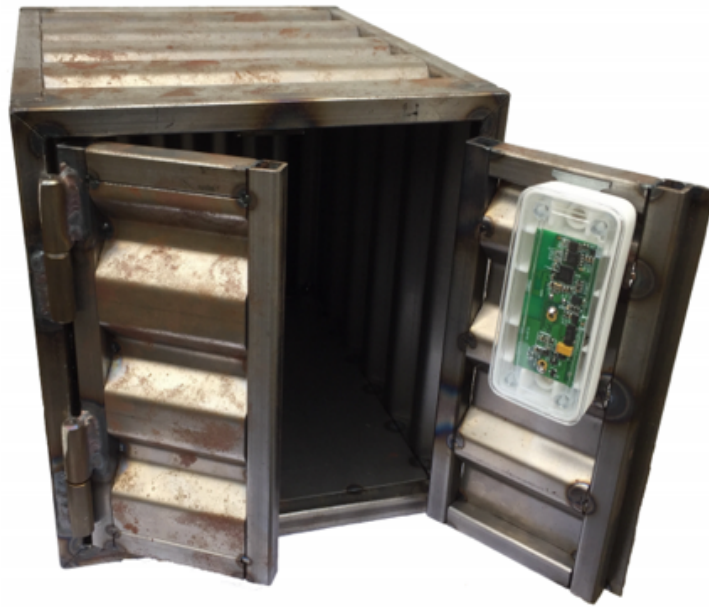


SCRIPTIE

LoRa[®] implementatie in de Babbler



30 mei 2016

Student	Melvin van den Berg
Studentnummer	1629757
Opleiding	Technische Informatica

Medestudent	Marco Knol
Studentnummer	1617925

Eerste examiner	Henk van Nimwegen
-----------------	-------------------

Afstudeerbedrijf	Itude Mobile B.V.
------------------	-------------------

Voorwoord

Voor u ligt mijn afstudeerscriptie. Vier jaar geleden ben ik begonnen aan de opleiding Technische Informatica op de Hogeschool Utrecht te Utrecht. Ik heb voor deze opleiding gekozen doordat ik voorgaande jaren ook al erg actief was met embedded software programmeren, hardware is hierbij ook mijn hobby. Het derde jaar van mijn opleiding heb ik kennis gemaakt met Internet of Things en wist ik dat ik hiermee verder wilde gaan. In het derde jaar heb ik mij ook gericht op Androidontwikkeling omdat ik dat ook een leuk en interessant onderdeel vond van mijn opleiding. Toen ik zag dat Itude Mobile zowel bezig was met Internet of Things in combinatie met mobile development was de keuze voor mij snel gemaakt.

In mijn afstudeerperiode heb ik veel kennis opgedaan op het gebied van Internet of Things, LoRa en wat er allemaal bij komt kijken om een fysiek product op de markt te zetten. Ik heb een duo-afstudeeropdracht kunnen uitvoeren met Marco Knol dat mij goed is bevallen. Afsluitend wil ik graag Marten Wensink bedanken voor de goede begeleiding tijdens mijn afstudeerperiode. Daarnaast gaat mijn dank uit naar Marco Knol en mijn fijne collega's bij Itude Mobile, zij hebben ervoor gezorgd dat ik met veel plezier en in een prettige omgeving aan mijn opdracht heb kunnen werken. Ook wil ik graag Robin Puthli bedanken voor het aanbieden van een ontzettend gave opdracht.

Melvin van den Berg

Mei 2016

Managementsamenvatting

Itude Mobile heeft in de afgelopen maanden de Babbler ontwikkeld. De Babbler is een Internet of Things apparaat dat communiceert door middel van Bluetooth Low Energy en dient veiligheid te bieden in de logistieke sector. Het apparaat kan gebruikt worden om containervracht digitaal te verzegelen. Dit gebeurt op dit moment door te communiceren met een mobiele applicatie.

Het probleem is dat momenteel de gebruiker bij de containervracht moet staan om te communiceren met de Babbler. Dit levert complicaties op wanneer het gewenst is automatisch de Babbler uit te lezen bij binnenkomst in een haven.

De LoRa Alliance heeft LoRaWAN ontwikkeld. Dit is een energie-efficiënt draadloos netwerk voor Internet of Things. Itude Mobile ziet een kans dit netwerk te implementeren in de Babbler om zo te zorgen dat de Babbler kan functioneren zonder tussenkomst van een smartphone. Het implementeren van LoRa in de Babbler heeft Itude Mobile aangeboden als duo-afstudeeropdracht aan de Hogeschool Utrecht.

De uiteindelijke doelstelling was het implementeren van LoRa in de Babbler. Om deze doelstelling te bereiken zijn een aantal onderzoeken verricht en is er een proof-of-concept opgeleverd samen met Marco Knol.

De hoofdvraag bij dit onderzoek was: “Wat is voor Itude Mobile de meest efficiënte en effectieve manier om LoRa te implementeren in het Babbler project?”. Deze hoofdvraag was tot stand gekomen uit de doelstelling van Itude Mobile.

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn een aantal deelvragen opgesteld:

- D1. Hoe werkt LoRa?
- D2. Hoe werkt LoRaWAN?
- D3. Kan LoRa de gewenste efficiëntie halen voor de Babbler?
- D4. Kan LoRa de gewenste effectiviteit halen voor de Babbler?
- D5. Wie zijn de LoRa netwerkleveranciers?
- D6. Welk LoRa netwerk is het meest geschikt voor Itude Mobile?
- D7. Hoe kan de LoRa Babbler wereldwijd worden ingezet?
- D8. Hoe kan LoRa geïmplementeerd worden in de firmware van de Babbler?
- D9. Hoe kan een LoRa backend gerealiseerd worden?

De werkwijze die gehanteerd is, is volgens een onderzoeksmethode van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (Coppens, Jacobs, Jacobs, Niels en Verhoeven, 2015). Deze onderzoeksmethode beschrijft verschillende onderzoeksstrategieën die toegepast zijn op bovenstaande deelvragen.

Voor het implementeren van LoRa in de Babbler is er gekeken of LoRa wel aan de wensen van Itude Mobile voldoet met betrekking tot de efficiëntie en effectiviteit. Dit bleek te voldoen waarna LoRa is geïmplementeerd in de Babbler. Het implementeren van LoRa in de Babbler als prototype is geslaagd en de LoRa Babbler kan op dit moment gebruikt worden in Europa waar een LoRa netwerk aanwezig is. Dit is gerealiseerd door de Babbler zowel hardwarematig als softwarematig aan te passen.

Na de implementatie is nogmaals gekeken naar de efficiëntie en effectiviteit maar ditmaal van het LoRa Babbler prototype. Uit het onderzoek naar de effectiviteit is gebleken dat

de LoRa Babbler ruim aan het gewenste minimumbereik van 750m voldoet. Afstanden van ongeveer 1200m zijn behaald vanuit een reefercontainer. Uit het onderzoek naar de efficiëntie is gebleken dat de LoRa Babbler de gewenste efficiëntie kan halen. Doordat op dit moment de sleepmodus niet is geïmplementeerd zal de LoRa Babbler niet lang genoeg functioneren op een batterijlading. Zodra dit wel is geïmplementeerd zal de Babbler een verwachte levensduur van tien maanden hebben wat ruim aan de verwachte levensduur voldoet. Hiermee kan geconcludeerd worden dat de doelstelling gedeeltelijk is behaald. De doelstelling om een prototype op te leveren is behaald maar om de verwachte levensduur te halen zal nog een aanpassing verricht moeten worden.

Inhoudsopgave

Woordenlijst	1
1 Inleiding	5
1.1 De Babbler	6
1.2 Organisatorische context	7
1.2.1 Organisatie	7
1.2.2 Positionering binnen de organisatie	7
1.3 Probleemstelling	7
1.4 Doelstelling	8
1.4.1 Afbakening duo-afstudeeropdracht	8
1.4.2 Op te leveren producten	8
1.4.3 Kwaliteitscriteria	9
1.5 Aanpak vraagstelling	10
1.6 Vraagstelling en onderzoeksmethode	11
2 Theoretisch kader	13
3 De werking van LoRa	15
3.1 Spread spectrum technologie	15
3.2 Direct-Sequence Spread Spectrum	16
3.3 Chirp Spread Spectrum	17
3.4 LoRa Spread Spectrum	18
3.5 Foutcorrectie	19
3.5.1 Interleaving	19
3.5.2 Forward Error Correction	19
3.6 On-Air Time	20
3.7 Pakketstructuur	20
3.8 Hardware	20
3.8.1 LoRa modules met geïntegreerde microcontroller	21
3.8.2 LoRa transceivers	22
3.8.3 LoRa ontvangers	23
3.9 Conclusie	23
4 De werking van LoRaWAN	25
4.1 LoRaWAN	25
4.2 Conclusie	25
5 De effectiviteit van LoRa in de Babbler	27
5.1 Wensen	27
5.2 Literatuuronderzoek	27
5.3 Praktijktest	28
5.4 Conclusie	30

6	De efficiëntie van LoRa in de Babblers	31
6.1	Literatuuronderzoek	31
6.2	Praktijktest	32
6.3	Verwachte levensduur	33
6.4	Conclusie	33
7	De LoRa netwerkleveranciers	35
7.1	KPN	35
7.2	TTN	36
7.3	Conclusie	37
8	Het meest geschikte LoRa netwerk voor Itude Mobile	39
8.1	Conclusie	39
9	Het wereldwijd inzetten van de LoRa Babblers	41
9.1	De LoRa netwerkleveranciers	41
9.2	De LoRa frequenties wereldwijd	41
9.2.1	De LoRa frequenties	41
9.3	Belangrijke factoren voor de LoRa Babblers	43
9.4	Conclusie	43
10	Het implementeren van LoRa in de firmware van de Babblers	45
10.1	De huidige hardware	45
10.2	De hardwaremodificaties	46
10.3	De huidige firmware	48
10.4	De firmwaremodificaties	50
10.4.1	De RN2483 klasse	50
10.4.2	De LoRaProfile klasse	51
10.5	Resultaat	51
10.6	Conclusie	51
11	Het implementeren van LoRa in de Babblers backend	53
11.1	De implementatie	53
11.2	Resultaten	54
11.3	Conclusie	54
12	De effectiviteit van LoRa in het Babblers prototype	55
12.1	Het bereik van de LoRa Babblers	55
12.2	Conclusie	56
13	De efficiëntie van LoRa in het Babblers prototype	57
13.1	De levensduur van de LoRa Babblers op een batterijlading	57
13.2	Verwachte levensduur	58
13.3	Conclusie	58

14 Conclusie	59
14.1 Aanbevelingen	60
14.2 Evaluatie	61
14.2.1 Planning	61
14.2.2 FOTA	61
14.2.3 Het nieuwe datamodel van de Babbler backend	61
15 Referenties	63
16 Bijlagen	66
16.1 Plan van Aanpak	66

Woordenlijst

ABP

Activation By Personalisation zorgt ervoor dat een end-device rechtstreeks verbonden wordt met een specifiek netwerk en waarbij de join request overgeslagen wordt.

ASCII

ASCII (American Standard Code for Information Interchange) is een standaard om Latijnse karakters te representeren.

Babblar

Een draadloos apparaat dat de temperatuur en verzegelingsstatus bijhoudt.

Backend

Een backend is een deel van een programma dat onzichtbaar is voor de gebruiker en dient voor de Babblar als dataverwerker.

Beaglebone

De BeagleBone is een embedded Linux platform ter grootte van een creditcard gemaakt voor ontwikkelaars en hobbyisten.

Coding rate

Een uitdrukking tussen de hoeveelheid hersteldata en relevante data.

Confluence

Confluence is een tool waarmee teams online kunnen samenwerken en informatie delen.

CR2450

Een type knoopcelbatterij dat een basisspanning van 3V heeft.

Crowd-sourced

Crowd-sourced houdt in dat een opdracht is uitbesteed aan een ongedefinieerde, veelal grote groep mensen, in de vorm van een open podium.

Data rate

Data rate is de snelheid waarmee data verzonden kan worden van een bron naar een doel.

DFU

Device Firmware Update. Dit is een modus waarbij het mogelijk is de firmware van een apparaat te updaten.

EMB LR1272

Dit is een LoRa module van Embit met geïntegreerde microcontroller waarmee het mogelijk is LoRa berichten te versturen.

End-device

Dit is bij LoRa een apparaat dat communiceert met een gateway en meestal een laag energieverbruik heeft. Een voorbeeld van een end-device is de LoRa Babbler.

FOTA

Firmware-Over-The-Air. Met FOTA is het mogelijk firmware updates via bijvoorbeeld Bluetooth te versturen.

Gateway

Een gateway is een apparaat dat zorgt voor een verbinding tussen twee incompatibele netwerken. In het LoRa project heeft de gateway de taak een LoRa mote te laten communiceren met een internetserver, dus het LoRa netwerk te koppelen aan het internet.

GND

Ground. Dit is in de elektronica een referentie naar de aarde.

GPIO

General-purpose input/output. GPIO is een generieke pin op een microcontroller die geconfigureerd kan worden als ingang of uitgang.

I²C

I²C is een synchrone seriële bus ontwikkeld voor datacommunicatie tussen een microcontroller en andere elektronica-componenten zoals sensoren.

Internet of Things

Dit is een netwerk van fysieke objecten zoals sensoren, voertuigen en gebouwen. Zij vormen samen een groot internet of things, oftewel het internet der dingen en zijn geschikt voor het verzamelen en uitwisselen van data in het netwerk.

Kristaloscillator

Een kristaloscillator dient als klokbron voor de microcontroller waarmee hij met een bepaalde frequentie, afhankelijk van de kristaloscillator, instructies kan uitvoeren.

LoRa

Een mobiel netwerk voor Internet of Things met als doel een zo laag mogelijk energieverbruik te hebben voor LoRa motes met een zo groot mogelijk bereik.

LoRa Alliance

De LoRa Alliance is een groep die LoRaWAN heeft ontwikkeld.

LoRaWAN

Het Wide Area Network protocol van LoRa. Dit protocol bestaat uit gateways en end-devices.

MOSFET

Een MOSFET is type transistor waarmee via een kleine stroom een grotere stroom geschakeld kan worden (Agarwal, 2013).

OSI model

Het OSI-model is een door ISO gestandaardiseerd referentiemodel voor datacommunicatiestandaarden.

OTAA

Over-The-Air-Activation. Via OTAA is het mogelijk om een end-device te verbinden met een specifiek netwerk.

Realtime Operating System

Een besturingssysteem dat de uitvoering van een bepaalde taak binnen een bepaald tijdsbestek garandeert.

Reefer

Een reefer is een gekoelde zeecontainer met een geïsoleerde wand.

RN2483

Dit is een LoRa module van Microchip met geïntegreerde microcontroller waarmee het mogelijk is LoRa berichten te versturen.

Scrum

Scrum is een methode om (software)producten te maken. Er wordt gewerkt in multidisciplinaire teams die in korte sprints, met een vaste lengte van 1 tot 4 weken, werkende (software) producten opleveren.

SPI

SPI is een synchrone seriële bus ontwikkeld voor datacommunicatie tussen een microcontroller en andere elektronica-componenten zoals sensoren. SPI is sneller in vergelijking met I²C.

Star of stars netwerk

Een netwerktopologie die bestaat uit meerdere sternetwerken. Bij LoRa bestaat een sternetwerk uit een gateway met meerdere end-devices.

SX1276

Een transceiver waarmee LoRa berichten verstuurd kunnen worden.

Transceiver

Een chip waarmee data kan worden verstuurd en ontvangen.

Triangulatie

Driehoeksmeting waarmee de positie van een apparaat kan worden bepaald.

TTN

The Things Network. The Things Network is een crowd-sourced LoRa netwerkleverancier die wereldwijd een LoRaWAN netwerk aan het uitrollen is.

UART

Universal Asynchronous Receiver / Transmitter. UART is een seriële poort waarmee bijvoorbeeld gecommuniceerd kan worden tussen twee computers of microcontrollers.

UMTS

Universal Mobile Telecommunications System. UMTS wordt ook wel de derde generatie mobiele telefonie genoemd (3G) en is een telecommunicatienetwerk.

VDD

VDD is een referentie naar een punt dat een positieve voltage verwacht. Een voorbeeld is een pin op een chip die een positieve voltage verwacht.

1 Inleiding

In de scheepvaart worden containers gebruikt voor het vervoeren van goederen. Voor de afzender en ontvanger is het van belang op de hoogte te zijn van de omstandigheden waarin de goederen zich bevinden. Voorbeelden van deze goederen zijn bloemen, groenten en fruit. Voor deze goederen is van belang dat deze gekoeld worden op de ingestelde temperatuur en dat dit continu wordt gewaarborgd. Afwijking van deze temperatuur treedt al op zodra de deur van de container wordt geopend. In de scheepvaart kunnen deze containers worden voorzien van fysieke sloten en verzegeling. Echter bieden deze maatregelen geen geschiedenis wanneer deze geopend zijn geweest. Hierdoor zijn deze maatregelen niet geheel betrouwbaar en is er een vergroot risico op smokkel.

Itude Mobile B.V. ontwikkelt op dit moment een product genaamd de Babbler. Dit product is een eigen initiatief met al een aantal belanghebbenden zoals de Nederlandse douane en Seatrade. De Babbler is een fysiek apparaat dat geplaatst wordt in een vrachtcontainer en continu de omstandigheden zoals de temperatuur daarin bijhoudt. Echter is de Babbler niet alleen toepasbaar in containers, maar ook voor andere transportmiddelen. Op dit moment zijn er ook mogelijkheden om de Babbler in te zetten bij treinen, koelcellen en in de tuinbouw. De gegevens die de Babbler verzameld heeft, worden in de huidige situatie naar een centrale server gestuurd met tussenkomst van een smartphone.

Een jaar geleden is de LoRa Alliance ontstaan (DomainTools, 2015). De LoRa Alliance heeft LoRaWAN ontwikkeld. Dit is een energie-efficiënt draadloos netwerk voor Internet of Things. Itude Mobile ziet een kans dit netwerk te implementeren in de Babbler om zo te zorgen dat de Babbler kan functioneren zonder tussenkomst van een smartphone. Het implementeren van LoRa in de Babbler heeft Itude Mobile aangeboden als duo-afstudeeropdracht aan de Hogeschool Utrecht.

1.1 De Babbler

Zoals eerder is aangegeven, is de Babbler een apparaat dat onder andere geplaatst wordt in een vrachtcontainer. Dit apparaat wordt echter niet permanent gemonteerd en moet gemakkelijk weer verwijderd kunnen worden. Ook kunnen meerdere Babbler's in één container geplaatst worden, dit kan zich voordoen als zich goederen van meerdere leveranciers in één container bevinden. De Babbler krijgt op dit moment zijn stroomvoorziening via een knoopcelbatterij en maakt verbinding met een smartphone via Bluetooth. Wanneer de Babbler wordt verzegeld monitort deze de lichtsterkte en temperatuur van de omgeving. Zodra de deur van de container ook maar op de geringste manier geopend wordt, zal voldoende licht naar binnen schijnen dat te detecteren is door de Babbler. De verzegeling zal dan worden verbroken en controle van de goederen is dan van belang mocht de container ongezegeld de haven binnenkomen. Deze eigenschap is vooral interessant voor de douane, waardoor niet iedere container meer gecontroleerd hoeft te worden en smokkelen lastiger wordt. De status van het verzegelen en de temperatuurlog van de gehele reis kan bekeken worden via een iOS-, Android- en web app. Er is voor de verbinding tussen de smartphone en de Babbler gekozen voor Bluetooth Low Energy. Met Bluetooth Low Energy is het mogelijk continu data uit te zenden zonder een actieve verbinding en met een laag stroomverbruik. Het continu uitzenden van data wordt "advertisement data" genoemd (Lindh, 2015). Het is mogelijk de actuele status te bekijken via deze advertisement data zonder dus daadwerkelijk verbinding te maken met de Babbler. Zodra verbinding wordt gemaakt is het mogelijk de temperatuurlog te bekijken van de gehele reis. Dit is allemaal mogelijk met een gesloten containerdeur op een afstand minder dan twee meter van de container.

Op dit moment is het dus noodzakelijk verbinding te maken met een Babbler via Bluetooth om de actuele status uit te lezen. Voor sommige klanten is de wens de actuele status uit te lezen zonder een verbinding te moeten maken, hiervoor worden mogelijke oplossingen gezocht. Bluetooth Low Energy zal daarbij blijven functioneren maar er wordt gezocht naar een extra communicatietechniek over langere afstand. Deze extra communicatietechniek zal niet geïmplementeerd worden in alle Babbler's aangezien dit afhankelijk is van de wensen van de klant.



Figuur 1: De Babbler

1.2 Organisatorische context

In dit subhoofdstuk wordt de organisatie Itude Mobile B.V. van de opdrachtgever en de positionering van de student binnen de organisatie beschreven.

1.2.1 Organisatie

Itude Mobile is ontstaan vanuit passie voor mobiele platformen en innovatieve app-ontwikkeling. Sinds 2005 ontwikkelt Itude Mobile native applicaties voor iOS, Android en mobiele websites voor andere apparaten. Itude Mobile is gespecialiseerd in bedrijfskritische applicaties en beschikt over veel ervaring in de logistieke en financiële sector. Met de Babbler wil Itude Mobile het eerste tastbare product op de markt zetten.

Itude Mobile heeft een platte organisatiestructuur. Itude Mobile bestaat uit achttien medewerkers en stagiairs. Er zijn twee directeuren, Robin Puthli en Gert Jan Jansen op de Haar. Er is een sales- en marketingmanager, een officemanager, een logistiek expert, een aantal testers, twee Scrum Masters, iOS-/Android developers en software-architecten. De gebruikte softwareontwikkelmethode binnen het bedrijf is Scrum.

1.2.2 Positionering binnen de organisatie

Binnen het bedrijf zijn Marco Knol en Melvin van den Berg afgestudeerders. Er zijn twee organisatieniveaus boven de afgestudeerders. Direct boven de afgestudeerders staan de vaste medewerkers binnen het bedrijf, hiervan zijn twee onze aanspreekpunten (Tanja Borger en Coen Houtman). Boven hen staan de twee directeuren Robin Puthli en Gert-Jan Jansen op de Haar.

1.3 Probleemstelling

Zoals reeds eerder is vermeld, maakt de Babbler gebruik van Bluetooth communicatie met behulp van een smartphone. Het probleem is dat momenteel de gebruiker bij de container moet staan om te communiceren met de Babbler. Dit levert complicaties op wanneer het gewenst is automatisch de Babbler uit te lezen bij binnenkomst in een haven. LoRa lijkt een geschikte oplossing voor het probleem. Echter is LoRa vrij nieuw en is nog niet duidelijk hoe LoRa geïmplementeerd kan worden. Daarom moet onderzoek gedaan worden naar de werking van LoRa en hoe dit netwerk geïmplementeerd kan worden.

De keuze voor LoRa is gemaakt na een aantal overwegingen. Een van de belangrijkste eisen is dat de Babbler zijn gegevens kan uploaden terwijl de Babbler zich nog bevindt in een vrachtcontainer. Dit is niet haalbaar met Bluetooth over een grotere afstand. De minimaal gewenste afstand is ongeveer 500 meter van vrachtcontainer naar gateway. Deze vrachtcontainer kan daarbij ook nog eens gekoeld zijn waarbij er een extra dikke laag signaalblokkerend isolatiemateriaal op de wand zit gemonteerd. Tevens dienen de materiaalkosten voor de Babbler zo laag mogelijk te zijn aangezien vele duizenden Babbler's gebruikt gaan worden. Omdat de Babbler zijn stroomvoorziening via een batterij verkrijgt is het van belang een zo laag mogelijk energieverbruik te hebben. Ten slotte is een hoge dataoverdrachtssnelheid niet noodzakelijk. Het gaat hierbij maar om een paar honderd bytes voor een status update. Om deze redenen vallen netwerken zoals het telefoniedatanetwerk af. LoRa is een draadloos

netwerk dat aan alle verwachte eisen voldoet en heeft als opvallende eigenschap dat het zeer lange afstanden kan overbruggen tot 22km zonder enige obstakels (Cooking hacks, g.d.).

1.4 Doelstelling

De uiteindelijke doelstelling is het implementeren van LoRa in de Babblar. Dit heeft als doel de Babblar de mogelijkheid te geven om te communiceren zonder tussenkomst van een smartphone met een zo laag mogelijk energieverbruik. Daarnaast wordt het bereik vergroot. Om deze doelstelling te bereiken zullen een aantal onderzoeken worden verricht en een proof-of-concept worden opgeleverd.

1.4.1 Afbakening duo-afstudeeropdracht

Deze duo-afstudeeropdracht zal worden uitgevoerd door twee afstudeerders Marco Knol en Melvin van den Berg. Beiden studeren Technische Informatica aan de Hogeschool Utrecht te Nijenoord Utrecht. De afstudeerders zullen ieder hun eigen deelvragen uitwerken en beantwoorden met uitzondering van de deelvragen die samen worden beantwoord. De afbakening dient voor het waarborgen dat de afstudeerder zijn toegewezen deelvragen individueel heeft gemaakt. Hierdoor kan de Hogeschool Utrecht de afstudeerder goed individueel beoordelen. Er mag wel overleg plaatsvinden over het samenvoegen van de deelproducten die bestaan uit de LoRa backend en LoRa Babblar firmware, zodat een gezamenlijk eindproduct wordt opgeleverd. LoRa en de Babblar node zijn de onderdelen die Melvin van den Berg op zich neemt. LoRaWAN en de bijkomende server zijn de onderdelen van Marco Knol. Overeenkomend hoofdstuk van de scriptie is [Hoofdstuk 1](#).

1.4.2 Op te leveren producten

Naar verwachting zal na deze opdracht een reeks producten worden opgeleverd. Aangezien bij deze opdracht twee partijen een rol spelen met verschillende wensen zijn deze opgesplitst. Onderstaand bevinden zich de op te leveren producten van Melvin van den Berg.

Op te leveren producten Itude Mobile B.V.

- Overdrachtsdocumentatie
- Firmware voor de Babblar
- Aanbeveling hardware

Op te leveren producten Hogeschool Utrecht

- Contract afstudeeropdracht met plan van aanpak
- Scriptie met de diverse bijlagen in drievoud afgedrukt en op CDROM/DVD
- Bewijs van upload
- Beoordeling afstudeerbedrijf
- Presentatie

1.4.3 Kwaliteitscriteria

De twee partijen hebben verschillende kwaliteitscriteria. Voor de Hogeschool Utrecht is van belang dat opgeleverde documenten voldoen aan de APA-richtlijnen voor bronvermeldingen en de documentindeling middels het boek “Leren communiceren” (Steehouder, Jansen, Mulder, van der Pool en Zeijl, 2012).

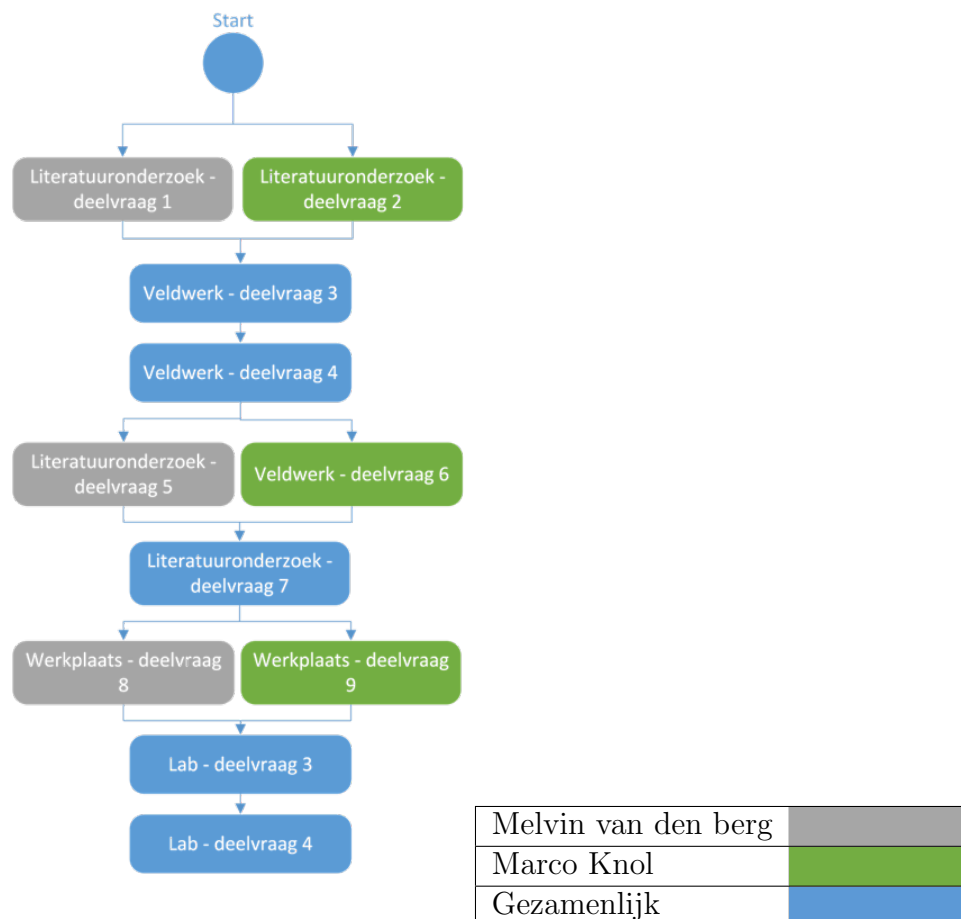
Voor Itude Mobile is van belang dat de uitgewerkte opdracht reproduceerbaar is voor andere medewerkers. Dit houdt in dat de documentatie dusdanig duidelijk dient te zijn dat andere medewerkers het volledig begrijpen en kunnen reproduceren middels tutorials. Om dit te bereiken wordt gebruik gemaakt van een interne kennisbank genaamd Confluence waarin alle uitgevoerde opdrachten stap voor stap beschreven staan.

Voor dit project zijn nog projectgerelateerde kwaliteitscriteria opgesteld:

- C1. De firmware aanpassingen in de Babbler mogen niet ten kosten gaan van de huidige functionaliteiten.
- C2. De firmware aanpassingen in de Babbler mogen niet ten kosten gaan van de stabiliteit.
- C3. De te programmeren backend dient zodanig geprogrammeerd te zijn, dat bij een wijziging van LoRa netwerkleverancier alleen een gedeelte van de code (de adapter) hoeft te worden aangepast.
- C4. De Babbler dient te kunnen communiceren vanuit een gekoelde container waarbij de gateway buiten de gekoelde container is geplaatst op een afstand van minimaal 500 meter.
- C5. De Babbler dient minimaal zes maanden mee te gaan op een nieuwe batterij.

1.5 Aanpak vraagstelling

De chronologische aanpak van de deelvragen wordt in [Figuur 2](#) weergegeven met de taakverdeling van de afstudeerders. De werkwijze die gehanteerd zal worden is volgens een onderzoeksmethode van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (Coppens e.a., 2015). Deze onderzoeksmethode legt uit dat er verschillende soorten onderzoeksstrategieën zijn. Zo zijn er veld-, bieb-, werkplaats-, lab- en showroom onderzoeksstrategieën. Bij de veldonderzoeksstrategie zal informatie verkregen worden middels praktijkgericht onderzoek. De biebonderzoeksstrategie is te vergelijken met een literatuuronderzoek waarbij bestaande informatie wordt verzameld en verwerkt. Bij een werkplaatsonderzoeksstrategie worden op een iteratieve manier oplossingen via bijvoorbeeld ontwerpen en prototyping verkend en gerealiseerd. De labonderzoeksstrategie wordt gebruikt om de oplossing te testen en de showroomonderzoeksstrategie wordt gebruikt om de oplossing te kunnen delen en geschikt te maken voor hergebruik. Daarbij hoort onder andere de vraag of de oplossing innovatief is. Deelvraag drie en vier zullen voorafgaand aan het proof of concept behandeld worden als veldwerkonderzoeksstrategie deelvragen en zullen herhaald worden na het proof of concept als labonderzoeksstrategie deelvragen om het onderzoek af te ronden.



Figuur 2: Methodische werkwijze

1.6 Vraagstelling en onderzoeksmethode

De hoofdvraag bij dit onderzoek is: “Wat is voor Itude Mobile de meest efficiënte en effectieve manier om LoRa te implementeren in het Babblér project?”. Deze hoofdvraag is tot stand gekomen uit de doelstelling van Itude Mobile. In deze doelstelling staat de wens om de Babblér te kunnen laten communiceren zonder tussenkomst van een smartphone met een zo laag mogelijk energieverbruik en een zo groot mogelijk bereik.

Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn een aantal deelvragen opgesteld.

D1. Hoe werkt LoRa?

Deze deelvraag bestaat uit een literatuuronderzoek naar de werking van LoRa. LoRa is op te splitsen in twee verschillende onderdelen genaamd LoRa en LoRaWAN (Link Labs, 2015b). Het LoRa deel dat behandeld wordt in deze deelvraag zal specifiek gaan over de fysieke netwerklaag. Daarbij komen onderdelen zoals frequency shifting aan de orde.

D2. Hoe werkt LoRaWAN?

Deze deelvraag bestaat uit een literatuuronderzoek naar de werking van LoRaWAN. LoRaWAN is het star-of-stars protocol van het LoRa netwerk (LoRa Alliance, 2015a). Het moet duidelijk worden waar onderdelen zoals netwerkadressen en de verschillende netwerksleutels voor dienen.

D3. Kan LoRa de gewenste efficiëntie halen voor de Babblér?

Bij deze deelvraag zal onderzocht worden of LoRa een efficiënte manier is voor de Babblér. Dit onderzoek zal onder andere bestaan uit het berekenen van het stroomverbruik en hoe dit eventueel geoptimaliseerd kan worden. Vanuit deze berekening kan een keuze gemaakt worden voor welke soort batterij het meest geschikt is. Ook volgt uit deze berekening of de kwaliteitseisen haalbaar zijn met de gekozen batterij voor de implementatie van LoRa in de Babblér. Zodra het prototype ontwikkeld is zal opnieuw naar deze deelvraag gekeken worden. Er zullen dan metingen gedaan worden om te bepalen of kwaliteitseis C5) behaald is. Mocht dit niet het geval zijn, dan zullen de nodige aanpassingen aangebracht worden zodat deze wel behaald wordt.

D4. Kan LoRa de gewenste effectiviteit halen voor de Babblér?

Bij deze deelvraag zal onderzocht worden of LoRa een effectieve manier is voor de Babblér. Dit onderzoek zal onder andere bestaan uit het testen van het bereik in de gewenste omstandigheden met van tevoren aangeleverde prototype hardware. Zodra het prototype ontwikkeld is zal opnieuw naar deze deelvraag gekeken worden. Er zullen dan opnieuw testen worden uitgevoerd zoals het bereik uit kwaliteitscriteria C4). Mocht dit niet het geval zijn zullen verdere aanpassingen aangebracht worden zodat dit wel behaald wordt.

D5. Wie zijn de LoRa netwerkleveranciers?

Bij deze deelvraag zal onderzoek worden verricht naar de beschikbare LoRa netwerken. Na het opstellen van een aantal eisen, zal gekeken worden welke netwerken beschikbaar zijn in binnen- en buitenland. Daarnaast zal bij de deze deelvraag gekeken worden naar de gebruikte netwerk hard- en softwareconfiguratie.

D6. Welk LoRa netwerk is het meest geschikt voor Itude Mobile?

Aan de hand van een keuzelijst van beschikbare LoRa netwerken zal bij deze deelvraag onderzocht worden welk netwerk het meest geschikt is voor Itude Mobile. Dit gebeurt

aan de hand van een aantal criteria. Deze criteria bestaan uit onder andere signaalkwaliteit, kosten, beschikbaarheid in het buitenland en in welk ontwikkelstadium de backend zich op dit moment bevindt en welke mogelijkheden de backend gaat bieden.

D7. Hoe kan de LoRa Babbler wereldwijd worden ingezet?

Het is van belang dat de LoRa Babbler wereldwijd kan worden ingezet. De LoRa frequenties verschillen per land en het is van belang dat de Babbler met alle frequenties kan werken (DISK91.COM, 2015). Er zal bij deze deelvraag onderzocht worden hoe dit gerealiseerd kan worden met eventueel de nodige hardware aanpassingen.

D8. Hoe kan LoRa geïmplementeerd worden in de firmware van de Babbler?

Aangezien LoRa geïmplementeerd zal worden in de Babbler, zal bij deze deelvraag onderzocht worden hoe dit mogelijk is. Het gaat hierbij onder andere om onderzoek hoe mbed OS (het gebruikte realtime operating system) werkt op de Babbler en een LoRa chip te kiezen en implementeren. Ook zal er verdiept worden in de gebruikte microcontroller van de Babbler.

D9. Hoe kan een LoRa backend gerealiseerd worden?

Aangezien een backend noodzakelijk is voor de koppeling met LoRa en de huidige Babbler backend, zal in deze deelvraag onderzocht worden hoe dit mogelijk is. Een backend zal daarna geprogrammeerd worden dat weer gekoppeld is aan de huidige Babbler backend.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt een theoretisch kader vooraf gegeven. Verder is het theoretisch kader verwerkt in ieder apart hoofdstuk indien dit gewenst is voor het desbetreffende hoofdstuk. Er wordt in dit onderzoek gekeken hoe LoRa gecomplementeerd kan worden in de Babbler. Voor het maken van een proof-of-concept wordt vervolgens ingegaan op de werking van LoRa. Volgens (DomainTools, 2015) bestaat de LoRa Alliance website nu ruim een jaar. Informatie over LoRa is gering te vinden en daarom zullen meerdere formele en informele bronnen nodig zijn om een duidelijk beeld te krijgen hoe LoRa precies werkt. Deze bronnen zullen bestaan uit documenten van websites en via bijeenkomsten zoals congressen. Onderdelen waar bijvoorbeeld in verdiept kan worden zijn spread spectrum technology (Link Labs, 2015a), frac-N phase lock loop (PLL) en adaptive data rate (LoRa Alliance, 2015a). Uit onderzoek blijkt dat Bluetooth minder stroom verbruikt dan bijvoorbeeld WiFi of 3G (Goran Kalic, g.d.). Echter blijkt uit een test dat de langst gehaalde communicatieafstand rond de 1000m zit (Duncombe, 2013), met een hoge prijs per module (Digi-Key, g.d.). Uiteraard is het mogelijk het Bluetooth signaal te versterken echter heeft dat weer invloed op het energieverbruik. Volgens de datasheet van de SX1272 LoRa transceiver chip zal het verbruik maximaal 10.5mA zijn in ontvangstmodus of 18mA bij verzendmodus met de laagste verzendsterkte van +7 dBm (Semtech Corporation, g.d.-a). Dit is een van de redenen waarom LoRa interessant is voor gebruik in het Babbler project. Een tweede reden is dat Itude Mobile in juli 2015 een LoRa mote in een vrachtcontainer heeft geplaatst en testen heeft uitgevoerd. Deze testen gingen over de signaalkwaliteit en zijn geslaagd (Prins, 2015).

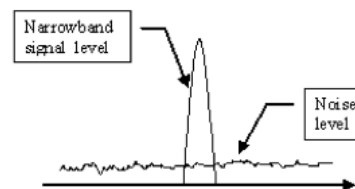
3 De werking van LoRa

LoRa is een draadloze communicatietechniek die het mogelijk maakt over een lange afstand (Long Range) te communiceren met goedkope hardware en een laag energieverbruik. LoRa wordt wel eens verward met LoRaWAN. LoRa is echter een protocol dat zich bevindt op de fysieke laag van het OSI model en LoRaWAN bevindt zich op de datalink laag.

Om deze deelvraag te beantwoorden is gezocht naar de LoRa patenten die aangevraagd zijn door Semtech Corporation en datasheets die door Semtech zijn vrijgegeven. Omdat LoRa gepatenteerd is wordt bij deze deelvraag ook gezocht naar open bronnen op het internet over reverse engineering van LoRa.

3.1 Spread spectrum technologie

LoRa is een spread spectrum technologie (Semtech Corporation, 2015a). Spread spectrum technologie is ontwikkeld voor militaire doeleinden maar wordt op dit moment in vele technieken toegepast waaronder UMTS en 802.11 (National Instruments, 2014). Spread spectrum technologie verspreidt, zoals de naam al zegt, het signaal over een brede frequentieband. Dit in tegenstelling tot narrow band technologie die het signaal over een smalle band verstuurt (zie [Figuur 3](#)). Het gebruik van een brede frequentieband maakt het moeilijker het signaal te blokkeren of af te luisteren. Omdat het signaal verspreid wordt over een breed frequentiegebied zijn er ook nauwelijks pieken waarneembaar en ziet het signaal eruit als ruis. Hierdoor is het ook beter bestand tegen opzettelijke en niet opzettelijke interferentie.

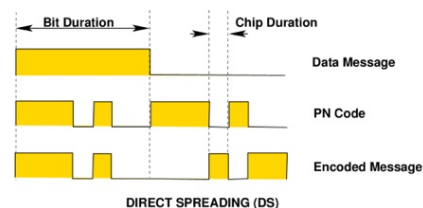


Figuur 3: Narrowband

LoRa is een variant van chirp spread spectrum en gebruikt ook wat onderdelen van direct sequence spread spectrum waarover in de volgende subhoofdstukken meer wordt verteld.

3.2 Direct-Sequence Spread Spectrum

Direct sequence spread spectrum (DSSS) wordt gebruikt bij onder andere GPS en UMTS (National Instruments, 2014). Bij DSSS wordt het te versturen bericht verspreid over een bredere bandbreedte dan dat het oorspronkelijke bericht nodig had. Dit wordt gedaan door het bericht te encoderen met een zogeheten pseudo noise (PN). Deze PN wordt pseudo random gegenereerd op basis van een aantal factoren die hier verder niet genoemd zullen worden omdat dit verder niet relevant is (Kopp, 2014). Een voorbeeld wordt weergegeven in [Figuur 4](#).

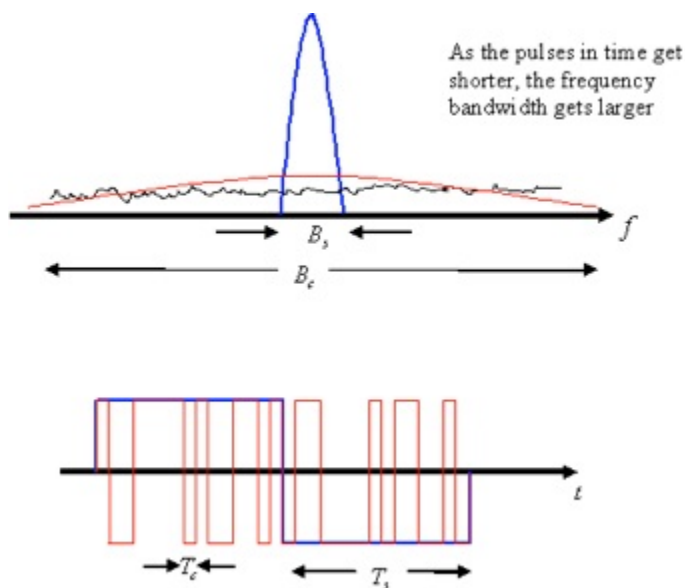


Figuur 4: Direct-Sequence Spread Spectrum

De belangrijkste termen zijn “symbol rate”, “chip rate” en “spreading factor (SF)”. Het te versturen bericht in [Figuur 4](#) is in dit geval de symbol rate oftewel de hoeveelheid data bit pulsen per seconden (een symbol is een bit). De chip rate is de hoeveelheid pulsen per seconden bij het codeerde bericht (de onderste stream in het figuur). Een chip (niet te verwarren met chirp, zie [Subhoofdstuk 3.3](#)) is een “bit” van de pseudo noise (zie [Figuur 4](#)). De spreading factor is de relatie tussen de hoeveelheid chips per symbol. Oftewel:

$$SF = \frac{\text{chip rate}}{\text{symbol rate}}$$

Door het snel willekeurig verwisselen van fase wordt een bredere bandbreedte gebruikt en zijn er niet meer hogere signaalniveaus waarneembaar dan het geval is bij narrow band. Hierdoor lijkt het signaal op ruis en dit heeft als bijkomend voordeel dat het minder gevoelig is voor ruis wegens de brede band. Zie [Figuur 5](#).



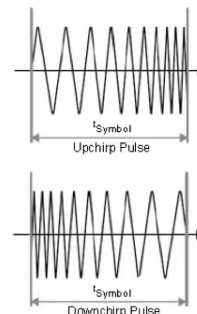
Figuur 5: Direct-Sequence Spread Spectrum

De nadelen die DSSS echter met zich meebrengt is dat deze techniek moeilijk toepasbaar is

wanneer een laag energieverbruik en relatief goedkope hardware gewenst is. Gebruik maken van goedkope hardware is lastig aangezien hoge accuraatheid noodzakelijk is die bereikt wordt met dure kristaloscillators. Omdat voor een laag energieverbruik de zender of ontvanger niet altijd aan moet staan zal bij iedere datatransmissie eerst een synchronisatie moeten plaatsvinden (Semtech Corporation, 2015a). Dit heeft enige tijd nodig en kan vergeleken worden met de tijdsduur voor het vinden van satellieten met gps-apparatuur.

3.3 Chirp Spread Spectrum

Chirp spread spectrum (CSS) wordt vanuit de natuur gebruikt door walvissen en dolfijnen (IEEE Standard Association, 2003). CSS bestaat uit het genereren van een hoogfrequent signaal aflopend naar een laagfrequent signaal of andersom. Dit signaal wordt een chirp genoemd. Zie [Figuur 6](#). Een laagfrequent signaal oplopend naar hoogfrequent signaal wordt een upchirp genoemd en andersom een downchirp. Een upchirp kan bijvoorbeeld een 1 bit zijn en een downchirp een 0. Een groot voordeel van CSS is dat een groot bereik mogelijk is en dat CSS niet de lastige synchronisatie nodig heeft die DSSS wel nodig heeft. Een ander groot voordeel is dat CSS geen problemen heeft met het doppler effect. Het doppler effect is de verandering van frequentie door een snelheidsverschil tussen de zender en ontvanger. Denk bijvoorbeeld aan het voorbij racen van een auto, eerst is het geluid hoog en zodra hij langzaam raast zal de frequentie dalen (Adrian, 1995).



Figuur 6: Chirp Spread Spectrum

3.4 LoRa Spread Spectrum

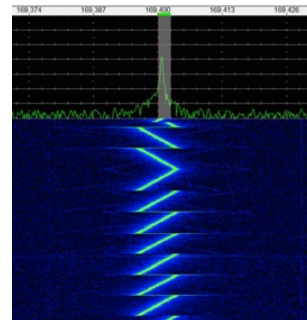
LoRa spread spectrum (LoRa) lost alle problemen op die DSSS met zich meebrengt. Het is met LoRa niet nodig om eerst een synchronisatie te starten en LoRa heeft ook niet de hoge accurate hardware nodig die DSSS wel nodig heeft. Zoals al eerder vermeld is LoRa een variant van CSS en combineert deze een aantal technieken van DSSS.

Een LoRa zender zal zodra hij data wil versturen eerst een preamble sturen. Deze preamble bestaat uit een aantal chirps (zie [Subhoofdstuk 3.3](#)) op een willekeurige frequentie in het frequentiegebied (Link Labs, 2015a; Semtech Corporation, 2015a). Deze chirps bevinden zich op een constante frequentie en veranderen niet. Een voorbeeld van deze preamble is weergegeven in [Figuur 7](#).

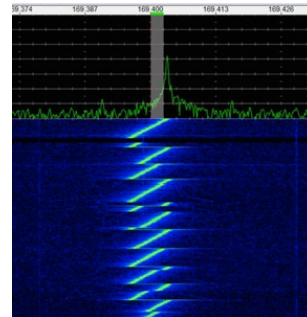
In het blauwe gedeelte van de afbeelding is bij de onderste 8 constante chirps de preamble te zien. Een LoRa ontvanger zal op zo'n moment de preamble waarnemen en vastzetten op die frequentie. Dit is allemaal mogelijk met een goedkope chip en kristaloscillators aangezien de zender zelf een frequentie selecteert zonder te synchroniseren. Dit is dan ook volgens (Link Labs, 2015a) de kracht van LoRa. De hoeveelheid chirps zijn zelf in te stellen in de transceiver chip. In [Figuur 7](#) zijn na de preamble ook twee tegenovergestelde chirps te zien. Deze chirps stellen de reverse chirp voor en betekenen dat de chirp stopt en de datatransmissie zal starten.

LoRa Spread Spectrum kan werken met een spreading factor (SF) zeven tot en met twaalf (Semtech Corporation, 2015a). Zoals al eerder is vermeld gaat het hierbij dus om de verhouding tussen de hoeveelheid chirps per symbol. Een LoRa ontvanger kan aan de hand van de preamble herkennen met welke spreading factor gestuurd wordt aangezien een LoRa bericht altijd bestaat uit een vast aantal symbolen. Aan de hand van de hoeveelheid chirps is waar te nemen welke SF is gebruikt (Low power long range transmitter, 2014). Een hogere spreading factor zal zorgen voor een groter bereik maar een lagere dataoverdrachtssnelheid.

In [Figuur 8](#) is een dataoverdracht te zien. De te versturen data wordt hierbij gecodeerd met een chirp op een hoge data rate. Dit is vergelijkbaar met hoe DSSS een bericht verstuurt alleen is de encoding dan niet willekeurig aangezien er op dezelfde frequentie wordt gebleven.



Figuur 7: LoRa Spread Spectrum



Figuur 8: LoRa Spread Spectrum

3.5 Foutcorrectie

LoRa beschikt over een instelbare foutcorrectie. Het is mogelijk dat na dataoverdracht een gedeelte van de data corrupt is ontvangen. Door middel van foutcorrectie is het mogelijk een gedeelte van de data te herstellen. De hoeveelheid hersteldata die kan worden meegestuurd is volledig instelbaar. Dit maakt LoRa robuuster maar dit gaat wel ten koste van de redundantie. De hoeveelheid hersteldata wordt uitgedrukt in coding rate en varieert tussen de 1 en de 4 (Semtech Corporation, 2015a). Burst errors komen vaak voor bij digitale draadloze communicatietechnieken (R. Devaraju, g.d.). Een burst error is een rij opeenvolgende bits die niet goed verstuurd zijn. LoRa maakt gebruik van een techniek genaamd interleaving in combinatie met forward error correction (Sikken, 2016).

3.5.1 Interleaving

Interleaving is een techniek waarbij bits in een bepaald patroon willekeurig verplaatst worden. Bij een burst error zal dan niet een rij opeenvolgende bits onbruikbaar zijn maar zal deze fout meer verspreid zijn over de gehele datatransmissie. Dit maakt reparatie gemakkelijker. Ter verduidelijking is in Tabel 1 een voorbeeld gegeven zonder interleaving en in Tabel 2 met interleaving.

Original transmitted sentence	ThisIsAnExampleOfInterleaving
Received sentence with a burst error	ThisIs_____pleOfInterleaving

Tabel 1: Zonder interleaving

Transmitted sentence	ThisIsAnExampleOfInterleaving...
Error-free transmission	TIEpfeaghsxlIrv.iAaenli.snm0ten.
Received sentence with a burst error	TIEpfe_____Irv.iAaenli.snm0ten.
Received sentence after deinterleaving	T_isI_AnE_amp_eOfInterle_vin_...

Tabel 2: Met interleaving

Natuurlijk is het ontvangen bericht na decodering van de interleaving nog steeds onleesbaar, de forward error correction lost dit probleem op.

3.5.2 Forward Error Correction

In LoRa spread spectrum wordt gebruik gemaakt van zogeheten forward error correction (FEC). FEC is een techniek waarbij redundante data wordt toegevoegd. De relatie tussen de hoeveelheid redundante data en effectieve data wordt de coding rate (CR) genoemd (Semtech Corporation, 2015b). LoRa heeft de mogelijkheden tussen een CR van 4/5, 4/6, 4/7 en 4/8. 4/8 staat in dit voorbeeld voor 8 symbols per 4 data bits, oftewel de data wordt 2x verstuurd en dus een overhead van 2x. Een hogere coding rate zorgt voor meer robuustheid tegen interferentie en kloksynchronisatiefouten (Low power long range transmitter, 2014).

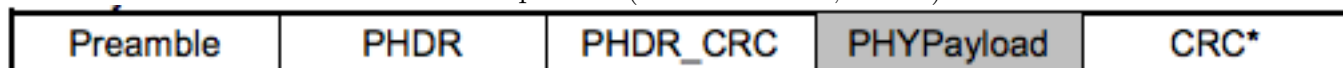
3.6 On-Air Time

Voor alle vrij toegankelijke frequentiebanden zoals 868MHz en 433MHz (daarover meer in [Hoofdstuk 9](#)) geldt een maximale tijd dat een apparaat een frequentie in gebruik mag houden. In Nederland wordt voor LoRa de Europese frequentieband van 863-870Mhz gebruikt (LoRa Alliance, 2015b). Een frequentieband is te verdelen in meerdere kanalen waarbij ieder kanaal zijn eigen frequentie heeft. De hoeveelheid beschikbare kanalen verschillen per netwerkleverancier en frequentieband. Bij de bovengenoemde frequentieband geldt een maximale on-air time van 1%. Dit wordt ook wel de duty cycle genoemd. Stel een bericht heeft 0,5 seconden een kanaal in gebruik genomen voor één bericht, dat betekent dat het apparaat dat kanaal niet mag gebruiken voor 49,5 seconden. Het kiezen van een kanaal moet pseudo random gebeuren.

Naast de duty-cycle- en kanaalselectie-eisen is er nog een belangrijke eis waar een LoRa zender aan moet voldoen. Dit is de maximale grootte van de payload waarover in het volgende hoofdstuk meer wordt verteld. Afhankelijk van de gekozen spreading factor en frequentieband geldt een maximale payload grootte. Voor de bovenstaande Europese frequentieband is dit 59 bytes bij een spreading factor van 12 en 250 bytes bij een spreading factor van 7. Dit is een aanzienlijk verschil waar mogelijk rekening mee gehouden moet worden (LoRa Alliance, 2015b).

3.7 Pakketstructuur

De opbouw van een LoRa pakket is weergegeven in [Figuur 9](#). Zoals te zien is bestaat dit uit de reeds besproken preamble (zie [Subhoofdstuk 3.4](#)), PHDR (physical header), PHDR_CRC (physical header CRC), PHYPayload (physical payload) en mogelijk een CRC van de payload. CRC staat voor Cyclic Redundancy Check en is een techniek om datatransmissiefouten te herkennen zonder deze te kunnen oplossen (LoRa Alliance, 2015b).



Figuur 9: LoRa pakketstructuur

De physical header bevat een aantal instellingen waaronder de gekozen coding rate van de payload, of de CRC van de payload is ingeschakeld, de payload lengte en nog een aantal andere minder belangrijke onderdelen (Low power long range transmitter, 2014). De coding rate van de physical header en physical header CRC staat vast, deze is altijd 4/8 en is dus altijd zeer robuust.

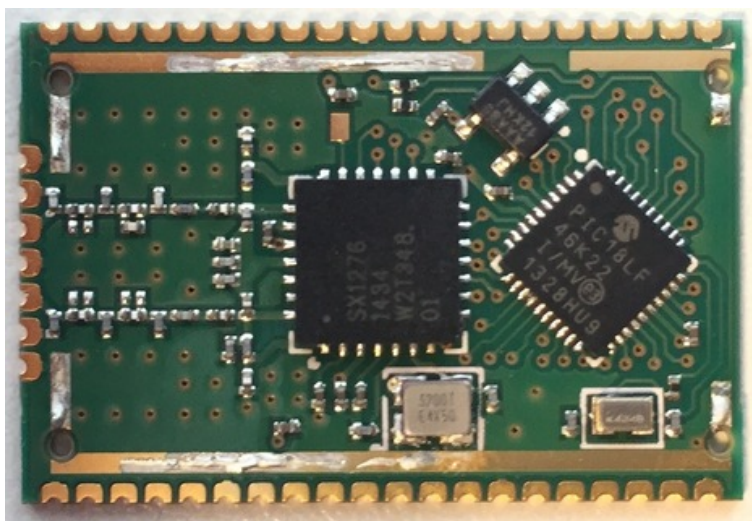
3.8 Hardware

Om gebruik te maken van LoRa met een microcontroller zijn er twee mogelijkheden. De eerste mogelijkheid is om rechtstreeks te communiceren met een LoRa transceiver, echter heeft een LoRa transceiver chip geen implementatie van een protocol op de data-link laag (zoals LoRaWAN, daarover meer in het volgende hoofdstuk). Een LoRa transceiver chip zorgt alleen voor de communicatie met het LoRa netwerk en zorgt niet voor de nodige calculatie. Dit betekent dat het LoRaWAN protocol op de microcontroller geïmplementeerd moet worden (The Things Network, 2016b).

Een tweede mogelijkheid is om te communiceren met een LoRa transceiver met tussenkomst van een andere microcontroller. Deze microcontroller beschikt over het LoRaWAN data-link protocol en kan meestal gemakkelijk aangestuurd worden via seriële communicatie. Het voordeel van zo'n extra microcontroller is dat gemakkelijk een prototype gerealiseerd kan worden, echter is de gebruikte software vaak niet open source is en biedt het niet alle mogelijkheden. Daarnaast zou het kunnen zorgen voor extra stroomverbruik en worden software-updates lastiger aangezien twee microcontrollers up-to-date moeten blijven. Beide varianten zijn te koop als kant en klare modules.

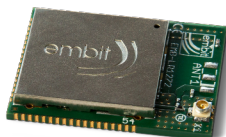
3.8.1 LoRa modules met geïntegreerde microcontroller

Een voorbeeld van een module met geïntegreerde microcontroller is de RN2483 van Microchip (Microchip, 2015a). Deze beschikt over het LoRaWAN protocol en heeft alle hardware componenten die nodig zijn al in zich.



Figuur 10: Microchip RN2483 module zonder metalen 'kapje'

Zoals te zien is bevat de RN2483 een SX1276 transceiver chip (daarover meer in [Subhoofdstuk 3.8.2](#)) en een PIC microcontroller waarop zich het LoRaWAN protocol bevindt. Een ander voorbeeld van een module met geïntegreerde microcontroller is de EMB-LR1272 van Embit. Deze beschikt over een andere microcontroller met een SX1272 transceiver (Embit, 2014).

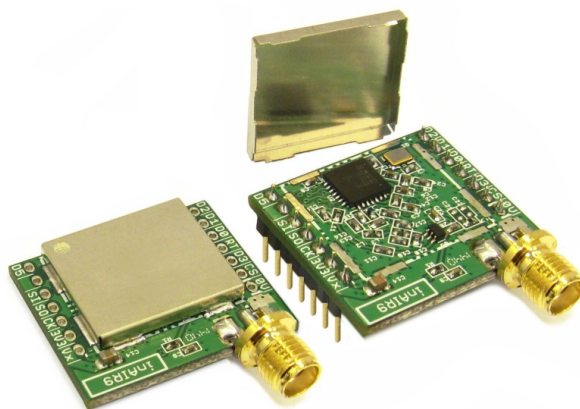


Figuur 11: Embit EMB-LR1272 module

3.8.2 LoRa transceivers

De meest voorkomende LoRa transceivers voor end-devices zijn de SX1272 en SX1276 van Semtech (The Things Network, 2016b). Beide transceivers beschikken over de nodige LoRa modulatie-techniek en kunnen aangestuurd worden via het SPI protocol (Semtech Corporation, 2015b). De transceivers zorgen dus voor de communicatie met het LoRa netwerk en niet voor de nodige calculatie, zo beschikken zij niet over een data-link protocol zoals LoRa-WAN. Dit protocol zal geïmplementeerd moeten worden op de microcontroller. Het verschil tussen de SX1272 en SX1276 is dat de SX1272 een drietal vaste bandbreedtemogelijkheden heeft namelijk 500kHz, 250kHz en 125kHz en waarbij de SX1276 alle mogelijkheden heeft tussen de 500kHz en 7.8kHz (Semtech Corporation, 2013).

Een voorbeeld van een module met alleen een SX1276 gemonteerd is de Modtronix inAir9 (The Things Network, 2016b).

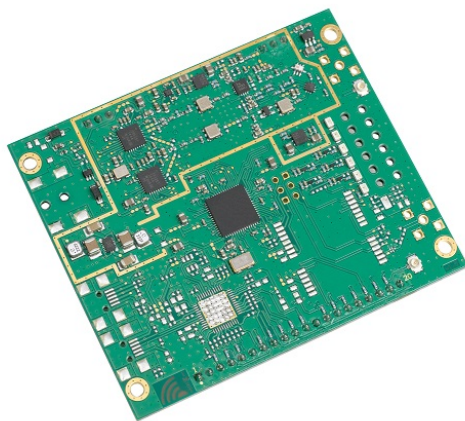


Figuur 12: Modtronix inAir9 module

Semtech is niet de enige fabrikant die transceivers levert. Zo is in december aangekondigd te gaan samenwerken met STMicroelectronics voor het fabriceren van microcontrollers met ingebouwde transceiver (STMicroelectronics, 2015).

3.8.3 LoRa ontvangers

Met LoRa is het mogelijk een ontvanger te ontwikkelen die op meerdere kanalen tegelijkertijd data kan ontvangen en verwerken. Dit kan bijvoorbeeld noodzakelijk zijn bij het opzetten van een sternetwerk waarbij meerdere LoRa transceivers communiceren met één LoRa ontvanger. De meest gebruikte combinatie is een SX1301 met een SX1257 of SX1255 (The Things Network, 2016a). De SX1301 is een baseband processor die op meerdere kanalen tegelijkertijd kan ontvangen en versturen. Echter bevat de SX1301 niet de transceivers maar stuurt deze aan (Semtech Corporation, 2014). De SX1257 en SX1255 worden vaak gebruikt als transceivers. De SX1257 is geschikt voor de Europese frequenties en de SX1255 voor de 433Mhz wat voor LoRa toegepast wordt in andere landen. De SX1301 wordt vaak gebruikt in combinatie met twee SX1257. Een voorbeeld is de IMST iC880A. Dit is een kant en klare printplaat van IMST waarmee via SPI of USB gecommuniceerd kan worden (IMST, 2016).



Figuur 13: IMST iC880A-SPI

3.9 Conclusie

Uit dit uitgebreide hoofdstuk valt te concluderen dat LoRa een modulatietechniek is gebaseerd op Direct-Sequence Spreading Spectrum en Chirp Spread Spectrum. Het is een modulatietechniek vooral ontwikkeld om een zo groot mogelijke afstand te overbruggen met een relatief klein datapakket (minder dan 250 bytes) en een laag energieverbruik. Dit is allemaal mogelijk met goedkope hardware dankzij de ontwikkelde LoRa modulatietechniek en goede foutcorrectie. Ook is te concluderen dat de techniek ontwikkeld is voor sensoren die niet vaak en niet veel data versturen. Dit is af te leiden uit de eisen van een korte on-air time en kleine datapakketten. LoRa is niet geschikt om snel grote hoeveelheden data over te dragen. Voor het ontwikkelen van een prototype zal de keuze gemaakt moeten worden tussen de verschillende beschikbare LoRa modules. Deze keuze wordt gemaakt in [Subhoofdstuk 10.2](#).

4 De werking van LoRaWAN

LoRaWAN is een Low Power Wide Area netwerk(LPWAN) protocol ontwikkeld voor de LoRa modulatie techniek. In dit hoofdstuk zal meer worden verteld over de werking van dit protocol.

4.1 LoRaWAN

LoRaWAN is opgezet door de LoRa Alliance (LoRa Alliance, 2015a) (Avnet Silica, 2015) als eigen initiatief vanuit de industrie en is ontwikkeld voor end-devices met een laag energieverbruik. Deze end-devices kunnen zowel mobiel zijn als zich op een vaste plek bevinden. De LoRa Alliance wil van het LoRaWAN protocol voor LoRa een wereldwijde standaard maken. Dit protocol dient voor mobiele netwerken en is speciaal ontwikkeld om aan de hoge eisen van Internet of Things(IoT) te kunnen voldoen. De leden van de LoRa Alliance proberen het succes van LoRaWAN te garanderen door het delen van kennis en ervaring. Dit protocol bevindt zich op de data-link laag van het OSI model. Meer informatie is beschikbaar in de scriptie van Marco Knol “LoRa[®] implementatie in de Babbler”.

4.2 Conclusie

Samenvattend uit de scriptie van Marco Knol valt te concluderen dat LoRaWAN een LPWAN-protocol is met een ster van sternetwerk topologie (Knol, 2016, p. 13). Hierbij fungeert de gateway als een transparante bridge tussen de end-device en de netwerkserver. Een end-device kan geclassificeerd worden onder drie verschillende LoRaWAN klassen. Een keuze tussen de LoRaWAN klassen is afhankelijk van de gewenste toepassing van de end-device. De data die uitgewisseld wordt tussen end-device en gateway is altijd versleuteld. Dit is gedaan op netwerkniveau en applicatieniveau. Het is mogelijk om een end-device aan een LoRaWAN netwerk toe te voegen via OTAA (Over The Air Activation) of ABP (Activation By Personalization). Een end-device zal worden genegeerd als dit niet aan een netwerk is toegevoegd.

5 De effectiviteit van LoRa in de Babbler

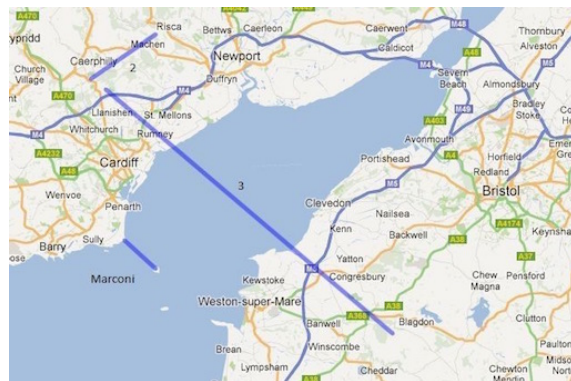
In dit hoofdstuk zal onderzoek worden verricht naar het bereik van LoRa om de effectiviteit te kunnen bepalen. Dit onderzoek bestaat uit een literatuuronderzoek en een praktijktest.

5.1 Wensen

Itude Mobile heeft een aantal wensen met betrekking tot de effectiviteit van LoRa in de Babbler. Zo is de eerste wens dat bij binnenkomst van een vrachtschip in een haven de Babbler automatisch op afstand kunnen worden uitgelezen. De afstand tussen vrachtschip en kust kan hierbij oplopen tot 750 meter. Deze 750 meter is af te leiden van de breedte van het kanaal genaamd “Nieuwe Waterweg” bij binnenkomst in de Rotterdamse haven. Aan beide kanten van het kanaal zou een gateway geplaatst kunnen worden. Het kanaal is anderhalve kilometer breed. Deze 750m wijkt af van de eis in kwaliteitscriteria C4. Deze kwaliteitscriteria had een minimale afstand van 500m en is gewijzigd naar 750m wegens de breedte van het kanaal. Een tweede wens is dat de Babbler moet kunnen functioneren in een reefercontainer. Dit is een gekoelde container met isolatiemateriaal. De derde wens is dat de Babbler moet kunnen functioneren onder de gewenste omgevingsvariabelen zoals hoge luchtvochtigheid en temperaturen tussen de nul graden en 40 graden Celcius.

5.2 Literatuuronderzoek

Stuart Robinson heeft in januari 2015 een bereiktest uitgevoerd met LoRa in vergelijking met FSK (Frequency Shift Keying) (Robinson, 2015). In deze test is een afstand behaald van 40km line-of-sight (zie [Figuur 14](#)). Deze test is uitgevoerd vlakbij de locatie waar Marconi in 1897 de eerste radiotransmissie stuurde over de open zee. Opvallend is dat voor LoRa een signaalsterkte van 3dBm/2mW noodzakelijk was en voor FSK 20dBm/100mW), een aanzienlijk verschil. Uit het artikel kan afgeleid worden dat LoRa een protocol is dat een grotere afstand zou moeten kunnen overbruggen in vergelijking tot andere protocollen zoals FSK. Natuurlijk moet hierbij wel rekening gehouden worden dat de test is uitgevoerd bij line-of-sight. Dit zal natuurlijk verschillen per locatie afhankelijk van de hoeveelheid ruis en obstakels.



Figuur 14: Bereik test Stuart Robinson

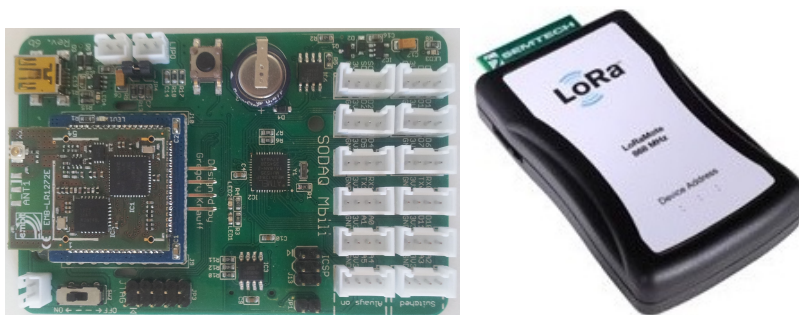
Met de LoRa modulatie in samenwerking met het LoRaWAN-protocol is er een groot verschil of het end-device en de gateway in Line of Sight(LoS) zijn. Bij Line of Sight kan een afstand worden gehaald tot 21+km (Cooking hacks, g.d.). Bij Not Line of Sight kan een afstand worden gehaald tot 2+km. Hierbij is getest in een bebouwde omgeving waar veel storing en straling van andere bronnen kunnen voorkomen.

Uit de RN2483 en EMB-LR1272 datasheets valt af te leiden dat de modules kunnen functioneren tussen de -40 en +85 graden celcius (Microchip, 2015b Embit, 2014). Voor de

luchtvochtigheid is alleen bij de RN2483 af te leiden dat deze kan functioneren tussen de 10% en 90%.

5.3 Praktijktest

Om de theorie in de praktijk te testen is een LoRa mote in een reefer (gekoelde container) geplaatst. Aangezien er geen goede aantoonbare testen te vinden zijn in een reefer is deze test zelf uitgevoerd. Deze test is uitgevoerd bij Port Container Services BV in Pernis te Rotterdam. De testen zijn uitgevoerd met onderstaande hardware.



Figuur 15: Sodaq Mbili met EMB-LR1272 en de Semtech LoRaMote

De Sodaq Mbili is uitgerust met een EMB-LR1272 met losse staafantenne, de LoRaMote heeft een antenne op de printplaat. Beide motes zijn geplaatst in een reefer op 500m afstand van een gateway. De gateway is een Kerlink gateway geleend van KPN. Deze gateway is op een hoogte van vier meter gehangen. Op dit punt is ook een gateway van The Things Network opgehangen.



Figuur 16: Gateway KPN

De test is geslaagd, beide motes konden hun bericht nog sturen naar zowel de KPN als The Things Network gateway binnenin de reefercontainer. De gateway hing hierbij niet op ideale hoogte en het signaal moest hierbij ook langs vele zeer hoge containers. De test reefercontainer was ook omringd door andere hoog opgestapelde reefercontainers. Testen op een afstand van 750m was helaas niet mogelijk omdat de gateway niet verder dan 500m van de reefercontainer kon worden geplaatst.



Figuur 17: Afstand test 500m



Figuur 18: De reefercontainer

5.4 Conclusie

Uit de theorie en praktijktest valt de concluderen dat LoRa geschikt is voor gebruik in de Babblers. Uit de praktijktest, die niet ideaal was, en de testen die door andere partijen zijn uitgevoerd, wordt ervan uitgegaan dat de Babblers vanuit een container op een schip data kunnen versturen naar de gateway. Ook functioneert hij in de gewenste omgevingsvariabelen volgens het literatuuronderzoek.

6 De efficiëntie van LoRa in de Babblar

Aangezien de Babblar minimaal zes maanden moet functioneren op een volle batterij is efficiëntie van groot belang. Ook is het belangrijk dat de Babblar zo compact mogelijk blijft, grote accu's zijn geen optie. De Babblar moet een mobiel inzetbaar apparaat blijven. De batterij efficiëntie is daarom van groot belang. Deze batterij efficiëntie is in de theorie en praktijk getest.

6.1 Literatuuronderzoek

Voor de batterijefficiëntie van LoRa zal in dit onderzoek gekeken worden naar de modules RN2483, EMB LR-1272 en de losse transceiver chip SX1276. De volgende specificaties zijn verkregen voor bovenstaande modules (Microchip, 2015b; Embit, 2014; Semtech Corporation, 2015b):

	RN2483	EMB LR-1272	SX1276
Verbruik bij verzenden	38mA (bij +13,5dBm).	40mA (bij +14dBm)	29mA (bij +13dBm)
Verbruik bij ontvangen	14,2mA	12mA	10,8-12mA
Verbruik in ruststand	2,8mA	Niet aanwezig	1,6mA
Verbruik in sleep	9,9µA	3µA	0,2-1,5µA

Tabel 3: Stroomverbruik van verschillende LoRa modules

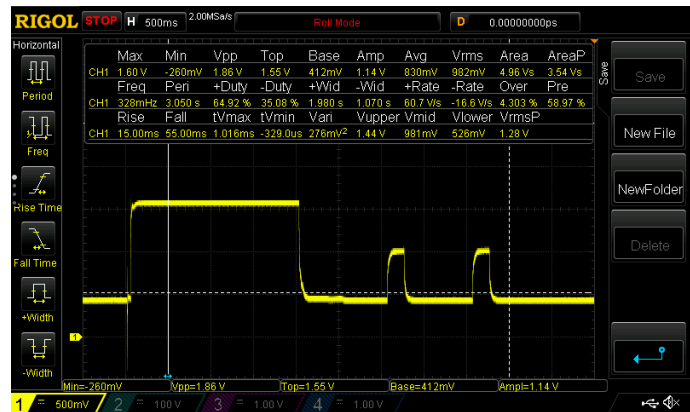
Opvallend aan [Tabel 3](#) is dat het verbruik in alle omstandigheden bij de SX1276 minder is dan bij de overige modules. Dit komt waarschijnlijk doordat de overige modules een microcontroller bevatten voor communicatie met de LoRa transceiver (zie [Subhoofdstuk 3.8](#)). Verder vallen de ruststand en sleepmodus op bij de RN2483 en LR-1272. De RN2483 moet via software in een sleepmodus worden gezet waarna hij minder stroom zal verbruiken en pas weer 'wakker' wordt zodra de serieële communicatie start (Microchip, 2015a). Het verschil qua stroomverbruik tussen de idle modus en sleepmodus is behoorlijk groot. De LR-1272 bevat geen ruststand en zal na transmissie of ontvangen automatisch in een sleepmodus gaan. Een ander verschil tussen de RN2483 en EMB LR-1272 zijn de LoRaWAN klassen. De RN2483 ondersteund alleen maar klasse A en de EMB LR-1272 zowel klasse A als klasse C.

6.2 Praktijktest

Itude Mobile heeft een RN2483 ter beschikking. In dit onderzoek zijn hier een aantal stroommetingen mee verricht om het verbruik te meten.

De meting is uitgevoerd met een Rigol oscilloscoop in combinatie met een shunt weerstand waarmee stromen met een oscilloscoop gemeten kunnen worden (MeasuremenTest, 2010). Dit is niet een heel betrouwbare manier om kleine stromen te meten maar zal voldoende inzicht geven in het stroomverbruik van LoRa voor dit onderzoek (Jones, 2010).

In [Figuur 19](#) is het stroomverbruik weergegeven van een uplink met twee downlink sloten. In ruststand was de voltage 412mV. Omgerekend is dit 7,4mA wegens het gebruik van een 56ohm shunt weerstand. Dit is aanzienlijk hoger dan de volgens de specificaties voorgelegde 2,8mA. Dit heeft mogelijk te maken met de wat onbetrouwbare meettechniek. Voor de uplink is te zien dat de voltage op dat moment 1,2v hoger was dan de ruststand, een toename van 21mA. Ook dit klopt niet met de specificaties. Wel interessant is dat de zendtijd ongeveer 1,9 seconde duurde voor het versturen van 10 bytes bij SF12. Dit klopt aardig als we de gegevens door een LoRa air time calculator sheet halen, deze komt op 1,7 seconde (Kooijman, 2016). Na de uplink zijn twee downlink transmissies te zien die ongeveer de helft aan stroom verbruiken in vergelijking met de uplink. Dit komt overeen met de specificaties.



Figuur 19: Meting RN2483 zend en ontvangstsloten

6.3 Verwachte levensduur

Om te kijken of de efficiëntie behaald kan worden, moet er gekeken worden naar verschillende batterijen die aan de wensen voldoen. Voor de wensen moet rekening gehouden worden met de grote en gewicht van de batterij(en), maar ook hoelang de Babbler meegaat met de desbetreffende batterijlading. Een keuze tussen een oplaadbare batterij(en) of niet oplaadbaar moet nog gemaakt worden. Daarom zullen hier zowel oplaadbare als niet oplaadbare batterijen vergeleken worden.

Om een schatting te doen naar de verwachte levensduur op de verschillende soorten batterijen is er uitgegaan van de volgende omstandigheden om een worstcasescenario te simuleren:

Stroomverbruik	Volgens specificaties TX power 14
Spreading Factor	12
Coding Rate	4 / 8
Te versturen bytes	40 bytes + 13 bytes LoRaWAN header
Interval	Ieder kwartier

Er is gekeken naar verschillende soorten batterijen die zijn weergegeven in [Tabel 4](#) met alleen het stroomverbruik van de RN2483 LoRaWAN module meegerekend. Alle batterijen zijn compact en zorgen ervoor dat de LoRa Babbler net zo mobiel blijft als de Babbler zonder LoRa functionaliteit.

Batterij soort	batterijcapaciteit	verwachte levensduur
1x LiPo	800mAh	7,4 maanden
2x Energizer+ Lithium AAA	1200mAh	10 maanden
2x Panasonic Alkaline AAA	800mAh	6,6 maanden

Tabel 4: Toepasbare Babbler batterijen

6.4 Conclusie

De theorie komt niet volledig overeen met de metingen van het stroomverbruik die zijn uitgevoerd. Al eerder is vermeld dat de metingen niet geheel betrouwbaar zijn. Ondanks de wat onbetrouwbare metingen zijn er nog genoeg interessante conclusies te trekken.

Uit [Subhoofdstuk 6.3](#) valt de concluderen dat het goed mogelijk is een Babbler met LoRa functionaliteit te produceren die minimaal een half jaar meegaat op een volle batterij. Dit is allemaal mogelijk in een compact formaat aangezien de batterij niet van grote omvang is. Hieruit valt de concluderen dat LoRa efficiënt is voor de Babbler.

7 De LoRa netwerkleveranciers

Om de LoRa Babbler te laten communiceren met een netwerk zal een netwerkleverancier noodzakelijk zijn. Deze leverancier zal hierbij een backend aanbieden met mogelijk al geplaatste LoRa gateways. Enkele netwerkleveranciers zijn Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom en FastNet (Postcapes, g.d.). KPN is op dit moment actief in Nederland met de uitrol van hun LoRa netwerk (KPN, g.d.). De verwachting is dat zij eind juni een landelijke dekking hebben.

The Things Network (TTN) is een crowd-sourced netwerkleverancier die wereldwijd een netwerk aan het uitrollen is. Bij TTN is het mogelijk een eigen gateway op te zetten en te verbinden met hun backend (The Things Network, g.d.). TTN is net zoals KPN ook actief in Nederland.

Omdat in Nederland de leveranciers KPN en TTN bekend zijn, zullen in de volgende subhoofdstukken een uitleg worden gegeven van de gebruikte hardware en de functionaliteit tot nu toe.

7.1 KPN

Via de KPN LoRa roadshow is informatie verzameld met betrekking tot de uitrol van hun netwerk. Zo is vernomen dat KPN gebruik maakt van een Kerlink IoT Station. Dit is een gateway die in Nederland werkt op 868MHz. Deze gateway voldoet aan de IP67 norm wat hem geschikt maakt voor alle weersomstandigheden (Kerlink, g.d.). Ook is vernomen dat KPN het niet toestaat een eigen gateway aan het KPN netwerk te koppelen om de kwaliteit van hun netwerk te kunnen waarborgen. Itude Mobile beschikt over een door KPN geconfigureerde Kerlink gateway die gekoppeld zit aan het testnetwerk van KPN.

Op dit moment heeft Itude Mobile toegang tot het testnetwerk en live netwerk. Bij de KPN LoRa roadshow is vernomen dat KPN op het moment nog geen OTAA geïmplementeerd heeft maar dit wel in korte tijd verwacht. Activering gaat dus op dit moment nog via ABP. FOTA is nog niet geïmplementeerd en is niet zeker of dit ooit geïmplementeerd zal worden wegens de grote hoeveelheid dataverbruik in korte tijd. KPN is zijn netwerk alleen aan het uitrollen in Nederland. Het is nog niet zeker hoe gecommuniceerd kan worden met een LoRa netwerk in het buitenland met KPN. Er is op de KPN LoRa roadshow vernomen dat de abonnementsprijs per device per jaar ongeveer vier euro zal kosten. Bij gebruik maken van triangulatie zal deze prijs hoger liggen wegens het gebruik van meerdere gateways.



Figuur 20: Kerlink IoT Station

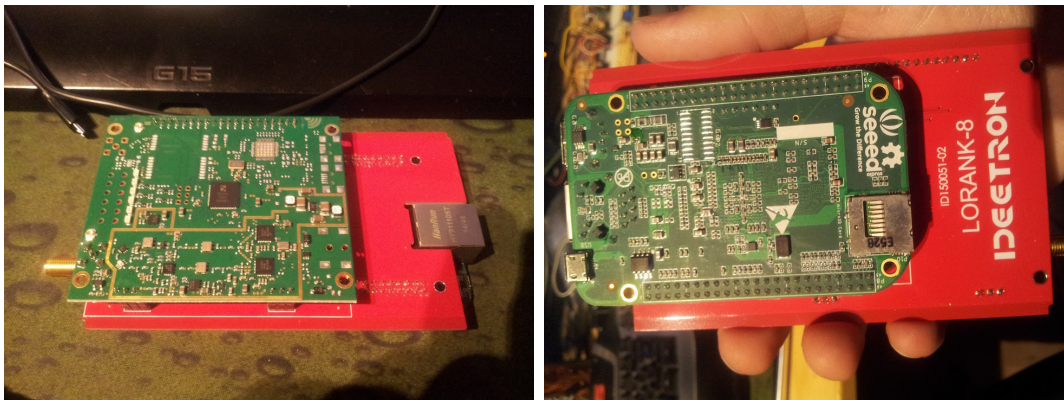
7.2 TTN

The Things Network rolt zijn netwerk uit met verschillende gateways. Bij TTN zijn alle gateways mogelijk. Bekende zijn de Kerlink gateway, The Things Gateway en de Lorank8 van IDEETRON (The Things Network, 2016a). The Things Gateway is een eigen initiatief van TTN maar hoeft niet noodzakelijk gebruikt te worden. Het is dus bij TTN toegestaan een eigen gateway te koppelen aan hun netwerk. Itude Mobile beschikt over een Lorank 8. De Lorank 8 bestaat uit een Beaglebone gekoppeld met een IMST 880a. Dit is een print speciaal gemaakt voor gebruik als een gateway. De Lorank is afgebeeld in [Figuur 21](#).



Figuur 21: De Lorank 8

Van binnen ziet de Lorank er als volgt uit:



Figuur 22: De Lorank 8 van binnen

Het netwerk van TTN is een open source en vrij toegankelijk netwerk. Een bijzondere feature van TTN is de mogelijkheid een private offline, private connected of een public netwerk op te zetten. Een private offline netwerk betekent dat er gebruik gemaakt wordt van eigen servers voor het hosten van de TTN backend. Het netwerk is dan volledig in eigen beheer. Een private connected netwerk betekent dat gebruik gemaakt wordt van de hosting van TTN maar dat een afgeschermd gedeelte gebruikt wordt waaraan eigen gateways gekoppeld zijn. Bij een public netwerk wordt gebruik gemaakt van het openbare netwerk waar iedereen zijn eigen gateway kan koppelen (Visser, 2016).

De huidige backend versie 1.0 heeft al de implementatie voor OTAA. FOTA wordt op het moment ook nog niet ondersteund (Stocking, 2016). Omdat TTN wereldwijd wordt uitgerold, is het dus mogelijk te communiceren in het buitenland. TTN is een crowd-sourced netwerkleverancier en zal volledig gratis blijven (The Things Network, g.d.).

7.3 Conclusie

Uit dit onderzoek valt de concluderen dat beide netwerkleveranciers veel verschillen. TTN is een gratis alternatief voor KPN en heeft door zijn openheid wat meer mogelijkheden zoals het zelf plaatsen van een gateway. Echter zouden deze mogelijkheden ook negatief kunnen uitpakken op onderdelen zoals de stabiliteit. Beide netwerken zijn nog niet volledig operationeel en dat maakt het wat lastig om een goed beeld te krijgen van de kenmerken van beide netwerken.

8 Het meest geschikte LoRa netwerk voor Itude Mobile

In dit hoofdstuk bevindt zich de conclusie welk LoRa netwerk het meest geschikt is voor Itude Mobile. Dit onderzoek is verricht door Marco Knol. Het volledige onderzoek is beschikbaar in de scriptie van Marco Knol “LoRa[®] implementatie in de Babblar” (Knol, 2016, p. 31).

8.1 Conclusie

Samenvattend uit de scriptie van Marco Knol valt te concluderen dat zowel TTN als KPN interessante netwerkleveranciers zijn voor Itude Mobile. Beide netwerken zijn nog niet volledig operationeel wat een keuze lastig maakt. Voor het wereldwijd toepassen van LoRa lijkt TTN het meest geschikt. Dit komt doordat TTN LoRa wereldwijd aan het uitrollen is en het toestaat een eigen gateway te plaatsen.

Indien het wereldwijd toepassen van LoRa niet van belang is, zou KPN overwogen kunnen worden. KPN heeft als voordeel een hogere zekerheid te bieden qua up-time. TTN kan dit minder goed bieden wegens crowd-sourcing. TTN biedt de mogelijkheid om het netwerk volledig in eigen beheer te hebben waardoor de up-time ook zelf te beheren is. Hierdoor wordt TTN geadviseerd als LoRa netwerkleverancier.

9 Het wereldwijd inzetten van de LoRa Babblor

Het is van belang dat de LoRa Babblor in de toekomst wereldwijd kan worden ingezet, dit is een wens van Itude Mobile. Het wereldwijd inzetten van de LoRa Babblor is afhankelijk van een aantal factoren. Deze factoren zijn onder andere de beschikbare LoRa netwerkleveranciers, de gebruikte LoRa frequentiebanden en beperkingen in het buitenland. In dit hoofdstuk zal hier meer onderzoek naar worden verricht. Ook zal in dit hoofdstuk gekeken worden naar de belangrijke factoren die nodig zijn om de LoRa Babblor wereldwijd te kunnen inzetten.

9.1 De LoRa netwerkleveranciers

In [Hoofdstuk 8](#) zijn de netwerkleveranciers KPN en TTN als beste optie genoemd. KPN is hierbij een netwerkleverancier die alleen een netwerk in Nederland uitrolt. TTN is een crowdsourced netwerkleverancier die wereldwijd een LoRa netwerk aan het aanleggen is. Daarom zal voornamelijk in dit hoofdstuk gekeken worden naar TTN en hoe TTN wereldwijd een netwerk aan het uitrollen is.

9.2 De LoRa frequenties wereldwijd

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de LoRa frequenties die wereldwijd gebruikt mogen worden. De LoRa frequenties verschillen soms per land omdat hier onderling geen goede afspraken voor zijn gemaakt. Ook de frequentieband eisen kunnen verschillen per land. Dit maakt het wereldwijd inzetten van de LoRa Babblor lastiger.

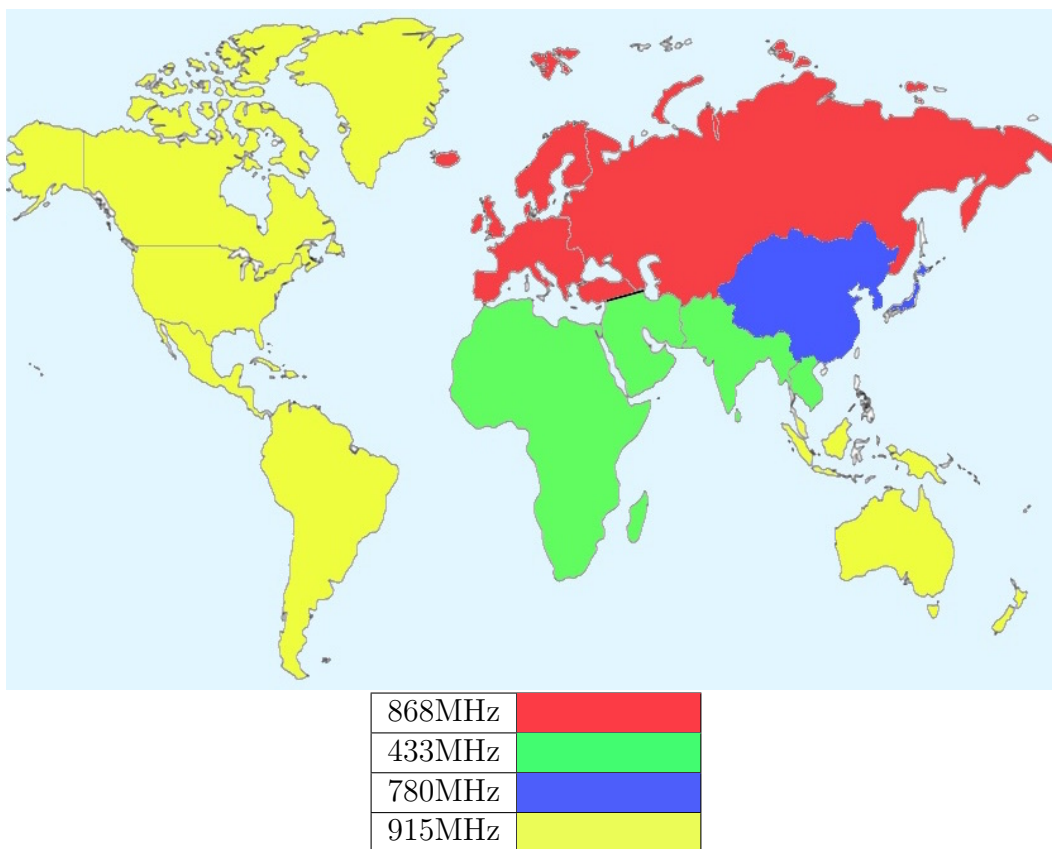
9.2.1 De LoRa frequenties

LoRa maakt gebruik van de frequentiebanden die vrij toegankelijk zijn en waar geen licentie voor noodzakelijk is. Deze vrije frequentiebanden worden de ISM (Industrial, Scientific and Medical) banden genoemd (Herman, 2010). Deze banden zijn in Europa gedefinieerd door de ETSI (European Telecommunications Standards Institute) en in de Verenigde Staten door de FCC (Federal Communications Commission) (LoRa Alliance, 2015b). [Tabel 5](#) geeft de LoRaWAN frequenties weer zoals in de specificaties staat beschreven.

Land	Frequentiebereik
Europa	863-870MHz
Verenigde Staten	902-928MHz
China	779-787MHz
Europa	433-434MHz

Tabel 5: LoRaWAN specificaties

Aangezien LoRa nog niet in alle landen wordt toegepast is er gezocht in sommige landen naar de ISM banden waar LoRa mogelijk op kan worden toegepast. Het zou kunnen zijn dat LoRa uiteindelijk in sommige landen kan afwijken dan wat in [Figuur 23](#) is vermeldt en dat maakt dit onderzoek wat lastiger.



Figuur 23: De LoRa frequenties wereldwijd

Buiten de verschillende frequenties moet rekening gehouden worden dat eisen zoals de On-Air time verschillen per land.

9.3 Belangrijke factoren voor de LoRa Babbler

De SX1276 LoRa transceiver is uitgerust met een laagfrequent en hoogfrequent uitgang (Semtech Corporation, 2015b). Uit de reference designs van Semtech kan afgeleid worden dat de hoogfrequent uitgang van de chip gebruikt kan worden voor 868MHz en 915MHz met dezelfde antennecomponenten (Semtech Corporation, g.d.-b). De 433MHz frequentie is beschikbaar via de laagfrequent uitgang van de chip. Hoe gebruik gemaakt kan worden van 780MHz is niet duidelijk. Om gebruik te maken van 433MHz, 868MHz en 915MHz is het dus noodzakelijk twee aparte antennes te plaatsen. De RN2483 module heeft ondersteuning voor 433MHz en 868MHz maar geen 915MHz (Microchip, 2015b). Dit zou een softwarelimitatie kunnen zijn in de microcontroller van de module. De Modtronix inAir9 heeft ondersteuning voor de 868MHz en 915MHz. Echter is de laagfrequent antenne niet aangesloten dus ontbreekt ondersteuning voor 433MHz (Modtronix, g.d.). Een module die alle frequenties ondersteund is nog niet beschikbaar. Softwarematig zal ook met de verschillende frequenties en eisen rekening gehouden moeten worden. Het is niet toegestaan om bijvoorbeeld op 915MHz te zenden in Europa. Om na te gaan in welk land de LoRa Babbler zich bevindt zou het een optie zijn om eerst te luisteren op alle frequenties om na te gaan welke frequentie gebruikt mag worden.

9.4 Conclusie

Te concluderen valt dat het wel mogelijk is de LoRa Babbler wereldwijd in te zetten maar dat op dit moment LoRa nog niet in alle landen beschikbaar is. Dit maakt het op dit moment lastig om de LoRa Babbler wereldwijd toe te passen. Op dit moment is er ook nog geen module beschikbaar die op alle nodige frequenties werkt wat het noodzakelijk maakt zelf een printplaat te ontwerpen.

10 Het implementeren van LoRa in de firmware van de Babbler

Aangezien de huidige Babbler niet over de LoRa hardware beschikt, bevindt zich in dit hoofdstuk de hardware- en softwaremodificaties. Dit bestaat uit een onderzoek naar de huidige hardware en software met vervolgens de modificaties hiervan.

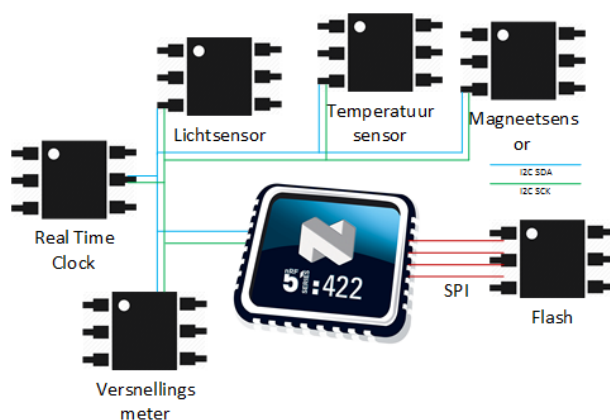
10.1 De huidige hardware

De huidige Babbler wordt van stroom voorzien door middel van een knoopcelbatterij. Deze knoopcelbatterij is van het type CR2450 en heeft een beginspanning van 3V. De Babbler is beveiligd voor het foutief plaatsen van de batterij door middel van een MOSFET. Een MOSFET is type transistor waarmee via een kleine stroom een grotere stroom geschakeld kan worden (Agarwal, 2013). Tevens is er nog een tweede MOSFET aanwezig waarmee via een knopje de Babbler kan worden ingeschakeld.

Door het controleren van de specificaties van alle hardwarecomponenten valt af te leiden dat de absolute maximale werkspanning 3.6V is. De minimale werkspanning is 1.95V.

De microcontroller die gebruikt wordt in de Babbler is de Nordic nRF51422-QFAC-R. Dit is een microcontroller met ingebouwde Bluetooth Low Energy transceiver die werkt op 16MHz. De nRF51422 is speciaal ontwikkeld voor toepassingen waar een zeer laag energieverbruik gewenst is (Nordic Semiconductor, 2014).

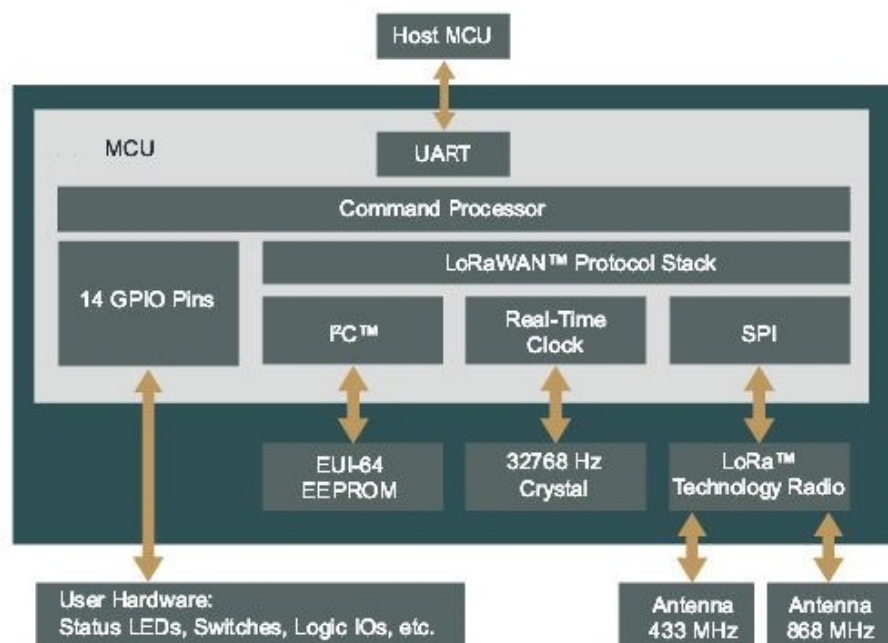
De Babbler is verder voorzien van een temperatuursensor, lichtsensoren, magneetsensoren, versnellingsmeter, real-time klok en een flash geheugen chip. Communicatie met deze componenten gaat door middel van I²C of SPI (zie Figuur 24).



Figuur 24: Babbler hardware diagram

10.2 De hardwaremodificaties

Voor het LoRa Babbler prototype is gekozen voor de RN2483 van Microchip. De keuze voor deze LoRa transceiver module is gemaakt wegens de beschikbaarheid, inbouwgemak en ASCII communicatie via UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). De RN2483 is gemakkelijk leverbaar in Nederland, vereist weinig soldeerwerk en er kan via ASCII commando's mee gecommuniceerd worden. Een nadeel is echter dat er maar via twee frequentie's met LoRa gecommuniceerd kan worden namelijk 433MHz en 868MHz (Microchip, 2015b). Ook heeft een LoRa transceiver met ingebouwde microcontroller een bijkomend nadeel, de RN2483 heeft namelijk ook firmware die geüpdate kan worden. Dit maakt het up-to-date houden van de Babbler moeilijker. Voor een prototype is dit echter een prima oplossing. Uit de praktijk is gebleken dat de LoRa module niet functioneert vanaf een knoopcelbatterij omdat de batterij niet kortstondig de hoge stroompiek kan leveren. De batterijhouder is gedesoldeerd om ruimte te maken voor de RN2483 module. Voor het prototype is de keuze gemaakt om gebruik te maken van twee AAA batterijen in serie. De AAA batterijen leveren ieder 1,5V wat een totale voltage van 3V oplevert.

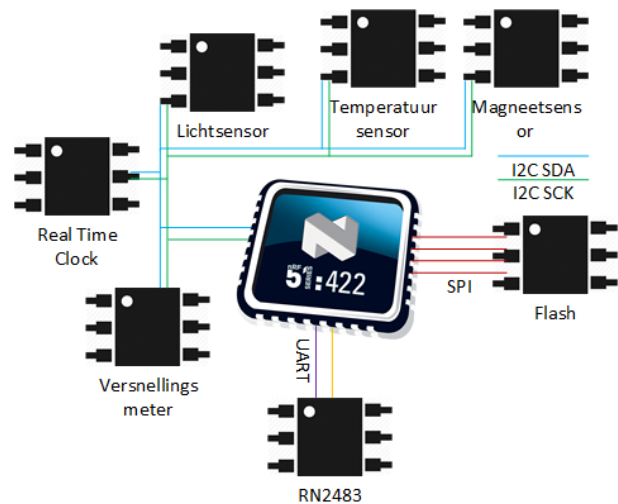


Figuur 25: RN2483 blokdiagram

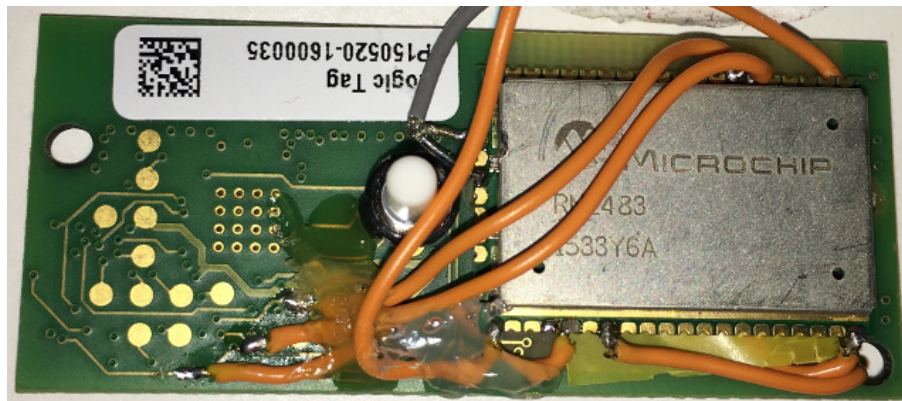
Zoals weergegeven in [Figuur 25](#) kan er met een host MCU (microcontroller unit) gecommuniceerd worden via UART en biedt de module nog 14 extra GPIO (General-Purpose Input/Output) pinnen aan. De GPIO pinnen hoeven niet noodzakelijk gebruikt te worden. Noodzakelijk zijn de VDD en GND voor voeding, RFH voor de hoogfrequent antenne (868 MHz), UART RX en TX voor communicatie met de host en RESET voor het resetten van de module. De RN2483 heeft een werkspanning tussen de 2.1V en 3.6V.

In **Figuur 26** is het hardware diagram van de LoRa Babbler weergegeven. Communicatie tussen de RN2483 en nRF51422 microcontroller gaat zoals al eerder is aangegeven via UART. UART is een seriële communicatietechniek die lijkt op de RS232 poort bij oude computers maar op een lagere spanning werkt. De UART op de nRF51422 is vrij te configureren op alle pinnen. Er zijn dus geen pinnen voor gereserveerd.

Voor communicatie met de RN2483 zijn drie pinnen nodig namelijk RX, TX en RESET. Omdat de microcontroller zeer klein is kan er niet gemakkelijk op gesoldeerd worden. Er is daarom gekozen om een al aangelegd printplaatspoortje te gebruiken. Aangezien de versnellingsmeter en magneetsensor toch niet gebruikt worden, is er voor gekozen de interrupt draden van deze door te snijden en te gebruiken voor LoRa. Mochten de sensoren later toch nog gebruikt worden dan is dit gewoon mogelijk omdat de interrupt pinnen hiervan niet perse noodzakelijk zijn. Het gesoldeerde Babbler prototype is weergegeven in **Figuur 27**.



Figuur 26: LoRa Babbler hardware diagram

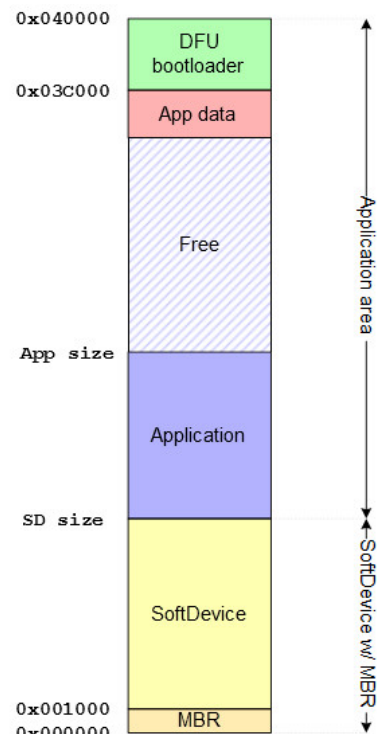


Figuur 27: Het LoRa Babbler prototype van binnen

Een eventuele verbetering op dit ontwerp zal zijn om gebruik te maken van een LoRa module zonder geïntegreerde microcontroller zoals de RFM95W van HopeRF. Echter maakt dit de firmwaremodificatie een stuk groter wegens de implementatie van LoRaWAN. De batterij-efficiëntie zal hiermee mogelijk wel worden verhoogd en firmware updates zouden makkelijk zijn. Dit komt doordat er geen LoRa module is die los geüpdate moet worden.

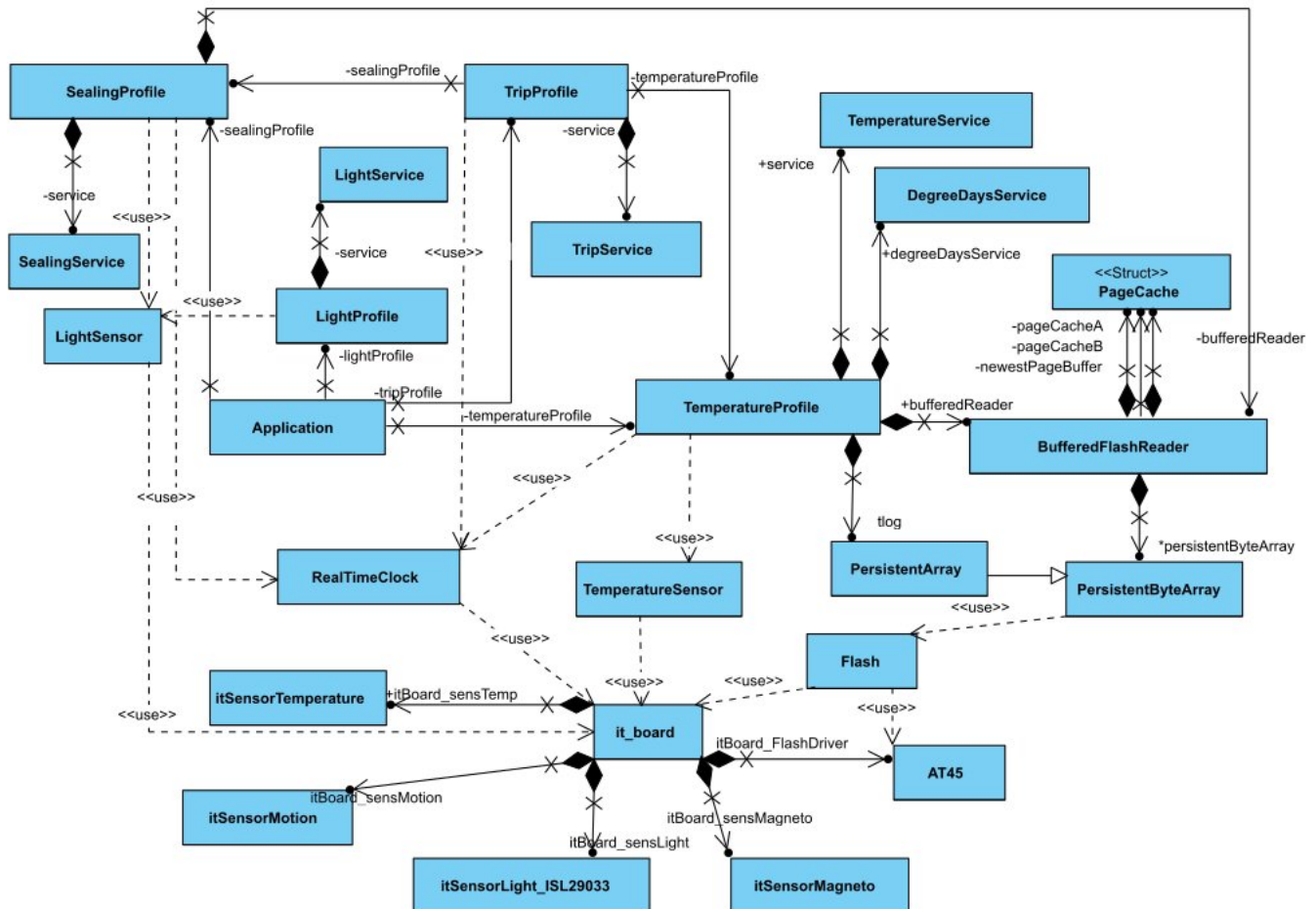
10.3 De huidige firmware

In de nRF51 SDK is gedocumenteerd dat de microcontroller een eigen flash layout heeft (Nordic Semiconductor, 2015). Dit in tegenstelling tot andere microcontrollers die de geschreven firmware bevatten met eventueel een bootloader. De nRF51 bevat een MBR (Master Boot Record), SoftDevice, Application en een DFU bootloader (Nordic Semiconductor, 2015). Application is de firmware die zelf geschreven wordt. De SoftDevice is een door Nordic Semiconductor voorgecompileerde protocol stack. Itude Mobile gebruikt de SoftDevice s130 die de volledige Bluetooth Low Energy stack in zich heeft. Dit kan gezien worden als een kant-en-klare driver die alle Bluetooth functionaliteiten aanstuurt. Communicatie met deze SoftDevice gaat door middel van een API. De SoftDevice s130 wordt aangeleverd met een MBR (Nordic Semiconductor, 2016). De MBR heeft als taak te booten naar de SoftDevice of naar de DFU bootloader. Dit is afhankelijk of het apparaat in de update modus moet gaan. De DFU bootloader is in vergelijking met de SoftDevice zelf te compileren. Dit is ook noodzakelijk zodra gebruik gemaakt wordt van een andere pin indeling van de microcontroller in vergelijking met de development kit. De DFU bootloader is niet noodzakelijk maar biedt de mogelijkheid de firmware te updaten over-the-air via Bluetooth of via een seriële interface. Het is noodzakelijk dat de juiste bootloader en firmware API gebruikt wordt bij de juiste SoftDevice aangezien er verschillende SoftDevices in omloop zijn. De indeling van de flash layout is weergegeven in [Figuur 28](#).



Figuur 28: nRF51 flash layout

Bij de Babblers wordt gebruik gemaakt van het ARM[®] mbed[™] OS. Dit is een open source embedded operating system speciaal ontwikkeld voor Internet of Things (IoT) (ARMmbed, g.d.). Van mbed OS wordt gebruik gemaakt van de scheduler voor het uitvoeren van taken. Een klassendiagram van de huidige Babblers firmware (in bovenstaande tekst “Application” genoemd) is weergegeven in **Figuur 29**.



Figuur 29: Het Babbler klassendiagram

De beginpunt van de applicatie is te vinden in de Application klasse. Deze initialiseert Bluetooth en maakt de profile klassen aan. De profile klassen zijn te vergelijken met controller klassen die onderdelen aansturen. Service klassen beschikken ieder over een Bluetooth service met een eigen unieke identifier. Via een Bluetooth service is het mogelijk te communiceren met een ander Bluetooth apparaat. Het bevat een soort getters en setters. Verder is het niet van belang om iedere klasse volledig uit te leggen om de complexiteit laag te houden.

10.4 De firmwaremodificaties

Voor de firmwaremodificaties wordt zoveel mogelijk de indeling aangehouden zoals nu bekend is bij de Babbler. Er zijn twee klassen bijgekomen namelijk de RN2483 driver en een klasse genaamd LoRaProfile.

10.4.1 De RN2483 klasse

De RN2483 klasse is verantwoordelijk voor de aansturing van de RN2483 module. Dit betekent dat de module gebruik maakt van de Serial klasse van mbed OS om te kunnen communiceren via UART. De klasse is geoptimaliseerd om zo min mogelijk flash geheugen in gebruik te nemen. Dit is gedaan door de commando's op te splitsen. De RN2483 kent drie verschillende commando typen namelijk: "sys", "radio" en "mac". Sys wordt gebruikt om systeemcommando's uit te voeren, radio voor de radio te configureren en mac commando's is voor LoRaWAN. Deze commando's kennen weer getters en setters en vervolgens een aantal parameters. Een voorbeeld van een commando om de netwerksleutel in te stellen is "mac set nwkskey". De RN2483 klasse is zodanig geprogrammeerd dat het niet nodig is de volledige commando op te slaan maar deze op te splitsen. Zo bevat de functie voor het instellen van de netwerksleutel de commando "SendOkCommand(mac, set, "nwkskey", key);". [Figuur 30](#) bevat een overzicht van de functie's geïmplementeerd in de RN2483 klasse.

```
public:
    RN2483(PinName tx, PinName rx, PinName resetPin);
    int Initialize();
    bool SetDeviceAddress(const char * addr);
    bool SetDeviceEUI(const char * addr);
    bool SetDeviceAddressForABP();
    bool SetNetworkSessionKey(const char * key);
    bool SetApplicationSessionKey(const char * key);
    bool SetADR(bool enabled);
    bool SetDR(int datarate);
    bool SetCR(int codingrate);
    bool Join(bool abp, bool waitForAccept);
    TransmitResponse SendPayload(TransmitType type, int portno, const char * data);
    ReceivedResponse ReceivePayload();
    char receivedPayload[250]; //max payload size LoRa @ page 37 LoRaWAN specification 1.0
    bool ResponseAvailable();
    bool WaitForResponse(int timeout = 0);
    virtual ~RN2483();

private:
    void SendCommand(CommandCategory cat, CommandType type, const char * param, const char * value);
    void SendCommand(CommandCategory cat, const char * param);
    bool SendOkCommand(CommandCategory cat, CommandType type, const char * param, const char * value);
    bool SendOkCommand(CommandCategory cat, const char * param);
```

Figuur 30: De RN2483 methoden

10.4.2 De LoRaProfile klasse

De LoRaProfile klasse is verantwoordelijk voor het onderhouden van het LoRa netwerk. Zo bevat de klasse de nodige LoRaWAN sleutels, maakt verbinding met het netwerk en stuurt periodiek een bericht. Ook is de LoRaProfile klasse verantwoordelijk voor het opbouwen van het bericht. Daarvoor wordt de nodige informatie verzameld uit verschillende klassen zoals LightSensor, TemperatureSensor en uit de Application klasse.

10.5 Resultaat

Na de hardware- en softwaremodificaties is het geslaagd om LoRa berichten te kunnen versturen met de Babbler zonder dat dit ten koste gaat van de huidige functionaliteit. Dit was een vereiste en is opgenomen onder kwaliteitscriteria C1. De Babbler stuurt op het moment alle data op zoals de verzegelingsdatum en wanneer dat zegel verbroken is. Dit is niet heel efficiënt aangezien niet alle datavelden nuttige informatie bevatten. Zo zou het kunnen dat het zegel nog niet verbroken is. Wanneer dit zal worden geoptimaliseerd, zal het bericht kleiner worden en dat zorgt weer voor een kortere on-air-time. De stabiliteit van de firmware kan nog niet volledig worden getest doordat de levensduur op dit moment nog niet optimaal is. Dit was een vereiste en is opgenomen onder kwaliteitscriteria C2. Doordat op dit moment alleen de hardware en software gerealiseerd is voor 868MHz kan de LoRa Babbler alleen binnen Europa gebruikt worden.

10.6 Conclusie

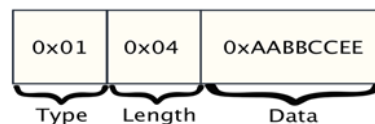
Er kan geconcludeerd worden dat de implementatie van LoRa in de Babbler als prototype is geslaagd. De LoRa Babbler kan op dit moment gebruikt worden in Europese landen waar een LoRa netwerk aanwezig is. Hardwarematig is dit mogelijk gemaakt door een RN2483 module te solderen op een Babbler en softwarematig door de firmware uit te breiden met twee klassen. De Babbler stuurt op dit moment alle data op. Er zijn nog een aantal verbeterpunten zoals het gebruik maken van een LoRa module zonder geïntegreerde microcontroller en het optimaliseren van het te versturen LoRa bericht met alleen nuttige informatie. Het uitvoeren van een Babbler zonder geïntegreerde microcontroller zou mogelijk de efficiëntie verhogen en firmware updates gemakkelijker maken.

11 Het implementeren van LoRa in de Babbler backend

Aangezien de huidige Babbler backend niet over de LoRa decoding beschikt, bevindt zich in dit hoofdstuk de softwareuitbreiding voor het verwerken van LoRa berichten. Het implementeren van LoRa in de Babbler backend is uitgevoerd door Marco Knol. In dit hoofdstuk zal deze implementatie kort worden samengevat.

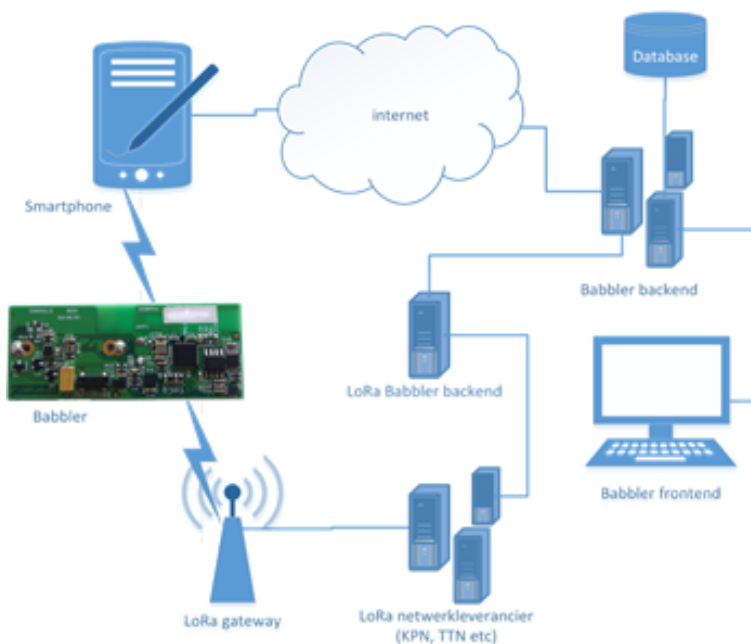
11.1 De implementatie

Voor het sturen van berichten is er een eigen dataprotocol bedacht. Dit protocol bestaat uit minstens drie bytes. Zo is de eerste byte altijd een type veld, gevolgd door een lengte byte en afsluitend met de data die minstens uit één byte bestaat (zie [Figuur 31](#)). Hierna zal weer een type veld volgen (Knol, 2016, p. 40).



Figuur 31: Dataprotocol

De LoRa Babbler backend is een losstaand onderdeel die de data converteert van een LoRa netwerkleverancier zoals KPN naar een formaat dat geschikt is voor de Babbler backend. Deze data wordt daarna doorgestuurd naar de Babbler backend (zie [Figuur 32](#)) (Knol, 2016, p. 41).



Figuur 32: De nieuwe Babbler architectuur met LoRa functionaliteit

11.2 Resultaten

Na de softwareuitbreiding is het gelukt om binnenkomende LoRa berichten te decoderen en door te sturen naar de Babblar backend. Een verbeterpunt zal zijn om de data te decrypten bij de LoRa Babblar backend wat op dit moment geregeld wordt door de netwerkleverancier. De netwerkleverancier beschikt op dit moment over de decryptiesleutel (Knol, 2016, p. 41). De backend is dusdanig geprogrammeerd dat bij een wijziging van netwerkleverancier alleen een gedeelte van de code hoeft te worden aangepast. Dit was een eis en is opgenomen onder kwaliteitscriteria C3.

11.3 Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat het geslaagd is om binnenkomende LoRa berichten te decoderen en door te sturen naar de Babblar backend. Dit is gerealiseerd door een losstaande LoRa Babblar backend te ontwikkelen die gekoppeld is aan de Babblar backend. Het dataprotocol voor communicatie tussen de LoRa Babblar en LoRa Babblar backend is zelf ontwikkeld.

12 De effectiviteit van LoRa in het Babbler prototype

Na het implementeren van LoRa in de Babbler is er nogmaals een bereiktest uitgevoerd om de controleren of de LoRa Babbler aan de wensen voldoet. De uitwerking van deze bereiktest bevindt zich in dit hoofdstuk.

12.1 Het bereik van de LoRa Babbler

Voor het testen van het bereik is de gateway mobiel gemaakt aangezien een reefercontainer niet gemakkelijk verplaatsbaar is. Omdat het LoRa Babbler prototype functioneert met het KPN netwerk was het noodzakelijk de KPN gateway mobiel te maken. Hiervoor is in een auto 220v aangelegd en een router geplaatst die verbonden is met een smartphone in hotspot-modus. Dit aangezien de gateway 220v en een internetverbinding nodig heeft. De testopstelling is weergegeven in [Figuur 33](#).



Figuur 33: Gateway bereiktest opstelling

De LoRa Babbler is in een losstaande reefercontainer geplaatst aan de kade. In **Figuur 34** zijn de behaalde afstanden weergegeven.



Figuur 34: Bereiktest resultaten LoRa Babbler

Afstanden van ongeveer 700m, 1000m en 1200m zijn behaald. De afstand van 1200m is interessant aangezien deze een gedeelte van de haven heeft overbrugd. Dit allemaal vanuit een gesloten reefercontainer.

12.2 Conclusie

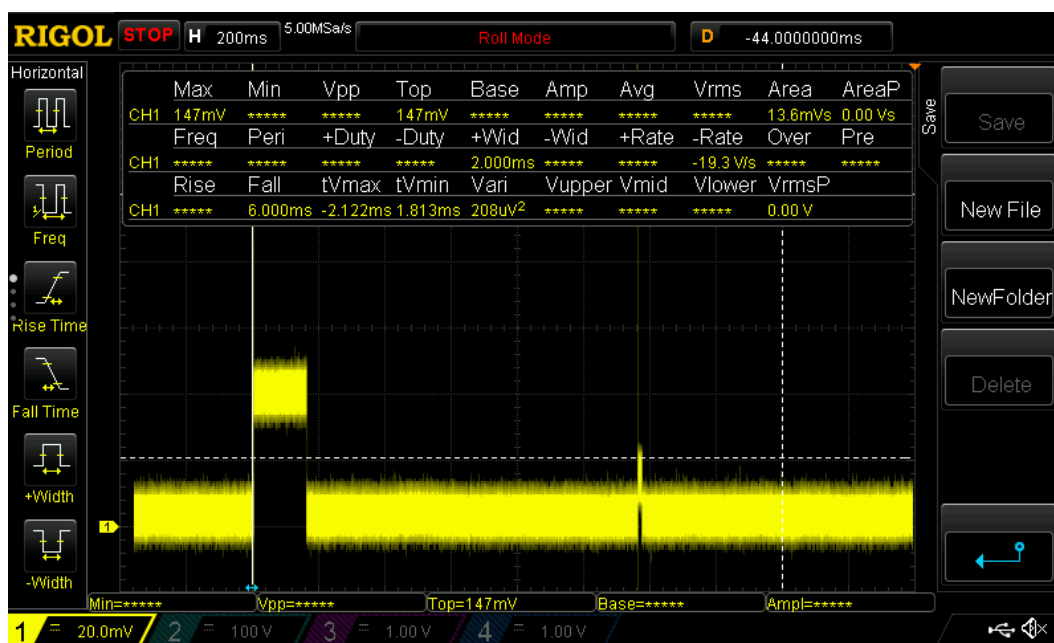
Er kan geconcludeerd worden dat de LoRa Babbler ruim aan het gewenste minimumbereik van 750m voldoet. Er zijn afstanden van 1200m behaald vanuit een reefercontainer door de Rotterdamse haven en omringde gebouwen heen, een zeer mooi resultaat.

13 De efficiëntie van LoRa in het Babbler prototype

Na het implementeren van LoRa in de Babbler is er nogmaals een test uitgevoerd of LoRa wel efficiënt is geïmplementeerd. Dit om te controleren of de LoRa Babbler aan de wensen voldoet. De uitwerking van deze test bevindt zich in dit hoofdstuk.

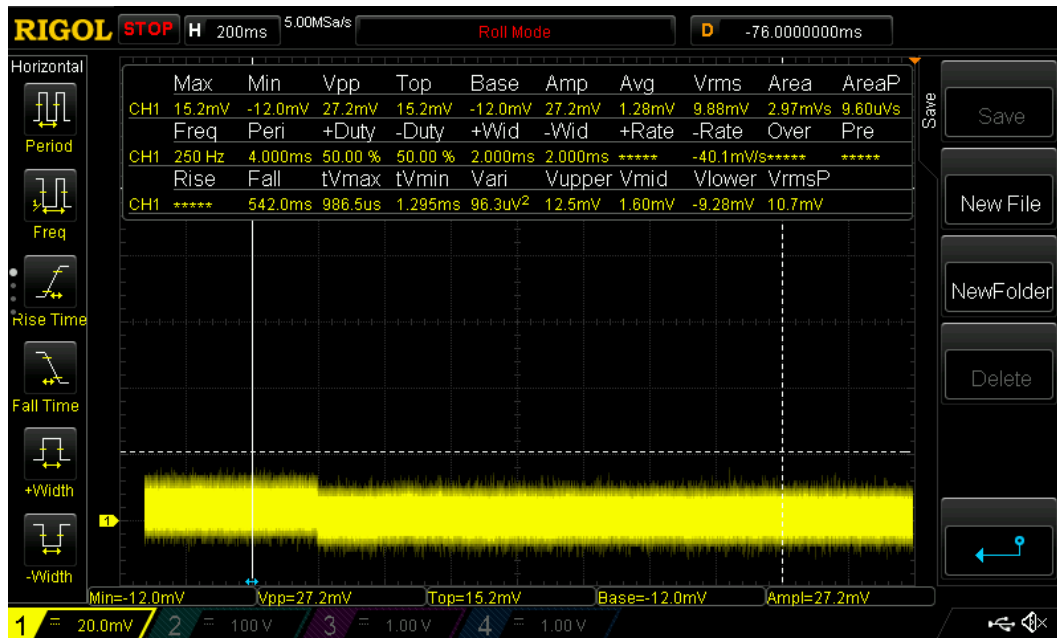
13.1 De levensduur van de LoRa Babbler op een batterijlading

De meetresultaten uit [Hoofdstuk 6](#) zijn opnieuw uitgevoerd met het LoRa Babbler prototype. Ook is de meettechniek aangepast door gebruik te maken van een μ Current in plaats van een shunt weerstand. Voor een beter meetresultaat is gekozen om de RN2483 module apart te meten los van de Babbler. In [Figuur 35](#) is het stroomverbruik van een RN2483 module weergegeven bij een datatransmissie.



Figuur 35: RN2483 datatransmissie meting

Deze meting komt redelijk overeen met de specificaties. De idle zit rond de 4mV wat omgerekend op 4mA uitkomt. Zodra er een pakket verstuurd wordt zit het verbruik rond de 40mA. Volgens de specificaties hoort dit 2,8mA en 38mA te zijn (Microchip, 2015b). In [Figuur 36](#) is de overgang van idle naar sleepmodus te zien.



Figuur 36: RN2483 idle naar sleep meting

Zoals te zien is in [Figuur 36](#) is het van belang dat deze sleepmodus geïmplementeerd moet zijn om het stroomverbruik laag te houden. Het idle verbruik daalt in sleepmodus naar een waarde die nagenoeg op nul zit. Deze sleepmodus is echter nog niet geïmplementeerd in de huidige firmware.

13.2 Verwachte levensduur

Er is voor het Babblar prototype gekozen voor 2x AAA batterijen omdat deze gemakkelijk verkrijgbaar zijn. Het merk en type batterij is hierbij nog niet van groot belang. Mochten de Energizer+ Lithium batterijen gekozen worden, is de verwachte levensduur rond de tien maanden bij gebruik van de sleepmodus. Zodra de sleepmodus niet gebruikt wordt en de RN2483 module altijd in idle modus blijft is de verwachte levensduur een halve maand.

13.3 Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de LoRa Babblar de gewenste efficiëntie kan halen. Deze wens is opgenomen onder kwaliteitscriteria C5 en definieert dat de LoRa Babblar minimaal zes maanden mee moet gaan op een volle batterijlading. Doordat de sleepmodus op dit moment niet geïmplementeerd is zal de LoRa Babblar niet lang genoeg functioneren op een batterijlading. Zodra deze wel geïmplementeerd is, is de verwachte levensduur tien maanden. Dit zal dan ruim aan de wens van zes maanden voldoen.

14 Conclusie

De doelstelling van het onderzoek was om LoRa te implementeren in de Babbler dat samen is uitgevoerd met Marco Knol. Daarvoor is eerst onderzoek gedaan naar de werking van LoRa en LoRaWAN. Hieruit is gebleken dat LoRa een nieuwe modulatie techniek is en speciaal ontwikkeld is voor een zo groot mogelijke afstand te behalen met een zo laag mogelijk energieverbruik. LoRaWAN is hierbij het bovenliggende ster van ster netwerkprotocol.

Vervolgens zijn onderzoeken gedaan naar de effectiviteit en efficiëntie van LoRa in de Babbler om te bepalen of LoRa wel aan de wensen van Itude Mobile voldoet. Het resultaat van deze onderzoeken waren positief.

Daarna is gekeken naar de beschikbare LoRa netwerkleveranciers wereldwijd en welke het meest geschikt is voor Itude Mobile. Hieruit is gebleken dat zowel KPN als TTN interessante netwerkleveranciers zijn die beide hun voordelen bieden. Echter blijkt TTN op dit moment interessanter te zijn in zowel Nederland als wereldwijd. Het wereldwijd inzetten van de Babbler blijkt een lastig onderdeel te zijn. Dit komt voornamelijk doordat landen verschillende frequentiebanden en eisen opleggen voor LoRa. Deze frequenties verschillen dusdanig veel dat het lastig is de LoRa Babbler op al deze frequenties te laten functioneren. Ook is er nog niet genoeg duidelijkheid over de uitrol van LoRa in sommige landen. Op dit moment is er nog geen LoRa module die functioneert op alle nodige frequenties.

Het implementeren van LoRa in de Babbler als prototype is geslaagd en de LoRa Babbler kan op dit moment gebruikt worden in Europa waar een LoRa netwerk aanwezig is. Dit is gerealiseerd door de Babbler zowel hardwarematig als softwarematig aan te passen. Ook het realiseren van een backend om binnenkomende LoRa berichten te verwerken en door te sturen naar de Babbler backend is geslaagd. Het dataprotocol tussen de backend en LoRa Babbler is zelf ontwikkeld.

Na de implementatie is nogmaals gekeken naar de effectiviteit en efficiëntie maar ditmaal van het LoRa Babbler prototype. Uit het onderzoek naar de effectiviteit is gebleken dat de LoRa Babbler ruim aan het gewenste minimumbereik van 750m voldoet. Afstanden van ongeveer 1200m zijn behaald vanuit een reefercontainer. Uit het onderzoek naar de efficiëntie is gebleken dat de LoRa Babbler de gewenste efficiëntie kan halen. Doordat op dit moment de sleepmodus niet is geïmplementeerd zal de LoRa Babbler niet lang genoeg functioneren op een batterijlading. Zodra dit wel is geïmplementeerd zal de Babbler een verwachte levensduur van tien maanden hebben wat ruim aan de verwachte levensduur voldoet.

Hiermee kan geconcludeerd worden dat de doelstelling gedeeltelijk is behaald. De doelstelling om een prototype op te leveren is behaald maar om de verwachte levensduur te halen zal nog een aanpassing verricht moeten worden.

14.1 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen opgesomd. Deze aanbevelingen houden ook rekening met het eventueel wereldwijd toepassen van de LoRa Babbler.

1. Een LoRa module zonder geïntegreerde microcontroller.

Zoals vermeldt in [Hoofdstuk 10](#) zal het een verbetering zijn als de LoRa Babbler uitgerust wordt met een LoRa module zonder geïntegreerde microcontroller. Dit heeft een positieve invloed op de batterijlevensduur van de LoRa Babbler en maakt het updaten van de LoRa Babbler gemakkelijker.

2. Het LoRa bericht optimaliseren.

Het LoRa bericht zou geoptimaliseerd kunnen worden zoals vermeldt in [Hoofdstuk 10](#). Dit zou de efficiëntie van de LoRa Babbler verhogen en zorgt ervoor dat er vaker een LoRa bericht verstuurd kan worden.

3. Het decrypten van LoRa berichten laten uitvoeren door de LoRa backend.

Zoals vermeldt in [Hoofdstuk 11](#) zou het een verbetering zijn om de decryptie van LoRa berichten te laten uitvoeren door de LoRa backend. Op dit moment wordt dit gedaan door de netwerkleverancier. Om de integriteit van de data te waarborgen zou een verbetering zijn dit te laten plaatsvinden bij de LoRa backend.

4. Het implementeren van de RN2483 sleepmodus.

Mocht aanbeveling 1 niet uitgevoerd worden, zou het een verbetering zijn om de RN2483 sleepmodus te implementeren in de LoRa Babbler firmware. Dit zal de batterijefficiëntie een stuk verbeteren zoals vermeldt in [Hoofdstuk 10](#).

5. De LoRa backend uitbreiden met connectiviteit naar The Things Network.

Een eventuele uitbreiding zou zijn om de LoRa backend te laten functioneren met The Things Network. Op dit moment functioneert de LoRa backend alleen met KPN. The Things Network biedt mogelijkheden om de LoRa Babbler eventueel wereldwijd toe te passen.

6. De LoRa Babbler testen vanuit een vrachtcontainerschip.

Een aanbeveling zou zijn om de LoRa Babbler te testen vanuit een vrachtcontainerschip. Hiermee kan getest worden of een LoRa bericht vanuit een reefercontainer op een schip de kade kan halen.

7. Milieubewuster ontwikkelen van de firmware voor de Babbler.

Op dit moment wordt voor het ontwikkelen van de firmware van de Babbler gebruik gemaakt van een knoopcelbatterij. Een verbetering zou zijn om gebruik te maken van bijvoorbeeld een USB poort voor het voeden van de Babbler. Dit voorkomt onnodig gebruik van knoopcelbatterijen en bespaart het milieu.

14.2 Evaluatie

In dit hoofdstuk wordt de procesgang van het onderzoek behandeld. Grote tegenslagen tijdens het onderzoek zijn er niet geweest.

14.2.1 Planning

Na het plan van aanpak kwam er langzaam een achterstand. Deze achterstand viel in het begin niet erg op maar werd steeds groter. Halverwege de afstudeerperiode was een achterstand van twee weken opgelopen wat bleek te komen door andere opdrachten. Door het niet kunnen weerstaan van deze opdrachten is de achterstand steeds groter geworden. Een voorbeeld van deze opdrachten zijn FOTA en het nieuwe datamodel van de Babblar backend. Met wat avonduren en een paar weekenden is de achterstand weer ingehaald en is gezorgd om andere opdrachten een lagere prioriteit te geven.

14.2.2 FOTA

FOTA staat voor Firmware-Over-The-Air en maakt het mogelijk de Babblar firmware te updaten via Bluetooth. Deze opdracht hebben Marco Knol en ik opgepakt en uitgevoerd. Dit geeft wel inzicht in hoe de flash layout van de microcontroller in elkaar zit maar dit heeft naderhand veel tijd gekost.

14.2.3 Het nieuwe datamodel van de Babblar backend

Vrij vroeg in het onderzoek werd opgemerkt dat het huidige datamodel van de Babblar backend niet efficiënt is. Een andere afstudeerder heeft een concept van een nieuw datamodel als extra opdracht uitgevoerd. Echter door het meedenken voor een nieuw datamodel rekeninghoudend met LoRa is ook meer achterstand opgelopen. Al deze kleine opdrachten hebben voor wat achterstand gezorgd. Dit is iets om in het vervolg rekening mee te houden.

15 Referenties

- Adrian, E. (1995, juni 24). The doppler effect. Verkregen van <http://archive.ncsa.illinois.edu/Cyberia/Bima/doppler.html>
- Agarwal, T. (2013, maart 5). What is mosfet with working? mosfet as a switch. Verkregen van <https://www.elprocus.com/mosfet-as-a-switch-circuit-diagram-free-circuits/>
- ARMmbed. (g.d.). Mbed os. Verkregen van <https://www.mbed.com/en/development/software/mbed-os/>
- Avnet Silica. (2015, september 30). Lorawan: long range low power en low cost draadloze datacommunicatie. Verkregen van <http://www.engineersonline.nl/artikelen/id1210-lorawan-long-range-low-power-en-low-cost-draadloze-datacommunicatie.html>
- Cooking hacks. (g.d.). Extreme range links: lora 868 / 900mhz sx1272 lora module for arduino, raspberry pi and intel galileo. Verkregen van <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/extreme-range-lora-sx1272-module-shield-arduino-raspberry-pi-intel-galileo/>
- Coppens, A., Jacobs, M., Jacobs, T., Niels, R. & Verhoeven, N. (2015, april 1). *Proeven van onderzoek*. Verkregen van <http://www.ralphniels.nl/pubs/jacobs-proevenvanonderzoekboek.pdf>
- Digi-Key. (g.d.). Bt730-sa laird - embedded wireless solutions. Verkregen van <http://www.digikey.com/product-detail/en/BT730-SA/BT730-SA-ND/4377111>
- DISK91.COM. (2015, september 27). What is lora ? Verkregen van <https://www.disk91.com/2015/technology/internet-of-things-technology/what-is-lora/>
- DomainTools. (2015, december 17). Lora-alliance.org whois, dns & domain info - domain-tools. Verkregen van <http://whois.domaintools.com/lora-alliance.org>
- Duncombe, M. (2013, november 13). Long-range bluetooth: going beyond the personal area network for industrial applications. Verkregen van <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/nov/long-range-bluetooth-going-beyond-the-personal-area-network-for-industrial-applications>
- Embit. (2014, februari 4). Emb-lr1272. Verkregen van http://www.embit.eu/wp-content/datasheets/EMB-LR1272-datasheet_rev1.0.pdf
- Goran Kalic, M. K., Iva Bojic. (g.d.). Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies. Verkregen van http://agents.usluge.tel.fer.hr/webfm_send/153
- Herman, J. (2010, september 7). Why everything wireless is 2.4 ghz. Verkregen van <http://www.wired.com/2010/09/wireless-explainer/>
- IEEE Standard Association. (2003, november 1). Ieee p802.15 working group for wireless personal area networks (wpans). Verkregen van http://www.ieee802.org/802_tutorials/03-November/15-03-0460-00-0040-IEEE-802-CSS-Tutorial-part1.ppt
- IMST. (2016). Ic880a-spi - lorawan concentrator 868mhz. Verkregen van <http://webshop.imst.de/ic880a-spi-lorawan-concentrator-868mhz.html>
- Jones, D. L. (2010). The μ current. *The μ Current*. Verkregen van <http://alternatzone.com/electronics/ucurrent/uCurrentArticle.pdf>
- Kerlink. (g.d.). Lora iot station. Verkregen van http://www.kerlink.fr/images/Kerlink/fiches_produit/LoRa-IoT-Station.pdf

- Knol, M. (2016, mei 31). Lora implementatie in de babblér. *LoRa implementatie in de Babblér*.
- Kooijman, M. (2016, februari 4). Spreadsheet for lora airtime calculation. Verkregen van <http://forum.thethingsnetwork.org/t/spreadsheet-for-lora-airtime-calculation/1190>
- Kopp, C. (2014, januari 27). An introduction to spread spectrum techniques. Verkregen van <http://www.ausairpower.net/OSR-0597.html>
- KPN. (g.d.). Lora. Verkregen van <https://www.kpn.com/zakelijk/grootzakelijk/oplossingen/infrastructuur-en-connectiviteit/internet-of-things/lora.htm>
- Lindh, J. (2015). Bluetooth low energy beacons. Verkregen van <http://www.ti.com/lit/an/swra475/swra475.pdf>
- Link Labs. (2015a, februari 14). What is lora? Verkregen van <http://www.link-labs.com/what-is-lora/>
- Link Labs. (2015b, oktober 8). What is lorawan? Verkregen van <http://www.link-labs.com/what-is-lorawan/>
- LoRa Alliance. (2015a). Lora technology. Verkregen van <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>
- LoRa Alliance. (2015b). Lorawan[™] specification. Verkregen van <https://www.lora-alliance.org/portals/0/specs/LoRaWAN%20Specification%201R0.pdf>
- MeasurementTest. (2010, augustus 18). How to measure current using a shunt resistor. Verkregen van <http://www.measurementtest.com/2010/08/how-to-measure-current-using-shunt.html>
- Microchip. (2015a). Rn2483. Verkregen van <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002346B.pdf>
- Microchip. (2015b). Rn2483 datasheet. Verkregen van <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002346A.pdf>
- Modtronix. (g.d.). Wireless sx1276 lora module, 868mhz and 915mhz, 3.3v, sma connector. Verkregen van <http://modtronix.com/inair9.html>
- National Instruments. (2014, november 6). Understanding spread spectrum for communications. Verkregen van <http://www.ni.com/white-paper/4450/en/>
- Nordic Semiconductor. (2014, oktober 1). Nrf51422. *Multiprotocol ANT[™]/Bluetooth low energy System on Chip*. Verkregen van https://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download_resource/20360/9/71995682
- Nordic Semiconductor. (2015, november 9). Memory layout. Verkregen van http://infocenter.nordicsemi.com/topic/com.nordic.infocenter.sdk51.v10.0.0/ble_dfu_memory.html?cp=5.0.1.4.3.1.3
- Nordic Semiconductor. (2016, april 8). Master boot record and bootloader. Verkregen van http://infocenter.nordicsemi.com/topic/com.nordic.infocenter.s130.sds/dita/softdevices/s130/mbr_bootloader/mbr_bootloader.html?cp=3.6.2.0.11
- Olivier Bernard André Seller, N. S. (2014, augustus 6). *Low power long range transmitter*. EP2763321A1. Verkregen van <https://www.google.com/patents/EP2763321A1>
- Postcapes. (g.d.). Long-range wireless iot protocol: lora. Verkregen van <http://postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora>
- Prins, E. (2015, juli 8). Geslaagde iot lora radio test met kpn en itude mobile. Verkregen van <http://blogmobile.itude.com/2015/07/08/geslaagde-iot-lora-radio-test-met-kpn/>

- R. Devaraju, C. P. (g.d.). Burst error characterization for wireless ad-hoc network and impact of packet interleaving. *Burst Error Characterization for Wireless Ad-Hoc Network and Impact of Packet Interleaving*. Verkregen van <http://www.ijcsit.com/docs/Volume%205/vol5issue02/ijcsit2014050267.pdf>
- Robinson, S. (2015, januari). Semtech lora transceivers - a kiss approach to long range data telemetry. *Semtech LoRa Transceivers - a KISS approach to Long Range Data Telemetry*. Verkregen van <http://www.kh-gps.de/semtech%20lora.pdf>
- Semtech Corporation. (g.d.-a). Sx1272/73 - 860 mhz to 1020 mhz low power long range transceiver. Verkregen van <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1272.pdf>
- Semtech Corporation. (g.d.-b). Sx127x reference design overview. Verkregen van <http://www.semtech.com/wireless-rf/lora/LoRa-FAQs.pdf>
- Semtech Corporation. (2013, juli 1). Lora modem design guide. Verkregen van http://www.semtech.com/images/datasheet/LoraDesignGuide_STD.pdf
- Semtech Corporation. (2014, februari 24). Sx1301. Verkregen van <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1301pb.pdf>
- Semtech Corporation. (2015a, mei 2). Lora modulation basics. Verkregen van <http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>
- Semtech Corporation. (2015b, maart 1). Sx1276/77/78/79. Verkregen van <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1276-77-78-79.pdf>
- Sikken, B. (2016, februari 19). Decodinglora. Verkregen van <https://revspace.nl/DecodingLora>
- Steehouder, M., Jansen, C., Mulder, J., van der Pool, E. & Zeijl, W. (2012). *Leren communiceren*.
- STMicroelectronics. (2015, december 14). Semtech and stmicroelectronics collaborate to scale lora technology to meet high-volume demands of internet of things applications. *Semtech and STMicroelectronics Collaborate to Scale LoRa Technology to Meet High-Volume Demands of Internet of Things Applications*. Verkregen van http://www2.st.com/content/st_com/en/about/media-center/press-item.html/c2790.html
- Stokking, J. (2016, april 18). Announcing staging environment of ttn back-end 1.0. Verkregen van <http://forum.thethingsnetwork.org/t/announcing-staging-environment-of-ttn-back-end-1-0/1852>
- The Things Network. (g.d.). The things network. Verkregen van <http://thethingsnetwork.org>
- The Things Network. (2016a). Hardware overview - gateways. Verkregen van <http://thethingsnetwork.org/wiki/Hardware/OverviewGateways>
- The Things Network. (2016b). Hardware overview - nodes. Verkregen van <http://thethingsnetwork.org/wiki/Hardware/OverviewNodes>
- Visser, H. (2016, april 19). The things network backend. Verkregen van <http://staging.thethingsnetwork.org/wiki/Backend/Overview>

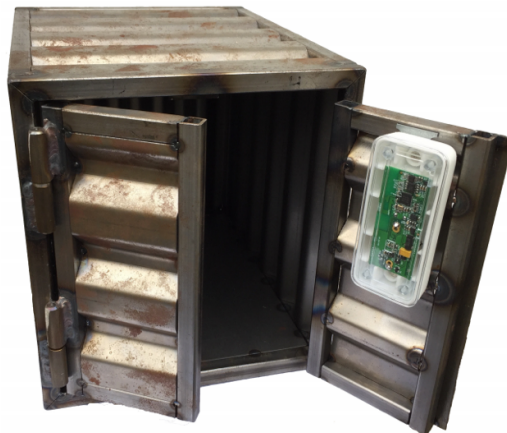
16 Bijlagen

16.1 Plan van Aanpak

Plan van Aanpak

Februari 2016 – Juni 2016

LoRa® implementatie in de Babbler



Versie 1.1
Status: Final

Student:	Marco Knol
Studentnummer:	1617925
Opleiding:	Technische informatica

Student:	Melvin van den Berg
Studentnummer:	1629757
Opleiding:	Technische informatica

Afstudeerbedrijf:	Itude Mobile B.V.
Bedrijfsbegeleider:	Robin Puthli
Product eigenaar:	Tanja Borger

© Itude Mobile B.V. 2016

Alle rechten voorbehouden. Verveelvoudiging, geheel of gedeeltelijk, is niet toegestaan dan met schriftelijke toestemming van de auteursrechthebbende.

ALL rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the written consent of the copyright owner.

18 Maart 2016

INHOUDSOPGAVE

1	Introductie	2
1.1	<i>Afkortingen en definities</i>	2
1.2	<i>Distributielijst</i>	4
1.3	<i>Versiebeheer</i>	4
2	Projectbeschrijving	5
2.1	<i>Aanleiding</i>	5
2.2	<i>Organisatorische context</i>	5
2.2.1	<i>Organisatie</i>	5
2.2.2	<i>Positionering in de organisatie</i>	6
2.2.3	<i>Duo-afstudeeropdracht</i>	6
2.2.4	<i>De babblers</i>	7
2.2.5	<i>De backend</i>	8
2.3	<i>Probleemstelling</i>	9
2.4	<i>Doelstelling</i>	9
2.4.1	<i>Soort opdracht</i>	10
2.4.2	<i>Op te leveren producten</i>	10
2.4.3	<i>Kwaliteitscriteria</i>	10
2.5	<i>Theoretisch kader</i>	11
2.6	<i>Vraagstelling</i>	11
2.7	<i>Aanpak vraagstelling</i>	14
3	Afbakening	15
3.1	<i>MoSCoW methode</i>	15
3.2	<i>Afbakening duo-afstudeeropdracht</i>	16
4	Randvoorwaarden	17
4.1	<i>Apparatuur en tools</i>	17
4.2	<i>Risico's</i>	17
5	Planning	19
6	Communicatie met de opleiding en Itude Mobile	20
7	Ethiek	21
8	Betrokkenen	22
8.1	<i>Niveau bedrijfsbegeleider</i>	22
8.2	<i>Bedrijfs-, persoonsgegevens</i>	22
8.3	<i>Leerteamgegevens</i>	24
9	Bibliografie	25

1 INTRODUCTIE

In de scheepvaart worden containers gebruikt voor het vervoeren van goederen. Deze containers worden voorzien van fysieke sloten en verzegeling indien dit gewenst is, echter zijn deze maatregelen fraudegevoelig en is er een vergroot risico op smokkel. Itude Mobile B.V. ontwikkelt op dit moment een product genaamd de Babbler. Dit product zal fraude in de scheepvaart verminderen en de betrouwbaarheid van goederen vergroten. Ook zal het product de mogelijkheid bieden om de temperatuur waarin de goederen zich bevinden bij te houden. In dit project zal de Babbler uitgebreid worden met LoRa. LoRa is een draadloos communicatienetwerk geschikt voor sensoren op eventueel een lange afstand. In dit document is het plan van aanpak beschreven voor dit project.

1.1 AFKORTINGEN EN DEFINITIES

Advertisement data

Een functie van Bluetooth Low Energy. Dit is data die continu uitgezonden wordt zonder dat er een actieve verbinding is met een ander apparaat.

Babbler

Een draadloos apparaat dat de temperatuur en verzegelingsstatus bijhoudt.

Backend

Een backend is een deel van een programma dat onzichtbaar is voor de gebruiker en dient voor de Babbler als dataverwerker.

BLE – Bluetooth Low Energy

Een variant van Bluetooth met een laag energieverbruik. Met BLE is het als extra toevoeging mogelijk continu data uit te zenden zonder daadwerkelijk verbinding te hebben met een ander Bluetooth apparaat.

Gateway

Een gateway is een apparaat dat zorgt voor een verbinding tussen twee incompatibele netwerken. In het LoRa project heeft de gateway de taak een LoRa mote te laten communiceren met een internetserver, dus het LoRa netwerk te koppelen aan het internet.

IoT – Internet of Things

Dit is een netwerk van fysieke objecten zoals sensoren, voertuigen en gebouwen. Zij vormen samen een groot ‘internet of things’, oftewel het internet der dingen.

LoRa – Long Range

Een mobiel netwerk voor Internet of Things met als doel een zo laag mogelijk energieverbruik te hebben voor LoRa motes met een zo groot mogelijk bereik.

LoRa Mote

Een Internet of Things apparaat dat verbinding maakt met een gateway. Dit apparaatje bestaat meestal uit een aantal sensoren en werkt op batterijen.

LoRaWAN – Long Range Wide Area Network

Het Wide Area Network protocol van LoRa. Dit protocol bestaat uit gateways en LoRa motes.

Mbed OS

Een realtime besturingssysteem ontworpen voor Internet of Things apparatuur.

Realtime operating system

Een besturingssysteem dat de uitvoering van een bepaalde taak binnen een bepaald tijdsbestek garandeert.

Scrum

Scrum is een methode om (software)producten te maken. Er wordt gewerkt in multidisciplinaire teams die in korte sprints, met een vaste lengte van 1 tot 4 weken, werkende (software) producten opleveren.

Star-of-stars netwerk

Een netwerktopologie die bestaat uit meerdere sternetwerken. Bij LoRa bestaat een sternetwerk uit een gateway met meerdere motes.

Temperatuurlog

Een lijst met temperaturen opgedaan over een bepaalde periode.

1.2 DISTRIBUTIELIJST

Dit document wordt gedistribueerd aan de personen vermeld in Tabel 1.

Naam	Organisatie	Functie
Robin Puthli	Itude Mobile B.V.	Directeur
Tanja Borger	Itude Mobile B.V.	Product owner
Marten Wensink	Hogeschool Utrecht	Docentbegeleider
Marco Knol	Itude Mobile B.V.	Afstudeerder
Melvin van den Berg	Itude Mobile B.V.	Afstudeerder

Tabel 1 Distributielijst

1.3 VERSIEBEHEER

Versie	Status	Datum	Auteur	Wijzigingen
0.1	Draft	10-02-2016	M. Knol M. van den Berg	Initiële versie.
0.2	Draft	11-02-2016	M. Knol M. van den Berg	Initiële versie.
0.3	Draft	22-02-2016	M. Knol M. van den Berg	Verbeteringen van feedback van het leerteam en de opdrachtgever(s).
0.4	Concept	26-02-2016	M. Knol M. van den Berg	Spelling- en grammaticacorrecties uitgevoerd.
0.5	Concept	10-03-2016	M. Knol	Begrippenlijst aangepast.
1.0	Final	15-03-2016	M. Knol M. van den Berg	Spelling- en grammaticacorrecties uitgevoerd. Kopje backend gemaakt. MoSCoW methode gemaakt. Kwaliteitscriteria aangepast. Planning aangepast. Deelvragen aangepast.
1.1	Final	18-03-2016	M. Knol M. van den Berg	Spelling- en grammaticacorrecties uitgevoerd. Deelvragen aangepast.

Tabel 2 Versiebeheer

2 PROJECTBESCHRIJVING

Dit hoofdstuk beschrijft wat het project inhoudt en geeft meer informatie over Itude Mobile.

2.1 AANLEIDING

In de scheepvaart worden containers gebruikt voor het vervoeren van goederen.

Voor de afzender en ontvanger is het van belang op de hoogte te zijn van de omstandigheden waarin de goederen zich bevinden. Voorbeelden van deze goederen zijn bloemen, groenten en fruit. Voor deze goederen is van belang dat deze gekoeld worden op de ingestelde temperatuur en dat dit continu wordt gewaarborgd. Afwijking van deze temperatuur treedt al op zodra de deur van de container wordt geopend. In de scheepvaart kunnen deze containers worden voorzien van fysieke sloten en verzegeling, echter zijn deze maatregelen fraudegevoelig en is er een vergroot risico op smokkel.

Itude Mobile B.V. ontwikkelt op dit moment een product genaamd de Babbler. Dit product is een eigen initiatief met al een aantal belanghebbenden zoals de Nederlandse douane en Seatrade. De Babbler is een fysiek apparaat dat geplaatst wordt in een container en continu de omstandigheden zoals temperatuur daarin bijhoudt. Echter is de Babbler niet alleen toepasbaar in containers, maar ook voor andere transportmiddelen. Op dit moment zijn er ook mogelijkheden om de Babbler in te zetten bij treinen, koelcellen en tuinbouw. De gegevens die de Babbler verzameld heeft, worden in de huidige situatie naar een centrale server gestuurd met tussenkomst van een smartphone.

Een jaar geleden is de LoRa Alliance ontstaan (DomainTools, 2015). Dit is een energie-efficiënt draadloos netwerk voor Internet of Things. Itude Mobile ziet een kans dit netwerk te implementeren in de Babbler om zo te zorgen dat de Babbler kan functioneren zonder tussenkomst van een smartphone.

2.2 ORGANISATORISCHE CONTEXT

In dit subhoofdstuk wordt de organisatie Itude Mobile van de opdrachtgever en de positionering van de student in de organisatie beschreven.

2.2.1 ORGANISATIE

Itude Mobile is ontstaan vanuit passie voor mobiele platformen en innovatieve app ontwikkeling. Sinds 2005 ontwikkelt Itude Mobile native applicaties voor iOS, Android en mobiele websites voor andere apparaten. Itude Mobile is gespecialiseerd in bedrijfskritische

applicaties en beschikt over veel ervaring in de logistieke en financiële sector. Met de Babbler wil Itude Mobile het eerste product op de markt zetten.

Itude Mobile heeft een platte organisatiestructuur. Itude Mobile bestaat uit achttien medewerkers en stagiairs. Er zijn twee directeuren, Robin Puthli en Gert Jan Jansen op de Haar. Er is een sales- en marketingmanager, een officemanager, een logistiek expert, een aantal testers, twee Scrum Masters, iOS-/Android developers en software architecten. De softwareontwikkelmethode die gebruikt wordt binnen het bedrijf is Scrum.

2.2.2 POSITIONERING IN DE ORGANISATIE

Binnen het bedrijf zijn wij stagiairs. Er zijn twee organisatieniveaus boven de afstudeerders. Direct boven de afstudeerders staan de vaste medewerkers binnen het bedrijf, hiervan zijn twee onze aanspreekpunten. Boven hun staan de twee directeuren Robin Puthli en Gert-Jan Jansen op de Haar.

2.2.3 DUO-AFSTUDEEROPDRACHT

Deze opdracht zal worden uitgevoerd door twee afstudeerders Melvin van den Berg en Marco Knol. Beiden studeren Technische Informatica aan de Hogeschool Utrecht te Nijenoord Utrecht. De afstudeeropdracht gaat over het onderzoeken en implementeren van LoRa in de Babbler. Deze opdracht is een duo-opdracht wegens de omvang van het project. Er wordt gewerkt naar een enkel eindproduct dat bestaat uit verschillende modules. Deze modules kunnen goed verdeeld worden en zo kan er dus een goede individuele toetsing plaatsvinden. Door de hoeveelheid werk die daarvoor noodzakelijk is, is de opdracht geschikt als duo-opdracht. Verder zal er wel veel onderling gecommuniceerd worden aangezien de verschillende modules nauw op elkaar aansluiten. Omdat LoRa ongeveer een jaar bestaat, is er over LoRa nog niet veel informatie beschikbaar op het internet (DomainTools, 2015). Ook dit is een factor die meespeelt in de moeilijkheidsgraad van de opdracht.

Na afloop van de afstudeeropdracht zal er een proof-of-concept van de Babbler met LoRa communicatiemogelijkheden zijn of zal zich mogelijk al in een verder ontwikkeld stadium bevinden. Na afloop zal er ook meer kennis zijn over de werking van LoRa en LoRaWAN.

2.2.4 DE BABBLER

Zoals eerder is aangegeven, is de Babbler een apparaat dat onder andere geplaatst wordt in een vrachtcontainer. Dit apparaat wordt echter niet permanent gemonteerd en moet gemakkelijk weer verwijderd kunnen worden. Ook kunnen meerdere Babblers in één container geplaatst worden, dit kan zich voordoen als zich goederen van meerdere leveranciers in één container bevinden. De Babbler krijgt op dit moment zijn stroomvoorziening via een knoopcelbatterij en maakt verbinding met een



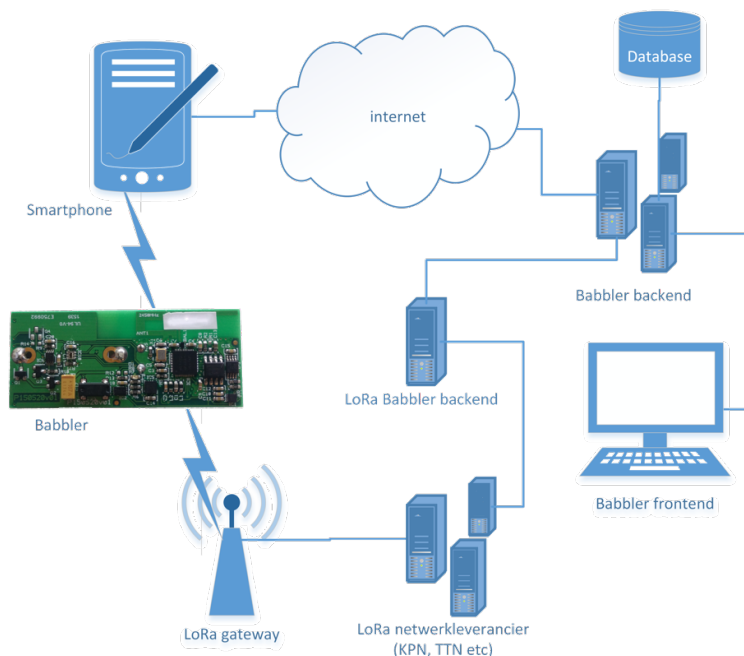
Afbeelding 1 De Babbler

smartphone via Bluetooth. Wanneer de Babbler wordt verzegeld monitort deze de lichtsterkte en temperatuur van de omgeving. Zodra de deur van de container ook maar op de geringste manier geopend wordt, zal voldoende licht naar binnen schijnen dat te detecteren is door de Babbler. De verzegeling zal dan worden verbroken en controle van de goederen is dan van belang mocht de container ongezegeld de haven binnenkomen. Deze eigenschap is vooral interessant voor de douane, waardoor niet iedere container meer gecontroleerd hoeft te worden en smokkelen lastiger wordt. De status van het verzegelen en de temperatuurlog van de gehele reis kan bekeken worden via een iOS-, Android- en web app. Er is voor verbinding tussen de smartphone en de Babbler gekozen voor Bluetooth Low Energy. Met Bluetooth Low Energy is het mogelijk continu data uit te zenden zonder een actieve verbinding en met een laag stroomverbruik. Het continu uitzenden van data wordt 'advertisement data' genoemd (Lindh, 2015). Het is mogelijk de actuele status te bekijken via deze advertisement data zonder dus daadwerkelijk verbinding te maken met de Babbler. Zodra verbinding wordt gemaakt is het mogelijk de temperatuurlog te bekijken van de gehele reis. Dit is allemaal mogelijk met een gesloten containerdeur op een afstand minder dan twee meter van de container.

Op dit moment is het dus noodzakelijk verbinding te maken met een Babbler via Bluetooth om de actuele status uit te lezen. Voor sommige klanten is de wens de actuele status uit te lezen zonder een verbinding te moeten maken, hiervoor worden mogelijke oplossingen gezocht. Bluetooth Low Energy zal daarbij blijven functioneren maar er wordt gezocht naar een extra communicatietechniek over langere afstand. Deze extra communicatietechniek zal niet geïmplementeerd worden in alle Babblers aangezien dit afhankelijk is van de wensen van de klant.

2.2.5 DE BACKEND

Voor het Babbler project waar LoRa in geïmplementeerd gaat worden, dient er een LoRa Babbler backend te komen die in Afbeelding 2 staat weergegeven. Deze backend dient als adapter tussen de verschillende LoRa netwerkleveranciers en de huidige Babbler backend. De data die wordt verstuurd van de verschillende netwerkleveranciers, wordt geëxtraheerd door de LoRa Babbler backend en daarna doorgestuurd naar de Babbler backend. De LoRa Babbler backend moet ook een



Afbeelding 2 Werking van de Babbler

mogelijkheid krijgen om de binnengekregen data van de Babbler backend naar de netwerkproviders te sturen. Verder dient de LoRa Babbler backend zo gemaakt te worden dat als een netwerkleverancier wegvalt of erbij komt, alleen een gedeelte van de adapter gewijzigd hoeft te worden om de LoRa Babbler backend nog naar behoren te laten functioneren.

2.3 PROBLEEMSTELLING

Zoals reeds eerder is vermeld, maakt de Babbler gebruik van Bluetooth communicatie met behulp van een smartphone. Het probleem is dat momenteel de gebruiker bij de container moet staan om te communiceren met de Babbler. Dit levert complicaties op wanneer het gewenst is automatisch de Babbler uit te lezen bij binnenkomst in een haven. LoRa lijkt een geschikte oplossing voor het probleem. Echter is LoRa vrij nieuw en is nog niet duidelijk hoe LoRa geïmplementeerd kan worden. Daarom moet onderzoek gedaan worden naar de werking van LoRa en hoe dit netwerk geïmplementeerd kan worden.

De keuze voor LoRa is gemaakt na een aantal overwegingen. Een van de belangrijkste eisen is dat de Babbler zijn gegevens kan uploaden terwijl de Babbler zich nog bevindt in een vrachtcontainer. Dit is niet haalbaar met Bluetooth over een grotere afstand. De minimaal gewenste afstand is ongeveer 500 meter van vrachtcontainer naar gateway. Deze vrachtcontainer kan daarbij ook nog eens gekoeld zijn waarbij er een extra dikke laag signaalblokkerend isolatiemateriaal op de wand zit gemonteerd. Tevens dienen de Babbler materiaalkosten zo laag mogelijk te zijn aangezien vele duizenden Babbler's gebruikt gaan worden. Abonnementskosten per individuele Babbler zijn hierdoor ook niet mogelijk. Omdat de Babbler zijn stroomvoorziening via een batterij verkrijgt is het ook van belang een zo laag mogelijk energieverbruik te hebben. Ten slotte is een hoge dataoverdrachtssnelheid niet noodzakelijk. Het gaat hierbij maar om een paar honderd bytes voor een status update.

Om deze redenen vallen netwerken zoals het telefoniedatanetwerk af. LoRa is een draadloos netwerk dat aan alle verwachte eisen voldoet en heeft als opvallende eigenschap zeer lange afstanden te overbruggen van 22km zonder enige obstakels (Cooking hacks, sd).

2.4 DOELSTELLING

De uiteindelijke doelstelling is het implementeren van LoRa in de Babbler. Dit heeft als doel de Babbler de mogelijkheid te geven om te communiceren zonder tussenkomst van een smartphone met een zo laag mogelijk energieverbruik. Daarnaast wordt het bereik vergroot. Om deze doelstelling te bereiken zullen een aantal onderzoeken worden verricht en een proof-of-concept worden opgeleverd. Er is wel een verschil tussen de doelstelling voor Itude Mobile en Hogeschool Utrecht. Voor Hogeschool Utrecht is de kwaliteit van de scriptie van groot belang en voor Itude Mobile het proof-of-concept met de nodige documentatie.

2.4.1 SOORT OPDRACHT

Aangezien een proof-of-concept opgeleverd zal worden, gaat het bij deze opdracht om een productopdracht. Om tot een proof-of-concept te komen, zullen er een aantal onderzoeken verricht moeten worden.

2.4.2 OP TE LEVEREN PRODUCTEN

Naar verwachting zal na deze opdracht een reeks producten worden opgeleverd. Aangezien bij deze opdracht twee partijen een rol spelen met verschillende wensen zijn deze opgesplitst.

Op te leveren producten Itude Mobile B.V.

- Overdrachtdocumentatie
- LoRa backend
- Firmware voor de Babbler
- Aanbeveling hardware
- Adviesrapport

Op te leveren producten Hogeschool Utrecht

- Contract afstudeeropdracht met plan van aanpak
- Twee scripties met de diverse bijlagen in drievoud afgedrukt en op CDROM/DVD
- Adviesrapport
- Bewijs van upload
- Beoordeling afstudeerbedrijf
- Presentatie

2.4.3 KWALITEITSCRITERIA

De twee partijen hebben verschillende kwaliteitscriteria. Voor de Hogeschool Utrecht is van belang dat opgeleverde documenten voldoen aan de APA-richtlijnen voor bronvermeldingen en de documentindeling middels het boek “Leren communiceren” (Steehouder, Jansen, Mulder, van der Pool, & Zeijl, 2012).

Voor Itude Mobile is van belang dat de uitgewerkte opdracht reproduceerbaar is voor andere medewerkers. Dit houdt in dat de documentatie dusdanig duidelijk dient te zijn dat andere medewerkers het volledig begrijpen en kunnen reproduceren middels tutorials. Om dit te bereiken wordt gebruik gemaakt van een interne kennisbank genaamd Confluence waarin alle uitgevoerde opdrachten stap voor stap beschreven staan.

Voor dit project zijn nog projectgerelateerde kwaliteitscriteria opgesteld:

C1)De firmware aanpassingen in de Babbler mogen niet ten kosten gaan van de huidige functionaliteiten.

C2)De firmware aanpassingen in de Babbler mogen niet ten kosten gaan van de stabiliteit.

- C3) De te programmeren backend dient zodanig geprogrammeerd te zijn, dat bij een wijziging van LoRa netwerkleverancier alleen een gedeelte van de code (de adapter) hoeft te worden aangepast.
- C4) De Babbler dient te kunnen communiceren vanuit een gekoelde container waarbij de gateway buiten de gekoelde container is geplaatst op een afstand van minimaal 500 meter.
- C5) De Babbler dient minimaal drie maanden mee te gaan op een nieuwe batterij.

2.5 THEORETISCH KADER

Er wordt in dit onderzoek gekeken hoe LoRa geïmplementeerd kan worden in de Babbler. Voor het maken van een proof-of-concept wordt vervolgens ingegaan op de exacte werking van LoRa. Volgens (DomainTools, 2015) bestaat de LoRa Alliance website nu ruim een jaar. Informatie over LoRa is gering te vinden en daarom zullen meerdere formele en informele bronnen nodig zijn om een duidelijk beeld te krijgen hoe LoRa precies werkt. Deze bronnen zullen bestaan uit documenten van websites en verkregen informatie via bijeenkomsten. Onderdelen waar bijvoorbeeld in verdiept zou moeten worden zijn spread spectrum technology (Link Labs, What is LoRa?, 2015), frac-N phase lock loop (PLL) (Link Labs, What is LoRa?, 2015) en adaptive data rate (LoRa Alliance, 2015).

Uit onderzoek blijkt dat Bluetooth minder stroom verbruikt dan bijvoorbeeld WiFi of 3G (Goran Kalic). Echter blijkt uit een test dat de langst gehaalde communicatieafstand rond de 1000m zit (Duncombe, 2013), met een relatief hoge prijs per module (Digi-Key, sd). Uiteraard is het mogelijk het Bluetooth signaal te versterken echter heeft dat weer invloed op het energieverbruik.

Volgens de datasheet van de SX1272 LoRa transceiver chip zal het verbruik maximaal 10.5mA zijn in ontvangstmodus of 18mA bij verzendmodus met de laagste verzendsterkte van +7 dBm (Semtech). Dit is een van de redenen waarom LoRa interessant is voor gebruik in het Babbler project.

Een tweede reden is dat Itude Mobile in juli 2015 een LoRa mote in een vrachtcontainer heeft geplaatst en testen heeft uitgevoerd. Deze testen gingen over de signaalkwaliteit en zijn geslaagd (Ernst Prins, 2015).

2.6 VRAAGSTELLING

De hoofdvraag bij dit onderzoek is: “Wat is voor Itude Mobile de meest efficiënte en effectieve manier om LoRa te implementeren in het Babbler project?” Om de hoofdvraag te beantwoorden zijn een aantal deelvragen opgesteld.

D1. Hoe werkt LoRa?

Deze deelvraag bestaat uit een literatuuronderzoek naar de werking van LoRa. LoRa is op te splitsen in twee verschillende onderdelen genaamd LoRa en LoRaWAN (Link Labs, What is LoRaWAN?, 2015). Het LoRa deel dat behandeld wordt in deze deelvraag zal specifiek gaan over de fysieke netwerklaag. Daarbij komen onderdelen zoals frequency shifting aan de orde.

D2. Hoe werkt LoRaWAN?

Deze deelvraag bestaat uit een literatuuronderzoek naar de werking van LoRaWAN. LoRaWAN is het star-of-stars protocol van het LoRa netwerk (LoRa Alliance, 2015). Het moet duidelijk worden waar onderdelen zoals netwerkadressen en de verschillende netwerksleutels voor dienen.

D3. Kan LoRa de gewenste efficiëntie halen voor de Babbler?

Bij deze deelvraag zal er onderzoek verricht worden of LoRa een efficiënte manier is voor de Babbler. Dit onderzoek zal onder andere bestaan uit het theoretisch berekenen van het stroomverbruik en hoe dit eventueel geoptimaliseerd kan worden. Vanuit deze berekening kan een keuze gemaakt worden welke soort batterij gebruikt gaat worden. Ook komt uit deze berekening of de kwaliteitseisen haalbaar zijn met de gekozen batterij voor de implementatie van LoRa in de Babbler. Zodra het prototype ontwikkeld is zal opnieuw naar deze deelvraag gekeken worden. Er zullen dan metingen gedaan worden of de kwaliteitseisen uit C5) van de kwaliteitscriteria zijn behaald. Mocht dit niet het geval zijn zullen de nodige aanpassingen verricht worden zodat dit wel behaald wordt.

D4. Kan LoRa de gewenste effectiviteit halen voor de Babbler?

Bij deze deelvraag zal er onderzoek verricht worden of LoRa een effectieve manier is voor de Babbler. Dit onderzoek zal onder andere bestaan uit het testen van bereik in de gewenste omstandigheden met van tevoren aangeleverde prototype hardware. Zodra het prototype ontwikkeld is zal opnieuw naar deze deelvraag gekeken worden. Er zullen dan opnieuw testen worden uitgevoerd zoals het bereik uit C4) van de kwaliteitscriteria zijn behaald. Mocht dit niet het geval zijn zullen de nodige aanpassingen verricht worden zodat dit wel behaald wordt.

D5. Wie zijn de LoRa netwerkleveranciers?

Bij deze deelvraag zal onderzoek worden verricht naar de beschikbare LoRa netwerken. Na het opstellen van een aantal eisen, zal gekeken worden naar welke netwerken beschikbaar zijn in binnen- en buitenland. Daarnaast zal bij de deze deelvraag gekeken worden naar de gebruikte netwerk hard- en softwareconfiguratie.

D6. Welk LoRa netwerk is het meest geschikt voor Itude Mobile?

Aan de hand van een keuzelijst van beschikbare LoRa netwerken zal bij deze deelvraag gekeken worden welk netwerk het meest geschikt is voor Itude Mobile. Dit gebeurt aan

de hand van een aantal criteria. Deze criteria bestaan uit onder andere signaalkwaliteit, kosten, beschikbaarheid in het buitenland en in welk ontwikkelstadium de backend zich op dit moment bevindt en welke mogelijkheden de backend gaan bieden.

D7.Hoe kan de LoRa Babbler wereldwijd worden ingezet?

Het is van belang dat de LoRa Babbler wereldwijd kan worden ingezet. De LoRa frequenties verschillen per land en het is van belang dat de Babbler met alle frequenties kan werken (DISK91.COM, 2015). Er zal bij deze deelvraag gekeken worden hoe dit gerealiseerd kan worden met eventueel de nodige hardware aanpassingen.

D8.Hoe kan LoRa geïmplementeerd worden in de firmware van de Babbler?

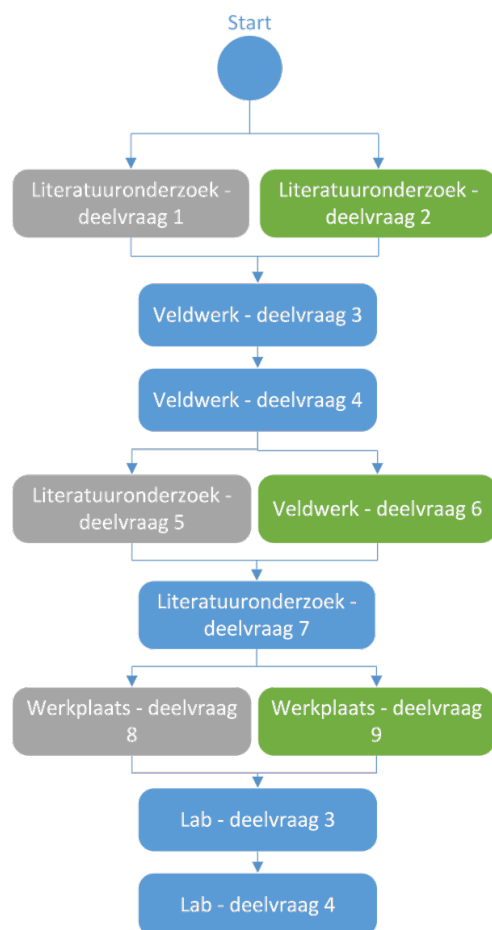
Aangezien LoRa geïmplementeerd zal worden in de Babbler, zal bij deze deelvraag onderzocht worden hoe dit mogelijk is. Het gaat hierbij onder andere om onderzoek hoe mbed OS (het gebruikte realtime operating system) werkt op het embedded apparaat en een LoRa chip te kiezen en implementeren. Ook zal er verdiept worden in de gebruikte microcontroller van de Babbler.

D9.Hoe kan een LoRa backend gerealiseerd worden?

Aangezien een backend noodzakelijk is voor de koppeling met de LoRa netwerkleverancier backend en huidige Babbler backend, zal in deze deelvraag onderzocht worden hoe dit mogelijk is. Er zal onderzoek verricht worden hoe communicatie met de bestaande netwerkleveranciers backend mogelijk is. Een eigen backend zal daarna geprogrammeerd worden dat weer gekoppeld is aan de huidige Babbler backend.

2.7 AANPAK VRAAGSTELLING

De chronologische aanpak van de deelvragen wordt in Afbeelding 3 weergegeven met de taakverdeling van de afstudeerders. De werkwijze die gehanteerd zal worden is volgens een onderzoeksmethode van de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen (Coppens, Jacobs, Jacobs, Niels, & Verhoeven, 2015). Deze onderzoeksmethode legt uit dat er verschillende soorten onderzoeksstrategieën zijn. Zo zijn er veld, bieb, werkplaats, lab en showroom onderzoeksstrategieën. Bij veldwerk zal zelf informatie verkregen worden middels praktijkgericht onderzoek. De Bieb strategie is te vergelijken met een literatuuronderzoek waarbij bestaande informatie wordt verzameld en verwerkt. Bij een werkplaats onderzoeksstrategie worden op een iteratieve manier oplossingen via bijvoorbeeld ontwerpen en prototyping verkend en gerealiseerd. De lab onderzoeksstrategie wordt gebruikt om de oplossing te testen en de showroom onderzoeksstrategie wordt gebruikt om de oplossing te toetsen ten opzichte van het beschikbare werk. Daarbij hoort onder andere de vraag of de oplossing innovatief is. Deelvraag drie en vier die aan het begin bestaan uit veldwerk, zullen herhaald worden na de werkplaats deelvragen als lab deelvragen om het onderzoek af te ronden.



Afbeelding 3 Methodische werkwijze

Melvin van den Berg	
Marco Knol	
Gezamenlijk	

3 AFBAKENING

De afstudeeropdracht is onderdeel van een intern project dat het Babbler project heet. Er wordt in deze opdracht gewerkt aan het onderzoek naar de nieuwe communicatietechniek LoRa en LoRaWAN. Eerst wordt aan de hand van testen gemeten of LoRa het gewenste bereik heeft op de nodige locaties. Verder wordt een vergelijkend warenonderzoek gedaan naar de mogelijke LoRa netwerken. Vanuit het warenonderzoek zal een adviesrapport worden opgesteld waarin de keuze van het LoRa netwerk staat beschreven. Ook zal er onderzocht worden hoe de Babbler wereldwijd kan worden ingezet. Tevens wordt dit allemaal verwerkt in een werkend proof-of-concept van de LoRa implementatie in de Babbler met een bijbehorende backend.

3.1 MOSCOW METHODE

Te verheldering van de afbakening is er een MoSCoW-methode weergegeven in Tabel 3. De MoSCoW-methode is een wijze van prioriteiten stellen aan eisen van het eindresultaat van een project. Het is een afkorting, waar de letters staan voor:

- Must have this – deze eis moet in het eindresultaat terugkomen;
- Should have this – deze eis is zeer gewenst, maar een vergelijkbare eigenschap is ook goed genoeg;
- Could have this if it does not effect anything else – deze eis mag alleen aan bod komen als er tijd genoeg is;
- Would like to have but won't have this time around – deze eis zal nu niet aan bod komen maar kan in de toekomst interessant zijn;

De kleine letters 'o' in de afkorting "MoSCoW" hebben geen betekenis, maar maken de afkorting makkelijker te onthouden.

M	Must have this	Check
M001	De backend voor LoRa communicatie met de Babbler backend.	
M002	Firmware voor de LoRa implementatie in de Babbler.	
M003	De overdrachtdocumentatie.	
M004	Aanbeveling voor de Babbler hardware.	
M005	Adviesrapport over welk LoRaWAN netwerk geadviseerd wordt.	
M006	Twee Scripties.	

S	Should have this	Check
S001	De Babbler ook in het buitenland inzetbaar maken met juiste frequenties.	
S002	Eigen LoRaWAN netwerk opzetten.	
S003	De Babbler met meerdere LoRaWAN netwerken laten communiceren.	

C	Could have this	Check
C001	LoRa firmware over the air updates beschikbaar maken voor de Babbler	
C002	Native LoRa transceiver implementeren voor de Babbler.	
C003	Eigen gateway maken, zowel de hardware samenstellen als de firmware ervoor maken.	

W	Would have this	Check
W001	Aan de huidige backend van de Babbler werken.	
W002	Aan de huidige frontend voor de Babbler werken.	
W003	Aan de mobiele applicaties van de Babbler werken.	

Tabel 3 MoSCoW methode

3.2 AFBAKENING DUO-AFSTUDEEROPDRACHT

De afstudeerders zullen ieder hun eigen deelvragen uitwerken en beantwoorden met uitzondering van de deelvragen die samen worden uitgevoerd. Dit is om te waarborgen dat de afstudeerder dit individueel heeft gemaakt. Hierdoor kan de Hogeschool Utrecht de afstudeerder goed individueel beoordelen. Er mag wel overleg plaatsvinden over het samenvoegen van de deelproducten, zodat een gezamenlijk eindproduct wordt opgeleverd.

LoRa en de Babbler node zijn de onderdelen die Melvin van den Berg op zich neemt. LoRaWAN en de bijkomende server zijn de onderdelen van Marco Knol. De taakverdeling van de deelvragen is weergegeven in Afbeelding 3.

4 RANDVOORWAARDEN

4.1 APPARATUUR EN TOOLS

Onderstaand in Tabel 4 is een lijst met apparatuur en software die nodig is om het project te kunnen uitvoeren

Naam	Aantal	Datum	Toelichting	Aanwezig
Onderzoeksapparatuur	n.v.t.	n.v.t.	Zonder de benodigde onderzoeksapparatuur kan geen onderzoek worden uitgevoerd.	Ja
Hardware	n.v.t.	18-04-2016	Voor een werkend proof-of-concept is hardware noodzakelijk.	Nee
Ontwikkelomgeving	2	18-04-2016	Voor het ontwikkelen van de software voor de hardware en backend is een ontwikkelomgeving nodig.	Onbekend

Tabel 4 Apparatuur & Tools

4.2 RISICO'S

Een lijst van risico's is opgenomen in Tabel 5 met de acties die hiervoor ondernomen kunnen worden om de risico's te beperken of zelfs te voorkomen.

Risico	Actie
Lange levertijd van de hardware.	Vroegtijdig bestellen. Alternatieve hardware uitzoeken.
De hardware werkt niet naar behoren.	Middels de gewenste eisen de specificaties van de hardware afstemmen.
In gebruik genomen hardware is niet langer leverbaar.	Alternatieve hardware uitzoeken.
De afstudeerder kan langdurig niet werken aan het project.	Overleg met de afstudeerbegeleider en de bedrijfsbegeleider om de opdracht te verkorten.

Er is niet genoeg literatuur beschikbaar.	De ontbrekende kennis opdoen aan de hand van meet-ups en interviews.
Voor een proof-of-concept dienen op het moment van afstuderen, de LoRaWAN netwerken van KPN of TTN aan de verwachte wensen voldoen.	Een eigen LoRaWAN netwerk opzetten met een eigen gateway.

Tabel 5 Risico's

5 PLANNING

De planning is in Tabel 6 weergegeven.

	Van	Tot	Melvin van den Berg	Marco Knol
Afstudeerbedrijf zoeken	01-12-15	17-01-16	48	48
Project voorstel	18-01-16	31-01-16	40	40
Leerteam bijeenkomst 1	27-01-16	27-01-16	4	4
Wekelijkse voortgangsgesprekken	01-02-16	31-05-16	16	16
PvA en kennis opdoen over het bedrijf	01-02-16	18-03-16	80	80
Verzamelen van informatie voor het PvA	01-02-16	18-03-16	160	160
Leerteam bijeenkomst 2	17-02-16	17-02-16	4	4
Gesprek met afstudeerbegeleider op locatie	10-03-16	10-03-16	2	2
Gesprek met afstudeerbegeleider op locatie	16-03-16	16-03-16	2	2
D1: Wat is de werking van LoRa?	21-03-16	01-04-16	56	0
D2: Wat is de werking van LoRaWAN?	21-03-16	01-04-16	0	56
Deelvragen verwerken in scriptie en eventuele verbeteringen doorvoeren	21-03-16	31-05-16	112	112
Proof of concept	21-03-16	31-05-16	48	48
D3: (Vooronderzoek) Is LoRa een efficiënte manier voor de Babbler?	04-04-16	15-04-16	32	32
D4: (Vooronderzoek) Is LoRa een effectieve manier voor de Babbler?	04-04-16	15-04-16	32	32
Leerteam bijeenkomst 3	06-04-16	06-04-16	4	4
Concept versie scriptie opsturen in deze week	18-04-16	22-04-16	0	0
D5: Wat zijn mogelijke LoRa netwerken?	18-04-16	22-04-16	32	0
D6: Welk LoRa netwerk is het meest geschikt voor Itude Mobile?	18-04-16	22-04-16	0	32
D7: Hoe kan de LoRa Babbler wereldwijd worden ingezet?	25-04-16	29-04-16	24	24
D8: Hoe kan LoRa geïmplementeerd worden in de firmware van de Babbler?	02-05-16	13-05-16	64	0
D9: Hoe kan een LoRa backend gerealiseerd worden?	02-05-16	13-05-16	0	64
Concept versie scriptie opsturen in deze week	09-05-16	13-05-16	0	0
D3: (Praktijkttest) Is LoRa een efficiënte manier voor de Babbler?	16-05-16	27-05-16	24	24
D4: (Praktijkttest) Is LoRa een effectieve manier voor de Babbler?	16-05-16	27-05-16	24	24
Presentatie voorbereiden	01-06-16	06-06-16	24	24
			840	840

Tabel 6 Planning

6 COMMUNICATIE MET DE OPLEIDING EN ITUDE MOBILE

Tijdens het uitvoeren van de afstudeeropdracht zal communicatie plaatsvinden met de betrokkenen binnen de opleiding. Deze communicatie zal voornamelijk zijn tussen de afstudeerbegeleider en de afstudeerders.

Na de toewijzing van de afstudeerbegeleider is er mail contact geweest om een afspraak te maken. De afspraak is voor een gesprek met de afstudeerders en de afstudeerbegeleider. In dit gesprek wordt besproken hoe het afstudeervoorstel tot een gedegen plan van aanpak gemaakt kan worden.

Indien het concept van het plan van aanpak af is, zal begin maart een vergadering plaatsvinden met het bedrijf, afstudeerders, afstudeerbegeleider en producteigenaar. Tijdens deze vergadering heeft iedereen de gelegenheid om zijn of haar mening of advies te geven over het concept. Hieruit zal een nieuwe versie van het plan van aanpak tot stand komen.

De nieuwe versie met goedkeuring van het bedrijf zal opnieuw worden ingeleverd bij de afstudeerbegeleider. Indien er geen feedback meer is kan er een afspraak gemaakt worden waar het bedrijf, de afstudeerbegeleider en de afstudeerders het contract ondertekenen. Het contract zal in vijfvoud worden getekend, zodat iedere partij een exemplaar heeft. Hierbij is het vijfde exemplaar voor de afstudeeradministratie.

Verder zal de afstudeerder de conceptversies van de scriptie, in de week van 18 april en 9 mei, vroegtijdig inleveren bij de afstudeerbegeleider voor feedback. Ook zal er elke week op de maandag een overleg plaatsvinden met de bedrijfsbegeleider(s) over de voortgang. Hiervan zullen notulen gemaakt worden en opgestuurd naar de aanwezige personen tijdens het overleg. De notulen worden ook naar de afstudeerbegeleider gestuurd om de voortgang in te zien.

De eindversie van de scriptie met bijlagen zal in drievoud worden ingeleverd bij de afstudeeradministratie. Verder zal een scriptie met bijlagen op dvd gezet worden en ingeleverd. Daarnaast wordt een screenshot ingeleverd waarop te zien is, dat de afstudeerders alles hebben ingediend bij de hbo-kennisbank. Tevens zal het bedrijf de afstudeerders en het geleverde afstudeerwerk beoordelen. Tot slot wordt deze beoordeling ook ingeleverd bij de afstudeeradministratie.

De Hogeschool Utrecht zal de afstudeerzitting en de diploma-uitreiking inplannen. De afstudeerder zal zijn afstudeerwerk tijdens de afstudeerzitting verdedigen.

De afstudeerders zitten in een leerteam en komen drie keer bijeen. De bijeenkomsten zijn om feedback op elkaars afstudeerwerk te geven. Dit wordt gedaan om het niveau van het afstudeerwerk te verhogen. De afstudeerder mag de andere afstudeerders uit het leerteam ook zelf benaderen voor vragen of hulp.

7 ETHIEK

Tijdens het testen van het proof-of-concept kan er data worden gebruikt die verzameld is of wordt tijdens een pilot met een klant. Dit zal wel in een later stadium van de afstudeeropdracht gebeuren. Indien dit voorkomt dient uiterst zorgvuldig met deze data worden omgegaan. De eventueel opgeslagen data moet opgeslagen worden op een goed afgeschermd locatie (alleen toegankelijk voor Itude Mobile en de klant, zodat er conclusies uit de data worden getrokken). Dit geldt ook voor beveiligingssleutels die gebruikt gaan worden.

De Babbler heeft op dit moment een knoopcel batterij als energiebron. De Babbler zou rond de zes maanden mee moeten gaan op deze batterij. Er is gesproken over een oplaadbare batterijen om de duurzaamheid te verhogen. Hier is niet voor gekozen omdat de potentiële klanten de Babblers mogelijk maar voor een enkele trip gebruiken.

8 BETROKKENEN

De afstudeeropdracht is in opdracht van Robin Puthli gegeven. Zoals bij de afbakening is benoemd is de opdracht onderdeel van een groter geheel genaamd het Babbler project. Het Babbler project heeft meerdere betrokkenen maar zij vallen buiten de scope van deze afstudeeropdracht.

8.1 NIVEAU BEDRIJFSBEGELEIDER

De bedrijfsbegeleider en tevens mededirecteur van Itude Mobile is Robin Puthli. Hij is cum laude afgestuurd aan de universiteit van Leiden in 1994. Hij heeft daar de opleiding information technology For the social sciences afgerond. Gezien zijn jaren ervaring lijkt Robin Puthli geschikt als bedrijfsbegeleider.

8.2 BEDRIJFS-, PERSOONSgegevens

Bedrijf informatie:

Naam: Itude Mobile B.V.
Straat: Lageweg 2
Postcode/Plaats: 3703 CA Zeist
Telefoonnummer: +31 (0)30 699 7020
K.v.K.: 30146090

Bedrijfsbegeleider:

Naam: Robin Puthli
Telefoonnummer: +31 (0)6 21 88 22 86
Email: r.puthli@itude.com
Linkedin: <https://nl.linkedin.com/in/puthli/nl>

Product eigenaar:

Naam: Tanja Borger
Telefoonnummer: +31 (0)6 29 07 97 66
Email: t.borger@itude.com
Linkedin: <https://nl.linkedin.com/in/tanjaborger/nl>

Afstudeerbegeleider:

Naam: Marten Wensink
Telefoonnummer: +31 (0)88 481 8591
Email: marten.wensink@hu.nl

Afstudeerstudenten:

Naam: Melvin van den Berg (1629757)
Straat: Pastorielaan 1B
Postcode/Plaats: 3828 EX Hoogland
Telefoonnummer: +31 (0)6 22 70 28 49
Email: melvin.vandenberg@student.hu.nl
Werk-email: m.vandenberg@itude.com

Naam: Marco Knol (1617925)
Straat: Hessenweg 48
Postcode/Plaats: 3731 JK De Bilt
Telefoonnummer: +31 (0)6 55 80 71 73
Email: marco.knol@student.hu.nl
Werk-email: m.knol@itude.com

Medestudent:

Naam: Samme Kleijn
Email: samme.klein@student.hu.nl
Werk-email: s.kleijn@itude.com

8.3 LEERTEAMGEGEVENS

Leerteambegeleider:

Naam: Arno Kamphuis
Email: arno.kamphuis@hu.nl

Leerteam:

Naam: Olaf Kruk
Email: olaf.kruk@student.hu.nl

Naam: Niek Arends
Email: niek.arends@student.hu.nl

Naam: Peter Markotic
Email: peter.markotic@student.hu.nl

Naam: Simon Voordouw
Email: simon.voordouw@student.hu.nl

9 BIBLIOGRAFIE

- Cooking hacks. (sd). *Extreme Range Links: LoRa 868 / 900MHz SX1272 LoRa module for Arduino, Raspberry Pi and Intel Galileo*. Opgehaald van Cooking hacks:
<https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/extreme-range-lora-sx1272-module-shield-arduino-raspberry-pi-intel-galileo/>
- Coppens, A., Jacobs, M., Jacobs, T., Niels, R., & Verhoeven, N. (2015, April 1). *Proeven van onderzoek*. Opgehaald van Ralph Niels: <http://www.ralphniels.nl/pubs/jacobs-proevenvanonderzoekboek.pdf>
- Digi-Key. (sd). *BT730-SA Laird - Embedded Wireless Solutions*. Opgehaald van Digi-Key:
<http://www.digikey.com/product-detail/en/BT730-SA/BT730-SA-ND/4377111>
- DISK91.COM. (2015, September 27). *What is LoRa ?* Opgehaald van DISK91.COM:
<https://www.disk91.com/2015/technology/internet-of-things-technology/what-is-lora/>
- DomainTools. (2015, 12 17). *Lora-Alliance.org WHOIS, DNS & Domain Info - DomainTools*. Opgeroepen op 12 17, 2015, van DomainTools:
<http://whois.domaintools.com/lora-alliance.org>
- Duncombe, M. (2013, November 13). *Long-Range Bluetooth: Going Beyond the Personal Area Network for Industrial Applications*. Opgehaald van Digi-Key:
<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/nov/long-range-bluetooth-going-beyond-the-personal-area-network-for-industrial-applications>
- Ernst Prins. (2015, Juli 8). *Geslaagde IoT LoRa radio test met KPN en Itude Mobile*. Opgehaald van Itude Mobile Blog:
<http://blogmobile.itude.com/2015/07/08/geslaagde-iot-lora-radio-test-met-kpn/>
- Goran Kalic, I. B. (sd). *Energy Consumption in Android Phones when*. Opgehaald van University of Zagreb: http://agents.usluge.tel.fer.hr/webfm_send/153
- Lindh, J. (2015, Januari 1). *Bluetooth® Low Energy Beacons*. Opgehaald van Texas Instruments: <http://www.ti.com/lit/an/swra475/swra475.pdf>
- Link Labs. (2015, Februari 14). *What is LoRa?* Opgehaald van LinkLabs: <http://www.link-labs.com/what-is-lora/>
- Link Labs. (2015, Oktober 8). *What is LoRaWAN?* Opgehaald van Link Labs:
<http://www.link-labs.com/what-is-lorawan/>
- LoRa Alliance. (2015). *LoRa Technology*. Opgehaald van LoRa Alliance: <https://www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology>
- Semtech. (sd). *SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver*. Opgehaald van Semtech: <http://www.semtech.com/images/datasheet/sx1272.pdf>

Steehouder, M., Jansen, C., Mulder, J., van der Pool, E., & Zeijl, W. (2012). Leren communiceren. In M. Steehouder, C. Jansen, J. Mulder, E. van der Pool, & W. Zeijl, *Leren communiceren* (pp. 270-312). Groningen: Noordhoff Uitgevers.