



Ert Ülle

Ajoneuvon jälkiasenteinen automa- tisointi suljetun alueen liikenteeseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Ylempi AMK-tutkinto

Älykäs teollisuus

Opinnäytetyö

23.11.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Ert Ülle
Otsikko:	Ajoneuvon jälkiasenteinen automatisointi suljetun alueen liikenteeseen
Sivumäärä:	19 sivua + 1 liite
Aika:	23.11.2025
Tutkinto:	Ylempi AMK-tutkinto
Tutkinto-ohjelma:	Älykäs teollisuus
Ohjaajat:	Yliopettaja Jarno Varteva

Tämän insinööriyön tavoitteena on perehtyä ajoneuvojen jälkiasenteisen automatisoinnin haasteisiin sähköisen ja mekaanisen toteutuksen osalta. Toteutusta tarkastellaan SAE tasojen 3 ja 4 puitteissa suljetun alueen käyttöön.

Työssä käsitellään yleisesti autonomisiin ajoneuvoihin liittyvää teknologiaa, ajoneuvojen tarpeellisia muokkauksia, antureita ja toimilaitteita sekä niiden ominaisuuksia.

Tutkittavana on myös antureiden ja toimilaitteiden valintaan sekä sijoitteluun liittyviä huomioita jälkiasenteisen automatisoinnin yhteydessä.

Tämän lisäksi työssä käydään läpi mahdollisia laitteistossa syntyviä vikatilanteita, niiden vaikutuksia sekä tapoja joilla viasta aiheutuvaa riskiä pystytään pienentämään.

Avainsanat: SAE, LiDAR, RADAR, ADAS, CAN, autonominen, ajoneuvo, jälkiasennus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Ert Ülle
Title: Vehicle retrofitting for closed-area autonomous operation
Number of Pages: 19 pages + 1 appendice
Date: 23 November 2025

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Intelligent Industrial Solutions
Supervisors: Yliopettaja Jarno Varteva

The goal of this thesis is to study the challenges of retrofitting vehicle automation in terms of electrical and mechanical implementation. The implementation is examined within the framework of SAE levels 3 and 4 for the use within a closed area.

The thesis discusses the technology related to autonomous vehicles in general, the necessary modifications to vehicles, sensors and actuators and their properties.

Considerations related to the selection and placement of sensors and actuators in relation to retrofitting autonomous vehicles are also examined.

In addition, the thesis reviews possible failure situations that may arise in the equipment, their effects and ways in which the risk caused by the failure can be reduced.

Keywords: SAE, LiDAR, RADAR, ADAS, CAN, autonomous, vehicle, retrofit

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Autonomiset ajoneuvot	2
2.1	Yleisesti	2
2.2	Jälkiasennus	2
3	Komponentit	3
3.1	LiDAR	3
3.2	Jarru	4
3.3	IMU	5
3.4	Tutka	6
3.5	GNSS	7
3.6	Kamera	9
3.7	Ajoneuvon anturit	9
3.7.1	Pyörän nopeusanturit	10
3.7.2	Ohjaukskulman anturi	10
3.7.3	Jarrupaineanturi	10
4	Ajoneuvojärjestelmien takaisinmallinnus	10
4.1	Järjestelmät	11
4.2	Esimerkkityökalut	11
5	Suunnittelu	13
5.1	Komponenttivalinnat	13
5.2	Anturisijoittelu	15
5.3	Viat ja vaikutukset	16
5.4	Redundanssi	17
6	Yhteenveto	18
	Lähteet	19
	Liitteet	
	Liite 1: Anturisijoittelun suunnittelukuvia	

Lyhenteet

SAE:	Society of Automotive Engineers, yhdysvaltalainen autoalan standardisointijärjestö
LiDAR:	Light Detection and Ranging, tutka joka käyttää laser valoa etäisyyksien määrittämiseen
ABS:	Anti-lock Braking System, lukkiutumaton jarrujärjestelmä
ADAS:	Advanced driver-assistance systems, kehittyneet ajoavustimet.
IMU:	Inertial Measurement Unit, anturi joka mittaa kiihtyvyyttä, kulmanopeutta ja asentoa
GPS:	Global Positioning System, globaali paikannusjärjestelmä
RADAR:	Radio Detection and Ranging, tutka
GNSS:	Global Navigation Satellite System, globaali satelliitti navigointi järjestelmä
RTK:	Real-time Kinematic, Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus
CAN:	Controller Area Network, ajoneuvoissa yleinen kommunikaatiöväylä

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus käsitellä ajoneuvon automatisoinnin teknisiä аспекteja. Markkinoilta ei juuri löydy ostettavissa olevia ajoneuvoja jotka soveltuisivat autonomisten järjestelmien tuotekehitykseen tai kaupalliseen käyttöön. Tästä johtuen moni alan yritys joko valmistaa ajoneuvonsa kokonaan itse tai käyttää valmiita ajoneuvoja jotka jälkiasennuksilla muokataan käyttötarkoitukseen soveltuvaksi. Näistä jälkimmäinen tarjoaa mahdollisuuden teknologian kokeiluun matalammalla kynnyksellä sekä sallii olemassa olevan kaluston hyödyntämisen laajempaankin käyttöönottoon pienemmillä kustannuksilla.

Taulukko 1. SAE taso taulukko (1)

SAE Taso	Toiminnallisuus	Järjestelmän Selostus
0	Ei Automatisointia	Ei puutu ajamiseen
1	Ajoavustus	Voi puuttua nopeuteen tai ohjaukseen, esimerkkinä adaptiivinen vakionopeudensäädin
2	Osittainen Automatisointi	Voi puuttua nopeuteen ja ohjaukseen, esimerkkinä kaistallapitoavustin
3	Ehdollinen Automatisointi	Toimii autonomisesti rajatuissa olosuhteissa, poikkeustilanteissa hälyttää ihmisen ottamaan hallinnan
4	Korkea Automatisointi	Toimii autonomisesti rajatuissa olosuhteissa, poikkeustilanteissa pysäyttää ajoneuvon hallitusti ja turvallisesti
5	Täysi Automatisointi	Toimii autonomisesti kaikissa olosuhteissa joissa ihmiskuljettaja pystyy toimimaan

Työn puitteissa tarkastellaan jälkiasenteista automatisointia SAE tasojen 3 ja 4 rajoissa suljetun alueen sovelluksiin. Tämä on yksi todennäköisimmistä, kaupallisesti kannattavista tulevaisuuden sovelluskohteista, esimerkkeinä kaivokset,

satamat, lentokentät tai kampusalueet. Hallittu alue sekä valitut automatisoinnin tasot mahdollistavat järkevän rajauksen järjestelmän vaatimuksiin.

2 Autonomiset ajoneuvot

2.1 Yleisesti

Autonomisilla ajoneuvoilla yleensä tarkoitetaan ajoneuvoja jotka kykenevät ajamaan täysin tai osittain itsenäisesti käyttäen ajoneuvossa olevaa anturitekniikkaa ympäristön havainnointiin. Tämä on merkittävä muutos suhteessa perinteisiin ajoneuvoihin joissa kuljettaja on vastuussa niin ympäristön havainnoinnista kuin ajoneuvon hallinnasta. Teknologiaa on kehitetty jo vuosia useiden tahojen toimesta, lopullisena tavoitteena parantaa kuljetusten kannattavuutta, saatavuutta ja turvallisuutta verrattuna ihmiskuljettajaan.

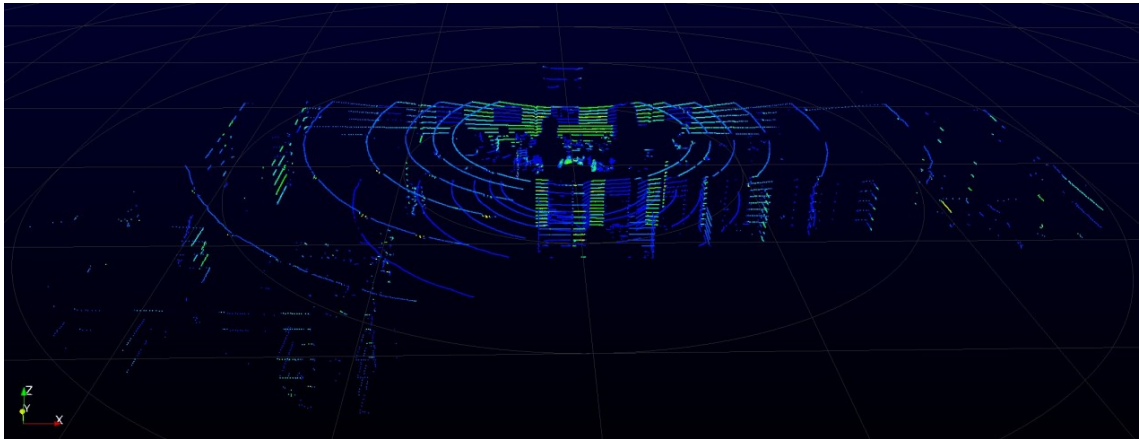
2.2 Jälkiasennus

Autonomiseen ohjaukseen suunnittele mattoman ajoneuvon muuntaminen asettaa joukon teknisiä haasteita. Se vaatii havainto- ja toimilaitteiden saumatonta integrointia vanhaan mekaaniseen ja sähköiseen rakenteeseen. Havainnointianturit täytyy sijoitella siten että ne näkevät ympäristön esteettömästi aiheuttamatta kuitenkaan vaaraa mahdollisille operaattoreille, matkustajille tai jalkakulkijoille. Sama pätee myös lisätoimilaitteille joita voi olla tarpeen asentaa. Komponenttien valinnassa ja asennuksen suunnittelussa pitää myös huomioida ajoneuvon alkuperäisten turvalaitteiden toiminta. Lisäksi ajoneuvon asennetaan jonkinlainen laskentayksikkö tai useampi jotka vastaavat anturidatan tulkinnasta ja toimilaitteiden ohjaamisesta, suorituskykyvaatimukset laskentayksiköille voivat vaihdella roimasti riippuen ohjelmistototeutuksesta. Kokonaisuutena täytyy huomioida ajoneuvon kasvanut sähkönkulutus. Kasvanut rasitus alkuperäiselle laturille tai sähköajoneuvon tapauksessa DC/DC muuntimelle voi aiheuttaa epävakautta tai akun tyhjenemistä matalajännitejärjestelmässä. Tällä voi olla odottamattomia seurauksia kokonaisuuden toiminnan kannalta.

3 Komponentit

3.1 LiDAR

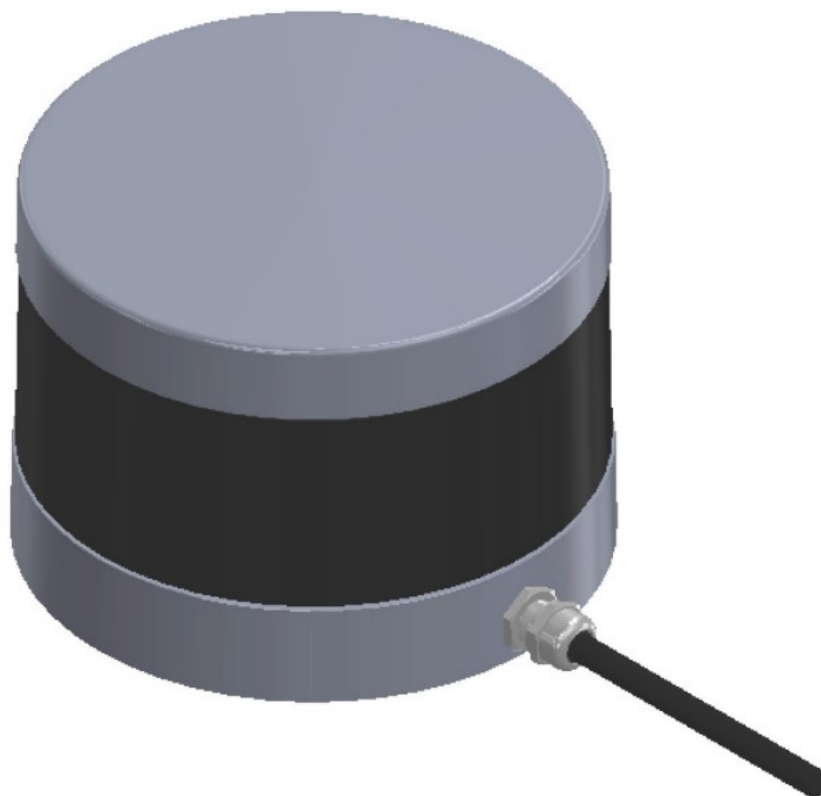
LiDAR joka on lyhenne sanoista Light Detection and Ranging on tutka joka käyttää laser valoa etäisyyksien määrittämiseen, sen avulla voidaan luoda tarkkoja kolmiulotteisia malleja ympäristöstä. Toiminta perustuu Time of Flight mittaukseen, jossa valopulssi lähetetään kohti kohdetta josta se heijastuu palaten anturiin. Mittaamalla valopulssin lentoaika voidaan etäisyyksiä määrittää todella tarkasti. Mittapisteistä saadaan pistepilviä jotka esittävät havainnoidun ympäristön digitaalisessa muodossa.



Kuva 1. LiDAR anturin tuottama pistepilvi (2)

LiDAR antureiden kyky havainnoida ympäristöä haastavissa olosuhteissa pitkillekin etäisyyksille on tehnyt siitä erittäin suosittu autonomisten ajoneuvojen kehityksessä. Suurin osa alan toimijoista käyttää LiDAR:ia paikannukseen ja esteentunnistukseen. Aikaisemmin LiDAR:in laajempaa käyttöä jarrutti korkea hin-

ta, mutta teknologian kehittyessä yleinen hintataso on laskenut merkittävästi.



Kuva 2. LiDAR anturi (2)

3.2 Jarru

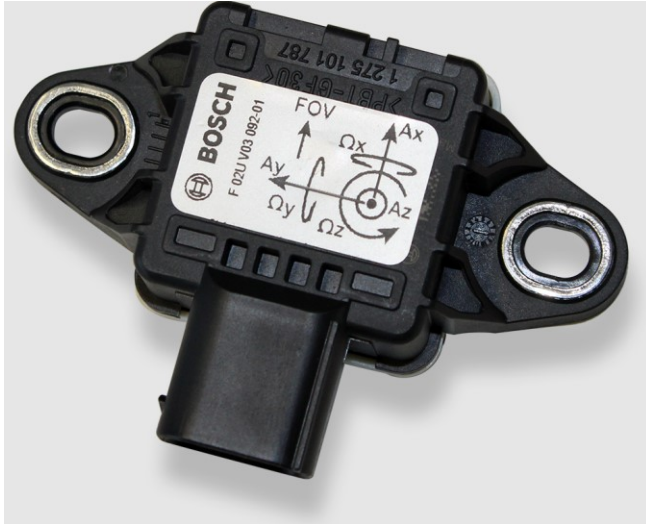
Turvallinen ja luotettava pysähtyminen on yksi tärkeimpiä vaatimuksia mille tahansa ajoneuvolle. Tämä korostuu entisestään autonomisessa ajoneuvossa. Toteutuksena on monesti sähkömekaaninen järjestelmä jolla saadaan luotua painetta hydrauliseen jarrujärjestelmään. ABS-yksikköä voidaan käyttää tähän tarkoitukseen ja moni ajoneuvovalmistaja käyttääkin sitä osana alkuperäistä ADAS järjestelmää (3). Jälkiasennuksessa tämä on mahdollista jos yksikön laiteohjelmisto sen mahdollistaa mutta käytännössä ominaisuus voi puuttua kokonaan tai tarvittavien väyläkäskyjen takaisinmallinnus voi olla erittäin hankalaa ilman laitevalmistajan tukea. Sähköisesti ohjattu jarrupääsylinteri alkuperäisen rinnalla taikka alkuperäistä poljinta operoiva toimilaite ovat myös vaihtoehtoja,

joista jälkimmäinen mahdollistaa olemaan puuttumatta ajoneuvon omaan jarrujärjestelmään. Tällä ratkaisulla voidaan säilyttää ajoneuvon alkuperäisten kuljettajaa avustavien järjestelmien toiminta, mutta haasteeksi voi muodostua toimilaitteen tukeva ja turvallinen fyysinen sijoittelu.

Ajoneuvon alkuperäistä sähköistä seisontajarrujärjestelmää on melko helppo hyödyntää varajärjestelmänä normaalijarrun rinnalla. Virransyötön pettäessä tämäkään ei kuitenkaan toimi vaan voidaan tarvita ”kuolleen miehen kytkin” tyyppinen ratkaisu ajoneuvon pysäyttämiseksi vakavassa vikatilanteessa.

3.3 IMU

IMU lyhenne sanoista Inertial Measurement Unit on elektroninen anturi joka mittaa ajoneuvon kiihtyvyyttä, kulmanopeutta ja asentoa. Joissain tapauksissa anturiin saattaa olla myös sisäänrakennettu magnetometri joka toimii kompassin lailla. Anturit ovat nykypäivänä pääasiassa toteutettu MEMS mikrosysteemi tekniikalla. IMU tarjoaa tietoa ajoneuvon liikkeistä tarvitsematta ulkoista referenssiä. Tämä tarjoaa tärkeää dataa varsinkin haastavissa ympäristöissä missä näkyvyys voi olla rajallinen tai GPS signaali on heikkoa. Näissä tilanteissa ajoneuvon positiota voidaan arvioida Dead Reckoning navigointimenetelmällä. Jatkuvaan paikannukseen tämä soveltuu huonosti sillä pienetkin virheet kumuloituvat ajan kanssa mutta yhdessä muiden antureiden kanssa pystyy tilapäisesti paikkaamaan puuttuvaa dataa.



Kuva 3. Ajoneuvokäyttöön tehty IMU (4)

3.4 Tutka

Tutka tai radar (radio detection and ranging) edustaa perinteisempää anturitekniikkaa vaikka tälläkin alalla on tapahtunut merkittävää kehitystä. Tutkan toimintaperiaate on samankaltainen kuin LiDAR:illa, radiosignaali lähetetään kohti kohdetta josta signaali palaa heijastettuna takaisin, etäisyys kohteeseen määritetään kahden tapahtuman välisen viiveen perusteella. Lisäksi tutkalla pystytään mittaamaan kohteen nopeutta hyödyntämällä Doppler-ilmiötä, lähestyvä tai loittoneva kohde aiheuttaa taajuussiirtymän heijastettuun signaaliin.

Tutkia löytyy monista ajoneuvoista tehdasasennettuna, pääasiassa 24GHz taajuudella toimivia, lyhyen kantaman tutkia joita käytetään kuolleen kulman tunnistukseen ja pysäköintiavustimen tukena. Pitkän kantaman 77GHz tutkia alkaa löytyä myös kasvavissa määrin ja näitä hyödynnetään ensisijaisesti adaptiivisen vakionopeudensäätimen toiminnassa edellä olevien kohteiden seuraamiseen. Parkkitutkat eivät nimestään huolimatta ole varsinaisesti tutkia koska toimivat

ultraäänitaajuuksilla, vaikka toimintaperiaate onkin samankaltainen.



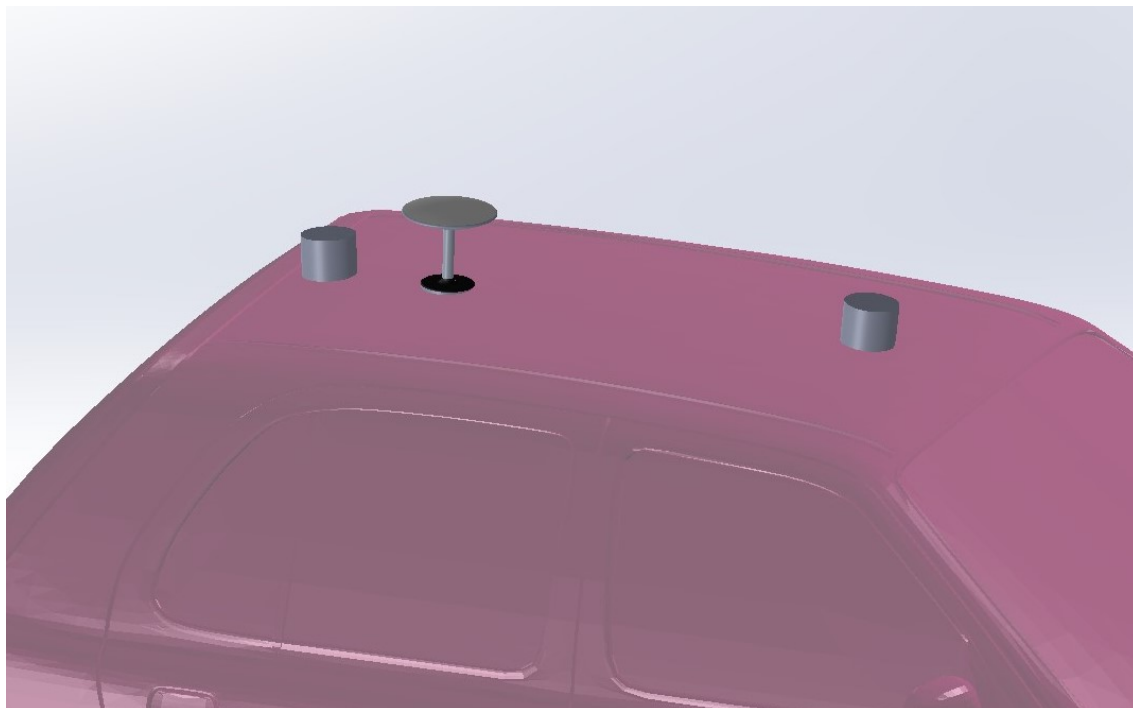
Kuva 4. Ajoneuvokäyttöön tarkoitettu tutka (5)

Autonomisiin ajoneuvoihin tutka soveltuu mainiosti pitkän kantaman ja haastavissakin sääolosuhteissa erinomaisen toimintavarmuuden vuoksi (5). Lisäksi tutkat ovat verrattain edullisia. Huonoina puolina tutkassa on melko matala resoluutio sekä harhaheijastukset joita voi syntyä radioaaltojen kaiusta, näitä ongelmia voidaan jossakin määrin hillitä signaaliprosessoinnilla. Lisäksi tutka ei yksinkertaisesti näe materiaaleja joista radioaallot pääsevät läpi.

3.5 GNSS

Global Navigation Satellite System eli GNSS on maailmanlaajuinen satelliitinavigointijärjestelmä johon sisältyy neljä itsenäistä järjestelmää. GPS on tunnetuin, Yhdysvaltojen puolustusministeriön kehittämä järjestelmä. Lisäksi löytyvät myös Venäjän hallinnoima GLONASS, Kiinan BeiDou ja Euroopan unionin rahoittama Galileo.

GNSS tarjoaa pituus-, leveys- ja korkeuskoordinaatit sekä melko tarkan kellonajan. Normaali GNSS järjestelmien tarjoama paikannustarkkuus on muutamien metrin luokkaa. Jos tarkkuutta halutaan parantaa, voidaan käyttää Real Time Kinematic korjausta, jossa tukiaseman tarjoaman korjaussignaalin avulla saadaan senttimetritason paikannustarkkuus.



Kuva 5. GNSS Antenni katolla

Satelliittinavigointijärjestelmät soveltuvat mainiosti käytettäväksi autonomisissa ajoneuvoissa. Globaali paikannus, huokea hinta ja korkea tarkkuus tekevät tästä äärimmäisen houkuttelevan järjestelmäelementin. Satelliiteilta saatavaa kello-signaalia voi myös käyttää avuksi muiden anturien tarjoaman tiedon synkronoimiseen. Ongelmattomia eivät GNSS järjestelmät kuitenkaan ole, paikannus ei toimi ollenkaan ilman suoraa näköyhteyttä satelliitteihin mikä aiheuttaa ongelmia tunneleissa ja parkkihalleissa. Kaupunkiympäristössä signaalit voivat heijastua ja täten aiheuttaa ajoitusvirheitä jotka johtavat paikannusepätarkkuuksiin. Signaalin laatu voi myös heiketä huonoissa sääolosuhteissa. Edellisten lisäksi GNSS signaalit ovat alttiita tahalliselle häirinnälle ja väärentämiselle. Näiden ongelmien vuoksi GNSS järjestelmiä käytetään yhdessä muiden antu-

reiden kanssa jotta häiriötilanteessa toimintaa saadaan paikattua muulla tiedolla.

3.6 Kamera

Digitaalikamerat ovat kehittyneet merkittävästi vuosien saatossa ja nykypäivänä, kyyvykkäätkin kamerat ovat verrattain edullisia. Kameroita on käytetty konenäkö tarkoituksiin jo melko pitkään mutta vasta tuoreemmat kuvanprosessointiyksiköt mahdollistavat kunnollisen kamerakuvan hyödyntämisen autonomisissa ajoneuvoissa.

Kamera soveltuu monia muita antureita paremmin kohteiden havaitsemiseen ja luokitteluun. Väri ja muototunnistuksen tehokkuudesta johtuen esimerkiksi ajoneuvot, jalankulkijat ja pyöräilijät tunnistuvat helposti. Tämä pätee myös liikennevalojen ja -merkkien tunnistukseen. Kahdella kameralla voidaan kalibroinnin jälkeen arvioida syvyyttä.

Ongelmaksi kameran tapauksessa muodostuu ensisijaisesti huono näkyvyys. Riittämätön taikka liiallinen valaistus pilaa näkyvyyden miltei kokonaan. Sumu, vesisade taikka lumi myös heikentää näkyvyyttä merkittävästi sekä voivat aiheuttaa ongelmia linssin puhtaanapidossa. Toinen huomioitava seikka on suljimen toiminta. Yleisempi vierivä suljin saattaa aiheuttaa vääristymiä kohteiden muotoihin varsinkin nopeiden kohteiden tapauksessa. Keskussuljin puolestaan korjaa edellä mainitun ongelman mutta seurauksena on yleensä huomattavasti kalliimpi hinta sekä huonompi resoluutio.

3.7 Ajoneuvon anturit

Seuraavissa kappaleissa käsitellään tärkeitä mutta huomattavan monesta ajoneuvosta valmiiksi löytyviä antureita (6).

3.7.1 Pyörän nopeusanturit

Pyörän nopeusanturit, jotka tunnetaan myös ABS-antureina löytyvät jokaisesta nykyautosta. Niiden alkuperäinen käyttötarkoitus keskittyy lukkiutumattoman jarrujärjestelmän, ajonvakautusjärjestelmän ja luistonestojärjestelmän toiminnan mahdollistamiseen. Joissakin ajoneuvoissa myös nopeusmittarissa näkyvä nopeus on johdettu näistä antureista.

Autonomisissa ajoneuvoissa pyörän nopeusantureita käytetään liikkeen arviointiin. Varsinkin pienissä liikkeissä ja nopeuksissa tämä on tarkimpia ja edullisimpia tapoja paikannukseen.

3.7.2 Ohjauskulman anturi

Ohjauskulman anturi kuten pyörän nopeusanturi löytyy laajasti autoista ja on alun perin käytössä osana ajonvakautusjärjestelmää. Yhdessä pyörän nopeusanturin kanssa saadaan datasta arvioitua suunta ja nopeus ajoneuvon liikkeelle.

3.7.3 Jarrupaineanturi

Osana lukkiutumaton jarrujärjestelmää, ajonvakautusjärjestelmää ja luistonestojärjestelmää löytyy yleensä myös jarrupaineanturi tai useampi. Jarrupaine on yksi helpoimpia tapoja arvioida jarruvoimaa jonka kautta pystytään vaikuttamaan ajoneuvon hidastuvuuteen.

4 Ajoneuvojärjestelmien takaisinmallinnus

Ajoneuvoista löytyy antureita ja järjestelmiä joita mahdollisesti halutaan lukea tai ohjata autonomisen operoinnin aikana. Jotta näitä voisi hyödyntää, täytyy selvittää komponentin alkuperäinen toiminta riittävässä määrin. Osa näistä tiedoista saattaa joskus löytyä valmistajan huoltodokumentaatiosta, mutta pääsy tähän ei

aina ole yksinkertaista ja monesti tiedot eivät yksinkertaisesti ole julkisesti saatavilla. Tällaisessa tilanteessa ratkaisu on järjestelmän takaisinmallinnus.

4.1 Järjestelmät

Järjestelmiä joita voidaan haluta lukea tai ohjata löytyy monenlaisia. Edellä mainituista ajoneuvon anturit, pyörän nopeus, ohjauskulma sekä jarrupaine ovat tärkeitä ajamisen kannalta. Nämä tiedot löytyvät monesti yhdestä ajoneuvon CAN-väylistä. Kaasua myös tarvitsee ohjata joka saattaa joissakin tapauksissa onnistua CAN-väylän kautta, mutta monesti vaatii analogisen poljinignaalin manipuloimista. Toteutunut kaasunasento saadaan kuitenkin väylästä luettua. Sähköinen seisontajarru voi olla myös käytännöllinen ja saattaa ohjautua väylän kautta mutta voi vaatia myös alkuperäisin katkaisijan toiminnan simuloimista. Ajamisen kannalta olennaisten järjestelmien lisäksi löytyy myös tärkeitä apujärjestelmiä. Vilkut ovat melko oleelliset varsinkin jos samalla alueella kulkee muita. Vilkkujen ohjaus monessa nykyaajoneuvossa onnistuu väylän kautta. Tässä oli muutamia esimerkkejä järjestelmistä joiden toimintaa voi joutua selvittämään mutta tarve ei aina rajoitu näihin.

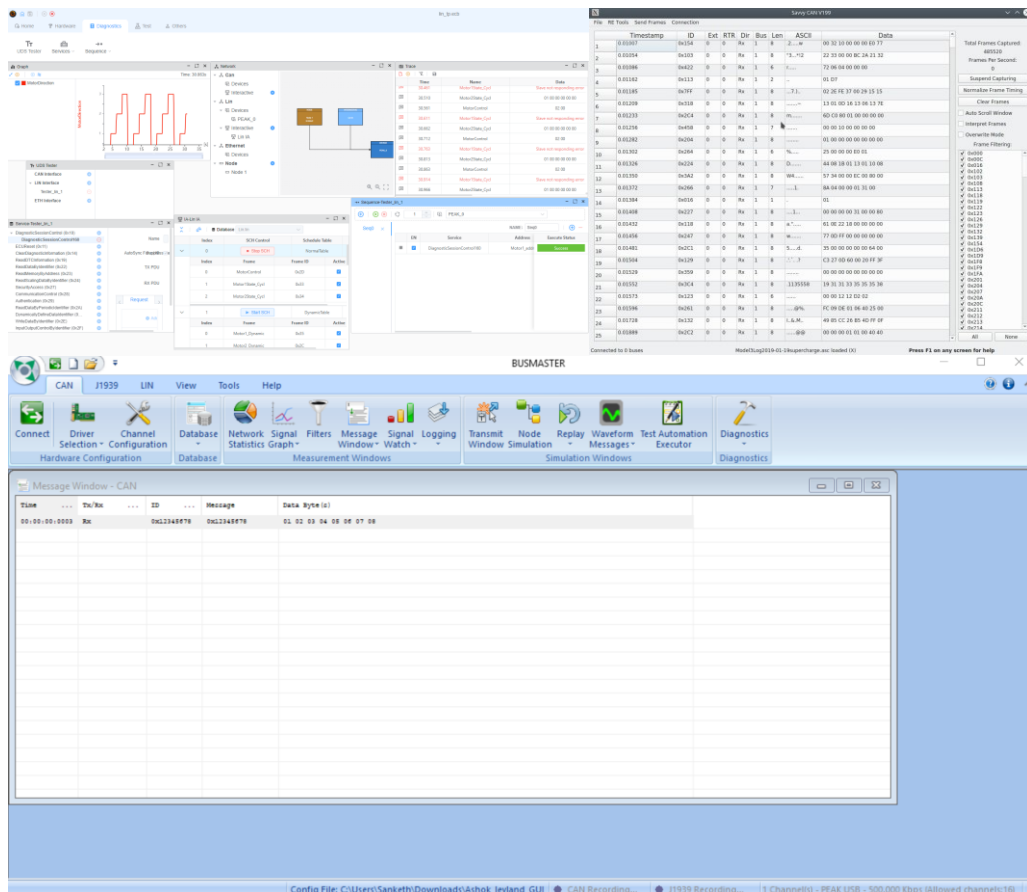
4.2 Esimerkkityökalut

Takaisinmallinnus voi olla haastavaa joten sen helpottamiseksi kannattaa käyttää kaikkia saatavilla olevia apuvälineitä. Seuraavaksi käymme läpi muutamia niistä. Yksinkertaisimmillaan perus sähkötyökaluilla pääsee pitkälle. Yleismittari on mainio kytkimien ja yksinkertaisempien analogisignaalien tutkimiseen. Suurena apuna ovat ohuet, laadukkaat mittapäät joilla pääsee liitinpinneihin kiinni vaikka liittimen takaa tai tarvittaessa johtimen eristeen hienovaraisesti lävistävät mittapäät jos itse liitin on hankalassa paikassa. Hankalampia analogisignaaleja kannattaa tutkia oskilloskoopilla, melko yksinkertaisetkin mallit ovat ihan soveltuvia mutta ajoneuvoteollisuuden suunnatuissa malleissa saattaa olla käteviä ominaisuuksia ja mittapäitä mukana (7).



Kuva 6. PicoScope Automotive sarja (7)

Digitaalisignaalejakin voi jossakin määrin tutkia oskilloskoopilla mutta väylä-kommunikoinnin takaisinmallintamiseen kannattaa soveltaa väylään sopivaa kommunikointiadapteria ja asianmukaista tietokoneohjelmistoa. BUSMASTER (8) sekä EcuBus-Pro (9) ovat ilmaisia, avoimen lähdekoodin ohjelmia jotka ovat hyviä yleistyökaluja CAN ja LIN väylien kanssa työskentelyyn. Ohjelmista löytyy tuki muun muassa väyläsignaalikirjastoille, loggaukselle, datan visualisoinnille ja viestien lähettämiselle. SavvyCAN (10) on myös ilmainen, avoimen lähdekoodin ohjelma mutta on suunniteltu juurikin CAN liikenteen takaisinmallinnukseen joten siitä löytyy hyviä erityisominaisuuksia tähän tarkoitukseen. Ennen väylän takaisinmallintamista kannattaa kuitenkin etsiä jos väyläsignaalikirjasto on jostakin saatavilla vaikka DBC tiedostona, esimerkiksi openpilot (11) projektin dokumentaatioissa on paljon tietoa eri ajoneuvojen väylien viesteistä.



Kuva 7. Ohjelmia väylän takaisinmallinnuksen avuksi (8)(9)(10)

5 Suunnittelu

Autonomisen järjestelmäkokonaisuuden suunnittelu ei ole yksinkertainen tehtävä. Toiminnan mahdollistamiseksi asianmukaiset komponentit täytyy sijoitella järkevästi jotta niiden operointi saadaan varmistettua mutta, pelkkä järjestelmän toiminta ei riitä vaan myös luotettavuus ja mahdolliset vikatilat täytyy huomioida. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi joitain huomion arvoisia asioita.

5.1 Komponenttivalinnat

Ohjaus- ja jarrutoimilaitteiden valinnassa ensimmäisenä päätetään tekninen toteutus, yleensä riippuen siitä voiko ajoneuvon alkuperäisiä toimilaitteita suoraan hyödyntää. Jos alkuperäiset toimilaitteet syystä tai toisesta eivät sovellu joudutaan miettimään ulkoisten toimilaitteiden vaatimuksia. Toimilaitteena usein

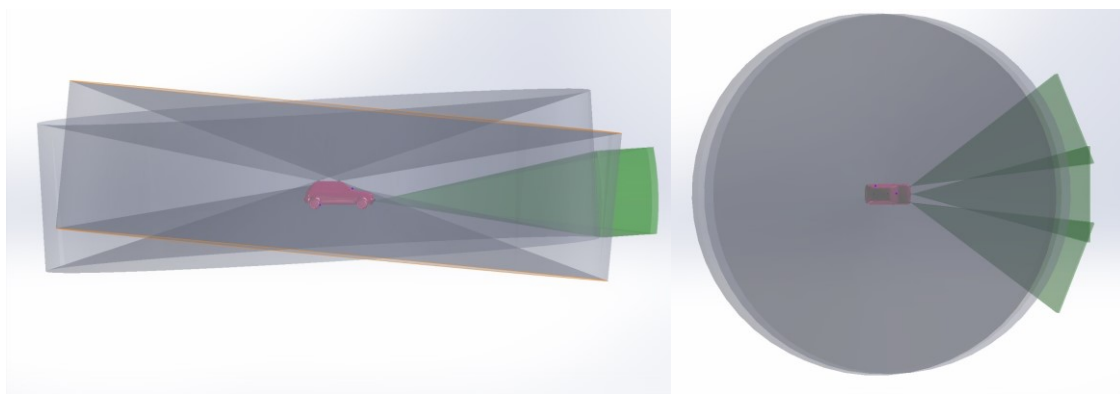
käytetään sähkömoottoreita, lineaariaktuaattoreita taikka sähköhydraulisia työ-sylintereitä. Toimilaitteen on oltava riittävän järeä jotta se pystyy toimimaan käyttötarkoituksessaan silloinkin kun sitä avustava järjestelmä on pois käytöstä, esimerkiksi jarrun alipainetehostin tai ohjaustehostin. Kun tarvittavat voimat saadaan testattua ja laskettua saadaan myös käsitys toimilaitteen kokoluokasta ja tehontarpeesta. Tunnetun tehontarpeen perusteella pystytään suunnittelemaan toimiva ja turvallinen kaapelointi sekä sulakkeet. Kokoluokan selvityksen jälkeen voidaan miettiä fyysistä sijoittelua sekä mekaanista toteutusta. Riippuen toimilaitteen mekaanisen yhteyden toteutuksesta, toimilaitte voi sijaita kaukana-kin hallintalaitteesta. Jarrutoimilaitte voi olla niin suorassa yhteydessä kuin mekaanisen vivuston taikka vaijerin päässä. Ohjaustoimilaitte voi sijaita suoraan hammastangossa taikka ohjausakselilla, mutta myös esimerkiksi hihnaveto ohjausakselille on vaihtoehto. Jos ajoneuvossa on tarkoitus olla ihmisiä operoinnin aikana, varsinkin kuljettajan paikalla esimerkiksi testatessa, on syytä miettiä toimilaitteen sijainnin vaikutusta kolariturvallisuuteen. Toteutuksen käyttöikä tulee myös huomioida jotta tarvittavat huollot saadaan tehtyä ajallaan. Moni toimilaittevalmistaja ilmoittaa laitteen käyttöiän joko käyttötunteina tai kumulatiivisena liikemääränä. Tähän on hyvä toteuttaa jonkinlainen laskenta ja siihen liittyvät huoltoilmoitukset.

Riippuen ohjelmistopuolen toteutuksesta, vaatimukset antureille voivat vaihdella melko roimasti. Esimerkiksi ajoneuvon paikannus voi perustua GNSS:ään, LiDAR pistepilven vertailuun ennalta tehtyyn karttaan taikka kameroilla toteutettuun ympäristön tunnistukseen. Näiden yhdistely on yleistä mutta myös tietyn anturitekniikan käyttämättä jättäminen voi tulla kyseeseen muun muassa kustannussyistä. Täten jos vaikka kameraa päätetään olla käyttämättä, vaatimukset LiDAR antureita kohtaan kasvavat jotta tarkkuus kohteentunnistusta varten olisi riittävä. Anturitekniikan hinnanlaskun myötä houkutus laittaa paljon tarkkoja antureita voi olla suuri mutta anturivalinnassa täytyy miettiä myös suuren tiedonmäärän käsittelyn vaatimaa laskentatehoa. Tarkemmat anturit vaativat enemmän laskentakapasiteettiä mikä nostaa kustannuksia, vaatii enemmän asennustilaa sekä kuluttaa enemmän energiaa. Jokaiseen käyttökohteeseen täytyykin löytää sopiva tasapaino suorituskyvystä tarpeeseen nähden. Tästä syystä jois-

sakin ajoneuvokäyttöön tehdyissä antureissa saattaa olla sisäänrakennettua tiedonkäsittelyä, esimerkiksi ajoneuvokäyttöön tehty tutka saattaa raakadatan sijaan antaa ulos vain ”bounding box” tyyppisen kohteen tunnistetiedon, josta saa objektin sijainnin, koon, nopeuden ja suunnan. Tämä pienentää laskennan tarvetta mutta rajoittaa myös saatavan tiedon määrää. Paikannukseen tämän- tyyppinen tieto ei välttämättä ole käyttökelpoinen.

5.2 Anturisijoittelu

Vaikka ajoneuvoon asennettaisiin parhaat anturit, voivat hyödyt jäädä vähäisiksi jos niiden asianmukainen toiminta häiriintyy. Joitain ongelmia pystyy hillitsemään ohjelmistollisesti mutta tähän kannattaa turvautua viimeisenä. Jotta ylimääräiseltä tiedonkäsittelyltä säästyttäisiin ja antureiden suorituskyvystä saataisiin kaikki hyöty, täytyy ne sijoitella harkiten. Havainnointiantureilla voi esimerkiksi helposti jäädä katvealueita jotka huonontavat järjestelmän turvallisuutta. Tämä voi vaatia lisäantureiden asennuksia katveiden poistamiseksi. LiDAR anturit ja kamerat voivat häiriintyä vedestä, pölystä ja liasta. Tästä johtuen ne monesti sijoitellaan korkeammalle ajoneuvoon sekä joissakin tapauksissa niille voidaan asentaa puhtaanapitolaitteita. LiDAR anturit voivat myös häiritä viereisensä toimintaa jos ne on asennettu toistensa näkökenttään. Radar ei puolestaan ole läheskään niin herkkä ympäristölle ja pystyy jopa läpäisemään monia materiaaleja. Tämän johdosta matala asennus esimerkiksi muovipuskurin taakse onnistuu ja mahdollistaa matalien, lähellä olevien kohteiden havainnoinnin.



Kuva 8. Havainnointiantureiden näköalueet mallinnettuna

GNSS antenni kannattaa sijoitella paikkaan josta on mahdollisimman suora näköyhteys taivaalle. Vaikka sisältä, esimerkiksi tuulilasin alta, saattaa paikannus toimia, varsinkin kaupunkiolosuhteissa signaali voi heiketä paljon. IMU on monesti kätevin sijoitella taka-akselin yläpuolelle, keskelle. Se on paikka jonka ympäri ajoneuvo pyörii ja siinä kohdassa ajoneuvot eivät normaalissa ajotilanteessa koe siirtymiä sivuttain joten ajoneuvon liikkeet ovat helpommin mitattavissa.

5.3 Viat ja vaikutukset

Ensisijaisesti autonomisiin ajoneuvoihin pätee samat viat kuin perinteisiin. Ongelmaksi voi muodostua oikea-aikainen ongelman tunnistaminen ja korjaaminen. Järjestelmä ei kuule mahdollisia sivuääniä ja melko tavallinen rengasrikkokin voi aiheuttaa isoja ongelmia jos ei siihen reagoi ajoissa. Tästä johtuen ajoneuvon oma diagnostiikka pitäisi olla kunnossa ja käyttäytyminen valmiiksi määriteltynä tilanteen mukaan. Myös ajoneuvon rakenteiden tarkastusväli täytyy sovittaa käyttöön sopivaksi, monesti perinteistä autoa tiheämmäksi jotta mahdolliset alkavat viat havaitaan ajoissa.

Tavallisten vikojen lisäksi autonomisissa ajoneuvoissa voi kuitenkin syntyä myös autonomiseen järjestelmään liittyviä vikoja. Kuten aikaisemmin oli mainittu, toimilaitteet kuluvat käytössä jonka seurauksena ne eivät välttämättä reagoi odotetulla tavalla. Kaasun, jarrun ja ohjauksen hallinnassa tämä on kriittinen ongelma joka täytyy pystyä huomaamaan välittömästi. Diagnostiikan voi toteuttaa mittaamalla toimilaitteiden asentoa tarkasti ja vertaamalla sitä ennalta rakennettuun malliin odotetuista liikkeistä. Jos esimerkiksi toimilaitteen kiihtyvyys ei vastaa ennalta määrättyä parametria, on syytä olettaa vikaa. Näiden komponenttien vikaantuessa täytyy järjestelmän pystyä edelleen vähintään pysäyttämään ajoneuvo jotta lisävahingoilta vältytään.

Antureissa voi myös esiintyä vikoja. Mekaaniset LiDAR anturit voivat kulua ja esimerkiksi laakerivikoja näissä esiintyy. Tämä voi johtaa kuumenemiseen ja epästabiliin pyörintänopeuteen jonka seurauksena pistepilveen voi alkaa syntyä aukkoja. Kameroiden, LiDAR antureiden ja tutkien ongelmaksi voi tulla

myös ulkoiset vahingot, kiveniskelmät ja vastaavat. GNSS signaali voi heiketä merkittävästi ympäristön tai sään seurauksena ja verkkoyhteyden menetys voi aiheuttaa myös RTK korjaussignaalin häviämisen. Kaikki nämä heikentävät yksittäisten antureiden signaalin laatua merkittävästi. Järjestelmässä olisikin hyvä olla ohjelmituna ominaisuutena signaalin laadun arviointi jotta heikosti suoriutuvan anturin tieto voitaisiin tarvittaessa tilapäisesti poissulkea ja tarvittaessa viallinen anturi vaihtaa mahdollisimman pian. Laskentayksikön viat ovat samantaisia kuin muussakin tietotekniikassa joten järjestelmän käytös laskentayksikön pettäessä täytyy myös huomioida. RTK korjaussignaalin lisäksi verkkoyhteyksien päässä voi löytyä myös tietoa ympäristöstä taikka teleoperaattori. Yhteyden häviämisen vaikutukset täytyy miettiä tapauskohtaisesti.

5.4 Redundanssi

Järjestelmän redundanssia on harkittava järjestelmän lopullista käyttöympäristöä silmälläpitäen. Jarru on järjestelmän osa jonka on käyttötarkoituksesta riippumatta toimittava luotettavasti joten kahdennus tai jopa monimutkaisempi toteutus on perusteltu. Aikaisemmin mainittu sähköinen käsijarru soveltuu varajärjestelmäksi mutta virransyötön pettäessä sekään ei toimi. Ratkaisuna voi olla esimerkiksi painesäiliö joka on liitettyä sylinteriin normaalisti avoimen solenoidiventtiin välityksellä. Virran katketessa, solenoidi aukeaa ja paine työntää jarrujärjestelmässä kiinni olevaa sylinteriä nostaen jarrujärjestelmän paineen.

Jos käyttökohteessa ajoneuvon täytyy pystyä viasta huolimatta päästä omatoimisesti huoltopaikkaan, joutuu monia muitakin komponentteja kahdentamaan. Ohjaustoimilaitteen rinnalla täytyy olla toinen riippumaton toteutus. Myös etenemisen kannalta olisi hyvä olla esimerkiksi useampi sähkömoottori ja taajuusmuuntaja, tietenkin käyttövoiman rajoitukset huomioiden. Polttomoottorikäyttöisen voimanlähteen kahdennus on tämän kannalta hankalampi.

Anturipuolella kokonaisuus on joissain määrin helpompi sillä monesti järjestelmässä on antureita jotka paikkaavat ja varmentavat toistensa toimintaa. Esimerkiksi yhden kameran pettäessä ajoneuvo pystyy ainakin rajoitetusti operoi-

maan tutkan ja LiDAR anturin varassa. Tässäkin täytyy kuitenkin huomioida turvallisuus joten esimerkiksi ajonopeutta voi joutua laskemaan.

Varsinkin suljetulla alueella toimiessa kaikkien komponenttien kahdennus ei kuitenkaan ole välttämättömyys. Jos ajoneuvo pystyy turvallisesti pysähtymään joko reitille tai tienvarteen jossa se voidaan korjata taikka josta se voidaan hinata huoltopaikkaan, ei redundanssille ole läheskään niin kovat vaatimukset. Voi olla kustannuksellisesti tehokkaampaa kalustaa ajoneuvot edullisemmin ja hoitaa huollot manuaalisesti tarpeen mukaan. Täysin kahdennetussakaan järjestelmässä ei operointia voida vikatilanteessa täysimääräisenä jatkaa ennen korjausta sillä kahdennus loppuu vikaan.

6 Yhteenveto

Ajoneuvon jälkiasenteinen automatisointi on laaja projekti ja jokaista ajoneuvomallia joutuu lähestymään yksilöllisesti. Yleispätevää, jokaiseen tapaukseen toimivaa ratkaisua ei ole. Tästä huolimatta jälkiasennus voi olla tehokkain reitti nopeaan ajoneuvokannan automatisointiin. Hyvällä suunnittelulla voidaan luoda kustannustehokas resepti jota voidaan hyödyntää samanlaisiin ajoneuvoihin laajamittaisesti ja nopeasti. Käyttökohteen huomiointi on tärkeää suunnitteluvaiheessa sillä se vaikuttaa merkittävästi järjestelmän vaatimuksiin sekä kustannuksiin.

Lähteet

- 1 SAE International. 2021. J3016_202104 Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- 2 VLP-16 User Manual 2022. Verkkoaineisto. <<https://data.ouster.io/downloads/velodyne/user-manual/vlp-16-user-manual-revf.pdf>>. 7.3.2022. Luettu 17.11.2025.
- 3 Konrad Reif. 2014. Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems. Springer Vieweg Wiesbaden.
- 4 Bosch IMU. Verkkoaineisto. <<https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/245667595336397707.html>>. Luettu 17.11.2025.
- 5 Continental radar sales sheet 2021. Verkkoaineisto. <https://www.continental-aftermarket.com/media/3751/continental_longrangeradar_salesheet_v1.pdf>. Luettu 17.11.2025.
- 6 Konrad Reif. 2015. Automotive Mechatronics. Springer Vieweg Wiesbaden.
- 7 PicoScope Automotive. 2023. Verkkoaineisto. Pico Technology. <<https://www.picoauto.com/products/automotive-oscilloscope-kit/overview?model=4425A+Starter>>. Luettu 11.11.2025.
- 8 Busmaster. 2017. Verkkoaineisto. <<https://github.com/rbeietas/busmaster>>. Luettu 11.11.2025.
- 9 EcuBus-Pro. 2025. Verkkoaineisto. <<https://github.com/ecubus/EcuBus-Pro>>. Luettu 11.11.2025.
- 10 SavvyCAN. 2025. Verkkoaineisto. <<https://github.com/collin80/SavvyCAN/>>. Luettu 11.11.2025.
- 11 openpilot. 2017. Verkkoaineisto. comma.ai. <<https://github.com/commaai/openpilot>>. Luettu 11.11.2025.

Anturisijoittelun suunnittelukuvia

