



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JESSE LEPPÄNEN

Autonomiset kuljetusrobotit

LOGISTIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Leppänen, Jesse: Autonomiset kuljetusrobotit
Opinnäytetyö, AMK
Logistiikka
Elokuu 2024
Sivumäärä: 32

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää autonomisten kuljetusrobottien toimintaa pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Suomessa ovat yleistyneet ulkona liikkuvat kuljetusrobotit, joilla kuljetetaan päivittäistavarakauppojen tuotteita asiakkaille. Robottien tulee Suomessa operoidessaan kestää varsin erilaisia sääolosuhteita, jotta ne pystyvät operoimaan ympärivuotisesti. Tavoitteena oli löytää ratkaisuja, mitä kuljetusroboteissa on käytetty, jotta ne pystyvät toimimaan pohjoismaisissa sääolosuhteissa.

Opinnäytetyössä tutkittiin autonomisten kuljetusrobottien toimintaa yleisesti ja miten ne pystyvät toimimaan ulkoilmassa. Aluksi lähdettiin tutkimaan, miten kuljetusrobotit käytännössä toimivat. Minkälaista teknologiaa tarvitaan, jotta autot pystyvät ajamaan itseksensä. Huomattiin, että autonomisten ajoneuvojen ja kuljetusrobottien välillä ei ole suuria eroavaisuuksia ja niiden toiminta periaate on hyvin samankaltainen. Työssä lähdettiin käymään läpi tarvittavaa teknologiaa, mitä tarvitaan autonomiseen ajamiseen ja todettiin, että kulkuneuvoihin on asennettu erilaisia sensoreita ja kameroita, joilla kulkuneuvot pystyvät "aistimaan" ympäristöään. Tämän lisäksi työssä selvitettiin, mitä ratkaisuja kuljetusroboteihin on tehty, jotta ne pystyvät toimimaan pohjoismaisissa sääolosuhteissa.

Työn lopussa todettiin kuljetusrobottien toimivan erittäin hyvin pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Niihin keksityt ja suunnitellut ratkaisut ulkoilmassa operointiin, todettiin olevan erittäin hyviä ja toimivia. Muutamia kehitysehdotuksia annettiin myös.

Avainsanat: Itseohjautuvat robotit, Robotti, Robottiautot, Tekoäly, Koneoppiminen, Reunalaskenta, Kuljetus, Tutkat, Kamerate

ABSTRACT

Leppänen, Jesse: Autonomous Transport Robots

Bachelor's thesis

Logistics

August 2024

Number of pages: 32

The aim of the thesis was to study the operation of autonomous delivery robots in Nordic weather conditions. In Finland, outdoor delivery robots, which transport products from grocery stores to customers, have become more common. When operating in Finland, the robots must endure a wide variety of weather conditions to be able to operate year-round. The goal was to find solutions used in delivery robots that enable them to function in Nordic weather conditions.

The thesis examined the operation of autonomous delivery robots in general and how they can function outdoors. The research began by studying how delivery robots operate in practice and what kind of technology is needed for the vehicles to drive independently. It was found that there are no significant differences between autonomous vehicles and delivery robots, and their operating principles are very similar. The work then proceeded to explore the necessary technology for autonomous driving, concluding that various sensors and cameras are installed in the vehicles, allowing them to "sense" their environment. In addition, the study investigated the solutions applied to delivery robots to enable them to operate in Nordic weather conditions.

At the end of the work, it was concluded that the delivery robots' function very well in Nordic weather conditions. The solutions invented and designed for outdoor operation were found to be very good and effective. A few suggestions for further development were also provided

Keywords: Autonomous robots, Robot, Robotic vehicles, Artificial intelligence, Machine learning, Edge computing, Transportation, Radars, Cameras

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITTEET	6
2.1 Tutkimuskysymykset ja viitekehys	7
2.2 Rajaavat tekijät	7
2.3 Eettiset kysymykset	8
2.4 Tutkimuksen luotettavuus	8
3 YLEISTÄ TIETOA AUTONOMISISTA KULKUNEUVOISTA	8
3.1 Autonomisista kuljetusvälineistä yleisesti	8
3.2 Miten autonomiset ajoneuvot toimivat	10
3.3 Tekoäly & koneoppiminen	11
3.4 Reunalaskenta	13
3.5 Sensoriteknologia	14
4 TIETOA YRITYKSESTÄ STARSHIP TECHNOLOGIES	18
4.1 Yritys esittely	18
4.2 Tietoa roboteista	18
4.3 Robotin toiminta	20
5 POHJOISEN ILMASTON HAASTEET	21
5.1 Pohjoismaiset sääolosuhteet	21
5.2 Ympärivuotinen operointi	22
6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	24
6.1 Tutkimusmetodologia	24
7 TUTKIMUKSEN TULOKSET	25
LÄHTEET	28
LIITE 1: KOVALENKO HAASTATTELUKYSYMYKSET	32

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

LiDAR = valotutka

GPS = satelliittipaikannusjärjestelmä

DSRC = langaton lyhyen kantaman viestintä

IoT = esineiden internet

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on ollut selvittää autonomisten kuljetusrobottien toimintaa pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Viime vuosien aikana autonomiset kuljetusrobotit ovat yleistyneet päivittäistavarakauppojen kuljetuksissa, ja niitä näkee nykyään jo lähes päivittäin katukuvassa. Olen itse tilannut muutaman kerran ruokaa kyseisillä roboteilla ja mietin miten robotit mahtavat toimia. Tämä sai mielenkiintoni kohoamaan ja päätin tehdä opinnäytetyöni kyseisistä roboteista.

Tässä opinnäytetyössä tullaan selvittämään, mitä vaatimuksia roboteilta vaaditaan pohjoismaisissa sääoloissa toimimiseksi. Vastauksia kahteen tutkimuskysymykseen haetaan robottien teorian pohjalta eri tietolähteistä haetuilla tiedoilla sekä henkilöhaastatteluista.

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Satakunnan ammattikorkeakoulun kanssa, kun heiltä tuli pyyntö asian suhteen.

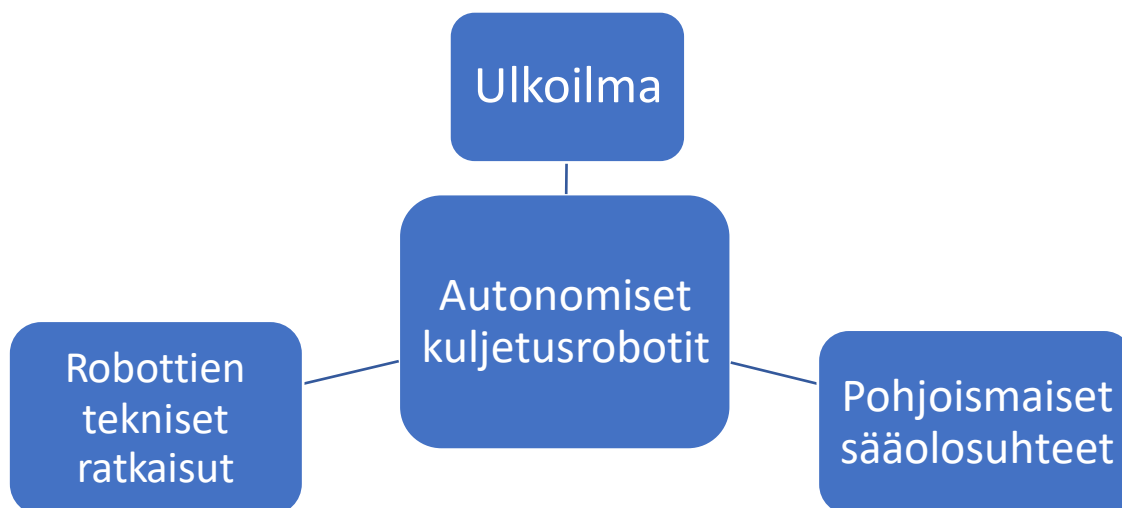
2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena on kerätä tietoa eri menetelmillä ulkona toimivien autonomisten kuljetusrobottien toiminnasta pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Tutkimuksessa pyritään selvittämään, mitä ratkaisuja kyseisissä roboteissa on käytetty, jotta ne pystyvät toimimaan pohjoisissa sääolosuhteissa. Tutkimuksen toimeksiantajana on Satakunnan ammattikorkeakoulu. Tutkimuksen tavoitteena on saada selville robottien toimintaperiaate ja niissä käytetyt ratkaisut, millä ne pystyvät toimimaan pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Oletan, että

kyseisellä tutkimuksella saadaan selville robottien vaatimukset ja saamme vastauksen sille, miten robotit toimivat.

2.1 Tutkimuskysymykset ja viitekehys

1. Miten ulkona liikkuvat autonomiset kuljetusrobotit toimivat pohjoismaisissa sääolosuhteissa?
2. Millaisia haasteita pohjoismaiden sääolosuhteet aiheuttavat ulkona liikkuville autonomisille kuljetusroboteille ja miten ne voitaisiin ratkaista?



Kuvio 1. Viitekehys

Kyseisiin kysymyksiin päädyttiin pohtimalla, miten robotit mahtavat toimia ja miten ne pystyvät kulkemaan talvisin lumessa.

2.2 Rajaavat tekijät

Tutkimusta on lähdetty rajaamaan siten, että ensiksi on katsottu missä päin maailmaa kyseisiä robotteja on käytössä. Tämän jälkeen katsottiin missä päin maailmaa on muuttuvia sääolosuhteita ja eri vuodenaajat. Näiden kahden

kysymyksen jälkeen päädyttiin pohjoisiin sääolosuhteisiin, Suomeen ja Suomessa Satakunnan maakuntaan. Satakunnassa toimiva osuuskauppa Keula esimerkiksi käyttää kyseisiä robotteja (Keula, 2023). Robottien teknisen puolen rajoukset tullaan määrittelemään tutkimuksen edetessä.

2.3 Eettiset kysymykset

Autonomisiin kuljetusroboteihin liittyviä salassa pidettäviä tietoja ei tulla julkaisemaan.

2.4 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimus on luotettava, koska autonomisten kuljetusrobottien toimintaan liittyvät tekstit ovat haettu luotettavista lähteistä ja tietokirjoista. Tutkimuksessa myös tullaan raportoimaan tarkasti robottien toiminnasta kyselyjen ja haastattelujen toimesta.

3 YLEISTÄ TIETOA AUTONOMISISTA KULKUNEUVOISTA

3.1 Autonomisista kuljetusvälineistä yleisesti

Ulkona toimivat autonomiset kuljetusrobotit tulevat yleistymään seuraavien vuosien ja vuosikymmenten aikana. Aina siitä lähtien, kun ensimmäiset moottoroidut ajoneuvot ovat tulleet päivittäiseen elämäämme, on haaveissa ollut autonomiset kulkuneuvot, jotka eivät tarvitse lainkaan ihmistä liikkuakseen tai hyvin vähän ihmisen väliintuloa. Nykyaikana, kun tekoäly (Eng. Artificial Intelligence, AI) on ottanut valtaisia kehitysaskelia, pystymme kehittämään entistä enemmän autonomisia kuljetusvälineitä. Tekoälyn lisäksi reunalaskennan

ja sensoriteknologian kehittyminen ovat edesauttaneet kehitystä. Kuljetusvälineiden muuttuminen autonomisiksi tulee muuttamaan meidän jokapäiväistä elämäämme ja logistiikkapalveluitamme huomattavasti (DHL, 2024).

Autonomiset ajoneuvot voidaan jakaa kuuteen eri kategoriaan riippuen niiden ominaisuuksista. Kategoriat ovat numeroitu 0–5. Ensimmäinen taso on 0 ja tällöin ei ole käytössä minkäänlaista automaatiota vaan ihminen ohjaa itse kulkuvälinettä. Toinen taso on 1 ja tällöin kulkuneuvon kuljettajalla on jokin apuohjelma käytettävänänsä helpottaakseen työtakkaa. Esimerkiksi auton vakionopeudensäädin on hyvä esimerkki tästä. Kolmas taso on 2 ja tällöin kulkuneuvo pystyy ohjaamaan itseään eteenpäin ja pitämään sivusuunnassa kulkuneuvon halutussa suunnassa. Kyseistä tasoa pystyy kuvailemaan autolla, jossa on kaistavahti, joka pitää sen maantiellä omalla kaistallaan ja nopeuden samana. Neljättä tasoa kuvaa numero 3. Tällä tasolla kulkuneuvo pystyy itse jo tekemään perustoimet kuten nopeuden säädön, omalla kaistalla pysymisen ja muun liikenteen havainnoinnin. Kuljettajan ei tarvitsi koko ajan pitää katsetta tiessä. Viidettä tasoa kuvaa numero 4. Tällä tasolla kulkuneuvo kulkee jo täysin itsekseen mutta sille täytyy ohjelmoida jokin reitti ennen kuin se osaa kulkea itsekseen tai se pystyy ajamaan itsekseen vain tietyissä oloissa kuten vaikkapa maantiellä. Viimeisessä tasossa numero 5, kulkuneuvo on täysin autonominen, eikä se tarvitse minkäänlaista ohjausta. Kulkuneuvo osaa itse määrittää reitin ja havainnoida ympärillä tapahtuvia asioita. (zf, 2024) Alla oleva kuva havainnollistaa autonomisten ajoneuvojen kuusi eri tasoa (Kuva 1).



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Kuva 1. Autonomisten ajoneuvojen kuusi eri tasoa (SAE, 2021).

3.2 Miten autonomiset ajoneuvot toimivat

Otetaan tarkasteluun autonomisista kulkuneuvoista itseohjautuva auto, koska ne toimivat hyvin samankaltaisella periaatteella kuin kuljetusrobotit. Autoihin on asennettu erilaisia antureita ja toimilaitteita sekä ne käyttävät erilaisia algoritmeja pystyäkseen navigoimaan turvallisesti ilman ihmisen ohjausta. Näiden välineiden ja tekniikoiden avulla autot saavat ympäriltään dataa ja ne pystyvät tekemään päätöksiä mitä seuraavaksi pitäisi tehdä liikkuakseen oikeaan suuntaan turvallisesti.

Autossa olevat anturit pystyvät havainnoimaan ja aistimaan mitä auton ympärillä tapahtuu. Autot ovat varustettu monilla erilaisilla antureilla, kuten kameroilla, tutkilla, LiDAR sensoreilla (Eng. light, detection and ranging) jotka tunnistavat valon heijastuvan jostakin kohteesta ja täten mittaamaan etäisyyttä, ultraääniantureilla ja GPS järjestelmillä (eng. Global Positioning System). Näillä erilaisilla menetelmillä auto pystyy havainnoimaan muita

tienkäyttäjiä, liikennemerkkejä, ympärillä olevia kohteita ja ennakoimaan muiden ajoneuvojen liikkeitä.

Edellä mainituilla antureilla kerätty tieto käsitellään autossa sijaitsevalla tietokoneella, joka käyttää erilaisia algoritmeja ja tekoälyä. Algoritmit analysoivat antureiden antamat tiedot reaaliajassa, jotta tietokone saa yksityiskohtaisen käsityksen auton ympäristöstä. Kun tietokone on saanut tiedot käsiteltyä, tekevät algoritmit päätöksen saadun analyysin perusteella, mitä toimenpiteitä pitää tehdä. Esimerkiksi pitääkö kiihdyttää, jarruttaa tai vaihtaa kaistaa.

Samoilla tietokoneen laskemilla analyyseilla auton hallintalaitteet tietävät ohjata autoa turvallisesti muun liikenteen seassa. Auton anturit, algoritmit ja tietokoneet laskevat kaiken aikaan mitä ympärillä tapahtuu ja niiden pohjalta tekee se jatkuvia ohjausliikkeitä.

Itseohjautuvat autot ovat myös yleensä liitettyinä johonkin langattomaan verkkoon. Autot pystyvät vaihtamaan tietoja muiden kulkuneuvojen, ympärillä olevan infrastruktuurin ja pilvipohjaisten palvelujen kanssa. Yleisin langaton viestintäteknologia on 4 tai 5G verkko. Nykyaikana käytetään enimmäkseen 5G verkkoa, koska se on paljon nopeampi ja sitä kautta pystytään välittämään enemmän dataa. Autot käyttävät myös DSRC (Eng. dedicated short-range communications) teknologiaa, joka nimensä mukaisesti viittaa lyhyen kantaman viestimiseen. DSRC:n avulla itseohjautuvat autot pystyvät välittämään tietoa toisilleen. Liitettävyyden takia ajoneuvot pystyvät vastaanottamaan reaaliaikaista tietoa liikenneolosuhteista, tiesuluista, tietöistä ja muista olennaisista liikennetiedoista, jotka parantavat liikenteen tehokkuutta ja turvallisuutta. (Wired, 2021; MIT Technology Review, 2019; Forbes, 2024)

3.3 Tekoäly & koneoppiminen

Tekoäly tarkoittaa erilaisten koneiden ihmismäistä älykkyyttä. Tekoälyä käytetään enimmäkseen tietoteknisissä laitteissa. Kyseinen tutkimusala – tietojenkäsittelytiede – pyrkii tutkimaan ja kehittämään erilaisia menetelmiä ja ohjelmia, joilla koneet pystyisivät tutkimaan ja havainnoimaan omaa ympäristöään. Näiden havaintojen pohjalta, koneet pystyisivät älykkäästi oppimaan uutta ja

suorittamaan niille annetut tehtävät. Kun koneet oppivat älykkäästi uutta, pyrkivät ne saavuttamaan niille annetut tavoitteet ja tehtävät. (Russell & Norvig, 2021, s.1–4.)

Starship Technologiesin roboteissa ei käytetä varsinaisesti tekoälyä vaan koneoppimista. Suorittaessaan kuljetustehtäviä ne oppivat koko ajan uutta, jolloin ne pystyvät optimoimaan kulkureittejä, akunkestoa, muuta liikennettä jne. (Kovalenko, 2024)

Koneoppiminen on yksi tekoälyn osa-alue. Se on erittäin kehittynyt tietojenkäsittelyn muoto, jonka avulla pystytään mahdollistamaan suurten datamäärien käsittely ja tätä kautta erinäiset sovellukset pystyvät analysoimaan ja prosessoimaan tietoja, jotka parantavat käyttäjäkokemusta. Koneoppimista käytetään nykyään useissa tietokoneohjelmistoissa parantaakseen ihmisten työntekoa ja antaakseen meille kohdennettuja palveluita. Hyvinä esimerkkeinä toimivat starship robotteja käyttävät päivittäistavarakaupan sovellukset, jotka antavat meille ehdotuksia ja tarjouksia edellisten tilausten pohjalta tai vaikkapa sosiaalisen median palvelu TikTok, joka kohdentaa juuri sellaisia videoita mitä käyttäjä on katsonut ja haluaa katsoa.

Koneoppiminen on erittäin loistava työkalu, sillä se antaa koneille kyvyn oppia ilman, että koneen järjestelmiä täytyy ohjelmoida. Tätä kautta koneet pystyvät tekemään itsenäisiä päätöksiä keräämässään datan avulla. Kun koneet eivät tarvitse ohjeita tai muita käskyjä ovat ne kykeneväisiä tunnistamaan kaavoja, joita ne pystyvät soveltamaan uusiin tietoihin.

Koneoppimisen tyypejä on erilaisia ja niiden menetelmät voitaisiin jakaa kolmeen eri luokkaan:

1. Valvottu oppiminen. Kyseisessä mallissa käytetään koneessa olevaa vanhaa dataa, jotka sisältävät syöttö- ja tavoitetietoja. Hyvä esimerkki kyseisestä tyypistä on sähköpostin roskapostifiltteri.
2. Valvoton oppiminen. Jokin koneoppimisen malli, joka oppii itse itsensä ilman, että luokkaa on määriteltä. Hyvänä esimerkkinä toimii kuvien ja videoiden analysointi ja asiakassegmentointi.
3. Vahvistusoppiminen. Kyseinen malli pyrkii tekemään päätöksen kokemuksen perusteella, jolloin kyseinen malli saa ”palkinnon”. Esimerkkeinä toimivat autonomiset ajoneuvot ja henkilökohtaisten suositusten antaminen sovelluksen käyttäjälle.

Koneoppimista käytetään nykyään paljon myös logistiikan ja liikenteen optimointiin. Älykkäillä algoritmeilla saadaan reaaliaikaisia liikennetietoja, saadaan ennusteita mahdollisista ruuhkista ja ehdotuksia optimaalisista kulkureiteistä. Näiden avulla toimitusajat lyhenevät ja nopeutuvat, polttoaineen kulutus vähenee sekä kustannukset pienentyvät.

Nykyaikaiset varastojärjestelmät käyttävät myös koneoppimista, jolloin saadaan ennusteita varastontarpeista, -kierrosta ja -riittävydestä. Kun varastonhallintaa optimoidaan, vähentää se hukkaa ja toimitusketjun tehokkuus paranee. (FinnishUp, 2023)

3.4 Reunalaskenta

Reunalaskennalla (eng. Edge computing) tarkoitetaan IoT-laitteiden (Eng. Internet of Things) tuottaman datan analysointia. Analysoinnin jälkeen data tallennetaan lähellä sen keräyspistettä ja tällöin dataa ei tallenneta enää pilvipalveluun. 5G verkon kasvun myötä reunalaskentaa tullaan käyttämään entistä enemmän. Kun yleensä data kerätään eri palvelinkeskuksiin, reunalaskenta vähentää tästä johtuvaa viivettä. Datan siirto ja prosessointi syö myös kaistanleveyttä ja tulevaisuudessa kehityksen jatkuessa tullaan tarvitsemaan hurja määrä lisää kaistanleveyttä, tästä hyvä esimerkki seuraavassa. Yritykset ovat keränneet dataa jo vuosikymmeniä mutta viime vuosina datan keräämisen määrä on noussut erittäin paljon. Kirjassa *Datatiede* (Terra Cognita 2021) Dublinin teknillisen korkeakoulun tietojenkäsittelytieteen professori John D. Kelleher ja lehtori Brendan Tierney kirjoittavat, että vuoden 2013 jälkeen on tuotettu ja tallennettu informaatiota viiden eksatavun (eksatavu = 10^{18}) verran, joka päivä. Yksi iso datan lähde ovat verkkoon liitetyt IoT-laitteet, joiden määrän ennustetaan ylittävän 16 miljardia vuonna 2025 tutkimusyhtiö Statistan mukaan. (Ite Wiki, 2021). Reunalaskennalla saavutetaan datan analysoinnin nopeus. Mitä lähempänä loppukäyttäjää analysointi tapahtuu, saa käyttäjä tiedon luonnollisesti nopeammin saataville, kun se ei käy analysoitavana palvelinkeskuksessa. Reunalaskennan etuna on myös latenssin eli viiveen

vähentäminen. Latenssin minimoiminen esimerkiksi itseohjautuvissa ajoneuvoissa on erittäin tärkeää onnettomuuksien välttämiseksi. Teinit ympäri maailmaa eivät myöskään menetä hermojaan, kun tietokonepelien pelaaminen sujuu. Kustannukset datansiirrossa myös pienenevät.

Käyttökohteita kyseiselle teknologialle on esimerkiksi kodin IoT-laitteiden tuottaman datan analysointi, teollisuuden eri sovellukset ja liikenteen eri sovellukset kuten starshipin robotit. Tekoälyä voidaan käyttää reunalaskentaa käyttävissä laitteissa kuten edellä on mainittu. Tulevaisuudessa liikenteessä tapahtuviin häiriöihin pystytään reagoimaan reaaliajassa reunalaskennan avulla. (Ite wiki, 2024)

IoT-laitteilla tarkoitetaan kaikkien esineiden yhdistämistä internetiin. Kyseiset esineet voivat olla älykelloja, autoja tai kodinelektroniikkaa. Erilaiset anturit lasketaan myös esineiden internettiin, joita löytyy kuljetusroboista. Antureina voivat olla vaikkapa nopeus- tai lämpömittari.

Verkon avulla laitteet voivat jakaa ja vastaanottaa tietoa keskenään. Anturit kykenevät myös keräämään tietoa fyysisestä ympäristöstään. Näiden tietojen perusteella laitteet voivat toimia itsenäisesti tai osana suurempaa järjestelmää. Toisin sanoen, osa laitteista toimii kaksisuuntaisesti. Laitteet eivät pelkästään tuota dataa vaan myös vastaanottavat, käsittelevät ja käyttävät niitä ohjatakseen toimintonsa. Esimerkiksi aktiivisuusranneke voi ilmoittaa käyttäjälle, kun päivän askeltavoite on täytynyt. (Empirica, 2016)

3.5 Sensoriteknologia

Jotta autonomiset ajoneuvot pystyvät liikkumaan muun liikenteen joukossa, täytyy niiden havainnoida mitä ympärillä tapahtuu. Erilaisilla sensoreilla ajoneuvot saavat tietoa ympäristöstään. Yleisimpiä sensoreita ovat kamerat, laserkeilaimet, GPS järjestelmät ja radiotaajuus- sekä ultraäänietäisyystutkat. Sensorit tuottavat suuren määrän tarkkaa dataa ympäriltään, kun tätä tietoa jaetaan verkon ylitse, voidaan dataa käyttää paikkatiedon automaattiseen päivitykseen. Voidaan siis periaatteessa sanoa, että jokaisesta autonomisesta

kulkuneuvosta tulee tarkkuusmittalaite ja tällöin voidaan ajoneuvon kuljettamisen lisäksi hankkia paikkatietoa.

Sensoreita on helppo verrata ihmisten aisteihin. Kun käytämme kaikkia aisteja, pystymme havainnoimaan erittäin hyvin mitä ympärillämme tapahtuu. Jos poistat jonkun aistin pois käytöstä, esimerkiksi laitat silmät kiinni, tulee ympäristösi havaitsemisesta huomattavasti hankalampaa. Tästä pystyykin päättämään, että mitä enemmän erilaisia sensoreita on käytössä, sitä helpompaa autonomisen kulkuneuvon toiminta on. Matemaattisestikin autonomisen kulkuneuvon on helpompi luoda luotettava kuva ympäristöstään, kun käytössä on monia sensoreita, jotka mittailevat ympäristön fysikaalisia suureita ja täydentävät toisiaan erilaisilla mittaustavoilla. (Maanmittauslaitos, 2021)

Ensimmäinen kamera, mitä autoihin on laitettu, on ollut peruutuskamera. Toyota asensi useampiin malleihinsa peruutuskameran vuonna 1991. Kamera on myös ensimmäinen ja täten myös vanhin sensori mitä kulkuneuvoissa on käytetty. Kamera toimii myös samanlaisesti kuin silmämme, koska se on kaikkein vaistonvarainen sensori. Peruutuskamera tuli nopeasti muidenkin automerkkien autoihin ja siitä tuli käytännössä normivaruste. 2010 luvulla kameroiden kehittyessä, alettiin niitä käyttää niin kutsutuissa kaistavahdeissa missä eri kameroita käyttäen auto pitää itsensä omalla kaistallaan. Nykyään kameroita on lähes jokaisessa automallissa ja niiden avulla kuljettaja-avustein ajaminen ADAS (eng. Advanced Driver-Assistance Systems) on arkipäivää.

Kameroilla on monia hyötyjä miksi niitä kannattaa käyttää autonomisissa kulkuneuvoissa. Ensinnäkin ne ovat ihmissilmämme kaltaisia ja ne pystyvät havaitsemaan muotoja, värejä ja tätä kautta ne pystyvät havaitsemaan erilaisia esineitä saatujen tietojen perusteella. Kameroiden avulla autonomiset kulkuneuvot pystyvät ajamaan hyvin samankaltaisesti kuten ihmisetkin. Kamerate pystyvät lukemaan 2D muotoja, koska ne lukevat kuvia. Kamerate ovat ainoita sensoreita, jotka pystyvät lukemaan 2D muotoja, jolloin tiemerkin-
töjen lukeminen on erittäin suuressa roolissa autonomisen kulkuneuvon kulke-
misen kannalta. Nykyään kameroiden kehittyessä etenkin resoluution osalta, helpottuu vanhojen kuluneiden tiemerkin-
töjen ja muotojen havaitseminen. Mo-
niin kameroihin on myös asennettuna infrapunavalot, jolloin pimeällä ajaminen-
kin onnistuu vaivatta. Kamerate ovat myös suhteellisen halpoja verrattuna

muihin sensoreihin. Kustannusten ansiosta monet autonvalmistajat pystyivät tuomaan ajoavusteita keski- ja matalan hintaluokan autoihinsa. Kameroiden huonona puolena on taas huonot sääolosuhteet. Kun ulkona sataa lunta tai vettä, voivat kameranlinssit peittyä ja tällöin niillä ei ole enää käyttöä ja kulkuneuvo ei voi enää turvallisesti liikkua.

Tutkat keksittiin toisessa maailmansodassa, jotta vihollisen lentokoneita ja laivoja pystyttiin havaitsemaan kaukaiselta etäisyydeltä. Tutkat toimivat käytännössä seuraavanlaisesti. Tutkateknologia voidaan jakaa lähettiin ja vastaanottoon. Lähetin lähettää radioaaltoja kohdistettuun suuntaan. Nämä radioaallot heijastuvat, kun ne saavuttavat merkittävän kohteen. Vastaanotin poimii nämä heijastuneet aallot ja analysoi ne tunnistukseksi kohteen sijainnin, nopeuden ja suunnan. Nykyään tutkat ovat yleisessä käytössä juuri lentoliikenteessä ja merenkulussa, missä seurataan tutkien avulla koneiden ja laivojen nopeutta, asemaa ja suuntaa. Ne ovat myös yleistymässä tieliikenteessä, kun autonomiset kulkuneuvot yleistyvät.

Tutkien hyvänä puolena on niiden toimivuus kaikilla sääolosuhteilla. Kun kamerat häiriintyvät vesi ja lumisateella, pystytään tutkia käyttämällä kaikissa sääolosuhteissa. Radioaallot eivät ole riippuvaisia näkyvyydestä, valaistuksesta tai melusta. Tutkia käytetään myös hätäjarrujen pääsensorina. Syynä tähän on tutkan ominaisuus havaita sitä kohti tulevia esineitä tai muita liikkuvia ajoneuvoja. Tutkien huonona puolena on niiden heikko esineiden tunnistettavuus. Radioaallot kyllä löytävät esineitä ja pystyvät määrittelemään niiden nopeuden, mutta ne eivät pysty luomaan tarkkaa kuvaa. Esimerkiksi tutka ei pysty havaitsemaan polkupyörää moottoripyörästä. Kuten huomataan kamerat auttavat tutkien heikkouksissa ja tutkat kameroiden. Tämän takia molempia sensoreita asennetaan autonomisiin kulkuneuvoihin.

LiDAR eli laserkeilaimet toimivat hyvin samalla tapaa kuin tutkatkin. Kun tutkat lähettävät radioaaltoja, jotka heijastuvat ympärillä olevista kohteista takaisin. Laserkeilaimet taas lähettävät näkymättömiä lasersäteitä ympäristöönsä, jotka heijastuvat takaisin kohteeseensa. Tietokone laskee kuinka kaukana ympärillä olevat esineet ovat vertaamalla valonnopeutta ja lasersäteen heijastusta takaisin ajoneuvoon, ja tämän jälkeen ajoneuvo saa tiedon, kuinka kaukana jokin kohde on.

LiDAR tutkien hyvänä puolena on niiden erittäin suuri tarkkuus. Tutkat pystyvät lähettämään lasersäteitä yli sadan metrin päähän ja se pystyy laskemaan esineiden sijainnin kahden senttimetrin tarkkuudella. Kun kamerat olivat loistavia havaitsemaan 2D kuvia, LiDAR tutkat pystyvät luomaan 3D kuvan sen ympäristöstä. Tämä johtuu niiden kyvystä lähettää monia säteitä niiden tarkkuuden takia. LiDAR tutkat ovat myös loistavia normaalien tutkien tapaan, koska sääolosuhteet eivät vaikuta niiden käyttöön millään tavalla. LiDAR tutkien huonona puolena on niiden tarvitsema laskentakapasiteetti tietokoneelta. Laserkeilaimet lähettävät ja saavat paljon enemmän tietoa, jotta ne pystyvät luomaan 3D kuvan ympäristöstä. Kun vielä autonomiset kulkuneuvot käyttävät reunalaskentaa, alkaa tietokonekapasiteetti olemaan koetuksella. Tällöin järjestelmä on altis vioille ja ohjelmistohäiriöille. Suuren tietokonekapasiteetin takia LiDAR tutkat ovat erittäin kalliita.

Autonomiset kulkuneuvot käyttävät myös GPS paikannusta. Yhdysvaltojen kehittämä 24 satelliitin radio navigaatio järjestelmä antaa käyttäjälle paikka- ja aikatietoa. Autonomiset kulkuneuvot käyttävät GPS signaalia määrittääkseen niiden fyysisen sijainnin avoimessa tilassa numeraalisesti pituus- ja leveyspiirien mukaan. Saatuja pituus- ja leveyspiiri tietoja voidaan myös yhdistää reaaliaikaisesti johonkin digitaaliseen karttapalveluun kuten vaikkapa Google Mapsiin. GPS signaali ei ole maailman tarkin sillä heittoa voi tulla jopa viisi metriä. Tästä syystä autonomiset kulkuneuvot voivat käyttää niin sanottua partikkelisuodatusta, jolla kulkuneuvo saa erittäin tarkkaa tietoa missä se sijaitsee. (Sillanpää, 2022, s. 13–16; Autocrypt, 2021; Udacity, 2021)

4 TIETOA YRITYKSESTÄ STARSHIP TECHNOLOGIES

4.1 Yritys esittely

Vuonna 2014 perustettu yritys valmistaa autonomisia kuljetusrobotteja, joilla kuljetetaan päivittäistavarakauppojen tuotteita, paketteja ja ruoka tilauksia. Yrityksen ovat perustaneet Skypen perustajat, tanskalainen Janus Friis ja virolainen Ahti Heinla. Starshipillä on nykyään robotteja yli 60 paikassa ympäri maailman ja ne tekevät kymmeniä tuhansia kuljetuksia päivittäin. Yrityksen roboteilla on kuljetettu tämän vuoden (2024) helmikuussa jo yli kuusi miljoonaa kertaa ruoka tilauksia, paketteja ja päivittäistavarakauppojen tuotteita. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Yhdysvalloissa San Franciscossa ja sillä on myös kaksi suunnittelu konttoria Virossa ja Suomessa. Yritykseltä löytyy myös tiloja Isosta-Britanniasta Lontoon ja Milton Keynesin kaupungeista (Starship, 2024.)

4.2 Tietoa roboteista

Starshipin robotit näkyvät hyvin katukuvassa oranssilla lipulla, tarrasilmillä ja vilkkuvalla valolla varusteltuna. Ovathan ne myös verrattain uusi ilmentys katukuvassa, joka saa päät kääntymään. Vuosien suunnittelun tuloksena robotit ovat saaneet puhtaan valkoisen ulkonäön, ja niistä on tullut hyvin kehittyneitä itse itseään ohjaavia laitteita. Robotit kuljettavat päivittäistavarakauppojen tuotteita, ruoka tilauksia ja paketteja lyhyillä matkoilla. Robotin tavaratilaan mahtuu noin kolmen ruokakassin verran tavaraa.

Robotit ovat erittäin älykkäitä navigoimaan ja kulkemaan turvallisesti. Robotit ovat varustettu monella sarjalla erilaisia sensoreita ja antureita, joiden lisäksi robotissa on 12 eri kameraa, joilla robotti näkee mihin se on menossa. Robotit kulkevat reipasta kävelyvauhtia eli noin 6,5 km/h ja jo vauhtinsakin puolesta ne ovat erittäin turvallisia. Näillä sisäänrakennetuilla ominaisuuksilla pystyy robotti ohjaamaan itsensä ympäri erilaisten esteiden ja ihmisten, joita se saattaa kohdata kuljettaessaan tavaroita. Robotit myös pysähtyvät ennen suojatietä, jos ne havaitsevat esimerkiksi auton lähestyvän.

Robotit ovat akkukäyttöisiä ja yhdellä latauksella ne pystyvät yleensä operoimaan yhden päivän ajan. Monissa tapauksissa rajoittavana tekijänä on asiakaskysyntä. Kuinka monta tilausta ihmiset tekevät robotille päivän aikana hoidettavaksi, ei niinkään akunkesto. Mutta vaikka suurta kysyntää olisi tiettyinä päivinä, pystyy robotti ajamaan useita kymmeniä kilometrejä latausten välillä. Sähkökäyttöisinä robotit ovat ympäristöystävällisiä ja samalla myös hyvin energia tehokkaita. (Kovalenko, 2024)

Robottien turvallisuuteen on kiinnitetty paljon huomiota. Robotit ovat suhteellisen painavia johtuen niiden akuista, joten niiden nostaminen tai heittäminen on erittäin vaikeaa. Robotit ovat myös varustettu kovaäänisellä hälytysäänellä, jos joku yrittää niitä nostaa tai tehdä jotakin muuta ilkivaltaa. Roboteissa on myös GPS järjestelmä, jolla pystytään selvittämään tarkasti robotin sijainti. Kun kuljetettavat tavarat on laitettu robotin sisälle, menee kansi automaattisesti lukkoon, jolloin kukaan ulkopuolinen ei pysty sitä avaamaan. Tavaroiden tilaaja pystyy seuraamaan robotin liikkeitä omalta puhelimeltaan ja kuljetuksen saapuessa määränpäähensä, pystyy vain tilauksen tehnyt henkilö avaamaan robotin kannen. (Starship, 2024)



Kuva 2. Starship Kuljetusrobotteja (Wisconsin Life, 2021).

4.3 Robotin toiminta

Lähdetään tarkastelemaan robotin toimintaa käytännössä. Tilaamme vaikkapa ruokaa S-ryhmän kaupasta. Ruuan tilaaja avaa ensin S-kaupat sovelluksen. Tämän jälkeen tilaaja kirjoittaa kotiosoitteensa ja valitsee robokuljetuksen. Sovellus ehdottaa kuljetuspistettä ja tilaaja hyväksyy tämän tai muuttaa sitä. Kuljetuspiste määräytyy lähimmän kevyenliikenteenväylän mukaan, sillä robotit eivät pysty vielä ajamaan autoteiden reunassa. Tämän jälkeen tilaaja valitsee haluamansa tuotteet ja lisää ne ostoskoriin. S-kaupan sovelluksella pystyy tilaamaan noin kaksi ruokakassillista tavaraa. Kun tilaaja on valmis, lähettää hän tilauksen. Kun työntekijät ovat saaneet tuotteet kerättyä ja laitettua robotin kyytiin, voi tilaaja katsoa sovelluksen kartasta missä robotti liikkuu. Kun robotti saapuu perille kuljetuspisteeseen, tulee sovellukseen tästä ilmoitus. Tilaaja voi avata robotin luukun sovelluksella tai saamallaan SMS seurantalinkillä. Kun tilaus on toimitettu, palaa robotti kulkemaansa reittiä takaisin lähtöpisteeseen. (S-kaupat, nd)

Tilaajalle robottien käyttö on erittäin vaivatonta ja helppoa. Robotti joutuu tekemään kuitenkin valtavasti töitä, jotta se löytää tilaajan luokse. Starshipin kuljetusrobotti toimii erittäin samalla tavalla kuin Googlen Waymo autot. Voimme siis tarkastella kuljetusrobottien toimintaa avaamalla Waymo autojen toimintaa.

Jotta Waymo auto pystyy ajamaan tietyn kaupungin kaduilla, täytyy kyseisen kaupungin kartta ladata auton tietokoneelle. Samalla tapaa täytyy tehdä Starshipin roboteille. Samalla roboteille määritellään alue missä ne voivat toimia. Joissakin Suomen kaupungeissa täytyy robotin aluetta rajata, koska kevyenliikenteen väylät puuttuvat.

Kun robotti on lastattu ja kansi on laitettu kiinni, alkaa se navigoimaan kohti sille annettua määränpäättä. Robotin akusta annetaan virtaa pienille sähkömoottoreille, jotka pyörittävät kuutta pyörää ja tällä tavalla robotti pystyy liikkumaan. Robotin 12 kameraa yhdistettynä LiDAR tutkalla ja normaalilla tutkalla alkavat havainnoida sen ympäristöä, jotta se pysyy oikealla reitillä ja pääsee turvallisesti perille. Matkan varrella tulee kuitenkin muutamia esteitä. Miten robotti selviytyy näistä esteistä?

Robotti saapuu risteykseen missä on liikennevalot. Robotti tunnistaa eri sensoreilla kyseessä olevan liikennevaloilla varustettu risteys. Robotti tunnistaa kameralla valon olevan punainen. Robotti on ohjelmoitu siten, että se tietää punaisen valon tarkoittavan pysähtymistä. Kun liikennevalojen väri vaihtuu vihreäksi, robotti tunnistaa tämän ja lähtee jatkamaan matkaa.

Robotti kulkee liikennevalojen jälkeen tyytyväisesti pyörätien oikealla reunalla, kunnes eteen tulee valokuitu työmaa. Robotti tunnistaa työmaaidan edessään ja jälleen sensoreita hyödyntäen se osaa väistää työmaaidan tai se etsii vaihtoehtoisen reitin. Joskus kuljetusreitin varrella voi olla suurempi tietyö, jolloin koko tie voi olla poikki. Tällöin robotteja voidaan ohjata etäyhteydellä vaihtoehtoiselle reitille, josta ne osaavat jatkaa matkaansa. Robotit kuitenkin liikkuvat lähes 99 % ajastaan itsekseen.

Ennen määränpäättä robotin täytyy ylittää tie suojatietä käyttämällä. Robotti lähestyy risteystä ja on alkamassa kääntymään kohti suojatietä, kunnes se pysähtyy paikoilleen. Robotti on juuri havainnut pyöräilijän lähestyvän sitä ja laskenut, että se lähtee ohittamaan tätä. Kun robotti havaitsee pyöräilijän ohittaneen tämän, jatkaa se kohti suojatietä. Suojatien reunaan päästyään havaitsee se auton lähestyvän ja samalla tapaa, kun pyöräilijän havaittuaan se pysähtyy tien reunaan. Autoilija kuitenkin pysähtyy ennen suojatietä päästääkseen koululaisia ylittämään tien. Robotti havaitsee ihmisten ylittävän tietä ja tämän takia lähtee se itsekin ylittämään tietä, samalla väistäen koululaisia, jotka uteliaisuuttaan kävelevät sitä kohti. (Kovalenko, 2024; Waymo, nd; Starship Technologies, 2022; Starship Technologies, 2024)

5 POHJOISEN ILMASTON HAASTEET

5.1 Pohjoismaiset sääolosuhteet

Jotta robotit pystyvät toimimaan pohjoismaissa tulee niiden kestää erilaisia sääolosuhteita. Tarkastellaan hieman, minkälaisia sääolosuhteita robotit tulevat kohtaamaan pohjoismaissa ja etenkin Suomessa operoidessaan.

Suomi sijaitsee maapallolla pohjoisella pallonpuoliskolla. Suomi on käytännössä Hankoa lukuun ottamatta 60 asteen leveyspiirin pohjoisella puolella, mikä tarkoittaa sitä, että Suomessa vallitsee neljä vuodenaikaa. Kevät, kesä, syksy ja talvi. Tämä asettaa monia vaatimuksia kuljetusroboteille, jotta ne pystyvät operoimaan Suomessa. Kun kesällä elohopea voi hätyyttellä jopa 30 astetta, talvella lämpötila voi laskea hyvinkin -30 asteeseen. Materiaalit, joita roboteissa käytetään, täytyy niiden kestää lämpötilojen vaihtelu. Syksyllä sataa paljon vettä, jonka takia robottien pitää olla vesitiiviitä, jotta niiden sisältämä elektroniikka ei vaurioidu. Talvi onkin kaikkein haastavin vuodenaika roboteille, koska maa on jäässä ja lumessa. Talvella operoidessa täytyy ottaa huomioon myös vähäinen auringonvalo. Tiivistetysti robottien tulee operoida hyvin erilaisissa sääolosuhteissa. (Ilmatieteenlaitos, nd; Luontoon.fi, nd)

5.2 Ympärivuotinen operointi

Mitä ratkaisuja Starship Technologies on tehnyt roboteille, jotta ne pystyvät operoimaan pohjoismaisissa sääolosuhteissa? Tässä kappaleessa otetaan asiasta selvää.

Robotit ovat valmistettu muovista ja täten ne kestävät hyvin vettä. Robotin saumakohtiin on asennettu kumitiivisteet, jotta ne kestävät kosteutta eikä niiden elektroniikka pääse vaurioitumaan. Robotit toimivat täysin moitteettomasti vesisateessa ja yleensä robottikuljetusten määrä nousee myös huonolla säällä, koska ihmiset eivät halua lähteä kauppaan. Jos sääolosuhteet ovat erittäin rajut, rajoittaa tämä tietenkin robottien käyttöä. Kovalla vesisateella esimerkiksi alikulkutunnelit voivat täyttyä vedestä ja myrskysäällä on viisasta ottaa robotit pois käytöstä.

Talvella operointi tuottaa eniten haasteita roboteille. Teillä on lumikasoja, tien pinta on liukas, joskus sataa lunta ja talvella maisema on hyvin erilainen kuin kesällä. Robotit jäävät aina silloin tällöin lumeen jumiin. Yleensä ohikulkijat auttavat lumeen jumiin jääneitä robotteja, kun huomaavat robotin penkassa. Tästä syystä Starship on asentanut kaiuttimen robotteihin, jolloin ne pyytävät apua ja avun saatuaan sanovat kiitos, kun ohikulkija auttaa sen pois

lumipenkasta. Tällä tavalla vaikutetaan myös positiivisesti robottien olemassaoloon ja siihen, että jatkossakin ohikulkijat auttaisivat niitä, jos ne ovat jääneet jumiin. Kun robotit liikkuvat lumessa, täytyy niiden olla paljon älykkäämpiä kuin robotit, jotka operoivat kesäisissä olosuhteissa. Starship onkin asentanut robotteihin yhdeksän anturia, jotka tunnistavat esteitä, jotta ne pystyvät väistämään lumikasoja. Robotteihin on asennettu myös talvirenkaat paremman pidon ja kääntösäteen saavuttamiseksi. Robotteihin on myös kehitelty juuri pohjoihin olosuhteisiin tarkoitettu lumijärjestelmä. Lumijärjestelmässä robotti saa suuremman pito- ja vetovoiman nostamalla sen keskimmäiset pyörät ylös. Robotit kartoittavat lumisen reitin leveyttä ja tätä kautta ne pystyvät operoimaan kapeammalla reitillä. Robotteihin on ohjelmoitu myös ominaisuuksia, joiden avulla ne havaitsevat paremmin lumeen juuttumisen. Niille on myös ohjelmoitu uusia liikeratoja lumesta pois pääsemiseksi. Robotit keräävät myös jatkuvasti suuren määrän dataa, jota hyödyntämällä ne oppivat koko ajan tehokkaampia tapoja liikkua lumessa. Kaikkia haasteita mitä talvella operoimisesta koituu ei ole saatu ratkaistua. Yksi on esimerkiksi lumisateella kameroiden näkökentän peittyminen. (Starship Technologies, 2024; Uusiteknologia, 2024; STT info, 2024)



Kuva 3. Kuljetusrobotin "lumitila" (STT info, 2024).

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä käytetään laadullista tutkimusta. Opinnäytetyön tarkoituksena on ollut selvittää autonomisten kuljetusrobottien toimintaa pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Laadullisella tutkimuksella on kerätty tietoa, jolla on pyritty kuvaamaan kuljetusrobottien toimintaa. Tutkimuksen menetelmänä on käytetty henkilöhaastattelua. (SurveyMonkey, nd)

Tutkimus on laadullinen, koska sillä on pyritty selvittämään tämänhetkistä tilannetta. Tutkimuksessa ei ole otettu kantaa siihen tulevatko kyseiset kuljetusrobotit yleistymään pohjoismaissa. Opinnäytetyön alussa määriteltiin tutkimuksen käsittelevän pohjoismaista vain Suomea ja Satakunnan maakuntaa. Rajaus tehtiin, koska kyseisiä kuljetusrobotteja käytetään kyseisellä alueella ja alueen sääolosuhteet kuvaavat hyvin pohjoismaisia sääolosuhteita. Tutkimuksessa ei vertailla kahden eri valmistajan robotteja ja vertailla näiden paremmuutta. Neutraalius on yksi laadullisen tutkimuksen kriteereistä. (Koppa, nd)

Tutkimuksessa on haastateltu kuljetusrobotteja valmistavan Starship Technologiesin Senior Software Engineer Dmitri Kovalenkoa, joka työskentelee kuljetusrobottien kehittämiseen perustetussa organisaatiossa. Tämän haastattelun avulla on saatu parempi kuva kuljetusrobottien toiminnasta. Haastattelulla on pyritty vahvistamaan internetistä haettujen tietojen todenperäisyys.

6.1 Tutkimusmetodologia

Opinnäytetyössä haastattelu suoritetaan käyttäen avointa ja puolistrukturoitua haastattelua. Avoimessa haastattelussa keskustelua ei ole rajattu mihinkään tiukkaan formaattiin. Avoin haastattelu muistuttaa paljon normaalia keskustelua kahden ihmisen välillä. Keskustelun etenemistä ei ole mitenkään jäsennetty ja se etenee tietyn aihepiirin sisällä vapaasti. Haastattelutyypissä on toki tarkoitus puhua etukäteen haastattelijan pohtimista aiheista.

Puolistrukturoidussa haastattelussa kysymykset ovat valmiiksi laadittuja. Vastausvaihtoehtoja ei ole kuitenkaan annettu valmiiksi haastateltavalle. Kysymyksiin vastaajalle on näin annettu vapaat kädet vastauksien suhteen. Tällöin saadaan mahdollisesti uusia näkökulmia haastattelijalta tai haastateltavalta. (fsd.tuni, nd)

7 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Satakunnan ammattikorkeakoulu. Heiltä tuli pyyntö asian suhteen. Tarkoituksena oli tarkastella autonomisten kuljetusrobottien toimintaa pohjoismaisissa sääolosuhteissa.

Tutkimus kysymys 1: Miten ulkona liikkuvat autonomiset kuljetusrobotit toimivat pohjoismaisissa sääolosuhteissa?

Pohjoismaiset sääolosuhteet ovat hyvin ankarat ja vaihtelevat. Johtuen pohjoismaiden sijainnista maapallolla, koetaan niissä neljä vuodenaikaa. Vuodenaikojen vaihtelu on myös erittäin voimakasta johtuen maapallon kallistuskulmasta, jonka takia talvet ovat pimeitä ja kylmiä ja kesät ovat taas valoisia ja lämpimiä. Vuodenaikojen sisälläkin havaitaan suuria olosuhteiden eroja, kun keuhällä jonain päivänä voi sataa vettä ja olla 12 astetta lämmintä, seuraavana päivänä voi taas aurinko paistaa pilvettömältä taivaalta ja lämpötilan olevan 24 astetta. Tällöin ulkona liikkuvilta ajoneuvoilta vaaditaan monia eri ominaisuuksia toimiakseen.

Starship Technologiesin robottien perustana onkin ollut niiden toimivuus ulkoilmassa. Kun tavoitteena on ollut päivittäistavarakauppojen tuotteiden kuljettaminen ihmisten koteihin, täytyy kuljetusrobottien pystyä toimimaan ulkoilmassa. Robotteja suunnitellessa on otettu huomioon ilmaston tuomia haasteita ja miten ne pystyvät toimimaan kovissakin sääolosuhteissa. Kuljetusrobotit ovat verrattain uusi keksintö ja niiden käyttäminen Suomessa antaa hyvää dataa Starshipille, miten kuljetusrobotit toimivat pohjoismaisissa

sääolosuhteissa. Ensimmäiset kuljetusrobotit otettiin käyttöön Espoossa HOK-Elannon toimesta vuonna 2022 ja samaisena kesänä ne yleistyivät pääkaupunkiseudulla. Talvella 2022–23 kuljetusrobotit eivät toimineetkaan aivan moitteettomasti sillä ne jäivät useasti jumiin lumihankeen tai ne eivät päässet lumesta liukkaita mäkiä ylös. Tämän takia Starship perusti työryhmän parantamaan kuljetusrobottien toimintaa talvisissa olosuhteissa.

Vaikka kuljetusrobottien ensimmäinen talvi oli haasteellinen ovat ne toimineet muuten aivan moitteettomasti pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Talvella 2023–24 kuljetusrobotit toimivat ensimmäistä kertaa pohjoisempana kuin koskaan aiemmin, kun Osuuskauppa Arina otti käyttöön robotit Oulussa. Ainut rajoittava tekijä kuljetusroboteilla on niiden akunkesto kovilla pakkasilla. Muuten kuljetusrobotit toimivat täysin moitteetta vesi- ja lumisateessa, auringonpaisteessa, kovassa tuulessa, pimeässä ja valoisalla. Voidaan siis todeta, että kuljetusrobotit toimivat erittäin hyvin pohjoismaisissa sääolosuhteissa, kun tarkastellaan niiden tekemiä kuljetuksia Suomessa viime vuosina.

Tutkimuskysymys 2: Millaisia haasteita pohjoismaiden sääolosuhteet aiheuttavat ulkona liikkuville autonomisille kuljetusroboteille ja miten ne voitaisiin ratkaista?

Kuljetusrobotit kohtaavat monia erilaisia sääolosuhteita ympärivuoden ope-roidessaan pohjoismaissa. Auringonpaistetta, vesisadetta, lumisadetta jne. Suurimpina haasteina kuljetusroboteille voidaan pitää kovia pakkasia ja lumisateita. Kuljetusrobottien akut ovat suunniteltu kestäämään -20 asteen pakkasia ja kovemmissa pakkasissa suositellaan niiden käytön lopettamista. Kovissa lumisateissa kuljetusrobotin kamerat voivat peittyä lumesta, jolloin robotin kaikki ”aistit” eivät ole käytössä ja se voi jäädä helposti jumiin lumihankeen.

Suurimmat haasteet kuljetusroboteille ovat siis talvisissa olosuhteissa. Starship Technologies perustikin työryhmän paneutumaan talvisissa olosuhteissa havaittuihin ongelmiin ja keksimään ratkaisuja, millä robottien toimintaa pystyttäisiin parantamaan näissä olosuhteissa. Työryhmä asensi kuljetusroboteihin yhdeksän anturia, jotka pystyvät tunnistamaan esteitä paremmin ja tätä kautta robotit kiertävät havaitsemansa lumikasat. Työryhmä havaitsi kuljetusrobottien jäävän useasti sutimaan paikoilleen, kun ne jäivät

esimerkiksi pohjastaan kiinni lumeen. Kuljetusroboteihin tarvittiin siis lisää pitoa. Pidon saamiseksi työryhmä päätti asentaa robottiin talvirenkaat, joiden profiili on paljon enemmän pitoa antava. Kuljetusroboteihin lanseerattiin myös niin kutsuttu ”lumitila”, jossa robotin kuudesta pyörästä kaksi keskimmäistä nousevat ylös, antaen robotille enemmän pitoa päästäkseen pois lumihangesta. Kuljetusrobottien tietokoneohjelmistoa päivitettiin myös. Robotit kartoittavat lumisen reitin leveyttä ja tätä kautta ne pystyvät liikkumaan kapeammalla reitillä. Samalla niille opetettiin uusia liikeratoja, miten lumihangesta pääsee pois.

Kuljetusrobotit keräävät koko ajan dataa, jota hyödyntämällä ne oppivat liikkumaan entistä tehokkaammin. Kun kyseistä dataa osataan hyödyntää oikein, oppivat robotit ajamaan talvisessa säässä varmasti paremmin. Kehittääkseen robottien talvisessa säässä operointia, voisi akun kestoa parantaa siten, että roboteilla pystyisi ajamaan -30 asteen pakkasilla. Jotta tuollaisilla pakkasilla pystyttäisiin operoimaan, katsoisin akun lämmöneristyksen suuntaan. Olisiko paremmalla lämmöneristyksellä saavutettavissa erittäin kovilla pakkasilla operointi? Tämä voisi myös parantaa akunkestoa lämpimämällä säällä, kun akku olisi optimi lämpötilassa nopeammin. Talvirenkaiden kokoa voisi kasvattaa myös leveyssuunnassa, jolloin kontaktipinta on suurempi ja sitä myötä kitka. Tällöin robotin mahdollinen jumiin jääminen lumihangkeen pienenisi.

Kaiken kaikkiaan autonomiset kuljetusrobotit ovat osoittaneet niiden toimivuuden pohjoismaisissa sääolosuhteissa. Ne ovat kuljettaneet satojatuhansia ruokakuljetuksia ympäri Suomen viime vuosien aikana. Uusien parannusten myötä monet kauppiaat varmasti katsovat olisiko niistä hyötyä heidän kaupalleen. Teknologian kehittymisen myötä kyseisiä robotteja alkaa näkymään katukuvassa varmasti entistä enemmän.

LÄHTEET

Keula. (3.5.2023). S-ryhmä ja Starship Technologies aloittavat robokuljetukset myös Raumalla. Haettu 14.2.2024 osoitteesta <https://keula.fi/news/s-ryhma-ja-starship-technologies-aloittavat-robokuljetukset-mynos-raumalla/>

DHL. (8.2.2022). Outdoor Autonomous Vehicles. Haettu 14.2.2024 osoitteesta <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/trend-reports/autonomous-vehicles-logistics.html>

ZF Friedrichshafen AG. (14.2.2024). Autonomous Driving: The Steps to Self-Driving Vehicles. Haettu 14.2.2024 osoitteesta https://www.zf.com/mobile/en/technologies/autonomous_driving/stories/6_levels_of_automated_driving.html

SAE International. (3.5.2021). [Autonomisten ajoneuvojen kuusi eri tasoa]. SAE. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>

MIT Technology Review. (15.2.2019). Self-driving cars take the wheel. Haettu 7.3.2024 osoitteesta <https://www.technologyreview.com/2019/02/15/137381/self-driving-cars-take-the-wheel/>

Wired. (9.9.2021). The WIRED Guide to Self-Driving Cars. Haettu 7.3.2024 osoitteesta <https://www.wired.com/story/guide-self-driving-cars/>

Forbes. (23.1.2024). What Are Self-Driving Cars? The Technology Explained. Haettu 7.3.2024 osoitteesta <https://www.forbes.com/sites/technology/article/self-driving-cars/>

Starship. (27.2.2024). The global leader in autonomous delivery. Haettu 27.2.2024 osoitteesta <https://www.starship.xyz/company/>

Starship. (27.2.2024). Starship Robots – Your Local, Community Helpers. Haettu 27.2.2024 osoitteesta <https://www.starship.xyz/the-starship-robot/>

Kovalenko, D. (11.6.2024). Senior Software Engineer, Dmitri Kovalenko, Teams haastattelu

FinnishUp. (16.10.2023). Mitä on koneoppiminen? Haettu 25.4.2024 osoitteesta <https://www.finnishup.com/mita-on-koneoppiminen/>

Ite Wiki. (25.4.2024). Reunalaskenta. Haettu 25.4.2024 osoitteesta <https://www.itewiki.fi/opas/reunalaskenta/>

Empirica. (1.1.2016). Mikä on IoT? - Esineiden internet yksinkertaisesti selitetynä. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.empirica.fi/iot.html>

Ite Wiki. (17.6.2021). Reunalaskenta ja Edge AI tulevat helpottamaan datan käsittelyä – Tutkijan mukaan innovatiivisilla yrityksillä on nyt loistava sauma osallistua kehitystyöhön. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.itewiki.fi/blog/2021/06/reunalaskenta-ja-edge-ai-tulevat-helpottamaan-datan-kasittelya/>

Maanmittauslaitos. (2021). Autonominen ajaminen. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/autonominen-ajaminen>

Sillanpää, R. (2022). Autonominen liikenteen kehitys ja teknologia [AMK-opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/755293/Sillanpaa_Roope.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Udacity. (3.3.2021). How Self-driving Cars Work: Sensor Systems. Haettu 31.7.2024 osoitteesta <https://www.udacity.com/blog/2021/03/how-self-driving-cars-work-sensor-systems.html>

Autocrypt. (10.8.2021). Camera, Radar and LiDAR: A Comparison of the Three Types of Sensors and Their Limitations. Haettu 31.7.2024 osoitteesta <https://autocrypt.io/camera-radar-lidar-comparison-three-types-of-sensors/>

Wisconsin Life. (20.3.2021). [Starship kuljetsurobotteja]. Wisconsin Life. <https://wisconsinlife.org/story/starships-keep-hungry-uw-madison-students-fed/>

S-kaupat. Robokuljetuksesta usein kysyttyä. Haettu 31.7.2024 osoitteesta <https://www.s-kaupat.fi/tuki/robokuljetuksella-tilaaminen>

Waymo. Waymo driver. Haettu 6.8.2024 osoitteesta <https://waymo.com/waymo-driver/>

Starship Technologies. (30.9.2022). Starship Robots and Road Crossings [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6MUpHBUzvJ4>

Starship Technologies. (7.5.2024). Tähtialusrobotit ja muut jalkakäytävän käyttäjät (äänikuvauksella) [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=EsHGzZ3WtX0>

Starship Technologies. (10.4.2024). Starship Robots in the Finnish Winter (Finnish Subtitles) [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=hUKxLlz0Jwc>

Uusiteknologia.fi. (10.4.2024). Näin kuljetusrobotit selvisivät talvesta – uusia ominaisuuksia. Haettu 6.8.2024 osoitteesta <https://www.uusiteknologia.fi/2024/04/10/nain-kuljetusrobotit-selvisivat-suomen-talvesta-mukaan-uusia-ominaisuuksia/>

STT info. (10.4.2024). Ruuan kuljetusrobottien opit ensimmäisestä talvesta Suomessa. Haettu 6.8.2024 osoitteesta <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70136347/ruuan-kuljetusrobottien-opit-ensimmaisesta-talvesta-suomessa?publisherId=69819409&lang=fi>

Uusiteknologia.fi. (10.4.2024). [Kuljetusrobotin "lumitila"]. Uusiteknologia.fi.
<https://www.uusiteknologia.fi/2024/04/10/nain-kuljetusrobotit-selvisivat-suomen-talvesta-mukaan-uusia-ominaisuuksia/>

SurveyMonkey. Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen erot. Haettu 8.8.2024 osoitteesta <https://fi.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>

Koppa. Tutkimusstrategiat. Haettu 8.8.2024 osoitteesta <https://sites.app.jyu.fi/mehu/fi>

FSD.TUNI. 6.3 Haastattelu. Haettu 8.8.2024 osoitteesta https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3.html

LIITE 1: KOVALENKO HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. So how do your robots generally work?
2. What kind of technology you have on the robots? Cameras, sensors etc.
3. Do your robots use AI?
4. How the robot knows where to go? How does the process go when order is made and then the package is delivered?
5. What kind of solutions have you made to the robots, so they can work during winter or rain?
6. How does the robot keep the groceries warm or cold?
7. Are the robots able to go to residential areas where there is no sidewalks?
8. What's the range of the robots?
9. What's the future for these robots?