

# ÄLYKÄS LIIKENNEOHJAUSJÄRJESTELMÄ

Hannu Kuoksa

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

2022

Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Hannu Kuoksa	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaaja</b>	Ari Karjalainen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Ilmatieteen laitos		
<b>Työn nimi</b>	Älykäs liikenneohjausjärjestelmä		
<b>Sivumäärä</b>	19		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa älykäs liikenneohjausjärjestelmä, joka priorisoi risteysalueelle saapuvan ajoneuvon tehtävän tärkeyden perusteella ja pystyy ohjaamaan liikennettä turvallisesti ja energiatehokkaasti. Järjestelmä suoritetaan toimeksiantona Ilmatieteen laitoksen Sodankylän tutkimuskeskukseen osana Energiatehokkaat menetelmät arktisessa liikenteessä -hanketta. Toimeksiantaja tarjosi tuotteen kehitykseen laitteet sekä testausympäristön Tähtelän-tutkimuskeskuksen käytössä olevalta testiradalta.

Opinnäytetyössä valmistuneen järjestelmän kehityksen aikana perehdyttiin Python-ohjelmointiin, GPS-tiedon käsittelemiseen sekä Arduino-kehitysympäristössä ohjelmoitavaan mikrokontrolleriin. Liikennemerkkiin asennettiin mikrokontrolleri, joka kommunikoi UDP-viestillä langatonta verkkoa käyttäen ajoneuvossa sijaitsevan kannettavan tietokoneen kanssa. Ajoneuvon saapumissuunta tarkistettiin GPS-vastaanottimesta saadusta datasta.

Lopputuloksena syntyi järjestelmä, joka ohjaa automaattisesti risteysalueelta läpi tärkeimmän prioriteetin ajoneuvon katkaisten muun liikenteen etuajo-oikeuden punaisella valolla. Järjestelmän energiatehokkuus toteutettiin käyttämällä liikenteenohjausta suorittavan mikrokontrollerin käyttövirran ladattavasta varavirtalähteestä.

Study Programme in  
Information and Communication  
Technology  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Hannu Kuoksa	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Ari Karjalainen		
<b>Commissioned by</b>	Finnish Meteorological Institute		
<b>Subject of thesis</b>	Intelligent Traffic Control System		
<b>Number of pages</b>	19		

---

The goal of this thesis study was to produce an intelligent traffic control system that prioritizes the vehicle arriving at the intersection according to the importance of the task of the vehicle and thus being able to control the traffic safely and energy-efficiently. The study was commissioned by the Sodankylä research center of the Finnish Meteorological Institute as a part of the Energy-Efficient Methods in Arctic Traffic project.

The commissioner provided the equipment for product development, as well as a testing area from the test track used by the Tähtelä research center. During the development process of the system Python programming, GPS data processing, and the microcontroller programmed in the Arduino development environment were used. A microcontroller was installed in a traffic sign which communicates with a laptop computer located in a vehicle using a UDP message to connect through a wireless network. The direction of the arrival of the vehicle was checked from the data obtained from the GPS receiver in the vehicle.

The result of this thesis study was a system that automatically directs the vehicle with the highest priority through the intersection area, cutting off the right of way from other traffic with a red light. The energy efficiency of the system was realized by using the operating current of the traffic control microcontroller from a rechargeable backup power source.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	7
3 LAITTEISTOARKKITEHTUURI JA ERITYISVAATIMUKSET .....	9
3.1 Liikennemerkki.....	9
3.2 Ajoneuvo.....	10
4 JÄRJESTELMÄN KOKONAISUUS.....	11
4.1 Järjestelmä yleisesti.....	11
4.2 Risteysalue .....	12
4.3 Ajoneuvossa sijaitsevan tietokoneen ohjelma.....	13
4.3.1 GPS-datan vastaanotto ja viestin muodostus.....	13
4.3.2 Verkon etsintä ja viestin lähetys .....	14
4.4 Liikennemerkkin ohjaus .....	15
4.4.1 Langattoman verkon muodostus ja järjestelmän ajo .....	15
4.4.2 Prioriteettiluokan tarkastus .....	15
5 POHDINTA .....	17
LÄHTEET .....	19

## KÄYTETYT LYHENTEET

COM	Communication Port, sarjaportti
GPS	Global Positioning System, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
GPRMC	Recommended Minimum Specific GPS Data, suositeltu vähimmäinen tarkka GPS-data
IDE	Integrated Development Environment, integroitu ohjelmointiympäristö
NMEA	National Marine Electronics Association, merielektronikkalaitteiden järjestö
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
UDP	User Datagram Protocol, yhteydetön tietoliikenneprotokolla
USB	Universal Serial Bus, sarjaväylä oheislaitteiden liittämiseen
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Sodankylässä sijaitseva Ilmatieteen laitoksen Tähtelän tutkimuskeskus. Opinnäytetyön tarkoitus oli toteuttaa tutkimuskeskuksen testiradalle liikenteenohjausjärjestelmä, joka suoritti ajoneuvotestausten aikana etuajo-oikeuden määrittämiseen liittyviä tehtäviä priorisoiden hälytysajoneuvot tärkeimpänä. Työn aikana valmistettiin prototyyppi laitteesta, mitä voidaan tarvittaessa jatkojalostaa toimeksiantajan tarpeiden mukaisesti.

Työ suoritettiin osana Ilmatieteen laitoksen Energiatehokkaat menetelmät arktisessa liikenteessä -hanketta (FMI 2022). Opinnäytetyössä valmistunut tuote vähentää ja optimoi testiradalla liikenteen sujuvuutta käyttämällä älyteknologisia ratkaisuja, joita on käytetty myös Helsingissä turhan punaisissa valoissa odotellun vähentämiseksi (Forum Virium 2022).

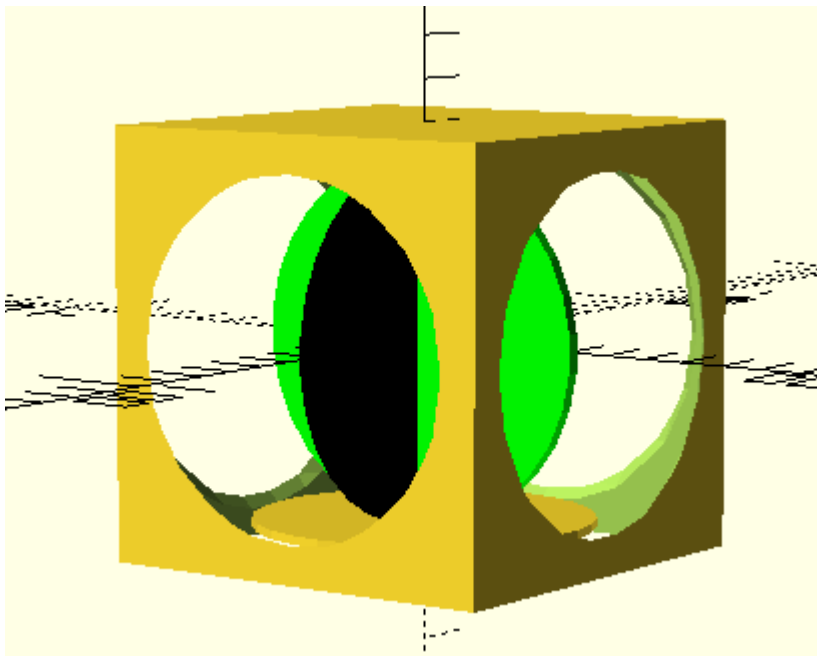
Opinnäytetyössä valmistunut tuote suorittaa liikenteenohjauksen ajoneuvossa sijaitsevan tietokoneen GPS-vastaanottimelta saadun sijaintidatan perusteella. Ajoneuvot priorisoidaan kolmeen tärkeysluokkaan, joista hälytysajoneuvot tärkeimpänä ensin. Seuraavaksi priorisoidaan muut tärkeämpää tehtävää suorittavat ajoneuvot, ja kolmantena loput liikennettä käyttävät. Sijaintidataa vertaillaan liikennemerkkiin etukäteisesti määritettyyn sijaintiin, minkä jälkeen liikennemerkki ohjaa etuajo-oikeuden risteysalueelle saapuvan ajoneuvon sallien läpi, jos prioriteettiarvo on sen mukainen.

Opinnäytetyössä kerrotaan aluksi järjestelmän suunnittelusta sekä esitellään yksityiskohtaisesti molempien projektissa valmistuneen tuotteen hierarkia. Seuraavaksi kerrotaan laitteistoarkkitehtuurista ja erityisvaatimuksista, mitkä vaaditaan järjestelmän toimimiseen. Vaadittavien työmenetelmien esittelyn jälkeen järjestelmän suorittava kokonaisuus käydään läpi yksityiskohtaisesti purkamalla tiedon eteneminen kappaleisiin. Viimeisenä pohdinta osiossa käydään läpi yhteenveto suoritetusta työstä, vaatimusten täyttymisestä ja ajatuksia jatkokehitykseen.

## 2 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Suunnittelun kohteena oli järjestelmä, joka kykenee reagoimaan automaattisesti risteysalueelle saapuvan ajoneuvon tärkeysluokkaan. Ajoneuvo ilmoittaa oman tärkeysluokkansa ja sijaintitietonsa liikenteenohjausjärjestelmälle, joka antaa tarvittaessa etuajo-oikeuden, jos korkeamman tärkeysluokan ajoneuvoa ei ole risteysalueella. Järjestelmä valmistettiin energiatehokkaaksi siten, että liikenteenohjausjärjestelmä saa tarvittavan toimintavirtansa ladattavasta varavirtalähteestä.

Suunnittelun aikana päätettiin, että mikrokontrollerin tulee olla mallia, joka kykenee itsenäisesti ylläpitämään WLAN-verkkoa. Kannettavassa tietokoneessa tarvitaan WLAN-toiminto sekä GPS-datan vastaanottoon ja käsittelyyn tarvittavat ominaisuudet. Liikennemerkkinä toimii 3D-tulostettu pieni kaksivärinen liikenteenohjauskyltti, joka on esitetty kuviossa 1. Järjestelmä toteutettiin siten, että ajoneuvossa on mukana kannettava tietokone. Liikenteenohjauksen suorittaa mikrokontrolleri, joka on ohjelmoitu suorittamaan tasaista etuajo-oikeuden muokausohjelmaa.



Kuvio 1. Liikenteenohjauskyltti

Ajoneuvon tärkeysluokka muodostui ajoneuvon tehtävän tärkeyden perusteella. Ensimmäiseen tärkeysluokkaan kuului hälytystehtävää suorittavat hälytysajoneuvot. Toiseen tärkeysluokkaan kuuluvat raskaskalusto sekä erityisajoneuvot. Kolmanteen eli viimeiseen tärkeysluokkaan luokitellaan loput ajoneuvot. Tärkeysluokkajärjestelmää käytetään vain ajoneuvojen etuajo-oikeuden määrittämiseksi, eikä ota huomioon esimerkiksi jalankulkijoita tai pyöräilijöitä.

Ajoneuvossa olevassa kannettavassa tietokoneessa on kytketty päälle GPS-paikannus, jota käytetään ajoneuvon tulosuunnan määrittämiseksi. GPS-viestistä tallennetaan liikenteenohjausta suorittavalle mikrokontrollerille lähetettävään viestiin pituuspiiri, leveyspiiri, päivämäärän, kellonajan sekä nopeuden arvot. Viestiin lisätään myös prioriteetti-arvo, joka on määritetty etukäteen ajoneuvossa sijaitsevaan kannettavaan tietokoneeseen.

Ajoneuvossa sijaitseva kannettava tietokone ja liikenteenohjausta suorittava mikrokontrolleri keskustelevat keskenään WLAN-yhteyden kautta kulkevan UDP-viestin avulla. Saatuaan viestin järjestelmä antaa komennon servomottoreille ohjata etuajo-oikeuden määrittävän liikennemerkkin tarpeen mukaisesti.

Ajoneuvon tärkeysluokan ollessa korkein mahdollinen, järjestelmä odottaa ennalta määritetyn ajan, eikä päästä mitään muita ajoneuvoja risteysalueelta etenemään. Toiseksi korkeimman tärkeysluokan ollessa korkea arvoisin risteysalueella järjestelmä antaa tälle etuajo-oikeuden samalla tarkastaen korkeamman tärkeysluokan mahdollista saapumista. Kolmannen eli matalimman tärkeysluokan kohdalla järjestelmä suorittaa normaalia tasaista etuajo-oikeuden määrittämishjelmaa.



### 3 LAITTEISTOARKKITEHTUURI JA ERITYISVAATIMUKSET

Järjestelmän toteuttamiseksi tarvittiin langattoman verkon muodostamiseen kykenevä ohjainlauta, jota voidaan käyttää kenttäolosuhteissa varavirtalähteestä saatavalla virralla. Ohjainlaudaksi valittiin Espressif:in valmistama ESP8266, joka täyttää projektin läpivientiin vaadittavat vaatimukset (Espressif 2022). Helpon laiteliitettävyyden, laajan yhteensopivuuden ja langattomien verkko-ominaisuuksien vuoksi ESP8266-ohjainlauta sopii monenlaisiin pienelektronikkaprojekteihin (Nurdspace 2022).

Valmistuvan järjestelmän ollessa kaksiosainen kokonaisuus tarvittiin laitteiden välille kommunikointiväylä. ESP8266-ohjainlauta kykenee rakentamaan WLAN-verkon, jonka kantavuus riittää järjestelmän toiminnan suorittamiseksi. Langattoman verkon kantavuus ja yhteensopivuus muiden tietojärjestelmien välille mahdollistaa kommunikoinnin ajoneuvon ja liikennemerkin välille (Cisco 2022).

Ajoneuvossa sijaitsevassa tietokoneesta vastaanotettiin liikennemerkillä ajoneuville määritetty prioriteetti-arvo ja sijaintidata, joka vastaanotettiin GPS-anturilla. Saapuva sijaintidata muodostuu useasta eri osiosta, joista opinnäytetyössä valmistuvan tuotteen kehityksessä käytetään lausetta GPRMC. GPRMC-lauseesta saadaan sijaintivertailuun ajoneuvon pituus- ja leveyspiiri-arvot, joiden tarkkuus riittää testiradalla määrittämään ajoneuvon tulosuunnan. (Baddeley 2001.)

Liikennemerkki muodostui 3D-tulostetusta kahdella värillä maalatusta taulusta, joka sijoitetaan tolpan kärkeen siten, että merkin näyttämä väri on nähtävissä ajoneuvon hytistä. 3D-tulostusta pystytään käyttämään monipuolisesti jopa avaruuden vaativissa olosuhteissa (Spie 2022). Kyltin värit maalataan kahdella värillä osoittamaan 90 asteen kulmassa risteävään suuntaan eri väriä.

#### 3.1 Liikennemerkki

Järjestelmän valmistamiseksi liikennemerkkiä käsittelevässä ohjelmassa servomoottorien ohjaukseen käytettiin Adafruitin kirjastoa, jolla on mahdollista antaa yksittäiselle servomoottorille ohjaukomentoja valmistusmallista riippumatta (Adafruit 2022). Servomoottorien toimintasäde määritetään ohjelmaan niiden val-

mistajan antamien ohjausarvojen mukaisesti. Tässä työssä liikennemerkkin tarvitsee pystyä kääntymään 90 astetta, joten useimmat matalan budjetin servomootorit ovat tältä ominaisuudelta riittäviä.

Liikennemerkissä sijaitseva ohjainlauta on myös vastuussa langattoman verkon muodostamisesta. Nopean ja monikäyttöisen langattoman yhteyden rakentaminen on edellytys järjestelmän kokonaisuuden toimivuudelle, jolloin ohjainlaudalle tarkoitettu langattoman verkon kirjasto palvelee riittävästi projektin valmistukseen ja testaukseen (Grokhotkov 2017). Langattoman verkon muodostamisessa käytettiin riittävän vaativia kirjautumisen tunnusta ja salasanaa kuten langattomien verkkojen muodostuksessa suositellaan yleisestikin (Prasad & Prasad 2005, 95).

### 3.2 Ajoneuvo

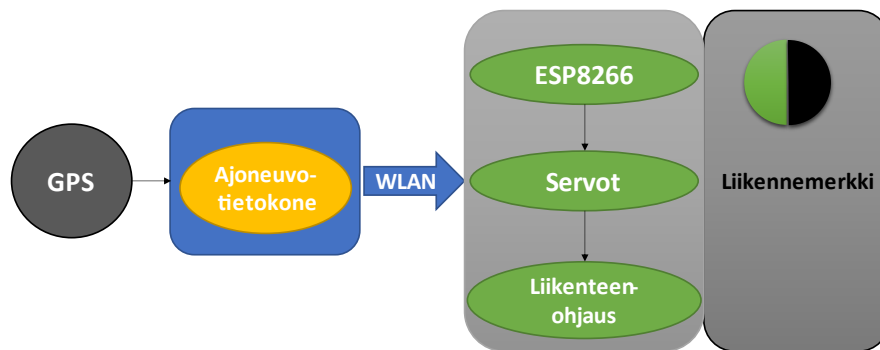
Ajoneuvon saapumissuunta määritettiin sijaintidatasta, joka saadaan GPS-vastaanottimesta pilkotusta datasta. Datasta vastaanotetaan osio, joka kertoo aina sijaintitiedot korkeuspiirin ja leveyspiirin mukaan. Data seuraa NMEA 0183-standardin käyttämää lauserakennejärjestelmää, jossa eri dataosiot eritellään alku-merkillä (Shoab, Jain, Anulhaq & Shashi 2013).

Ajoneuvossa sijaitsevasta kannettavasta tietokoneesta muodostettiin yhteys langatonta verkkoa käyttäen heti, kun ajoneuvo saapuu liikennemerkissä olevan ohjainlautan muodostaman langattoman verkon kantamalle. Yhteyden muodostettua viesti lähetettiin liikennemerkille käyttäen UDP-protokollaa, joka kykenee lähettämään viestin ennen varsinaisen yhteyden luomista, jolloin yksi laite voi palvella useampaa klienttiä samanaikaisesti (Li, Zhu, Xu & Cheng 2012).

## 4 JÄRJESTELMÄN KOKONAISUUS

### 4.1 Järjestelmä yleisesti

Koko järjestelmä (Kuvio 2) muodostui kahdesta tietokoneesta, joista toinen ohjaa liikennemerkkiä ja toinen sijaitsee risteysalueelle saapuvassa ajoneuvossa. Ajoneuvossa olevassa tietokoneessa on kytkettynä GPS-vastaanotin, ja langaton verkko on asetettu päälle. Kannettava tietokone asennettiin saamaan käyttövirtansa ajoneuvosta taikka kannettavan tietokoneen omasta akusta.

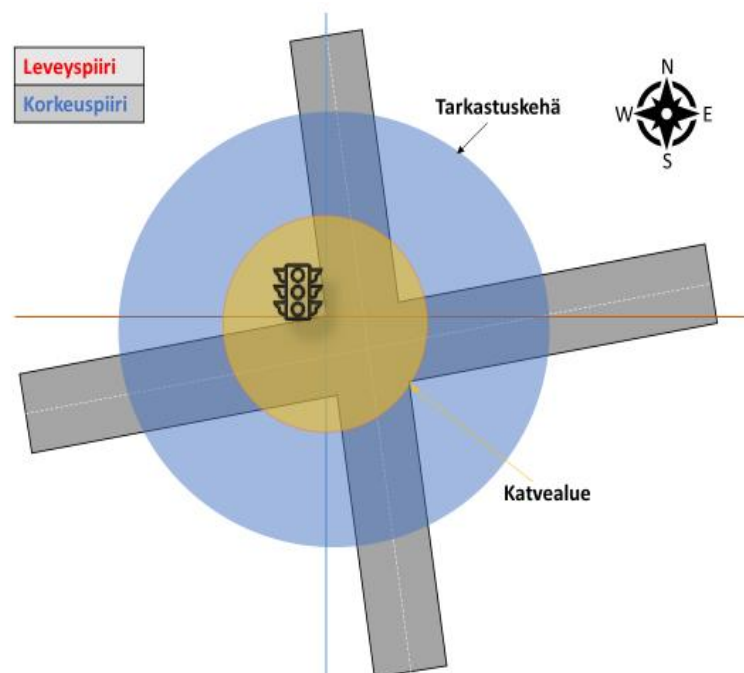


Kuvio 2. Järjestelmän kokonaisuus

Liikennemerkillä sijaitsevasta tietokoneesta ohjattiin etuajo-oikeuden määrittävät merkit servomootoreilla ja muodostettiin langaton verkkoyhteys ajoneuvotietokoneen kanssa tarvittavan kommunikoinnin mahdollistamiseksi. Tietokone kiinnitettiin sääolosuhteilta suojaan kotelon sisään, joka asennettiin tarpeen mukaisen korkeuden tavoittavan tolpan varteen. Tolpan kärkeen asennetaan liikenteen ohjausta varten 3D-tulostettu merkki, johon on kiinnitetty servomootorit. Tolppaan sijoitettavat tietokone ja servomoottori saivat käyttövirtansa varavirtalähteestä, joka asennetaan sääolosuhteilta suojaan myös kotelon sisään.

## 4.2 Risteysalue

Risteysalue (Kuvio 3) muodostuu nelisuuntaisesta tasa-arvoisesta risteyksestä, joka ei sijaitse suorassa linjassa ilmansuuntien mukaisesti. Ajoneuvon saapuessa kohti risteysaluetta lähestyy se ensin tarkastuskehää, jossa liikennemerkissä sijaitseva tietokone tarkastaa ajoneuvon prioriteetti luokan. Ajoneuvon ollessa jo risteysalueella se saapuu katvealueelle, jossa ollessaan ajoneuvon ja liikennemerkkin vastaanottamat sijaintitiedot ovat samat



Kuvio 3. Risteysalue

Liikenteenohjausmerkki (Kuvio 4) on kaksisuuntainen merkki, josta toinen osa on maalattu punaiseksi ja toinen vihreäksi. Servomoottori liikuttaa merkkiä sen mukaisesti, että risteävä liikenne ei saa missään tilanteessa ajaa läpi samanaikaisesti. Merkki antaa etuajo-oikeuden ensin leveyspiiriin mukaisesti ja sitten korkeuspiiriin mukaan.



Kuvio 4. Liikennemerkki kenttäympäristössä

### 4.3 Ajoneuvossa sijaitsevan tietokoneen ohjelma

#### 4.3.1 GPS-datan vastaanotto ja viestin muodostus

GPS-viesti otettiin vastaan ajoneuvossa sijaitsevalla kannettavalla tietokoneella, jossa oli kiinni USB-portissa GPS-vastaanotin. Vastaanotettu GPS-viesti kokonaisuudessaan sisältää paikantamisen mahdollistamiseen ylimääräistä dataa, joten viestistä poimitaan ohjelmallisesti vain yksi osio. Poimittavasta osiosta saadaan viestin vastaanottohetkellä tallentuneet korkeus- ja leveyspiiri sekä nopeus ja päivämäärä tiedot.

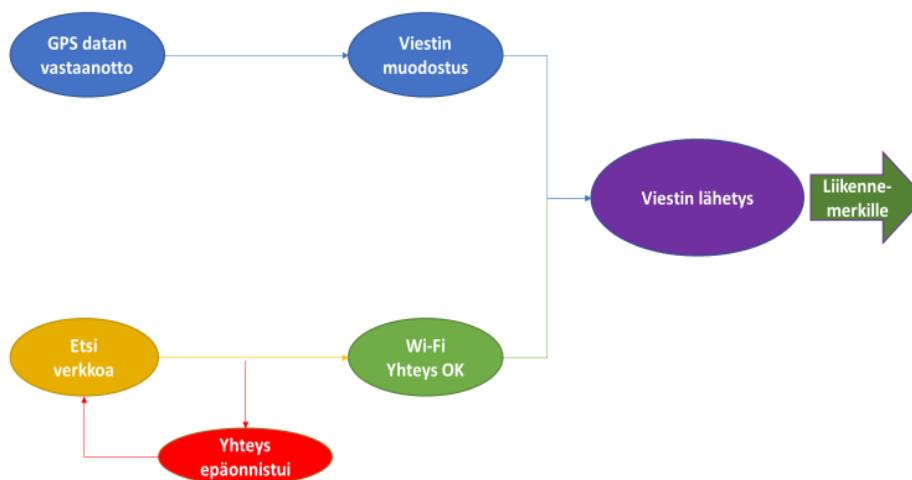
Kun liikennemerkille tarvittavat paikantamistiedot on vastaanotettu, tiedot tallennetaan ohjelman sisällä listaan, joka lähetetään UDP-viestinä liikennemerkille. Ennen lähettämistä kuitenkin GPS-viestissä vastaanotettu data muutetaan helpommin luettavaan ja sitä kautta myös yksinkertaisemmin käytettävään formaat-

tiin. Oikeiden tietojen tallennusmuotojen avulla koko viesti voidaan tallentaa yhteen aina saman mittaiseen kokonaiseen listaan, jolla varmistetaan myös vastaanotettaessa viestiä liikennemerkinä tietojen olevan oikein eikä osiot viestistä ole jäänyt pois.

#### 4.3.2 Verkon etsintä ja viestin lähetys

Samaan aikaan kun GPS-viestiä käsitellään, ohjelmoitiin sovellus etsimään liikennemerkinä muodostettua WLAN-verkkoa. Ohjelmaan määritettiin erikseen tietyt verkonetsintäparametrit, joilla varmistettiin sovelluksen luotettava yhdistäminen pelkästään liikennemerkin. Verkkoa sovellus yrittää etsiä jokaisen iteraation yhteydessä, koska tietokoneen oma verkonetsintä tapahtuu liian harvoin. Verkko-yhteyden ollessa tavoittamattomissa yritetään muodostaa yhteyttä uudelleen siihen asti, kunnes yhteys on muodostettu.

Sovelluksen muodostettua WLAN yhteys liikennemerkin, ja käsiteltyä vastaanotettu GPS-viesti, sovellus lähettää viestin langattoman verkon kautta. Viestin ollessa lähetetty sovellus alustaa kaikki tallennetut tiedot, jolloin seuraavassa muodostetussa viestissä ei tule päällekkäisiä sekoitettuja arvoja. Tallennettujen tietojen nollauksen jälkeen sovellus aloittaa uuden iteraation, ellei sitä määrätä sammuttamaan erikseen näppäinkomennolla. Viestin lähettäminen kokonaisuudessaan esitetään kuviossa 5.



Kuvio 5. GPS-viestin vastaanotto ja lähettäminen

## 4.4 Liikennemerkin ohjaus

### 4.4.1 Langattoman verkon muodostus ja järjestelmän ajo

Ajoneuvotietokoneen ja liikennemerkin kommunikoinnin mahdollistamiseksi laitteiden välille muodostettiin yhteys langatonta verkkoa käyttäen, jolloin ajoneuvotietokoneen lähettämä UDP-viesti voidaan vastaanottaa. Liikennemerkillä sijaitsevilla mikroprosessorilla ajettavaan ohjelmaan täytyy erikseen määritellä luotavan verkon tunnus sekä määrittää sille tarpeellisen tietoturvallisuuden ylläpitämiseksi salasana. Langaton verkko muodostetaan mikroprosessorin käynnistyessä ensimmäisenä käyttäen ajoneuvotietokoneelle ennalta määritettyä samaa verkkotunnusta sekä salasanaa, jotka on määritetty myös liikennemerkillä.

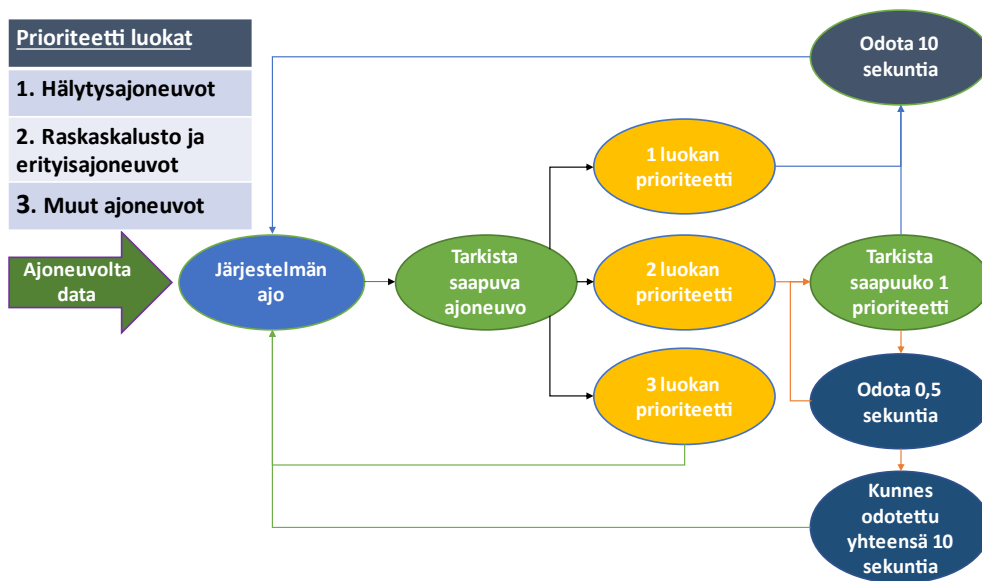
Käynnistyessään järjestelmä aloittaa iteraation, joka on tehty muistuttamaan oikeaa liikennevaloa risteysalueella. Järjestelmä antaa ensin etuajo-oikeuden leveyspiirin mukaisesti, odottaa kymmenen sekuntia ja antaa sen jälkeen etuajo-oikeuden pituuspiirin mukaisesti. Iterointiaskeleen aikana järjestelmä tarkastelee saapuvia viestejä ja purkaa tarvittaessa viestin sen käsittelyn vaatimaan muotoon. Tämä vaihe on liikenteenohjausjärjestelmän alustus piste, johon ohjelma palaa aina prioriteettitarkastuksen jälkeen poikkeuksetta.

Ajoneuvossa sijaitsevan tietokoneen ja liikennemerkin sisällä olevan mikroprosessorin muodostettua yhteys aloittaa järjestelmä etuajo-oikeuden määrittämiseen tarkoitetun ohjelman. Ohjelmassa tarkistetaan saapuvasta viestistä ohjauspyynnön lähettävän ajoneuvon tärkeysluokka ja saapumissuunta, jota käytettiin määrittämään liikennemerkin tilanteenmukainen oikea kääntymissuunta. Risteysalue jaetaan ilmansuuntien mukaisesti neljään osaan, minkä mukaan voidaan määrittää ajoneuvon saapumissuunta.

### 4.4.2 Prioriteettiluokan tarkastus

Risteysalueelle saapuvaan ajoneuvoon on etukäteen määritetty kiinteä prioriteettiluokka, josta ohjelma tarkastaa onko ohjausta tarpeellista suorittaa ja minkä suuntaisesti. Prioriteettiluokka muodostuu kolmesta eri tasosta, joista ensimmäinen on korkein ja kolmas matalin. Ensimmäinen prioriteettiluokkaa sisältää teh-

tävää suorittavat hälytysajoneuvot, joiden turvallinen ja nopea pääsy risteysalueen yli on sen tehtävän onnistumiselle tärkeintä. Toiseen prioriteettiluokkaan kuuluu raskaskalusto sekä muut erityisajoneuvot, joiden tehtävä ei välttämättä ole yhtä tärkeä kuin ensimmäisen prioriteettiluokan ajoneuvoilla. Kolmas eli alin prioriteettiluokka sisältää kaikki muut ajoneuvot, joille ei tarvitse myöntää nopeampaa pääsyä risteysalueen yli. Prioriteettiluokan tarkistamiseen luotu logiikka on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Prioriteettiluokan tarkastus



## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön lopputuloksena valmistui energiatehokas ja älykäs liikenteenohjausjärjestelmä, joka kykenee automaattisesti reagoimaan saapuvan ajoneuvon tärkeysluokkaan ja antamaan sen mukaisen etuajo-oikeuden risteysalueelle saapuvalla ajoneuvolle. Järjestelmä pystyi reagoimaan saapuvaan tärkeämmän prioriteettiluokan ajoneuvon, jolloin se arvioi risteysalueen meneillä olevan tilanteen ja ohjaa etuajo-oikeuden tarpeen mukaisesti. Prioriteettiluokan määrittämisellä ajoneuvon tehtävän mukainen kiireellisyys arvioidaan ja täten voidaan lisätä risteysalueen turvallisuutta.

Varavirtalähteeseen kytkettävä liikennemerkin sijaitseva mikroprosessori mahdollistaa WLAN-yhteyden kautta vastaanotettavan risteysalueelle saapumissuunnan tiedon lähettävään ajoneuvotietokoneeseen reagoimiseen. Datan vastaanotettua mikroprosessori antaa käskyn servomootoreille, jotka liikuttavat etuajo-oikeutta merkkäavat värilliset liikennemerkit tilanteen vaatimuksen mukaisesti. Etuajo-oikeuden saa risteysalueelle saapuvista ajoneuvoista se, joka on liikennemerkin muodostamalla ennalta määritetyllä tarkastusalueella korkeimmalla prioriteettilukemalla sekä ensimmäisenä.

3-D tulostetut liikennemerkit toistavat risteysalueella omaa iteraatiotansa, joka on ohjelmoitu muistuttamaan oikeassa risteyksessä sijaitsevaa liikennevaloa. Iteraatio katkeaa välittömästi ajoneuvon saavuttua tarkastusalueelle, jonka jälkeen servomootorit kääntävät liikennemerkin osoittamaan etuajo-oikeutta saapuvalla ajoneuvolle. Järjestelmä odottaa etuajo-oikeuden osoittamisen jälkeen ajoneuvon risteysalueen turvallisen ylitykseen vaadittavan ajan verran ja palaa omaan iteraatioonsa odottamaan seuraavaa ajoneuvoa.

Opinnäytetyön aikana sain monipuolisesti kokemusta tuotekehityksestä sekä siihen vaadittavasta suunnittelusta. Python-ohjelmointitaidot kehittyivät huomattavasti ja opin käyttämään tehokkaammin Python-ohjelmointiin tarkoitettuja kirjastoja. Kokonaisvaltainen tutustuminen myös Arduino ympäristössä tapahtuvaan C-ohjelmointiin toi paljon kokemusta sekä itseluottamusta eri pienelektronikka-projekteihin. Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Eri ohjelmointi kielet sekä tuotekehitysprojektissa mukana oleminen lisäsivät ammatillista kehitystä

valtavasti. Toimeksiantaja sai opinnäytetyöstä toteutuneen projektin ja toimivan järjestelmän testiradalle.

Kenttätestauksessa havainnoitiin, että WLAN-yhteyden kantavuus rajoittui huomattavasti siltä puolelta missä tolpan metallinen runko osa sijaitsee. Erillinen WLAN-lähetin tai mikroprosessorin sijoittaminen tolpan metalliosaan yläpuolelle varmistaa signaalin riittävän toiminta-alueen. Järjestelmän kehitystä voi myös parantaa lisäämällä energiatehokkuutta esimerkiksi pienellä aurinkokennolla, jolloin liikennemerkki olisi täysin riippumaton varavirtalähteestä kesäaikaan. Lisäksi järjestelmään voi lisätä vastausmenetelmän, jolloin liikennemerkki vastaa ajoneuvossa olevalle tietokoneelle kuinka paljon aikaa risteyksen seuraavaan valojenvaihtoteräatioon on.

## LÄHTEET

Adafruit 2022. Using the Adafruit Library. Viitattu 18.8.2022 <https://learn.adafruit.com/16-channel-pwm-servo-driver/using-the-adafruit-library>.

Baddeley, G. 2001. GPS – NMEA sentence information. Viitattu 15.8.2022 <http://aprs.gids.nl/nmea/#rmc>.

Cisco 2022. What Is a Wireless LAN. Viitattu 17.8.2022 <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/wireless-lan.html#~benefits>.

Espressif 2022. Features. Viitattu 27.4.2022 <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp8266>.

FMI 2022. EMAL-projekti. Viitattu 17.8.2022 <https://emal.fmi.fi/>.

Forum Virium 2022. Turha odottelu punaisissa poistuu: älykkäitä liikennevaloja testataan Helsingissä. Viitattu 21.7.2022 <https://forumvirium.fi/release/turha-odottelu-punaisissa-poistuu-alykkaita-liikennevaloja-testataan-helsingissa/>.

Grokhotkov, I. 2017. ESP8266WiFi library. Viitattu 21.8.2022 <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>.

Li, T., Zhu, W., Xu, J. & Cheng Y. 2012. The analysis and implementation of UDP-based cross-platform data transmission. Viitattu 21.8.2022 <https://ieeexplore-ieee-org.ez.lapinamk.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6201752>.

Nurdspace 2022. ESP8266. Viitattu 27.4.2022 <https://nurdspace.nl/ESP8266>.

Prasad, N. & Prasad, A. 2005. 802.11 WLANS and IP Networking: Security, QoS, and Mobility, Artech, 2005. 95–140. Viitattu 21.8.2022 <https://doc.lagout.org/network/802.11%20WLANS%20and%20IP%20Networking.pdf>.

Shoab, M., Jain, K., Anulhaq, M. & Shashi, M. 2013. Development and implementation of NMEA interpreter for real time GPS data logging. Viitattu 21.8.2022 <https://ieeexplore-ieee-org.ez.lapinamk.fi/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6514210>.

Spie 2022. New horizons open with space-based 3D printing. Viitattu 12.8.2022 <https://spie.org/news/0331-madeinspace-video?SSO=1>.