



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

5G-, IOT- JA REUNALASKENTASELVITYS

TEKIJÄ/T: Lauri Jauhiainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Tietotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Jauhiainen Lauri	
Työn nimi 5G-, IoT- ja reunalaskentaselvitys	
Päiväys 28.5.2019	Sivumäärä/Liitteet 22
Ohjaaja(t) Veijo Pitkänen, Pekka Vedenpää	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tehdä selvitystyö Savonia-ammattikorkeakoulun DigiCenter-hankkeelle mobiili-tekniikan uusimmasta sukupolvesta 5G:stä ja sen mahdollistamista palveluista esineiden internetissä (IoT) ja reunalaskennassa.</p> <p>Työssä käsitellään 5G:n ominaisuuksia, käytettäviä teknologioita ja historiaa. Esineiden internetin uudet askeleet teollisuudessa, kaupungeissa ja älylaitteissa ovat myös osa tätä selvitystä. Reunalaskennan osalta tutustutaan erilaisiin arkkitehtuureihin, jotka mahdollistavan tiedon käsittelyn mobiiliverkon reunalla.</p> <p>Lopputuloksena on selvitys tulevaisuuden mobiiliverkon teknologioista ja mahdollisuuksista niin teollisuudessa, kuin arkipäiväisessä elämässäkin.</p>	
Avainsanat 5G, Esineiden internet, Reunalaskenta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Jauhiainen Lauri			
Title of Thesis 5G-, Internet of Things and Edge computing research			
Date	28.5.2019	Pages/Appendices	22
Supervisor(s) Veijo Pitkänen, Pekka vedenpää			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to research the new fifth generation (5G) mobile network and the services it makes possible in edge computing and Internet of Things (IoT).</p> <p>This thesis covers the properties, technologies and history of 5G. The new steps of Internet of Things in industries, smart cities and smart devices are in also part of this research. The architectures and technologies which allow edge computing are also included in this study.</p> <p>The result of this thesis was an encompassing research on the future of mobile network technologies and their possibilities in industry as well as in people's everyday life.</p>			
<p>Keywords 5G, Internet of Things, Edge Computing</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	5G.....	6
2.1	Palvelut.....	7
2.2	Sovellukset.....	8
2.3	Teknologia	8
2.4	Taajuusjaot	9
2.5	Slicing / viipalointi.....	10
2.6	Sukupolvet ja kehitys	10
2.6.1	1G.....	10
2.6.2	2G.....	10
2.6.3	3G.....	11
2.6.4	4G.....	11
2.6.5	5G:n tulevaisuuden näkymät.....	12
3	IOT	12
3.1	Tietoturva	13
3.1.1	Ohjelmistojen tietoturva	13
3.1.2	Fyysinen tietoturva.....	13
3.1.3	Tietoliikenteen tietoturva	14
3.2	Machine-to-machine (M2M)	14
3.3	Business-to-Consumer (B2C)	14
3.4	Vehicle-to-Everything (V2X).....	14
3.4.1	Vehicle-to-Vehicle (V2V)	15
3.4.2	Vehicle-to-Infrastructure (V2I)	15
4	REUNALASKENTA	15
4.1	Multi-Access Edge Compute (MEC).....	16
4.2	RAN	17
4.3	C-RAN	17
4.4	Mobiilipilvi	19
5	YHTEENVETO.....	19
6	LÄHDELUETTELO.....	20

TERMIT JA LYHENTEET

IoT	Internet of Things, Esineiden internet, verkon yli keskenään autonomisesti kommunikoivat älylaitteet
IaaS	Infrastructure as a Service, Pilvipalvelussa toimiva infrastruktuuri
PaaS	Platform as a Service, Pilvipalvelussa toimivat alustat ja kehitystyökalut
SaaS	Software as a Service, Pilvipalvelussa toimivat ohjelmistot
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
M2M	Machine-to-Machine, Teollisuusautomaatiolaitteiden välinen kommunikointi
B2C	Business-to-Consumer, Kuluttajamarkkinointi
V2X	Vehicle-to-Everything, Autonomisten autojen kommunikointi toisten autojen ja ympäristön kanssa
V2V	Vehicle-to-Vehicle, Autonomisten autojen kommunikointi toisten autojen kanssa
V2I	Vehicle-to-Infrastructure, Autonomisten autojen kommunikointi infrastruktuurin kanssa
MEC	Mobile Edge Compute, Reunalaskennassa käytettävä mobiiliarkkitehtuuri
RAN	Radio Access Network, Radioverkko
C-RAN	Cloud Radio Access Network, uusi malli RAN:sta, jossa laskentaa on siirretty pilvipalveluihin

1 JOHDANTO

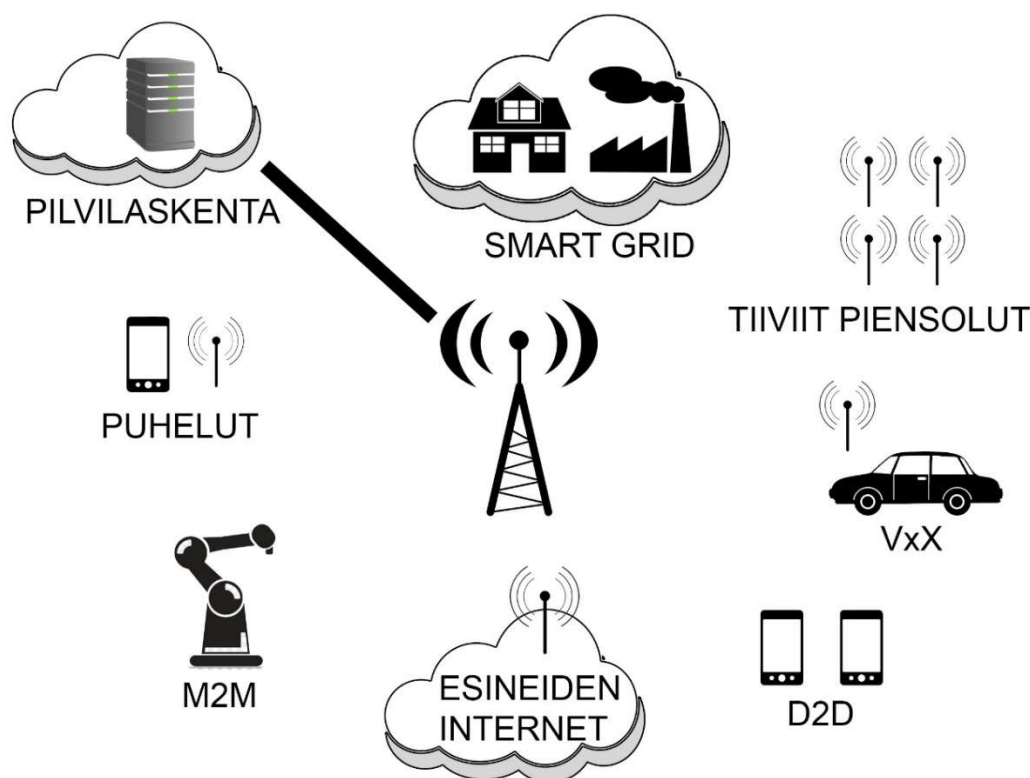
Tämä opinnäytetyö selvittää mobiiliteknologian uusinta sukupolvea 5G:tä ja sen mukanaan tuomia uusia kehitysaskelia. Uuden sukupolven myötä paranevat verkon ominaisuudet tulevat siirtämään entistä enemmän palveluja verkon pilvipalveluihin ja mahdollistamaan paljon erilaisia sovelluksia, mitkä eivät 4G:n aikana ole vielä mahdollisia.

Esineiden internet tulee mullistumaan uuden sukupolven myötä mahdollistaen entistä suuremmat IoT-kokonaisuudet teollisuudessa ja tavallisessa arjessa. Myös itsenäisesti ajavat autot ja älyliikenne mahdollistuvat 5G:n parantuneiden ominaisuuksien myötä.

5G:n ja esineiden internetin yleistymisen ja jatkuva kasvu tulevat luomaan paljon kuormitusta ja liikennettä pilvipalveluihin. Reunalaskennalla pyritään hillitsemään tätä liikennettä tuomalla tiedon käsittely lähemmäksi mobiiliverkon reunaa, kuten esimerkiksi tukiasemien yhteyteen, jolloin vain kriittinen tieto lähtisi pilvipalveluiden käsiteltäväksi.

2 5G

5G on mobiiliverkkoteknologiassa uusin sukupolvi. 5G tulee mullistamaan mobiilidatayhteydet sen tuhatkertaisella tiedonsiirtokapasiteetilla, kymmenkertaisella tiedonsiirtonopeudella, erittäin pienellä viiveellä ja luotettavuudellaan edelliseen sukupolven verrattuna. Kehityksen myötä esineiden internet, eli Internet of Things (IoT) tulee saamaan aivan uusia ulottuvuuksia. Pieni viive ja suuri tiedonsiirtokapasiteetti takaavat samassa verkossa oleville laitteille reaaliaikaisen tiedonvaihdon.



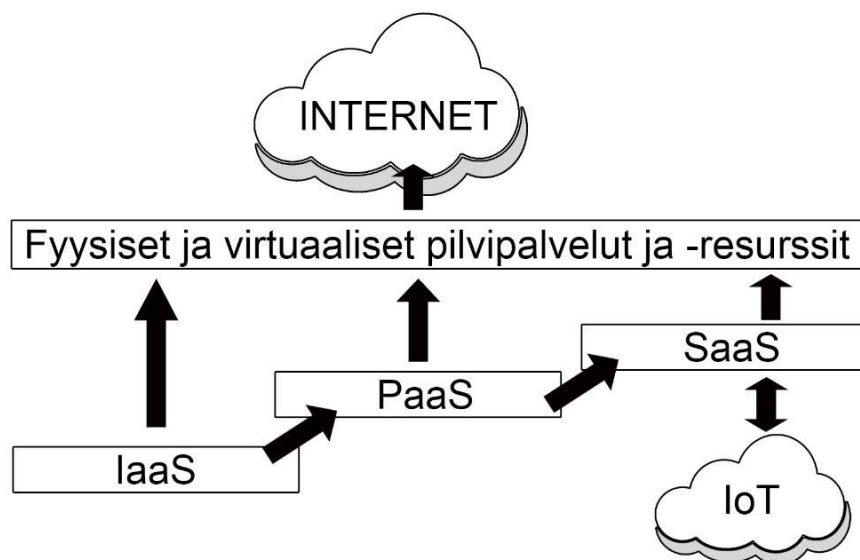
2.1 Palvelut

Pilvipalveluiden nopea yleistyminen ja useiden palveluiden siirtyminen pilveen luovat tarpeen joustaville ratkaisuille.

Infrastructure as a Service (IaaS) tarkoittaa verkossa käytettävää infrastruktuuria, joka pyörii pilvipalvelimella. Tällaisia palveluja ovat esimerkiksi virtuaaliset palvelimet ja työasemat. IaaS:ssa tarjotaan ainoastaan infrastruktuuri, joten kaikki käytettävät alustat ja sovellukset täytyy loppukäyttäjän itse asentaa työasemalle tai palvelimelle.

Platform as a Service (PaaS) sisältää pilvipalveluissa pyörivät alustat. Tällaisia ovat esimerkiksi verkossa olevat tietokannat tai kehitystyökalut. Alustojen joustavuuden takia esimerkiksi ohjelmoijan ei tarvitse huolehtia oman alustan laskentatehosta tai muista kapasiteeteista, kun pilvipalvelussa sijaitseva alusta joustavasti pystyy mukautumaan vastaamaan asiakkaan tarpeita. PaaS-mallissa palveluntomittaja vastaa kaikesta alustan toiminnallisuudesta ja asiakkaan tarvitsee huolehtia ainoastaan luomansa sovelluksen toimivuudesta.

Software as a Service (SaaS) tarkoittaa pilvipalvelusta ajettavaa käyttövalmista ohjelmistoa. Tällaisia ohjelmistoja ovat esimerkiksi Microsoft Office 365 tai pilvipalvelusta levytilaa tarjoavat Google Drive tai Dropbox. Yhteistä SaaS-palveluille on, että niitä pystytään usein käyttämään alustasta riippumatta, kunhan internet-yhteys on käytettävissä. SaaS-mallissa sovelluksen toimivuus on palveluntomittajan vastuulla. (Telia, 2018)



2.2 Sovellukset

Suuri tiedonsiirtokapasiteetti ja parantunut verkon luotettavuus luovat uusia mahdollisuuksia joka-päiväiseen elämään. Itsenäisesti ajavat autot ja älyliikenne, teollisuuden automatisoinnin kehitys, älylaitteet kodin elektroniikassa sekä virtuaalinen todellisuus mahdollistavat uusien ominaisuuksien myötä.

5G tuo mukanaan uudistuksia myös terveydenhuollon sovelluksiin, jossa tietotekniikkaa pidetään ensisijaisena ratkaisuna terveydenhuollon kysynnän kasvaessa väestön ikääntymisen myötä. 4G:n tiedonsiirtokapasiteetti yhdistettynä valtavaan määrään tietoa on rajoittanut potilaiden reaaliaikaisen etäseurannan käyttöönottoa (Kallio, 2018). Myös hätätilanteiden hoitamiseen saadaan 5G:n myötä uusia näkökulmia. Esimerkiksi ambulanssien laitteiden ollessa yhteydessä sairaalaan voidaan toimenpiteitä tehdä etänä sairaalasta käsin. Tällaisia voivat olla esimerkiksi ultraäänikuvaukset tai sydän-käyrän seuranta (Potilaan Lääkärilehti, 2019).

Myös virtuaalisen todellisuuden (VR) kehityksen kannalta 5G:n pienempi viive ja luotettavampi yhteys ovat välttämättömiä teknologian kehitykselle. Viiveen ollessa yli 20 ms virtuaalilasien käyttäjän alkavat kokeemaan huonovointisuutta (Rogers, 2019). Virtuaalinen todellisuus tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia erilaisissa koulutuksissa, harjoitteluissa ja etätöskentelynä työelämässä. Esimerkiksi rakenteilla olevia asuntoihin tai asuinalueisiin voisi käydä tutustumassa jo rakennusvaiheessa virtuaalimaailmassa (Raviomaa, 2018).

Helsingin seudulla HSL on ottamassa käyttöön järjestelmää, jolla pystytään reaaliaikaisesti seuraamaan julkisen liikenteen sijaintitietoa. Tämä mahdollistaa pysäkeillä realistiset aikataulut kulkuvälineiden oikean sijainnin perusteella, eikä välttämättä perinteisesti ennalta määritetyin aikaväleihin, joka ei ota esimerkiksi ruuhka-aikoja huomioon (Dna Oy, 2018).

2.3 Teknologia

Viidennen sukupolven standardointi on parhaillaan käynnissä oleva prosessi. 3GPP, eli 3rd Generation Partnership Project on seitsemän televiestinnän standardointiorganisaation yhteenliittymä, joka edistää 5G-verkon standardointia (3GPP).

Uusi teknologia tuo mukanaan monia uusia parannuksia edelliseen sukupolveen verrattuna. Näistä merkittävimpiä ovat verkon tiedonsiirron nopeus, kapasiteetti ja huomattavasti pienempi viive.

	4G	5G
Teoreettinen maksiminopeus	1 Gb/s	20 Gb/s
Käytännön maksiminopeus	10 Mb/s	100 Mb/s
Viive / latenssi	10 ms	1 ms
Liikkuvuus	350 km/h	500 km/h
Yhteyskapasiteetti / km ²	100 000 laitetta	1 000 000 laitetta
Energiatehokkuus	1x	100x

5G käyttää aiempia sukupolvia korkeampia taajuuskaistoja. Korkeampi taajuuskaista tarkoittaa lyhyempää kantavuutta ja läpäisykykyä esimerkiksi rakenteista, mistä syystä 5G-tukiasemia tarvitaan huomattavasti nykyistä enemmän. Pienen viiveen tavoittelu myös tarvitsee maantieteellisesti lyhyen matkan tukiaseman ja datakeskusten välille. Tällaisia pieniä datakeskuksia voidaan esimerkiksi naamioida kaupungissa penkeiksi, tai syrjäseudulla puun sisälle (Orbis, 2018).

2.4 Taajuusjaot

Uuden sukupolven tullessa otetaan käyttöön uusia taajuuskaistoja. Korkeataajuisien radiotaajuuksien käyttäminen vaatii useampia tukiasemia edelliseen sukupolveen verrattuna kattaakseen saman kokoisen alueen.

5G-teknologia tulee käyttämään korkeampia taajuuksia ja niiden sisällä suurempia taajuuskaistoja aikaisempiin mobiilisukupolviin verrattuna. 5G tulee ensimmäisissä sovelluksissa Euroopassa käyttämään 3,4Ghz-3,8Ghz taajuuskaistoja ja tulevaisuudessa sitä suurempia taajuuskaistoja aina jopa 100Ghz asti. Alempien taajuuksien ollessa hyvin pitkälti varattu muihin sovelluksiin syntyy tarve käyttää vapaita korkeampia taajuuksia. Osa 6-100Ghz välillä olevista taajuuskaistoista on priorisoitu 5G:lle ja sen kehitykselle maailmanlaajuisesti (Peter Service).

1.10.2018 päättyneessä huutokaupassa 3,4-3,8Ghz:n taajuuskaista kaupattiin kolmen Suomen suurimman operaattorin kesken. Taajuuskaista jaettiin kolmeen osaan:

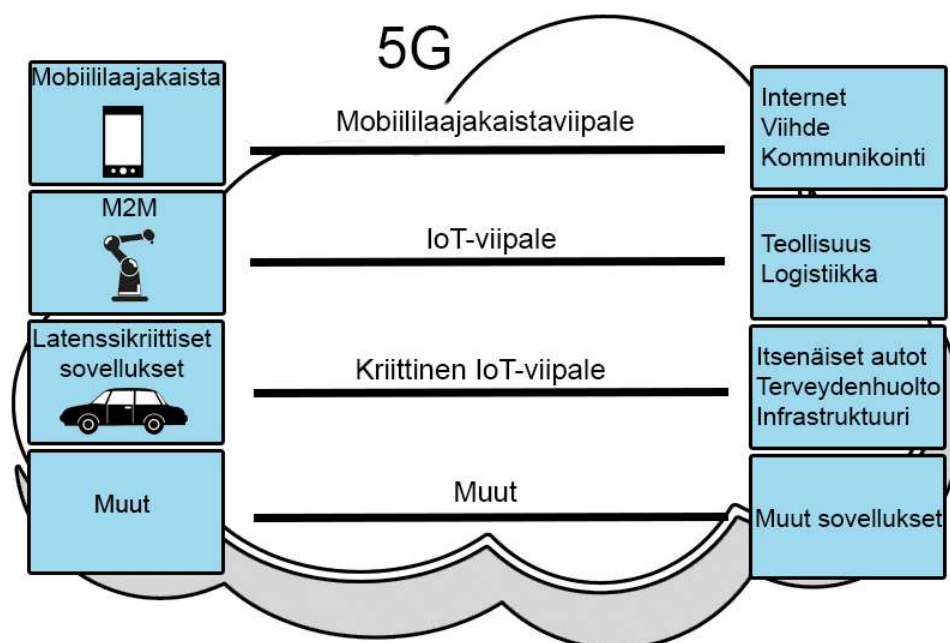
- A-taajuuskaista 3410-3540MHz
- B-taajuuskaista 3540-3670MHz
- C-taajuuskaista 3670-3800MHz

Huutokaupassa A-kaistan voitti Telia 30,3 miljoonan Euron tarjouksella. A-kaista on taajuuskaistoista sopivin nykyiseen 4G-verkkoon ja tarvitsee vähiten uusia investointeja operaattorilta kaupatuista taajuuskaistoista.

B-taajuuskaistasta voittavan tarjouksen teki Elisa 26,3 miljoonan euron tarjouksella ja C-kaistan voitti DNA hintaan 21 miljoona euroa (Inderes Oy, 2018).

2.5 Slicing / viipalointi

Verkon viipaloinnilla tarkoitetaan fyysinen infrastruktuurin jakamista virtuaalisesti useampiin osiin. Tämä mahdollistaa esimerkiksi eri operaattorien toimimisen samalla tukiasemalla tai eri sovelluksille omistettujen erisuuruisten viipaleiden jakamisen. Viipaloinnin tarkoitus on optimoida verkon liikenne ja resurssien jakaminen macrotasolla, sekä palveluiden pitäminen toisistaan erillään. (Computerworld, 2017)



2.6 Sukupolvet ja kehitys

5G on järjestyksessään viides sukupolvi langattoman tiedonsiirron kehityksessä. Kirjain "G" tarkoittaa englanninkielistä sanaa "generation", eli suomeksi "sukupolvi".



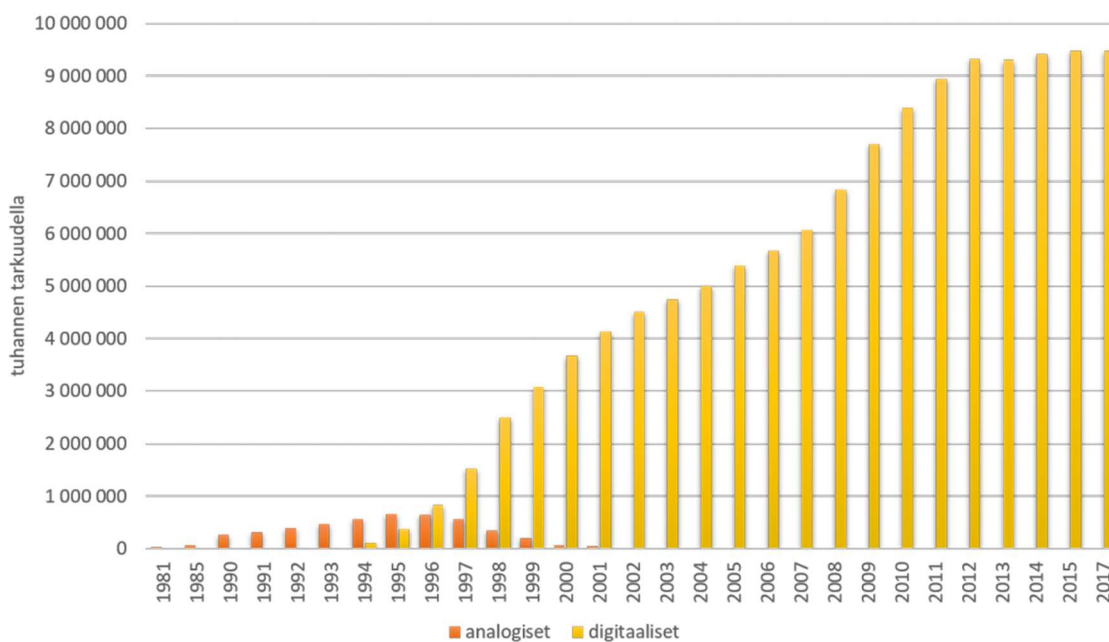
2.6.1 1G

1G oli matkapuhelinteknologian ensimmäinen sukupolvi, joka perustui analogiseen tekniikkaan, aloitti "digitalisaation" matkapuhelinverkoissa. Ensimmäinen 1G-verkko tunnettiin nimellä NMT, joka oli käytössä kaikissa Pohjoismaissa. Ennen NMT-verkon käyttöönottoa Suomessa oli käytössä Suomen sisäinen ARP-verkko. NMT-verkko mahdollisti puhelut Suomen ulkopuolelle muihin Pohjoismaihin. Ensimmäinen 1G-verkko tuli käyttöön Suomessa vuonna 1981 (FiCom, 2018).

2.6.2 2G

Vuonna 1982 Pohjoismaiden ja Alankomaiden esityksestä perustettiin Groupe Speciale Mobile-työryhmä kehittämään teknologiaa, joka kattaisi koko Euroopan. GSM-standardointi saatiin valmiiksi vuonna 1989 ja verkkoa alettiin rakentamaan Euroopassa vuonna 1990 (GSMA).

NMT-verkon korvannut uuden sukupolven GSM-verkko toi mukanaan myös SMS-, eli tekstiviestit, että Internet- ja WAP-yhteydet. Tekstiviestit tulivat Suomessa yleisesti saataville vuonna 1995 ja räjäytti digitaalisten puhelinliittymien suosion (FiCom, 2018).



Lähde: Viestintävirasto / Tilastokeskus (vanhimmat tiedot)

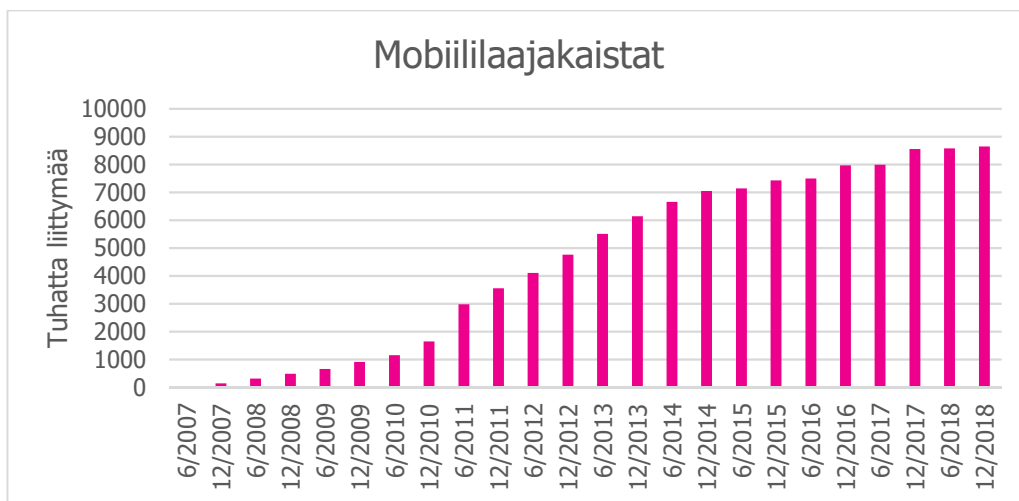
(FiCom, 2018)

2.6.3 3G

2000-luvun ollessa puolessa välissä pääkaupunkiseudulla ja suurissa kaupungeissa otettiin käyttöön uusi kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko UMTS. Edeltävä 2G-sukupolvi toi mukanaan Internet-yhteydet mobiililaitteisiin ja tiedonsiirron kehittäminen oli tärkeimpiä kehityskohteita uudelle teknologialle. UMTS-verkko toi mukanaan kaksi megabittiä/sekunti tiedonsiirtonopeudet (FiCom, 2018).

2.6.4 4G

Edellisen sukupolven tapaan mobiililaajakaistojen tiedonsiirtonopeuksien kehittäminen entistä nopeammaksi on neljännen sukupolven tärkein uudistus. 4G-, eli LTE-verkon teoreettinen huippunopeus 1Gbit/s, vaikkakin käytännössä nopeudet eivät tähän yllä.



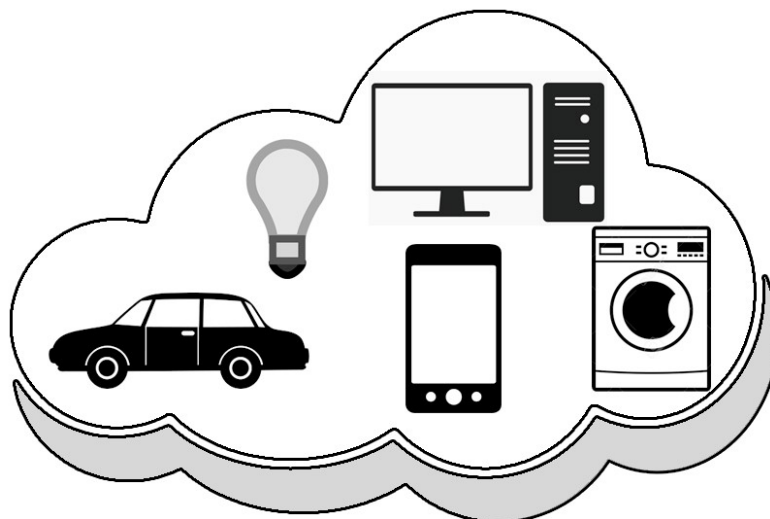
Mobiililaajakaistojen lukumäärä (Traficom, 2019)

2.6.5 5G:n tulevaisuuden näkymät



3 IOT

IoT (Internet of Things) eli esineiden internet tarkoittaa toisiinsa internetin kautta kytkettyjä älylaitteita, jotka kykenevät toimimaan itsenäisesti ja kommunikoimaan toisten verkkoon kytkettyjen laitteiden kanssa. Näitä laitteita ja niiden sisältämää dataa voidaan käyttää ja ohjata reaaliaikaisesti Internetin välityksellä (Logistiikan Maailma).



3.1 Tietoturva

Laitteiden ollessa yhteydessä internetiin ovat ne myös alttiita tietoturvaongelmille. IoT-laitteiden tietoturva voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: ohjelmistojen ja laitteiden fyysiseen sekä tietoliikenteen turvallisuuteen (Viestintävirasto, 2017).

3.1.1 Ohjelmistojen tietoturva

Älylaitteisiin kohdistuvat hyökkäykset ovat moninkertaistuneet viime vuosina. Laitteiden heikko tietoturva ja harvat tietoturvapäivitykset tekevät niistä hyökkäjille otollisia kohteita.

Vuonna 2016 uutisoitiin älytelevision saastumisesta DNS-hijacker-haittaohjelmalla, joka ohjasi kaiken älytelevision selaimesta lähtevän liikenteen saastuneelle verkkosivustolle (Kollberg, 2016). Samana vuonna myös huomattiin verkkoon kytkettävän turvakameran saastuneen 98 sekunnissa käyttöönotosta (CSO Online, 2016). Saastutetut älylaitteet liitetään usein myös osaksi bottiverkkoa, jolla voidaan yhdessä muiden ympäri maailmaa sijaitsevien saastuneiden laitteiden kanssa tehdä esimerkiksi DDoS-, eli palvelunestohyökkäyksiä (Golds, 2017).

Uuden älylaitteen käyttöönotossa on hyvä ensimmäisenä vaihtaa laitteen tehtaalla asetetut käyttäjätunnus ja salasana uusiin ennen sen liittämistä verkkoon. Myös laitteen ohjelmiston päivittäminen uusimpaan versioon mahdollisuuksien mukaan tasaisin väliajoin parantaa laitteen tietoturvaa päivitysten paikatessa mahdollisia tietoturva-aukkoja. (Kinnunen, 2018)

3.1.2 Fyysinen tietoturva

Fyysisellä tietoturvalla tarkoitetaan laitteiden suojaamista siten, etteivät ulkopuoliset henkilöt pääse fyysisesti käsiksi laitteisiin. Fyysinen tietoturva kattaa myös laitteiden suojaamisen kiinteistöstä johtuvista ongelmista. Näitä ovat esimerkiksi tulipalo-, sähkövika-, tai vesivahingot. Laitteiden luotettavuus ja eheys kärsivät, jos fyysinen tietoturva ei ole hallussa.

Fyysistä tietoturva voidaan parantaa sijoittamalla laitteet siten, ettei ulkopuolisilla henkilöillä ole pääsyä laitteille. Yrityksissä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi kulunvalvontaa ja hälytysjärjestelmiä sekä murroille, että tulipaloja varten (Laakso).

3.1.3 Tietoliikenteen tietoturva

Tietoliikenteen tietoturva liittyy hyvin olennaisesti ohjelmistojen ja fyysiseen tietoturvaan. Datan eheys, käyttäjien tunnistus ja fyysinen suoja on perusta tietoliikenteen turvaamiselle. Tietoliikenteen tietoturvassa tulee panostaa verkon ja sen liikenteen salaukseen ja valvontaan. Tietoliikenteen valvonnalla voidaan tunnistaa verkossa tapahtuva liikenne, siihen liitetyt laitteet, mahdolliset vikatilanteet ja puuttua näissä ilmenneisiin epäkohtiin (Secmeter).

3.2 Machine-to-machine (M2M)

Machine-to-machine tarkoittaa laitteiden välistä kommunikointia. Machine-to-machine liitetään vahvasti teollisuudessa automaatioon, missä laitteet ohjaavat toisia laitteita välittämällä tietoa toisilleen (Medium, 2018).

Machine-to-Machine-sovelluksia ovat esimerkiksi teollisuudessa automatisoidut robotit ja tuotantolinjat, jotka vaihtavat keskenään tietoa prosessin eri vaiheiden etenemisestä. Myös isoissa varastoissa logistiikan automatisointi voi ylläpitää varastosta lähteviä ja varastoon tulevia asioita.

Automatisaation uutta aaltoa ja siihen siirtymistä kutsutaan nimellä Industry 4.0, jolla viitataan neljänteen teollisuuden vallankumoukseen (Marr, 2018). Tiedon keruu, analysointi ja sen tehokas käsittely tuottavat parhaimmillaan parempaa laatua pienemmillä kustannuksilla. (BGC)

3.3 Business-to-Consumer (B2C)

Business-to-Consumer tarkoittaa yrityksen ja yksityisen henkilön suoraa kanssakäymistä. Vaikka tämä käytännössä tarkoittaa kaikkea kaupankäyntiä yksityishenkilön ja yrityksen välillä, yhdistetään B2C silti usein internetissä toimiviin verkkokaappoihin (Investopedia, 2019).

Kuten monella muullakin alalla, IoT odotetaan tulevan muuttamaan verkkokauppoja ja asiakkaiden kokemuksia. IoT:n mahdollistama datan reaaliaikainen analysointi ja käsittely mahdollistavat verkkokaupoille paremman asiakaskokemuksen luomisen muokkaamalla tuotteita ja palveluita asiakkaiden tarpeiden mukaisesti (Williams, 2018).

3.4 Vehicle-to-Everything (V2X)

Vehicle-to-everything on 5G:n myötä mahdollistuva itsenäisesti toimivien autojen kommunikoinnin kokonaisuus, jossa auto vaihtaa tietoa muiden autojen ja ympäristön kanssa. V2X voidaan jakaa

kahteen osaan, Vehicle-To-Vehicle (V2V) ja Vehicle-to-Infrastructure (V2I) (STMicroelectronics). Itsestään ajavien autojen uskotaan tulevan vähentämään jopa lähes 90% kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista (3M).

3.4.1 Vehicle-to-Vehicle (V2V)

Vehicle-to-Vehicle on itsenäisesti ajavien autojen kommunikointia toistensa välillä. Autot kommunikoivat langattomasti keskenään ilmoittaen toisilleen mitä sillä hetkellä tekevät ja mitä tulevat tekemään. Näihin tietoihin sisältyy esimerkiksi ajoneuvon nopeus, sijainti ja suunta. Myös mahdollisten vaaratilanteiden ilmoittaminen toisille autoille reaaliaikaisesti tulee parantamaan huomattavasti liikenneturvallisuutta (Howard, 2014). Tulevaisuudessa autot kykenevät lähettämään joka suuntaan tietoa 10 kertaa sekunnissa yli 300 metrin kantamalle (NHTSA).

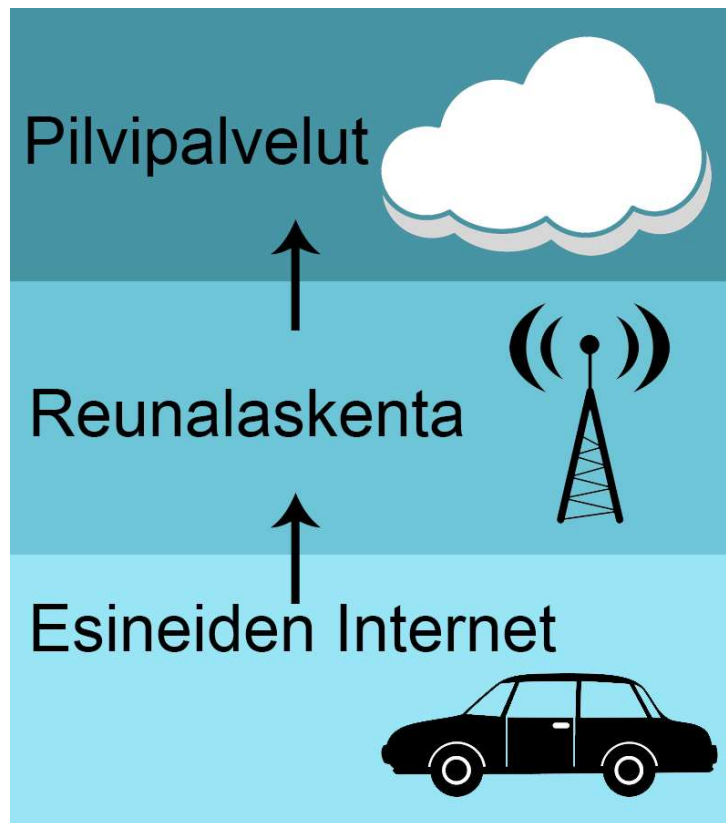
3.4.2 Vehicle-to-Infrastructure (V2I)

Vehicle-to-Infrastructure on ajoneuvon ja ympäristön välistä langatonta kommunikointia. Ympäristön tekijöitä ovat esimerkiksi liikennevalot, kaistojen reunaviivat ja liikennemerkit (3M). Suurimpana muutoksena nykypäivän autojen automatisointijärjestelmiin on suora tiedonvaihto edellä mainittujen tekijöiden kanssa. Jo nyt käytössä olevien autojen automatisointi perustuu erilaisten antureiden ja kameroiden tekemään ympäristön analysointiin, eikä esimerkiksi lumen peittämä liikennemerkki toimi auton kamerajärjestelmän kanssa (Hackernoon, 2018).

V2I:n täysimittainen mahdollistuminen tulee vaatimaan paljon uudistuksia teiden ja kaupungin infrastruktuuriin. Tällaisia ovat esimerkiksi älyliikennemerkit, jotka ovat ihmisten nähtävissä ja auton luettavissa tilanteessa kuin tilanteessa. Myös teiden maalausten ja merkkauksen parantaminen on huomioitava, että auto kykenee toimimaan myös talvella (3M).

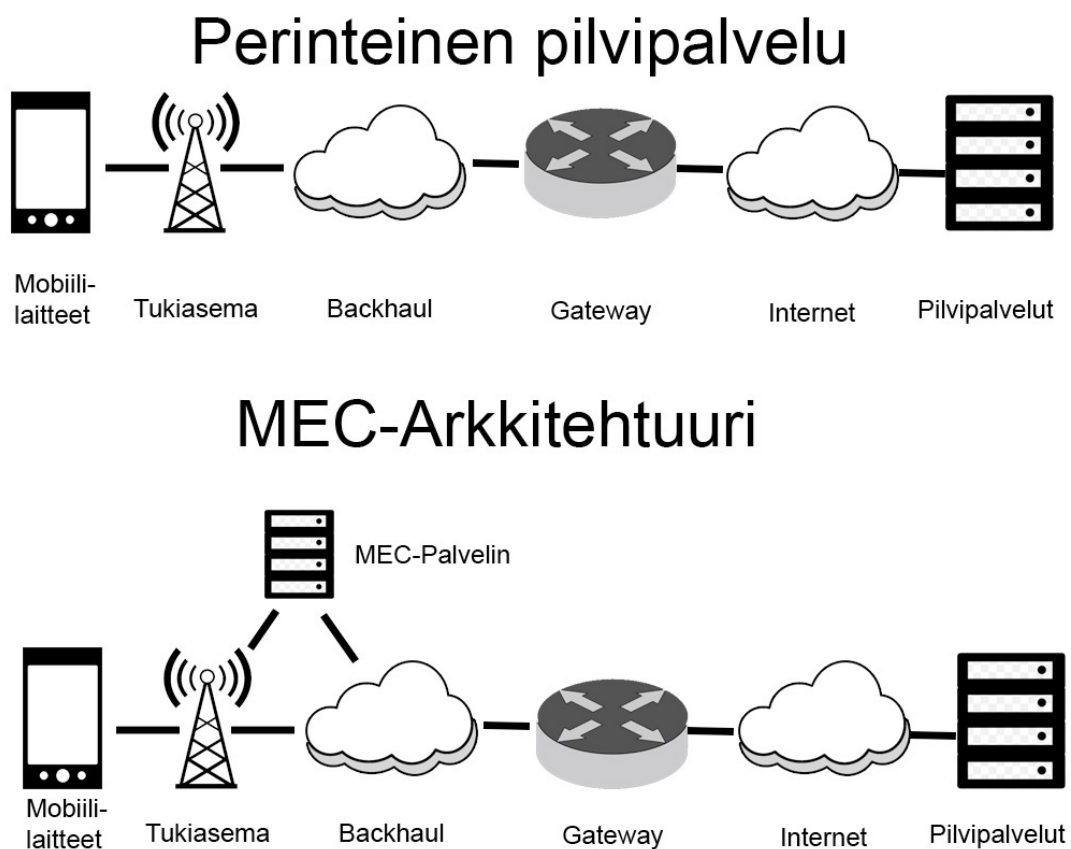
4 REUNALASKENTA

Valtavat määrät internetiin yhdistettyjä laitteita luovat tarpeet reunalaskennalle (edge computing). Pilvipalveluihin käsiteltäväksi viety data voidaan reunalaskennan myötä käsitellä lähempänä verkon reunaa, kuten esimerkiksi 5G-tukiasemien yhteydessä. Datan pysyminen lähempänä päätelaitetta parantaa myös tietoturva (Uusiteknologia.fi, 2017). Tiedon käsittely verkon reunalla tuo mukanaan myös parannuksia viiveeseen ja vähentää pilvipalveluiden räsitusta jatkuvasti lisääntyvien verkkoon yhdistettyjen laitteiden palvelemisessa (SDxCentral).



4.1 Multi-Access Edge Compute (MEC)

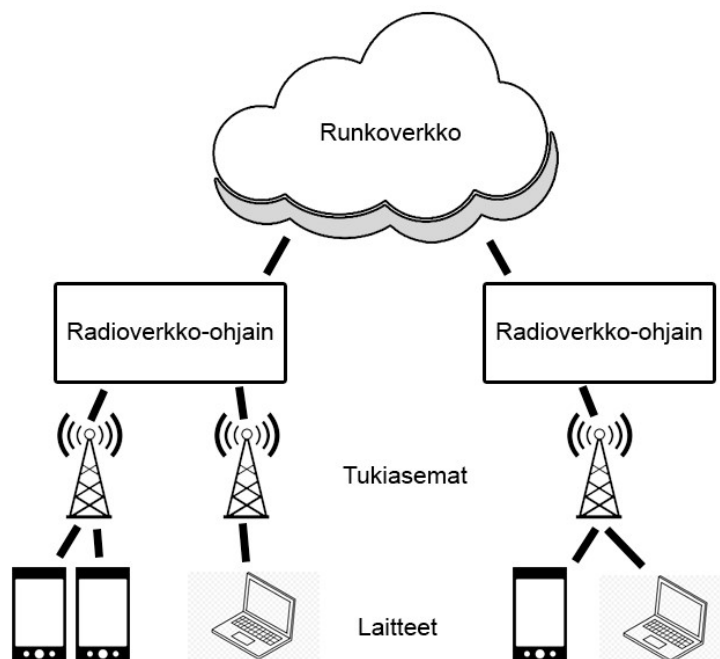
Multi-Access Edge Computing on reunalaskennan standardoitu arkkitehtuuri, jota on työstänyt ETSI (European Telecommunications Standards Institute). MEC:n tarkoitus on mahdollistaa reunalaskennan hyödyt tuomalla laskenta lähemmäksi päätelaitteita (SDxCentral).



4.2 RAN

RAN (Radio Access Network) on radioverkko, joka on ollut käytössä jo 1990-luvun alun ensimmäisissä matkapuhelinteknologioissa. RAN-arkkitehtuurissa tukiasemat yhdistävät mobiililaitteet eritehoisilla antennilla verkkoon, josta RAN ohjaa signaalia muihin päätelaitteisiin.

RAN:ssa radioverkko-ohjain ohjaa resurssien käyttämistä ja datan salausta ja se on suoraan kytketty runkoverkkoon (SDxCentral).



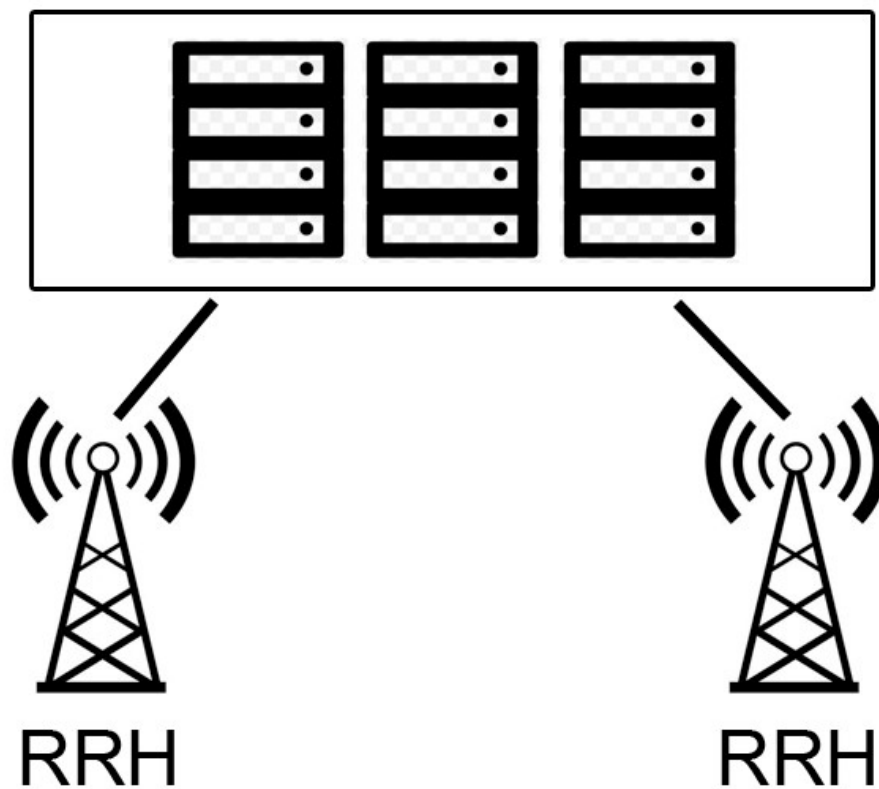
4.3 C-RAN

RAN on kokenut eri mobiiliteknologia sukupolvien aikana useita eri muutoksia, mistä viimeisin on tiedon käsittelyn siirtyminen tukiasemista pilvipalveluille. Tästä hyvästä teknologialle on annettu nimen C-etuliite (Cloud Radio Access Networks). Toimintojen siirtämisessä pilveen on useita hyötyjä esimerkiksi ei-latenssikriittisten sovellusten toiminnassa sekä verkon suorituskyvyn ja joustavuuden parantamisessa (SDxCentral).

Alueilla, joissa verkkoa käyttää paljon ihmisiä samanaikaisesti tukiasemat ovat jatkuvan rasituksen alaisena. Pelkästään tukiasemien lisääminen näille alueille on hyvin kallis vaihtoehto ja se voi aiheuttaa ongelmia signaaleissa (Artizan Networks).

C-RAN:ssa operaattorit voivat jakaa tukiaseman kahteen osaan, Baseband Unit (BBU) ja Remote Radio Unit (RRU). RRU:lla tarkoitetaan C-RAN-arkkitehtuurissa tukiasemia, joihin verkon asiakkaiden laitteet ensisijaisesti ottavat yhteyden. BBU käsittelee tukiasemaan saapuvat signaalit ja lähettää ne mobiiliverkkoon. C-RAN-arkkitehtuurissa useiden tukiasemien erilliset BBU:t voidaan sijoittaa keskitetysti yhteiseen tilaan pois tukiasemien yhteydestä. Tämä säästää huomattavasti kustannuksia, kun jokaiselle tukiasemalle ei tarvitse järjestää omaa kuituyhteyttä (Orbis, 2018).

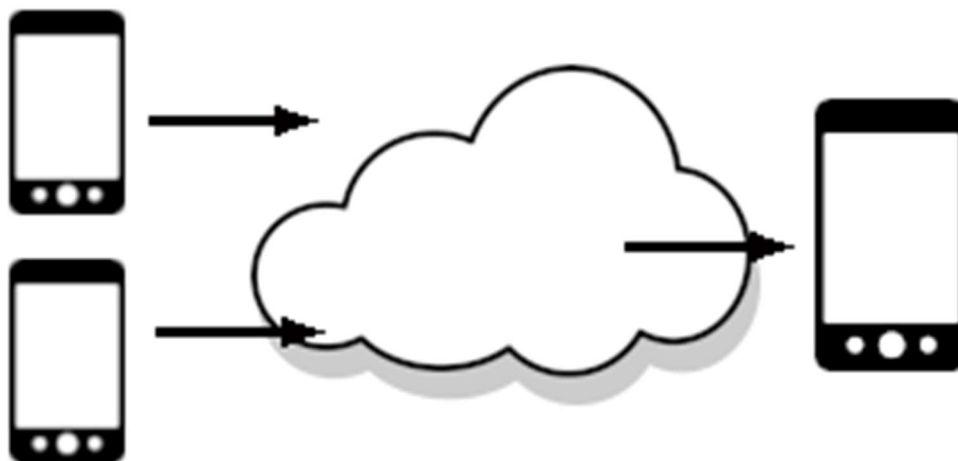
Keskittetyt BBU:t



4.4 Mobiilipilvi

Mobiilipilvellä tarkoitetaan pilvipalvelun kaltaista toiminnallisuutta paikallisessa verkossa. Verkossa olevat mobiililaitteet voivat liittyä mobiilipilveen ja suorittaa pilvipalvelulle ominaista pilvilaskentaa. Vaativa laskenta yhdellä laitteella voidaan siirtää muiden verkon laitteiden suoritettavaksi. (Järvi, 2014)

Muita mobiilipilven hyötyjä ovat parantunut tietoliikennesressien yhteiskäyttö ja energian kulutuksen pienentyminen. Mobiilipilvien joustavuus on myös merkittävä hyöty mobiilipilven sulaavaan käyttöön. Laitteita voi liittyä ja lähteä mobiilipilvestä sen toimintaa häiritsemättä. Tällaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi virran loppuminen laitteesta tai asukkaan poistuminen talosta puhelin mukanaan. (Uusiteknologia.fi, 2017)



5 YHTEENVETO

Selvitystyö saatiin valmiiksi onnistuneesti ja siinä käsiteltiin kattavasti 5G:tä, esineiden internetiä ja reunalaskentaa.

Työssä käytiin läpi 5G:n teknologian ja ominaisuuksien kehitystä, sovelluksia sekä mobiiliverkkoteknologian historiaa nykypäivään saakka. 4G:n aluille pistämään esineiden internetin uusia mahdollisuuksia 5G:n paranneltujen ominaisuuksien myötä käytiin läpi niin teollisuudessa, liikenteessä kuin arjessa. Reunalaskennan syyt ja ominaisuudet olivat itselleni täysin uutta ja sen toiminta osoittautui mielenkiintoiseksi pilvipalvelujen sulavan toiminnan takaamiseksi.

Työ opetti itselleni paljon uutta mobiiliverkoista ja niiden käyttämistä teknologioista. 5G:n kehitystyön ollessa vasta aluillaan, tulee tulevaisuuden mobiiliverkkojen ja -laajakaistojen mahdollisuuksien seuraamisesta mielenkiintoista.

6 LÄHDELUETTELO

- 3GPP.** 3GPP. [Online] 3GPP. <https://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>.
- 3M.** [Online] https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/%7B%22what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/%22%3A%7B%22storyid%3A021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795%22%3A%7B%7D%7D.
- Artizan Networks.** Artizan Networks. [Online] <http://www.artizanetworks.com/resources/tutorials/cran.html>.
- Ashwood-Smith, Peter. 2017.** Why end-to-end network slicing will be important for 5G. [Online] 4. 7. 2017. <https://news.itu.int/why-end-to-end-network-slicing-will-be-important-for-5g/>.
- BGC.** BGC. [Online] <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>.
- Boftel Estonia. 2018.** elisa.fi. *elisa.fi*. [Online] 12 2018. [Viitattu: 11. 4. 2019.] https://elisa.fi/attachment/content/Boftel_Vertailumittaus_12-2018-Seinajoki.pdf.
- Computerworld. 2017.** [Online] 6. 10. 2017. <https://www.computerworld.com/article/3231244/what-is-the-difference-between-network-slicing-and-quality-of-service.html>.
- CSO Online. 2016.** CSO Online. [Online] 20. 11. 2016. <https://www.csoonline.com/article/3143133/iot-security-camera-infected-within-98-seconds-of-plugging-it-in.html>.
- Dna Oy. 2018.** DNA Business. [Online] 26. 3. 2018. <https://www.dna.fi/yrityksille/blogi/-/blogs/hsl-n-massiivinen-tietojarjestelma-valmistumassa-ainutlaatuisia-uudistuksia-joukkoliikenteeseen>.
- ETSI. 2018.** MEC in an Enterprise Setting: A Solution Outline. [Online] Syyskuu 2018. https://www.etsi.org/images/files/ETSIWhitePapers/etsi_wp30_MEC_Enterprise_FINAL.pdf.
- FiCom. 2018.** FiCom. *Langattomat sukupolvet 1G, 2G, 3G, 4G, 5G...* [Online] 15. 6. 2018. <https://www.ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/langattomat-sukupolvet-1g-2g-3g-4g-5g%E2%80%A6>.
- Gold, Ryan. 2017.** The Next Platform. [Online] 26. 1. 2017. <https://www.nextplatform.com/micro-site-content/secure-iot-endpoints-can-help-mitigate-ddos-attacks/>.
- GSMA.** GSMA. *Brief History of GSM & the GSMA*. [Online] <https://www.gsma.com/aboutus/history>.
- Hackernoon. 2018.** [Online] 2018. 7. 2018. <https://hackernoon.com/vehicle-to-vehicle-v2v-and-vehicle-to-infrastructure-v2i-technologies-f142eac11c28>.
- Howard, Billy. 2014.** ExtremeTech. [Online] 6. 2. 2014. <https://www.extremetech.com/extreme/176093-v2v-what-are-vehicle-to-vehicle-communications-and-how-does-it-work>.
- Inderes Oy. 2018.** inderes.fi. *Inderes*. [Online] 2. 10. 2018. <https://www.inderes.fi/fi/uutiset/elisa-telia-ja-dna-saivat-odotetusti-taajuudet-5g-huutokaupassa>.
- Investopedia. 2019.** Investopedia. [Online] 20. 4. 2019. <https://www.investopedia.com/terms/b/btoc.asp>.
- Järvi, Juuso. 2014.** *Mobiilien pilvipalvelujen uusi näkemys: tilapäinen mobiilipilvi*. Jyväskylä : Jyväskylän Yliopisto, 2014.

- Kallio, Antti. 2018.** *5G Ennakoivaan terveydenhuoltoon siirtymisen mahdollistajana*. Jyväskylä : s.n., 2018.
- Kinnunen, Esa. 2018.** Kauppalehti. [Online] 28. 11. 2018. <https://blog.kauppalehti.fi/uuden-tyon-dna/iot-tietoturva-ja-kestava-kehitys-mahdoton-yhtaloko>.
- Kollberg, Dirk. 2016.** Securelist. [Online] 8. 1. 2016. <https://securelist.com/malware-on-the-smart-tv/73229/>.
- Laakso, Matti.** Tietojesiturvaksi.fi. [Online] <https://tietojesiturvaksi.fi/tietoturvasuunnitelma/fyysinen-tietoturva>.
- Logistiikan Maailma.** Logistiikan Maailma. [Online] [Viitattu: 2. 5. 2019.] <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/digitalisaatio/esineiden-internet/>.
- Marr, Bernard. 2018.** Forbes. [Online] 2. 9. 2018. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/#77d322539788>.
- Medium. 2018.** Medium.com. [Online] 8. 9. 2018. <https://medium.com/predict/an-era-of-iot-machine-to-machine-communication-m2m-9a7861665b4c>.
- NHTSA.** Vehicle-to-Vehicle-Communication. [Online] <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication>.
- Orbis. 2018.** MILLAINEN ON 5G-TUKIASEMA VALOPYLVÄÄSSÄ? [Online] 24. 10. 2018. <https://www.orbis.fi/blogi/millainen-5g-tukiasema-valopylv%C3%A4%C3%A4ss%C3%A4>.
- Peter Service.** [Online] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiA2JzJ8r3iAhUNtYsKHRyWDpUQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fwww.billing.ru%2Fen%2Fblog%2Fwhere-will-operators-find-frequencies-5g&usq=AOvVaw3icE99yxV94w_YprPatU80.
- Potilaan Lääkärelehti. 2019.** 5G-verkko tuo uusia mahdollisuuksia etähoitoon ja konsultaatioon. [Online] 26. 3. 2019. <http://www.potilaanlaakarilehti.fi/uutiset/5g-verkko-tuo-uusia-mahdollisuuksia-etahoitoon-ja-konsultaatioon/>.
- Raviomaa, Johannes. 2018.** Virtuaalinen todellisuus mullistaa työn ja oppimisen – Duunitori testasi pelottavan todentuntuista VR-peliä. [Online] 9. 10. 2018. <https://duunitori.fi/tyoelama/virtuaalinen-todellisuus-testi>.
- Rogers, Sol. 2019.** The Arrival Of 5G Will Unlock The Full Potential Of VR And AR. [Online] 30. 1. 2019. <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2019/01/30/the-arrival-of-5g-will-unlock-the-full-potential-of-vr-and-ar/#67b8ed757bcc>.
- SDxCentral.** SDxCentral. [Online] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/radio-access-network/>.
- . The Role of C-RAN in 5G Networks. [Online] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/cran/>.
- . What is Edge Computing? [Online] <https://www.sdxcentral.com/edge/definitions/what-multi-access-edge-computing-mec/>.
- Secmeter.** Secmeter. [Online] <http://www.secmeter.com/tietoliikenneturvallisuus.html>.
- STMicroelectronics.** st.com. [Online] <https://www.st.com/en/applications/telematics-and-networking/vehicle-to-everything-v2x.html#overview>.

Telia. 2018. Pilven monet kasvot – IaaS, PaaS ja SaaS. [Online] 27. 4. 2018.

https://www.inmicsnebula.fi/fi/blogi/pilven-monet-kasvot-iaas-paas-ja-saas?language_content_entity=fi.

Traficom. 2019. *Mobiililaajakaistojen määrä.* 2019.

Uusiteknologia.fi. 2017. [Online] 7. 12. 2017.

<https://www.uusiteknologia.fi/2017/12/07/mobiilipilvet-saastavat-akkua-tuovat-uusia-palveluita/>.

—. **2017.** Uusiteknologia. [Online] 10. 10. 2017. <https://www.uusiteknologia.fi/2017/10/10/5g-verkon-reunalaskentaan-tekoalya/>.

Viestintävirasto. 2017. Viestintävirasto. [Online] 24. 1. 2017.

<https://legacy.viestintavirasto.fi/kyberturvallisuus/tietoturvanyt/2017/01/ttn201701241501.html>.

Williams, Hugh. 2018. DTC Daily. [Online] 31. 8. 2018. <https://www.dtcdaily.com/2018/08/the-future-of-the-consumer-experience-the-iot-and-changing-b2c-relationships/>.