

Kimmo Ahola

4G- JA 5G-VIIVEIDEN VAIKUTUS LIIKKUVIEN OBJEKTtien OHJAAMISESSA

4G- JA 5G-VIIVEIDEN VAIKUTUS LIIKKUVIEN OBJEKTIEN OHJAAMISESSA

Kimmo Ahola
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, langattomat laitteet

Tekijä: Kimmo Ahola

Opinnäytetyön nimi: 4G- ja 5G-viiveiden vaikutus liikkuvien objektien ohjaamisessa

Työn ohjaajat: Aki Korvala, Kari Laitinen

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 25

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli viive-eron demonstrointi ohjauslaitteen ja kauko-ohjattavan objektin välillä 4G- ja 5G-matkapuhelinverkoissa. Työn yhteydessä luotiin käyttöliittymä, jolla voitiin lähettää TCP-yhteyden välityksellä komennot kauko-ohjattavalle objektille. Työn toimeksiantajana toimi Nokia Oyj.

Toteutus alkoi kokoamalla yleistietoa 4G- ja 5G-matkapuhelinverkoista sekä viiveen minimoimisesta. Näiden tietojen pohjalta päätettiin rakentaa demolaitteisto, jonka tavoitteena oli luoda yhteys ohjauslaitteen ja kauko-ohjattavan objektin välille sekä ohjata sitä ohjauslaitteelta. Lisäksi kauko-ohjattavaan objektiin kytkettiin etäisyysmittari, jota käyttämällä pyrittiin estämään törmääminen erilaisiin esineisiin.

Lopputuloksena saatiin rakennettua laite- ja ohjelmistoympäristö ja sen puitteissa testattua kokonpanon toimivuus. Viive-ero 4G- ja 5G-tilojen välillä oli selvästi havaittava. 4G-tilassa kauko-ohjattava objekti liikkui katkonaisesti, liikekomentojen suorittaminen tapahtui selvästi viiveellä ja ohjaaminen oli jokseenkin epämiellyttävää. 5G-tilassa liikekomennot toteutuivat lähes viiveettä ja ohjattavuus oli miellyttävää

ASIASANAT: 4G, 5G, matkapuhelinverkko, viive, kauko-ohjaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information technology, Wireless devices

Author(s): Kimmo Ahola

Title of thesis: Demonstrating the effect of latency in 4G and 5G networks

Supervisor(s): Aki Korvala, Kari Laitinen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018 Number of pages: 25

The target of this thesis was to demonstrate latency difference between control device and remote controlled object within 4G and 5G mobile networks. During implementation a user interface was created by which commands could be sent to remote controlled object. The work was commissioned by Nokia Oyj.

Implementation started with gathering information about 4G and 5G mobile networks, and also reduction of latency. Based on this information demo hardware was created, the target was to create connection between control device and remote controlled object to steer the controlled object. Additionally, a distance sensor was connected to remote controlled object which was used to prevent it to collide to different kind of objects.

As a result, a computing environment was created, and its functionality was tested. The latency difference between 4G- state and 5G- state was clearly detected. In 4G- state testing, the remote controlled object advanced intermittently, execution of movement commands was carried out delayed and conducting the remote controlled object was kind of inconvenient. In 5G- state movement commands were carried out almost without delay and conducting the remote controlled object was convenient.

Keywords: 4G, 5G, mobile network, latency, remote control

ALKULAUSE

Haluan kiittää Nokia Oyj:tä tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta, sekä haluan myös kiittää Nokian projektipäällikköä Aki Korvalaa, työkavereita ja perhettä kannustamisesta opinnäytetyön teossa.

Opinnäytetyön valvojana OAMK:n puolesta toimi yliopettaja Kari Laitinen. Hänelle kiitokset opinnäytetyön ohjauksesta.

Oulussa 1.3.2018

Kimmo Ahola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKULAUSE

SANASTO.....	7
1 JOHDANTO	8
2 4G- JA 5G-MATKAPUHELINVERKOT	9
2.1 Tukiasema.....	9
2.2 3GPP-standardointi.....	9
2.3 4G-verkkosukupolvi.....	9
2.4 5G-verkkosukupolvi.....	10
2.5 Viiveen minimointi matkapuhelinverkossa	12
2.6 Yhteenveto	13
3 DEMOLAITTEISTON TOTEUTUS.....	14
3.1 Raspberry Pi.....	14
3.2 GoPiGo3.....	15
3.3 Ohjauslaite Samsung-taulutietokone.....	16
3.4 TCP-tiedonsiirtoyhteys	16
3.5 Käyttöliittymä.....	16
4 DEMOLAITTEISTON TESTAAMINEN	18
4.1 Demolaitteiston käynnistäminen.....	18
4.2 Testaaminen 4G-tilassa.....	18
4.3 Testaaminen 5G-tilassa.....	20
4.4 Yhteenveto testauksesta	21
5 YHTEENVETO	22
LÄHTEET.....	23

SANASTO

3GPP	3rd Generation Partnership Project on usean standardointijärjestön yhteisö
4G	4rd generation on neljännen sukupolven matkapuhelinteknologia
5G	5rd generation on viidennen sukupolven uusi radioverkkoteknologia
Android	on puhelimille ja muille mobiililaitteille suunniteltu ohjelmistopino, joka sisältää käyttöjärjestelmän, väliohjelmistoja ja käyttäjän perusohjelmia
GHz	GigaHertsi
IOT	Internet Of Things eli esineiden internetissä, on kyse älyn lisäämisestä fyysisiin laitteisiin tai tuotteisiin, ja niiden valjastamisesta tuottamaan tietoa ympäristöstään ja viestimään tiedon eteenpäin tai toimimaan tiedon perusteella.
ITU	(International Telecommunication Union) kansainvälinen televiestintäliitto
Java	Oliopohjainen, tulkattava ohjelmointikieli
Linux	On käyttöjärjestelmä jota voidaan käyttää tietokoneissa, matkapuhelimeissa, pelikonsoleissa, palvelimissa ja supertietokoneissa
LTE	(Long Term Evolution) on neljännen sukupolven matkapuhelinverkkojen tunnus
Mbp/s	Mega bittiä sekunnissa
MIMO	(Multiple Input Multiple Output) on antennitekniikka, jossa käytettävässä tekniikassa hyödynnetään useampaa kuin yhtä antennia niin signaalin vastaanotossa kuin signaalin lähetyksessä
ms	Millisekunti
MHz	MegaHertsi
Python	on monipuolinen, tulkattava ohjelmointikieli
SPI	Serial Peripheral Interface on liitäntäväylä, jota käytetään yleisesti tiedon lähettämiseen pienten oheislaitteiden, kuten siirtorekisterien ja antureiden välillä
VOIP	(Voice Over Internet Protocol) on tekniikka, jonka avulla ääntä voidaan siirtää reaaliaikaisesti Internetin tai muun IP-protokollaa käyttävän verkon välityksellä
TCP	(Transmission Control Protocol / Internet Protocol) on usean Internet-liikennöinnissä käytettävän tietoverkko-protokollan yhdistelmä. IP-protokolla on alemman tason protokolla, joka vastaa päätelaitteiden osoitteistamisesta ja pakettien reitittämisestä verkossa
WI-FI	Wireless Fidelity langattomien laitteiden verkko.

1 JOHDANTO

4G-verkon käyttämät taajuusalueet ovat ruuhkautumassa, joten 5G-verkossa tullaan ottamaan uusia taajuuksia. 5G-verkossa tullaan käyttämään kolmea eri taajuusalaetta, joilla on eri käyttötarkoituksia. Matalat, alle gigahertsin taajuudet tarjoavat laajan peiton maantieteellisesti. 3–6 gigahertsin taajuudet lisäävät merkittävästi kapasiteettia ja yli 24 gigahertsin taajuudet tuovat edelleen lisää kapasiteettia. Uusi 5G-radioverkkoteknologia mahdollistaa yhteydet erittäin pienellä viiveellä. Tämä on elintärkeää esimerkiksi eri teollisuudenaloille, jossa koneet tulevat keskustelemaan langattomasti keskenään. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda ympäristö, joka demonstroi 4G- ja 5G-matkapuhelinverkkojen viiveitä. Lisäksi tarkoitus on ohjelmoida ohjattavaan objektiin ohjelmisto Python-ohjelmointikielellä, jota ohjataan Samsung-taulutietokoneella 4G- ja 5G-verkkoja vastaavissa ympäristöissä. Tarkoituksena on, että käyttäjä havaitsee 4G- ja 5G-viiveiden eron objektia ohjattaessa. Tässä työssä käytetään etäohjattavana objektina Raspberry Pi -pohjaista GoPiGo3-autorobottia.

Työ aloitetaan tutustumalla matkapuhelinverkkoihin sekä siihen, kuinka viivettä saadaan pienennettyä entisestään nykyiseen laajalti käytössä olevaan 4G-matkapuhelinverkkoon. Työssä luodaan myös katsaus matkapuhelinverkkojen standardeihin, alkaen ensimmäisestä 3G-standardista ja päättyen 5G-standardointtiin. Kaikki 5G:tä käsiteltävät asiat tässä raportissa ovat tehty tämänhetkisen olettamuksien mukaan, sillä 5G-standardia ei vielä ole olemassa eikä siis siihen liittyviä lähteitä ei juurikaan ole saatavilla.

Tämä opinnäytetyö on osa Oulun ammattikorkeakoulun tietotekniikan tutkinto-ohjelman opintoja. Opinnäytetyön tilaajana toimii Nokia OYJ ja työ tehtiin kevään 2018 aikana.

2 4G- JA 5G-MATKAPUHELINVERKOT

Tässä luvussa tutustutaan matkapuhelinverkkojen rakenteisiin, viiveisiin ja viiveiden muodostumiseen sekä niiden minimoimiseen. Matkapuhelinverkon periaatteena on etäkäyttäjän liittäminen internetiin palveluntarjoajan verkon laitteiden välityksellä.

2.1 Tukiasema

Tukiasema on kiinteä viestintäpaikka ja se on osa langatonta mobiilijärjestelmää. Tukiasema välittää tietoja mobiililaitteesta lähetys- ja vastaanottoyksikölle (2). Data siirtyy mobiililaitteesta radio-signaalina tukiasemaan ja siitä edelleen kiinteään verkkoon. Tukiaseman solun koko riippuu lähetimen tehosta, taajuusalueesta, maastosta, tukiasema-antennien suuntakuvioista. Kaupungeissa tukiasemat ovat yleensä sijoitettu talojen katoille, harvaan asutuilla seuduilla tukiasemat ovat korkeissa mastoissa. (3.)

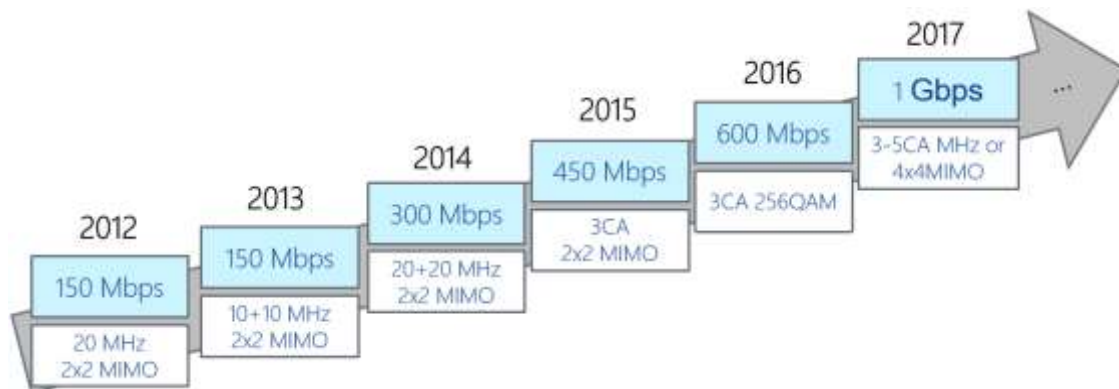
2.2 3GPP-standardointi

3GPP (Generation Partnership Project) on usean standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio, joka luo ja kehittää matkapuhelinverkkojen standardeja. Ensimmäinen, 3G:tä koskenut standardi, oli nimeltään Release 1999. Siitä lähtien on ilmestynyt toistakymmentä versiota standardista. 4G-standardit alkavat julkaisusta 8 (Release 8). 5G-standardointi on käynnissä. 3GPP:llä on tavoitteena julkaista ensimmäiset 5G-standardit syyskuussa 2018. (4.)

2.3 4G-verkkosukupolvi

4G tarkoittaa mobiiliverkkojen neljättä sukupolvea. 4G on yleistermi ja maailmalla on erilaisia teknologioita, joista käytetään nimitystä neljäs sukupolvi. Suomessa käytössä on LTE (Long Term Evolution). (5.) 4G LTE:n kuuluvuus voi kuitenkin vaihdella riippuen eri paikoissa, esimerkiksi maaseuduilla ei välttämättä ole aina saatavilla LTE-kuuluvuutta. 4G LTE -verkon tiedonsiirtonopeudet mahdollistavat sujuvan suoratoiston live-videoille ja online-videopelien monipelaamiseen. (6.) Tyyppillinen tiedonsiirtonopeus LTE-verkossa on noin 20 Mbp/s (Mega bits per second) ja teoreettinen

maksiminopeus 150 Mbp/s (7). Kuvassa 1 näkyy 4G matkapuhelinverkon teoreettisen tiedonsiirtonopeuden evoluutio.



KUVA 1. 4G tiedonsiirtonopeuden evoluutio (8)

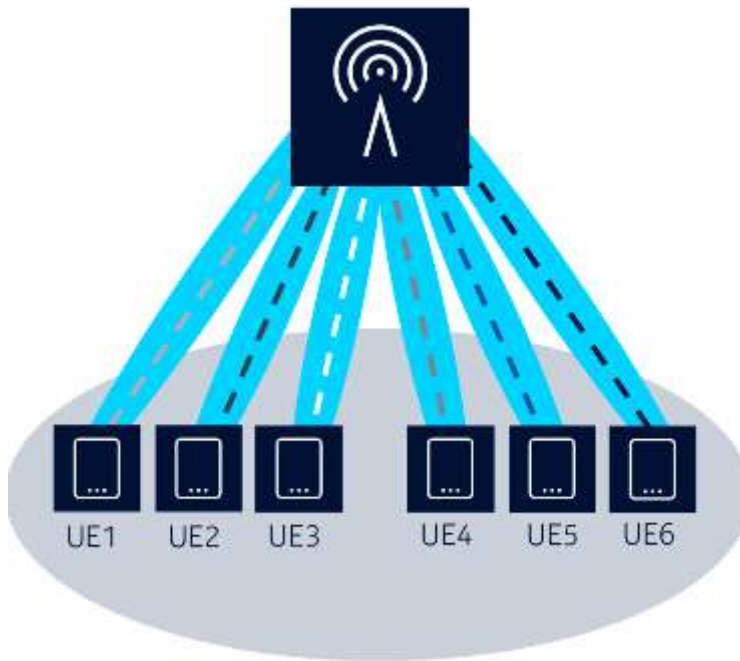
2.4 5G-verkkosukupolvi

5G-verkkojen teknisten standardien määrittely on käynnissä. Uusi 5G-radioverkkoteknologia hyödyntää aluksi korkeita, yli 30 gigahertsin taajuusalueita, joista päätetään Kansainvälisen televiestintäliiton ITU (International Telecommunication Union) järjestämässä maailman radiokonferenssissa vuonna 2019. Kuvassa 2 näkyy taajuusalueet, joita aiotaan ottaa käyttöön 5G-matkapuhelinverkossa. 5G-verkon haasteena on kantoaallon läpäisy korkeilla taajuuksilla. Millimetriaaltojen yhteysväli on satoja metrejä, kun tukiaseman ja mobiilikäyttäjä ovat näköyhteydellä toisiinsa eikä niiden välillä ole esteitä. (9.)



KUVA 2. 5G-verkon kohdespektri (8)

5G-radioverkkoteknologia mahdollistaa yhteydet pienellä viiveellä. Tämä on elintärkeää esimerkiksi eri teollisuudenaloille, jossa koneet keskustelevat langattomasti keskenään. (10). 5G tuo mukanaan muun muassa keilanmuodostuksen (Beamforming) ja massiivisen MIMO:n (Multiple Input Multiple Output). Keilanmuodostus on teknologia, joka parantaa matkapuhelinverkon suorituskykyä. Kuvassa 3 näkyy, kuinka keilanmuodostuksen signaali lähetetään suoraan käyttäjälle toisin kuin edellisissä teknologioissa käytetty 360°:een lähetys. Massiivisen MIMO-tekniikan avulla saatavat resurssit voidaan käyttää uudelleen useammalle sektorikohtaiselle käyttäjälle, häiriöt voidaan minimoida ja solukapasiteettia voidaan lisätä antennissa. (11, s.3.)



KUVA 3. Keilanmuodostuksen signaalin lähetys (10)

2.5 Viiveen minimointi matkapuhelinverkossa

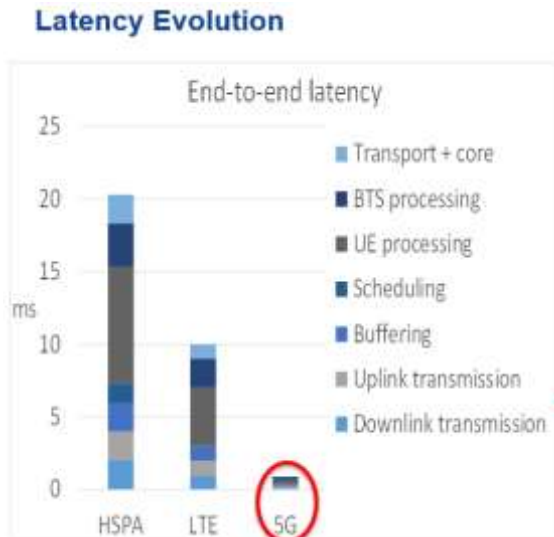
Latenssi eli viive on tärkeä osa matkapuhelin verkkoa. Se kuvaa aikaa, joka kuluu laitteelta laitteelle. Käytännössä liian suuri viive näkyy puheluissa vastapuolten puhumisessa toistensa päälle. Nykyverkoissa tarvitaan pienempiä viiveitä esimerkiksi etäoperoinnissa, puheluiden osalta viive ei ole enää ongelma. (12.) Kuvassa 4 näkyy 5G-matkapuhelinverkkoon tavoitellut viiveet jotka ovat yhden millisekunnin luokkaa.

Latency with LTE and 5G

	4G	4.9G	5G target
Connected with uplink resources	10 ms	2 ms	1 ms
Connected without uplink resources	30 ms	<10 ms	1 ms
Idle	100 ms	<50 ms	1 ms

KUVA 4. Viiveet matkapuhelinverkoissa (8)

Viive muodostuu matkapuhelinverkoissa useista eri vaiheista. Kuvassa 5 näkyvät eri vaiheet viiveen. Eniten viiveitä aiheuttavat UE-prosessointi, eli mobiililaitteessa tapahtuva prosessointi, sekä BTS-prosessointi, eli tukiasemassa tapahtuva datan käsittely.



KUVA 5. Viiveen muodostuminen (8)

2.6 Yhteenveto

Matkapuhelinverkkoteknologia kehittyy jatkuvasti. Nyt käytössä olevat 4G-verkot kehittyvät edelleen. 5G-verkkojen määrittelyt ovat vielä tekeillä. Pääpaino niissä tulee olemaan, verrattuna 4G:hen, suurempi kapasiteetti, tuki esineiden väliselle kommunikoinnille sekä pienemmät viiveet. 5G tulee olemaan standardoinnin pääasiallisena kohteena vielä vuosikaudet, sillä ensimmäinen versio 3GPP-standardeista, joka käsittelee 5G:tä on vielä tekeillä.

3 DEMOLAITTEISTON TOTEUTUS

Demolaitteistoon kuuluivat Raspberry Pi -pohjainen autorobotti GoPiGo3 ja Android-käyttöjärjestelmällä varustettu taulutietokone. Tavoitteena oli luoda yhteys ohjauslaitteen ja autorobotin välille ja ohjata autorobottia ohjauslaitteelta. Tiedonsiirtoyhteytenä käytettiin TCP-yhteyttä. Tiedonsiirron välinen viive näiden kahden välillä tulisi olla 5G-tilassa 1 millisekunti tai vähemmän, ja 4G-tilassa viive saisi olla 40–100 millisekuntia. Lisänä autorobottiin kytkettiin etäisyysmittari, jota käyttämällä pyrittiin estämään robotin törmääminen erilaisiin esteisiin. Minimietäisyydeksi esteisiin määriteltiin yksi senttimetri, jolloin autorobotin tulisi pysähtyä ja estää liikkuminen eteenpäin.

3.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi on pienikokoinen tietokone, joka on suunniteltu opetuskäyttöön. Raspberry Pi kehittäjän Eben Uptonin tavoitteena oli luoda laite, jolla voidaan kehittää ohjelmointitaitoja sekä oppia ymmärtämään laitteistosta ammattikoulupohjalla. Raspberry Pi ei ole yhtä tehokas kuin nykyaikainen pöytätietokone mutta hyvä vaihtoehto Linux-tietokoneeksi. (13.) Raspberry Pillä voidaan selata internettiä, pelata retrovideopelejä ja se on hyvin yleisesti käytetty erilaisissa elektronisissa projekteissa (14).



KUVA 6. Raspberry Pi 3 model B (15)

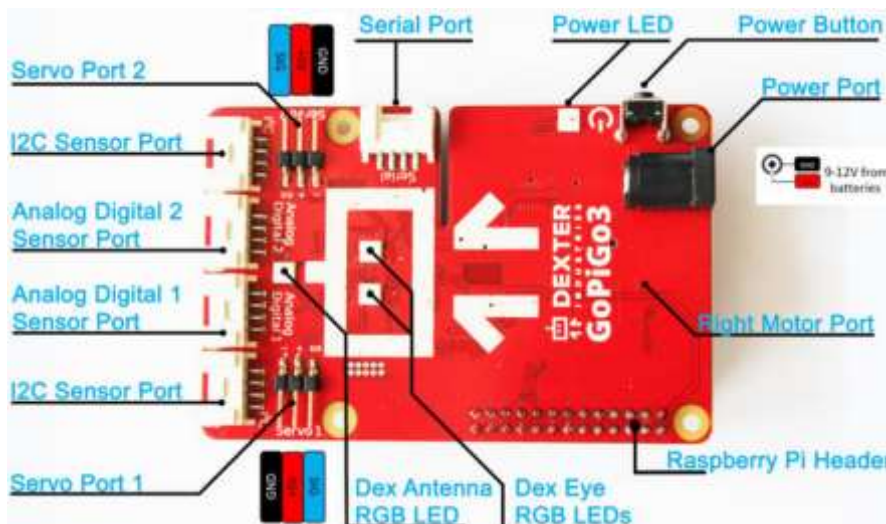
3.2 GoPiGo3

GoPiGo3 on Raspberry Pi -pohjainen etäohjattava autorobotti, johon on tarjolla useita eri IOT-sensoreita, antureita ja moottoreita ja jonka ohjelmointikieliä ovat muun muassa Scratch, Python ja Blockly (17). Kuvassa 7 näkyy GoPiGo3. Tässä työssä käytettiin Python-ohjelmointikieltä. Python on ohjelmointikieli, joka on lähestymistavaltaan olio-ohjelmointikieli (object-oriented language). (18.)



Kuva 7. GoPiGo3 (19)

GoPiGo3-levy asennetaan suoraan Raspberry Pihin ja näiden välinen tiedonsiirto tapahtuu SPI (Serial Peripheral Interface) -liitännän kautta. (16.) Kuvassa 8 näkyy GoPiGo3-levyn liitännät.



KUVA 8. GoPiGo3-kortin liitännät (19)

GoPiGo3 komponentit koottiin asennusoppaan mukaisesti (20).

3.3 Ohjauslaite Samsung-taulutietokone

Ohjauslaitteena käytettiin Android-pohjaista Samsung-taulutietokonetta. Android on yksi suosituimmista mobiililaitteiden käyttöjärjestelmistä. (21.) Android on Googlen valmistama. Google taas on monikansallinen teknologiayritys, joka on rakennettu yhtiön suositun hakukoneen ympärille (22).

3.4 TCP-tiedonsiirtoyhteys

Samsung-taulutietokone ja GoPiGo3-autorobotti keskustelivat keskenään TCP-yhteyden välityksellä.

TCP (Transmission Control Protocol) on tietoliikenneprotokolla, joka on suunniteltu luomaan yhteys internettiin kytkettyjen tietokoneiden välille ja lähettämään luotettavasti datapaketteja internetin välityksellä. TCP on yksi suosituimmista digitaalisen tietoliikenneverkon protokollista ja on osa Internet Protocol (IP) tuoteperhettä joka tunnetaan yleisimmin nimellä TCP/IP-tuoteperhe. (23.)

3.5 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä ohjelmoitiin Samsung-taulutietokoneelle Android Studiolla. Android Studio on virallinen integroitu kehitysympäristö (Integrated Development Environment, IDE) Android-sovellusten tekemiseen. Android Studio tarjoaa laajan joukon ominaisuuksia, joilla voi tuottavasti tehdä sovelluksia mille tahansa Android-laitteelle. (24.)

Samsung-taulutietokoneen käyttöliittymä ja GoPiGo3-autorobotti keskustelevat keskenään TCP-yhteyden välityksellä, jossa taulutietokone toimii asiakkaana (Client) ja GoPiGo3 palvelimena (Server). Käyttöliittymässä on 8 näppäintä, joilla ohjataan autorobottia ja 2 kytkintä, joista toinen määrittää 4G- tai 5G-tilan ja toinen kytkin laskee etäisyyden edessä olevaan esteeseen ja eteenpäin ajaessa autorobotti pysähtyy kun etäisyys on esteestä 0,5 cm:n, sekä viivemittari, josta nähdään viive Samsung-taulutietokoneen ja autorobotin välillä. Kuvassa 9 näkyy käyttöliittymä.



KUVA 9. Käyttöliittymä

4 DEMOLAITTEISTON TESTAAMINEN

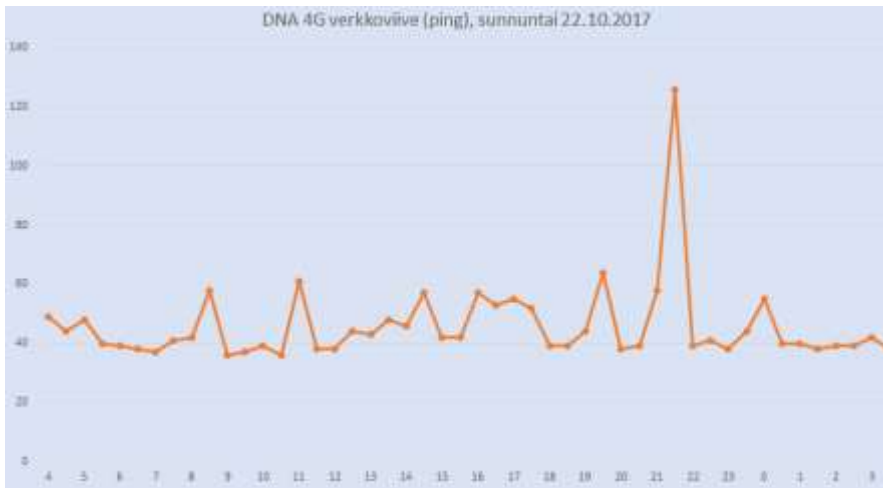
Demolaitteiston kokoonpano on esitelty luvussa 3. Tässä luvussa kerrotaan, kuinka demolaitteisto käynnistetään ja suoritetaan testaus sekä 4G- että 5G-tiloissa. Testausympäristö rakennettiin Nokia Oulun toimipisteen OuluGarage-tiloihin. OuluGarage on innovaatiolaboratorio ja tila jossa esitellään erilaisia demoja sekä siellä pidetään IoT-koulutuksia Nokian sisäisille tiimeille ja koululaisille.

4.1 Demolaitteiston käynnistäminen

Tässä työssä käytettiin GoPiGo3 DexterOs-käyttöliittymää, jolla saadaan suora TCP-yhteys Samsung-taulutietokoneen ja GoPiGo3:n välille ilman erillistä Wi-Fi-reitintä, koska erillinen Wi-Fi-reititin lisäisi viiveitä huomattavasti enemmän. Demolaitteiston käynnistäminen aloitetaan kytkemällä GoPiGo3-autorobotista virta päälle. GoPiGo3:sta suoritetaan terminaalissa `Control_With_Samsung_tablet.py` scriptti, jolloin GoPiGo3:sen serveri käynnistyy ja alkaa kuunnella erikseen määritettyä porttia, johon käyttöliittymä lähettää käyttäjän antamat komennot. Samsung-taulutietokoneella yhdistetään GoPiGo3:een TCP-yhteyden välityksellä, sekä käynnistetään GoPiGo3 sovellus.

4.2 Testaaminen 4G-tilassa

Matkapuhelinverkon nopeuteen ja viiveeseen vaikuttavat verkon käyttäjien määrä tukiasemassa. 4G-matkapuhelinverkon viiveen vaihteluväli voi kiireisenä aikana vaihdella 40–130 ms tukiaseman ja päätelaitteen välillä. Kuvassa 10 näkyy esimerkki viiveen vaihteluvälistä, jossa pisimmät viiveet saattavat olla jopa kolminkertaisia (130 ms) yleisimpään viiveeseen verrattuna (40–50 ms).



KUVA 10. 4G viiveen vaihteluväli. (25)

Viiveen ollessa 40 ms 4G-tilassa voitiin jo huomata viiveen vaikutus liikuteltaessa GoPiGo3-autorobottia. Liikenäppäimiä liian tiheään painettaessa vaikutti siltä, että autorobotti jätti suorittamatta osan liikekomennoista. Käyttöliittymän liikenäppäimet ovat ohjelmoitu niin, että kun käyttäjä painaa liikenäppäintä pohjaan, käyttöliittymä lähettää liiku-komennon autorobotille, ja kun liikenäppäin vapautetaan, lähetetään autorobotille lopetaliike-komento. Liikenäppäintä painettaessa tietyllä tahdilla autorobotin liike ei ollut nykivää vaan autorobotti liikkui tasaisella nopeudella. Viiveen kasvaessa 100 ms tai enemmän muuttui auton ohjattavuus haastavammaksi koska, silloin jouduttiin ennakoidaan komentojen lähetystä, sillä autorobotti liikkui vielä hetken annetun lopetaliike-komennon jälkeen. Kuvassa 11 näkyy viive 4G-tilassa.



KUVA 11. Viive 4G-tilassa.

Kaiken kaikkiaan 4G-testauksessa autorobotin liikkuminen vaikutti katkonaiselta viiveen ollessa pienimmillään eli noin 40 ms. Liikenäppäintä painettaessa tietyllä tahdilla, autorobotti liikkui tasaisesti siihen suuntaan, kun liikenäppäintä oli painettu, vaikka autorobotin olisi pitänyt pysähtyä silloin kuin liikenäppäin vapautettiin. Liikkeelle lähdöt, kääntymiset ja pysähtymiset tapahtuivat selvästi viiveellä. 4G-tilassa ohjaaminen ei tuntunut lainkaan miellyttävältä.

4.3 Testaaminen 5G-tilassa

5G-matkapuhelinverkkoon tavoitellaan jatkuvaa 1 ms viivettä tukiaseman ja päätelaitteen välille, tässä työssä GoPiGo3-autorobotin ja Samsung-taulutietokone päätelaitteen välinen viive vaihteli 5G-tilassa välillä 0,9–3 ms, joten täysin tavoiteltuun jatkuvaan 1 ms tai sen alle ei päästy, johtuen saatavilla olevista komponenteista. Kun kyseessä on näin pieni viiveen vaihtelu, on mahdotonta huomata viiveen vaihtelun vaikutus ohjattavuuteen, joten käyttäjä ei huomaa eroa ohjattavuudessa viiveen ollessa 0,9 ms tai 3 ms. Liikekomennot autorobotti suoritti lähes reaaliajassa ja ohjattavuus oli miellyttävää. Samojen komentosarjojen suorittaminen kuin 4G-tilassa sujui jouhevasti riippumatta viiveestä. Etäisyysmittari loi viivettä ohjattavuuteen, kun se mittasi etäisyyksiä objekteista. Kuvassa 12 näkyy viive 5G-tilassa.



KUVA 12. Viive 5G-tilassa

4.4 Yhteenveto testauksesta

4G-tilassa kauko-ohjattava objekti liikkui katkonaisesti jopa viiveen ollessa pienimmillään eli noin 70 ms. Liikekomentojen suorittaminen tapahtui selvästi viiveellä ja ohjaaminen oli jokseenkin epämiellyttävää.

Demolaitteisto toimi jouhevasti 5G-tilassa. Liikekomennot toteutuivat lähes viiveettä ja ohjattavuus oli miellyttävää. Tavoiteltuun jatkuvaan 1 ms viiveeseen ei päästy, mutta kokonaisuutena saatiin erittäin pienellä viiveellä toimiva laitteisto. Etäisyysmittaria ei saatu toimimaan halutulla tavalla. Kun etäisyysmittari mittasi etäisyyksiä ajojen aikana, se loi viivettä lisää ohjattavuuteen, jolloin ohjattavuus 5G-tilassa ei ollut lähes viiveetöntä ja sujuvaa, kuten oli oletettu tehtävän suunnitteluvaiheessa. Tarkoitus oli, että autorobottia liikuteltaisiin ja etäisyyttä mitattaisiin jatkuvasti ja mittaamisesta saatujen arvojen perustella voitaisiin ohjata autorobottia. Ajan puutteen vuoksi jäi epäselväksi, miksi etäisyysmittari toi paljon lisää viivettä ohjattavuuteen. Toisaalta kyseistä mittaria ei ole suunniteltu lähes viiveettömään toimivuuteen.

Jatkokehittelyä ajatellen voitaisiin GoPiGo3:een lisätä kamera, joka lähettäisi videokuvaa nykyisen taustakuvan tilalle. GoPiGo3:n ohjaus tapahtuisi virtuaalilasien ohjaimien avulla ja videokuva näkyisi virtuaalilaseilla.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli viive-eron demonstrointi ohjauslaitteen ja kauko-ohjattavan objektin välillä 4G- ja 5G-matkapuhelinverkoissa. Työn yhteydessä luotiin käyttöliittymä, jolla voitiin lähettää Wi-Fi-yhteyden välityksellä komennot kauko-ohjattavalle objektille.

Työn toteutus alkoi kokoamalla yleistietoa 4G- ja 5G-matkapuhelinverkoista sekä viiveen minimoimisesta. Näiden tietojen pohjalta päätettiin rakentaa demolaitteisto, jonka tavoitteena oli luoda yhteys ohjauslaitteen ja kauko-ohjattavan objektin välille sekä ohjata sitä ohjauslaitteelta. Lisäksi autorobottiin kytkettiin etäisyysmittari, jota käyttämällä pyrittiin estämään törmäminen erilaisiin esineisiin.

Lopputuloksena saatiin rakennettua laite- ja ohjelmistoympäristö ja sen puitteissa testattua kokoonpanon toimivuus. Viive-ero 4G- ja 5G-tilojen välillä oli selvästi havaittava. 4G-tilassa kauko-ohjattava objekti liikkui katkonaisesti, liikekomentojen suorittaminen tapahtui selvästi viiveellä ja ohjaaminen oli jokseenkin epämiellyttävää. 5G-tilassa liikekomennot toteutuivat lähes viiveettä ja ohjattavuus oli miellyttävää.

Etäisyysmittaria ei saatu toimimaan halutulla tavalla. Ajan puutteen vuoksi jäi epäselväksi, miksi etäisyysmittari toi paljon lisää viivettä ohjattavuuteen. Toisaalta kyseistä mittaria ei ole suunniteltu lähes viiveettömään toimivuuteen.

Jos ajatellaan esimerkiksi tulevaisuuden itseohjautuvia autoja, niille on elintärkeää, että kaikkien eri komponenttien välinen kommunikointi on lähes viiveetöntä. Kun itseohjautuvia autoja aletaan testaamaan, niiden tulisi toimia 5G-matkapuhelinverkkojen välityksellä.

LÄHTEET

1. 5G-tekniikka lyhyesti. 2017. MeKiwi. Saatavissa: <https://mekiwi.org/5g-tekniikka-lyhyesti/>. Hakupäivä 30.1.2018.
2. Definition – what does Base Station (BS) mean?. Techopedia. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/5268/base-station-bs>. Hakupäivä 30.1.2018.
3. How Does a Mobile Network Work?. Lifewire. Saatavissa: <https://www.lifewire.com/how-does-a-mobile-network-work-2373338>. Hakupäivä 31.1.2018.
4. Partners. 3GPP. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/about-3gpp/partners>. Hakupäivä 12.10.2017.
5. LTE. 3GPP. Saatavissa: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. Hakupäivä 12.12.2017.
6. What is 4G LTE?. 2018. TCC. Saatavissa: <https://www.tccrocks.com/blog/what-is-4g-lte/>. Hakupäivä 12.2.2018.
7. Theoretical/Real World Speeds by network technology. 4G.CO.UK. Saatavissa: <https://www.4g.co.uk/how-fast-is-4g/>. Hakupäivä 14.2.2018.
8. Keskinen, Matti 2017. Mobile Network Evolution and Cellular Internet of Things. Nokian sisäinen dokumentti.
9. Memonen, Henri 2017. 5G-verkko on kuituverkko. Saatavissa: <http://www.jarkeva.fi/tietopankki/2017/10/05/5-gverkkonkuituverkko/>. Hakupäivä 21.2.2018.
10. VoLTE,VoWiFi,5G.. mitä kaikkea kännykkäsi pian osaaan?. Viestintävirasto. Saatavissa: <https://www.viestintavirasto.fi/viestintavirasto/blogit/2017/voltevwifi5g8230mitakaikkeakannykkasipianosaakaan.html>. Hakupäivä 31.1.2018.
11. Beamforming for 4.9G/5G Networks. Nokia. Saatavissa: https://onestore.nokia.com/asset/201377/Nokia_5G_Beamforming_mMIMO_White_Paper_EN.pdf. Hakupäivä 2.2.2018.

12. Definition – What does Latency mean?. 2018. Techopedia. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/2228/latency>. Hakupäivä 9.2.2018.
13. What is a raspberry Pi?. Opensource.com. Saatavissa: <https://opensource.com/resources/raspberry-pi>. Hakupäivä 9.2.2018.
14. What is Raspberry PI?. Raspberry pi. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhats>. Hakupäivä 30.1.2018.
15. Raspberry Pi 3 model B. Raspberrypi.org. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. Hakupäivä 6.2.2018.
16. GoPiGo. Saatavissa: <https://www.dexterindustries.com/gopigo3/>. Hakupäivä 30.1.2018.
17. Korpela, Jukka. 2006. Perustietoa Python-ohjelmointikielestä. Saatavissa: <http://jkorpele.fi/python/>. Hakupäivä 13.12.2017.
18. The GoPiGo3. Dexterindustries. Saatavissa: <https://www.raspberrypi.org/magpi/gopigo-3/>. Hakupäivä 1.2.2018.
19. GoPiGo3 Technical Specifications. 2018. Dexter industries. Saatavissa: <https://www.dexterindustries.com/GoPiGo/learning/hardware-port-description/>. Hakupäivä 5.2.2018.
20. Assemble the GoPiGo3. Dexter industries. Saatavissa: <https://www.dexterindustries.com/GoPiGo/get-started-with-the-gopigo3-raspberry-pi-robot/1-assemble-gopigo3/>. Hakupäivä 13.12.2017.
21. What Is Google Android. Lifewire. Saatavissa: <https://www.lifewire.com/what-is-google-android-1616887>. Hakupäivä 13.12.2017.
22. Google (the company). Techtarget. Saatavissa: <http://searchcio.techtarget.com/definition/Google-The-Company>. Hakupäivä 30.1.2018.
23. Transmission Control Protocol (TCP). 2018. Techopedia. Saatavissa: <https://www.techopedia.com/definition/5773/transmission-control-protocol-tcp>. Hakupäivä 30.1.2018.

24. Meet Android Studio. Android Studio. Saatavissa: <https://developer.android.com/studio/intro/index.html>. Hakupäivä 30.1.2018.

25. Järvinen. Petteri 2017. 4G-mobiilidatan mittauksia. Bittimittari. Saatavissa: <http://bittimittari.blogspot.fi/2017/10/4g-mobiilidatan-mittauksia.html>. Hakupäivä 14.2.2018.