Privaatti 5G-verkon käyttö roboteissa

Johdanto

Lapin 5G kiihdyttämö -hankkeessa tuotetaan useita pilottitutkimuksia ja sovelluksia. Yksi niistä on robotin etäohjaaminen 5G-verkkoa käyttäen. Maailmalla 5G:n hyödyntäminen tehdas robotiikassa ja muissa robotiikan sovelluksissa on kehittymässä nopeaa tahtia. (https://www.iotsworldcongress.com/5g-remote-controlled-factory-robots/) Privaattiverkot mahdollistavat verkon kapasiteetin käytön vain tärkeisiin toimintoihin ja verkon tietoturvallisemman käytön. Sodankylässä sijaitsee Sod5g-testiverkko (https://sod5g.fmi.fi/), jota voidaan käyttää erilaisten demonstraatioiden tekemiseen.

Robotti

Ilmatieteen laitos rakentaa omaa autonomista miniatyyriajoneuvoa älyliikennesään tutkimuksen ja testauksen tarpeita varten. Kuvissa 1 ja 2 näkyy ajoneuvo sivusta ja edestä.

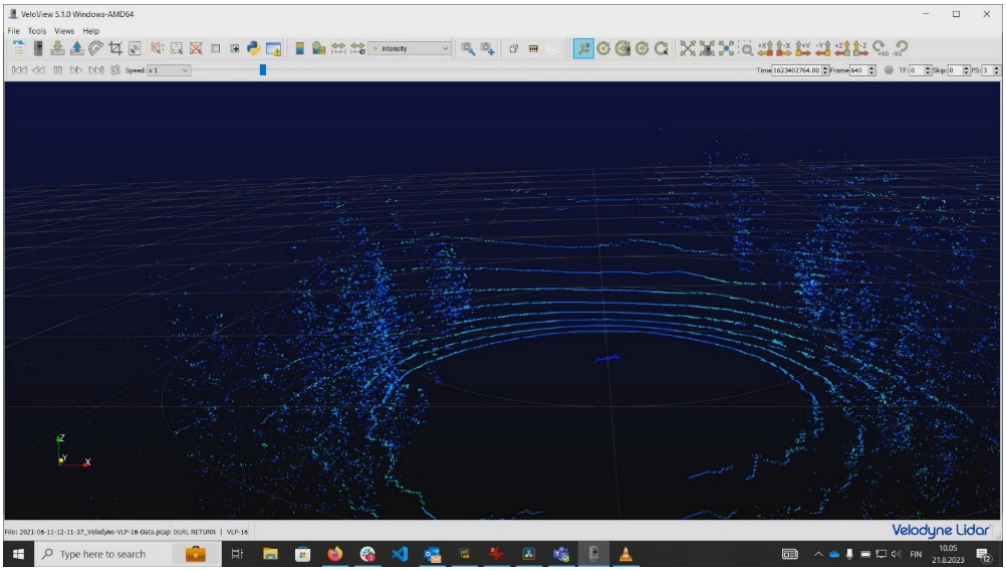
Kuva 1. Miniatyyriajoneuvo sivusta. Ajoneuvon keula vasemmalla.

Kuva 2. Miniatyyriajoneuvo edestäpäin.

Miniatyyriajoneuvon runkona toimii lasten minimönkijän runko, johon on asennettu esimerkiksi seuraavia komponentteja/instrumentteja. Ajoneuvon autonomisessa reitinohjauksessa käytetään Pixhawk 4 autopilottia (https://px4.io/; https://docs.px4.io/main/en/), jolle syötetään komentoja Mission Planner (https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html) ohjelman avulla. Miniatyyriajoneuvo paikantaa oman sijaintinsa kahden tarkkuus-GPS:n avulla. Ajoneuvossa on webkamera sekä Velodyne VLP-16 LiDAR (https://velodynelidar.com/products/puck/), jotka välittävät kuvaa ja/tai pistepilven robotin käyttäjälle 5G-verkon avulla. Ajoneuvossa on kannettava tietokone, johon on kytketty yksi TeleWell 5G-modeemi ohjausta ja datan lähetystä varten.

Demonstraatio

Kuvasimme demonstraatiosta videon, jonka linkki löytyy alta. Demonstraatiossa oli tarkoitus havainnollistaa tilannetta, jossa etäohjataan robottia 5G-verkon välityksellä. Meidän demonstraatiossamme kehittämämme miniatyyriajoneuvo toimi robotin roolissa, jota ajoimme Sodankylän testiradalla 5G-verkon välityksellä. Ajoneuvon ohjaajan oma tietokone ja ajoneuvon tietokone olivat molemmat yhdistetty testiradan Sod5G-testiverkkoon. Lisäksi ohjaajan käyttämä kauko-ohjain oli kytketty ohjaajan tietokoneeseen, josta kauko-ohjaimen komennot välittyivät 5G-verkon välityksellä ajoneuvolle. Ajoneuvo puolestaan lähetti ohjaajalle webkameran kuvaamaa videokuvaa, jotta ohjaaja pystyi ohjaamaan ajoneuvoa. Ohjaaja sai lisäksi LiDAR livekuvaa, joka myös mahdollistaa ajoneuvon etäohjaamisen olosuhteissa, joissa webkameran videokuvan perusteella ei voida etäohjata ajoneuvoa. Kuvassa 3 on kuvakaappaus LiDAR livekuvasta, jonka ohjaaja näkee.

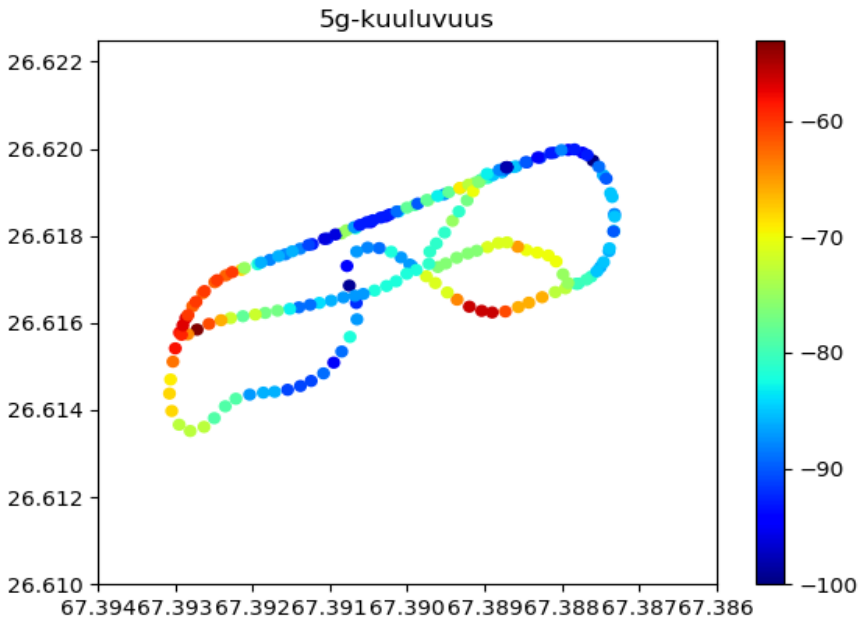


Kuva 3. Kuvakaappaus LiDAR:in livekuvasta

Video demosta: https://youtu.be/pfVS-dGDP8M

Kuuluvuus

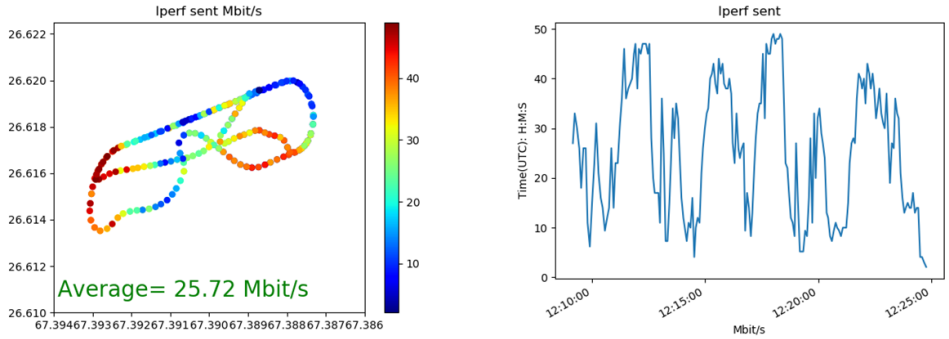
Sodankylässä sijaitsevan Sod5G –testiradalla sijaitsevan 5G-verkon nopeutta on mitattu iPerf3 sovelluksella. Nopeusmittauksista tässä on esimerkkinä lähetysnopeudet Oulussa sijaitsevalle palvelimelle. Kuvasta 4 voidaan nähdä signaalivoimakkuudet radalla.



Kuva 4. Signaalikuuluvuus

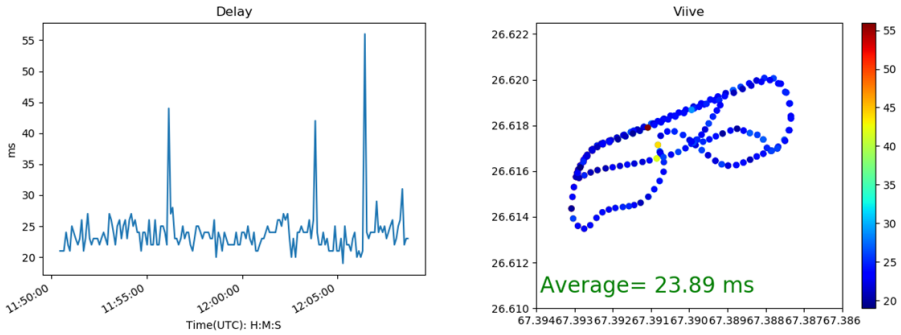
Parhaan kuuluvuuden alueet sijaitsevat lähellä 5G-tukimastoja ja kuuluvuusalue heikennee mastojen välimaastossa. Verkon throughput-

mittaukset ovat esitetty kuvassa 2, jossa ajoneuvo/robotti on lähettänyt dataa Oulussa sijaitsevalle palvelimelle.



Kuva 5. Iperf sending

Lähetysnopeus on tällöin vaihdellut 8–48 Mbit/s välillä ja keskiarvo koko radalla on 25.72 Mbit/s. Koska robotin ohjaussignaalin viiveellä on tärkeä rooli robotin etäohjauksessa, on radalla myös mitattu edestakainen viive (eng. end-to-end loop-back delay). Edestakainen viive on kuvattu kuvassa 6, jossa viive on ollut radalla noin 24 millisekuntia.



Kuva 6. End-to-end viive radalla

Kolme piikkiä, jotka näkyvät vasemmalla kuvassa 6 ovat sattumanvaraisia häiriöitä, jotka ovat esiintyneet kyseisellä mittauskerralla. Nämä piikit katoavat kuvaajasta, mikäli olisi suurempi mittausten otoskoko. [https://ieeexplore.ieee.org/document/10188301]

Tiivistelmä

5G:n hyödyntäminen tehdas robotiikassa ja muissa robotiikan sovelluksissa on kehittymässä nopeaa tahtia. Demonstroimme Lapin 5G kiihdyttämö -hankkeeseen liittyen kehittämämme autonomisen ajoneuvon etäohjausta 5G-verkon välityksellä. Autonominen ajoneuvo on varustettu eri instrumenteille ja komponenteilla, jotka mahdollistavat ajoneuvon etäohjauksen 5G-verkossa. Demonstraatio toteutettiin Sodankylässä sijaitsevalla Sod5G-testiradalla hyödyntäen testiradan privaattia 5G-verkkoa. Demonstraatiossa ajoneuvo sekä ajoneuvon ohjauksessa käytetty tietokone olivat kytketty samaan 5G-verkkoon, jonka välityksellä ajoneuvon ohjaaja kykeni ohjaamaan ajoneuvoa etänä. Ajoneuvo puolestaan välitti webkameran välityksellä videokuvaa ohjaajalle, jotta tämä näkee ohjata ajoneuvoa. Ohjaaja sai lisäksi LiDAR livekuvaa, joka myös mahdollistaa ajoneuvon etäohjaamisen olosuhteissa, joissa webkameran videokuva ei mahdollista ajoneuvon etäohjausta.

Tämän tukemiseksi radalla on suoritettu mittauksia 5G-verkon kuuluvuuteen sekä nopeuteen liittyen iPerf3-sovelluksen avulla. 5G-verkon parhaat kuuluvuusalueet sijaitsevat 5G-tukiasemamastojen lähettyvillä. Robotin ohjaussignaalin viiveellä on tärkeä rooli robotin etäohjauksessa, joten radalla on myös mitattu edestakainen viive (eng. end-to-end loop-back delay), jolloin viive on ollut radalla noin 24 millisekuntia.