

# Wi-Fi paikannuslaite



Tieto- ja viestintätekniiikan opinnäytetyö

Hämeen-ammattikorkeakoulu (Riihimäki)  
Insinööri (AMK)

Kevätlukukausi, 2019

Joona Saarinen

Tieto- ja viestintäteknikka, insinööri  
Riihimäki

---

<b>Tekijä</b>	Joona Saarinen	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Wi-Fi paikannuslaite	
<b>Työn ohjaaja</b>	Marko Grönfors	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vähävirtainen prototyyppi laitteesta ja järjestelmästä, jolla todettiin mahdolliseksi halutun esineen paikantaminen Wi-Fi-tukiasemien perusteella. Paikka näkyi kartalla suuntaa antavalla tarkkuudella Espressifin ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduulin avulla.

Työ toteutettiin käyttämällä ESP8266-moduulia Wi-Fi-moduulina Atmelin ATmega328PB-mikro-ohjainta käyttävässä laitteessa. Laite lähetti tunnin välein tietoja lähellä olevista Wi-Fi-tukiasemista ja tiedot lähetettiin palvelimelle ja palvelimen tietokannan kautta Googlen tietokantaan, josta saatiin tukiasemien signaalien voimakkuuksien perusteella laitteen sijainti. Työssä tietojen lähetys laitteelta palvelimelle oli toteutettu käyttäen Wisolin SFM10R1 Sigfox-radiomoduulia.

Sisätilapaikannuksen osalta Googlen tietokanta oli korvattu identifioituilla Wi-Fi-tukiasemilla. Paikannuksen laskeminen sisätiloissa toteutettiin lähettämällä tukiasemien etäisyydet palvelimen tietokantaan ja laskemalla laitteelta tulevien tukiasemien signaalien voimakkuuksien perusteella laitteen sijainti suhteessa tukiasemien etäisyyksiin. Sisätilapaikannuksen kalibrointi hoitui asennuksen yhteydessä ja sen tarkkuuden parantaminen hoituu halutessa myöhemmin.

Opinnäytetyön lupaavat tulokset veivät projektia eteenpäin ja kehitys eteni prototyypistä itsenäiseksi projektiksi pelkälle ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduulille. Jatkokehityksen tavoitteena on pienentää laitteen kokoa sekä valmistuskustannuksia.

**Avainsanat** WLAN, Wi-Fi, WPS, paikan seuranta, esineiden internet

**Sivut** 26 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Information and Communication Technology  
Riihimäki

---

<b>Author</b>	Joona Saarinen	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Wi-Fi position tracker	
<b>Supervisor</b>	Marko Grönfors	

---

#### ABSTRACT

The purpose of this thesis project was to develop a low-power prototype device and a system that was able to locate the desired object by using Wi-Fi stations. The approximated location of the device was shown on the map using the Espressif ESP8266 Wi-Fi microcontroller module.

The work was carried out by using the ESP8266 module as a Wi-Fi module in a device with Atmel ATmega328PB microcontroller. The device sent hourly information about nearby Wi-Fi stations and the data was sent to a server database and from there to the Google database that provided the location of the device based on the signal strength of the Wi-Fi stations. In this work, the data transmission from the device to a server was carried out by using Wisol SFM10R1 Sigfox radio module.

In terms of indoor location, the Google database was replaced by identified Wi-Fi stations. Calculation of indoor positions was accomplished by transmitting the distances between the Wi-Fi stations to the server and by calculating the location of the device in relation to the Wi-Fi station signal strength data from the device. The internal positioning calibration was conducted during installation and it can be made more accurate later if desired.

The promising results of this thesis project have taken the prototype forward and the development continued as an independent project on the ESP8266 Wi-Fi microcontroller module. The goal of the further development is to decrease the size of the device and to lower its manufacturing costs.

**Keywords** WLAN, Wi-Fi, WPS, location tracking, internet of things

**Pages** 26 pages including appendices 4 pages

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	1
2 YLEISIMPIÄ PAIKANNUSMENETELMIÄ.....	1
2.1 Satelliittipaikannus.....	2
2.2 Wi-Fi-paikannus .....	2
2.3 Matkapuhelinverkolla paikantaminen .....	5
2.4 Bluetooth-paikannus .....	5
3 PAIKANNUKSEN TOIMINTA .....	5
3.1 Ulkotilapaikannus .....	5
3.2 Sisätilapaikannus .....	5
3.3 Sisätila paikan laskeminen .....	6
3.4 Sisätilapaikannuksen funktiot ja taulukot.....	7
4 PAIKANNUSLAITTEEN KOMPONENTIT .....	10
4.1 Mikro-ohjain .....	11
4.2 Reaaliaikakello .....	11
4.3 Wi-Fi-moduuli .....	11
4.4 Sigfox-moduuli .....	11
5 PAIKANNUSLAITTEEN TOIMINTA .....	12
5.1 UART .....	12
5.2 AT-komennot.....	13
5.3 Wi-Fi-moduulin toiminta .....	13
5.4 Sigfox-moduulin toiminta .....	14
5.5 I <sup>2</sup> C-tiedonsiirtoväylä .....	15
5.6 Reaaliaikakellon toiminta.....	15
6 PAIKANNUSLAITTEEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	16
6.1 Wi-Fi-moduulin valmistelu ja kytkennät.....	16
6.2 Ulkotilapaikannuksen sijainti kartalla .....	18
6.3 Sisätilapaikannuksen suunnitteleminen ja toteutus .....	18
7 JATKOKEHITYS .....	19
Liite 1      Vuokaavio paikannuslaitteen toiminnasta	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite on kehittää prototyyppi vähävirtaisesta Wi-Fi-tukiasemien sijaintiin perustuvasta paikannusjärjestelmästä. Paikannusjärjestelmän on määrä toimia ulkotiloissa sekä sisätiloissa. Opinnäytetyö toteutetaan tietoliikennesovelluksia, anturointeja sekä mittauksia teettävälle Small Data Garden Oy:lle, joka on perustettu vuonna 2017. (Alma Talent Oy, 2017)

Yrityksen tavoitteena opinnäytetyössä on seurata ja paikantaa yrityksen laitteita. Laitteet ovat suhteellisen pienikokoisia, joten niiden asentaminen erilaisiin liikkuviin kohteisiin on helppoa. Energiatohokkuutensa vuoksi paikannuslaitteita voidaan käyttää pitkään. Wi-Fi-paikannus voidaan myös yhdistää yrityksen muihin paikannusmenetelmiin kuten GPS-paikannukseen ja Sigfox Atlas paikannukseen.

Wi-Fi-paikannuksen prototyyppi on päätetty toteuttaa Espressifin ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduulilla ja tarkoituksena on suunnitella sekä toteuttaa Wi-Fi-tukiasemien sijaintiin perustuva paikannus ja todentaa paikannuksen riittävä tarkkuus, jotta paikannus voitaisiin toteuttaa pelkän ESP8266-moduulin avulla. Mikro-ohjaimena Wi-Fi-paikannuksessa on käytössä Atmelin ATmega328PB-mikro-ohjain.

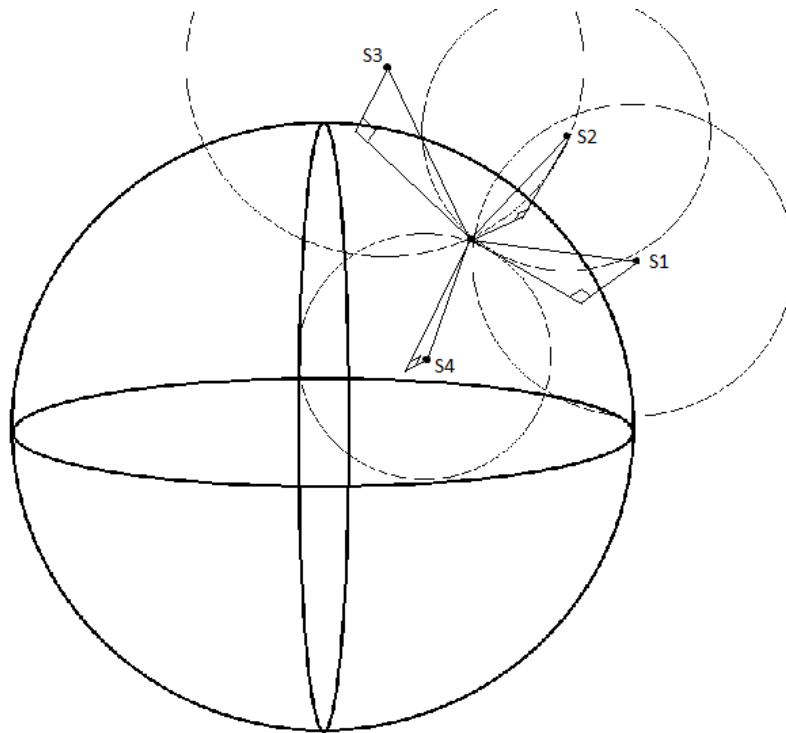
Prototyyppi hakee lähellä olevien Wi-Fi-tukiasemien signaalien voimakkuudet eli RSSI-arvot sekä MAC-osoitteet ja lähettää tiedot eteenpäin yrityksen tietokantaan ja sieltä edelleen Googlen tietokantaan. Googlen tietokannasta vastauksena saadaan koordinaatit. Sisätilaan rakennettava Wi-Fi-paikannus käyttää sisätilaan asennettavia Wi-Fi-tukiasemien sijainteja Googlen tietokannan tilalla. Laitteiden sijainteja voi jatkossa tarkastella yrityksen nettisivuilla asiakaskohtaisesti.

## 2 YLEISIMPIÄ PAIKANNUSMENETELMIÄ

Yksi yleisimmistä paikannuslaitteista on älypuhelin. Niihin on olemassa monenlaisia erilaisia sovelluksia paikannukseen liittyen. Älypuhelimet käyttävät GPS-, GLONASS- ja Galileo-satelliitteja yhdessä matkapuhelinverkon, Wi-Fi-paikannuksen ja Bluetooth yhteyspisteiden kanssa. Myös älypuheliimen muita antureita voidaan mahdollisesti käyttää edeltä mainittujen paikannusmenetelmien yhteydessä. (Sanoma Media Finland, n.d.)

## 2.1 Satelliittipaikannus

Yhdysvaltojen GPS-, venäjän GLONASS- ja EU:n Galileo-satelliittipaikannus perustuvat kiertoradalla kiertävien satelliittien sijaintiin. Paikannettavan laitteen sijainti saadaan, kun vähintään neljä satelliittia on näkyvissä paikannettavalle laitteelle (kuva 1). Paikka lasketaan yksinkertaisuudessaan neljän satelliitin ympärille muodostettujen pallojen leikkauspisteestä, missä säde on satelliitin ja paikannettavan laitteen etäisyys. Säde lasketaan viiveestä satelliitin ja vastaanottimen välillä, mikä kerrotaan valonnopeudella. Mukana laskuissa on myös satelliittien kellonaika ja liikerata tarkemman paikannuksen saamiseksi. Satelliittien liikeradan muutoksia myös seurataan ja päivitetään jatkuvasti. (Marshal Brain & Tom Harris, n.d.)



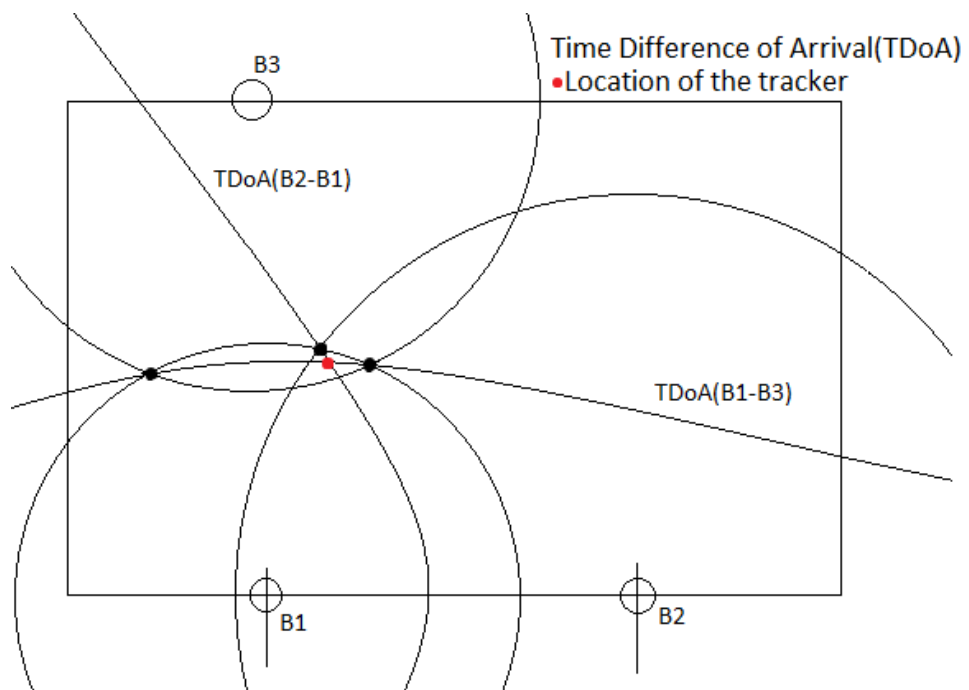
Kuva1. Oikein lasketussa paikannuksessa vähintään neljä satelliittia leikkaa yhdessä pisteessä.

## 2.2 Wi-Fi-paikannus

Wi-Fi-paikannus perustuu lähellä olevien tukiasemien etäisyyteen paikannettavasta laitteesta. Yksi tapa laskea suhteellisen tarkka paikka on kolmen tukiaseman ympärille muodostettujen ympyröiden leikkauspisteistä, missä ympyröiden säde on paikannettavan laitteen ja tukiaseman välinen etäisyys. Säteen laskemiseen yleisimmät tekniikat ovat signaalien saapumisaikojen perusteella lasketut etäisyydet, tukiasemiin saapuvien signaalien saapumisaikojen erotuksien perusteella lasketut etäisyydet ja signaalien voimakkuuksien perusteella lasketut etäisyydet (kuva 3). Wi-Fi-laitteen sijainti voidaan myös paikantaa epätarkasti alueittain lähimmästä tukiasemasta,

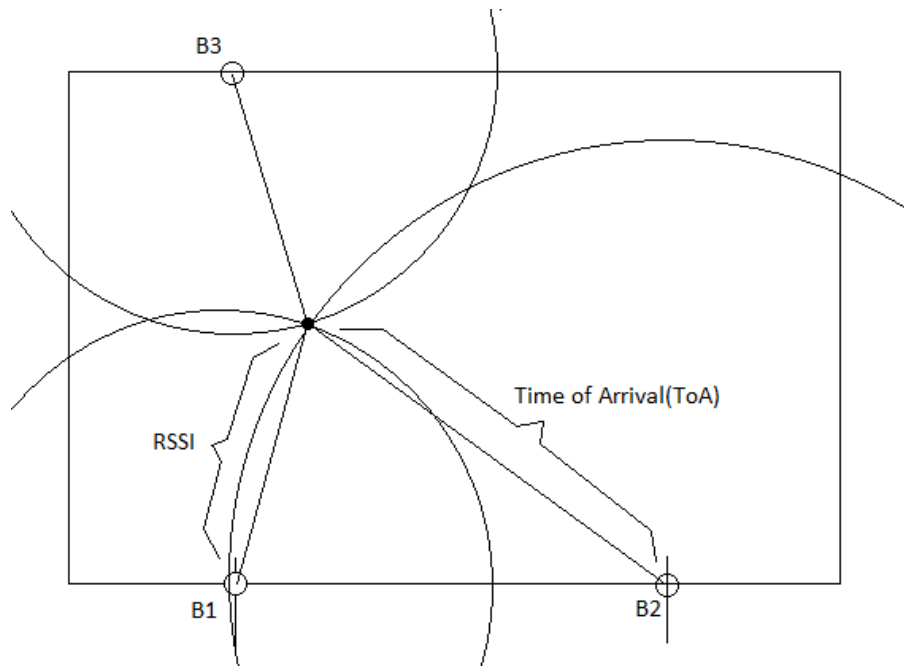
jolloin lähimmän tukiaseman kattava alue vastaa paikannettavan laitteen sijaintia. (Cisco, 2014)

Saapumisajan laskemisessa tukiasemat ja laite ovat synkronoitu samaan tarkkaan aikaan ja etäisyys saadaan vertailemalla aikoja eri tukiasemien ja laitteen välillä. Saapumisajan erotusta laskettaessa ainoastaan tukiasemat ovat synkronoitu samaan aikaan, jolloin signaalin saapumisaikaa tarkastellaan tukiasemien vastaanottoaikoja vertaamalla ja sijainti lasketaan hyperbolien avulla (kuva 2). Saapumisajan erotuksen etuna on tarkan kellonajan synkronoinnin tarpeettomuus kaikkien paikannuksessa tarvittavien laitteiden välillä tehden toteutuksesta helpomman. (Cisco, 2014)



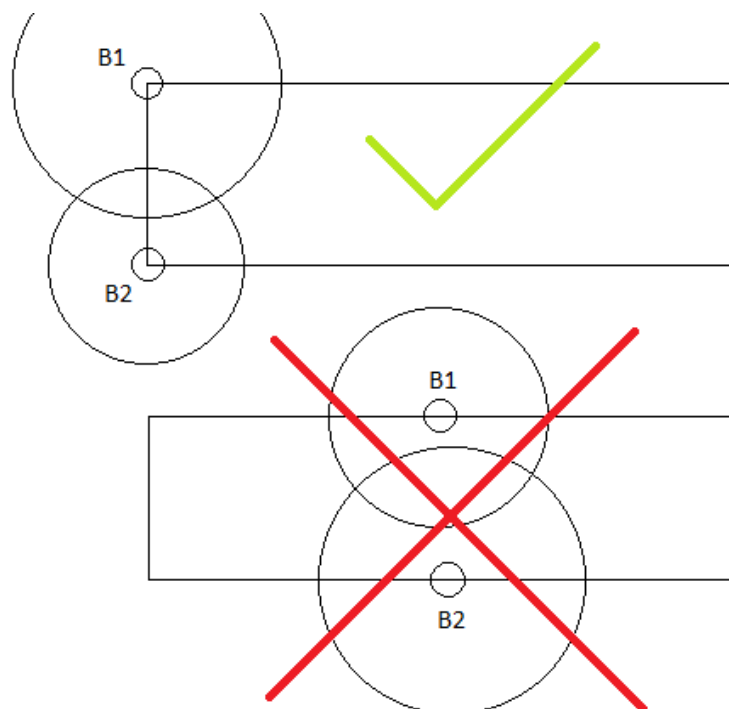
Kuva 2. Signaalin saapumisaikojen erotuksen laskemisessa käytetään hyperbelejä, jotka leikkaavat paikannettavassa sijainnissa.

Saapuvan signaalin voimakkuuden perusteella lasketussa etäisyydessä tarkastellaan signaalin voimakkuutta saapumisajan sijasta. Signaalivoimakkuus haetaan joko laitteesta tai tukiasemasta. Etäisyyden muuttaminen metreiksi tarkkaa sijaintia varten vaatii tiedon kaapelihäviöstä, lähetystehosta ja antenninvahvistuksesta sekä tiedon mahdollisista tilan aiheuttamista häiriöistä. (Cisco, 2014)



Kuva 3. Signaalin voimakkuuden (RSSI) tai saapumisajan perusteella (ToA) voidaan laskea paikannettavan laitteen etäisyydet tukiasemiin.

Paikantaminen voidaan signaalin voimakkuuksia käyttäen suorittaa myös heikommalla tarkkuudella käyttämällä kahta tukiasemaa, jos tiedossa on kahden tukiaseman välinen etäisyys ja tukiasemat ovat sijoitettu paikannettavan laitteen sisältämän tilan pätyyn. Näin vältetään tilan ulkopuolella olevan paikan saaminen (kuva 4).



Kuva 4. Kahden tukiaseman avulla paikantamisessa tukiasemat on sijoitettava tilan pätyyn virhesijainnin poistamiseksi.



### 2.3 Matkapuhelinverkolla paikantaminen

Matkapuhelinverkon paikannusmenetelmä käyttää operaattorien tarkkoja tukiasematietoja laitteen paikantamiseen Wi-Fi-tukiasema paikannuksen tapaan käyttämällä signaalin voimakkuuksia. Yleensä matkapuhelinverkon paikannusta käytetään yhdessä Wi-Fi-paikannuksen tai satelliittipaikannuksen kanssa. Tätä paikannusmenetelmää kutsutaan avustetuksi satelliittipaikannukseksi. (U.S. National Library of Medicine Community Health Maps, 2014)

### 2.4 Bluetooth-paikannus

Bluetooth-paikannus käyttää myös samoja tekniikoita kuin Wi-Fi-paikannus. Bluetooth-paikannus vaatii huomattavasti enemmän Bluetooth-yhteyspisteitä sen kuuluvuuden lyhyen etäisyyden vuoksi. (BeaconZone Ltd, n.d.)

## 3 PAIKANNUKSEN TOIMINTA

Opinnäytetyön tavoite on toteuttaa helposti asennettava ja säädettävä joustava paikannusjärjestelmä, jonka tarkkuus on suuntaa antava. Toteutus toimii sisä- ja ulkotiloissa, jos sisätiloihin on asennettu sisätilapaikannukseen tarkoitettu verkko. Muuten työ käyttää Googlen tietokantaa paikannuksen hakemisessa. Sisätilapaikannuksessa suuntaa antava etäisyys saadaan ilman tukiasemien etäisyyksien fyysistä mittaamista ja tarkempi paikannus saadaan mittaamalla etäisyydet. Paikannuslaitteen sijainti sisällä saadaan piirtämällä tukiasemat sisätilakarttaan suhteuttamalla niiden RSSI-arvot kartalle. Karttapohjat on toteutettu JavaScriptillä yhdessä HTML5-kielen kanssa.

### 3.1 Ulkotilapaikannus

Ulkotilapaikannus hoidetaan hakemalla lähellä olevat tukiasemat ja lähettämällä tukiasemien MAC-osoitteet ja RSSI-tiedot laitteelta palvelimelle, josta tiedot lähtevät Googlen tietokantaan ja vastauksena tietokannasta saadaan paikkatiedot. Ulkotilapaikannuksen tarkkuus riippuu Wi-Fi-tukiasemien määrästä ja Googlen tietokantaan tallennettujen tukiasemien tiedoista.

### 3.2 Sisätilapaikannus

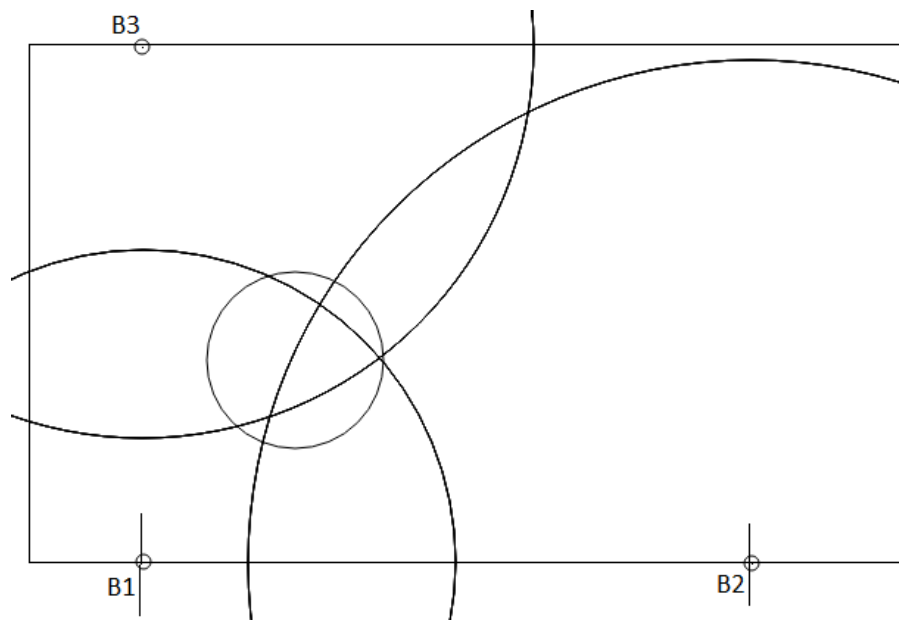
Sisätilapaikannus on suunniteltava joustavaksi ja helposti asennettavaksi. Paikannus toimii sisätilakartalla verkkosivulla, johon käyttäjä määrittää tukiasemien sijainnit. Tukiasemien sijaintien ja niiltä saatavien sekä niiden välisten RSSI-arvojen perusteella lasketaan tarvittavat kertoimet ja etäisyydet

laitteiden paikantamista varten. Sisätalapaikannuksessa lasketaan ympyröiden kertoimien perusteella RSSI-arvoja säteenä käyttäen ympyrät ja niiden leikkauspisteiden keskiarvoa käytetään laitteen sijaintina. Laskentatapaa ja tarkkuutta voidaan muuttaa ja tarkempi sijainti saadaan fyysisesti laskeamalla tukiasemien etäisyydet toisistaan ja käyttämällä tukiasemien välisiä RSSI-etäisyyksiä kalibrointiin.

### 3.3 Sisätila paikan laskeminen

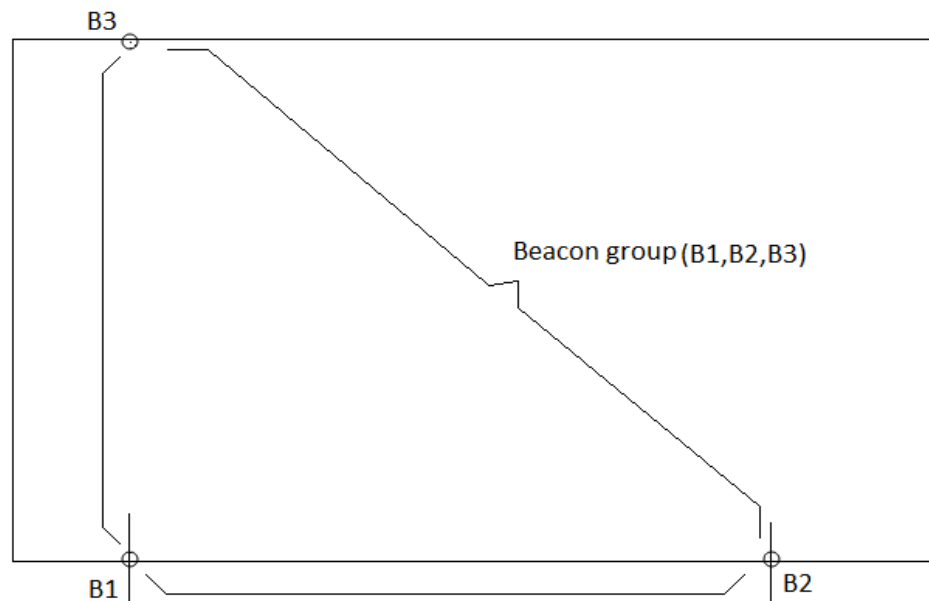
Paikan laskemiseen tarvittavat tiedot tallennetaan globaalisti määriteltymiin taulukoihin, joita syötetään niitä käsitteleviin ja muokkaaviin funktioihin. Sijainti näytetään verkkosivuille tehdyllä sisätalokartalla. Kartalle merkitään tukiasemien sijainnit, jotka tallennetaan taulukoihin. Taulukossa olevia sijaintitietoja käytetään paikantamiseen tarvittavien kertoimien saamisessa sekä tukiasemien etäisyyksien laskemisessa.

Laitteen sijainti lasketaan paikannettavan laitteen lähettämistä RSSI-tiedoista, missä RSSI-arvo on etäisyys tukiasemaan eli ympyrän säde, kun se kerrotaan sijaintitietotaulukon kertoimella. Laskeminen tapahtuu muodostamalla säteen mukaan ympyrät kullekin RSSI-arvolle tukiasemat keskipisteinä, jonka jälkeen tarkastellaan kaikkia muodostuneita ympyröitä ja niiden välisiä leikkauspisteitä. Leikkauspisteet rajataan kartalle asetetun etäisyyden mukaan ja sen perusteella jätetään huomioimatta leikkauspisteet, joiden etäisyys on suurempi kuin rajattu etäisyys. Jäljelle jääneistä leikkauspisteistä lasketaan etäisyyksien keskiarvo, joka on paikannettavan laitteen sijainti (kuva 5).



Kuva 5. Ympyröiden leikkauspisteiden keskiarvon perusteella RSSI-arvoja säteenä käyttäen laskettu paikannuslaitteen sijainti testiympäristössä.

Tukiasemien tiedoista tarvitaan vähintään kahden tukiaseman välinen etäisyys, joka toimii pohjana ympyröiden kertoimille. Kertoimet saadaan taulukossa olevien tukiasemien sijaintitietojen perusteella lasketusta tukiasemien välisestä etäisyydestä kartalla ja jakamalla se tukiasemien välisellä RSSI-arvolla. Kertoimet lasketaan tukiasemille ryhmittäin ja yhteen ryhmään kuuluvat tukiasemat, jotka muodostavat toistensa etäisyydellä yksinkertaisen monikulmion kartalle (kuva 6). Jokaiselle ryhmälle voidaan myös määrittää haluttu paikannettava laite ja kunkin laitteen sijaintihistoria, joka sisältää kaikki ympyröiden leikkauspisteiden keskiarvot ja paikannuslaitteen numeron mahdollistaen laitekohtaisen historian näyttämisen kartalla.



Kuva 6. Toistensa etäisyydellä olevat yksinkertaisen monikulmion muodostavat tukiasemat jaetaan ryhmiin, joille lasketaan kertoimet.

Tarkemman paikannuksen toteuttamisessa lasketaan tukiasemien väliset fyysiset etäisyydet ja kalibrointi tapahtuu tukiasemien välisten RSSI-arvojen perusteella.

### 3.4 Sisätilapaikannuksen funktiot ja taulukot

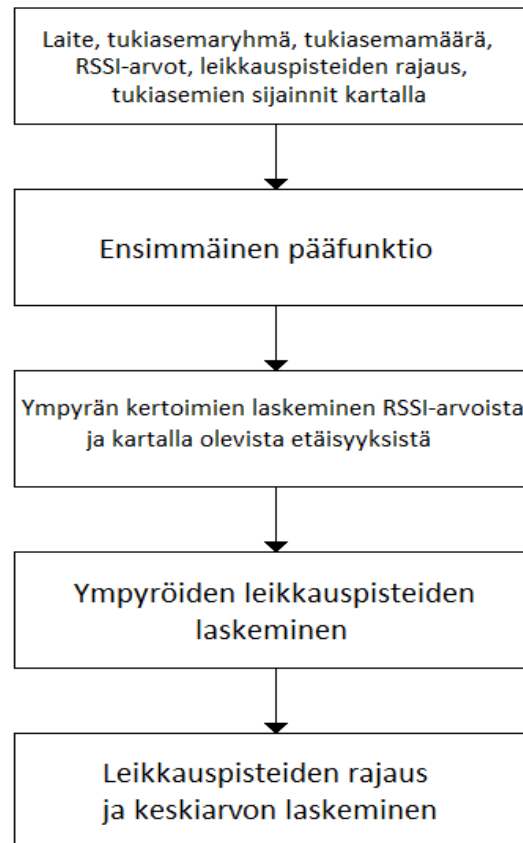
Sisätilapaikannuksen koodin funktioissa käytettiin taulukoita, jotka sisälsivät paikannuslaitteelta saadut RSSI-tiedot sekä laitteen laitenumeron, tukiasemien väliset RSSI-arvot ja tukiasemien sijainnit kartalla ympyröiden laskemista varten. Paikannuslaitteelta saatujen RSSI-tietojen saamisen jälkeen funktioihin syötettiin taulukoista tukiasemien koordinaatteja, jotka yhdistettiin RSSI-tietoihin paikannuslaitteen sijainnin laskemista varten. Paikannuksen toteutus toimi pääasiassa kahdella pääfunktiolla ja niiden alifunktioilla kuten kuvissa 7 ja 8 on esitetty. Tukiaseman sijoittaminen kartalle tapahtui hiiren painalluksella, minkä jälkeen sijainnin koordinaatit tallennettiin taulukkoon funktioissa käytettäväksi. Koodin jakaminen

funktioihin sekä alifunktioihin helpotti sisätilapaikannuksen toteuttamisen hallintaa huomattavasti.

Ensimmäinen pääfunktio ja sen alifunktiot määrittivät ja hallinnoivat seurattavaa laitetta, sen tukiasemaryhmiä, tukiasemien määrää ryhmissä, ympyröiden leikkauspisteiden etäisyyksien rajausta, tukiasemien sijainteja kartalla ympyröiden kertoimien saamista varten sekä näiden tukiasemien RSSI-etäisyyksiä toisiinsa. Toinen funktio hallinnoi paikannuslaitteen sijainnin näyttämistä ja se sisälsi seurattavan laitteen numeron sekä sijaintihistorian.

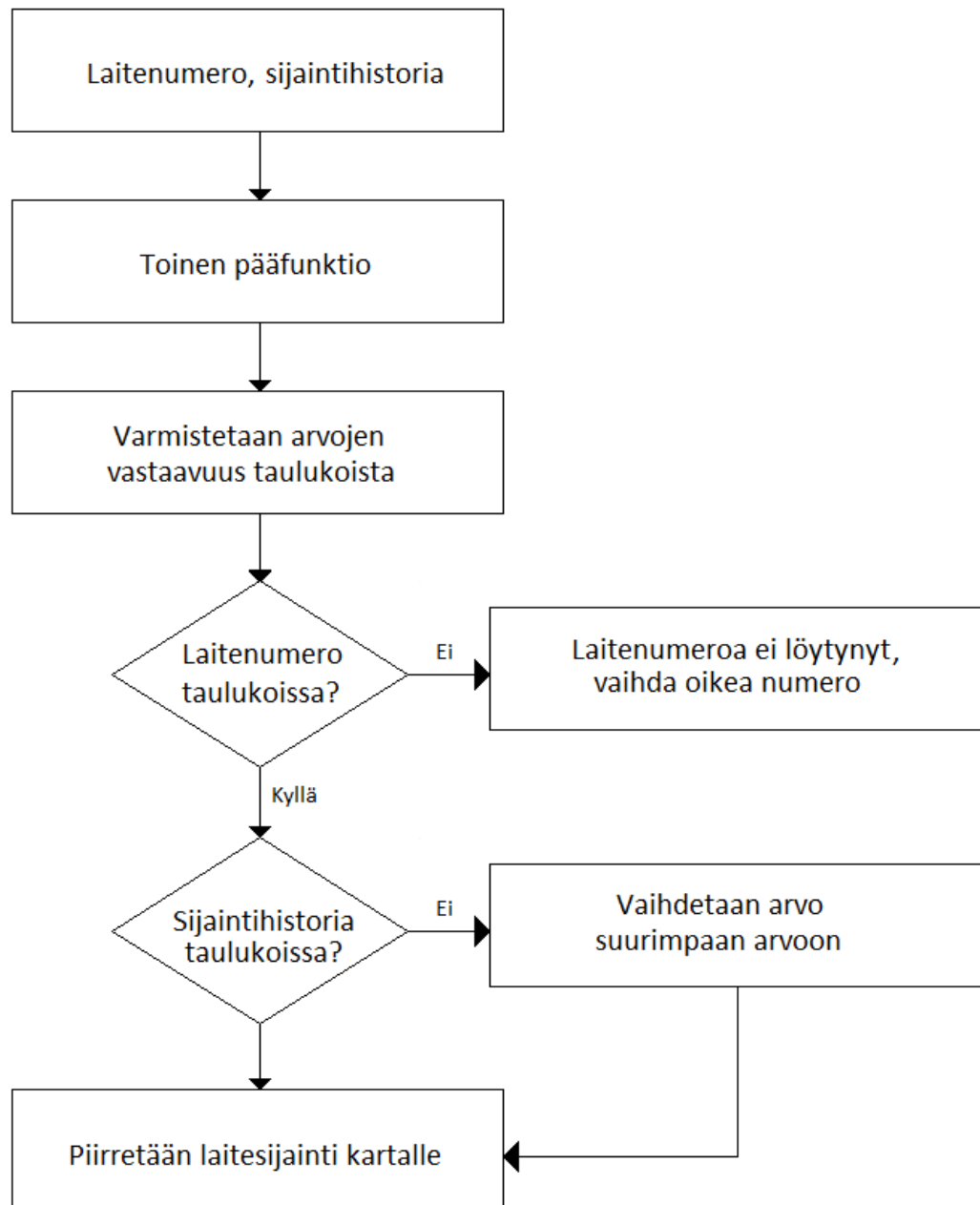
Ensimmäisen pääfunktion sisältämät alifunktiot tarkastelivat ja muuttivat taulukoiden arvoja sekä lisäsivät niihin tietoja määriteltyjen tukiasemien sekä niiden RSSI-tietojen mukaan. Ensimmäinen alifunktio hallitsi sen sisältämiä funktioita pääfunktion arvoilla ja hallinnoi ympyrän leikkauspisteiden laskemista taulukoiden arvojen perusteella. Funktio hallinnoi haluttujen leikkauspisteiden siirtämistä taulukkoon ja funktioon voitiin myös vaihtaa mikä tahansa RSSI-tietoihin pohjautuva paikannusmenetelmä.

Ensimmäisen funktion alifunktiot sisälsivät funktiot ympyrän kertoimien laskemiseen, ympyröiden leikkauspisteiden laskemiseen kertoimien avulla sekä tallennettavien leikkauspisteiden rajausta säädetyn etäisyyden mukaan. Ympyröiden kerroin saatiin funktiosta, joka laski etäisyyden vähintään kahden tukiaseman välillä ja jakoi sen niiden välisellä RSSI-arvolla. Kerrointa käytettiin funktiossa, joka kävi läpi paikannuslaitteelta saatuja RSSI-tietoja ja laski niiden perusteella tukiasemien etäisyydet paikannuslaitteeseen. Etäisyyttä käytettiin vertailupohjana laskentafunktiossa, joka laski ympyröiden koon ja leikkauspisteet. Leikkauspisteet syötettiin funktioon, joka rajasi hyväksytyjen leikkauspisteiden etäisyydet ja tallensi sallitulla etäisyydellä olevat leikkauspisteet taulukkoon.



Kuva 7. Vuokaavio ensimmäisestä pääfunktioista.

Toinen pääfunktio hallinnoi alifunktioilla paikannettavan laitteen näyttämistä kartalla. Funktio piti huolen sen alifunktioihin syötettävistä arvoista ja varmisti syötettävien arvojen vastaavan taulukoiden arvoja. Funktioon syötettiin paikannuslaitteen numero sekä sijaintihistoriaa vastaava numero, minkä jälkeen funktio piirsi tietojen perusteella laitteen sijainnin. Sijaintihistoriassa arvo yksi vastasi paikannuslaitteen viimeisintä sijaintia.



Kuva 8. Vuokaavio toisesta pääfunktioista.

#### 4 PAIKANNUSLAITTEEN KOMPONENTIT

Opinnäytetyönä tehtävä laite pyrittiin saamaan mahdollisimman vähän virtaa kuluttavaksi, jotta sen käyttöaika olisi pitkä. Työ toteutettiin Atmelin ATmega328PB-mikro-ohjaimelle, johon liitettiin NXP:n reaaliaikakello PCF85263A, Espressifin ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduuli ja Wisolin SFM10R1 Sigfox-moduuli. Wi-Fi-tukiasemat sisätilapaikannusta varten toteutettiin itsenäisillä ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduuleilla, jotka toimivat pelkinä tukiasemina ilman muita funktioita.

#### 4.1 Mikro-ohjain

Atmelin ATmega328PB-mikro-ohjain on halpa, tehokas ja vähän virtaa kuluttava. Se toimii 3,3V jännitteellä ja siihen on saatavilla laaja tuki valmistajalta sekä harrastepiireistä, joissa piiri on suosittu sen helppokäyttöisyyden ja sille valmiin ohjelmointiympäristön vuoksi. Näistä syistä paikannuslaitteen suunnittelu ja työstäminen kyseisellä piirillä valikoitui parhaaksi vaihtoehdoksi työn etenemisen kannalta.

#### 4.2 Reaaliaikakello

NXP:n PCF85263A reaaliaikakello valittiin sen vähäisen virrankulutuksen ja halvan hinnan vuoksi. Sen ominaisuudet mahdollistavat mikro-ohjaimen herättämisen millä tahansa aikavälillä. PCF85263A sisältää kaksi eri tilaa, joista toinen on kalenteritila ja toinen sekuntikello. Paikannuslaitteessa reaaliaikakello toimi I<sup>2</sup>C-tiedonsiirtoväylän kautta sekuntikello tilassa.

#### 4.3 Wi-Fi-moduuli

Wi-Fi-moduuliksi valikoitui Espressifin ESP8266 Wi-Fi-mikro-ohjain moduuli ESP-WROOM-02 sille saatavan tuen-, halvan hinnan-, pienen koon- sekä energiatehokkuutensa perusteella. Se sisältää tehokkaan ESP8266EX-mikro-ohjaimen, joka integroi 32-bittisen Tensilica L106 RISC prosessorin ja se pystyy käyttämään reaaliaikaista RTOS käyttöjärjestelmää. Moduuli käyttää IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardia 802.11b/g/n ja 2,4GHz:n taajuusalueita. Moduulin kellotaajuuden saa säädettyä enintään 160 MHz:iin ja se sisältää +19,5 dBm antennin eli sillä on noin 90 milliwatin lähetysteho. Moduulille on saatavilla tarvittavat ohjelmistot moduulin sisältämille komponenteille jättäen 80% muistista käyttäjän ohjelmistojen varten. (Espressif Systems, n.d.a, Espressif Systems, n.d.b.)

Valintaan vaikutti myös tuotekehityksen tulevaisuus, missä moduulilla pystytään opinnäytetyön tietojen perusteella kehittämään itsenäinen tuotettava version paikannuslaitteesta. Jatkokehityksessä paikannuslaitteen mikro-ohjain ja sekä reaaliaikakello korvataan Wi-Fi-moduulin mikro-ohjaimella ja reaaliaikakellolla.

#### 4.4 Sigfox-moduuli

Paikannuslaitteen paikannustiedot lähetettiin palvelimelle käyttäen SFM10R1 Sigfox-moduulia. SFM10R1 on halpa sekä vähän virtaa kuluttava radio ja se kuuluu pienitehoisiin laajaverkkoihin LPWAN. Sen etuja ovat pitkä kantama pienellä teholla. Euroopan Sigfox-verkon taajuus on 868 MHz. Sigfox-moduulilla saa lähettää enintään 140 viestiä ja vastaanottaa 4 viestiä vuorokauden aikana. Sigfox-viestin koko on 12 tavua. (Paul, 2015)

## 5 PAIKANNUSLAITTEEN TOIMINTA

Paikannuslaitteen koodi toteutettiin C/C++-kielellä ja sen ohjelmoinnin suunnittelun kannalta tärkein ominaisuus oli mahdollisimman pieni virrankulutus. Laitteen mikro-ohjain sekä siihen liitetyt anturit olivat päällä ainoastaan mittaus- sekä lähetysvaiheissa vähävirtaista reaaliaikakelloa lukuun ottamatta. Reaaliaikakellon tehtävänä oli herättää laite tunnin välein paikantamaan sijaintia, minkä jälkeen laite siirtyi lepotilaan odottamaan seuraavaa herätystä. Laitteen toiminta on kuvattu liitteen 1 vuokaaviossa.

Kommunikointi mikro-ohjaimelta Wi-Fi-moduulille ja Sigfox-moduulille hoitui asynkronisen sarjaliikenteen (UART) välityksellä. Moduulit kytkettiin mikro-ohjaimen kahteen eri UART-porttiin ja molemmat toimivat AT-komennoilla. Kommunikointi mikro-ohjaimelta reaaliaikakellolle hoitui I<sup>2</sup>C-tiedonsiirtoväylää pitkin.

### 5.1 UART

UART-yhteyttä pitkin kirjoitetaan datapaketteja, jotka sisältävät aloitusbitin, viidestä yhdeksään databittiä, valinnaisen pariteettibitin ja yhdestä kahteen pysäytysbittiä. Paikannuslaitteelta Sigfox- ja Wi-Fi-moduulille lähetetyt AT-komennot kirjoitettiin UART-yhteyttä pitkin ASCII-merkkeinä merkki kerrallaan. Yksi ASCII-merkki vastasi aina yhden datapaketin sisältöä.

UART toimii Tx-lähetyslinjan ja Rx-vastaanottolinjan välityksellä, mitkä kytketään ristiin moduulin ja mikro-ohjaimen välillä. Näin ollen moduulin Tx-lähetyslinja yhdistyy mikro-ohjaimen Rx-vastaanottolinjaan ja päinvastoin. Kun UART-yhteys havaitsee aloitusbitin se aloittaa linjan kuuntelemisen siirtonopeudella, joka ilmaistaan baudina sekunnissa ja sen nopeus laskeaan laitteessa olevan oskillaattorin mukaan. Yksi baudia vastaa signaalin muutoksia sekunnin aikana. Datapaketin kuunteleminen loppuu pysäytysbittiin, jolloin linja jää ylös. UART-yhteyden siirtonopeus kommunikoivien laitteiden välillä voi erota enintään kymmenen prosenttia, jolloin datapakkettien lukeminen onnistuu vielä luotettavasti. UART-toiminnoista vastaavat mikro-ohjaimen sisäänrakennetut rekisterit ja niiden toimintaa hoidetaan mikro-ohjaimessa UART-yhteyden kanssa toimivilla fyysisillä keskeytysfunktioilla, joiden mukaan mikro-ohjain suorittaa prosesseja UART-yhteyden mukaan. UART-yhteyden hyviä puolia ovat sen toimiminen aloitus- ja lopetusbittien perusteella eikä kellolinjan nopeutta tarvitse määrittää yhteydelle. Se on myös laajasti käytetty ja yksinkertainen toiminnoiltaan. Huonoina puolina sitä ei voida käyttää samanaikaisesti eri laitteiden kanssa, ellei laitteita ole kytketty eri UART-portteihin. (Circuit Basics, n.d.b.)

Paikannuslaitteen UART-yhteyden siirtonopeus oli 9600 baudia sekunnissa, joka vastasi 9600 bittiä sekunnissa nopeutta. Yhteydellä oli kahdeksan databittiä ilman pariteettibittiä ja yksi pysäytysbitti.



## 5.2 AT-komennot

AT-komennot (Attention Hayes commands) ovat yksinkertaisia UART-yhteyttä pitkin kirjoitettuja komentoja, joilla ohjataan moduulin toimintaa. Komentoihin kuuluvat alkuosa sekä loppuosa, joista alkuosa määrittää säädetyn asetuksen tai toiminnon ja loppuosa sen arvon. Komentojen etuna on moduulin käyttäminen tietämättä sen sisäisistä toiminnoista. AT-komentojen huono puoli on niiden käytettävyyden ja toimintojen muokkaus, joka rajoittuu komennon suorittamaan toimintoon. Komentoja ei pysty muokkaamaan eikä käyttämään moduulille ohjelmoidun ohjelmiston yhteydessä, ellei koodaaja itse koodaa omia AT-komentoja tukevan ohjelmiston laitteelle yhdessä muun koodin kanssa. AT-komentoja kirjoitetaan UART-yhteyttä pitkin ASCII-merkkijonoina merkki kerrallaan. (Nikhil Agnihotri, n.d.)

## 5.3 Wi-Fi-moduulin toiminta

Ennen ESP8266 Wi-Fi-moduulin käyttöönottoa oli siihen asennettava sille tarkoitettu AT-ohjelmisto, joka mahdollisti AT-komentojen käyttämisen moduulissa. Ohjelmiston asentamista varten ladattiin Espressifin sivuilta ESP8266-lataustyökalu ja AT-ohjelmistoon liittyvät tiedostot. Lataustyökalu käytti tietokoneeseen liitettävää FTDI-kaapelia (Future Technology Devices International), jolla voitiin lukea sekä kirjoittaa UART-yhteyttä pitkin viestejä tietokoneelta moduulille. Ohjelmiston asentamisen jälkeen moduulilta saatiin sen MAC-osoitteet, minkä jälkeen moduuli kytkettiin kiinni mikro-ohjaimen. Sisätilapaikannuksessa tukiasema Wi-Fi-moduulit asetettiin tukiasematilaan AT-komennolla, minkä jälkeen moduulit sijoitettiin huoneeseen.

Moduulista mikro-ohjaimen kytkettiin UART-yhteyden Tx- ja Rx-linjat AT-komentoja varten, virta, maa ja virrankytkentä-pinni. Virrankytkentä-pinni kytki moduulin pois käytöstä tukiasemien löytämisen jälkeen ja käynnisti sen uudestaan tukiasemien hakuvaiheessa virran säästämiseksi. UART-yhteydellä hoidettiin kommunikaation mikro-ohjaimen ja moduulin välillä käyttäen AT-komentoja.

Paikannuslaitteessa oleva moduuli nollattiin ja siihen määritettiin asetukset AT-komennoilla jokaisen lähetyksen yhteydessä toimivuuden varmistamiseksi. Asetuksissa määriteltiin moduuli toimimaan tukiasemien hakemista varten. Moduuli lähetti AT-komentoihin vastauksena OK-viestin, jonka perusteella varmistettiin asetusten tila. Asetusten asettamisen jälkeen aloitettiin Wi-Fi-tukiasemien etsiminen siihen tarkoitettulla AT-komennolla. Etsimiseen kului aikaa noin kaksi ja puoli sekuntia, jonka aikana mikro-ohjaimen UART-yhteyden Rx-linjan oli oltava aktiivisena. Koska moduuli lähetti komennon varmistusviestin ennen verkkojen etsimistä, täytyi UART-funktioon luoda ajastintoiminto, jonka aikana mikro-ohjain ei sammuta UART-yhteyden Rx-linjaa ennen verkkojen löytymistä. Ajastintoiminto oli säädetty viiteen sekuntiin, minkä aikana tarkistettiin, oliko OK-

viestiä tullut laitteelta verkkojen etsimisen jälkeen. Jos ajastimen aikana vastauksena saatiin OK-viesti, suljettiin UART-yhteys laitteiden välillä ja saadut tiedot pakattiin Sigfox-moduulilla lähetettävään muotoon. Jos OK-viesti ei saapunut viiden sekunnin kuluessa, lähetettiin virheilmoitus Sigfox-moduulilla eteenpäin ja paikannuslaite sekä siihen liitetyt moduulit siirrettiin lepotilaan odottamaan seuraavaa heräämistä.

#### 5.4 Sigfox-moduulin toiminta

SFM10R1 Sigfox-moduulin tehtävänä oli hoitaa laitteelta tiedon välittäminen palvelimelle Sigfox-verkon välityksellä. Paikannuslaitteelta Sigfox-moduulilla voitiin lähettää enintään viisi viestiä tunnin välein Sigfox-verkon rajoitusten mukaan. Sigfox-viestit sisälsivät Wi-Fi-tukiasemien RSSI-arvot sekä MAC-osoitteet. Viiteen viestiin mahtui yhteensä kahdeksan tukiaseman RSSI- ja MAC-tiedot. Ensimmäinen viesti sisälsi tukiasemien RSSI-arvot ja seuraavissa viesteissä MAC-osoitteet RSSI-arvojen mukaan. Viestien lähetysmäärä laskettiin RSSI-viestin perusteella. Viestit olivat muodossa, jossa RSSI-arvoista oli poistettu edestä miinusmerkki ja MAC-osoitteista niissä olevat kaksoispisteet. Yhteen viestiin mahtui näin ollen kaksi MAC-osoitetta. Viestit purettiin palvelimella lisäämällä RSSI-arvoihin miinusmerkit ja jakamalla MAC-viestit kahteen osaan, joihin lisättiin kaksoispisteet. Viestit lähetettiin Sigfox-moduulilla ASCII-merkkeinä palvelimelle käyttäen AT-komentoja.

Asennuspaikasta ja etäisyyksistä riippuen moduulin lähetysteho voitiin säätää AT-komennolla. Aluksi SFM10R1 Sigfox-moduuli herätettiin koodin alussa ennen ensimmäistä mittausta käyttämällä moduulin herätyspinniä alhaalla. Moduulin lähetysteho säädettiin AT-komennolla maksimiin, minkä jälkeen moduuli asetettiin lepotilaan odottamaan lähetyksen aloittamista. Sigfox-moduulin tila saatiin vahvistettua siltä UART-yhteyttä pitkin saatavalla OK-viestillä. AT-komennon jälkeen moduulilta tulevat viestit tallennettiin funktiolle syötettävään taulukkoon, josta tarkistettiin vastaus. UART-yhteys lopetti toimintansa saatuaan OK-viestin tai kun viisi sekuntia oli kulu- nut komennon lähettämisestä.

Viestin lähetysvaiheessa SFM10R1 Sigfox-moduuli herätettiin käyttämällä herätyspinni alhaalla ja lukemalla laitteelta vastaus. Koodin suorittamista jatkettiin aina moduulin antaessa OK-viestin. Muissa tapauksissa paikannuslaite asetettiin lepotilaan odottamaan seuraavaa herätystä ja uutta yritystä.

Heräämisen jälkeen saadun OK-viestin jälkeen edettiin viestin lähetysfunktion. Funktiolle määriteltiin lähetystaulukko, johon lisättiin lähetettävä viesti. RSSI-viestin perusteella laskettiin lähetettävien MAC-osoitteiden määrä. Viesti lähetettiin AT-komennolla, jossa komennon loppuosaan määriteltiin lähetystaulukosta lähetettävä viesti. Jokaisen RSSI- sekä MAC-viestin lähettämisen jälkeen tarkistettiin OK-vastaus. Viestien lähettämisen jälkeen moduuli asetettiin AT-komennolla lepotilaan odottamaan seuraavaa

lähetystä. Jokaisen viestin lähettämisessä kului aikaa noin 30 sekuntia ja UART-yhteydelle luodun ajastintoiminnon ajaksi asetettiin 45 sekuntia. Ajastintoiminnon aika perustui Sigfox-moduulille lähetettävän viestin vastaanottoaikaan.

## 5.5 I<sup>2</sup>C-tiedonsiirtoväylä

Toisin kuin UART-yhteydessä, voidaan samaa I<sup>2</sup>C-yhteyttä pitkin kirjoittaa sekä vastaanottaa komentoja usealle eri laitteelle käyttäen samaa yhteyttä. I<sup>2</sup>C-yhteydessä on datalinja, kellolinja ja se toimii isäntä- ja orjajaottelulla, jossa jokaisella orjalla on oma osoitteensa. Ennen yhteyden aloittamista tulee sille määrittää kellolinjan nopeus, jonka perusnopeus on 100 kilobittia sekunnissa ja suurin nopeus 3,2 megabittia sekunnissa. Yhteys käyttää kahdeksanbittistä rekisteriä tiedon lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Yhteyden toiminta alkaa aloitusehdolla, joka kytkee datalinjan ylhäältä alas ja sen jälkeen kellolinjan ylhäältä alas. Yhteyden toiminta loppuu pysäytysehtoon, jossa datalinja palautetaan alhaalta ylös sen jälkeen, kun kellolinja on palautettu alhaalta ylös. (Circuit Basics, n.d.a.)

Orjan osoiteosio sisältää seitsemästä kymmeneen bittiä ja ne määrittävät mitä laitetta halutaan käyttää. Osoitteen jälkeinen luku- ja kirjoitusbitti ilmoittaa, halutaanko laitteelle lähettää vai laitteelta vastaanottaa dataa. Jos bitti on alhaalla, laitteelle lähetetään dataa ja päinvastoin. I<sup>2</sup>C-yhteys sisältää myös vastaanottobitin jokaisen kirjoitetun dataosion jälkeen, jolla kerrotaan orjalle lähetyksen tai vastaanottamisen olevan valmis. Vastaanottobitillä voidaan myös määrittää, halutaanko laitteelle lähettää vai siltä vastaanottaa useampi kahdeksanbittinen arvo. Yhteys aloitetaan koodissa aloitusehdolla, joka kytkee I<sup>2</sup>C-yhteyden päälle. Aloitusehdon jälkeen kirjoitetaan orjan osoite ja luku- tai kirjoitusbitti, minkä jälkeen kerrotaan vastaanottobitillä laitteen valinnan olevan valmis. Laitteen valintaa seuraavat yksittäiset tai useammat kahdeksanbittiset dataosiot, joista orja joko vastaanottaa dataa tai johon orja lähettää dataa. Yhteys lopetetaan koodissa pysäytysehdolla, joka sammuttaa I<sup>2</sup>C-yhteyden. Yhteyttä voidaan myös käyttää toistuvilla aloitusehdoilla, jotka aloittavat yhteyden uuteen osoitteeseen ilman pysäytysehdon lähettämistä. Toistuvat aloitusehdot mahdollistavat rekisterien osoitemuutokset ilman I<sup>2</sup>C-yhteyden pysäyttämistä. (Circuit Basics, n.d.a.)

Opinnäytetyön paikannuslaitteessa käytettiin nopeutena 100 kilobittia sekunnissa.

## 5.6 Reaaliaikakellon toiminta

Paikannuslaitteen reaaliaikakellon sekuntikello toimii I<sup>2</sup>C-yhteydellä käyttäen toistuvia aloitusehtoja. PCF85263A reaaliaikakellossa on automaattinen rekisterinvaihto rekisterin arvon kirjoittamisen jälkeen, joten peräkkäin olevien rekisteriosoitteiden eli rekisteriosoiden arvot voidaan

kirjoittaa ilman toistuvia aloituskäskyjä. Aloituskäskyjä käytetään rekisteriosoiden vaihtamiseen. Reaaliaikakellon asettaminen alkoi aloitusehdolla, jonka jälkeen kello pysäytettiin ja nollattiin. Nollaamisen jälkeen määritettiin rekistereihin laitteen heräämisväli ja asetettiin kello sekuntikellotilaan ja lisättiin herätyskäskyt. Asetuksien jälkeen kello käynnistettiin ja lähetettiin pysäytysehto I<sup>2</sup>C-yhteyden lopettamiseksi.

## 6 PAIKANNUSLAITTEEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Opinnäytetyö alkoi tarpeesta löytää laitteen sijainti pienemmällä virrankulutuksella nopeammin kuin vastaavassa GPS-paikannustoteutuksessa. Samalla syntyi idea, jossa samalla tekniikalla pystyttäisiin varastotilassa paikantamaan esine noin kymmenen metrin tarkkuudella, jos tilaan asetetaan Wi-Fi-tukiasemia. Wi-Fi-tekniikan liittäminen yrityksen laitteisiin avaisi myös uusia mahdollisuuksia.

Työn aloitusvaiheessa tehtiin tarvittavat kirjastot moduuleille ja suunniteltiin Wi-Fi-moduulin kytkennät tilaajan omalle ATmega328PB-mikro-ohjain alustalle, johon oli kytketty valmiiksi reaaliaikakello sekä Sigfox-moduuli. Työ eteni laitteelta saatujen tietojen lähettämiseen Googlelle ja sieltä saatujen koordinaattien näyttämiseen kartalla. Ulkotilapaikannus testattiin ja todettiin toimivaksi kokonaisuudeksi. Testaaminen tapahtui Riihimäellä, Hyvinkäällä, Seinäjoella, Helsingissä ja Tampereella. Ulkotilapaikannuksen toimivuuden toteamisen jälkeen työ eteni sisätilapaikannuksen suunnitteluun ja testaamiseen. Testit toimivat halutulla tarkkuudella tilassa, jotka tehtiin Small Data Garden Oy:n tiloissa. Työ vietiin jatkokehitykseen.

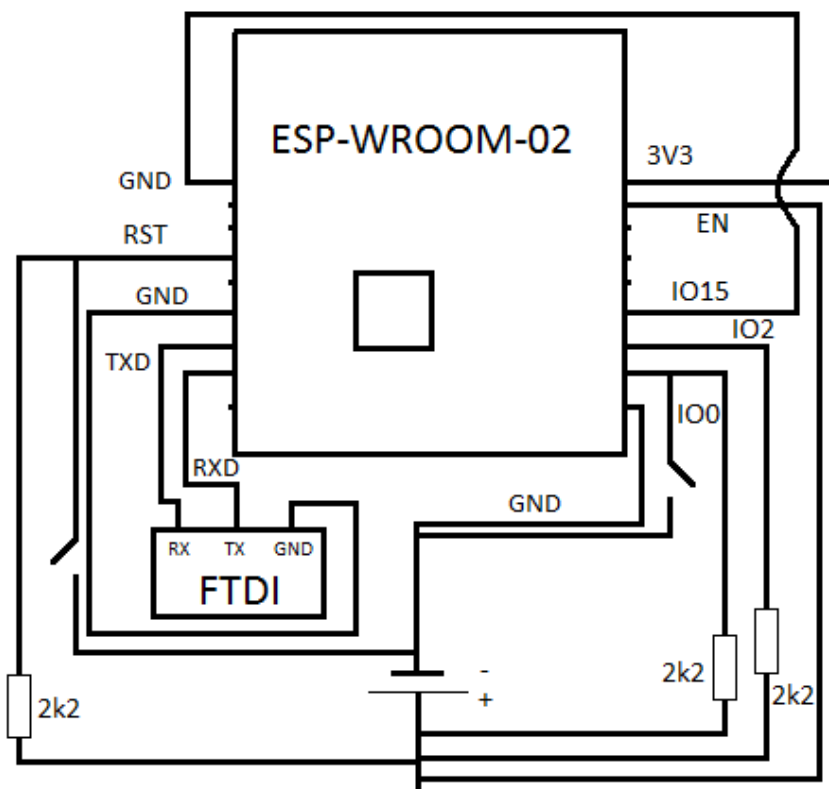
### 6.1 Wi-Fi-moduulin valmistelu ja kytkennät

Työ alkoi Wi-Fi-moduulin liittämällä ATmega328PB-mikro-ohjaimeen ja sitä varten täytyi tehdä mikro-ohjaimelle Wi-Fi-moduulin käyttämistä varten kirjastot AT-komentoihin. Moduuli liitettiin mikro-ohjaimen UART1-porttiin, koska UART0-porttia käytti Sigfox-radio. UART1-portille laskettiin siirtonopeudeksi 9600 baudia sekunnissa, jotta se vastaisi radion käyttämää siirtonopeutta ja mahdollistaisi Wi-Fi-moduulin käytön radion kanssa. UART1-portin kirjastoja koodattiin C/C++ kielillä ja portin toiminta tarkistettiin oskilloskoopilla kirjoittamalla yhteyttä pitkin viestejä ja tarkistamalla niiden rakenne. Kirjastojen valmistumisen jälkeen siirryttiin Wi-Fi-moduulin liittämiseen mikro-ohjain alustaan.

Ennen Wi-Fi-moduulin liittämistä mikro-ohjaimeen, täytyi moduuliin ohjelmoida AT-ohjelmisto, joka ladattiin tietokoneelle Espressifin sivuilta. Ohjelmointi tapahtui tietokoneelta moduulille FTDI-kaapelilla Espressifin ohjeiden mukaan käyttäen ESP8266-Flash-Download -ohjelmaa, johon määriteltiin moduulin ohjelmointiin liittyvät muistiosiot sekä moduulin

ohjelmointiin tarvittavat moduulin tiedot. Ohjelmoinnin nopeus tietokoneelta moduulille käytti siirtonopeutena 115200 baudia sekunnissa.

Ennen ohjelmiston asentamista tuli moduulille tehdä oikeat kytkennät. Moduulin IO0-pinni ja RESET-pinniin liitettiin 2,2 kilo-ohmin ylösvetovastukset ja kytkennät painikkeisiin, jotka liitettiin maahan. 3V3-pinni sekä EN-pinni liitettiin 3,3V virtalähteeseen. IO2-pinni liitettiin samaan virtalähteeseen 2,2 kilo-ohmin vastuksella. IO15-pinni kytkettiin moduulin maahan ja moduulin TXD- ja RXD-pinni kytkettiin ristiin FTDI-kaapelin kanssa ja kaapelin maa kytketään moduulin GND-pinniin (kuva 9).



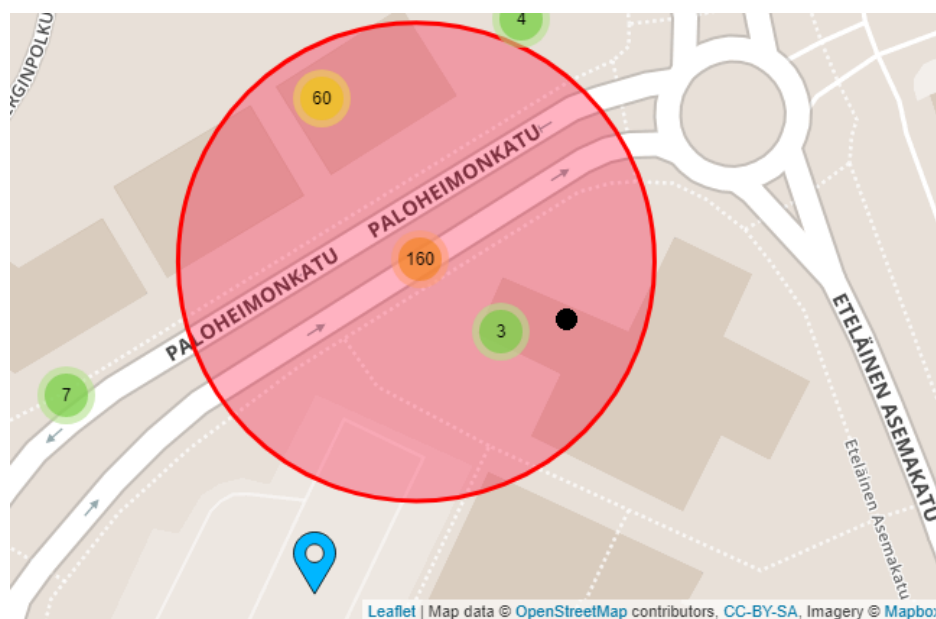
Kuva 9. Kytkenät moduulin ohjelmoimista varten.

Ohjelmiston asentamista varten täytyi moduuli asettaa lataustilaan. Lataustilaan asettaminen tapahtui liittämällä RESET- ja IO0-pinnit maahan painamalla painikkeita ja palauttamalla RESET-painike ylös ennen IO0-pinniä. Tilan asettamisen jälkeen aloitettiin lataus. Latauksen jälkeen moduuli käynnistettiin uudestaan RESET-painiketta painamalla ja siihen asetettiin AT-komennolla moduulin UART-yhteyden siirtonopeudeksi 9600 baudia sekunnissa vastaamaan Sigfox-radiomodulin siirtonopeutta. Siirtonopeus vaihdettiin tietokoneella FTDI-kaapelia käyttäen, minkä jälkeen moduuli irrotettiin kaapelista ja liitettiin ATmega328PB-mikro-ohjaimen. Mikro-ohjaimen liittämässä TXD- ja RXD-pinnit kytkettiin ristiin ja 3V3-pinni kytkettiin paikannuslaitteen virtalähteeseen eli paristoon ja GND-pinni yhdistettiin maahan. Moduulin RESET- ja IO0-painikkeet irrotettiin ja EN-pinni

kytkettiin mikro-ohjaimen PCINT19-pinniin, jolla käynnistettiin ja sammutettiin moduuli moduulin käytön mukaan.

## 6.2 Ulkotilapaikannuksen sijainti kartalla

Paikannuslaitteen käynnistyessä aloitettiin Wi-Fi-tukiasemien etsiminen ja niistä saatujen RSSI-tietojen lähetys Sigfox-moduulilla palvelimen tietokantaan. Palvelimen tietokannasta haettiin ja liitettiin tukiasematiedot JavaScriptillä luodun karttapohjan funktioihin. Funktiot loivat paikannuslaitteen viesteistä JSON-tiedoston, joka lähetettiin Googlelle. Google tarvitsi vähintään kahden tukiaseman tiedot, joten laite lähetti virheviestin yhdestä tukiasemasta. Jos tukiasemista ei löytynyt tarpeeksi tarkkoja tietoja, lähetti Google epämääräisen paikan kartalle Pietariin. Google lähetti myös tiedot tarkkuudesta, joten huonolla tarkkuudella olevat paikat jätettiin huomioimatta. Tarkkuuden mukaan kartalle luotiin ympyrät Googlen lähettämien koordinaattien kohdalle (kuva 10). Laitteen ulkotilapaikannus toimi halutulla tavalla ja sitä testattiin aiemmin mainituilla paikkakunnilla noin neljän kuukauden ajan.



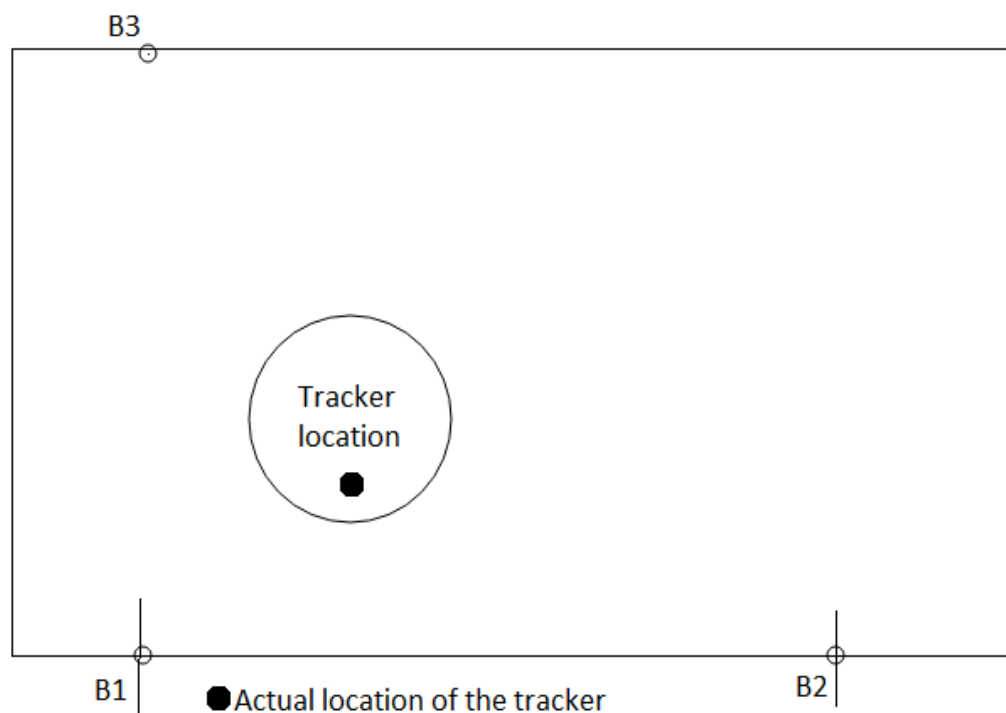
● Paikannuslaitteen sijainti

Kuva 10. Ulkotilapaikannuksen tarkkuus oli keskimäärin noin 50 metriä. (OpenStreetMap, Mapbox, n.d.)

## 6.3 Sisätilapaikannuksen suunnitteleminen ja toteutus

Sisätilapaikannuksessa haettiin ratkaisua, jossa verkon tarkkuus on suuntaa antava ja helposti asennettava. Näin ollen sisätilapaikannuksessa käytettiin yksinkertaista RSSI-signaalien voimakkuuksien vertailua suhteessa tilaan asennettujen tukiasemien RSSI-signaalien voimakkuuksiin. Sisätilapaikannuksessa oli mahdollista vaihtaa haluttu RSSI-signaaleihin perustuva paikannusmenetelmä paremman tarkkuuden saamiseksi.

Sisätilapaikannuksen testaamisessa tukiasemina toimivat ESP8266 Wi-Fi-moduulit, joihin oli asennettu AT-ohjelmisto ja ne toimivat paristoilla. Paikannettava laite oli asetettu löytämään tukiasemat MAC-osoitteiden perusteella. Tukiasemat asetettiin eri puolille huonetta ja paikannuslaitteella mitattiin tukiasemien väliset RSSI-arvot korvaamalla tukiasema paikannuslaitteella jokaisen tukiaseman kohdalla, minkä jälkeen paikannuslaite sijoitettiin huoneeseen paikannettavaksi. Paikannuslaitteelta saatuja tietoja syötettiin nettisivuilla olevalle testikartalle, jonka JavaScript-koodi käsitteli datan ja muodosti lasketun sijainnin RSSI-arvojen perusteella (kuva 11). Testien tulokset olivat lupaavia.



Kuva 11. Paikannuslaitteen sijainti laskettuna RSSI-arvojen perusteella verrattuna laitteen fyysiseen sijaintiin.

## 7 JATKOKEHITYS

Opinnäytetyön tietojen ja testien tulosten perusteella voidaan siirtyä jatkokehityksen pariin, missä paikannuslaite pyritään saamaan toimimaan erillisenä omana yksikkönä.

Paikannuslaitteen jatkokehityksen tavoite on yhdistää ESP8266 Wi-Fi-moduuli sekä Sigfox-radio, jossa Atmega328PB-mikro-ohjain ja PCF85263A-reaaliaikakello on korvattu Wi-Fi-moduulin ESP8266EX-mikro-ohjaimella ja moduulin sisäisellä reaaliaikakellolla.

Jatkokehityksessä yleisesti perehdytään ESP8266 Wi-Fi-moduulin ohjelmointiympäristöön ja sen mahdollistamiin ominaisuuksiin liittyen Wi-Fi-verkon käyttöön IoT-projekteissa. Moduulin ohjelmakoodi kirjoitetaan virtuaalikoneessa olevalla Ubuntu-käyttöjärjestelmällä käyttäen Espressifin Non-OS SDK:ta tai RTOS käyttöjärjestelmää moduulissa.



## LÄHTEET

Alma Talent Oy. (2017) Small Data Garden Oy. Haettu 26.09.2018 osoitteesta  
<https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/small+data+garden+oy/28154722>

BeaconZone Ltd (n.d.) Determining Location Using Bluetooth Beacons. Haettu 27.09.2018 osoitteesta  
<https://www.beaconzone.co.uk/bluetoothleposition>

Circuit Basics (n.d.a.) Basics of the I2C Communication Protocol. Haettu 11.10.2018 osoitteesta <http://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>

Circuit Basics (n.d.b.) Basics of UART Communication. Haettu 11.10.2018 osoitteesta <http://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>

Cisco (2014) Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide: Location tracking approaches. Haettu 27.09.2018 osoitteesta  
<https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG/wifich2.html>

Espressif Systems (n.d.a.) ESP8266 Overview. Haettu 01.10.2018 osoitteesta  
<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>

Espressif Systems (n.d.b.) Single-core Modules with 802.11b/g/n 2.4 Ghz Wi-Fi. Haettu 01.10.2018 osoitteesta  
<https://www.espressif.com/en/products/hardware/modules>

Marshal Brain & Tom Harris (n.d.) How GPS Receivers Work. Haettu 26.09.2018 osoitteesta  
<https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/travel/gps3.htm>

Nikhil Agnihotri (n.d.) AT Commands, GSM AT Command set. Haettu 11.10.2018 osoitteesta <https://www.engineersgarage.com/tutorials/at-commands>

OpenStreetMap, Mapbox (n.d.) Imagery. Haettu 11.10.2018 osoitteesta  
<https://www.mapbox.com/>

Paul (2015) One day at Sigfox. Haettu 11.10.2018 osoitteesta  
<https://www.disk91.com/2015/news/technologies/one-day-at-sigfox/>

Sanoma Media Finland (n.d.) Sijaintiperusteiset palvelut. Haettu 26.09.2018 osoitteesta. <https://sanoma.fi/tietoa-meista/tietosuoja/tuotekohtaiset-tarkennukset/sijaintiperusteiset-palvelut/>

U.S. National Library of Medicine Community Health Maps (2014) How Accurate is the GPS on my Smart Phone? (Part 2). Haettu 27.09.2018 osoitteesta <https://communityhealthmaps.nlm.nih.gov/2014/07/07/how-accurate-is-the-gps-on-my-smart-phone-part-2/>

Vuokaavio paikannuslaitteen toiminnasta

