Antti Hakkarainen

5G-teknologia ja sen soveltaminen puettaviin terveydenseurantateknologioihin

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

30. huhtikuuta 2018

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Antti Hakkarainen

Yhteystiedot: antti.hage@hotmail.com

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: 5G-teknologia ja sen soveltaminen puettaviin terveydenseurantateknologioihin

Title in English: 5G-technology and its applications in the field of wearable health monitoring technology

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 22+0

Tiivistelmä: Viidennen sukupolven tietoverkkoteknologiaa (5G-teknologia) kehitetään vauhdilla sen vuoden 2020 tienoilla tapahtuvaa käyttöönottoa silmällä pitäen. 5G tuo mukanaan selvästi aiempaa paremmat tiedonsiirtonopeudet, mikä mahdollistaa uusia sovellutuksia etenkin puettavan ja langattoman teknologian saralla. Tämän työn tavoitteena on käydä läpi 5G:n parannukset 4G:hen verrattuna sekä avata joitakin uusia sovellutusmahdollisuuksia terveydenseurannan alalla.

Avainsanat: 5G, Puettava teknologia, Terveydenseuranta, Langaton teknologia

Abstract: Fifth generation network technology (5G technology) is being developed with a brisk pace as it is initially supposed to be adopted around the year 2020. 5G will bring with it a much improved data transfer rate which enables many new applications especially in the field of wearable and wireless technology. The main goal in regard to this thesis is to find out about the improvements of 5G over the older 4G technology and also to find out about new possible applications in the field of health monitoring.

Keywords: 5G, Wearable technology, Health monitoring, Wireless technology

Kuviot

Kuvio 1. Havainnollistavia tuloksia sisätiloissa tehdystä signaalinvaimentumismittauksesta New Yorkissa 1 5

Sisältö

1 JOHDANTO 1

2 5G-TEKNOLOGIA YLEISESTI 3
2.1 Millimetriaallot 3
2.2 Pienet solutukiasemat 6
2.3 Massiivinen MIMO 7

3 PUETTAVA TERVEYSTEKNOLOGIA 9
3.1 Älyvaatteet 9
3.2 Vartalosensoriverkot 10
3.3 Puettavan terveysteknologian sovellusesimerkkejä 10

4 5G-TEKNOLOGIAN JA TERVEYSTEKNOLOGIAN YHDISTÄMINEN 13

5 POHDINTA 15

KIRJALLISUUTTA 16

1 Johdanto

Vuoden 2020 tienoilla käyttöönotettava viidennen sukupolven tietoverkkoteknologia (5G) tuo mukanaan aiempaa suuremman tiedonsiirtokapasiteetin, mikä mahdollistaa uusien sovellutusten käyttöönoton monella osa-alueella. Monet uudet langattoman teknologian käyttötavat sekä vanhat, joita ei edeltävien teknologiastandardien puitteissa ole kyetty toteuttamaan, löytyvät erityisesti reaaliaikaisen tiedonvälityksen ja -käsittelyn saralta. Nykyinen neljännen sukupolven tietoverkkoteknologia (4G) on saavuttamassa kapasiteettinsa rajat tietoliikenteen lisääntyessä langattomassa verkossa vuoteen 2020 mennessä (Rappaport, Sun, Mayzus, Zhao, Azar, Wang, Wong, Schulz, Samimi & Gutierrez 2013; Ezhilarasan & Dinakaran 2017).

Tästä viestintäteknologian viidennestä sukupolvesta voi olla erityisen suuri hyöty uusien puettavien teknologiaratkaisujen kehittämisessä, sillä monet potentiaalisesti hyödylliset sovellutukset hyötyisivät reaaliaikaisuudesta, mikä tarkoittaisi langattomaan verkkoon yhteydessä olevien laitteiden määrän mahdollisesti suurtakin kasvua. Esimerkiksi usean eri sensorin yhdenaikaisesti keräämää fysiologista informaatiota siirrettäessä päälle puetusta mittauslaitteesta palvelimelle, tulisi reaaliaikaista informaatiota hankittaessa kyseeseen jatkuva tiedonsiirto käyttäjälaitteesta tukiasemaan, mikä lisäisi liikennettä jo valmiiksi kiireisessä verkossa.

Nämä puettavan teknologian terveydenhoidon sovellukset voivat helpottaa terveydenhoidon ammattilaisten työtaakkaa etenkin tulevaisuudessa, kun ikääntyvän väestön osuus kasvaa ja sairauksien sekä muiden terveysongelmien aikainen havaitseminen voi olla elintärkeää. Terveydenhuollon painopiste voi lisäksi siirtyä kohti ennaltaehkäisevää hoitoa, jotta sairaalapaikkoja voitaisiin vapauttaa niitä eniten tarvitseville. On siis ajankohtaista tutkia puettavan teknologian mahdollisuuksia mahdollisimman pian terveydenhuollon tehostamiseksi.

Tässä tutkielmassa tarkoituksena onkin selvittää, miten uusi 5G-teknologia mahdollistaa yleistyessään myös uusia puettavan teknologian ratkaisuja, erityisesti terveydenhoidossa ja tarkemmin terveyden seurannassa sairaalaolojen ulkopuolella.

Puettava teknologia tulee todennäköisesti nousemaan nykyistä merkittävämpään rooliin myös tavallisten kuluttajien arjessa, kun 5G julkaistaan markkinoille ja tästä johtuen siihen on syytä perehtyä tarkemmin.

Luvussa 2, käsitellään 5G-teknologian mahdollisia avainkomponentteja ja avataan sen ominaisuuksien mukanaan tuomia etuja. Luvussa 3, selvitetään puettavan teknologian sovellusmahdollisuuksia terveydenhoidossa ja pyritään selventämään puettavan teknologian eri tyyppejä. Lopuksi luvussa 4 käydään vielä läpi 5G:n ja puettavan teknologian yhdistämisen hyödyt terveysteknologian kannalta sekä joitain käytännön esimerkkejä jo olemassa olevista sekä mahdollisista tulevista sovellutuksista.

2 5G-teknologia yleisesti

Viidennen sukupolven tietoverkkoteknologian (5G) on määrä korvata neljännen sukupolven tietoverkkoteknologia (4G) vuoden 2020 jälkeen (Gohil, Modi & Patel 2013). Termi "5G-teknologia" ei tällä hetkellä kuitenkaan viittaa vielä mihinkään yhteen ja tiettyyn teknologiaan, vaan se on sen sijaan enemmänkin yleistermi kaikille tällä hetkellä kehitteillä oleville uusille langattoman viestinnän teknologioille (Patil, Patil & Bhat 2013).

Uusi viestintäteknologian sukupolvi on kuitenkin tulossa ja tutkijaryhmät useissa eri maissa työskentelevät monien potentiaalisesti merkittävien teknologisten ratkaisujen parissa, jotta 5G-teknologia saataisiin käyttöön vuoden 2020 tienoilla. Tässä luvussa avataan joitakin tärkeimpiä teknologioita, joista kaavaillaan 5G:n suurimpia hyötyjä 4G:n yli. Alaluvussa 2.1 selvitetään mitä ovat millimetriaallot sekä miten ne vaikuttavat tietoverkkojen kehitykseen. Alaluvussa 2.2 kerrotaan tarkemmin 5G:n kannalta tärkeistä pienistä solutukiasemista, joita millimetriaaltojen hyödyntäminen todennäköisesti vaatii. Alaluvussa 2.3 avataan massiivisen syötteen ja tulosteen merkitystä nykyisessä tietoverkkoympäristössä.

2.1 Millimetriaallot

Yksi mahdollisesti merkittävä uudistus tietoverkkoteknologiassa tulee olemaan tiedonvälitykseen käytettävän sähkömagneettisen spektrin laajentaminen millimetriaaltoihin (Mitra & Agrawal 2015). Nykyinen 4G-verkko toimii käytännössä 750 megahertsin ja 2600 megahertsin välisellä alueella ja tämä aallonpituusalue on jo nykyisellään alkamassa tukkeutua, kun yhä useammat ihmiset käyttävät esimerkiksi älylaitteita tiiviillä alueella (Mitra ym. 2015). Mikäli mobiililaitteiden määrä kasvaa suuresti nykyisestä, mikä on odotettavissa, täytyy 4G:n taajuuksien rajallisuuteen liittyvät haasteet ratkaista lähitulevaisuudessa (Ezhilarasan ym. 2017).

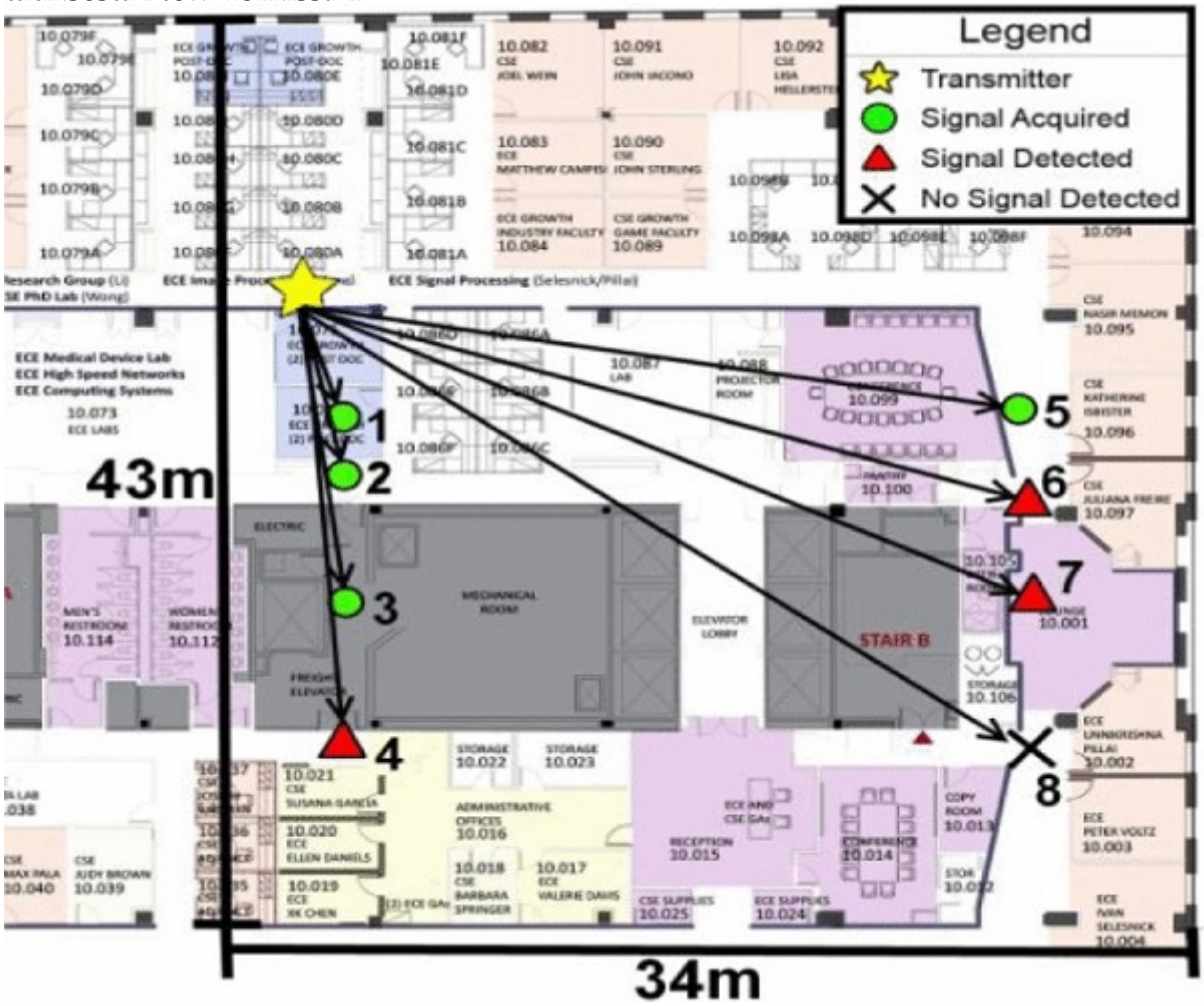
Millimetriaallot sijoittuvat sähkömagneettisella spektrillä kolmen ja kolmensadan gigahertsin väliselle alueelle ja ne luokitellaan usein mikroaaltoihin kuuluviksi. Tä-

tä osaa sähkömagneettisesta spektristä ei ole ennen hyödynnetty langattoman tiedonvälityksen saralla (Mitra ym. 2015). Syy siihen on usein ollut se, että millimetriaallot ovat suurtaajuusaaltoja, joiden aallonpituus on millimetrien luokkaa. Tästä lyhyestä aallonpituudesta johtuen millimetriaaltojen on vaikeaa läpäistä rakennuksia tai muita esteitä matkallaan laitteesta tukiasemaan. Useat tutkijaryhmät, kuten esimerkiksi Rappaport ym. (2013) ovat kuitenkin tutkineet näiden esteiden aiheuttamia vaimennushaittoja (path loss) ja kehitelleet mahdollisia ratkaisuja tähän ongelmaan.

Esimerkiksi New Yorkissa suoritetussa tutkimuksessa Rappaport ym. (2013) selvittivät tiheästi rakennetun alueen vaikutusta millimetriaaltojen tiedonvälityskykyyn ja havaittiin, että käytettäessä 28 GHz taajuuksisia millimetriaaltoja, tarvitaan tukiasemia noin 200 metrin välein, jotta voitaisiin saavuttaa johdonmukaisesti toimiva kattavuus langattomalle verkolle. Saman tutkimuksen yhteydessä tutkittiin myös 38 GHz millimetriaaltojen toimintakykyä Texasin Austinissa, missä millimetriaaltojen vaimentumisen havaittiin olevan paljon vähäisempää johtuen harvempaan rakennetusta kaupunkiympäristöstä. Lisäksi New Yorkissa heijastuskertoimet olivat ulkotilamateriaaleille merkittävästi suurempia kuin Austinissa. Heijastuskerroin kertoo, kuinka suuri osa signaalista heijastuu pois tietystä materiaalista läpäisemättä sitä. (Rappaport ym. 2013).

Sisätiloissa, joissa on paljon esteitä, signaalin vaimentuminen korostuu vielä voimakkaammin (Rappaport ym. 2013). Kuvassa 1, on esitetty tuloksia edellä mainitusta tutkimuksesta mitattaessa sisätiloissa millimetriaaltojen vaimentumista.

Kuvio 1. Havainnollistavia tuloksia sisätiloissa tehdystä signaalinvaimentumismittauksesta New Yorkissa 1



Tämän hetkisten tutkimusten pohjalta välittyvä käsitys on, että millimetriaallot kykenisivät lisäämään langattomien verkkojen tiedonvälityskapasiteettia merkittävästi, jolloin olisi mahdollista tarjota huippunopeita yhteyksiä suurellekin käyttäjämäärälle samanaikaisesti (Ghosh, Thomas,Cudak, Ratasuk, Moorut, Vook, Rappaport, MacCartney, Sun & Nie 2014). Tämän kapasiteetin lisäyksen odotetaan olevan jopa 10 Gbps asti nykyisestä 100+ Mbps - tasosta, jolloin olisi mahdollista tarjota vuoden 2020 tienoilla kaikille arviolta noin 50 miljardille laitteelle huippunopeita tiedonsiirtonopeuksia (Ghosh ym. 2014) (Raaf, Zirwas, Friederichs, Tiirola, Laitila, Marsch & Wichman 2011). Ezhilarasan ym. (2017) mukaan suurus olisi LAN-verkossa (Local

Area Network) yhdestä gigatavusta per sekunti ylöspäin ja WAN-verkossa (Wide Area Network) noin 500 megatavua sekunnissa.

Jotta 5G-verkko voisi siis palvella tehokkaasti esimerkiksi puettavan terveyden seurannan tarpeita reaaliaikaisesti, on millimetriaaltojen hyödyntämistä mielestäni tärkeää tutkia lisää. Erityisesti, mikäli halutaan seurata esimerkiksi huonokuntoisten vanhusten terveydentilaa reaaliajassa heidän kotonaan, on kenties syytä tehdä lisää Rappaport ym. (2013) kaltaista tutkimusta etenkin sisätiloissa tapahtuvan signaalinvälityksen saralla.

2.2 Pienet solutukiasemat

Langaton tiedonsiirto tarvitsee sopivin välein sijoitettavia tukiasemia, joiden tehtävänä on yhdistää laitteet joltain alueelta verkkoon. Perinteiset nykyään käytössä olevat suuret tukiasemat ovat toimineet hyvin tähän asti, mutta mikäli halutaan lisätä tietoverkon kapasiteettia käyttämällä millimetriaaltoja, täytyy myös tukiasemaverkko suunnitella niille sopivaksi (Patil ym. 2013).

Pienillä solutukiasemilla tarkoitetaan langattoman verkon tukiasemia, joiden tehokas kantama on tukiasematyypistä riippuen aina kymmenestä metristä noin kahteen kilometriin. Eri solutyyppien tukiasemat on myös suunniteltu eri käyttäjämääriä ajatellen (Ezhilarasan ym. 2017).

Femtosoluasemien, joiden kantama on 10–20 metriä, suunniteltu käyttäjämäärä on vain muutama laite kerrallaan, picosolutukiasemien(kantama 200 metriä) suunniteltu käyttäjämäärä olisi 20–40 laitetta ja mikrosolutukiasemien käyttäjämäärä olisi sadasta laitteesta ylöspäin ja kantama noin kahden kilometrin luokkaa (Ezhilarasan ym. 2017). Näiden tukiasemien tehtävänä on välittää käyttäjälaitteiden ja päätukiasemien välistä liikennettä, jotta millimetriaaltojen käyttö tiedonvälityksessä olisi järkevää. Tämä on tärkeää johtuen millimetriaaltojen heikosta esteidenläpäisykyvystä, jota käsiteltiin tarkemmin edellisessä luvussa.

Useat tutkijat ovat perehtyneet myös siihen, kuinka paljon energiaa tiheään raken-

nettavat ja lukumäärältään lukuisat pienet tukiasemat tulisivat kuluttamaan ja miten kulutetun energian määrää voitaisiin minimoida (Ge, Yang, Gharavi & Sun 2017). Tutkimuksissa on todettu muun muassa se, että lisääntyvä tietoliikenne ja siitä johtuva antennien lisäystarve tukiasemiin massiivisen MIMOn toimiseksi, tulee tutkimusten mukaan lisäämään tukiasemien laskentatehontarvetta. Tällöin myös energiankulutus kasvaa, jolloin pienten tukiasemien energiatehokkuuden tutkiminen nousee huomionarvoiseksi seikaksi 5G:n kehityksessä (Ge ym. 2017).

2.3 Massiivinen MIMO

Kun langattomaan verkkoon yhteydessä olevien laitteiden määrä kasvaa merkittävästi, kasvaa myös tukiasemien käsittelemä syötteiden ja tulosteiden määrä. Tällöin palvelun sujuvuuden vuoksi on tärkeää varmistaa, että tukiasema ei jumiudu liiasta liikenteestä. Nykyään tukiasemat käyttävät MIMOa välittääkseen signaaleja toistensa välillä ja massiivisen MIMOn ajatus on lisätä antennien määrää tukiasemissa merkittävästi nykyisestä (Larsson, Edfors, Tufvesson & Marzetta 2014). Larsson ym. (2014) tutkivat muutamien satojen antennien käyttämistä palvelemaan kymmeniä päätelaitteita yhdenaikaisesti. Massiivisen MIMOn tavoite on hyödyntää MIMOn hyvät puolet, mutta paljon suuremmassa mittakaavassa (Larsson ym. 2014). Sen pohjalta olisi mahdollista palvella kaikkia verkon käyttäjiä myös tulevaisuudessa sekä mahdollistaa energiatehokkaiden, turvallisten ja kestävien laajakaistaverkkojen kehittäminen(Larsson ym. 2014).

Massiivinen MIMO nojaa vahvasti tilalliseen limitykseen, joka jakaa lähetettävän signaalin useaan osaan, joista jokainen lähetetään yhdenaikaisesti ja rinnakkaisesti samalla lähetyskanavalla (RF-channel) (Sun, Rappaport, Heath, Nix & Rangan 2014). Tämä lisää viestintäjärjestelmän suoritustehoa eli useampia datalähetyksiä kyetään lähettämään annetussa ajassa. Tilallinen limitys taas vaatii tukiasemalta riittävän hyvää tietämystä saatavilla olevista lähetyskanavista, jotta olisi mahdollista laskea paras mahdollinen lähetysreitti kullekin datapaketille (Larsson ym. 2014).

Massiivisen MIMOn mahdollistamiseksi on pyritty kehittämään aidosti kaksisuun-

taisesti toimivat taajuudet liikenteen tehostamiseksi (Goyal, Liu, Panwar, Difazio, Yang & Bala 2015). Lisäksi on tutkittu mahdollisuuksia parantaa nykyisiä säteenmuodostustekniikoita ja kehittää uusia, jotta 5G-verkko saataisiin toimimaan optimaalisesti (Sun ym. 2014).

Puettava terveydenseuranta tulee potentiaalisesti lisäämään tukiasemaan yhteydessä olevien laitteiden määrää, etenkin, mikäli otetaan käyttöön reaaliaikainen seuranta, joka olisi hyödyllinen apuväline nopeaan reagointiin terveysongelmien ilmentyessä (Oleshchuk& Fensli 2011). Reaaliaikainen seuranta on tärkeää esimerkiksi Chen, Zhang, Li, Hassan & Alamri (2015) suunnittelemassa AIWAC-arkkitehtuurissa, jota avataan lisää myöhemmässä luvussa. Yksittäisinä laitteina erilaiset puettavan terveydenseurannan sovellutukset eivät näyttäisi vaativan nykyisellään paljoa tiedonsiirtoa, mutta avaimena kapasiteettivaatimukselle onkin näitä laitteita potentiaalisesti tulevaisuudessa käyttävien potilaiden määrä sekä muun liikenteen llisääntyminen langattomassa verkossa.

3 Puettava terveysteknologia

Puettavalla teknologialla on tutkittu olevan monia hyödyllisiä kliinisiä sovellutuksia terveydenhoidossa ja erityisesti tiedon keräämisessä potilaiden arkielämästä kliinisten sairaalaolosuhteiden ulkopuolella (Oleshchuk ym. 2011; Bonato 2009). Puettava teknologia kykenee antamaan hoitohenkilökunnalle arvokasta tietoa vaikeasti havaittavien sairauksien ensioireista, mikä parantaa hoidon tehokkuutta (Bonato 2009). Tässä luvussa käsitellään puettavan teknologian sovelluksista pääasiassa älyvaatteita alaluvussa 3.1 sekä vartalosensoriverkkoja alaluvussa 3.2. Lisäksi avataan puettavan teknologian tarpeellisuutta terveydenhoitoalalla alaluvussa 3.3.

3.1 Älyvaatteet

Älyvaatteet tarkoittavat pohjimmiltaan tavallisia vaatteita, joihin on upotettu erilaisia sensoreita, joilla voidaan tallentaa fysiologista informaatiota käyttäjästä, kuten sykettä, hengitystiheyttä, verenpainetta tai ruumiinlämpöä (Bonato 2009; Zhang, Shen, Wang, Wang & Zheng 2011). Tällainen seurantatieto voi olla lääkäreille hyödyllistä potilaan terveydentilaa selvitettäessä ja älyvaatteiden avulla tapahtuva seuranta voi myös vähentää sairaalapaikkojen kysyntää kuin potilaan tilaa voidaan seurata missä vain. Usein käytettyjä älyvaatteita ovat erilaiset rannekkeet, vyöt sekä paidat ja niitä on myös tutkittu entistä kiinnostuneemmin viime vuosina (Zhang ym. 2011; Lage, Catarino, Carvalho & Rocha 2015).

Aivan lähivuosina on kehitetty kuun muassa älypaitaa, joka nojaisi mahdollisimman vähän ei-tekstiilimateriaaleihin mittausvuorovaikutuksessa. Lage ym. (2015) mukaan vaatteet ovat erinomaisia rajapintoja fysiologisen tiedon keräämiseen, niiden ollessa muun muassa joustavia, venyviä sekä ne lisäksi mukautuvat käyttäjän kehonmuotoihin. Vaatteet ovat myös yhtäjaksoisesti kauan käyttäjän päällä, joten ne tarjoavat mielenkiintoisen vaihtoehdon yhtäjaksoiseen ja kaikkialla tapahtuvaan terveyden seurantaan (Lage ym. 2015). Tutkimuksessa käsitellyssä paidassa oli esimerkiksi kudottuja kosteusantureita sekä kankaaseen upotettuja sykeantureita, joi-

den avulla voitiin tarkkailla paidan käyttäjän hikoilua ja sykettä. Paidan suunnittelussa oli tärkeää ottaa huomioon etenkin vaatteen paino, virrankulutus sekä tilavuus, jotta saavutettaisiin optimaalinen mittauskyky (Lage ym. 2015).

Puettavat älyvaatteet ovat potentiaalisesti erittäin käyttökelpoisia käytännön sovelluksissa sekä kliinisissä, että arkisissa oloissa. Esimerkiksi edellä mainitsemani älypaita oli alun perin suunniteltu palomiehille estämään korkeista lämpötiloista ja kosteudesta seuraavia palovammoja, mutta samaa teknologiaa voitaisiin helposti hyödyntää myös yleisesti potilaiden terveyden seurannassa (Lage ym. 2015).

3.2 Vartalosensoriverkot

Vartalosensoriverkoilla tarkoitetaan pienten langattomien sensorien kiinnittämistä kehoon, jotka tallentavat ja käsittelevät ihmisen fysiologisia signaaleja. Ne ovat hyödyllisimpiä lyhyen ajan seurantatarpeisiin, eli muutamasta päivästä noin viikkoon kestävälle ajanjaksolle (Bonato 2009; Gravina, Alinia, Ghasemzadeh & Fortino 2017). Kuitenkin jo yhdeksänkymmentäluvulla NASA:n "Jet Propulsion Laboratory":ssä tehtiin uranuurtavaa tutkimusta, jotta saataisiin kehitettyä anturilaastareita, joilla kyettäisiin keräämään fysiologista informaatiota pitkiltäkin ajanjaksoilta (Bonato 2009).

Kehoon kiinnitettyjen sensorien avulla tietoa keräävät vartalosensoriverkot käyttävät usein signaalin prosessoinnin ja koneoppimisen kaltaisia laskennallisia algoritmeja, joiden avula ne erottelevat kerätystä datasta hyödyllistä informaatiota. Tiedon hankkimiseen käytettäviin sensoreihin kuuluu esimerkiksi kiihtyvyysantureita, ihoelektrodeja, paineantureita sekä gyroskooppeja, mutta muunkinlaisia mittalaitteita hyödynnetään terveydenseurannassa (Gravina ym. 2017).

3.3 Puettavan terveysteknologian sovellusesimerkkejä

Hyvä esimerkki jo aiemmin kehitetyistä puettavista terveydenseurantateknologioista on "Sensing Shirt", joka on käytännössä elastinen t-paita, johon on sisällytetty

puettavia sensoreita. paita kykenee seuraamaan paljon erilaista fysiologista informaatiota, kuten sydänsähkökäyrää, hengitystä sekä aktiivisuutta. Paita on suunniteltu käytettäväksi niin kotona tapahtuvassa terveydenseurannassa, kuin tieteellisessä tutkimuksessakin (Zhang ym. 2011). Tämä "Sensing Shirt" hyödyntää käytännössä rakenteessaan paljolti samoja tekniikoita kuin älypaita, joka oli suunniteltu palomiesten työturvallisuuden edistämiseksi eli kankaaseen on kudottu sensoreita mahdollisimman luontevasti, jotta vaatteen käyttömukavuus säilyisi (Lage ym. 2015).

Edellisessä kappaleessa mainittujen paitojen kontekstissa 5G-teknologia voitaisiin sisällyttää paitojen suorittamaan tiedon keräämiseen, jolloin voitaisiin saada katkeamatonta reaaliaikaista tietoa paidasta verkossa olevalle laitteelle. Lage ym. (2015) kehittämä älypaita palomiehille esimerkiksi voisi lähettää jatkuvaa dataa palomiehen terveydentilasta valvontakeskukseen, missä esimerkiksi lääkäri tai tietokone voisi seurata tilannetta ja tarvittaessa antaa palomiehelle varoituksia, mikäli jokin olisi vialla. Tiedonsiirtokapasiteettia tarvitaan tässä mielestäni johtuen liikenteen lisääntymisestä langattomassa verkossa lähitulevaisuudessa (Ghosh ym. 2014).

Fyysisen hyvinvoinnin seuraamisen lisäksi on myös kehitetty ratkaisuja seurata potilaitten psykologista tai emotionaalista, eli tunne-elämän hyvinvointia (Chen ym. 2015). Chen ym. (2015) selvittivät puettavien laitteiden, interaktiivisen kerroksen sekä pilvilaskennan yhdistämistä potilaiden psykologisen hyvinvoinnin edistämiseksi. Tutkijoiden tavoitteena oli kehittää tunteista tietoisia palveluita(emotion-aware-services), joiden avulla voitaisiin heidän mukaansa tarjota käyttäjille tai potilaille tehokasta ja tunteisiin pohjautuvaa palvelua kotiympäristössä (Chen ym. 2015). Käyttäjän ja palveluiden vuorovaikutukseen he esittivät mahdollisuudeksi käyttää antropomorfista eli ihmisenkaltaista robottia, joka lisäksi käyttäytyisi inhimillisesti ja, joka kykenisi interaktiiviseen kanssakäymiseen käyttäjän kanssa esimerkiksi puhumalla ja hymyilemällä (Chen ym. 2015).

Chen ym. (2015) esittämä AIWAC-arkkitehtuuri hyötyisi 5G:n käyttöönotosta, sillä tutkimusryhmän esittelemä malli vaatisi jatkuvaa yhteydenpitoa ja vuorovaikutusta pilvipalvelimen kanssa, jonka tehtävänä on analysoida käyttäjältä kerättyä psy-

kologista sekä fysiologista dataa. Kuten ryhmä kertoo artikkelissaan, AIWAC kykenee lisäksi tarjoamaan yleistä terveydenseurantaa sen keräämän fysiologisen ja psykologisen datan avulla, jota kertyy heidän mallissaan paljon (Chen ym. 2015). Vaikka Chen ym. (2015) eivät kerro tarkkoja arvioita datan määrästä, heidän mukaansa kyse on kuitenkin "Big Datasta".

4 5G-teknologian ja terveysteknologian yhdistäminen

Puettava terveysteknologia tulee potentiaalisesti hyödyttämään terveydenhoitoalaa suuresti tiedonsiirtomahdollisuuksien parantuessa, kun hoitohenkilökunta kykenee saamaan lähes reaaliaikaista tietoa potilaidensa terveydentilasta. Esimerkiksi askelluksen roolia Parkinsonin taudin eri vaiheiden tunnistamisessa on tutkittu, ja on havaittu, että erityisesti keskivaiheen Parkinsonintaudin oireita voitaisiin havaita nykyistä aiemmin käyttäen puettavia sensoreita (Rastegari, Marmelat, Najjar, Bastola & Ali 2017). Jos tämä tieto saataisiin hoitavalle lääkärille suoraan 5G-verkon kautta, voisi tämä reagoida reaaliajassa ja nopeasti potilaan tilan muutoksiin.

Tällainen tarkkailu vaatii kuitenkin potentiaalisesti suurien datamäärien keräämistä ja tallentamista, suurta tiedonsiirtokapasiteettia sekä vankkaa tietoturvaa langattomassa viestinnässä, mikä on osoittautunut ongelmaksi nykyisen 4G-tiedonsiirron aikakaudella (Agival, Roy & Saxena 2016). Esimerkiksi seurattaessa samalla alueella useiden eri potilaiden terveyttä monien sensorien kautta ympärivuorokauden ja reaaliajassa, niin verkon kuormitus kasvaa merkittävästi ja etenkin kun otetaan huomioon myös yleisesti kasvussa oleva langatonta verkkoa hyödyntävien laitteiden määrä. 5G-teknologia lisää merkittävästi mobiililaitteiden sekä puettavien laitteiden tiedonsiirtokapasiteettia, mikä mahdollistaa suurien tietomäärien siirron nopeasti laitteen ja palvelimen välillä (Gohil ym. 2013).

5G-teknologioiden hyödyntäminen voi olla suuresti eduksi väestön kasvaessa ja ikääntyneen väestön osuuden kasvaessa väestön sisällä, jolloin tulee todennäköisesti tarpeelliseksi siirtää terveydenhoidon painopistettä entistä enemmän ennaltaehkäisevään hoitoon sairaaloiden ulkopuolella (Milenkovic, Otto & Jovanov 2006). Esimerkiksi tässä tutkielmassa lyhyesti esitelty psykologisen hyvinvoinnin edistämiseen kehitetty järjestelmä (Chen ym. 2015) hyötyy todennäköisesti 5G:n mukana tulevista nopeammista yhteyksistä sekä lisätystä kapasiteetista, sillä jatkuva yhteydenpito pilvipalvelimen kanssa lisää kapasiteettivaatimuksia verkolle, jossa laitteiden määrä tulee joka tapauksessa lisääntymään voimakkaasti vuoteen 2020 mennessä (Ezhilarasan ym. 2017).

Tulevaisuudessa esimerkiksi Zhang ym. (2011) kehittämä Sensing Shirt voitaisiin hyödyntää Chen ym. (2015) suunnitteleman AIWAC-arkkitehtuurin osana, sillä sekä kyseessä oleva paita, että AIWACin päälle puettavat sensorit keräävät samanlaista informaatiota kuten sykettä ja sydänsähkökäyrää.

Useat sovellukset hyötyisivät 5G-teknologiasta todennäköisesti samoilla tavoilla, mikä tarkoittaa reaaliaikaista tiedonsiirtoa ja kerätyn informaation nopeaa käsittelyä ja hyödyntämistä. Tällöin joko käyttäjät tai potilaat itse tai mahdollisesti hoitavat lääkärit ja muu terveydenhuoltohenkilöstö voisivat saada reaaliajassa tiedon potilaan terveydentilan muutoksesta ja näin ollen lähettää apua nykyistä aiemmin ja ilman erillistä hätäilmoitusta. Tässä tutkielmassa ei oteta kantaa mahdollisiin yksityisyydensuojan ongelmiin, joita tällainen henkilökohtaisen tiedon hyödyntäminen voisi nostaa esille.

5 Pohdinta

Tämän tutkielman perusteella voidaan sanoa 5G-teknologian julkistamisen tuovan mukanaan merkittävän parannuksen kuluttajien tiedonsiirtonopeuksissa sekä langattoman verkon kapasiteetissa. Nämä teknologiset edistysaskeleet lisäksi avaavat uusia mahdollisuuksia puettavan teknologian toimialalla. Tässä tutkimuksessa nostettiin esille 5G:n osateknologioita, joilla nämä kehitysaskeleet voidaan saada aikaan. Näistä tärkeimmiksi valittiin millimetriaallot, piensolutukiasemat sekä massiivinen MIMO, jotka avaavat lisää kapasiteettia verkkoon sekä tiedonkäsittelyyn asiakkaiden palvelemisen tehostamiseksi.

Toinen puolikas tästä tutkielmasta keskittyi avaamaan puettavan teknologian, etenkin terveydenseurantateknologian, ratkaisuja. Näistä todettiin, että jo nykyään on tehty kehitystyötä sekä fyysisen, että psyykkisen terveyden seuraamiseen ja mahdollisesti ilmenevien ongelmien ennaltaehkäisyyn ja nopeaan reagointiin. Tulevaisuudessa olisi tämän hetkisten tulevaisuudennäkymien pohjalta hyvä jatkaa tutkimustyötä etenkin ennaltaehkäisevän terveydenseurannan ja reaaliaikaisen tietojenkäsittelyn sekä tiedonsiirron yhdistämiseksi. Nämä teknologiat vaikuttaisivat hyviltä vähentämään sairaalassa tapahtuvaa terveydenseurantaa ja -hoitoa, kun vakavien terveysongelmien aikainen havaitseminen ja siten myös mahdollisesti vakavien pitkäaikaisten vammojen ehkäisy helpottuu.

Kaiken kaikkiaan tehokkaan tietoverkon integroiminen nykyisiin ja etenkin tulevaisuuden terveydenhuollon rakenteisiin edistäisi tietoyhteiskunnan kehittymistä ja mahdollisesti pelastaisi tehostuneen seurannan myötä henkiä. Voidaan jopa saada aikaan suuria säästöjä, kun uutta henkilökuntaa ei tarvitsisi palkata vaikka potilaiden määrä lisääntyisikin, mikä on odotettavissa lähitulevaisuudessa.

Kirjallisuutta

Agiwal, M., Roy, A. ja Saxena, N. 2016. *Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey*. IEEE Communications Surveys and Tutorialsvol. 18, no. 3, s. 1617–1655 DOI: 10.1109/COMST.2016.2532458

Bonato, P. 2009. *Clinical applications of wearable technology*. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, s. 6580–6583. DOI: 10.1109/IEMBS.2009.5333997

Boric-Lubecke, O. 2015. *Microwave and wearable technologies for 5G*. 2015 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), s. 183–188. DOI: 10.1109/TELSKS.2015.7357765

Chen, M., Zhang, Y., Li, Y., Hassa, M. M. ja Alamri, A. 2015 *AIWAC: affective interaction through wearable computing and cloud technology*, IEEE Communications Magazine, Vol 22, Issue 1, s. 20–27 DOI: 10.1109/MWC.2015.7054715

Ezhilarasan, E., Dinakaran, M. 2017. *A Review on Mobile Technologies: 3G, 4G and 5G*. 2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM), s. 369–373 DOI: 10.1109/ICRTCCM.2017.90

Ge, X., Yang, J., Gharavi, H. ja Sun, Y. 2017 *Energy Efficiency Challenges of 5G Small Cell Networks*, IEEE Communications Magazine, Vol 55, Issue 5, s. 184–191 DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600788

Ghosh, A., Thomas, T. A., Cudak, M. C., Ratasuk, R., Moorut, P., Vook, F. W., Rappaport, T. S., MacCartney, G. R., Sun, S. ja Nie, S. 2017. *Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A High-Data-Rate Approach for Future Wireless Networks*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol 32, Issue 6 s. 1152–1163 DOI: 10.1109/JSAC.2014.2328111

Gohil, A., Modi, H. ja Patel, S. K. 2013 *5G technology of mobile communication: A survey*. 2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP) s. 288–292 DOI: 10.1109/ISSP.2013.6526920

Goyal, S., Liu, P., Panwar, S. S., Difazio, R. A., Yang, R. ja Bala, E. 2015 *Full duplex cellular systems: will doubling interference prevent doubling capacity?*, IEEE Communications Magazine, Vol 53, Issue 5, s. 121–127 DOI: 10.1109/MCOM.2015.7105650

Gravina, R., Alinia, P., Ghasemzadeh, H. ja Fortino, G. 2017. *Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges*. Information Fusion, vol 35, s. 68–80 DOI: 10.1016/j.inffus.2016.09.005

Lage, J., Catarino, A. P., Carvalho, H. ja Rocha, A. M. 2015. *Smart shirt with embedded vital sign and moisture sensing*. SPWID 2015 : The First International Conference on Smart Portable, Wearable, Implantable and Disability-oriented Devices and Systems, s. 25–30 URI: http://hdl.handle.net/1822/37246

Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F. ja Marzetta, T. L. 2014 *Massive MIMO for next generation wireless systems*, IEEE Communications Magazine, Vol 52, Issue 2, s. 186–195 DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736761

Milenkovic, A., Otto, C. ja Jovanov, E. 2006 *Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation*, Computer Communications, Vol 29, Issues 13-14, s. 2521–2533 DOI: 10.1016/j.comcom.2006.02.011

Mitra, R. N., Agrawal, D. P. 2015. *5G mobile technology: A survey*. ICT Express, vol 1, issue 3, s. 132–137 DOI: 10.1016/j.icte.2016.01.003

Oleshchuk, V., Fensli, R. 2011. *Remote Patient Monitoring Within a Future 5G Infrastructure*. Wireless Personal Communications, s. 431–439 DOI: 10.1007/s11277-010-0078-5

Patil, S., Patil, V. ja Bhat, P. 2012 *A review on 5G technology*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 1, Issue 1,January 2012, s. 26–30

Raaf, B., Zirwas, W., Friederichs, J., Tiirola, E., Laitila, M., Marsch, P. ja Wichman, R. 2017. *Vision for Beyond 4G broadband radio systems*. 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, s. 2369–2373 DOI: 10.1109/PIMRC.2011.6139944

Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, H., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Schulz, J. K., Samimi, M., Gutierrez, F. 2013. *Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!*. IEEE Access, vol 1, s. 335–349 DOI: 10.1109/ACCESS.2013.2260813

Rastegari, E., Marmelat, V., Najjar, L., Bastola, D., Ali, H.H. 2017 *Using gait parameters to recognize various stages of Parkinson*,2017 IEEE International Conference on

Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), s. 1647–1651

Sun, S., Rappaport, T. S., Heath, R. W., Nix, A. ja Rangan, S. 2014 *Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both?*, IEEE Communications Magazine, Vol 52, Issue 12, s. 110–121 DOI: 10.1109/MCOM.2014.6979962

Zhang, ZB., Shen, YH., Wang, WD., Wang, BQ. ja Zheng, JW. 2011. *Design and implementation of sensing shirt for ambulatory cardiopulmonary monitoring*. J.Med.Biol.Eng, Vol 31, issue 3 s. 207–215 DOI: 10.5405/jmbe.801