LPWAN testiympäristö

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

HAMK Riihimäki, Tieto-ja viestintätekniikka

Syksy, 2018

Joel Rapp

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Tieto- ja viestintätekniikka, insinööri
Riihimäki

Tekijä Joel Rapp **Vuosi** 2018

Työn nimi LPWAN testiympäristö

Työn ohjaaja/t Marko Grönfors

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutustua LPWAN teknologiaan ja rakennuttaa testiympäristö laboratorioluokkaan. Tekniikkana päädyttiin käyttämään LoRaWAN-verkkoa joka, rakennettiin käyttäen Multitech Conduit yhdyskäytävää, Multitech mDot LoRa-moduulia ja Ubuntua palvelin alustana.

Työn aloitettiin etsimällä tietoa hyvästä alustasta työn suorittamiseen, jossa päädyttiin valitsemaan avoimen lähdekoodin ratkaisu Loraserver. Lisäksi työssä käydään läpi mistä osista LoRaWAN-teknologia rakentuu.

Lopputuloksena syntyi helposti käytettävällä selainpohjaisella käyttöliittymällä varusteltu järjestelmä, jolla on helppo käsitellä päätelaitteita, sekä tarvittaessa lisätä uusia.

Avainsanat Langatontiedonsiirto, LoRaWAN, LPWAN, Tietoverkko

Sivut 32 sivua, joista liitteitä 5 sivua

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communication Technology
Riihimäki

Author Joel Rapp **Year** 2018

Subject LPWAN test environment

Supervisors Marko Grönfors

ABSTRACT

The goal of this thesis project was to study and build a test environment involving the LPWAN network inside telecommunications laboratory. In this project the plan was to use LoRaWAN as the main technology for building this network, using Multitech Conduit as the gateway, the Multitech mDot LoRa module as the end device and Ubuntu as the server.

The work was started by searching for information about a decent platform to build the test environment on, in the end the decision was to use Loraserver as it is an open source project with good documentation. In addition in the project it was examined how LoRaWAN works and operates, and how it was built.

At the End result was a system with easy to use web-based user interface was aquired, which can be used to manage devices and add new ones.

Keywords LoRaWAN, LPWAN, Telecommunication, Wireless data transfer

Pages 32 pages including appendices 5 pages

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

2 LORAWAN 1

2.1 LoRa-Allianssi 1
2.2 LoRaWAN laitteet 2
2.2.1 Päätelaiteet 2
2.2.2 Yhdyskäytävä 2
2.2.3 Palvelin 2
2.3 Topologia 2
2.4 Modulaatio 3
2.5 Taajuudet 5

3 LORAWAN PROTOKOLLAPINO 5

3.1 Sovellustaso 6
3.2 MAC 6
3.3 Fyysinen taso 7
3.4 Radio taso 7

4 TIETOTURVA 8

5 VERKON RAKENNUS 8

5.1 Loraserver 9
5.1.1 Ubuntu 10
5.1.2 MQTT 10
5.1.3 PostgreSQL 10
5.2 Yhdyskäytävä 11
5.3 Loraserver palvelin 13
5.4 Loraserver sovelluspalvelin 14
5.5 Päätelaite 15
5.6 Asetukset 16

6 YHTEENVETO 20

LÄHTEET 21

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa LPWAN testiympäristö Hämeen ammattikorkeakoulun Riihimäen kampuksen tietoliikenne laboratorioon. Tätä varten opinnäytetyössä käydään läpi LoRaWAN-teknologiaa.

Internet of things on räjähdysmäisesti kasvanut viimeisen parin vuoden aikana ja tämä tuottaa tiedonsiirrossa omia ongelmia, mitä on lähdetty ratkaisemaan erilaisilla langattomilla tiedonsiirtotekniikoilla.

Langattoman tiedonsiirron ongelmia IoT-laitteille ovat virrankulutus sekä häiriöalttius, näihin kehittäjät yleensä asettavatkin isoja panostuksia. LPWAN eli low-power wide-area network teknologiat ovat kehitetty vastaamaan juuri näihin haasteisiin, ominaisina piirteinä näillä ovat pieni virran kulutus ja pienet kaistanleveydet. Parhaimmillaan LPWAN teknologiat pystyvät jopa 10kilometrin etäisyyksiin tiedonsiirrossa.

LoRaWAN on LPWAN teknologia, joka on kehitetty ratkaisemaan juuri näitä IoT-laitteiden ongelmia.

2 LORAWAN

LoRaWAN on tiedonsiirtoprotokolla vähätehoiseen langattomaan tiedonsiirtoon. LoRaWAN on erityisesti kehitetty yhdistämään langattomasti toimivia IoT laitteita internettiin. Verkon kehityksessä on erityisesti otettu huomioon tärkeitä IoT vaatimuksia kuten liikuteltavuus sekä tietoturvallisuus. (LoRa Alliance™, n.d.a.)

2.1 LoRa-Allianssi

LoRa-Allianssi on avoin voittoa tavoittelematon organisaatio, joka on perustettu vuonna 2015 ja sillä on tänä päivänä jo yli 500 jäsentä.
Allianssin tarkoituksena on edesauttaa LoRaWAN-protokollan kasvua johtavana avoimena standardina LPWAN teknologioissa. (LoRa Alliance™", n.d.b.)

LoRa-Allianssiin voi liittyä 3000 dollarin hintaan, jäsenyydestä saa monia etuja, jotka löytyvät taulukosta yksi. (LoRa Alliance™, n.d.c.)

Taulukko 1. LoRa-allianssin jäsenyyden etuudet

Pääsy tuloksiin ennen niiden julkista julkaisemista
Kanava LoRa-allianssin sisäisiin viesteihin
Osallistumisoikeus vuotuisiin jäsen kokouksiin
Pääsy jäsen yhteistyö portaaliin
Lupa käyttää LoRa-allianssi sekä LoRaWAN logoja omassa mainostoiminnassa
Hakea type-6 NetID osuutta
Sertifioida laitteita virallisella LoRaWAN Certified logolla
Sertifioiduille laitteille annetaan prioriteetti online katalogissa

2.2 LoRaWAN laitteet

LoRaWAN-verkossa on kolme erityyppistä laitetta, joista jokaisella on oma osuutensa verkon toimivuuden kannalta, käymme tässä osiossa tämä laitteet läpi. (3glteinfo, n.d.a.)

2.2.1 Päätelaiteet

LoRa-verkon päätelaitteet vastaavat tiedon keräämisestä. Laitteet ovat yleensä vain yksinkertaisia sensoreita, jotka mittaavat vaikkapa lämpötilaa. Laitteet voivat olla pitkienkin etäisyyksien takana. (3glteinfo, n.d.a.)

2.2.2 Yhdyskäytävä

LoRa-verkossa yhdyskäytävän tarkoituksena on ottaa vastaan tieto päätelaitteelta LoRa-teknologiaa käyttäen, yksi päätelaite voi olla yhteydessä moneen yhdyskäytävään. Saatuaan signaalin yhdyskäytävä välittää tämän tiedon pilvipalvelimelle. Tässä vaiheessa signaali siirtyy LoRa-verkosta Internet verkkoon. (3glteinfo, n.d.a.)

2.2.3 Palvelin

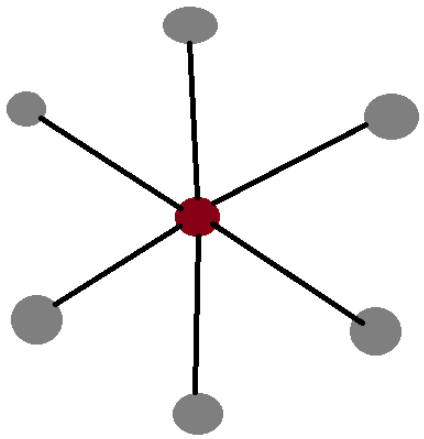
Lora-verkossa palvelimen työnä on hoitaa päällekkäisten pakettien tarkastus, turvallisuus tarkastukset ja ACK lähetykset yhdyskäytäville. Palvelin on myös vastuussa pakettien siirrosta oikealle sovelluspalvelimelle.
(3glteinfo, n.d.a.)

2.3 Topologia

LoRaWAN toimii käyttäen tähtitopologiaa, joka tarkoittaa, että jokaisen päätelaitteen pitää lähettää datansa keskeiselle palvelimelle yhdyskäytävän kautta.

Eli käytännössä jokainen päätelaite lähettää tietonsa yhdyskäytävälle, joka taas vuorostaan lähettää saman tiedon keskus palvelimelle, joka hoitaa viestin aikatauluttamisen ja turvallisuustarkastukset. (IoTforall, n.d.)

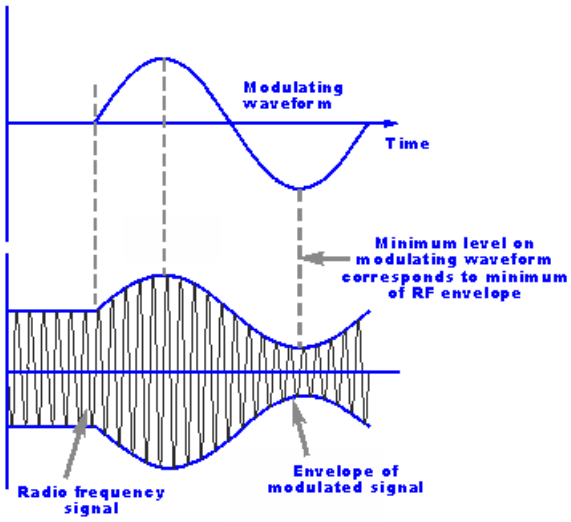
Tähtitopologiasta selvänä hyötynä on päätelaitteiden yksinkertaisuus, tämän lisäksi tähtitopologia on LoRaWAN-verkkoon mesh-topologiaa parempi, mahdollistaen pienemmän virrankäytön. (Kuva 1)



Kuva 1. Yksinkertainen tähtitopologia

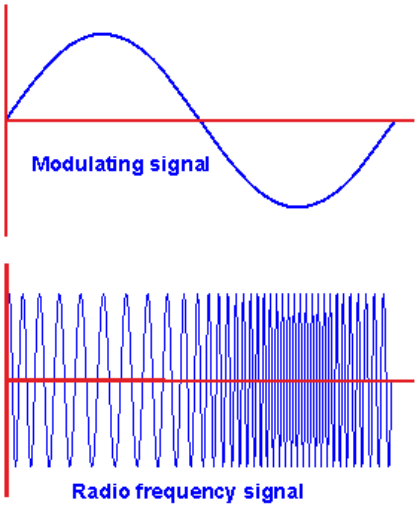
2.4 Modulaatio

Tiedonsiirrossa modulaatiolla tarkoitetaan radiosignaalin muokkausta, jolloin kantoaallon yhteydessä saadaan siirrettyä tietoa. Modulaatiossa on kolme perusluokkaa, amplitudimodulaatio, taajuusmodulaatio sekä vaihemodulaatio. (Wikipedia, n.d.b.) Amplitudimodulaatiossa tieto välitetään kantoaallon voimakkuuden vaihteluina. Amplitudi modulaatio on esitetty kuvassa 2.



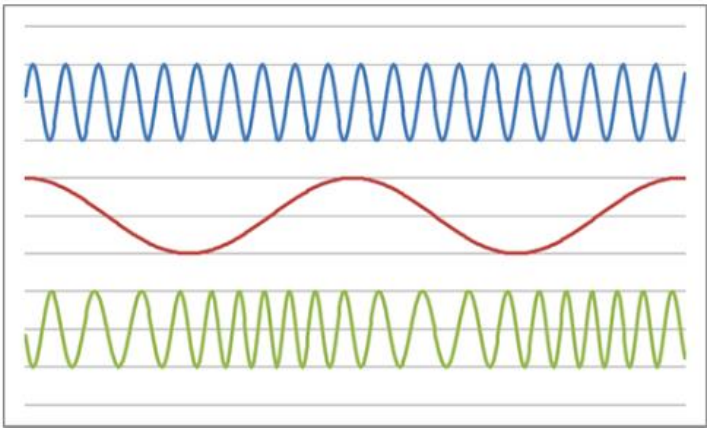
Kuva 2. Amplitudimodulaatio (Poole, n.d.)

Taajuusmodulaatiossa tieto liitetään kantoaallon taajuuteen ja samalla pitäen amplitudin vakiona. (Poole, n.d.) (Kuva 3.)



Kuva 3. Taajuusmodulaatio (Poole, n.d.)

Vaihdemodulaatiossa moduloivalla signaalilla ohjataan kantoaallon vaihetta. (Kuva 4.)



Kuva 4. Vaihdemodulaatio (Lipscomb, 2015)

LoRaWAN-modulaatio pohjautuu CSS-modulaatioon (Chirp Spread Spectrum), jonka avulla signaalin välittämiseen tarvitaan vähemmän virtaa. CSS sietää kohinaa ja heijastumisen kautta johtuvia häiriöitä hyvin. (Nanotron, n.d.)

CSS-modulaation on aikaisemmin ollut lähinnä armeija- ja avaruus teollisuuden käytössä vuosien ajan, etenkin toisen maailmansodan aikana, koska sen salakuuntelu oli erittäin vaikeata.
LoRa onkin oikeastaan ensimmäisiä CSS-tekniikkaa käyttäviä kaupallisia sovituksia. (Tuv, n.d.)

2.5 Taajuudet

LoRa käyttää Euroopassa 868 MHz taajuutta, Euroopassa maksimi sallittu lähetysteho on +16dBM. 868 MHz taajuus on käytössä, kun signaalia ei ole moduloitu ollenkaan. LoRa muuttaa taajuutta tarpeiden mukaan, tämä riippuu tarvittavasta kaistanleveydestä datansiirtoon sekä kuinka korkea laatuista signaalia halutaan lähetettävän. LoRa käyttää kymmentä eri kaistanleveys vaihtoehtoa, pienimmän ollessa 7,8 kHz ja suurimman 500 kHz.
LoRa käyttää myös kuutta eri hajautuskerrointa SF (Spreading Factor). LoRalla käytössä ovat SF7 – SF12, mitä isompi SF on käytössä, sitä pidemmälle saadaan signaali kuulumaan, mutta samalla myös data määrä pienenee. Hajautuskertoimen ja kaistanleveyden valinnalla saadaan aikaan ympäristöön sopivat asetukset, jotta signaalista saadaan korkealaatuista.
(Electronic Notes, n.d.)

3 LORAWAN PROTOKOLLAPINO

Protokollapinolla tarkoitetaan yleensä monen yksittäisen protokollan muodostamaa systeemiä, jotka toimivat keskenään yhteen. TCP/IP on yksi esimerkki protokolla pinosta. (Webopedia, n.d.)

LoRa sisältää neljä eri protokolla tasoa, joista jokaisella on oma tehtävänsä. LoRa-protokollatasot ovat, sovellustaso (APL), media access control (MAC), fyysinen taso (PHY) ja radiotaso (RFY).

3.1 Sovellustaso

Sovellustasolla tarkoitetaan nimensä mukaisesti sovellusta, jonka avulla LoRa-verkko toimii, sovellustaso on siis käytössä sekä palvelinpuolella että päätelaitepuolella. Esimerkkejä sovellustasosta ovat siis päätelaitteet esimerkiksi, mDot, iM880A-L ja muut vastaavat. Palveluiden kuten ThethingsNetwork voidaan sanoa olevan sovellustasoa LoRa-verkolle. (Farrel, 2016.)

3.2 MAC

Media access control hoitaa yhteyden muodostamisen yhdyskäytävän ja päätelaitteiden välillä. MAC-taso hoitaa myös MAC-komentojen ja datan lähetyksen sekä vastaanottamisen sovellustasolta. LoRaWAN MAC-viestit erotetaan MAC-viestityypin mukaan, viestityypit ovat nähtävissä kuvassa 5.

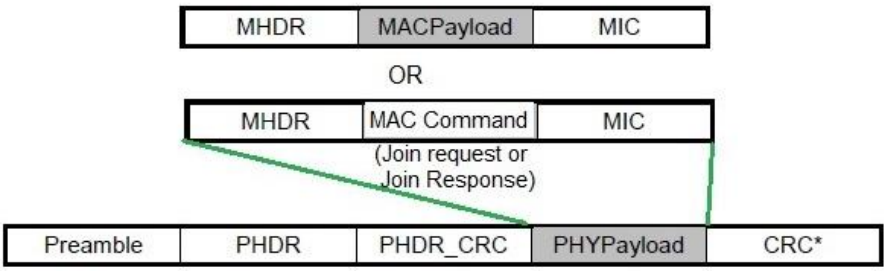
MAC message type	Description
000	Join Request
001	Join Accept
010	Unconfirmed Data Up
011	Unconfirmed Data Down
100	Confirmed Data Up
101	Confirmed Data Down
110	RFU
111	Proprietary

Kuva 5. MAC viesti tyypit

Join Request sekä Join Accept ovat käytössä, kun yhteyttä muodostetaan päätelaitteen ja yhdyskäytävän välillä. Unconfirmed viestityyppejä käytetään, kun viestiin ei tarvitse vastata. Confirmed viestityyppeihin taas tar-

vitsee vastata. Proprietary on käytössä, jos liitetään standardista poikkeavia viestien toiminnallisuuksia. RFU on varattu tulevaa käyttöä varten. (Rf Wireless World, n.d.a.)

MAC-taso lisää MAC-hyötykuorman eteen MAC-headerin (MHDR), ja hyötykuorman loppuun message integrity code:n (MIC), hyötykuorma sisältää joko MAC-komentoja tai dataa. Alhaalla kuvassa 6 näkyy kuinka fyysinen taso implementoi MAC-tason hyötykuorman.



Kuva 6. Fyysisen kerroksen MAC-tason implementointi

3.3 Fyysinen taso

Fyysinen taso on LoRaWAN teknologiassa vastuussa PHY-kehysten rakentamisesta käyttäen MAC-kehystä. Kehykseen lisätään Preamble, jonka tarkoituksena on auttaa synkronisaatiossa, fyysisentason otsikko (PHDR), otsikon CRC sekä MAC-kehyksen CRC kuten kuvassa 6 näkyy. Valitettavasti LoRa fyysinen taso on suljettu ja Semtech:in omistuksessa, jolloin tästä ei ole vapaana olevaa dokumentaatiota kovinkaan paljoa. (Rf Wireless World, n.d.b.)

3.4 Radiotaso

Tämä taso vastaa tiedon moduloinnista lähetettävään signaaliin, modulointi tapahtuu oikeaan taajuuteen jotka ovat määrätty eri maissa tietyille ISM (Industrial, Scientific and Medical) taajuuksille. ISM-taajuuksien käyttö ei vaadi erillistä lupaa, mutta tietyissä maissa osa ISM-taajuuksista on kielletty. (Wikipedia, n.d.a.)

LoRan käyttämät ISM-taajuudet näkyvät taulukossa 2
(RF Wireless World, n.d.c.)

Taulukko 2. LoRa-taajuusalueet (3glteinfo, n.d.b.)

Alue	Taajuusalue	Kanavat
USA	902 - 928 MHz	64+8+8
Eurooppa	863 - 870 MHz	10
Kiina	779 - 787 MHz	Ei tiedossa

4 TIETOTURVA

LoRaWAN on langaton tietoverkko, jolloin tietoturva on todella tärkeä huomioon otettava asia. Tietoturvaan voidaankin sanoa kuuluvan kolme perusasiaa. Ensimmäisenä luottamuksellisuus, on tärkeää pitää huoli siitä, että dataan pääsee käsiksi vain oikeat henkilöt. Toisena koskemattomuus, tiedon haltijan pitää olla varma, että hänen tietoja ei ole muutettu tai muuten vääristetty. Sekä kolmantena saatavuus, tiedon pitää olla helposti saatavissa sen haltijalle. (Simplilearn, n.d.)

LoRaWAN käyttää salauksessaan kahta eri avainta, NwkSKEY ja AppSKey, näistä jokainen on 128 bittiä pitkä. Yleisesti mitä pidempi avain on, sitä vaikeampi se on murtaa.
NwkSKEY eli network session key on käytössä viestien varmentamisessa päätelaitteen ja palvelimen välillä. Avaimen avulla tarkistetaan MAC-tasolla lisätyn MIC:n arvo, jos tämä arvon on oikea, palvelin hyväksyy tämän pätkän tietoa.

AppSKey-avainta käytetään hyötykuorman salaukseen ja salauksen purkamiseen. Tämän avulla voidaan olla varmoja, että tiedon sisällön näkevät vain oikeat henkilöt, eikä kukaan pysty nappaamaan viestiä kesken sen matkan ja lukemaan sitä. (TheThingsNetwork, n.d.)

5 VERKON RAKENNUS

Tässä työssä oli tarkoituksena tutkia LPWAN-testiympäristöä, koska tätä ei vielä koulun labratiloista löytynyt, tämä rakennettiin työn mukana.

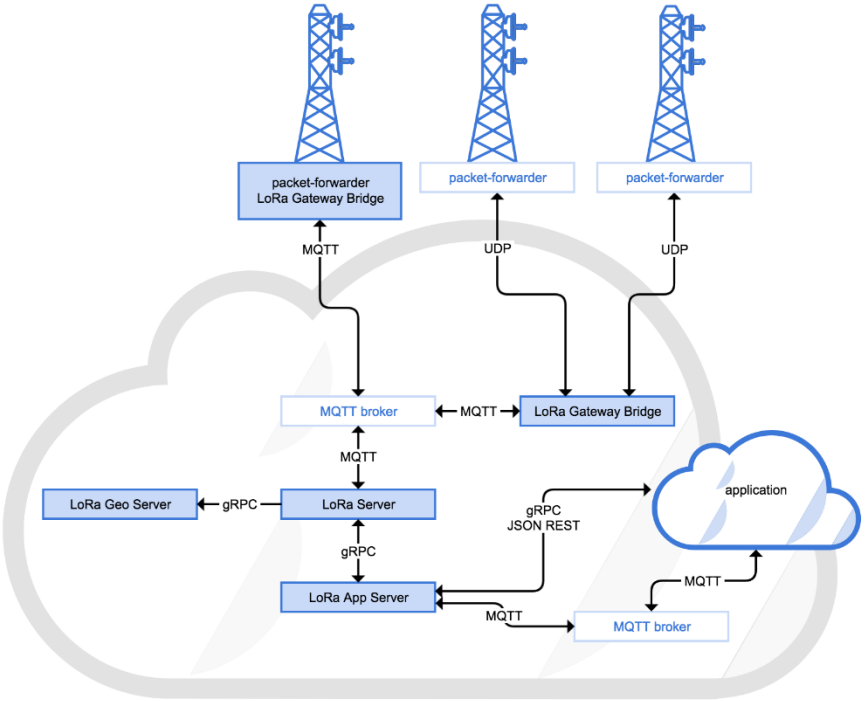
Teknologiaksi valittiin LoRaWAN, jonka jälkeen mietittiin millä sovelluksella tämä ympäristö toteutettaisiin. Laitteistoksi hankittiin Multitechin conduit yhdyskäytäväksi, sekä Multitech mDot päätelaitteeksi.

Palvelin puolella alustaksi valittiin avoimen lähdekoodin loraserver ratkaisu, sen tarjoamat laajat dokumentaatiot olivat suurimmat syyt valintaan. Muitakin alustoja mietittiin. TheThingsNetwork oli harkinnassa, mutta Loraserver vei voiton, koska TheThingsNetworkin palvelin puoli ei olisi omassa hallinnassa.

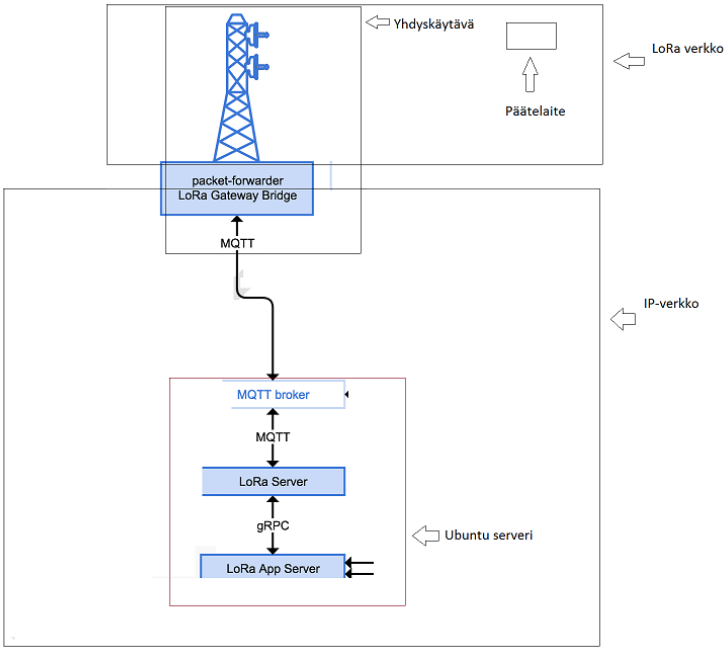
5.1 Loraserver

Loraserver on avoimen lähdekoodin projekti, jonka tarkoituksena on tarjota komponentteja LoRaWAN-verkon rakennukseen. Loraserver sisältää käyttäjäystävällisen selaimessa toimivan käyttöliittymän. Loraserver ratkaisu tarjoaa REST-rajapinnan, jonka avulla voidaan tuottaa applikaatioita tiedon hyödyntämistä varten. (Loraserver, n.d.a.)

Loraserverin arkkitehtuuri koostuu monesta osasta, tärkeimpänä tietenkin LoRa-päätelaitteet. Lisäksi loraserver koostuu, yhdyskäytävästä, Gateway bridge:stä, LoRa-palvelimesta sekä Lora-sovelluspalvelimesta, kuvasta 7 voi nähdä, miten loraserver kokoonpano rakentuu ja kuvassa 8 on esitetty laboratorioluokkaan asennetun testiverkon rakenne



Kuva 7. Loraserver arkkitehtuuri (Loraserver, n.d.b.)



Kuva 8. Labraluokan verkko

5.1.1 Ubuntu

Loraserverin palvelin komponentit tarvitsevat toimiakseen luotettavan palvelimen. Tähän valittiin tuorein Ubuntu julkaisu. Ubuntu on avoimeen lähdekoodiin perustuva käyttöjärjestelmä, joka perustuu Debian Linux-jakeluun. Tämä tekee siitä helposti käytettävän, sekä tarjoaa laajan valikoiman dokumentaatioita tarvittaessa vianetsintään. (Ubuntu Wiki, n.d.)

5.1.2 MQTT

Loraserver käyttää MQTT protokollaa hyötykuorman lähettämisessä sekä vastaanottamisessa. MQTT eli MQ Telemetry Transport-protokolla on erittäin yksinkertainen ja kevyt protokolla, joka on erityisesti suunniteltu pienelle kaistanleveydelle ja isoille viiveille. http://mqtt.org/faq

Loraserver asennuksessa käytettiin MQTT ratkaisuna Mosquittoa. Mosquitto on avoimen lähdekoodin MQTT protokollan implementoiva viestin välittäjä. Mosquitto on osa Eclipsen iot-projektia. (Mosquitto, n.d.)

5.1.3 PostgreSQL

Loraserver komponentti tarvitsee toimiakseen toimintaansa varten tietokannan, tähän valittiin PostgreSQL. PostgreSQL on avoimeen lähdekoodiin perustuva olio-relaatiotietokanta palvelin, joka on julkaistu vuonna 1995, ja on edelleen yksi käytetyimmistä tietokantapalvelimista MySQL jälkeen. (PostgreSQL, n.d.)

5.2 Yhdyskäytävä

Yhdyskäytävänä käytetään Multitechin Conduit yhdyskäytävää, kuvassa yhdeksän näkyy tämä laite.

Kuva 9. Multitech conduit

Loraserverissä on yhtenä komponenttina Gateway bridge, joka asennetaan conduittiin. Gateway bridgen voisi myös asentaa palvelimelle, mutta asentamalla tämän Conduitiin, pystytään tarvittaessa salaamaan liikenteen yhdyskäytävän ja palvelimen välillä.

Ensimmäisenä tarkistetaan, että Conduitissa on oikea laiteohjelmisto. Tietyt Conduitit sisältävät vakiona AEP-ohjelmiston, tätä asennusta sen halutaan olevan mLinux. Jos näin ei ole, vaihdetaan se mLinuxiin seuraavilla komennoilla, jotka voimme syöttää SSH tai konsoli yhteyden avulla Conduittiin. (Loraserver, n.d.c.)

```
mkdir /var/volatile/flash-upgrade

cd /var/volatile/flash-upgrade

wget -O uImage.bin http://www.multitech.net/mlinux/images/mtcdt/4.0.1/uI-
mage--3.12.70-r20.2-mtcdt-20180620182056.bin

wget -O rootfs.jffs2 http://www.multitech.net/mlinux/im-
ages/mtcdt/4.0.1/mlinux-base-image-mtcdt-20180620182056.rootfs.jffs2

touch /var/volatile/do_flash_upgrade

reboot

opkg update
```

Tämän jälkeen Conduitissa pitäisi olla käytössä uusin mLinux versio, jonka jälkeen voimme aloittaa itse Gateway Bridgen asentamisen Conduittiin. (Loraserver, n.d.d.)

```
wget  https://artifacts.loraserver.io/vendor/multitech/conduit/lora-gateway-bridge_2.6.0-r1.1_arm926ejste.ipk

opkg install lora-gateway-bridge_2.6.0-r1.1_arm926ejste.ipk

/etc/init.d/lora-gateway-bridge start

 update-rc.d lora-gateway-bridge defaults
```

Tämän lisäksi yhdyskäytävä tarvitsee packet-forwarderin, joka siirtää LoRa viestin tcp/ip verkon yli kulkevaksi. Packet-forwarderin asennus Conduittiin onnistuu seuraavasti. (Loraserver, n.d.d.)

```
# detect first mCard : tarkistaa mikä mCardi conduitista löytyy

mts-io-sysfs show lora/product-id

wget https://artifacts.loraserver.io/vendor/multitech/conduit/lora-packet-forwarder_4.0.1-r5.0_mtcdt.ipk

opkg install lora-packet-forwarder_4.0.1-r5.0_mtcdt.ipk

opkg flag hold lora-packet-forwarder

/etc/init.d/lora-packet-forwarder-ap1 start

update-rc.d lora-packet-forwarder-ap1 defaults
```

Tässä vaiheessa yhdyskäytävän kaikki komponentit pitäisi olla asennettuna, jolloin jäljellä on konfiguraatioiden muuttaminen oikeanlaisiksi. Ensimmäisenä kannattaa tarkistaa, että packet-forwarderi kuuntelee porttia 1700. Tämän lisäksi on tärkeätä muuttaa itse gateway bridgen konfiguraatio tiedostosta kuvassa 10 näkyvä kenttä sisältämään ip-osoite, josta LoRa-server komponentti löytyy. (Loraserver, n.d.d.)

```
# Generic MQTT authentication.
[backend.mqtt.auth.generic]
# MQTT server (e.g. scheme://host:port where scheme is tcp, ssl or ws)
server="tcp://10.0.0.43:1883"
```

Kuva 10. Gateway bridge konfiguraatio tiedosto

5.3 Loraserver palvelin

Loraserverin palvelin komponentti Lora Server vastaa tietoverkko tason tehtävistä, kuten uplink kehysten vastaanottamisesta yhdyskäytäviltä sekä LoRaWAN mac tason tehtävien suorittamisesta. (Loraserver, n.d.e.)

Ensimmäisenä tehdään tietokanta Lora Server komponentille, tähän käytetään PostgreSQL-tietokantaa. Tarvitaan myös Redis-tietokanta, joka vastaa väliaikaisen tiedon tallennuksesta. Molempien komponenttien asennus hoidetaan Ubuntu käyttöjärjestelmään alla olevan esimerkin mukaisesti.

```
sudo apt-get install postgresql

sudo apt-get install redis-server

sudo -u postgres psql

-- create the loraserver_ns user with password 'dbpassword'

create role loraserver_ns with login password 'dbpassword';


-- create the loraserver_ns database

create database loraserver_ns with owner loraserver_ns;


-- exit the prompt

\q
```

Seuraavaksi aktivoidaan LoRa palvelimen Debian repository, jonka jälkeen Lora Server palvelin voidaan asentaa Ubuntu käyttöjärjestelmään.

```
sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys
1CE2AFD36DBCCA00


sudo echo "deb https://artifacts.loraserver.io/packages/2.x/deb stable main"
| sudo tee /etc/apt/sources.list.d/loraserver.list

sudo apt-get update

sudo apt-get install loraserver
```

Ja kuten yhdyskäytävä komponentin kanssa, tässä vaiheessa on hyvä tarkistaa ja muuttaa konfiguraatio tiedoston arvoja. Pääosin LoRa palvelin komponentin arvot ovat vakiona oikeat, mutta pientä muutosta joutuu

kuitenkin tekemään. Kuvassa 11 nähdään millaiseksi tämä kyseinen rivi pitää muuttaa, konfiguraatio tiedosto löydetään vakiona polusta /etc/loraserver/loraserver.toml

```
dsn="postgres://loraserver_ns:dbpassword@localhost/loraserver_ns?sslmode=disable"
```

Kuva 11. LoRa palvelin komponentin konfiguraatio.

5.4 Loraserver sovelluspalvelin

LoRa sovelluspalvelin on kolmas asennettava Loraserver komponentti, se vastaa LoRaWAN laitehallinnasta sekä hoitaa hyötykuorman salauksen. Loraserverin sovelluspalvelin tarjoaa web pohjaisen käyttöliittymän, jonka kautta laitteiden ja käyttäjien hallinta on helpompaa. Se tarjoaa myös RESTful-rajapinnan. (Loraserver, n.d.f.)

Kuten LoRa-palvelin komponentti, LoRa-sovelluspalvelin tarvitsee myös rajapinnan. Koska PostgreSQL on jo asennettu, tässä vaiheessa ei ole tarvetta tehdä muuta kuin uusi vain sovelluspalvelimen käytössä oleva tietokanta. LoRa-sovelluspalvelin tietokanta tarvitsee kuitenkin pq_trgm-lisäosan, joka otetaan käyttöön vain sovelluspalvelin tietokannan kohdalla. Myös nämä asennukset tehdään Ubuntu-käyttöjärjestelmään.

```
sudo -u postgres psql

-- create the loraserver_as user

create role loraserver_as with login password 'dbpassword';


-- create the loraserver_as database

create database loraserver_as with owner loraserver_as;


-- enable the trigram extension

\c loraserver_as

create extension pg_trgm;


-- exit the prompt

\q
```

Kuten LoRa palvelin komponentin kanssa, joudutaan myös sovelluspalvelin aktivoimaan Debian-repositoryn kautta, jotta asennus voidaan Ubuntu käyttöjärjestelmään suorittaa.

```
sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys
1CE2AFD36DBCCA00

sudo echo "deb https://artifacts.loraserver.io/packages/2.x/deb stable main"
| sudo tee /etc/apt/sources.list.d/loraserver.list

sudo apt-get update

sudo apt-get install lora-app-server
```

Tämänkin komponentin kohdalla joudutaan muuttamaan asetuksia konfiguraatio tiedostossa. Kuvassa 12 nähdään millaiseksi tämä arvo pitää muuttaa, sovelluspalvelimen konfiguraatio tiedosto löytyy polusta /etc/lora-app-server/lora-app-server.toml

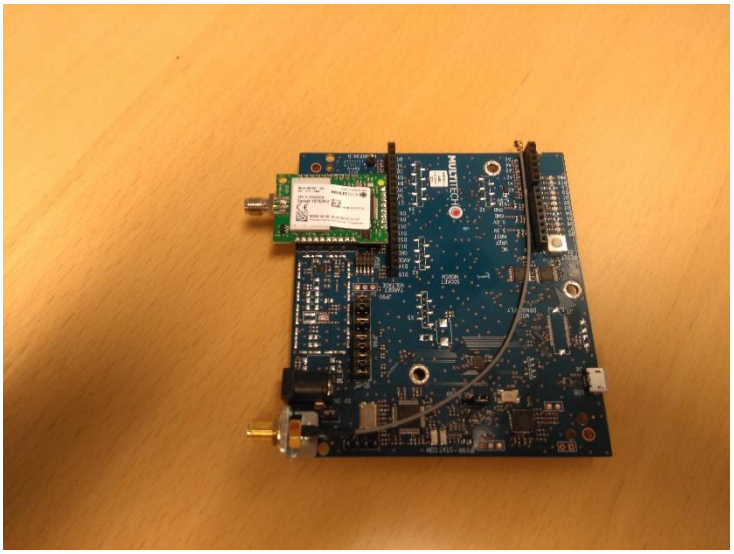
```
dsn="postgres://loraserver_as:dbpassword@localhost/loraserver_as?sslmode=disable"
```

Kuva 12. LoRa-sovelluspalvelin komponentin konfiguraatio.

5.5 Päätelaite

Päätelaite on järjestelmän tärkein osa, sillä tältä laitteelta lähetetään LoRaWAN yhteyden kautta hyötykuorma yhdyskäytävälle, josta se ohjataan LoRa-sovelluspalvelimelle asti.

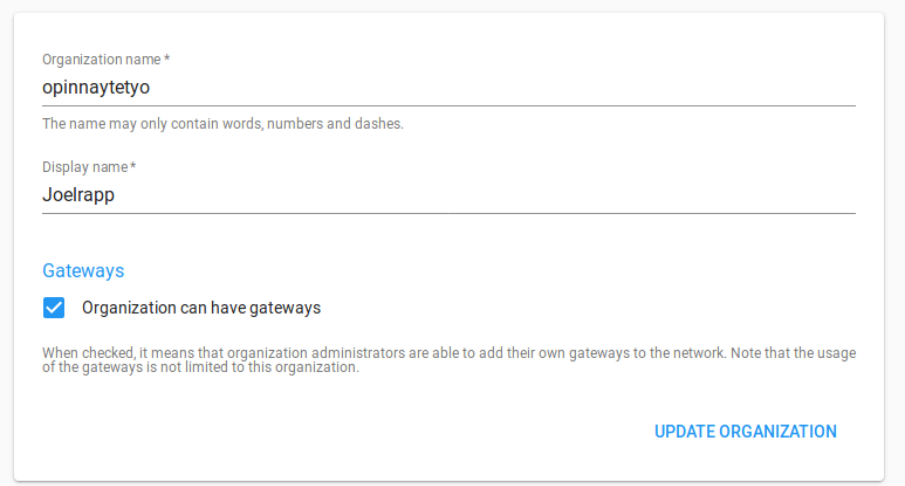
Päätelaitteena tässä työssä käytettiin kuvassa 13 näkyvää Multitechi mDot loramoduulia.
Tällä kyseisellä laitteella oli helppoa testata LoRa-verkon toimintaa käyttämällä AT-komentoja. Multitech mDot-signaalin kuuluvuusalue on jopa 15 kilometriä pitkä, kun näköyhteys yhdyskäytävään löytyy. Sisätiloissa mDot pystyy noin kahden kilometrin etäisyyksiin.
(Multitech, n.d.)



Kuva 13. Multitech mDot + kehitysalusta.

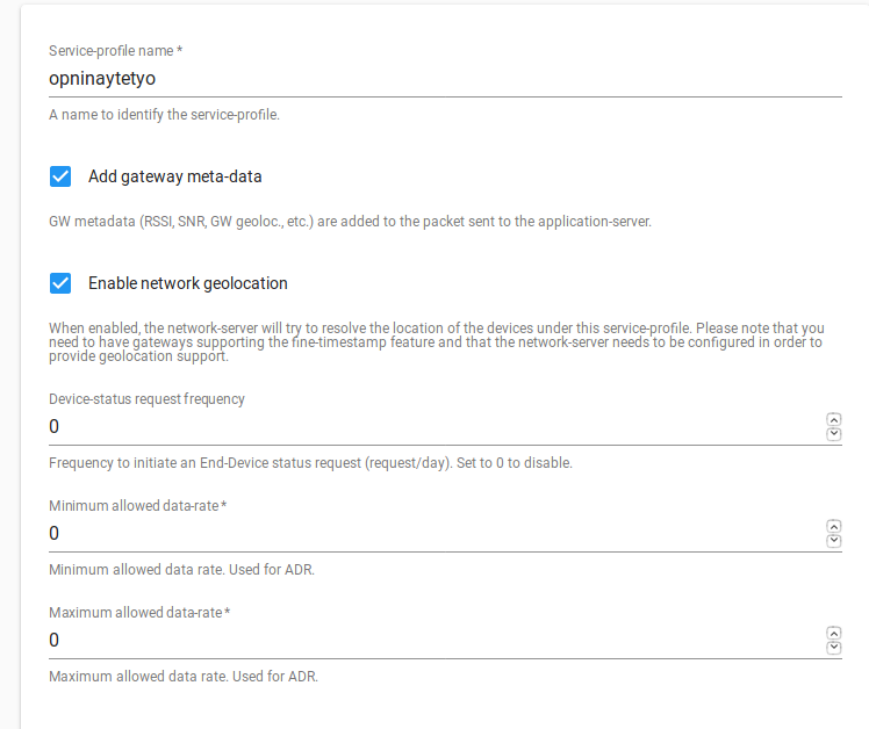
5.6 Asetukset

Päätelaitteen käyttöönotto hoituu osin LoRa-sovelluspalvelimen kautta. Sovelluspalvelimeen yhteyden muodostaminen onnistuu avaamalla selainyhteys Ubuntupalvelimen porttiin 8080. Kirjautumistunnus on admin ja salasana admin.
Ensimmäisenä palvelimelle tehdään organisaatio, tämä on ns. ylläpitäjä kyseille laitteelle. Yhdellä palvelimella voi olla monta organisaatiota, joista jokainen hallitsee omia laitteitaan. Kuvassa 14 näkyy esimerkki organisaation hallinta välilehdestä.



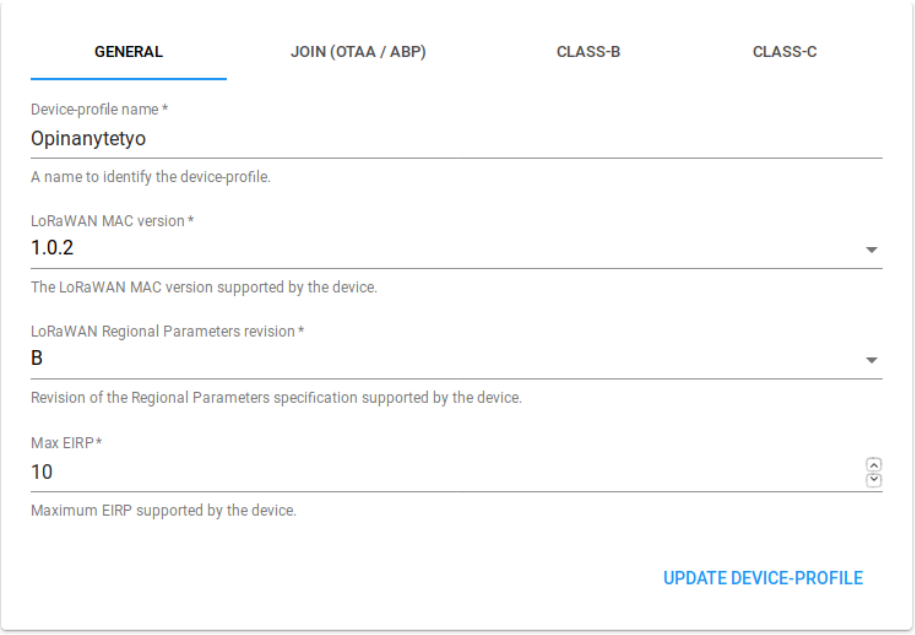
Kuva 14. Organisaatio

Palveluprofiili on niin sanottu ”sopimus” käyttäjän ja verkon välillä. Tämä määrittää asetukset jota organisaation LoRa-verkko käyttää, kuten kuinka usein viestejä voidaan lähettää verkon yli. Kuvassa 15 nähdään esimerkki palvelu profiilista.



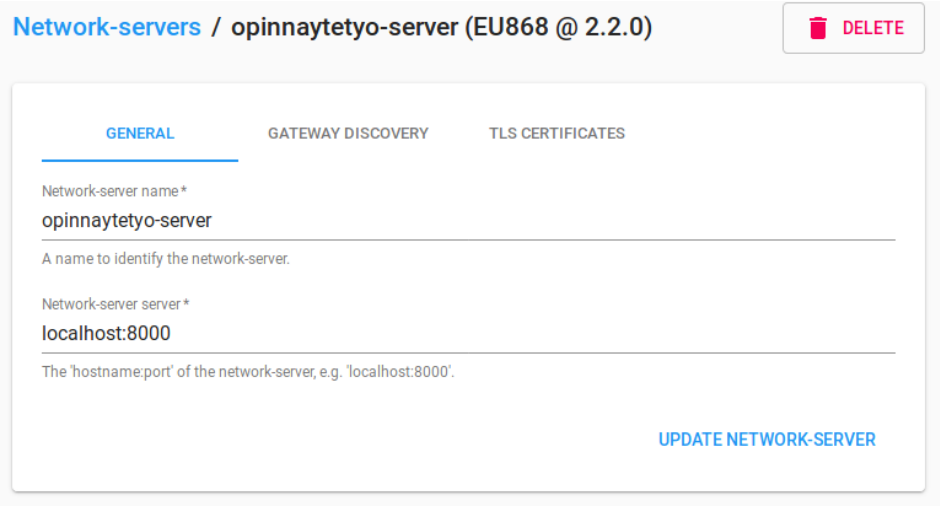
Kuva 15. Palveluprofiili

Laiteprofiili taas määrää millaiset asetukset päätelaitteilla ovat. LoRa-sovelluspalvelin pystyy tämän avulla lähettämään tarvittaessa tiedot itse päätelaitteelle, mutta tämän tärkeimpänä ominaisuutena on kertoa palvelimelle, miten laite aktivoidaan. Kuvassa 16 nähdään esimerkki laite profiilista.



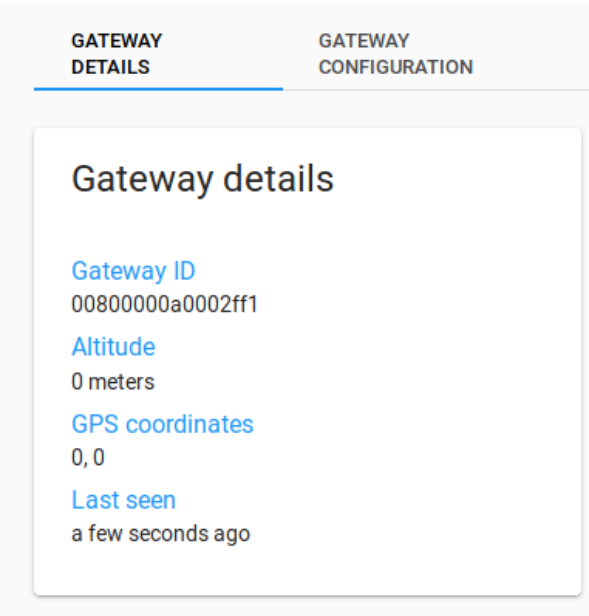
Kuva 16. Laiteprofiili.

Verkkopalvelin kertoo LoRa-sovelluspalvelimelle mistä LoRa-palvelin löytyy. Tämä tieto tarvitaan, koska yhdellä LoRa-sovelluspalvelimelle voidaan palvella monia LoRa-palvelimia. Kuvassa 17 nähdään esimerkki tästä asetuksesta.



Kuva 17. Verkkopalvelin

LoRa-sovelluspalvelimella lisätään myös yhdyskäytävät osaksi verkkoa. Yhdyskäytävän tunnisteena (kuva 18) käytetään packet-forwarderin konfiguraatio tiedostosta löytyvää ”gateway_ID” arvoa (kuva 19).



Kuva 18. Yhdyskäytävä ID

```
"gateway_conf": {
    "spi_device": "/dev/spidev-ap2",
    "gateway_ID": "00800000A0002FF1",
    /* change with default server address/ports, or overwrite in local_conf
    "server_address": "localhost",
    "serv_port_up": 1700,
    "serv_port_down": 1700,
    /* adjust the following parameters for your network */
    "keepalive_interval": 10,
    "stat_interval": 30,
    "push_timeout_ms": 100,
```

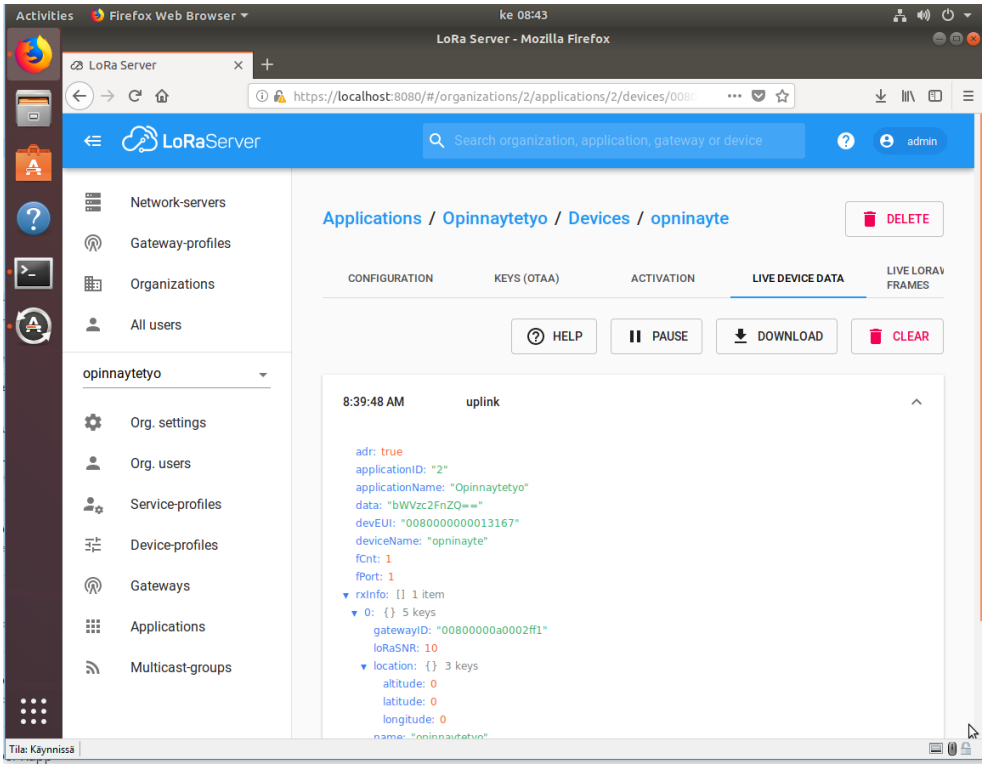
Kuva 19. Packet-Forwarder konfiguraatio

Lopuksi laiteprofiilissa lisätään verkkoon uusi laite. Tässä näkymässä valitaan laitteelle network key ja kerrotaan sovelluspalvelimelle mikä on päätelaitteen DevEUI. Multitech mDotin DevEUI:n löytää korttiin lisätystä tarrasta.

Kun sovelluspalvelimella on tarpeelliset asetukset, annetaan mDotille samat asetukset. Tämä onnistaa käyttäen sarjaliikenne yhteyttä usb:n välityksellä 115200 bps asetuksella. Tämän jälkeen voidaan terminaali sovelluksella syöttää nämä arvot AT-komentoja käyttäen.

```
AT  // Tarkistetaan toimiiko laite

AT+NJM=1 // Kerrotaan miten laite yhdistää verkkoon, 1 on OTA mode

AT+NI=0,0000000000000000  // Nykyisin turha tieto, mutta sillä pitää kuitenkin
olla jokin arvo joten käytetään nollaa.

AT+NK=0,01020304050607080910111213141516 // Avain, jonka arvo on asettettu
sovelluspalvelimella devices välilehden alla.

AT&W //Tallennetaan tiedot muistiin



ATZ //Käynnistetään uudelleen



AT+JOIN // Yhdistetään verkkoon
AT+ACK=1 //Kuinka monta kertaa yritetään kysyä vahvistusta viestiin
AT+SEND=hello world // Viestin lähetys
```

Tässä vaiheessa viestin pitäisi lähteä liikkeelle ja LoRa-sovelluspalvelin näyttää lähetetyn tiedon reaaliajassa käyttöliittymässä. Kuvassa 20 nähdään esimerkki miltä lähetetyn tiedon pitäisi näyttää.



Kuva 20. Laitedata

6 YHTEENVETO

Tarkoituksena opinnäytetyössä oli toteuttaa LPWAN testiympäristö koulun tietoliikenne laboratoriotilaan. Työssä päädyttiin käyttämään LoRaWAN tekniikkaa, ja suurimmilta osin avoimenlähdekoodin projekteja alustana. Lisäksi laitteistoina käytettiin Multitechin conduit laitteita.

Työtä aloittaessa ei ollut oikeastaan mitään käsitystä LPWAN-verkoista ja niiden käyttökohteista. Tämän seurauksena suurin osa ajasta kesällä ja alkusyksyllä kului tiedon keräämiseen.

Ympäristön saatiin toteutettua loppuun, päätelaitteelta pystytään lähettämään tietoa LoRaWAN-verkon ylitse palvelimelle, jossa tämä tieto pystytään näkemään. Ongelmia löytyi etenkin itse laitteen yhdistämisestä järjestelmään, mutta lopulta tämäkin ongelma onnistuttiin selättämään.

Työn jatkokehitys mahdollisuudet ovat isot. Tällä hetkellä päätelaite ei lähetä järkevää tietoa palvelimelle, ja tätä varten kehitysalustoja avuksi käyttäen voitaisiin kirjoittaa ohjelma, jonka avulla pystytään mittaamaan vaikka lämpötilaa.

Työssä tuli tarpeelliseksi varsinkin logi tiedostojen lukeminen. Tästä oli suunnattomasti hyötyä, kun ongelmia tuli vastaan. Lisäksi huomattiin

kuinka yllättävän vaikeata työn jaksottaminen saattaa olla, kun varsinaista päämäärää ei ole kunnolla selvillä.

LÄHTEET

3glteinfo (n.d.a.) | LoRa Architecture. Haettu 30.9.2018 osoitteesta http://www.3glteinfo.com/lora/lora-architecture/

3glteinfo (n.d.b.) | LoRaWAN frequency bands. Haettu 19.11.2018 osoitteesta http://www.3glteinfo.com/lora/lorawan-frequency-bands/

Electronics notes (n.d.) | LoRa Physical Layer & RF Interface. Haettu 21.10.2018 osoitteesta https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/lora/radio-rf-interface-physical-layer.php

Farnell. (n.d.) | Trends in Cellular IoT part 2. Haettu 22.9.2018 osoitteesta https://fi.farnell.com/trends-cellular-iot-part2

Farrel, S. (2016) | LoRaWAN Overview. Haettu 22.10.2018 osoitteesta https://tools.ietf.org/id/draft-farrell-lpwan-lora-overview-00.html

IoTforall (n.d.) | a Primer for LoRaWAN. Haettu 03.10.2018 osoitteesta https://www.iotforall.com/a-primer-for-loralorawan/

Lipscomb, F. (2015). What is Phase Modulation?. Haettu 10.10.2018 osoitteesta https://www.neophotonics.com/what-is-phase-modulation/

LoRa Alliance™ (n.d.a.) | About LoRaWAN™. Haettu 28.9.2018 osoitteesta https://lora-alliance.org/about-lorawan

LoRa Alliance™ (n.d.b.) | About LoRa Alliance™. Haettu 28.9.2018 osoitteesta https://lora-alliance.org/about-lora-alliance

LoRa Alliance™ (n.d.c.) | Become a member. Haettu 28.9.2018 osoitteesta https://lora-alliance.org/become-a-member

Loraserver (n.d.a.) Haettu 1.11.2018 osoitteesta https://www.loraserver.io/

Loraserver (n.d.b.) | Architecture. Haettu 1.11.2018 osoitteesta https://www.loraserver.io/overview/architecture/

Loraserver (n.d.c.) | Gateway multitech. Haettu 16.11.2018 osoitteesta

https://www.loraserver.io/lora-gateway-bridge/install/gateway/multi-tech/

Loraserver (n.d.d.) | Gatewaybridge config. Haettu 16.11.2018 osoitteesta
https://www.loraserver.io/lora-gateway-bridge/install/config/

Loraserver (n.d.e.) | Lora Server Overview. Haettu 16.11.2018 osoitteesta
https://www.loraserver.io/loraserver/overview/

Loraserver (n.d.f.) | Lora App Server Overview. Haettu 16.11.2018 osoitteesta
https://www.loraserver.io/lora-app-server/overview/

Mosquitto (n.d.g.) | Haettu 15.11.2018 osoitteesta
https://mosquitto.org/

Multitech (n.d.h.) | Haettu 22.11.2018 osoitteesta
https://www.multitech.com/brands/multiconnect-mdot

Nanotron (n.d.) | Chirp Spread Spectrum. Haettu 14.10.2018 osoitteesta
https://nanotron.com/EN/CO_techn-css.php/

Poole, I. (n.d.) | What is Amplitude Modulation | AM Tutorial | Radio-Electronics.com. Haettu 7.10.2018 osoitteesta
https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/am-amplitude-modulation/what-is-am-tutorial.php

Poole, I. (n.d.) What is Amplitude Modulation | FM Tutorial | Radio-Electronics.com. Haettu 7.10.2018 osoitteesta
https://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/fm-frequency-modulation/what-is-fm-tutorial.php

PostgreSQL (n.d.) Haettu 15.11.2018 osoitteesta
https://www.postgresql.org/

Rf Wireless World (n.d.a.) | LoRaWAN MAC messages. Haettu 22.10.2018 osoitteesta http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LoRaWAN-MAC-layer-inside.html

Rf Wireless World (n.d.b.) | LoRa tutorial. Haettu 22.10.2018 osoitteesta
http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LoRa-tutorial.html

Rf Wireless World (n.d.c.) | LoRa frequency bands. Haettu 24.10.2018 osoitteesta http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LoRa-frequency-bands.html

Simplilearn (n.d). | Role of Telecommunications and Network Security in IT Security. Haettu 28.10.2018 osoitteesta https://www.simplilearn.com/telecommunications-and-network-security-rrt3co34vd101-video

TheThingsNetwork (n.d.) | Security. Haettu 28.10.2018 osoitteesta https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/security.html

Tuv (n.d.) | Overview LoRa and LoRaWAN. Haettu 20.10.2018 osoitteesta https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/TUeV_Rheinland_Overview_LoRa_and_LoRaWANtmp.pdf

Ubuntu wiki (n.d.) | UbuntuDevelopment. Haettu 15.11.2018 osoitteesta https://wiki.ubuntu.com/UbuntuDevelopment

Webopedia (n.d.) | Protocol stack. Haettu 21.10.2018 osoitteesta https://www.webopedia.com/TERM/P/protocol_stack.html

Wikipedia (n.d.a.) | ISM Band. Haettu 24.10.2018 osoitteesta https://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band

Wikipedia (n.d.b.) | Modulaatio_(elektroniikka). Haettu 05.10.2018 osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Modulaatio_(elektroniikka)

Liite 1

Loraserver asennus

1. Asennetaan mLinux yhdyskäytävään, yhteys yhdyskäytävään serial portin kautta 115200 nopeudella.

```
mkdir /var/volatile/flash-upgrade

cd /var/volatile/flash-upgrade

wget -O uImage.bin http://www.multitech.net/mlinux/images/mtcdt/4.0.1/uI-
mage--3.12.70-r20.2-mtcdt-20180620182056.bin

wget -O rootfs.jffs2 http://www.multitech.net/mlinux/ima-
ges/mtcdt/4.0.1/mlinux-base-image-mtcdt-20180620182056.rootfs.jffs2

touch /var/volatile/do_flash_upgrade

reboot

opkg update
```

2. Asennetaan Mosquitto ja Lora Gateway Bridge yhdyskäytävään

```
wget https://artifacts.loraserver.io/vendor/multitech/conduit/lora-gate-
way-bridge_2.6.0-r1.1_arm926ejste.ipk

opkg install lora-gateway-bridge_2.6.0-r1.1_arm926ejste.ipk

/etc/init.d/lora-gateway-bridge start

update-rc.d lora-gateway-bridge defaults
```

3. Tarkistetaan että konfiguraatio tiedosto osoittaa mqtt palvelimen olevan oikeassa ip osoiteessa joka on palvelin johon olemme asentaneet Lora server palvelin ja Lora sovelluspalvelimen.

```
# Generic MQTT authentication.
[backend.mqtt.auth.generic]
# MQTT server (e.g. scheme://host:port where scheme is tcp, ssl or ws)
server="tcp://10.0.0.43:1883"
```

4. Asennetaan Lora Server palvelin sekä tarvittavat muut ohjelmat Ubuntu ympäristöön

```
sudo apt-get install postgresql

sudo apt-get install redis-server
```

```
sudo -u postgres psql

-- create the loraserver_ns user with password 'dbpassword'

create role loraserver_ns with login password 'dbpassword';


-- create the loraserver_ns database

create database loraserver_ns with owner loraserver_ns;


-- exit the prompt

\q


sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys
1CE2AFD36DBCCA00


sudo echo "deb https://artifacts.loraserver.io/packages/2.x/deb stable main"
| sudo tee /etc/apt/sources.list.d/loraserver.list

sudo apt-get update

sudo apt-get install loraserver
```

5. Tarkistetaan että Lora server palvelimen konfiguraatio tiedosto yhdistää tietokantaan

```
dsn="postgres://loraserver_ns:dbpassword@localhost/loraserver_ns?sslmode=disable
```

6. Asennetaan Loraserver sovelluspalvelin

```
sudo -u postgres psql

-- create the loraserver_as user

create role loraserver_as with login password 'dbpassword';


-- create the loraserver_as database

create database loraserver_as with owner loraserver_as;


-- enable the trigram extension

\c loraserver_as
```

```
create extension pg_trgm;



-- exit the prompt

\q
```

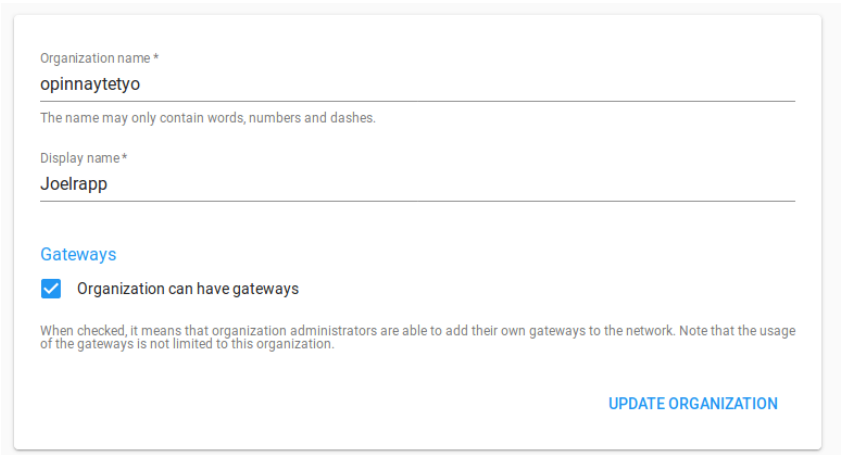
```
sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys
1CE2AFD36DBCCA00
```

```
sudo echo "deb https://artifacts.loraserver.io/packages/2.x/deb stable main"
| sudo tee /etc/apt/sources.list.d/loraserver.list

sudo apt-get update

sudo apt-get install lora-app-server
```

7. Tarkistetaan Loraserver sovelluspalvelimen konfiguraatio tiedostosta, että yhteystietokantaan löytyy

```
dsn="postgres://loraserver_as:dbpassword@localhost/loraserver_as?sslmode=disable"
```

8. Otetaan yhteys sovelluspalvelimen, portin 8080 takaalta, ja täytetään tarvittavat tiedot, jotta päätelaitteelta voidaan ottaa yhteys, tarvittavat kentät ovat ”Organization-profile”, ”Service-profile”, ”Device-profile”, ”Network-server”, ”Gateway” ja ”Devices” jonka löytyy applications alta. Kuvat näihin on laitettu järjestyksessä



Service-profile name *

opninaytetyo

A name to identify the service-profile.

☑ Add gateway meta-data

GW metadata (RSSI, SNR, GW geoloc., etc.) are added to the packet sent to the application-server.

☑ Enable network geolocation

When enabled, the network-server will try to resolve the location of the devices under this service-profile. Please note that you need to have gateways supporting the fine-timestamp feature and that the network-server needs to be configured in order to provide geolocation support.

Device-status request frequency

0

Frequency to initiate an End-Device status request (request/day). Set to 0 to disable.

Minimum allowed data-rate *

0

Minimum allowed data rate. Used for ADR.

Maximum allowed data-rate *

0

Maximum allowed data rate. Used for ADR.

GENERAL | JOIN (OTAA / ABP) | CLASS-B | CLASS-C

Device-profile name *

Opinanytetyo

A name to identify the device-profile.

LoRaWAN MAC version *

1.0.2

The LoRaWAN MAC version supported by the device.

LoRaWAN Regional Parameters revision *

B

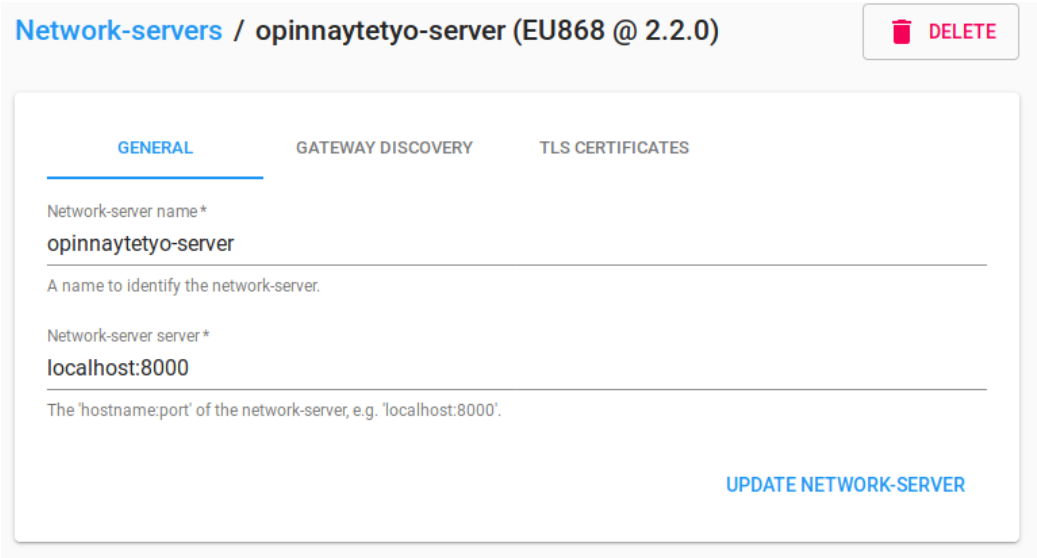
Revision of the Regional Parameters specification supported by the device.

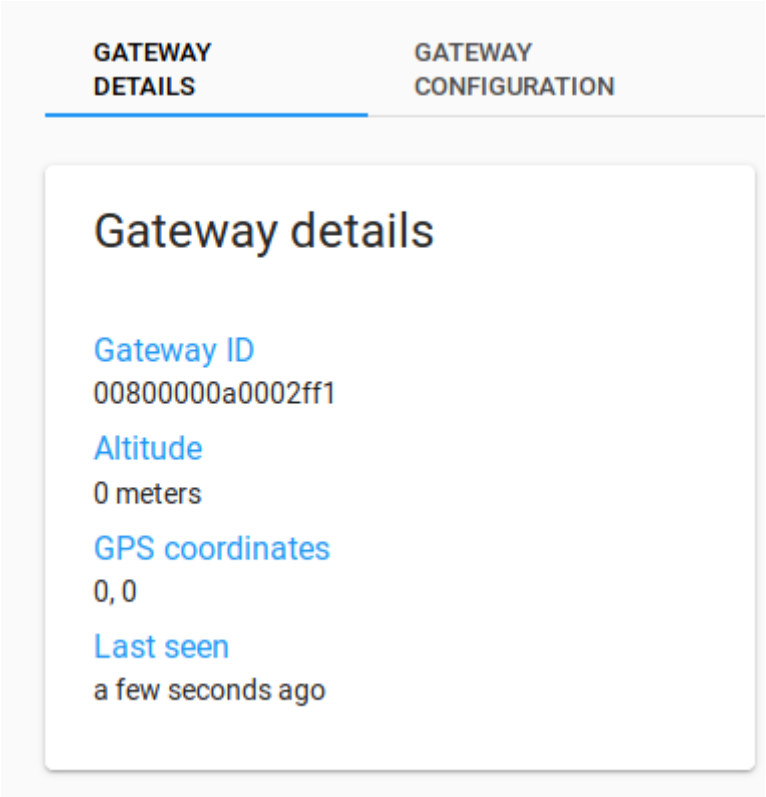
Max EIRP *

10

Maximum EIRP supported by the device.

UPDATE DEVICE-PROFILE





9. Otetaan päätelaitteeseen yhteys serial portin kautta nopeudella 115200, näin voimme yhdistää päätelaitteen verkkoon, ja lähettää tietoa sen läpi.

```
AT

AT+NJM=1

AT+NI=0,0000000000000000

AT+NK=0,01020304050607080910111213141516
```

```
AT&W


ATZ


AT+JOIN
AT+ACK=1
AT+SEND=hello world
```