Tutkin työssäni 5G:tä ja sen ympärillä olevaa toimintaa. Selvää on, että 5G on tulossa tulevien vuosien aikana, silti monet asiat ovat vielä hyvin paljon kesken ja havaitsin, että paljon on vielä kehitystä luvassa ennen kuin kaikkiin asetettuihin tavoitteisiin voidaan vastata. Kaupallista 5G-puhelinta ei ole vielä kehitetty ja 5G-tukiasemat ovat prototyyppisiä, kuten Etelä-Korean olympialaisissa käytetyt järjestelmät. Operaattorit tulevatkin luultavasti ensin hyödyntämään pientä osaa siitä mitä 5G:n uskotaan tarjoavan tulevaisuudessa. Nähdäkseni vuosi 2020 on realistinen tavoite ja ennuste 5G-palveluiden kunnolliselle kaupalliselle saapumiselle. On tietenkin kiisteltävissä mitä tullaan kutsumaan aidoksi 5G:ksi markkinoiden osalta. Näkisin silti tulevien tekniikoiden, kuten virtualisoinnin ja uusien taajuuskaistojen olevan keskeisin osa 5G:tä, vaikka kuluttajia koskevat yhteysnopeudet ovat usein eniten esillä.

5G on varmasti tulevina vuosina monimuotoisesti käytössä useassa sovellutuksessa, sillä kasvavat datamäärät, älypuhelimat, IoT, VR, teollisuus, sekä yhteiskunnan muutos datan ja verkkojen osalta tulevat tarvitsemaan uusia ratkaisuja ja tekniikoita. Haasteina näen eri järjestelmien yhteensopivuuksien varmistamisen, sekä pienten solujen ja uusien tekniikoiden sijoittamisen muualle kuin tiiviiseen kaupunkiympäristöön. Suurten taajuuksien käyttöönotto vaatii varmasti paljon kehitystä mm. läpäisykyvyn osalta. Olen työssäni kuitenkin vakuuttunut miten kauan 5G:tä on valmisteltu ja kuinka pitkällä sen kehitys on. Uskon tulevaisuudessa verkkojen ja älykkäiden ratkaisujen olevan käytössä yhteiskunnan joka osa-alueella. Näen 5G-verkkojen tarjoaman teknologian mahdollistavan useita ratkaisuja monin eri käyttötarkoituksiin. On mielestäni selvää, että 5G on osa tietotekniikan seuraavaa kehityskaskelta missä verkkoja voidaan hyödyntää, dataa voidaan kerätä ja optimoida palveluita niilläkin alueilla, jossa se ennen on esimerkiksi kustannusten takia ollut vaikeaa tai vähäistä. Silti olen huolissani tulevaisuuden visoissa siitä miten tietoturva ja ihmisten yksityisyys pystytään takaamaan.

Opin työssä hyvin miten paljon 5G-termin taakse sisältyy erilaisia asioita ja ymmärrän paremmin mikä ajaa uuden sukupolven kehitystä eteenpäin.

LÄHTEET

- [1] Ramy, J & Letamendis, C. 2014. LTE Standards. John Wiley & Sons, Inc..
- [2] Mishra, A. 2010. Cellular Technologies for Emerging Markets : 2G, 3G and Beyond. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Wikipedia. UMTS. Viitattu 19.3.2018.
<https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS>
- [4] Wikipedia. 4G. Viitattu 19.3.2018.
<https://en.wikipedia.org/wiki/4G>
- [5] Wikipedia. 5G. Viitattu 19.3.2018.
<https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [6] Rodriguez, J. Fundamentals of 5G Mobile Networks. 2015. John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Qualcomm. Making 5G NR a reality. Viitattu 20.3.2018.
<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/whitepaper-making-5g-nr-a-reality.pdf>
- [8] GSMA. 5G Spectrum Positions. Viitattu 20.3.2018.
https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2018/02/5G_Spectrum_positions_InfoG.pdf
- [9] GSMA. 5G Spectrum Public Policy Position. Viitattu 20.3.2018.
<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2016/06/GSMA-5G-Spectrum-PPP.pdf>
- [10] Massivemimo.eu. Viitattu 21.3.2018.
<https://massivemimo.eu/>
- [11] IEEE 5G. Massive MIMO for 5G. Viitattu 21.3.2018
<https://5g.ieee.org/tech-focus/march-2017/massive-mimo-for-5g>
- [12] National Instruments. 5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality. Viitattu 21.3.2018.
<http://www.ni.com/white-paper/52382/en/#ref5>
- [13] Massive-mimo.net. Viitattu 22.3.2018.
<http://www.massive-mimo.net/>
- [14] Ieeexplore.ieee.org. Massive MIMO for next generation wireless system. Viitattu 22.3.2018.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/6736761/>

- [15] Theverge.com. The first real 5G specification has officially been completed. Viitattu 23.3.2018
<https://www.theverge.com/2017/12/20/16803326/5g-network-specification-standard-3gpp-nr-official>
- [16] 5GMF. 5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond. Viitattu 26.3.2018
http://5gmf.jp/wp/wp-content/uploads/2017/10/5GMF-White-Paper-v1_1-All.pdf
- [17] Wikipedia. List of mobile phone generations. Viitattu 26.3.2018
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mobile_phone_generations
- [18] ITU. M.2083: IMT Vision – Framework and overall objectives for the future development of IMT for 2020 and beyond. Viitattu 29.3.2018.
<https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083-0-201509-I/en>
- [19] Ericsson. Designing for the future: the 5G NR physical layer. Viitattu 3.4.2018.
<https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2017/designing-for-the-future-the-5g-nr-physical-layer>
- [20] blog.3g4g.co.uk. 5G Security Updates. Viitattu 4.4.2018.
<https://blog.3g4g.co.uk/2018/03/5g-security-updates-march-2018.html>
- [21] Wikipedia. System Architecture Evolution. Viitattu 5.4.2108.
https://en.wikipedia.org/wiki/System_Architecture_Evolution
- [22] 5G.co.uk. What is network slicing. Viitattu 5.4.2018.
<https://5g.co.uk/guides/what-is-network-slicing/>
- [23] blog.3g4g.co.uk. Tutorial: Service Based Architecture (SBA) for 5G Core (5GC). Viitattu 5.4.2018.
<https://blog.3g4g.co.uk/2018/02/tutorial-service-based-architecture-sba.html>
- [24] Heavy Reading. Service-Based Architecture for 5G Core Networks. Viitattu 9.4.2018.
<https://img.lightreading.com/downloads/Service-Based-Architecture-for-5G-Core-Networks.pdf>
- [25] Qualcomm. 5G NR Millimeter Wave Network Coverage Simulation. Viitattu 10.4.2018.
<https://www.qualcomm.com/documents/white-paper-5g-nr-millimeter-wave-network-coverage-simulation>
- [26] Ericsson. 5G Security. Viitattu 10.4.2018.
<https://www.ericsson.com/assets/local/publications/white-papers/wp-5g-security.pdf>
- [27] Tietosuojavaltuutetun toimisto. EU:n tietosuojauudistus. Viitattu 11.4.2018.
<http://www.tietosuoja.fi/fi/index/euntietosuojauudistus.html>
- [28] GSMA. An Introduction to Network Slicing. Viitattu 11.4.2018.
<https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf>

- [29] Netscribes.com. Top companies leading 5G development. Viitattu 12.4.2018.
<https://www.netscribes.com/top-companies-leading-5g-development/>
- [30] Reuters. What is 5G and who are the major players?. Viitattu 16.4.2018.
<https://www.reuters.com/article/us-qualcomm-m-a-broadcom-5g/what-is-5g-and-who-are-the-major-players-idUSKCN1GR1IN>
- [31] Ericsson. The 5G Business Potential. Viitattu 17.4.2018.
http://www.5gamericas.org/files/7114/9971/4226/Ericsson_The_5G_Business_Potential.pdf
- [32] Ericsson. 5G Systems. Viitattu 19.4.2018.
<https://www.ericsson.com/assets/local/publications/white-papers/wp-5g-systems.pdf>
- [33] LuxTurrin5G. Building key enablers for a Digital Smart City. Viitattu 19.4.2018.
https://www.luxturrin5g.com/s/White-paper-121217_final.pdf
- [34] University of Oulu. The Olympic Games in Korea and Oulu will be linked via a 5G connection. Viitattu 24.4.2018.
<http://www.oulu.fi/university/node/50700>
- [35] Business Wire. Global 5G Market to be Worth USD 251 Billion By 2025. Viitattu 26.4.2018.
<https://www.businesswire.com/news/home/20180123005868/en/Global-5G-Market-Worth-USD-251-Billion>
- [36] Moor Insights & Strategy. The Full Impact of 5G on IT industry Hardware Spending. Viitattu 26.4.2018.
<http://www.moorinsightsstrategy.com/wp-content/uploads/2018/02/The-Full-Impact-of-5G-on-IT-Industry-Hardware-Spending-By-Moor-Insights-And-Strategy.pdf>
- [37] Cisco. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021. Viitattu 2.5.2018.
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>
- [38] Viestintävirasto. 5G:n vauhti kiihtyy – Suomessa käynnistynyt useita kokeiluja digitalisaation edistämiseksi. Viitattu 8.5.2018.
<https://www.viestintavirasto.fi/viestintavirasto/ajankohtaista/2018/5gnvauhtikiihtyy-suomessakaynnistynytuseitakokeilujadigitalisaationedistamiseksi.html>
- [39] Tekniikka & Talous. Viestintävirasto: Suomi vahvoilla 5G-kisassa EU:ssa – ”Operaattorit odottavat kovasti”. Viitattu 8.5.2018.
https://www.tekniikkatalous.fi/kaikki_uutiset/viestintavirasto-suomi-vahvoilla-5g-kisassa-eu-ssa-operaattorit-odottavat-kovasti-6707221
- [40] ITU. Minimum Technical Performance Requirements for IMT-2020 radio interface(s). Viitattu 8.5.2018.
https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/S01-1_Requirements%20for%20IMT-2020_Rev.pdf

[41] Netmanias.com. Timeline of 5G in ITU-R and 3GPP. Viitattu 8.5.2018.
<https://www.netmanias.com/en/post/oneshot/11147/5g/timeline-of-5g-standardization-in-itu-r-and-3gpp>

[42] Qualcomm. Making 5G NR mmWave a commercial reality. Viitattu 8.5.2018.
<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/making-5g-mmwave-a-commercial-reality-in-your-smartphone.pdf>