



Faculteit Bedrijf en Organisatie

Het bepalen van een optimale opstelling voor de registratie van de locatie en de verplaatsing van locatie van een voorwerp binnen een gebouw

Cedric Delaruelle

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Johan Van Schoor
Co-promotor:
Pieter Suanet

Instelling: Aucxis

Academiejaar: 2021-2022

Tweede examenperiode

Faculteit Bedrijf en Organisatie

Het bepalen van een optimale opstelling voor de registratie van de locatie en de verplaatsing van locatie van een voorwerp binnen een gebouw

Cedric Delaruelle

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Johan Van Schoor
Co-promotor:
Pieter Suanet

Instelling: Aucxis

Academiejaar: 2021-2022

Tweede examenperiode

1. Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het behalen van een bachelordiploma in de richting Toegepaste Informatica aan HoGent. In dit voorwoord wil ik van de gelegenheid gebruik maken om iedereen die me heeft geholpen en bijgestaan tijdens het uitvoeren van dit onderzoek te bedanken, voornamelijk (maar niet gelimiteerd tot): Pieter Suanet, voor zijn hulp en ondersteuning als co-promotor; Georges Liekens, voor zijn ondersteuning tijdens het onderzoek; Johan Van Schoor, voor zijn rol als promotor; Sabine De Baere, voor de taal- en spellingcontrole, en natuurlijk Aucxis voor de samenwerking en materiële ondersteuning bij het uitvoeren van dit onderzoek.

2. Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met Aucxis, een onafhankelijke solution provider, gespecialiseerd in automatisatie en lokalisatie. Dit bedrijf wil haar bestaande pakket RFID oplossingen uitbreiden met BLE toepassingen, dit voornamelijk met oog op het taggen van assets, en de lokalisatie van deze getagde assets. De softwarekant van deze toepassing is één ding, maar het is ook belangrijk om te weten hoe de hardware moet opgesteld worden om bruikbare informatie te verkrijgen voor deze lokalisatie. Vandaar de noodzaak aan een onderzoek in dit thema. De uitwerking van dit onderzoek staat beschreven in dit document.

Dit onderzoek bestaat uit een set van 12 hardwareopstellingen, bestaande uit RFID of BLE hardware, die elk afzonderlijk worden onderzocht en getest op diverse manieren. Het voornaamste doel van deze deelonderzoeken is het bepalen hoe goed deze een getagd asset kunnen indelen in de correcte locatie. Locatie in de context van dit onderzoek is een logische locatie, zoals bijvoorbeeld een bureau of een reparatiezone in een magazijn. Na elk deelonderzoek wordt een conclusie getrokken en deze conclusies worden uiteindelijk gebundeld tot een grote algemene conclusie in het gelijknamige hoofdstuk.

De voornaamste conclusie is dat een optimale opstelling voor locatie- en verplaatsingsbepaling van een getagd asset een combinatie is tussen 2 opstellingen. Enerzijds 1 gateway plaatsen in het midden van een locatie, mits dit een ommuurde locatie is (bv. een lokaal of magazijn). En anderzijds het omringen van de locatie met gateways in de hoeken als er meerdere locaties in een open ruimte zijn, zonder fysieke scheiding tussen deze locaties (bv. zones in een magazijn die tellen als aparte logische locatie). Hoewel dit de voornaamste conclusie is, aangezien dit een rechtstreeks antwoord is op de gestelde onderzoeksverzoek, zijn er ook andere opstellingen die zeer goede resultaten leverden, zijnde het niet specifiek voor de gestelde vraag. In toepassingen met oog op inventarisatie zijn dynamische BLE

opstellingen bijvoorbeeld een zeer goede optie.

Ook is de diepgang van dit onderzoek vrij beperkt, omdat het eerder verkennend van aard is. Er is wel een beste optie uit de bus gekomen, maar er zijn nog veel variabelen die in dit onderzoek constant zijn gehouden, waar diepgaander onderzoek naar kan gedaan worden om hun invloed op de lokalisatie te bepalen, zoals de beacon instellingen.

Inhoudsopgave

1	Woord vooraf	3
2	Samenvatting	5
3	Inleiding	17
3.1	Probleemstelling	17
3.2	Wie is Aucxis	17
3.3	Onderzoeksvraag	18
3.4	Onderzoeksdoelstelling	18
3.5	Opzet van dit onderzoek	19
4	Literatuurstudie	21
4.1	Definities	21

4.2 Hardware	22
4.2.1 RFID	22
4.2.2 BLE	25
4.3 Software	27
5 Opstellingen	29
5.1 RFID	30
5.1.1 Statisch	30
5.1.2 Dynamisch	31
5.2 BLE	32
5.2.1 Statisch	32
5.2.2 Dynamisch	33
5.3 Fundamentele verschillen	35
6 Methodologie	37
6.1 RFID	38
6.2 BLE	38
7 Testen	39
7.1 RFID	39
7.1.1 1 antenne aan deurlijst	40
7.1.2 2 antennes aan deurlijst	40
7.1.3 1 antenne tegenover deur	45
7.1.4 1 tag aan deurlijst	49
7.2 BLE Vooronderzoek	51

7.3 Statische BLE	56
7.3.1 1 gateway per locatie	56
7.3.2 Meerdere gateways per locatie	60
7.3.3 Gateways in rasteropstelling	62
7.4 Dynamische BLE	65
7.4.1 1 locatiebeacon per locatie, midden van locatie	65
7.4.2 1 locatiebeacon per locatie, aan deur	68
7.4.3 Meerdere locatiebeacons per locatie	71
7.4.4 Locatiebeacons in rasteropstelling	74
7.4.5 Locatiebeacons op intervallen in de gang	74
8 Conclusie	77
8.1 Informatiebundeling	77
8.1.1 RFID Algemeen	77
8.1.2 BLE Algemeen	78
8.1.3 Static RFID: 1 antenne aan deurlijst	78
8.1.4 Static RFID: 2 antennes aan deurlijst	78
8.1.5 Static RFID: 1 antenne tegenover deur	79
8.1.6 Dynamic RFID: 1 tag aan deurlijst	79
8.1.7 Static BLE: 1 gateway per locatie	79
8.1.8 Static BLE: meerdere gateways per locatie	80
8.1.9 Static BLE: gateways in rasteropstelling	80
8.1.10 Dynamic BLE: 1 locatiebeacon per locatie, midden van locatie	81
8.1.11 Dynamic BLE: 1 locatiebeacon per locatie, aan deur	81
8.1.12 Dynamic BLE: meerdere locatiebeacons per locatie	81
8.1.13 Dynamic BLE: locatiebeacons in rasteropstelling	82

8.1.14 Dynamic BLE: locatiebeacons op intervallen in de gang	82
8.2 Een antwoord op de onderzoeksvraag	83
8.3 Nwoord	84
8.4 Verder onderzoek	85
A Onderzoeksvoorstel	87
A.1 Introductie	87
A.2 State-of-the-art	88
A.2.1 Actieve vs. passieve trackingtechnologieën	88
A.2.2 Waarom dit onderzoek?	88
A.3 Methodologie	88
A.4 Verwachte resultaten	89
A.5 Verwachte conclusies	89
Bibliografie	91

Lijst van figuren

5.1	Basisillustratie opstelling	30
5.2	Illustratie 1 antenne aan deurlijst	30
5.3	Illustratie 2 antennes aan deurlijst	31
5.4	Illustratie 1 antenne tegenover deur	31
5.5	Illustratie 1 tag aan deurlijst	31
5.6	Illustratie 1 gateway per locatie	32
5.7	Illustratie meerdere gateways per locatie	32
5.8	Illustratie gateways in rasteropstelling	33
5.9	Illustratie 1 beacon per locatie, midden van locatie	33
5.10	Illustratie 1 beacon per locatie, aan deur	34
5.11	Illustratie meerdere locatiebeacons per locatie	34
5.12	Illustratie beacons in rasteropstelling	34
5.13	Illustratie beacons op intervallen in de gang	35
7.1	1 antenne aan deurlijst - Testresultaat	40

7.2	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1a	41
7.3	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1b	41
7.4	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1c	42
7.5	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1d	42
7.6	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 2a	43
7.7	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 2b	43
7.8	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 3a	44
7.9	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 3b	44
7.10	2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 3c	45
7.11	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 1 uit	46
7.12	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 1 in	46
7.13	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 2a in	47
7.14	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 2a uit	47
7.15	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 2b in	47
7.16	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 2b uit	47
7.17	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 3 in	48
7.18	1 antenne tegenover deur - Testresultaat 3 uit	48
7.19	1 tag aan deurlijst - Testresultaat 1	50
7.20	1 tag aan deurlijst - Testresultaat 2	50
7.21	BLE Vooronderzoek - Testresultaat 1a	52
7.22	BLE Vooronderzoek - Testresultaat 1b	52
7.23	BLE Vooronderzoek - Testresultaat 2	54
7.24	BLE Vooronderzoek - Testresultaat 3a	55
7.25	BLE Vooronderzoek - Testresultaat 3b	55
7.26	1 gateway per locatie - Opstelling 1	56
7.27	1 gateway per locatie - Opstelling 2	57

7.28 1 gateway per locatie - Opstelling 3	58
7.29 Meerdere gateways per locatie - Opstelling 1	60
7.30 Meerdere gateways per locatie - Opstelling 2	61
7.31 Gateways in rasteropstelling - Test 1	62
7.32 Gateways in rasteropstelling - Opstelling 2	64
7.33 1 beacon per locatie, midden van locatie - Opstelling 1	65
7.34 1 beacon per locatie, midden van locatie - Opstelling 2	67
7.35 1 beacon per locatie, aan deur - Opstelling 1	68
7.36 1 beacon per locatie, aan deur - Opstelling 2	70
7.37 Meerdere locatiebeacons per locatie - Opstelling 1	71
7.38 Meerdere locatiebeacons per locatie - Opstelling 2	73
7.39 Beacons op intervallen in de gang - Opstelling 1	74
7.40 Beacons op intervallen in de gang - Opstelling 2	75

Lijst van tabellen

7.1	1 gateway per locatie - Testresultaat 1	56
7.2	1 gateway per locatie - Testresultaat 2	58
7.3	1 gateway per locatie - Testresultaat 3a	59
7.4	1 gateway per locatie - Testresultaat 3b	59
7.5	Meerdere gateways per locatie - Testresultaat 1	60
7.6	Meerdere gateways per locatie - Testresultaat 2	62
7.7	Gateways in rasteropstelling - Testresultaat 2	64
7.8	1 beacon per locatie, midden van locatie - Testresultaat 1	66
7.9	1 beacon per locatie, midden van locatie - Testresultaat 2	67
7.10	1 beacon per locatie, aan deur - Testresultaat 1	69
7.11	1 beacon per locatie, aan deur - Testresultaat 2	70
7.12	Meerdere locatiebeacons per locatie - Testresultaat 1	72
7.13	Meerdere locatiebeacons per locatie - Testresultaat 2	73
7.14	Beacons op intervallen in de gang - Testresultaat 1	75

7.15 Beacons op intervallen in de gang - Testresultaat 2	76
--	----

3. Inleiding

3.1 Probleemstelling

Momenteel is Aucxis, de opdrachtgever en partner voor dit onderzoek, bezig met het uitwerken en ontwikkelen van haar Polaris platform. Het voornaamste doel van dit platform is het kunnen volgen van voorwerpen binnen en buiten bedrijven. Dit aan de hand van verschillende technologieën, voornamelijk RFID en BLE binnen het bedrijf en GPS daarbuiten. Het concept van dit platform is dat er logische locaties bestaan (zoals warenhuis 1 of keuken) waar de voorwerpen zich bevinden. Voor een goede werking van dit systeem is het duidelijk nodig dat uit de data, bekomen uit de hardware, kan afgeleid worden op welke logische locatie een voorwerp zich bevindt en wanneer het zich verplaatst tussen locaties. Dit is geen normaal softwareprobleem want logischerwijs zal de manier waarop de hardware staat opgesteld een grote invloed hebben op de nauwkeurigheid en correctheid van deze lokalisaties en verplaatsingen. Hierdoor is het van groot belang voor de correcte werking van dit platform dat er een goede opstelling wordt gekozen. Om dit te kunnen doen is er een onderzoek nodig naar wat deze optimale opstelling zou kunnen zijn. Dit is ook de reden dat dit onderzoek in het leven is geroepen.

3.2 Wie is Aucxis

Aucxis is een bedrijf gevestigd te Stekene, welke actief is sinds 1983. Bij oprichting was het een bedrijf dat zich toespitste op het ontwikkelen van enerzijds de bewaring (Procescontrole) en anderzijds de veilinginfrastructuur (E-trade) voor groenten en fruit. Het werd hier vrij snel een toonaangevend bedrijf en werd wereldleider tegen 2000. Later, in 2007 richtten ze een 3e businessunit op, namelijk de RFID divisie, welke zich focust op

het onderzoek naar en ontwikkeling van RFID toepassingen. Vandaag is het nog steeds een toonaangevend bedrijf met in-house oplossingen voor allerhande toepassingen binnen deze sectoren en is ze nog steeds actief bezig aan de optimalisering en uitbreiding hiervan. Recentelijk is dit bedrijf ook geïnteresseerd in het uitbreiden van haar praktijken richting BLE toepassingen.(Aucxis, 2020)

3.3 Onderzoeksvergadering

Zoals duidelijk is geworden in de probleemstelling is er nood aan een onderzoek voor het vinden van een zo optimaal mogelijke opstelling voor het bepalen van de locatie waar een voorwerp zich bevindt. Verder is ook de detectie van een verplaatsing belangrijk, dit gebeurt als de locatie van het voorwerp verandert. Met oog op deze probleemstelling luidt de onderzoeksvergadering voor deze bachelorproef als volgt:

Welke hardwareopstelling, bestaande uit RFID of BLE componenten, is optimaal voor de plaats- en verplaatsingsbepaling van een voorwerp binnen een gebouw.

Deze vraag omvat goed de essentie van de situatie die dient onderzocht te worden, namelijk de beste opstelling voor het volgen van een voorwerp binnen een gebouw, en dit met RFID of BLE technologie. Binnen de probleemstelling werd echter ook aangegeven dat binnen de scope van Polaris ook gps lokalisatie voor voorwerpen buiten het bedrijf aanwezig was. Locatiebepaling met behulp van gps is echter al goed ingeburgerd, waardoor er voldoende bronnen zijn en dit ook duidelijk en precies is. Door deze reden is er geen nut om dit ook te onderzoeken en wordt dit onderdeel buiten de scope van dit onderzoek gehouden. Plaatsbepalingen binnen zijn echter niet zo optimaal voor gps aangezien de meeste gebouwen/kantoren beschikken over verdiepingen (waar er meerdere locaties dezelfde geografische coördinaten hebben) en gps ook een bepaalde onzekerheid heeft op de meting.

3.4 Onderzoeksdoelstelling

Het hoofddoel van dit onderzoek is het vergelijken van een aantal opstellingen, met RFID of met BLE, en met verschillende concepten achter hun werking. De verschillende opstellingen met hun theoretische achtergrond volgen verder in dit verslag. Zoals de onderzoeksvergadering echter al doet vermoeden is het doel niet louter een vergelijkende studie, aangezien het ook de bedoeling is dat er een optimale opstelling uit de bus komt. In praktijk zal er nooit een opstelling zijn die de beste is, aangezien er altijd een afweging zal zijn tussen de nauwkeurigheid en de kostprijs van de opstelling. Ook zullen sommige opstellingen beter zijn in bepaalde situaties dan andere. Wel zal het mogelijk zijn om totaal onpraktische en onnauwkeurige opstellingen uit te branden. De conclusie zal eerder een afweging geven tussen de verschillende opstellingen, maar zal zeker geen louter vergelijkende aard hebben.

3.5 Opzet van dit onderzoek

De rest van dit onderzoek is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de theoretische achtergrond die nodig is voor het begrijpen van het onderzoek en de rest van dit onderzoek. Het bevat informatie over de werking van de RFID en BLE technologieën, definities van veelvoorkomende begrippen en diverse andere benodigde uitleg.

In Hoofdstuk 5 worden de onderzochte opstellingen opgesomd, samen met een theoretische achtergrond. Het is een projectie van de kennis opgedaan tijdens de literatuurstudie op de te onderzoeken opstellingen.

In Hoofdstuk 6 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksraag.

In Hoofdstuk 7 worden de uitgevoerde tests beschreven, de resultaten verwerkt en geconcludeerd.

In Hoofdstuk 8, tenslotte, wordt eerst de voornaamste informatie gebundeld, waarna deze gebruikt wordt om een algemene conclusie te geven en een antwoord te formuleren op de onderzoeksraag. Daarna wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

4. Literatuurstudie

Dit hoofdstuk zal een overzicht geven van de theoretische achtergrond van de hardware, protocollen, programma's en andere concepten die gebruikt worden bij het gevoerde onderzoek voor het beantwoorden van bovengenoemde onderzoeksvergadering.

4.1 Definities

Deze sectie zal enkele belangrijke begrippen introduceren die belangrijk zullen zijn bij het verdere lezen van dit hoofdstuk en de rest van het document.

RSSI

De RSSI, of voluit Received Signal Strength Indicator, is een maat voor de signaalsterkte die een ontvanger ontvangt van bijhorende zender. Ze wordt typisch gebruikt als het over radio-/elektromagnetische golven gaat.(Admin, 2022) Ze wordt uitgedrukt in dBm (Decibel per milliwatt).(Tseard, 2016) Het is een zeer kleine en logaritmische maat, de waarden in dit document zullen in de grootteorde -10 dBm liggen.

IoT

IoT, of voluit Internet Of Things, is een systeem van samenwerkende devices die met elkaar verbonden zijn via het internet, en zo, zonder menselijke tussenkomst, taken uitvoeren. Elk device is geïdentificeerd door een unieke identifier, of UID. Een device in deze context is alles wat met het internet kan verbonden zijn.(Gillis, 2022)

MQTT

MQTT, of voluit Message Queuing Telemetry Transport, is een protocol voor het versturen van berichten gemaakt door IoT devices over het internet. Belangrijke voordelen van het protocol zijn dat het licht en efficiënt is, en gemakkelijk schaalbaar naar grote hoeveelheden devices.(MQTT, 2022)

FSPL

FSPL, of voluit Free Space Path Loss, is het theoretische verlies in signaalsterkte over een bepaalde afstand in open ruimte. Deze kan berekend worden, gegeven de afstand tussen de 2 antennes (d), de frequentie van de EM golf (f), en de gain op de zendende en ontvangende antenne (G_z en G_o respectievelijk). Ze wordt berekend via onderstaande formule:

$$FSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) - G_z - G_o$$

(Pasternack, 2020)

In deze formule staat c voor de lichtsnelheid $\approx 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ („Speed of light”, 2022)

Trilateratie

Trilateratie is de berekening voor de bepaling van de coördinaten van een punt uit 2 geweten punten, en de afstanden van die punten tot het te berekenen punt. Uit deze berekening blijven 2 punten over, 1 boven en 1 onder de lijn tussen de 2 geweten punten. Hiervan is er steeds 1 mogelijk en 1 onmogelijk, dit onmogelijke punt kan hierdoor logisch uitgebrand worden. De formules voor berekening zijn als volgt:

$$x = \frac{d_1^2 - d_2^2 + (x_2 - x_1)}{2(x_2 - x_1)} + x_1$$

$$y = \sqrt{d_1^2 - x^2} \pm y_1$$

Met (x, y) de coördinaten van het onbekende punt, (x₁, y₁) en (x₂, y₁) de coördinaten van de geweten punten en d₁ en d₂ de bekende afstanden. („True-range multilateration”, 2022)

4.2 Hardware

Deze sectie zal de gebruikte hardwaretechnologieën toelichten, deze zijn RFID en BLE.

4.2.1 RFID

RFID, of voluit Radio Frequency IDentification, is een draadloos communicatie systeem dat gebruik maakt van elektromagnetische golven¹. Een typische RFID opstelling bestaat

¹Verder in dit document worden deze afgekort als EM golven

uit 3 delen, nl. een zender/ontvanger combinatie, ook transceiver genoemd, een antenne, en een transponder, ook wel RFID-tag genoemd.(Auxcis, 2022)(SICK, 2022) In essentie werkt dit als volgt: de transmitter laat de antenne een EM veld opwekken. Alle RFID-tags die zich in dit veld bevinden zullen dit registreren en zij zullen ook een veld opwekken. Dit zal op zijn beurt terug opgevangen worden door de antenne, waarna het zal doorgegeven worden aan de receiver. In essentie zal de transmitter een signaal uisturen, waarop alle RFID-tags binnen bereik zullen antwoorden, waarna dit antwoord terug zal belanden bij de receiver. De combinatie van de transceiver en de antenne wordt vaak een RFID lezer of reader genoemd, aangezien deze onderdelen steeds samen moeten werken en hardwarematig op 1 locatie zullen staan.(Amster, 2021) Deze transceiver is echter meestal niet gelimiteerd tot slechts 1 aangesloten antenne, afhankelijk van de gebruikte hardware kan deze ook 2 of 4 antennes aankoppelen. De data die de transceiver ontvangt van de RFID-tags kan vervolgens via diverse kanalen verzonden worden naar een computer of server die deze dan verder kan afhandelen.

Alhoewel alle onderdelen in de opstelling in vele verschillende gevuren en kleuren beschikbaar zijn, verschilt de functionaliteit bij de antenne en transceiver niet zozeer. De antennes kunnen verschillen in oppervlakte en vorm. Dit heeft invloed op de zone waaruit RFID-tags antwoorden zullen sturen. Een directieve patch antenne, ook wel vlakke antenne genoemd, stuurt voor zich uit en verwacht antwoorden van uit die richting, terwijl een staafvormige antenne rondom zich straalt maar niet naar zijn uiteinden. De vorm van antenne beïnvloedt ook de polarisatie van het EM veld, welke ook een invloed heeft op de RSSI. De keuze tussen deze verschillende mogelijkheden is duidelijk afhankelijk van het toepassingsgebied. Ook de zendsterkte kan variëren, maar deze is instelbaar (binnen grenzen bepaald door de transmitter). Echter blijven de voornaamste verschillen hiertoe beperkt. De RFID-tag daarentegen heeft veel meer fundamentele verschillen en types, welke ook een uitgebreide uitleg nodig hebben wil de lezer het komende onderzoek kunnen volgen.

De RFID-tag

Een RFID-tag, in zijn eenvoudigste vorm, bestaat uit 2 delen, nl. een IC of computerchip, en een antenne. Deze vorm wordt een passieve RFID-tag genoemd. Sommige tags beschikken ook over een interne batterij, deze actieve RFID-tags worden echter niet gebruikt tijdens dit onderzoek, en worden verder buiten beschouwing gelaten.(atlasrfidstore, 2022b)

De IC in de antenne is het brein van de chip. Natuurlijk heeft hij, door zijn kleine gestalte, niet veel functionaliteit. De chip bevat 4 memory banks (slots voor data), van variabele lengte (verschillende producenten produceren chips met verschillende groottes per dataslot). Deze slots zijn als volgt (Smiley, 2017):

- De EPC (Electronic Product Code), welke een code bevat die geplaatst is door de producent maar veranderbaar is door de gebruiker.
- De TID (Tag Identifier), welke een uniek, read-only tagnummer bevat.
- De User memory, waar de gebruiker data kan opslaan.
- De Reserved Memory bank, welke beveiligingsdata bevat voor het veranderen van de user memory.

Deze laatste 2 zullen ongebruikt blijven tijdens dit onderzoek aangezien de data in de chip niet belangrijk is, maar vooral de locatie en de identificatie van de chip.

Het 2e deel van de tag, de antenne, beslaat fysiek de grootste oppervlakte. De taak van dit onderdeel is de EM signalen, uitgezonden door de transmitter, op te vangen. Hierna wordt dit signaal gemoduleerd in functie van de opgeslagen data in de dataslots en wordt ze daarna teruggezonden. Aangezien deze tags niet over een interne batterij beschikken, kaatsen ze de energie van de transmitter terug (in een licht andere golflengte en ritme door het moduleren). Dit wordt backscattering genoemd. Door deze relatie is de signaalsterkte van de transmitter even verantwoordelijk voor de RSSI, als de afstand tussen de tag en de antenne.(atlasrfidstore, 2022a)

RSSI beïnvloedende factoren

In de voorgaande paragrafen zijn al enkele factoren opgesomd die de RSSI beïnvloeden, echter zijn dit niet de enige. Zo bestaat de zogenaamde SOAP: Size, Orientation, Angle en Placement.

- Size: De grootte van een tag, of specifieker van de antenne, is zeer belangrijk voor de RSSI die de receiver terug ontvangt. Hoe groter het antenneoppervlak, hoe meer energie van de originele golf wordt opgenomen, en hoe sterker het teruggezonden signaal zal zijn.
- Orientation en Angle: Deze 2 hangen grotendeels samen. Over het algemeen zal de opgenomen energie door de antenne, en de RSSI van de terugzending, het hoogst zijn als het EM veld recht op de antenne staat. Hoe meer van deze staat afgeweken wordt hoe minder de RSSI zal zijn. Het verdraaien van de tag zal een grote invloed hebben op de RSSI.
- Placement: Waar de tag (op) geplaatst wordt heeft ook een grote invloed. Allereerst heeft alles wat tussen de tag en de reader wordt geplaatst een negatieve invloed op de RSSI, dit kan gaan van stof (bv. een RFID toegangskaart in een broekzak) met een verwaarloosbare invloed, tot een ijzeren plaat, met zo'n grote invloed dat er quasi geen signaal meer door zal kunnen. Dit is een belangrijke beschouwing naargelang de use case. Verder is het zo dat RFID-tags die op een metalen oppervlakte of een waterhoudende container (water heeft ook een grote invloed) worden geplaatst (ook al hangen ze richting de antenne) een speciale isolerende plaklaag moeten hebben om interferentie te voorkomen.

Buiten deze voorgaande factoren zijn er nog enkele factoren die minder te beïnvloeden zijn, zoals tussenliggende kabels en andere hardware (zoals een multiplexer) tussen de antenne en de receiver. Elk onderdeel waar het signaal door moet heeft een invloed op de RSSI, ook al is deze meestal verwaarloosbaar klein.(Armstrong, 2013)

De oplettende lezer heeft al opgemerkt dat deze factoren een grote invloed kunnen hebben op de resultaten van dit onderzoek. Deze factoren zullen ofwel moeten worden gestandaardiseerd, ofwel worden onderzocht. Dit gebeurt in respectievelijk hoofdstukken 6 en 7.

4.2.2 BLE

BLE, of voluit Bluetooth Low Energy, is een opvolger van de klassieke Bluetooth (meer specifiek is het versie 4.0). Het is zoals zijn voorganger ook een standaard voor korte afstand datatransfer. Waarin het echter verschilt is dat het minder energie verbruikt, vandaar het low energy gedeelte van de naam. Het bereikt dit door lagere transfer snelheden, en het feit dat het data verzendt in korte packets, hierdoor kan de zender tussen de zendingen in slaapstand gaan. Dit in tegenstelling tot klassieke Bluetooth, die een blijvende connectie onderhoudt en nooit slaapt. Dit betekent dat BLE tot wel 100x minder energie kan verbruiken dan klassieke Bluetooth. (Nesbo, 2021)

In de context van dit onderzoek zal deze vorm van datatransfer gebruikt worden in een set-up die bestaat uit 2 delen (waarvan er van elk 1 of meerdere aanwezig zijn), nl. BLE beacons en IoT gateways.

De BLE beacon

BLE beacons zijn de devices die het feitelijke BLE signaal zullen versturen. Dit zijn actieve sensors, wat inhoudt dat ze beschikken over een interne batterij en dat ze, ongeacht wie of wat er luistert, berichten versturen, en dit met een bepaalde tijdsinterval. Deze intervallen zijn vrij kort en worden uitgedrukt in ms.(Adarsh, 2022) De berichten die verstuurd worden bevatten het UID van de beacon, alsook mogelijk diverse andere informatie. De informatie die verzonden wordt hangt echter af van het protocol welke gebruikt wordt. Momenteel zijn de 3 voornaamste protocollen op de markt de volgende:

- IBeacon: Chronologisch het eerst uitgekomen BLE hardware en transferprotocol. Uitgebracht door Apple in 2013.
- AltBeacon: Een open-source tegenhanger voor het iBeacon platform van Apple, uitgebracht in 2014.
- Eddystone: Het antwoord van Google op de BLE protocol markt, uitgebracht in 2015. Dit is het gebruikte protocol tijdens dit onderzoek en wordt verder in detail uiteengezet.

Hoewel deze protocols zijn uitgebracht door verschillende (rivaliserende) bedrijven, zijn ze allen beschikbaar voor zowel Android als IOS.(Smart, 2022)

Het aanbod beacons op de markt is vrij uitgebreid, en de meeste zijn ook samen bruikbaar in een systeem mits ze zijn ingesteld met hetzelfde protocol. Tegenwoordig beginnen sommige fabrikanten echter eigen protocollen uit te werken, welke in sommige situaties eventueel beter zouden werken maar deze worden hier buiten beschouwing gelaten aangezien dit risico's meebrengt naar uitbreiding van systemen toe. Dit onderzoek maakt daarom gebruik van een standaard protocol.

Aangezien deze beacons een batterij bevatten, is batterijduur ook een belangrijk aandachts-punt. Dit omdat dit een rechtstreekse invloed heeft op de onderhoudskost van systemen die vertrouwen op deze beacons. Deze duur wordt voornamelijk beïnvloed door de zend-frequentie en de grootte van de gestuurde berichten, ook kan het een optie zijn om een

tag met een grotere batterij te gebruiken, maar deze zijn groter en duurder. Dit heeft geen invloed op de performantie, maar wel op de kostprijs. De zendfrequentie kan echter niet zomaar worden verlaagd zonder invloed te hebben op de performantie, dit zal dus ook moeten worden onderzocht. Dit zal gebeuren in hoofdstuk 7.

Een IoT Gateway

Zoals de naam doet vermoeden is deze gateway niet specifiek voor BLE, maar is het een intelligente hub voor IoT toepassingen algemeen. Het is een device dat IoT devices kan verbinden met het internet en is in een IoT systeem onmisbaar. Een BLE beacon is echter ook een IoT device dit is een perfecte toepassing voor zo'n Gateway.(MultiTech, 2022) Een Gateway kan ook filteren en enige datamanipulatie doen, dit is nodig aangezien niet enkel de BLE beacons een signaal verzenden, maar zowat elk modern draadloos device dit doet. Zonder filtering zijn door het bos de bomen niet meer zichtbaar. Parallel aan dit feit wilt dit ook zeggen dat de meeste hedendaagse devices, zoals smartphones, tablets en pc's gebruikt kunnen worden als gateway of om BLE signalen op te vangen, door middel van een programma zoals nRF Connect.(Semiconductor, 2022).

Het Eddystone protocol

Zoals eerder vermeld is Eddystone het protocol welke gebruikt wordt voor de testen, en wordt hier verder in detail besproken. Eddystone is een BLE protocol ontworpen door Google en wordt onderhouden sinds 2015. Het bestaat uit berichten met 3 verschillende frame types. (Google, 2018)

- UID: Dit frame (frametype x00) is het frame voor de broadcasting van het unieke beacon ID, of UID. Het bevat ook een veld genaamd 'Tx Power at 0m', dit is bedoeld om de RSSI waarde op 0m van de beacon mee te geven. Dit kan voor sommige toepassingen belangrijk zijn aangezien de standaard RSSI verschilt tussen verschillende beacon types, en er ook de mogelijkheid bestaat om een offset aan deze RSSI in te stellen.
- URL: Dit frame (frametype x10) is bedoeld voor de broadcasting van een URL. Bij de ontwikkeling was het de bedoeling om notificaties met advertenties te laten zien op smartphones bij het voorbij wandelen van een BLE beacon via een bestemmings-URL verzonden via dit frame. Dit is echter nooit commercieel aangeslagen en Google ondersteunt deze functie niet meer sinds december 2018.(Estimote, 2018) Deze frames zijn echter niet geheel nutteloos aangezien de verzonden URL ingesteld kan worden en kan gebruikt worden om custom data door te sturen.
- TLM: TLM is kort voor Telemetry, dit frame (frametype x20) wordt gebruikt voor het verzenden van data over de beacon. Meer bepaald over de stand van de batterij, de temperatuur van de beacon, en het aantal verzonden berichten en verstrekken tijd sinds het in gebruik nemen. Eddystone is het enige protocol dat dit doet en dit is een van de voordelen van dit protocol. Het frametype x20 wordt ook nog voor andere berichten gebruikt die niet in het oorspronkelijke protocol zaten, zoals EID (Ephemeral IDentifier), welke gebruikt wordt voor beveiliging en encryptie.

4.3 Software

Deze sectie zal de voornaamste software die gebruikt zal worden tijdens het onderzoek toelichten.

ARTA

ARTA, of voluit Aucxis RFID Testing Application, is het custom testprogramma van Aucxis. Deze zal gebruikt worden voor het testen van de RFID opstellingen, en het visualiseren van de data.

RabbitMQ

RabbitMQ is een Open source message broker. Het is een programma dat berichten binnenkrijgt, deze in een lijst steekt, waarna een gebruiker dit bericht kan afhalen. In praktijk zal dit gebruikt worden bij de BLE opstellingen om de BLE berichten van die verkregen worden door de IoT gateway gebundeld door te sturen naar een bepaald adres op het web via het MQTT protocol, waar deze dan zichtbaar zijn voor onderzoek.(RabbitMQ, 2022)

MQTT Explorer

MQTT Explorer is een programma voor het accepteren en visualiseren van berichten verstuurd over MQTT, deze zal gebruikt worden om de berichten verstuurd door RabbitMQ op te vangen zodat ze zichtbaar zijn voor visualisatie.(Nordquist, 2019)

5. Opstellingen

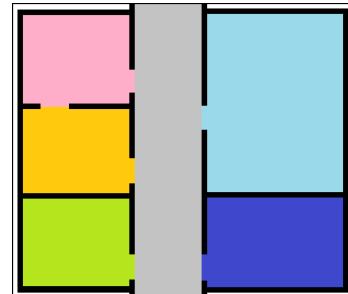
In dit hoofdstuk worden de 12 verschillende opstellingen die in Hoofdstuk 7 onderzocht worden opgelijsjt. Hieraan toegevoegd is een ruwe schets van het concept van deze opstelling en een korte uitleg over hoe deze opstelling theoretisch zou moeten werken. Verder worden ook de eventuele theoretische voor- en nadelen gegeven. Ook is het een analyse van de opstellingen vanuit de theoretische achtergrond opgedaan in Hoofdstuk 4. De verschillende opstellingen zullen onderverdeeld worden per categorie, allereerst op technologie, maar verder ook volgens het statische of het dynamische principe. Deze laatste onderverdeling houdt als volgt in:

- Statisch: In een statische opstelling wordt elk voorwerp gekenmerkt door 1 RFID Tag of BLE beacon, en de locatie waarop deze zich bevindt wordt gekenmerkt door een bepaald aantal readers (RFID-antennes of IoT Gateways), die de signalen van deze voorwerpen opvangen. Aan de hand van deze data wordt de locatie idealiter bekend.
- Dynamisch: Bij een dynamische opstelling worden zowel de voorwerpen als de locaties gedefinieerd door RFID tags of BLE beacons. Hierbij is het concept dat de readers (RFID-antennes of IoT Gateways) zich verplaatsen in het gebouw. De info die hieruit vloeit zal verder geaggregeerd worden en daaruit zullen de locaties van de voorwerpen bepaald worden. Dit systeem is minder real-time dan een statische opstelling aangezien de locatiedata niet meteen na het meten beschikbaar is, maar er eerst op een groot aantal meetpunten een berekening moet gebeuren. Ook is het zo dat, door het feit dat de reader rondgaat, niet elk voorwerp op elk moment 'zichtbaar' is voor de reader, en een verplaatsing maar kan worden opgemerkt als de reader voorbij de nieuwe locatie van het voorwerp komt. Echter is het wel kostendrukkend aangezien een reader veel meer kost dan een tag of beacon, met een kostenvoordeel tot gevolg als hun aantal kan geminimaliseerd worden. In theorie kunnen deze

readers overal rondgaan, wat voor een RFID opstelling ook zo zal zijn. Echter is er, in samenspraak met Aucxis en het in beschouwing nemen van hun noden, beslist dat de IoT Gateways voor de BLE scenario's enkel in de gang tussen de locaties zullen rondgaan.

De Illustratie

Elk van volgende opstellingen maakt gebruik van een bijhorende figuur, gebaseerd op figuur 5.1. Dit is een schematische weergave van een systeem dat opgebouwd is volgens de te onderzoeken opstelling. Ze heeft als doel hulp te bieden bij het begrijpen van de opstelling en de definiëring van locaties, maar is de testopstelling tijdens het onderzoek. Ook is hier elke logische locatie een kamer, maar dit is in praktijk niet noodzakelijk het geval (Een magazijn kan bv. opgedeeld zijn in meerdere zones zonder muren). Op figuur 5.1 is de opbouw van de voorbeeldschets te zien, ze bestaat uit 5 locaties (weergegeven in kleur), en een gang (weergegeven in grijs). De gang is geen locatie, en is de plek waardoor de IoT gateway zich zal verplaatsen tijdens een dynamische BLE opstelling.



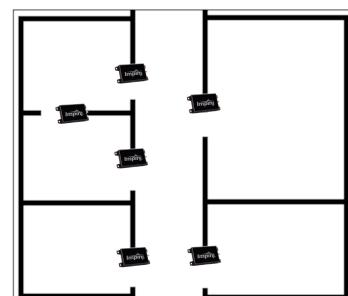
Figuur 5.1: Basisillustratie opstelling

5.1 De RFID opstellingen

5.1.1 Statisch

1 antenne aan deurlijst

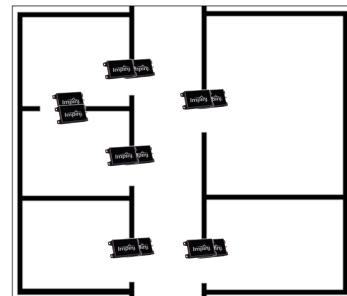
Deze opstelling is de eenvoudigste en is 1 van de opstellingen die momenteel wordt gebruikt door Aucxis, ze is voornamelijk opgenomen in dit onderzoek ter referentie. Het concept bij deze opstelling is dat aan elke deurlijst 1 RFID antenne hangt. Als er een tag voorbij de antenne komt registreert deze dit is er een beweging gedetecteerd. Of deze in of uit de locatie is kan niet uit deze data alleen afgeleid worden, dit kan enkel in combinatie met de informatie wat zijn locatie was voor de verplaatsing. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.2.



Figuur 5.2: Illustratie 1 antenne aan deurlijst

2 antennes aan deurlijst

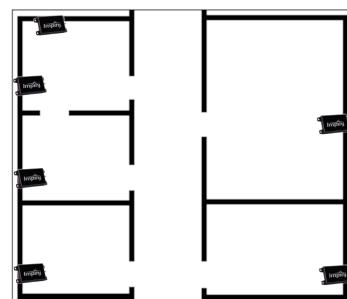
Ook dit is 1 van de opstellingen die momenteel wordt gebruikt door Aucxis en is ook voornamelijk een referentiepunt. Het principe is hetzelfde als bij de vorige opstelling, echter is het voordeel hier dat de richting van de verplaatsing wel bekend is, dit aan de hand van het tijdsverschil tussen de detecties van de tag. In dit opzicht is het beter dan de vorige opstelling, maar is uiteraard duurder door de hogere aantallen benodigde antennes en de extra benodigde poorten in de transceivers. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.3.



Figuur 5.3: Illustratie 2 antennes aan deurlijst

1 antenne tegenover deur

Bij deze opstelling wordt een RFID antenne tegenover de deur geplaatst. Het idee hierachter is het feit dat, aangezien de RSSI afhankelijk is van de afstand tussen de antenne en de tag, het in theorie zichtbaar is aan de verandering in RSSI in welke richting de tag gaat. Ook geeft de antenne een doppler waarde mee, die in theorie ook verandert naargelang de richting. Als dit in praktijk blijkt te werken wil dit zeggen dat er richtingsdetectie mogelijk is met 1 antenne, waardoor het sowieso al beter is dan de vorige 2 opstellingen. De verwachting is wel dat de kamer niet te breed mag zijn, zodat de antenne van de gemonteerde antenne tot de deur niet te groot is. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.4.

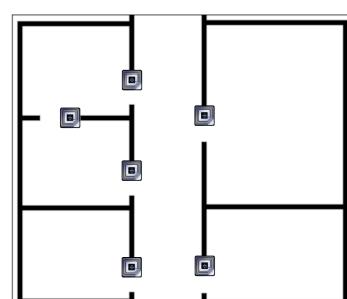


Figuur 5.4: Illustratie 1 antenne tegenover deur

5.1.2 Dynamisch

1 tag aan deurlijst

Hier hangt een RFID-tag aan de deurlijst (analoog aan de antenne bij de eerste statische opstelling). Als de antenne passeert aan de deur weet het aggregatieprogramma in theorie dat alle tags tussen nu en het voorbijkomen van deze of een andere locatie tag tot deze locatie behoren. Om dit te kunnen weten is ook een opsplitsing in de RFID-tags nodig, nl. of het een locatie of een asset tag is. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.5.



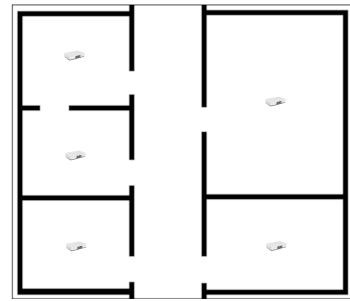
Figuur 5.5: Illustratie 1 tag aan deurlijst

5.2 De BLE opstellingen

5.2.1 Statisch

1 gateway per locatie

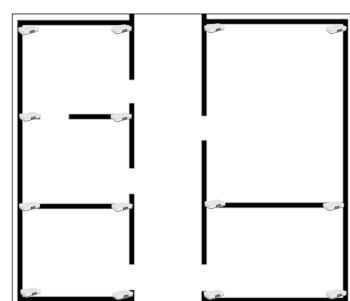
Deze opstelling is de eenvoudigste en meest intuïtieve van de BLE opstellingen. Elke locatie komt overeen met 1 IoT Gateway, die gepositioneerd wordt in het middelpunt van de locatie. Het idee hierachter is dat de Gateway waar de beacon zich het dichtste bij bevindt, en de hoogste RSSI waarde heeft, de locatie is waar het voorwerp zich bevindt. Echter is de verwachting dat dit niet volledig zal kloppen en dat er hier zeker onnauwkeurigheden zullen ontstaan, specifiek als de locaties niet evenredig verdeeld zijn over het gebouw. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.6.



Figuur 5.6: Illustratie 1 gateway per locatie

Meerdere gateways per locatie

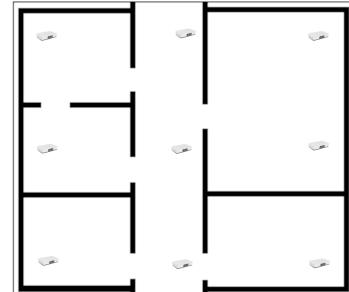
In deze opstelling wordt een locatie gedefinieerd door meer dan 1 gateway, nl. een gateway per hoek van de locatie, zodat de locatie wordt omringd door een kader van gateways. Het idee hierbij is dat er aan de data kan afgeleid worden of de beacon zich al dan niet in het vak tussen de gateways bevindt, dit door een principe van hoogste som van RSSI-waarden. Echter zal de kost voor de opstelling vrij snel de hoogte in vliegen als er veel locaties zijn. Wel kunnen gedeelde hoeken van locaties door een gedeelde beacon worden bezet, wat ook zo zal zijn in de testopstellingen. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.7.



Figuur 5.7: Illustratie meerdere gateways per locatie

Gateways in rasteropstelling

Deze opstelling bestaat uit een raster welke volledig het gebouw omvat. Als de locaties van deze gateways bekend zijn, kan via trilateratie¹ met de gemeten RSSI waardes berekend worden waar de voorwerpen zich bevinden, wat dan gelinkt kan worden aan een locatie. De verwachting is dat hiermee de locatie vrij specifiek kan worden bepaald, maar nadelig is wel dat er meer data zal moeten bijgehouden worden, zoals definities van de locaties in het raster etc. Daardoor kan er niet enkel op data van de gateways worden afgegaan om de locatie te bepalen aangezien in de opstelling de gateways en de locaties niks met elkaar te maken hebben. Deze opstelling lijkt wel meer en eenvoudiger opschaalbaar naar grotere gebouwen of gebouwen met veel dicht bij elkaar liggende locaties. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.8.



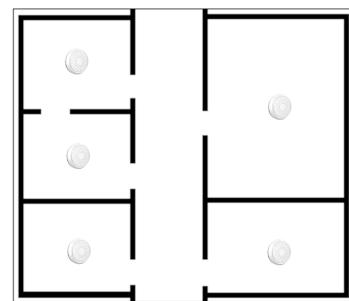
Figuur 5.8: Illustratie gateways in rasteropstelling

5.2.2 Dynamisch

Bij elk van volgende opstellingen zal een onderscheid gemaakt worden in de BLE beacons, nl. de locatie- en de assetbeacons.

1 locatiebeacon per locatie, midden van locatie

In deze opstelling bevinden de locatiebeacons zich in het midden van de locatie die ze vertegenwoordigen, voor de categorisatie zal uitgegaan worden van het tijdstip van hoogte RSSI. Aangezien de gateway zich enkel in de tussenliggende gang verplaatst, zal het tijdstip waarop de gateway de hoogste RSSI waarde meet het tijdstip zijn waarop deze het dichtste bij de beacon in de buurt is. Hierna kunnen op basis van dicht bij elkaar liggende tijdstippen de assetbeacons toegewezen worden aan een locatie. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.9.

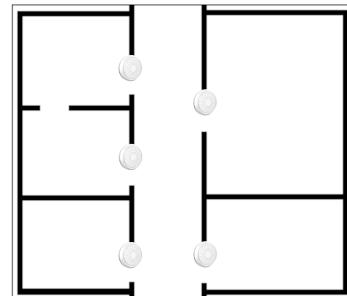


Figuur 5.9: Illustratie 1 beacon per locatie, midden van locatie

¹Zie sectie 4.1 op pagina 21

1 locatiebeacon per locatie, aan deur

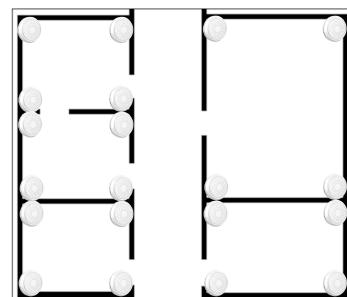
Deze opstelling is qua concept gelijkaardig aan de vorige, het verschil is dat bij deze opstelling de locatiebeacons zich bevinden aan de deur van de locatie/tussen de locatie en de gang. De hypothese is dat hierdoor de mobiele gateway in de gang deze beacon beter kan detecteren, en zijn locatie in de gang beter kan bepalen. Ook is er hier geen beacon aanwezig op de overgang tussen 2 locaties die niet via de gang verloopt, aangezien de mobiele gateway hier niet komt. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.10.



Figuur 5.10: Illustratie 1 beacon per locatie, aan deur

Meerdere locatiebeacons per locatie

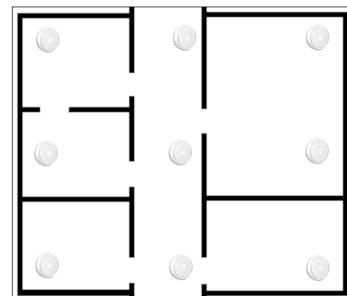
Dit is de dynamische tegenhanger van het 2e statische scenario, echter wordt in dit geval de locatie omringd door locatiebeacons. Hier is het principe dat, als een assetbeacon vanuit verschillende locaties in dezelfde range van RSSI valt als de locatiebeacons van een bepaalde locatie, hij zich waarschijnlijk ook op die locatie zal bevinden. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.11.



Figuur 5.11: Illustratie meerdere locatiebeacons per locatie

Locatiebeacons in rasteropstelling

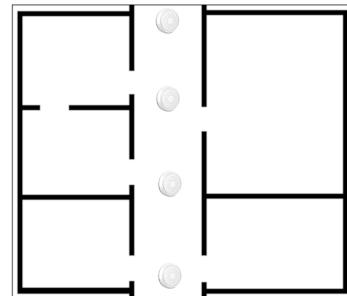
Dit is de dynamische tegenhanger van het 3e statische scenario, nl. een raster van locatiebeacons. In theorie kunnen hierbij de locaties van de assetbeacons bepaald worden door dubbele trilateratie. De locatie van de mobiele gateway kan bepaald worden op 2 meetpunten a.d.h.v. de geweten locatie van de locatiebeacons en uit deze 2 locaties kan dan nog eens via trilateratie de locatie van de assetbeacons worden bepaald. Het vermoeden bestaat echter dat dit eventuele onnauwkeurigheden bij de eerste trilateratie kan vergroten door een 2e toe te passen. Verder wordt er ook verondersteld dat het asset niet beweegt tussen deze gebruikte meetpunten, maar dit is bij uitbreiding voor elke dynamische opstelling zo. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.12.



Figuur 5.12: Illustratie beacons in rasteropstelling

Locatiebeacons op intervallen in de gang

Bij deze laatste opstelling worden er geen beacons in de locaties geplaatst, maar in de gang. Op deze manier worden de locaties en locatiebeacons 'ontkoppeld' en is er niet meer voor elke locatie een beacon nodig, wat kosten-drukkend kan zijn. Deze locatiebeacons bevinden zich op constante intervallen van elkaar. In theorie weet de mobiele gateway hieraan waar hij zich bevindt in de gang, als er geweten is op welke 'afstand' in de gang welke locatie zich bevindt kan er bepaald worden welke assetbeacons zich op welke locatie bevinden. Hier is ook een gelijkaardig nadeel als bij de rasteropstellingen, nl. dat er meer data nodig is voor de lokalisatie die niet van de beacons komt. Deze opstelling staat geïllustreerd op figuur 5.13.



Figuur 5.13: Illustratie beacons op intervallen in de gang

5.3 Fundamentele verschillen

Tussen opstellingen gebaseerd op RFID en op BLE zijn enkele fundamentele verschillen. Deze volgen voornamelijk uit het feit dat RFID een passieve technologie, en BLE een actieve technologie is. Allereerst is het zo dat BLE beacons, door hun batterij, meer onderhoud vragen dan RFID tags, aangezien het mogelijk is dat de batterij moet worden vervangen. Verder is er een verschil op kostprijs: bij RFID is de infrastructuur duur, maar de tags zeer goedkoop. Het is dus zeer goedkoop om, als de infrastructuur aanwezig is, meer getagde assets toe te voegen. Bij BLE liggen kostprijzen van gateways en beacons niet veel grootteordes uit elkaar, waardoor een systeem met BLE uitrollen relatief goedkoop is, maar meer getagde assets toevoegen nog steeds een significante kostprijs heeft². Als laatste is BLE fundamenteel beter voor het lokaliseren van assets, omdat elke beacon continu stuurt. Hierdoor wordt elk getagd asset in elk geval 'gezien' door het systeem en is het snel duidelijk als iets verdwijnt of verplaatst wordt. Bij RFID moet de verplaatsing gebeuren door een doorgang met een reader, anders wordt deze niet geregistreerd. Voor een systeem dat hiermee werkt is de asset nog steeds op zijn vorige locatie terwijl dit niet correct is, bij BLE is het snel duidelijk als een asset verplaatst of weg is want dan wordt hij elders of niet meer gedetecteerd.

²In hoofdstuk 6 worden de prijzen specifieker beschreven.

6. Methodologie

Het hoofddoel, namelijk het bepalen van een optimale hardwareopstelling, zal in eerste instantie opgedeeld worden in enkele deelonderzoeken, 1 deelonderzoek per hardwareopstelling. Elk deelonderzoek zal verder onderverdeeld worden in een deelhypothese, enkele tests, en een deelconclusie. Deze deelconclusie zal een vergelijking zijn tussen de hypothese en de eigenlijke uitkomst, een opsomming van de eventuele voor- en nadelen, een maat voor het aantal correct gelokaliseerde assets en een uiteenzetting over de factoren die al dan niet aanwezig moeten zijn om het principe acceptabel te maken. Ten slotte zullen de deelconclusies vergeleken worden en zal er een algemene conclusie bepaald worden in Hoofdstuk 8. De onderzochte opstellingen, 12 in totaal, zijn hoogstwaarschijnlijk niet alle mogelijke manieren waarop de onderzoeksopzet, namelijk het lokaliseren van assets en het registreren van verplaatsingen, kan gebeuren. De bepaling van deze verzameling opstellingen is het resultaat van een overleg met Aucxis. Daar is bepaald welke opstellingen het meest kans hebben om te werken, en het interessantst zijn om onderzocht te zien. Voor de oplijsting van deze opstellingen, samen met een korte theoretische achtergrond wordt de lezer verwezen naar Hoofdstuk 5.

Voordat er experimenten kunnen gebeuren is het belangrijk een oplijsting te maken van enkele constanten doorheen het onderzoek. Voornamelijk op het vlak van de gebruikte hardware en de standaardinstellingen waarmee dit onderzoek zal gebeuren. Deze constanten zijn geldig gedurende het volledige onderzoek, tenzij anders aangegeven. Ook wordt een ruwe prijskaart aan de onderdelen gehangen, om een vergelijking te kunnen maken tussen de hardwareprijzen per opstelling in Hoofdstuk 8. Deze prijzen zijn gebaseerd op de grootteordes van de gangbare prijzen tijdens het schrijven van dit onderzoek en kunnen onderhevig zijn aan veranderingen. Ook zullen ze over het algemeen lager liggen voor installerende bedrijven, die eventueel kunnen genieten van bulkkortingen. Ze zijn enkel bedoeld als vergelijkende waarde en dienen met een korrel zout genomen te worden.

6.1 RFID

Voor de RFID opstellingen wordt gebruik gemaakt van vlakke, wide beam KEONN Advantenna-p11 antennes. Deze stralen voor zich uit met een relatief wijd veld van 90° volgens zowel de x- als y-as (*Advantenna-p11™RFID UHF wide beam antenna*, g.d.). Deze zijn ideaal om te bepalen of er een tag de antenne voorbij komt. Als transceiver wordt een 4-port IMPINJ Speedway Revolution gebruikt, deze maakt het mogelijk om 4 antennes tegelijk aan te sluiten. De gebruikte tags zijn standaard RFID tags van 9 x 1.5cm, met 1 antenne in 1 richting en worden geplaatst op een plastic ondergrond. Verder zenden de antennes een EM veld uit met Tx = 20dB. De resultaten van de test worden opgevangen en gevisualiseerd met ARTA¹.

Kostprijs

- KEONN Advantenna-p11 ≈ €50 (theRFIDstore, 2022a)
- IMPINJ Speedway Revolution ≈ €1350 (2-port) - €1700 (4-port) (theRFIDstore, 2022b)
- RFID-tags ≈ enkele centen tot enkele euro's per stuk, afhankelijk van de soort en grootte. Voor de tags in dit onderzoek enkele centen. (LogisCenter, 2022)

6.2 BLE

In de BLE opstellingen wordt gebruik gemaakt van MIKROTIK Knot IoT Gateways, welke hun data over de waargenomen BLE beacons elke 30s (Statische opstellingen) of 1s (Dynamische opstellingen) zullen doorsturen via een MQTT queue naar een custom tussenprogramma. Deze data bevat per beacon het gemiddelde van de ontvangen RSSI waarden uit deze periode, alsook het aantal ontvangen berichten en de maximaal ontvangen RSSI waarde. Deze ontvangen data zal door het tussenprogramma worden geëxporteerd naar een .xlsx bestand, waarna het kan geanalyseerd en gevisualiseerd worden. Er zullen MOKOSMART H5 en M2 beacons gebruikt worden, welke zullen benoemd worden per experiment. Deze staan ingesteld op een Tx Power van -12dB.

Kostprijs

- MIKROTIK Knot ≈ €100 (Mikrotik, 2020)
- MOKOSMART beacon ≈ €10 (MarCom, 2021)

¹Zie Sectie 4.3 op pagina 27

7. Testen

In dit hoofdstuk zullen de uitgevoerde experimenten en testen uiteengezet en besproken worden, volgens de richtlijnen aangehaald in Hoofdstuk 6. Ze zullen gesorteerd staan volgens opstelling en gerangschikt in dezelfde volgorde als in Hoofdstuk 5.

7.1 RFID

Voor elk van volgende testen bestaat data over zowel de RSSI als het relatieve faseverschil. Het verloop van het relatieve faseverschil is gelijkaardig aan de RSSI, aangezien beide afhankelijk zijn van de afstand tussen de antenne en de tag. Alhoewel de grafieken van het relatieve faseverschil veelal een mooier verloop hebben, is er gekozen de conclusies van volgende testen te nemen op basis van de RSSI grafieken. Dit aangezien de relatieve fase een berekende waarde is, berekend uit het absolute faseverschil. Deze berekening is echter niet in alle gevallen volledig correct, waardoor er onvoorziene fenomenen zouden kunnen optreden in algoritmes gebaseerd op deze data. Echter is het in theorie mogelijk dezelfde conclusies te bekomen gebaseerd op de (correcte) relatieve fasedata. Verder is er bij alle statische testen data over de in en de uit richting van de locatie, hiervan zal slechts 1 worden getoond aangezien beide richtingen dezelfde info verschaffen. Alle volgende grafieken zijn gegenereerd door ARTA¹, waarin het helaas niet mogelijk is om een as te labelen. In alle RSSI grafieken vertegenwoordigt de x-as te tijd (in seconden) en de y-as de RSSI waarde (in dBm).

¹Zie Sectie 4.3 op pagina 27

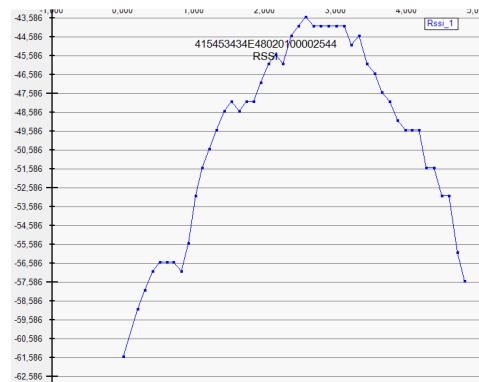
7.1.1 1 antenne aan deurlijst

Deelhypothese

Deze opstelling kan het voorbijkomen van een getagd asset waarnemen.

Test: PoC

Deze eerste en enige test voor deze opstelling is een proof of concept test. Hier wordt nagegaan of en hoe een voorbijkomende tag geregistreerd wordt. Voor de opstelling is 1 antenne gebruikt die vlak aan een deurkader is bevestigd. De tag komt vervolgens door het deurgat op een afstand van 30 cm van de antenne voorbij, dit in een horizontale positie in een evenwijdig vlak aan de antenne.



De grafiek in figuur 7.1 toont het resultaat van deze test. Hier is zichtbaar dat de reader een voorbijkomende tag registreert, en dit als een piek in de RSSI waarde.

Figuur 7.1: 1 antenne aan deurlijst - Testresultaat

Deelconclusie

Uit deze test is duidelijk dat een voorbijkomende tag, en bij uitbreiding een getagd asset, die de locatie binnentreedt, waargenomen wordt. De deelhypothese is aangenomen. Buiten deze simpele registratietest is er ook nood aan het testen van de invloed van de oriëntatie en afstand van de tag tegenover de antenne. Deze fenomenen gelden ook voor een opstelling met 2 antennes, en worden bijgevolg onderzocht in de respectievelijke testen in sectie 7.1.2.

7.1.2 2 antennes aan deurlijst

Deelhypothese

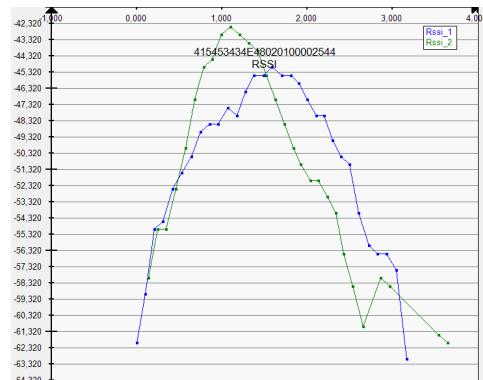
Deze opstelling kan het voorbijkomen en de richting van een getagd asset waarnemen, genomen dat de afstand tussen de tag en de antenne voldoende klein is.

Test 1: Oriëntatie van de tag

In deze eerste test wordt de invloed van de oriëntatie van de tag tegenover de antennes bepaald, aangezien deze oriëntatie in theorie een invloed heeft op de gemeten RSSI waarde². De opstelling voor deze test is als volgt: Tegen een deurlijst zijn 2 antennes naast elkaar geplaatst. Bij het binnengaan wordt eerst antenne 1, en daarna antenne 2 gepasseerd. Er worden 4 oriëntaties onderzocht, nl. horizontaal (a) en verticaal (b) in een evenwijdig vlak aan de antennes, en horizontaal (c) en verticaal (d) loodrecht op het vlak van de antennes. Deze tag komt door het deurgat op een afstand van 30 cm van de antennes voorbij. In theorie zouden a en b ruwweg dezelfde resultaten moeten geven, terwijl c en d een lagere RSSI zouden moeten geven. Echter zou de voorbij komst van de tags in elk geval detecteerbaar moeten zijn.

a) Horizontaal in antennevlak

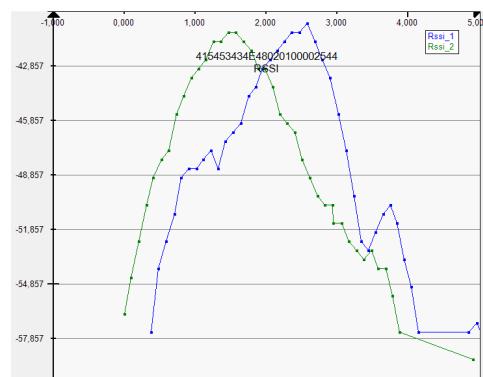
De grafiek in figuur 7.2 toont het resultaat van deze deeltest, in de uitgaande richting. Er is duidelijk een opeenvolging van pieken zichtbaar. Dit met volgorde 2 (groen) -> 1 (blauw), wat inderdaad betekent dat de tag uit de locatie gaat. De detectie is geslaagd. De piekhoogtes zijn niet gelijk, ondanks dat de antennes hetzelfde type zijn. Dit is kalibreerbaar maar zoals zichtbaar is dit niet nodig voor een toepassing als deze.



Figuur 7.2: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1a

b) Verticaal in antennevlak

De grafiek in figuur 7.3 toont het resultaat van deze deeltest, in de uitgaande richting. Ze is vrij gelijkaardig aan de vorige, wat theoretisch ook zou moeten. Er zijn duidelijk 2 pieken zichtbaar, in de juiste volgorde volgens de tag die uit de locatie gaat. Ook is de RSSI gelijkaardig (rond de -40 à -45 dBm).

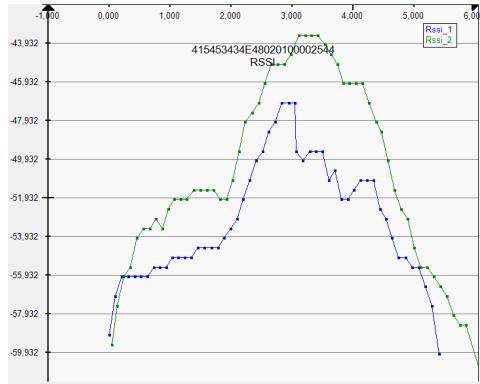


Figuur 7.3: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1b

²Zie 'RSSI beïnvloedende factoren' in Sectie 4.2.1 op pagina 22

c) Horizontaal loodrecht op antennevlak

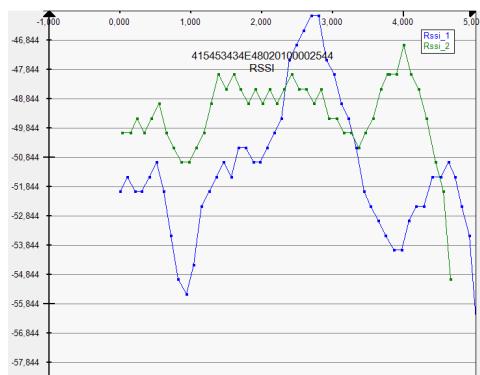
De grafiek in figuur 7.4 toont het resultaat van deze deeltest, in de binnengedraaide richting. De toppen zijn nog steeds duidelijk zichtbaar, en ze staan in de correcte richting, maar de top is iets minder duidelijk afgelijnd en meer uitgerokken. Ditzelfde fenomeen is ook zichtbaar in de uitrichting. Ook liggen de toppen iets lager dan de toppen in de vorige 2 deeltests.



Figuur 7.4: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1c

d) Verticaal loodrecht op antennevlak

De grafiek in figuur 7.5 toont het resultaat van deze deeltest, in de binnengedraaide richting. Hier is het fenomeen van meer uitgerokken toppen nog beter zichtbaar. De uit richting vertoont wederom hetzelfde patroon. Deze deeltest ligt in lijn met de vorige, maar nog opvallender.



Figuur 7.5: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 1d

Testconclusie

Zoals verwacht is de detectie van de tag en de richting ervan goed zichtbaar en in elk geval correct gemeten. Ook is de meetkwaliteit minder als de tags niet in het vlak van de antenne liggen, daarom lijkt het aanbevolen dit zo veel mogelijk te vermijden.

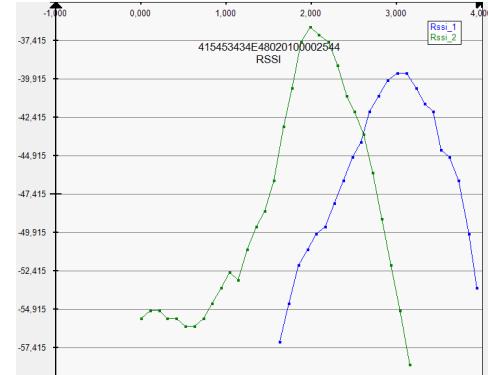
Test 2: Afstand tussen tag en antennes

In deze test wordt de invloed van de afstand tussen de tag en de antennes gemeten, in theorie zou de RSSI van de piek lager moeten zijn als de tag verder van de antenne voorbij komt. Ook zouden, door de conische vorm van het meetveld van de vlakke antenne³, de pieken meer moeten overlappen. De testopstelling is idem aan Test 1. De oriëntatie van de tag is constant gehouden op horizontaal in hetzelfde vlak als de antennes, en de richting is

³Zie Sectie 6.1 op pagina 38

uitgaand. De gemeten afstanden zijn 5cm (zeer dicht) en 100cm (zeer ver). Deze resultaten worden vergeleken met de resultaten van Test 1a, aangezien dit dezelfde opstelling betreft, op 30 cm afstand.

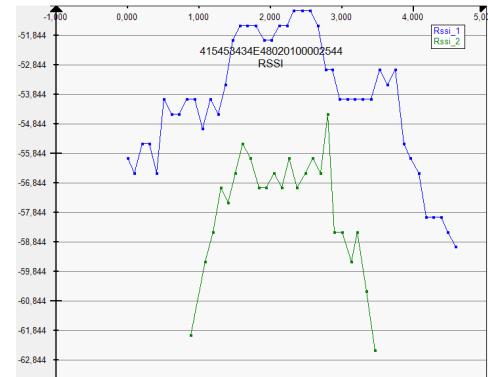
a) 5cm



Op de grafiek in figuur 7.6 is het verwachte resultaat te zien, 2 duidelijke pieken die licht verder uit elkaar liggen, en een hogere RSSI waarde hebben.

Figuur 7.6: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 2a

b) 100cm



De grafiek in figuur 7.7 toont het resultaat van deze deeltest, en is interessanter dan de vorige. Het vermoeden dat de piek minder duidelijk ging zijn en ging overlappen is bevestigd. Uit deze meting kan niet meer afgeleid worden in welke richting de tag voorbij de antennes komt. Ook ligt de RSSI waarde beduidend lager.

Figuur 7.7: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 2b

Testconclusie

Er bestaat duidelijk een bepaalde restrictie op de afstand waarmee de tag de antennes kan voorbijkomen om een goede richtingsdetectie te hebben.

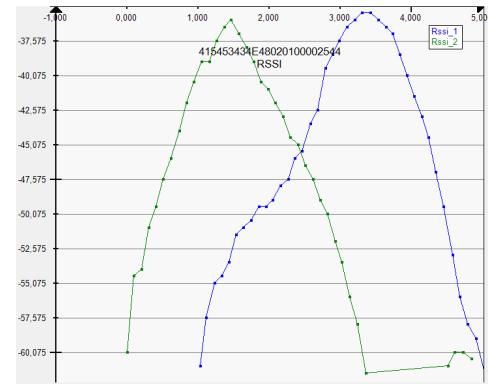
Test 3: Afstand tussen de 2 antennes

Aangezien de reden van de overlappende pieken in test 2 het feit is dat het conische bereik van de 2 antennes elkaar te veel overlapt, is het logisch dat dit effect zal verminderen als deze 2 antennes verder van elkaar geplaatst worden. Dit zal getest worden in deze 3e test.

De opstelling is identiek aan deze in test 2, met als enige verschil dat de 2 antennes 20cm uit elkaar geplaatst zijn.

a) 5cm

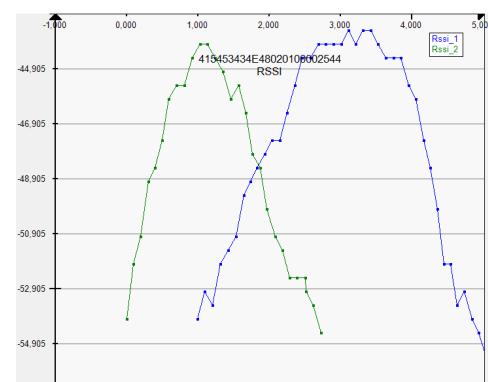
De grafiek in figuur 7.8 toont het resultaat van deze deeltest. Deze toont wederom 2 mooie pieken, deze keer iets verder uit elkaar liggend door de afstand tussen de antennes, en dit met een hoge RSSI waarde.



Figuur 7.8: 2 antennes aan deurlijst -
Testresultaat 3a

b) 30cm

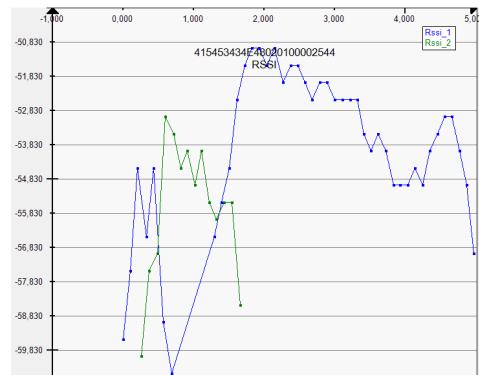
De grafiek in figuur 7.9 toont het resultaat van deze deeltest. Ze vertoont een gelijkaardig beeld aan de vorige, enkel licht meer uitgerokken en met een lagere RSSI waarde dan bij 5 cm.



Figuur 7.9: 2 antennes aan deurlijst -
Testresultaat 3b

c) 100cm

Dit resultaat, zichtbaar in de grafiek in figuur 7.10, is de voornaamste van deze test. Er is zoals bij test 2 te zien dat de pieken weer hard zijn uitgerokken, maar door de extra afstand tussen de antennes is de volgorde wel weer zichtbaar.



Figuur 7.10: 2 antennes aan deurlijst - Testresultaat 3c

Testconclusie

Het blijkt inderdaad correct dat het verder uit elkaar plaatsen van de antennes een positief effect heeft op het uit elkaar trekken van de pieken van de RSSI curves. Hieruit blijkt dat extra afstand tussen de antennes nuttig is voor richtingsdetectie als de tags op grotere afstand voorbij komen.

Deelconclusie

Deze opstelling slaagt er inderdaad in om een voorbijkomende tag en zijn richting te registreren, mits de afstand beperkt is. De deelhypothese is aangenomen. Er kan echter wel aan toegevoegd worden dat, als de afstand niet meer voldoende klein is, de afstand tussen de antennes kan vergroot worden. Dit is in een reële situatie echter niet praktisch aangezien een deur meestal een beperkte breedte heeft. Voor een standaard deur zal dit geen probleem zijn aangezien de maximale afstand in een deur ook beperkt is, maar voor bv. een poortdoorgang kan dit wel problemen opleveren. In een gang met een quasi onbeperkte beschikbare breedte is dit wel mogelijk.

7.1.3 1 antenne tegenover deur

Deelhypothese

Deze opstelling kan het voorbijkomen en de richting van een getagged asset waarnemen, genomen dat de afstand tussen de antenne en de deur voldoende klein is.

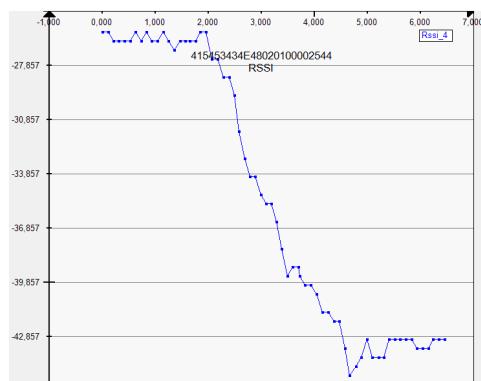
Test 1: PoC

Deze eerste test bestaat uit een proof of concept, hierin wordt getest of het op zijn minst mogelijk is om de richting van de bewegende tag te bepalen uit de gemeten data. Voor de

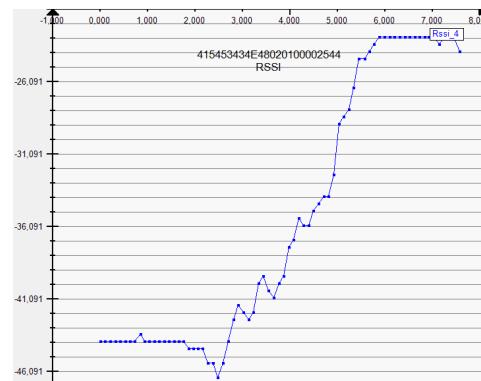
testopstelling is een antenne geplaatst tegen een muur. Voor deze muur bevindt zich een kar met een tag op (horizontaal in het vlak evenwijdig aan de antenne). Deze kar wordt weg van en naar de antenne toe gerold.

Resultaat

De grafieken in figuren 7.11 en 7.12 tonen de verandering in RSSI in beide richtingen. Dit met het rollen van de kar weg van de antenne links, en naar de antenne toe rechts. In deze grafieken is deze richting zeer mooi zichtbaar, de RSSI verlaagt als de kar wegrolt, en verhoogt als deze naar de antenne toe rolt.



Figuur 7.11: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 1 uit



Figuur 7.12: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 1 in

Testconclusie

Uit deze resultaten is de rijrichting van de kar zeer mooi afleidbaar, mits ze op de lijn voor de antenne rijdt.

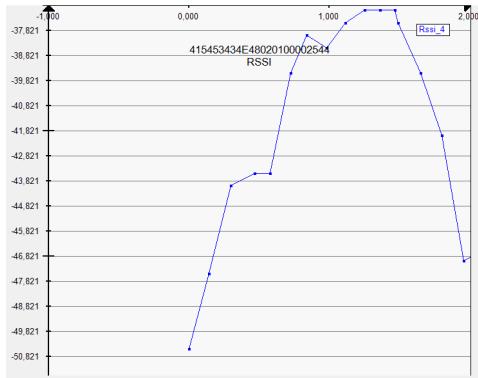
Test 2: Variabele afstand tot deur

In deze test wordt de opstelling realistischer gemaakt. Bij deze test staat de antenne op respectievelijk 100 en 200 cm afstand van de deur. Vervolgens rijdt de met RFID tag voorziene kar uit test 1 door de deur. Dit direct de hoek om, zowel in als uit de kamer.

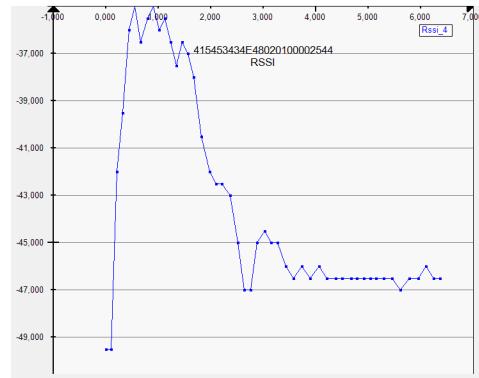
a) 100cm

In de grafieken in figuren 7.13 en 7.14 is het binnengaan (links) en het verlaten (rechts) van de locatie te zien. Het is meteen duidelijk dat de rijrichting in dit scenario veel minder duidelijk af te leiden is dan bij de vorige test. Vermoedelijk is de 'staart' die niet in de meting past (rechts aanhangsel bij inwaarts en links bij uitwaarts) het gevolg van het feit dat de kar op dat moment 90° gedraaid in de kamer aanwezig is, resp. na en voor de draaibeweging door de deur. Op dit moment bevindt de tag zich in het leesveld van de antenne, maar niet meer in een evenwijdig vlak. Deze onderlinge oriëntatie zorgt

voor een slechtere RSSI waarde, zoals aangetoond tijdens test 1 in sectie 7.1.2. Voor de duidelijkheid van de 'uit' meting is dit niet zo zeer een probleem, maar wel voor de 'in' meting.



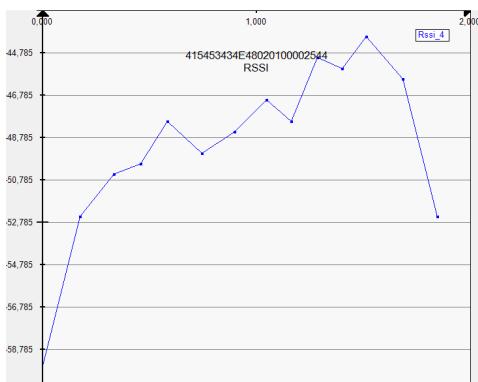
Figuur 7.13: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 2a in



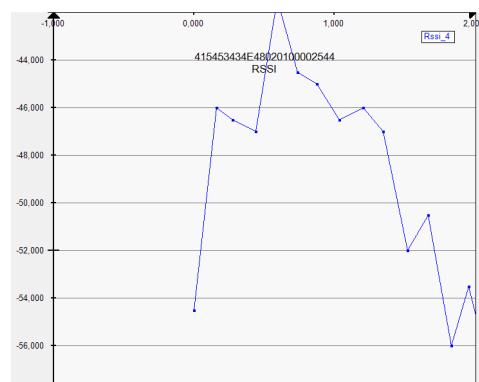
Figuur 7.14: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 2a uit

b) 200cm

In de grafieken in figuren 7.15 en 7.16 is wederom het binnengaan (links) en het verlaten (rechts) van de locatie te zien. In dit geval is de onduidelijkheid, zichtbaar in vorige deeltest, nog extremer zichtbaar. Het is nog steeds mogelijk de richting af te leiden uit de resultaten, maar het wordt onduidelijker en dubbelzinniger. Deze onduidelijkheid vergroot vermoedelijk ook naarmate de tussenliggende afstand groter wordt. Ook de RSSI waarde ligt logischerwijs lager.



Figuur 7.15: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 2b in



Figuur 7.16: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 2b uit

Testconclusie

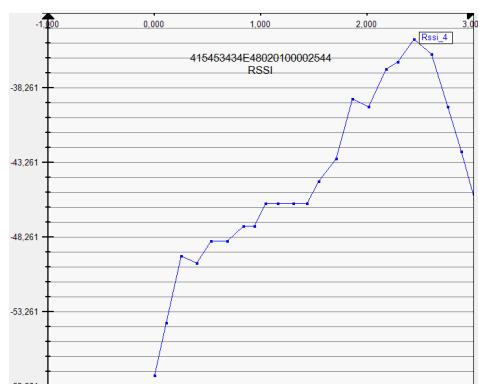
Deze testen tonen aan dat de meting in een realistisch scenario veel minder optimaal is als in het optimaal scenario van test 1. Dit omdat de meetpunten die niet het dichter of verder gaan van de antenne beschrijven voor onduidelijkheden zorgen die niet eenduidig uit de data te halen zijn.

Test 3: Langere meetafstand

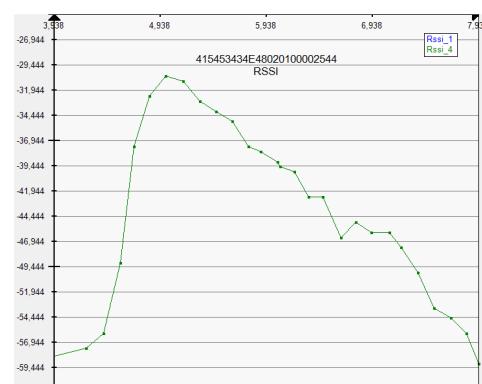
Aangezien een simpele draai rond het deurgat te slechte data oplevert om eenduidig de richting te bepalen (zie test 2), kan het een idee zijn om de kar langer op de lijn voor de antenne te laten rijden. Hierdoor zal het relatieve aantal meetpunten voor de richtingsdetectie opgekrikht worden tegenover het aantal meetpunten bij het in- en uit stappen van deze lijn voor de antenne. Dit wordt in deze test bekeken, hierbij is de opstelling idem aan test 2b, maar zal de kar tot tegen de antenne rijden alvorens af te slaan.

Resultaat

De grafieken in figuren 7.17 en 7.18 tonen wederom de verandering in RSSI van beide richtingen, met het rollen van de kar naar de antenne links, en weg van de antenne rechts. Alhoewel de 'staarten' uit test 2 nog steeds zichtbaar zijn, overheersen ze de grafiek niet meer en is deze grafiek veel eenduidiger. Hieruit kan de richting van verplaatsing worden afgeleid uit de richting van de scheefheid van de grafiek.



Figuur 7.17: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 3 in



Figuur 7.18: 1 antenne tegenover deur
- Testresultaat 3 uit

Testconclusie

Het vermoeden dat de resultaten beter zijn als er langer op de lijn voor de antenne wordt gewandeld lijkt te zijn bevestigd met deze test.

Deelconclusie

In ideale omstandigheden blijkt dit concept zeer goed te werken. Echter zijn er enkele neveneffecten van een realistische draai door een deur die moeten gecompenseerd worden met een langere lengte op de lijn voor de antenne te lopen. De vooropgestelde deelhypothese is verworpen en moet aangevuld worden met deze nieuwe informatie om te kunnen worden aangenomen. In praktijk wil dit zeggen dat dit niet werkt voor een normale deuropening en de opstelling uit sectie 7.1.2 zal moeten gebruikt worden. Echter kan het wel een oplossing zijn voor een (korte) gang of dergelijke waar de assets sowieso door moeten om een berging of magazijn te bereiken, want vanaf er enige afstand wordt gedaan

naar of weg van de antenne werkt deze opstelling wel zeer goed, met een lagere hardware kost.

7.1.4 1 tag aan deurlijst

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: Ideale situatie

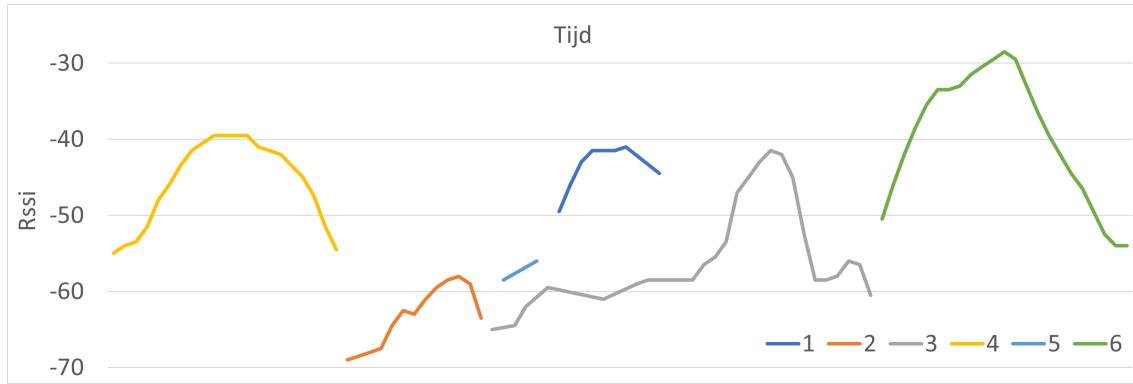
De opstelling voor deze test is als volgt: een rijdende kar is voorzien van een RFID-reader, voorzien van een vlakke antenne, welke opzij (rechts) is gericht. Verder is er een een locatie, bestaande uit 1 ommuurde ruimte, deze is voorzien van 1 locatie tag (Tagcode 4) aan het deurframe, langs de rechterkant. Dit zodat de antenne op de kar de tag kan lezen bij het binnengaan. Vervolgens bevinden zich verspreid over deze ruimte 4 assets, getagd met een asset tag (Tagcode 1, 2, 3 en 5). Als laatste is er aan de linkerkant van de deurlijst ook een locatie tag (Tagcode 6) aangebracht, voor een andere locatie dan deze. In een opstelling in productie zou deze aan de deur van een nieuwe locatie hangen, maar in deze opstelling is zijn functie louter om aan te geven wanneer de locatie wordt verlaten. Alle tags (zowel locatie als asset) bevinden zich op dezelfde hoogte als de antenne op de kar. De test is geslaagd als alle asset tags gemeten worden tussen het meten van de locatie tag van de locatie zelf eenderzijds en, en de tag van de andere locatie anderzijds.

Resultaat

De resultaten van deze test zijn ondergebracht in grafiek 7.19. Met leesbaarheid in gedachten zijn de tijdspannen tussen de registraties van de tags weggelaten uit de grafiek. In praktijk liggen deze verder uit elkaar in de tijd, maar voor deze test is voornamelijk de volgorde van belang. Deze resultaten tonen zeer duidelijk dat deze test geslaagd is, de reader registreert eerst tag 4, welke duidelijk maakt dat deze zich vanaf hier binnen de locatie bevindt. Elke asset tag die tussen deze locatie tag en de volgende locatie tag wordt gedetecteerd, bevindt zich in deze locatie. De 2e locatie tag is de laatste die wordt gedetecteerd, waardoor het duidelijk is dat deze test correct bepaald heeft dat alle assets zich op deze locatie bevinden. Wel is er een groot verschil merkbaar in het aantal meetpunten. Tag 5 wordt maar 2x gedetecteerd, in vergelijking tot de meer dan 50 meetpunten voor tag 3. Dit is echter niet geheel verrassend, aangezien het asset met tag 5 zich veel dieper in de kamer bevindt dan deze met tag 3.

Testconclusie

Het doel van de test, namelijk het detecteren van alle assets en ze correct plaatsen in de locatie, is geslaagd. Het feit dat er een groot verschil bestaat in het aantal meet- of



Figuur 7.19: 1 tag aan deurlijst - Testresultaat 1

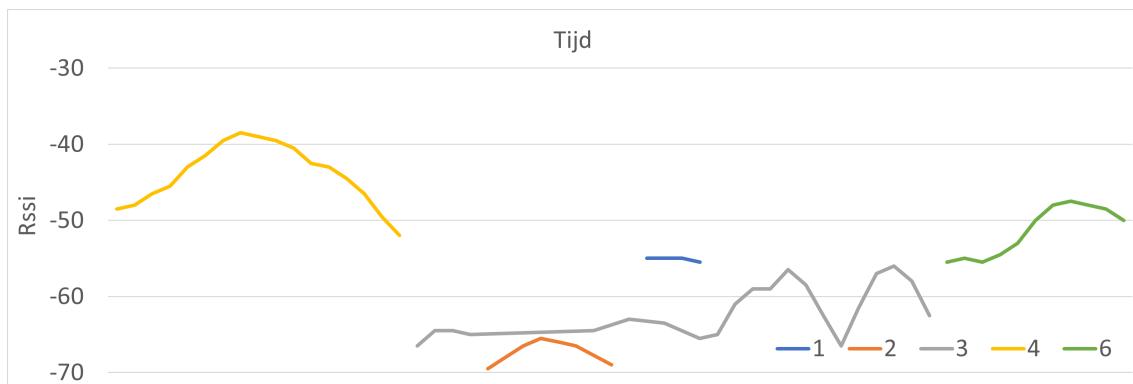
detectiepunten wekt wel het vermoeden dat het voornaamste probleem met dit scenario zal liggen in het detecteren van alle aanwezige assets, en niet zo zeer in het bekomen van een correcte lokalisatie.

Test 2: Realistische situatie

Het is natuurlijk geen gegeven dat alle asset tags zich ook op ruwweg dezelfde hoogte als de antenne zullen bevinden. Dit aangezien de assets zelf zich in theorie overal in de kamer kunnen bevinden, inclusief op tafels of kasten. Deze test zal dezelfde opstelling nemen als de vorige test, maar de assets zullen zich ook op verschillende hoogtes bevinden.

Resultaat

Dit resultaat, zichtbaar in grafiek 7.20, toont de vrees van vorige test aan. De detectie is helaas veel slechter als de tags niet op het niveau van de antenne liggen. Er is geen probleem qua lokalisatie, aangezien de volgorde van de tags is nog steeds correct is. Echter is bij elke asset tag het aantal meet- of detectiepunten afgangen en is de RSSI gezakt. Tag 5 is zelfs volledig verdwenen uit de data en is niet gedetecteerd.



Figuur 7.20: 1 tag aan deurlijst - Testresultaat 2

Testconclusie

Als de asset tags niet meer op hetzelfde niveau liggen als de antenne, is hun detectie veel minder. Dit hoeft echter niet zo'n zeer probleem te zijn aangezien 1 meetpunt in theorie voldoende is om te weten dat het asset aanwezig is. Een tag die niet aanwezig is op de locatie zal uiteraard ook niet 1x antwoorden. Wel is het wegvalLEN van tags een probleem, want dan kan bijhorend asset niet gelokaliseerd worden, en deze kans wordt groter als de detectie verslecht.

Deelconclusie

Qua lokalisatie blijkt dit concept perfect te werken, echter is dit geen verrassing. Het voornaamste probleem is het kunnen detecteren van alle aanwezige tags, wat met een RFID opstelling niet vanzelfsprekend is. Hierdoor wordt de deelhypothese verworpen, aangezien deze niet waar is in een realistische situatie. Uiteraard is het mogelijk om met een andere hardwareopstelling een betere detectie te bekomen. Dit bv. met antennes op verschillende hoogtes, of een staafantenne met een ander detectieveld dan een vlakke antenne. Echter evolueert dit op deze manier in een RFID detectieprobleem en komt daarmee buiten de scope, nl. lokalisatie, van dit onderzoek te liggen. Verder is er binnen Aucxis voldoende ervaring op dit veld dat verder onderzoek in deze richting nutteloos is.

7.2 BLE Vooronderzoek

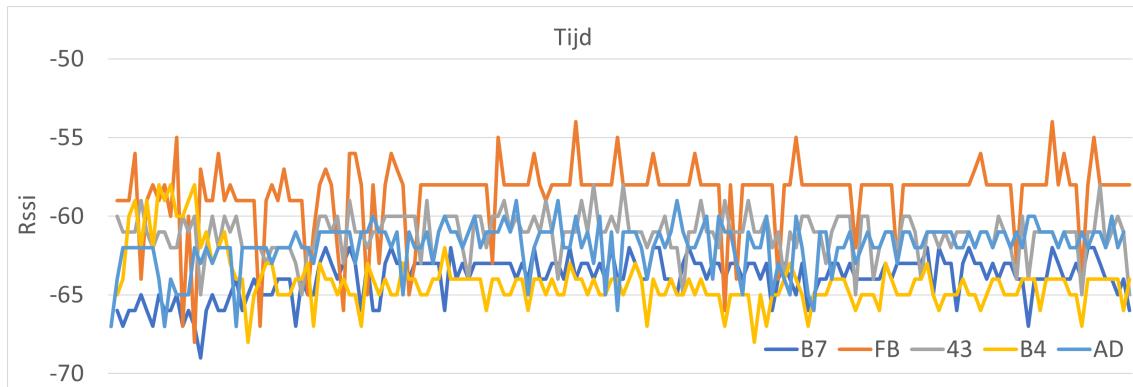
Voordat overgegaan kan worden naar het onderzoeken van de opstellingen die gebruik maken van BLE, is het nodig enkele testen te doen om het gedrag van deze technologie vast te stellen, en om enkele veronderstellingen te testen.

Test 1: Variatietest

De lokalisatieopstellingen verder in dit hoofdstuk zullen gebruik maken van RSSI waarden om de locatie van de beacons, en ook de bijhorende assets, te bepalen. Hierdoor is het belangrijk dat deze waarden constant zijn in de tijd als alle andere variabelen constant zijn. Voor deze test staan de gateway en de beacon op een afstand van 150cm uit elkaar, dit in hetzelfde vlak. Vervolgens wordt over lange tijd de RSSI waarde gemeten. Dit experiment wordt uitgevoerd bij 3 en bij 30 beaconberichten per gatewaybericht, dit om te bekijken of dit een effect heeft. Logischerwijs zal ook deze verhouding een invloed hebben, nl. hoe meer berichten de gateway heeft ontvangen, hoe meer de eventuele extreme waarden zullen worden uitgemiddeld. Door deze betere uitmiddeling zullen de waarden die de gateway uitstuurt stabieler worden. De gebruikte beacons zijn 5 stuks van het type MokoSmart H5, en 2 van het type MokoSmart M2. Ze zijn allen aangeduid a.d.h.v. de laatste 2 karakters van hun MAC adres.

a) 3 beaconberichten per gatewaybericht

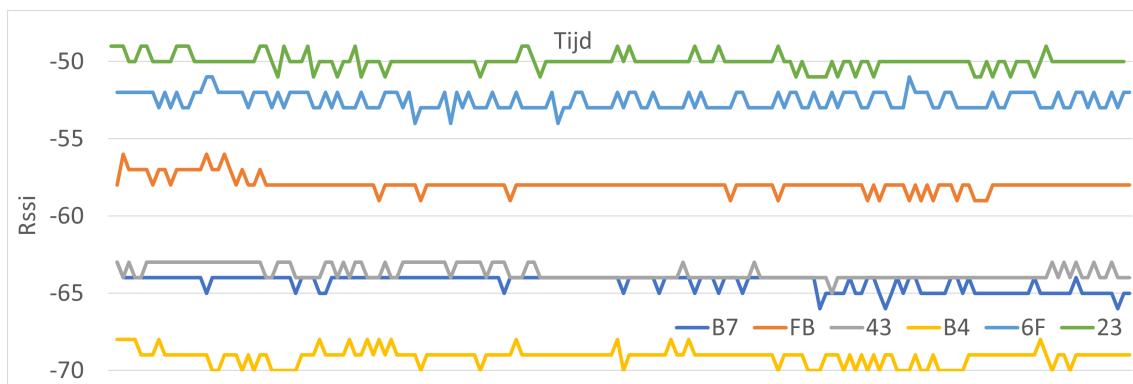
Uit het testresultaat zichtbaar in grafiek 7.21 is duidelijk af te leiden dat een uitmiddeling van 3 berichten een zeer grote variatie veroorzaakt in de RSSI waarden. Met bij bv. beacon FB een verschil tussen de uitersten van 14 dB. Aangezien de FSPL formule⁴ duidelijk maakt dat een verschil van 6 dB in theorie een verdubbeling van de afstand betekent, komt deze onzekerheid neer op een afstandsverschil van ongeveer factor 4. Het spreekt voor zich dat dit nefast is voor elke poging tot lokalisatie.



Figuur 7.21: BLE Vooronderzoek - Testresultaat 1a

b) 30 beaconberichten per gatewaybericht

Uit deze test, met de resultaten weergegeven in grafiek 7.22, is zichtbaar dat een uitmidde-ling over 30 berichten veel minder variatie geeft. Dit met over het algemeen een variatie van plus en min 1 van de gemiddelde waarde. Dit lijkt meer acceptabel. Ook is er in dit experiment 1 H5 beacon (code AD) vervangen door 2 beacons van het type H2. Dit om een vermoeden te onderzoeken dat, alhoewel alle beacons dezelfde instellingen hebben, hun zendsterkte toch varieert. Dit is hier ook bevestigd, deze 2 (6F en 23) hebben een hogere gemiddelde RSSI waarde dan de 4 overgebleven H5 beacons. De H5 beacons onderling hebben echter ook een grote variatie.



Figuur 7.22: BLE Vooronderzoek - Testresultaat 1b

⁴Zie Sectie 4.1 op pagina 21

Testconclusie

Uit deze eerste test zijn 2 dingen duidelijk geworden, allereerst dat er een goed aantal beaconberichten nodig is voor uitmiddeling per gatewaybericht, anders zijn er grote variaties in de RSSI waarden. Aan het versnellen van de beacons is echter ook een groot nadeel verbonden, namelijk het verminderen van de batterijduur. Deze factor is rechtstreeks verbonden aan kostprijs, voor de nieuwe batterij, en de werkuren om deze te vervangen. Ook zal het afhangen van de use-case hoe belangrijk deze is. Alternatief kan ook de gateway trager uitsturen, wat een negatief effect zal hebben op de lokalisatiesnelheid. Dit zal een afweging zijn gebaseerd op de situatie maar is zeker niet onbelangrijk. Tijdens het verdere verloop van dit onderzoek zal een (arbitraire) waarde van 30 beaconberichten per gatewaybericht worden aangehouden, aangezien dit een mooie middenweg lijkt, maar dit kan verhoogd of verlaagd worden met de voor- en nadelen vandien.

Als 2e is er ook duidelijk geworden dat er een verschil zit tussen de zendsterkte van BLE beacons met dezelfde instellingen. Dit zowel voor beacons van hetzelfde type, als van andere types. Hieruit volgt dat, als er een omzetting van RSSI waarde naar een afstand moet worden gemaakt, deze waarde op een of andere manier zal moeten worden genormaliseerd. Een mogelijkheid hiervoor is het veld 'RSSI at 0m', aanwezig in een UID bericht⁵. Een andere optie is de beacons kalibreren dat ze even sterk zenden. Ongeacht hoe hier rond wordt gewerkt, blijft het een aandachtspunt.

Test 2: Afstandstest

De volgende veronderstelling die zal worden getest, is het verloop van de RSSI waardes, in functie van afstand tussen de beacons en de gateway. In theorie zou deze moeten verlopen volgens de FSPL formule⁶ (logaritmisch, met een neerwaarts traject van 6dB per verdubbeling van de afstand). Deze test heeft als doel na te gaan of dit in praktijk ook zo is. Voor dit experiment is een gateway op een tafel geplaatst, verder is er een beacon die steeds verder van deze gateway zal verwijderd worden in intervallen van 50cm. Dit experiment zal 3x worden herhaald, 1x in een ideale omgeving, nl. een anechoïsche kamer⁷. 1x in een open reële omgeving, nl. een bemeubelde huiskamer. En als laatste ditzelfde nogmaals, maar met 1 muur tussen, om zo het verwachte negatieve effect van obstakels te controleren. De meting in ideaal geval zal minder meetpunten bevatten dan de reële, omwille van de gelimiteerde grootte van de anechoïsche kamer.

Resultaat

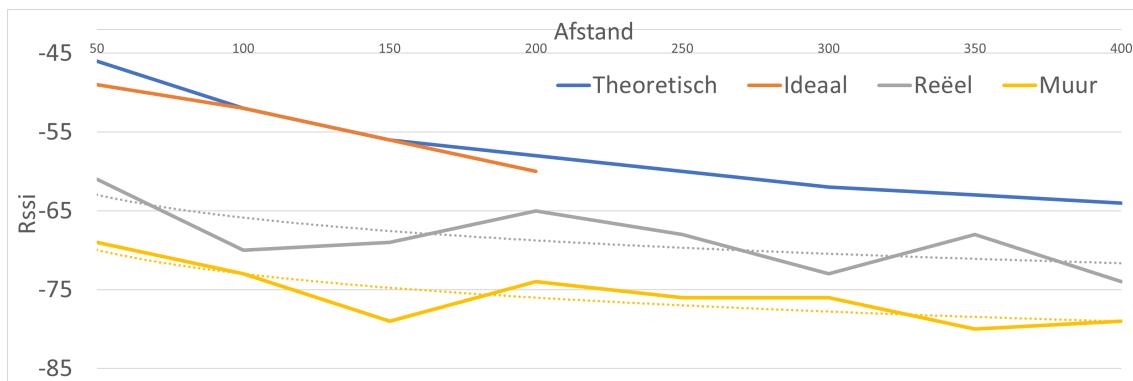
Uit het testresultaat zichtbaar in grafiek 7.23 is duidelijk zichtbaar dat theorie en realiteit veel van elkaar verschillen. De (beperkte) meetpunten van de ideale meting komen zeer goed in de buurt van de theorie, maar vanaf er wordt overgestapt naar een open reële

⁵Zie 'Het Eddystone protocol' in Sectie 4.2.2 op pagina 25

⁶Zie Sectie 4.1 op pagina 21

⁷Een anechoïsche kamer is een kamer waarvan de muren bedekt zijn met speciaal gevormd mousse, meestal puntvormig. Dit is bedoeld om radio- en geluidsgolven zo goed mogelijk te absorberen en zo een kamer te creëren met zo weinig mogelijk reflecties.

ruimte zijn de resultaten zeer anders. Met als voornaamste bevindingen dat de waarden veel lager liggen dan in theorie, en dat het verloop niet in alle gevallen dalend is. Wel is aan de bijgetekende logaritmische trendlijn te zijn dat de reële waarden wel een dalend verloop hebben. Op de meting met muur is verder ook een grillig, maar neerwaarts verloop zichtbaar, dit keer op een lager niveau dan zonder muur.



Figuur 7.23: BLE Vooronderzoek - Testresultaat 2

De reële testen zijn uitgevoerd met 5 verschillende MokoSmart H5 beacons, echter aangezien allen een gelijkaardig verloop vertoonden, worden de andere 4 niet extra bijgevoegd.

Testconclusie

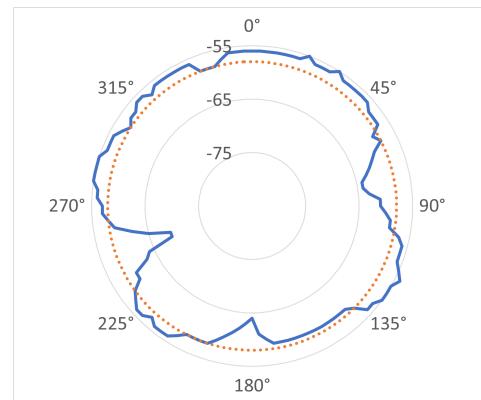
Aangezien het voornaamste verschil tussen de ideale en realistische situatie het bestaan van reflecties is, is met deze test duidelijk geworden dat deze een zeer grote impact hebben op de RSSI waarden. Voornamelijk in de vorm van een schommeling, welke vervelend is als er een conversie moet worden gemaakt tussen RSSI en afstand, en verder ook in een algehele RSSI vermindering tegenover de theorie. De testen voor de effectieve scenario's zullen allen plaatsvinden in reële omgevingen, aangezien implementaties van systemen gebaseerd op deze scenario's ook in reële ruimtes zullen werken, en puur theoretische of ideale situaties geen nut hebben om te vergelijken.

Test 3: Rotatietest

Deze derde en laatste test in dit vooronderzoek zal de veronderstelling testen dat de meting van de gateway richtingsonafhankelijk is. Anders gezegd zal deze test onderzoeken of er een verschil is in RSSI als de enige variabele de locatie van de beacon rond de gateway is. Voor deze test is een gateway opgesteld op een draaiplatform in een anechoïsche kamer, met een MokoSmart H5 beacon op 150cm afstand. Tijdens de test draait de gateway rond zijn as. Dit gebeurt 2x, eens met de beacon op dezelfde hoogte als de gateway, en eens met de beacon 50cm hoger.

a) Beacon en gateway op zelfde hoogte

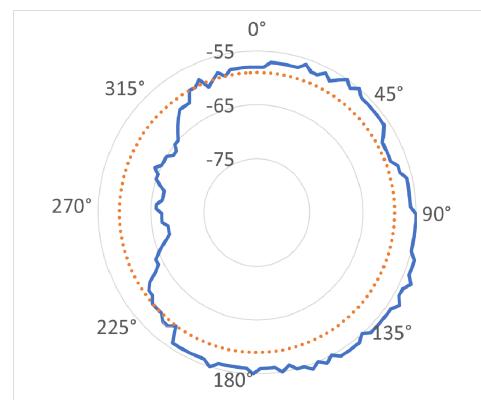
Uit dit resultaat, zichtbaar in grafiek 7.24, is duidelijk dat er een zekere richtingsafhankelijkheid is. Er is een grote blindspot rond 260° van -68 dBm , een verschil met het gemiddelde⁸ van 10 dB . Verder zijn er ook 2 kleinere op 80° en 180° met een verschil van 5 dB . Alhoewel niet drastisch, het overgrote deel van is vrij constant, is dit toch noemenswaardig. De meest voor de hand liggende verklaring hiervoor is het feit dat de ingebouwde staafantenne loopt op de lijn van 90° en 270° . De 2 voornaamste dippen wijzen ongeveer naar de uiteinden van deze antenne, en een blindspot hier is karakteristiek voor een staafantenne.



Figuur 7.24: BLE Vooronderzoek - Testresultaat 3a

b) Beacon 50cm boven gateway

In grafiek 7.25 is zichtbaar dat de harde blindspots uit de vorige test verdwenen zijn, wat het vermoeden dat dit met de antennerichting te maken heeft lijkt te bevestigen. Wel is er nog een duidelijk dal in het kwartaal tussen 225° en 315° .



Figuur 7.25: BLE Vooronderzoek - Testresultaat 3b

Testconclusie

Uit deze test is duidelijk geworden dat een gateway niet 100% richtingsonafhankelijk is. Over de grote lijn zal dit vermoedelijk geen problemen geven, echter kunnen de plots daten in meetgevoeligheid onverwachte waarden opleveren als een beacon toevallig net in die richting ligt. Tijdens de volgende testen zullen alle gateways in dezelfde richting worden geplaatst om het effect van deze verlopen te standaardiseren.

Deelconclusie

Uit dit vooronderzoek is duidelijk geworden dat niet elke theoretische veronderstelling ook geldig is in praktijk. Het is belangrijk dit eerst vastgesteld te hebben, aangezien het

⁸Aangegeven op de figuur met een oranje stippellijn

waarschijnlijk mogelijk zal zijn om sommige anders onverklaarbare fenomenen in komende scenariotests te verklaren. Ook zijn er in de testconclusies maatregelen/standaarden vastgelegd om deze effecten zo veel mogelijk te standaardiseren.

7.3 Statische BLE

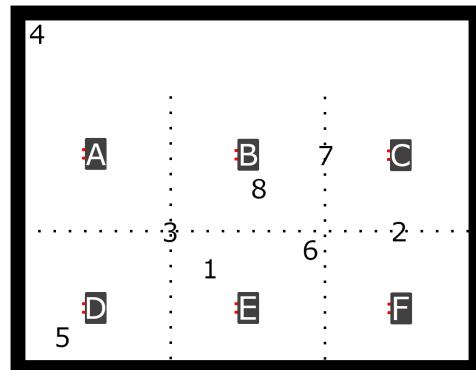
7.3.1 1 gateway per locatie

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig een locatie toe te wijzen.

Test 1: 6 locaties in reële, open ruimte, gelijk verdeeld

De eerste test voor deze opstelling is een best case opstelling, welke zichtbaar is in figuur 7.26. In een open ruimte staan 6 gateways⁹ in een raster, op een afstand van 2m van elkaar. Vervolgens is de ruimte in 6 even grote locaties verdeeld, met elk 1 gateway in het midden van deze locaties. In praktijk komt deze locatieafscheiding¹⁰ neer op een raster middendoor de gateways. Verder liggen er verschillende MokoSmart H5 en M2 beacons verdeeld over de ruimte¹¹, en zal worden bekeken waar zij volgens de gemeten waarden zich bevinden. Hierna volgt een vergelijking met hun echte positie.



Figuur 7.26: 1 gateway per locatie - Opstelling 1

Resultaat

De resultaten van deze test zijn zichtbaar in tabel 7.1. De hoogste RSSI waarde is karakteristiek voor de kortste afstand tot een gateway, en wordt gebruikt om de locatietoewijzingen te doen. Deze hoogste waarden staan aangeduid in het groen. Een toewijzing op deze manier verloopt op het eerste zicht vrij goed. Ook beacons op de grenslijn zijn toegewezen aan 1 van hun aangrenzende locaties. Enkel bij beacon 6 en 8 is een verschil te vinden.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-74	-77	-70	-72	-65	-69	-60	-79
B	-73	-80	-67	-75	-70	-70	-55	-71
C	-77	-70	-70	-79	-63	-67	-63	-73
D	-69	-71	-70	-81	-58	-67	-58	-74
E	-64	-71	-68	-75	-64	-63	-67	-72
F	-70	-65	-74	-80	-69	-60	-64	-69

Tabel 7.1: 1 gateway per locatie - Testresultaat 1

⁹Gateways worden aangeduid door een grijs blokje met een bijhorende letter. De illustraties zijn ook voorzien van 2 rode stippen op de gateway, deze illustreren de voorkant (0°) van de gateway.

¹⁰De grenzen van locaties worden in de illustraties weergegeven door een stippellijn.

¹¹Beacons worden aangeduid in de illustraties door een cijfer.

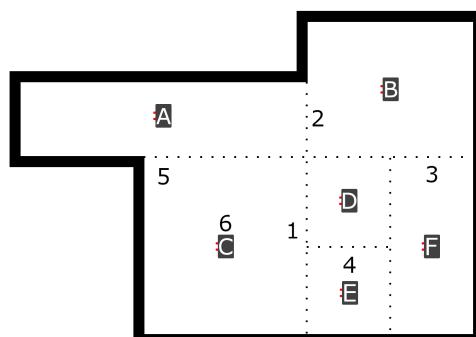
Er bestaat een onderscheid in soorten beacons, en die horen apart besproken te worden. Dit in volgorde van moeilijkheid. Allereerst zijn er de beacons die duidelijk in een locatie liggen, en buiten het raster van gateways. Tijdens deze test zijn dit beacon 4 en 5. Deze zijn beiden met een comfortabel RSSI verschil gecategoriseerd in de juiste locatie. Verder zijn er de beacons die zich duidelijk binnen een locatie bevinden, maar binnen het raster van gateways. Bij deze test zijn dit beacons 1 en 8. Hoewel beacon 1 met voorsprong correct is, is er iets vreemd gebeurd bij beacon 8. Deze staat gecategoriseerd bij gateway F, en deze vertegenwoordigt een niet aangrenzende locatie. Dit is zeer vreemd aangezien deze zeer dicht bij gateway B lag. Een mogelijke verklaring ligt bij het stralingspatroon van de gateway, waaruit blijkt dat deze beacon in een blindspot ligt¹². Verder zijn er de grensgeval beacons, waaronder beacon 2 en 7, welke op de grens tussen 2 locaties liggen. Zij zijn echter toegewezen aan 1 van deze 2, welke in orde is, aangezien het in dit scenario niet de bedoeling is om een exacte positie te bepalen, maar toewijzing aan een locatie te doen. En als laatste beacon 3 en 6 op een 4-punt. Beacon 3 is ook aangrenzend toegewezen ook in orde. Beacon 6, alhoewel fysiek net over de grens van locatie E liggend, is toegewezen aan aangrenzende locatie F. In theorie is dit een fout, maar geen grote. Ook is een zekere foutmarge bij de locatiegrenzen geen verrassing, gezien de onzekerheden in de RSSI waarden vastgesteld in het vooronderzoek¹³.

Testconclusie

De eerste test heeft bewezen dat dit lokalisatiescenario mogelijkheden heeft, op zijn minst in een eenvoudige egale opstelling. 1/8 zeer fout gelokaliseerde assets is niet perfect maar ook niet zeer slecht.

Test 2: 6 locaties in reële, open ruimte, ongelijk verdeeld

Voor deze test veranderen de locaties van gelijke grootte uit vorige test in locaties van variabele grootte en vorm, zoals zichtbaar in figuur 7.27. Verder is de ruimte, hoewel nog steeds open, niet meet convex. De locaties blijven dit wel. Hier is het niet zo dat elk punt zich ook bij zijn dichtstbijzijnde gateway bevindt qua locatie.



Figuur 7.27: 1 gateway per locatie - Opstelling 2

¹²Zie 'Test 3: Rotatietest' in sectie 7.2 op pagina 51

¹³Zie 'Test 2: Afstandstest' in sectie 7.2 op pagina 51

Resultaat

De resultaten van deze test zijn zichtbaar in tabel 7.2. Van de 6 beacons zijn er 3 correct en 3 fout toegewezen. Echter zijn de 3 fout toegewezen beacons (1, 3 en 5) de beacons die dichter lagen bij de toegewezen locatie gateway dan bij de theoretisch correcte locatie gateway. De andere 3 beacons (2, 4 en 6) zijn wel correct toegewezen.

	1	2	3	4	5	6
A	-82	-77	-72	-79	-52	-63
B	-75	-65	-67	-68	-63	-64
C	-68	-71	-74	-72	-64	-47
D	-66	-66	-74	-70	-58	-63
E	-71	-73	-76	-61	-65	-63
F	-69	-71	-74	-69	-62	-60

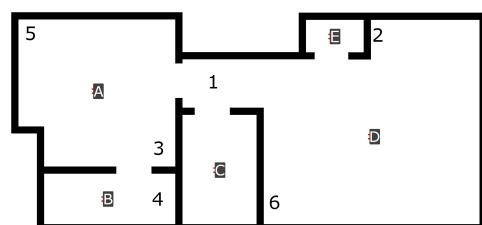
Tabel 7.2: 1 gateway per locatie - Testresultaat 2

Testconclusie

Deze test bevestigt het vermoeden dat deze lokalisatie strategie het slechter zal doen bij locaties van verschillende groottes, door de basering op hoogste RSSI en de link met de afstand. Dit zeker in een open ruimte waar deze afstand de enige bepalende factor voor de RSSI is (uiteindelijk buiten de onzekerheden vastgesteld tijdens het BLE vooronderzoek). Een mogelijke remedie hiervoor is een RSSI filter te plaatsen op gateways voor kleinere locaties. Dit zodat het gebied dat ze stelen van aanpalende grotere ruimtes verkleind. Echter omdat het bereik nog steeds (theoretisch) een cirkel blijft zullen vreemde verschijnsels bij locatieovergangen onvermijdelijk blijven.

Test 3: 5 realistische locaties

Deze derde en laatste test van deze opstelling vergroot het concept van vorige test en voegt muren toe zodat de opstelling realistischer wordt. Dit is zichtbaar in figuur 7.28. Deze opstelling bestaat uit 5 locaties, ondergebracht in 5 ruimtes van verschillende groottes, gescheiden door muren. Daardoor is de afstand niet meer de enige bepalende factor voor de RSSI waarde, maar ook tussenliggende muren. Dit kan in theorie een groter verschil geven, en kan het grootteverschil tussen locaties wat compenseren. Dit experiment zal ook 2x worden uitgevoerd, 1x met tussenliggende deuren gesloten, en 1x open. Dit om ook het mogelijke effect van deuren te onderzoeken.



Figuur 7.28: 1 gateway per locatie - Opstelling 3

a) Deuren gesloten

Uit de resultaten in tabel 7.3 is af te leiden dat dit principe zeer goed werkt, met een perfecte lokalisatie. Dit is geen verrassing voor de duidelijke, safe beacons (4 en 5). De andere 4 beacons liggen echter stuk voor stuk dichter bij de gateway van een andere locatie dan bij die van zichzelf, met een muur tussen. In het bijzonder is er beacon 2, welke op ongeveer 50cm ligt van gateway E, en op 250cm van gateway D. Toch wordt deze nog steeds correct bij locatie D gecategoriseerd.

	1	2	3	4	5	6
A	-76	-	-63	-72	-59	-75
B	-	-	-69	-55	-84	-79
C	-76	-73	-74	-71	-	-73
D	-74	-63	-83	-84	-84	-60
E	-	-64	-83	-	-	-68

Tabel 7.3: 1 gateway per locatie - Testresultaat 3a

b) Deuren open

Deze resultaten, weergegeven in tabel 7.4, tonen geen noemenswaardig verschil met de test met gesloten deuren. Alles blijft correct gecategoriseerd, maar ook de waarden verschillen niet veel. Dit is vooral verrassend bij beacon 1, welke met open deur rechtstreeks zichtbaar is voor gateway A, maar toch correct bij gateway D blijft ingedeeld.

	1	2	3	4	5	6
A	-76	-84	-65	-70	-59	-77
B	-80	-	-72	-55	-84	-81
C	-74	-72	-79	-72	-	-74
D	-73	-62	-83	-82	-	-59
E	-	-66	-82	-	-	-75

Tabel 7.4: 1 gateway per locatie - Testresultaat 3b

Testconclusie

Deze test toont mooi aan dat de extra isolatie van een muur een zeer positieve invloed heeft op een lokalisatie volgens dit principe. Verder toont ze ook aan dat een verschil in grote tussen aanpalende ruimtes niet noodzakelijk een groot probleem hoeft te zijn. Uiteraard zal ook het soort muur een invloed hebben op deze resultaten. In de testopstelling worden muren uit cellenbeton gebruikt, maar een dunner muur uit bv. kalkplaat zal mogelijk een minder isolerend effect hebben. Ook is duidelijk dat een deur weinig impact heeft op de resultaten. Ook dit kan natuurlijk aan het materiaal liggen. Een houten deur zoals in de testopstelling is klaarblijkelijk verwaarloosbaar, maar bv. een nooddeur, speciaal als er metaal in zit, zal een grotere impact hebben.

Deelconclusie

Al bij al is dit een zeer acceptabel scenario, het merendeel van de lokalisaties was geslaagd. Dit met uitzondering van fouten aan de locatieovergang in een open ruimte, maar dat is geen verrassing na de vaststellingen in het vooronderzoek. Ook bestaat er de mogelijkheid tot toevallige mislokalisaties door hardware effecten, maar dit ligt niet zozeer aan het scenario zelf. De deelhypothese is enkel aangenomen in een reële opstelling met muren, zo niet is ze verworpen.

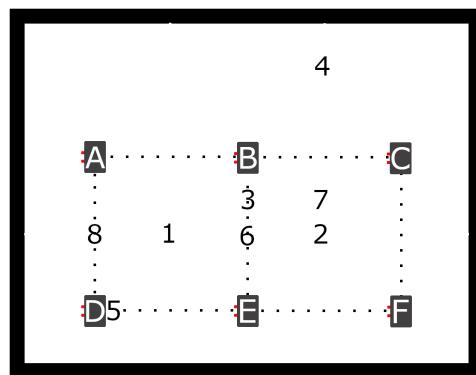
7.3.2 Meerdere gateways per locatie

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: 2 rechthoekige locaties in reële, open ruimte

De testopstelling voor deze eerste test is weergegeven in figuur 7.29 en bestaat uit een raster van 6 gateways (analoog aan de opstelling van test 1 in sectie 7.3.1). De definitie van een locatie is in dit geval de vakken tussen de gateways, waardoor hieruit 2 even grote locaties ontstaan. Verder liggen er verschillende H5 en M2 beacons verspreid over de ruimte.



Figuur 7.29: Meerdere gateways per locatie - Opstelling 1

Resultaat

Bij dit scenario gebeurt de toewijzing van een beacon aan een locatie aan de hand van de hoogste som van de RSSI waarden van de 4 omringende gateways van een locatie. Voor deze test zijn deze resultaten zichtbaar in tabel 7.5 en deze zijn verrassend goed, met voor elke van de 8 beacons een correcte lokalisatie. Enkele interessante rand gevallen zijn beacon 3 en 6, welke op de grens tussen de 2 locaties liggen. Bij beide zijn de cijfers duidelijk voor de rechtse locatie, nochtans is te verwachten dat deze cijfers dichter bijeen zouden liggen. Verder is er ook beacon 4, welke op geen enkele locatie ligt en is ingedeeld bij de rechtse locatie. Deze indeling is uiteindelijk de correcte, aangezien dit de dichtstbijzijnde locatie betreft en er geen 'geen locatie' mogelijk is in dit experiment.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-70	-72	-68	-78	-56	-65	-82	-63
B	-67	-67	-70	-58	-58	-71	-71	-64
C	-70	-74	-69	-74	-64	-65	-67	-64
D	-70	-76	-71	-74	-28	-64	-75	-59
E	-68	-68	-72	-71	-71	-60	-61	-72
F	-74	-68	-67	-71	-59	-58	-67	-63
	-275	-279	-290	-284	-268	-265	-296	-289
							-208	-247
							-258	-252
							-299	-276
							-241	-246

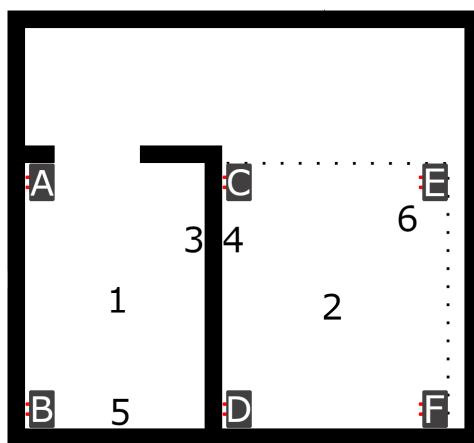
Tabel 7.5: Meerdere gateways per locatie - Testresultaat 1

Testconclusie

Deze opstelling zorgt voor een perfecte lokalisatie in deze eerste, en is daarmee voorlopig zeer goed. Echter is er het detail van de 'geen locatie' beacons, maar dit is in elk scenario een ding. Hier is dit in theorie oplosbaar aangezien er een bepaalbare bovengrens is in de som van RSSI waarden wil de beacon nog tussen de gateways liggen. Deze is ook theoretisch berekenbaar gegeven de afstand tussen de gateways, de FSPL formule¹⁴ en enige meetkundige kennis. Echter door het vastgestelde verschil tussen theorie en praktijk tijdens het vooronderzoek lijkt dit eerder een maximum dat moet worden gemeten/bepaald.

Test 2: 2 rechthoekige locaties gescheiden door muur

De opstelling voor deze test is analoog aan de vorige, met als enige verschil dat er een muur is verschenen tussen de 2 locaties. Dit is weergegeven in figuur 7.30. Dit ligt ook dichter bij de realiteit, nl. 2 aanpalende lokalen. Het doel van deze test is om het effect van deze muur op de cijfers te onderzoeken.



Figuur 7.30: Meerdere gateways per locatie - Opstelling 2

Resultaat

In deze 2e test is dit scenario er ook weer in geslaagd elke beacon correct te lokaliseren, zoals zichtbaar in tabel 7.6. Hier is wel een extra stap bij de verwerking gekomen. Door het toevoegen van de muur wordt niet elke beacon door elke gateway meer opgevangen. Dit wordt weergegeven door een rode, platte streep in de tabel. Het spreekt voor zich dat dit ook meteen diskwalificerend werkt voor de locatie(s) waarvan deze gateway een hoekpunt is aangezien de beacon niet tussen deze gateways zal liggen als er 1 van deze gateways de beacon niet eens ziet.

Testconclusie

Op het eerste zicht lijkt deze test volledig geslaagd, het toevoegen van een muur zorgt er niet voor dat dit scenario slechter presteert. Echter is er wel een belangrijk detail dat aangehaald moet worden. Als de cijfers beter onderzocht worden blijkt het volgende: bij elke beacon is de gateway die hem met de hoogste RSSI waarde neemt een gateway die in dezelfde ruimte ligt als de beacon. Met andere woorden dezelfde uitkomst kan bekomen

¹⁴Zie Sectie 4.1 op pagina 21

	1	2	3	4	5	6
A	-68 -----	-73 -----	-67 -----	- -----	-75 -----	- -----
B	-59 -----	-73 -----	-69 -----	-77 -----	-67 -----	-78 -----
C	-68 -68	-64 -64	-72 -72	-52 -52	-78 -78	-75 -75
D	-62 -62	-46 -46	-76 -76	-77 -77	-72 -72	-67 -67
E	----- -67	----- -56	----- -73	----- -73	----- -	----- -61
F	----- -71	----- -55	----- -66	----- -78	----- -	----- -66
	-257	-268	-256	-221	-284	-287
					-280	-292
						-269

Tabel 7.6: Meerdere gateways per locatie - Testresultaat 2

worden met 1 gateway per ruimte, en zo wordt de opstelling vereenvoudigd tot het scenario behandeld in sectie 7.3.1. Daarvoor zijn ook minder gateways nodig, waardoor ze beter is dan dit scenario qua hardware kost.

Deelconclusie

Dit scenario blijkt zeer effectief te zijn en heeft alle geteste beacons perfect gelokaliseerd. Echter blijkt wel dat deze opstelling geen voordelen heeft over de vorige (1 gateway / locatie) als een locatie ommuurd is, maar wel meer hardware vereist. Hiervoor is het niet geschikt. Voor lokalisatie in een open ruimte echter, lijkt ze beter te werken, voor een hogere hardware kost. De deelhypothese is aangenomen.

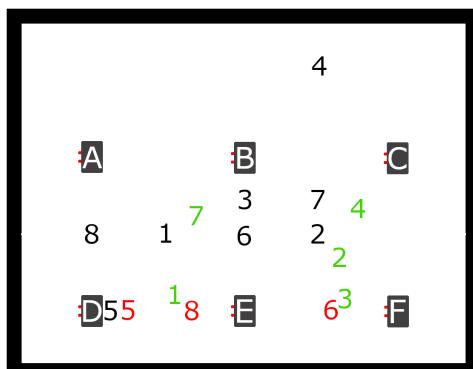
7.3.3 Gateways in rasteropstelling

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: Raster in open, reële ruimte

De opstelling voor deze test is analoog aan de opstelling van test 1 in sectie 7.3.1, zoals zichtbaar in figuur 7.31. Bij deze opstelling zijn geen specifieke locaties gedefinieerd. Het is hier eerder de bedoeling om via trilateratie te bepalen waar een beacon zich exact bevindt, en zo een toewijzing te doen naar de locatie die dat punt bevat. Wat de exakte lay-out van de locaties is is hiervoor irrelevant. Aangezien bij test 1 in sectie 7.3.1 ook beacons in een raster gemeten zijn, kon de data uit die test hier hergebruikt worden en worden verwerkt met trilateratie.



Figuur 7.31: Gateways in rasteropstelling - Test 1

Voordat trilateratie¹⁵ kan toegepast worden, moet er eerst een omzetting gebeuren tussen de RSSI waarden en de afstand. Dit kan door de FSPL formule¹⁶ te gebruiken (weliswaar omgekeerd). Aangezien bij de verwerking van de resultaten op deze manier blijkt dat dit ver van correct is wordt er nog een offset in dBm toegevoegd, verschillend per soort beacon. Dit om het bij het vooronderzoek vastgelegde fenomeen dat beacons, hoewel ze dezelfde instellingen hebben, niet allen een even sterk signaal sturen. Bij de verwerking is een waarde gebruikt van -16 dBm voor de gebruikte H5 beacons, en -10 dBm voor de M2 beacons. Deze waarden zijn experimenteel vastgelegd, en vloeien voort uit de data van de afstandstest bij het vooronderzoek, waar de offset van de trendlijn tegenover de theoretische curve is gebruikt.

De resultaten van de trilateratie zijn geplot op het grondplan in figuur 7.31. De zwarte cijfers zijn de effectieve locaties van de beacons. De gekleurde zijn de berekende locaties a.d.h.v. de resultaten en trilateratie, met de groene een geslaagde trilateratie, en een rode een mislukte. Een mislukte wilt zeggen dat trilateratie niet mogelijk is door te korte afstanden (bv. de afstand tussen beacon 6 en gateway E en F bedraagt resp. 0.87m en 0.62m, opgeteld 1.49m. Dit is onmogelijk aangezien de afstand tussen deze gateways 2m bedraagt). Bij een situatie zoals deze is de beacon geplaatst tussen de 2 gateways.

Resultaat

Om het resultaat te berekenen zijn de 2 gateways met de beste RSSI gebruikt. Meteen is zichtbaar dat het resultaat vrij catastrofaal is en dat de uitkomst van de trilateratie de beacons precies random plaatst. Beacon 5 komt in de buurt, maar deze lag fysiek aan gateway 5, waardoor zijn RSSI zeer hoog was (-28 dBm), hierdoor werd deze door de noodoplossing van het algoritme toch ietwat in de buurt geplaatst maar dit is een unicum. Verder is enkel beacon 2 vrij goed geplaatst.

Testconclusie

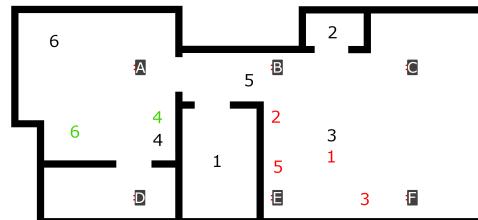
Het is duidelijk dat trilateratie op basis van RSSI zeer onnauwkeurig is. Dit ligt vooral aan het onnauwkeurig omzetten van RSSI waarden in afstanden door de grote onzekerheden op RSSI waarden. Deze eerste test belooft zeker niet veel goeds voor dit concept.

¹⁵Zie Sectie 4.1 op pagina 21

¹⁶Zie Sectie 4.1 op pagina 21

Test 2: Raster verspreid over gebouw met muren

In deze 2e test is het raster vergroot, van 2m maar 3.5m tussen gateways. Ook is het raster verspreid over een gebouw, met muren tussen. De methodieken voor berekening en de kleurcodes voor het visualiseren van de resultaten zijn gelijk gebleven aan test 1 en dit alles is zichtbaar in figuur 7.32.



Figuur 7.32: Gateways in rasteropstelling - Opstelling 2

Resultaat

Na deze test, waarvan de resultaten zichtbaar zijn in tabel 7.7, zijn er slechts 2 beacons die met succes kunnen getrilaterateerd worden zonder de noodoplossing te gebruiken (groen). Deze 2 beacons (4 en 6) zijn ook enkel opgemerkt door de 2 gateways waar ze tussen liggen. De 4 andere beacons zijn zeer slecht geplaatst in vergelijking met hun effectieve positie.

	1	2	3	4	5	6
A	-84	-79	-72	-73	-72	-71
B	-80	-61	-66	-	-61	-80
C	-77	-70	-61	-	-71	-
D	-81	-	-80	-74	-	-71
E	-73	-66	-61	-	-66	-
F	-	-70	-60	-	-74	-

Tabel 7.7: Gateways in rasteropstelling - Testresultaat 2

Testconclusie

Deze grotere test heeft weer aangetoond wat na vorige test al duidelijk was, trilateratie op basis van RSSI is onnauwkeurig. En het toevoegen van muren, waardoor niet elke gateway meer elke beacon detecteert, verslechtert de nauwkeurigheid enkel.

Deelconclusie

Na deze 2 tests kan duidelijk worden besloten dat dit scenario niet haalbaar is met de gebruikte BLE hardware. In het principe zit potentieel, maar enkel als er een goede, precieze conversie kan worden gemaakt tussen RSSI waarden en afstanden. De deelhypothese is verworpen. Een eventuele andere oplossing is het omzeilen van de RSSI naar afstand omrekening door een systeem van verhoudingen tussen RSSI waarden om de beacon naar een gateway 'toe te trekken' als het ware. Het is mogelijk dat een geschikter algoritme bestaat voor het bepalen van de locatie van een beacon in een gateway raster, niet gebaseerd op trilateratie. Dit valt echter buiten de beschouwde opstellingen, en ook buiten de eerder verkennende scope van dit onderzoek waardoor hier niet verder op wordt ingegaan.

7.4 Dynamische BLE

In tegenstelling tot bij de statische BLE opstellingen, is de variabele 'tijd' wel belangrijk bij dynamische BLE opstellingen. Daarom is het essentieel dat de tijd tussen de berichten, ontvangen van de gateway, vrij kort is. Een tussenperiode van 30s is hierbij niet wenselijk, aangezien de gateway zich zeer ver kan verplaatsen in deze tijdspanne en de metingen vrijwel nutteloos zullen zijn. Vandaar dat de instellingen van zowel de beacons als de gateway zullen worden versneld tijdens volgende testen. De gateway zal elke seconde zijn gemeten informatie doorsturen. Verder is het bij deze snelheden niet meer mogelijk om een beacon zendsnelheid van 30 berichten per gatewaybericht aan te houden aangezien de maximale snelheid 10 berichten/seconde bedraagt. Deze maximumsnelheid zal ook worden gebruikt tijdens volgende testen.

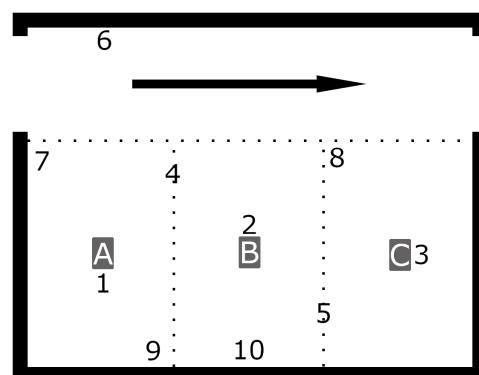
7.4.1 1 locatiebeacon per locatie, midden van locatie

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: 3 even grote locaties in open reële ruimte

Voor deze eerste test is een open ruimte opgedeeld in een gang en 3 locaties, liggende naast elkaar en langs 1 kant van deze gang. Dit is zichtbaar in figuur 7.33. Alle locaties zijn even groot, en voorzien van een locatiebeacon (MokoSmart H5) in hun middelpunt, met een onderlinge afstand van 200cm. Verder liggen er diverse H5 en M2 beacons verspreid over de ruimte. Tijdens de test verplaatst een gateway zich aan een constante snelheid door de gang, aangegeven door de pijl op de illustratie. De test duurt 20sec, en op deze tijd overbrugt de gateway de volledige breedte van de opstelling.



Figuur 7.33: 1 beacon per locatie, midden van locatie - Opstelling 1

Resultaat

In tabel 7.8 zijn de resultaten van deze test zichtbaar. Elke kolom stelt een beacon voor, opgedeeld volgens locatie- en assetbeacons. Voor elke beacon is zijn maximale RSSI waarde aangeduid in groen. Dit punt komt overeen met het moment dat de gateway deze beacon het dichtste nadert en komt overeen met het moment dat de gateway de beacon voorbij komt. Hieruit kan afgeleid worden welke beacons bij elkaar in de buurt liggen.

Tijd	Locatie			Asset									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	-77	-79	-72	-67	-76	-79	-76	-74	-72	-65	-63	-70	-81
5	-75	-68	-70	-68	-72	-66	-62	-70	-63	-65	-64	-72	-71
6	-71	-63	-62	-68	-64	-65	-60	-66	-67	-65	-67	-68	-72
7	-64	-63	-65	-63	-69	-66	-55	-74	-67	-67	-62	-64	-65
8	-59	-62	-67	-65	-67	-65	-55	-67	-65	-66	-61	-68	-71
9	-67	-60	-62	-66	-64	-62	-56	-70	-70	-74	-63	-67	-68
10	-65	-57	-67	-65	-67	-65	-59	-70	-79	-74	-65	-68	-62
11	-72	-61	-62	-65	-61	-68	-57	-64	-74	-76	-57	-69	-63
13	-69	-64	-59	-64	-67	-60	-66	-72	-77	-73	-56	-66	-70
14	-71	-64	-54	-64	-69	-64	-67	-70	-78	-80	-60	-70	-67
15	-74	-64	-65	-68	-69	-63	-69	-67	-77	-75	-58	-75	-67
16	-77	-66	-61	-74	-71	-68	-73	-68	-83	-76	-60	-73	-69

Tabel 7.8: 1 beacon per locatie, midden van locatie - Testresultaat 1

De toewijzing van assetbeacons aan een locatie gebeurt volgens kleinste tijdverschil (een assetbeacon wordt toegewezen aan de locatie waarbij het tijdsverschil tussen zichzelf en de locatiebeacon van die locatie het kleinste is). In tabel 7.8 is een onderbroken lijn geplaatst die deze toewijzingen weergeeft.

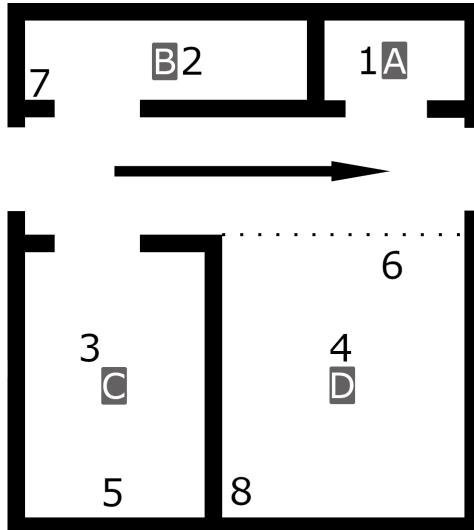
Vervolgens is uit deze resultaten te concluderen dat deze manier van lokaliseren verrassend goed werkt aangezien elk asset aan de correcte locatie is toegewezen. Beacon 4 en 5 bevinden zich op de grens tussen 2 locaties, en dit is ook zichtbaar aan de resultaten, aangezien hun maximale RSSI dicht bij een overgangslijn valt. Als louter wordt gekeken naar de volgorde zijn er hier en daar enkele onnauwkeurigheden. Dit is zichtbaar bij bv. beacons 4 en 9, maar dit verschil is eerder beperkt en verwaarloosbaar als er enkel interesse bestaat voor een locatietoewijzing.

Testconclusie

Deze eerste test is veelbelovend. Met een zeer eenvoudig lokalisatiealgoritme, gebaseerd op de maximale RSSI waarde, kan een zeer accurate lokalisatie bekomen worden. Wel is het zo dat deze hoogste waardes bij de locatiebeacons vrij dicht bij elkaar liggen, dit vermoedelijk omdat deze beacons dieper in de ruimte liggen en het relatieve afstandsverschil tussen de gateway en de locatiebeacons niet zeer uitgesproken is. Dit zou kunnen vergroot worden door deze beacons dichter naar het gangpad te brengen, of door de gateway nog sneller te laten sturen.

Test 2: gang omringd door 4 locaties van variabele grootte

Deze test maakt gebruik van 4 locaties in verschillende groottes, gescheiden door muren, om zo een realistische gang te bekomen. Dit is zichtbaar op figuur 7.34. Verder bevinden deze locaties zich langs beide zijden van de gang. Voor de rest is deze opstelling analoog aan test 1.



Figuur 7.34: 1 beacon per locatie, midden van locatie - Opstelling 2

Resultaat

Tijd	Locatie				Asset							
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8
2	-72	-74	-70	-74	-75	-72	-80	-	-71	-73	-69	-75
3	-68	-68	-62	-71	-75	-67	-66	-84	-65	-69	-61	-74
5	-74	-64	-66	-73	-75	-79	-64	-73	-70	-67	-65	-71
6	-69	-70	-67	-66	-72	-76	-73	-72	-70	-83	-64	-69
7	-70	-68	-67	-70	-74	-70	-73	-69	-70	-64	-64	-69
8	-66	-72	-73	-63	-76	-71	-72	-64	-75	-66	-69	-76
9	-67	-75	-67	-65	-	-72	-80	-72	-77	-67	-71	-63
10	-66	-70	-69	-59	-73	-72	-76	-65	-76	-66	-73	-56
11	-65	-78	-69	-64	-74	-75	-79	-64	-77	-61	-78	-57
12	-64	-79	-67	-62	-73	-84	-	-68	-76	-73	-79	-62
13	-62	-81	-70	-60	-67	-79	-77	-62	-74	-67	-84	-62
14	-57	-81	-71	-62	-68	-	-	-74	-75	-61	-	-61
16	-65	-	-77	-72	-81	-	-77	-69	-75	-63	-77	-65

Tabel 7.9: 1 beacon per locatie, midden van locatie - Testresultaat 2

Met 1 MikroTik KNOT gateway is het niet mogelijk richting (links of rechts) te detecteren en bijgevolg volgt er een samensmelting van deze 2 locaties. Na de vereenvoudiging door deze hardware limitatie blijven er 2 locaties over. De toewijzing van de assets aan deze 2 locaties is echter wel weer perfect gebeurd, en ook de volgorde zit nagenoeg correct.

Testconclusie

Na deze 2e realistischere test, met toevoeging van muren, is er zichtbaar aan de resultaten dat de lokalisatie even goed (perfect) gebeurt als in de eenvoudigere opstelling van test 1. Wel is het duidelijk dat een links/rechts opdeling handig zou zijn voor een bruikbaarder

resultaat, maar dit is enkel hardwarematig op te lossen. Bijvoorbeeld door het gebruik van 2 vlakke antennes, 1 naar rechts en 1 naar links gericht. Dit kan echter gesimuleerd worden door de resultaten op te delen in 2 (1 per richting), en het is duidelijk dat de resultaten in dat geval ook in orde zijn.

Deelconclusie

Uit deze testen is af te leiden dat dit principe van opstelling in alle gevallen zeer goed werkt, zowel in een open ruimte als met de toevoeging van muren. De deelhypothese is aangenomen.

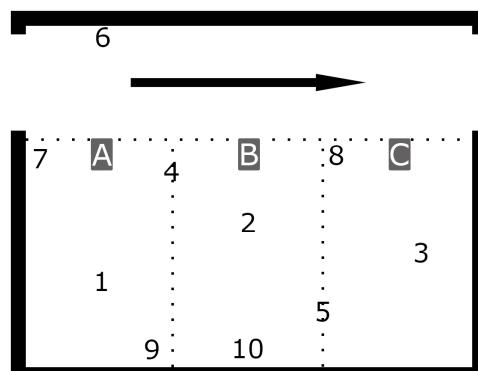
7.4.2 1 locatiebeacon per locatie, aan deur

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: 3 even grote locaties in open ruimte

De opstelling voor deze test is analoog aan de opstelling van test 1 uit sectie 7.4.1. De locatie-beacons zijn echter verplaatst van het midden van de locaties naar de grens tussen de locaties en de gang. Dit alles is zichtbaar in figuur 7.35.



Figuur 7.35: 1 beacon per locatie, aan deur - Opstelling 1

Resultaat

De resultaten in tabel 7.10 zijn zeer analoog aan deze bij test 1 uit sectie 7.4.1. Met als enige verschil dat de locatiebeacons verder uit elkaar liggen in de tijd. Verder worden alle assets wederom correct gecategoriseerd per locatie, met een onderlinge volgorde van maximale RSSI waardes die ruwweg overeenkomt met de volgorde waarop de gateway de beacons is voorbij gekomen.

Tijd	Locatie			Asset									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-66	-76	-78	-70	-67	-76	-68	-66	-67	-75	-68	-74	-71
2	-57	-62	-68	-75	-73	-66	-69	-69	-63	-65	-64	-71	-71
3	-58	-63	-71	-67	-64	-62	-58	-64	-65	-64	-65	-64	-69
4	-59	-64	-69	-60	-65	-61	-57	-64	-69	-62	-67	-66	-65
5	-57	-61	-63	-68	-61	-63	-62	-67	-63	-63	-64	-59	-65
6	-61	-68	-78	-66	-62	-72	-61	-61	-69	-71	-66	-65	-64
8	-67	-58	-62	-63	-61	-63	-59	-57	-75	-71	-63	-64	-65
9	-70	-55	-59	-62	-66	-69	-59	-62	-75	-73	-75	-65	-66
10	-70	-66	-60	-64	-61	-63	-67	-69	-78	-75	-58	-65	-62
11	-80	-61	-59	-64	-59	-60	-65	-63	-75	-75	-60	-64	-62
12	-82	-61	-55	-63	-67	-58	-69	-71	-76	-80	-58	-67	-64
13	-72	-69	-59	-68	-60	-62	-67	-64	-72	-81	-62	-68	-64
14	-72	-68	-54	-63	-64	-64	-68	-62	-82	-76	-62	-67	-65
15	-76	-71	-59	-66	-66	-60	-69	-68	-75	-72	-64	-66	-68

Tabel 7.10: 1 beacon per locatie, aan deur - Testresultaat 1

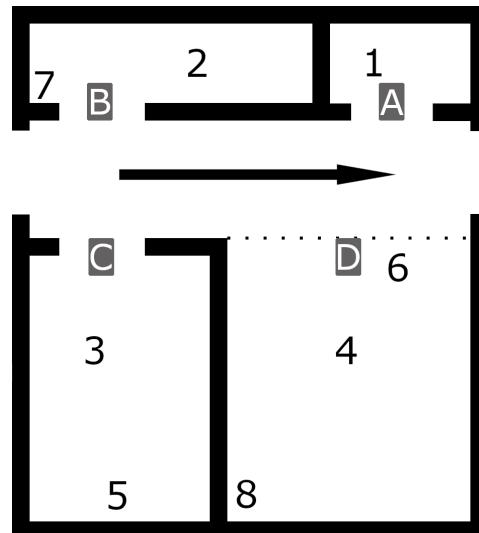
Als opvallende uitzondering op deze volgorde is er tag 5, welke zeer hard naar geïspondeert is in de volgorde. Wat nog maar eens onderstreept dat RSSI metingen niet precies zijn, en dat een combinatie van fenomenen zoals reflecties en stralingspatronen toevallige miscategorisaties kunnen veroorzaken, zoals vastgesteld tijdens het vooronderzoek. In deze test was dit niet het geval, maar de relatieve plaats van tag 5 is versprongen van op de grens tussen locatie B en C naar de grens tussen locatie A en B.

Testconclusie

Deze test vertoont, buiten een betere spreiding van de locatiebeacons in de tijd, geen noemenswaardige verschillen met test 1 uit sectie 7.4.1.

Test 2: gang omringd door 4 locaties van variabele grootte

Deze test is analoog aan test 2 uit sectie 7.4.1, zoals zichtbaar in figuur 7.36. Het enige verschil is dat de locatiebeacons niet geplaatst zijn in het middelpunt van de locatie, maar aan de deur.



Figuur 7.36: 1 beacon per locatie, aan deur - Opstelling 2

Resultaat

Ook bij deze resultaten, zichtbaar in tabel 7.11, zijn de verschillen met de overeenkomstige test in sectie 7.4.1 beperkt. Het enige wat opvalt is dat de maximale RSSI-waarden van locatiebeacons B en C vrij veel zijn verhoogd, wat het gevolg is van de geografie. Locatiebeacon B ligt in dit geval niet meer achter een muur, en C ligt niet meer diep in een kamer, gecombineerd met een muur.

Tijd	Locatie				Asset							
	A	B	C	D	1	2	3	4	5	6	7	8
2	-72	-63	-64	-65	-	-69	-76	-	-73	-74	-68	-78
3	-74	-56	-58	-65	-74	-66	-77	-73	-74	-76	-62	-78
4	-66	-55	-59	-66	-	-68	-72	-75	-77	-70	-63	-78
5	-70	-55	-63	-68	-82	-70	-71	-75	-75	-65	-62	-73
6	-65	-64	-64	-66	-76	-73	-70	-74	-68	-71	-69	-72
7	-64	-66	-62	-63	-75	-71	-64	-73	-72	-71	-67	-70
8	-63	-69	-64	-65	-77	-73	-73	-63	-73	-61	-72	-70
9	-60	-70	-70	-64	-75	-72	-75	-67	-79	-69	-69	-75
10	-59	-76	-66	-58	-66	-75	-74	-62	-72	-63	-74	-64
12	-55	-76	-73	-61	-74	-76	-78	-59	-78	-63	-77	-69
13	-54	-83	-73	-71	-69	-	-74	-70	-74	-68	-80	-65
14	-54	-76	-70	-59	-67	-77	-77	-74	-76	-62	-79	-64
15	-55	-83	-70	-63	-74	-83	-82	-70	-73	-60	-79	-71
16	-62	-80	-73	-72	-72	-	-82	-70	-75	-68	-81	-71
17	-61	-81	-74	-63	-71	-	-	-68	-80	-59	-78	-66
18	-72	-83	-73	-66	-72	-82	-	-67	-76	-59	-79	-67
19	-64	-81	-75	-63	-77	-	-78	-81	-81	-67	-81	-66

Tabel 7.11: 1 beacon per locatie, aan deur - Testresultaat 2

Testconclusie

Het lijkt erop dat het plaatsen van de locatiebeacons aan de deur in een realistische opstelling voordelen heeft tegenover in het midden van de kamer, voornamelijk op vlak van betere RSSI. Dit was niet het geval tijdens test 1 aangezien het effect van muren en deuren afwezig is in deze test. Verder is het wel zo dat een deur (zoals het geval bij beacon B) zich niet noodzakelijk in het midden van de locatie bevindt. Dit heeft natuurlijk

een effect op de toewijzing, aangezien de overgangslijn/tijd niet meer midden tussen de locatiebeacons moet geplaatst worden, maar verschoven wordt afhankelijk van de geografie van de locaties.

Deelconclusie

Dit scenario heeft een licht voordeel tegenover vorig scenario, maar enkel als het aankomt op een opstelling niet in een open ruimte. Het lijkt qua detectie en spreiding in de tijd beter om de locatiebeacons dichter bij de gang te hangen. De hypothese is aangenomen.

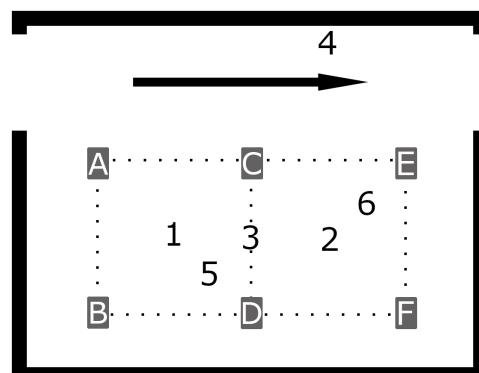
7.4.3 Meerdere locatiebeacons per locatie

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: 2 even grote locaties in open ruimte

Voor deze test worden er in een open ruimte 2 locaties gecreëerd, met een locatiebeacon (MokoSmart H5) in elke hoek, waarvan bij de 2 overlappende hoeken een gemeenschappelijke locatiebeacon. Dit is zichtbaar in figuur 7.37. Deze beacons liggen 2m uit elkaar. Ook zullen er assetbeacons verspreid worden, aangegeven door de cijfers op de figuur. Verder komt er een gateway voorbij volgens de richting van de pijl.



Figuur 7.37: Meerdere locatiebeacons per locatie - Opstelling 1

Resultaat

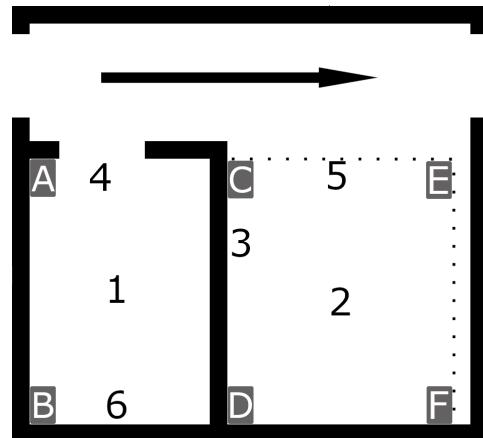
Tijd	Locatie						Asset					
	A	B	C	D	E	F	1	2	3	4	5	6
0	-56	-73	-68	-74	-68	-72	-75	-69	-	-78	-70	-69
2	-59	-73	-69	-72	-68	-72	-70	-65	-81	-80	-77	-74
3	-60	-71	-66	-72	-68	-76	-67	-67	-73	-80	-69	-70
4	-63	-70	-65	-63	-68	-65	-59	-68	-68	-71	-67	-73
5	-67	-60	-62	-62	-72	-70	-60	-62	-77	-71	-70	-68
6	-62	-74	-58	-63	-66	-63	-61	-62	-67	-72	-65	-70
7	-65	-70	-64	-70	-64	-74	-66	-64	-78	-69	-80	-66
8	-69	-65	-63	-73	-64	-67	-56	-60	-80	-72	-66	-63
9	-69	-61	-67	-63	-58	-62	-64	-60	-68	-77	-64	-70
10	-69	-63	-64	-61	-64	-71	-67	-64	-75	-75	-80	-68
11	-72	-62	-56	-59	-64	-64	-60	-65	-67	-70	-65	-64
13	-69	-62	-59	-64	-62	-64	-69	-66	-70	-67	-64	-72
14	-69	-65	-63	-66	-59	-66	-64	-62	-70	-73	-69	-64
15	-69	-63	-64	-65	-62	-70	-64	-69	-74	-69	-68	-77
16	-76	-65	-67	-64	-59	-61	-70	-63	-70	-71	-70	-67
17	-81	-68	-69	-66	-65	-58	-68	-63	-72	-75	-83	-68
18	-71	-65	-67	-66	-63	-62	-67	-59	-78	-69	-75	-68
19	-75	-65	-68	-69	-63	-65	-71	-62	-76	-73	-74	-62
20	-78	-71	-68	-67	-57	-67	-73	-66	-71	-76	-76	-78
21	-76	-69	-66	-67	-64	-62	-69	-70	-70	-83	-78	-69

Tabel 7.12: Meerdere locatiebeacons per locatie - Testresultaat 1

Interessant is wel dat het ook mogelijk is om hetzelfde resultaat te bekomen met de achterste rij locatiebeacons (aangeduid in licht blauw in tabel 7.12). Het is echter wel duidelijk dat deze punten dichter bij elkaar liggen in de tijd en minder nauwkeurig zullen zijn (zoals duidelijk het geval is met assetbeacon 2 en 6, welke in theorie buiten de locatie zouden vallen).

Testconclusie

Dit scenario is overbodig complex en kan vereenvoudigd worden tot het vorige. Deze test heeft wel nogmaals bevestigd dat het voor de precisie beter is als de locatiebeacons dichter bij de gang liggen.

Test 2: 2 even grote locaties gescheiden door muur

In deze testopstelling is een muur toegevoegd tussen de 2 locaties van de testopstelling van test 1, zoals weergegeven in figuurtabel 7.38. Verder blijft de opstelling en test gelijk.

Figuur 7.38: Meerdere locatiebeacons per locatie - Opstelling 2

Resultaat

Tijd	Locatie						Asset					
	A	B	C	D	E	F	1	2	3	4	5	6
2	-63	-72	-73	-73	-68	-71	-74	-77	-68	-70	-74	-66
3	-60	-69	-72	-72	-66	-74	-74	-69	-71	-60	-68	-69
4	-62	-68	-69	-72	-61	-70	-66	-68	-65	-58	-74	-72
5	-62	-64	-69	-71	-64	-73	-72	-72	-64	-63	-70	-65
6	-61	-66	-65	-74	-66	-73	-68	-71	-65	-65	-64	-64
7	-68	-68	-64	-75	-67	-68	-73	-71	-66	-64	-69	-63
8	-66	-74	-67	-78	-68	-66	-73	-68	-59	-69	-64	-67
9	-70	-76	-64	-71	-64	-61	-69	-62	-67	-69	-65	-68
10	-69	-69	-63	-70	-61	-61	-71	-61	-74	-71	-68	-70
11	-69	-74	-67	-68	-62	-70	-80	-62	-73	-73	-66	-70
12	-74	-73	-67	-70	-62	-69	-81	-64	-64	-73	-64	-71
14	-71	-73	-67	-70	-65	-75	-73	-60	-60	-74	-60	-74
15	-76	-73	-66	-70	-61	-65	-76	-66	-65	-77	-65	-72
16	-75	-78	-66	-70	-58	-63	-73	-61	-68	-76	-67	-74
17	-75	-76	-70	-69	-57	-61	-75	-62	-64	-82	-65	-70
18	-73	-77	-70	-72	-56	-64	-	-63	-73	-80	-70	-73
19	-77	-79	-66	-73	-58	-64	-82	-64	-68	-	-70	-78
20	-76	-77	-66	-71	-60	-71	-78	-66	-75	-	-71	-78
21	-78	-77	-69	-72	-59	-66	-83	-72	-70	-80	-75	-75
22	-77	-75	-70	-75	-67	-60	-81	-66	-69	-84	-75	-69

Tabel 7.13: Meerdere locatiebeacons per locatie - Testresultaat 2

Testconclusie

De toegevoegde muur heeft klaarblijkelijk geen effect op de resultaten, iets wat wel het geval was bij de statische versie van deze opstelling. Deze opstelling is wederom vereenvoudigbaar naar die van het scenario uit sectie 7.4.2.

Deelconclusie

Na deze testen kan afgeleid worden dat dit scenario te ver gezocht is, en hetzelfde resultaat kan bereikt worden met een eenenvoudigere opstelling en minder hardware. Alhoewel te hypothese technisch gezien aangenomen is, zal dit scenario niet als beste uit de bus komen na dit onderzoek, door de overbodig hogere kostprijs.

7.4.4 Locatiebeacons in rasteropstelling

Deelconclusie

Na de zeer slechte testresultaten van de statische versie van dit scenario in sectie 7.3.3, en omdat dit scenario zich qua principe berust op dubbele trilateratie, is besloten dit scenario niet nader te onderzoeken. Hierdoor zouden de extreme onnauwkeurigheden bij enkele trilateratie enkel maar extremer worden.

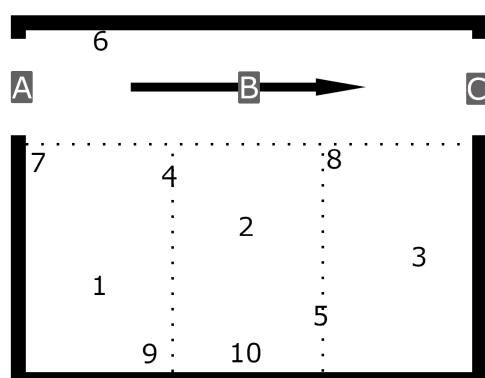
7.4.5 Locatiebeacons op intervallen in de gang

Deelhypothese

Deze opstelling is in staat om verspreide, getagde assets te detecteren en eenduidig aan de correcte locatie toe te wijzen.

Test 1: 3 even grote locaties in open ruimte

De opstelling voor deze test is gelijkaardig aan de opstelling van het test 1 uit het scenario uit sectie 7.4.1. Met als verschil dat de locaties niet meer 1 op 1 worden gedefinieerd door een locatiebeacon, maar dat deze locatiebeacons op gelijke afstand verspreid liggen in de gang (specifiek op 250cm onderlinge afstand). In deze opstelling bevinden de locatiegrenzen zich op resp. 2/3 de afstand tussen A en B, en op 1/3 de afstand tussen B en C. De rest van de afmetingen en opstelling zijn identiek. Dit alles is weergegeven in figuur 7.39.



Figuur 7.39: Beacons op intervallen in de gang - Opstelling 1

Resultaat

Ook de resultaten, zichtbaar in tabel 7.14, zijn gelijkaardig aan deze in test 1 uit sectie 7.4.1. De plaatsing van de scheidingslijn tussen de verschillende locaties is echter wel verschillend. Aangezien de locatie van de locatiegrenzen en de beacons niet meer aan elkaar gelinkt zijn, hangt het af van de specifieke opstelling hoe deze zich tot elkaar verhouden. Hier is dit 2/3 en 1/3, en door recht evenredige verhouding tussen de afstand en de tijd door de constante snelheid is de scheidingslijn ook zo geplaatst in de tabel.

Tijd	Locatie			Asset									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-68	-74	-83	-68	-71	-75	-69	-76	-73	-74	-70	-73	-68
2	-56	-67	-74	-74	-70	-73	-70	-76	-65	-71	-69	-74	-77
3	-58	-67	-73	-67	-69	-66	-64	-72	-65	-72	-68	-70	-72
4	-67	-63	-74	-68	-67	-68	-63	-77	-71	-68	-67	-67	-69
5	-68	-70	-75	-65	-62	-65	-64	-63	-64	-66	-63	-65	-63
6	-63	-67	-74	-64	-66	-69	-61	-65	-68	-69	-67	-62	-64
8	-72	-64	-79	-60	-64	-68	-61	-69	-70	-66	-62	-64	-67
9	-67	-66	-73	-65	-64	-66	-63	-67	-73	-69	-59	-66	-64
10	-75	-63	-78	-59	-71	-63	-60	-67	-84	-75	-62	-63	-62
11	-75	-70	-69	-63	-61	-60	-62	-67	-79	-76	-54	-68	-63
12	-78	-71	-66	-58	-63	-62	-72	-60	-76	-72	-54	-64	-64
13	-80	-68	-68	-65	-66	-66	-69	-63	-75	-75	-56	-68	-66
15	-76	-77	-66	-60	-63	-62	-67	-73	-80	-78	-58	-62	-63
16	-76	-70	-64	-68	-65	-63	-67	-63	-82	-72	-61	-77	-67
17	-74	-68	-74	-65	-68	-63	-69	-66	-74	-78	-59	-67	-77
18	-83	-65	-70	-64	-67	-58	-73	-68	-	-79	-62	-69	-64
19	-79	-69	-71	-69	-63	-64	-70	-67	-82	-76	-69	-68	-68

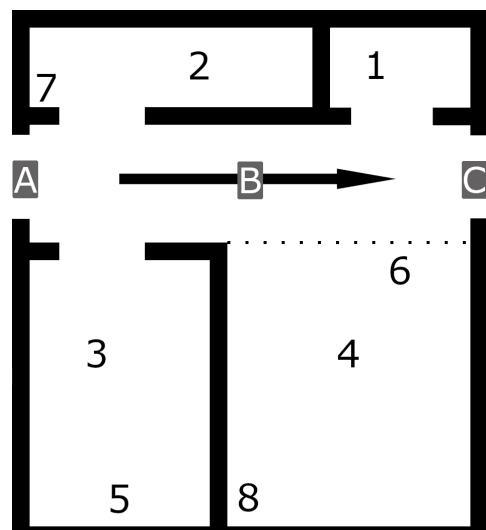
Tabel 7.14: Beacons op intervallen in de gang - Testresultaat 1

Na deze andere manier van locatietoewijzing is het duidelijk dat de lokaliseringsresultaten nog steeds goed overeen komen met de werkelijkheid. Dit met uitzondering van beacon 1, welke is versprongen van de eerste naar de laatste locatie. Dit fenomeen is al tegengekomen in test 1 van sectie 7.4.2 en wordt daar besproken.

Testconclusie

Deze test vertoont analoge resultaten aan eerdere scenario's.

Test 2: gang omringd door 4 locaties van variabele grootte



De opstelling voor deze test is gelijkaardig aan deze uit test 2 in sectie 7.4.1. Idem aan test 1 worden de locatiebeacons geplaatst op gelijke afstanden in de tussenliggende gang. De locatieovergang tijdens deze test is vlak voor locatiebeacon B aan de rechterkant, en 1/3 de afstand tussen B en C langs de linkerkant van de gang. Dit alles is weergegeven in figuur 7.40.

Figuur 7.40: Beacons op intervallen in de gang - Opstelling 2

Resultaat

Tijd	Locatie			Asset							
	A	B	C	1	2	7	3	4	5	6	8
0	-59	-74	-69	-76	-80	-66	-81	-	-78	-77	-79
1	-58	-68	-65	-	-69	-58	-76	-	-75	-73	-
3	-59	-66	-64	-74	-70	-65	-65	-70	-69	-74	-72
4	-63	-65	-70	-	-75	-61	-69	-70	-74	-73	-79
5	-66	-70	-74	-84	-69	-63	-61	-73	-65	-64	-79
6	-68	-61	-69	-73	-74	-65	-69	-67	-67	-63	-70
7	-65	-64	-68	-80	-76	-66	-73	-66	-72	-70	-65
8	-72	-57	-69	-76	-77	-75	-75	-64	-75	-62	-62
9	-71	-66	-69	-69	-73	-69	-79	-58	-74	-64	-66
10	-70	-66	-62	-80	-82	-73	-81	-68	-73	-66	-65
11	-66	-70	-62	-69	-82	-77	-83	-61	-79	-61	-63
13	-72	-66	-66	-68	-	-81	-74	-65	-80	-64	-63
14	-70	-69	-67	-72	-	-76	-82	-63	-78	-60	-64
16	-69	-72	-63	-71	-	-78	-	-64	-81	-65	-64
17	-68	-75	-59	-83	-	-78	-	-69	-80	-67	-62
18	-73	-74	-55	-81	-	-82	-79	-69	-81	-65	-68
19	-73	-71	-64	-81	-	-77	-	-70	-77	-69	-68

Tabel 7.15: Beacons op intervallen in de gang - Testresultaat 2

Testconclusie

Uit deze test is duidelijk dat ook in een reële situatie, assetbeacons in de gang een goede oplossing kan zijn.

Deelconclusie

Dit scenario heeft zeer gelijkaardige resultaten aan secties 7.4.1 en 7.4.2. Het verschil met deze scenario's is echter wel dat bij deze niet elke locatie een beacon nodig heeft, en de hardware kost lager is. Ook is het mogelijk de locatiedefinitie te veranderen zonder de hardware te moeten verhangen, wat een voordeel kan geven voor sommige use cases. Langs de andere kant is wel een definitie nodig van waar een locatie start en eindigt, in relatie tot de locaties van de locatiebeacons. Deze omrekening is ook enkel mogelijk als de snelheid constant is. Dit zorgt voor een minder gestandaardiseerde uitrol van een systeem gebaseerd op dit scenario, en heeft hierdoor een hogere installatie en onderhoudskost.

8. Conclusie

8.1 Informatiebundeling

Voordat een algemene conclusie getrokken kan worden, is het interessant alle relevante informatie op een rijtje te plaatsen. Hieronder volgt een opsomming van alle onderzochte opstellingen, waarbij voor elk hun toepassingsgebied wordt bijgevoegd, alsook de eventuele **voor-** en **nadelen**. Al deze informatie is reeds beschikbaar in het corpus en voornamelijk deelconclusies in hoofdstuk 7. De informatie voor de algemene voor- en nadelen wordt gehaald uit hoofdstuk 5. Deze gelden voor elke opstelling in de specifieke technologie.

Ook wordt er een benadering gegeven voor de kostprijs, de informatie voor deze berekening is reeds beschikbaar in hoofdstuk 6. Deze kostprijs K wordt uitgedrukt als $K = f(l, a)$ met l het aantal locaties en a het aantal assets. Dit zijn de 2 voornaamste schaalfactoren voor de kosten.

Het doel van deze sectie is een gestructureerde weergave van de meest interessante informatie te geven, als basis voor het nemen van de feitelijke eindconclusie.

8.1.1 RFID Algemeen

Voor- en nadelen

- Goedkope tags
- Tags vereisen geen/minimaal onderhoud
- Dure uitrolkosten
- Tags enkel detecteerbaar in RFID doorgang

- Tagoriëntatie in de RFID doorgang is belangrijk

8.1.2 BLE Algemeen

Voor- en nadelen

- Beacons steeds detecteerbaar
- Goedkope uitrolkosten
- Tagoriëntatie verwaarloosbaar
- Beacons vereisen onderhoud
- Relatief dure beacons
- Grote variatie op RSSI waarden

8.1.3 Static RFID: 1 antenne aan deurlijst

Bruikbaar bij afgesloten ruimtes met (smalle) toegangen als locatie.

Voor- en nadelen

- Goedkoopste/minimale RFID optie
- Geen richtingsdetectie
- Enkel te gebruiken in deurdoorgang

Kostprijs

$$K = 1400 \cdot l + 0.01 \cdot a$$

De kostprijs per locatie kan verlaagd worden door meerdere antennes op 1 transceiver aan te sluiten, als de in-/uitgangen van deze locaties dicht genoeg bij elkaar liggen

8.1.4 Static RFID: 2 antennes aan deurlijst

Bruikbaar bij afgesloten ruimtes met (smalle) toegangen als locatie.

Voor- en nadelen

- Richtingsdetectie
- Past moeilijker in deurlijst door breedte 2 antennes + eventuele tussenafstand bij bredere doorgang.
- Enkel te gebruiken in deurdoorgang

Kostprijs

$$K = 1450 \cdot l + 0.01 \cdot a$$

De kostprijs per locatie kan verlaagd worden door 2 antenneparen op 1 4-port transceiver aan te sluiten, als de in-/uitgangen van deze locaties dicht genoeg bij elkaar liggen

8.1.5 Static RFID: 1 antenne tegenover deur

Bruikbaar bij afgesloten ruimtes met een (korte) gang als toegang, als locatie.

Voor- en nadelen

- Richtingsdetectie
- Slechts 1 antenne
- Vereist langere gang dan enkel deurdoorgang voor goede werking

Kostprijs

$$K = 1400 \cdot l + 0.01 \cdot a$$

De kostprijs per locatie kan verlaagd worden door meerdere antennen op 1 transceiver aan te sluiten, als de in-/uitgangen van deze locaties dicht genoeg bij elkaar liggen

8.1.6 Dynamic RFID: 1 tag aan deurlijst

Bruikbaar bij afgesloten ruimtes met (smalle) toegangen, als locatie.

Voor- en nadelen

- Goedkoop door slechts 1 reader
- Niet noodzakelijk detectie van *alle* aanwezige assets.

Kostprijs

$$K = 1400 + 0.01 \cdot (l + a)$$

8.1.7 Static BLE: 1 gateway per locatie

Bruikbaar bij alle reële locaties gescheiden door muren.

Voor- en nadelen

- Goedkoop
- Eenvoudig
- Niet goed bruikbaar bij meerdere locaties in open ruimte.

Kostprijs

$$K = 100 \cdot l + 10 \cdot a$$

8.1.8 Static BLE: meerdere gateways per locatie

Overal bruikbaar, bij reële locaties gescheiden door muren vereenvoudiging mogelijk.

Voor- en nadelen

- Goede werking bij meerdere locaties in open ruimte.
- Hogere hardwarekost
- Kan worden vereenvoudigd

Kostprijs

$$K = 400 \cdot l + 10 \cdot a$$

Veronderstelling van omringing door 4 gateways, meer of minder is mogelijk.

8.1.9 Static BLE: gateways in rasteropstelling

Nergens bruikbaar

Voor- en nadelen

- Lagere hardwarekost door geen 1:1 relatie tussen locatiebeacons en locaties
- Locatiedefinities veranderbaar zonder hardware aanpassingen
- Werkt niet
- Meer overhead door nood aan locatiedefiniëring

Kostprijs

$$K = \ll 100 \cdot l + 10 \cdot a$$

Er kan ook meer dan 1 gateway per locatie in een raster staan, in dat geval zijn er echter goedkopere opstellingen mogelijk

8.1.10 Dynamic BLE: 1 locatiebeacon per locatie, midden van locatie

Overal bruikbaar

Voor- en nadelen

- Lage hardwarekost
- Werkt overal
- Geen real-time detectie
- Hoog batterijgebruik

Kostprijs

$$K = 100 + 10 \cdot (l + a)$$

8.1.11 Dynamic BLE: 1 locatiebeacon per locatie, aan deur

Overal bruikbaar

Voor- en nadelen

- Lage hardwarekost
- Werkt overal
- Nauwkeurigere detectie dan met beacon in midden van kamer
- Geen real-time detectie
- Meer overhead als deur met beacon niet in midden van kamer zit
- Hoog batterijgebruik

Kostprijs

$$K = 100 + 10 \cdot (l + a)$$

8.1.12 Dynamic BLE: meerdere locatiebeacons per locatie

Overal bruikbaar, bij reële locaties gescheiden door muren vereenvoudiging mogelijk.

Voor- en nadelen

- Lage hardwarekost
- Werkt overal
- Geen real-time detectie
- Kan worden vereenvoudigd
- Hoog batterijgebruik

Kostprijs

$$K = 100 + 10 \cdot (l + a)$$

8.1.13 Dynamic BLE: locatiebeacons in rasteropstelling

Nergens bruikbaar

Voor- en nadelen

- Nog lagere hardwarekost door geen 1:1 relatie tussen locatiebeacons en locaties
- Locatiedefinities veranderbaar zonder hardware aanpassingen
- Werkt niet
- Meer overhead door nood aan locatiedefiniëring
- Hoog batterijgebruik

Kostprijs

$$K = 100 + 10 \cdot (\ll l + a)$$

Er kan ook meer dan 1 locatiebeacon per locatie in een raster staan, in dat geval zijn er echter goedkopere opstellingen mogelijk

8.1.14 Dynamic BLE: locatiebeacons op intervallen in de gang

Overal bruikbaar

Voor- en nadelen

- Nog lagere hardwarekost door geen 1:1 relatie tussen locatiebeacons en locaties
- Locatiedefinities veranderbaar zonder hardware aanpassingen
- Geen real-time detectie
- Meer overhead door nood aan locatiedefiniëring
- Hoog batterijgebruik

Kostprijs

$$K = 100 + 10 \cdot (\ll l + a)$$

Er kan ook meer dan 1 locatiebeacon per locatie in de gangen hangen, in dat geval zijn er echter goedkopere opstellingen mogelijk

8.2 Een antwoord op de onderzoeksvervraag

Na opsomming van de belangrijkste conclusies van alle onderzochte opstellingen in sectie 8.1, is de tijd gekomen om een antwoord te formuleren op de onderzoeksvervraag van dit onderzoek. Deze vraag luidt als volgt¹:

Welke hardwareopstelling, bestaande uit RFID of BLE componenten, is optimaal voor de plaats- en verplaatsingsbepaling van een voorwerp binnen een gebouw.

Om een antwoord te geven op deze onderzoeksvervraag moet een vergelijking gemaakt worden tussen alle opstellingen. Een goed begin hiervoor is bij de gebruikte technologie.

RFID vs BLE

Zoals aangehaald in secties 8.1.1 en 8.1.2 heeft elk van deze technologieën zijn voor- en nadelen. Echter is hier de vraag welke van deze voor- en nadelen het meeste doorweegt voor een goede en bruikbare lokalisatieopstelling. Het fundamentele voordeel van BLE op dit vlak is nog steeds dat de getagde assets steeds zichtbaar zijn voor het systeem, en er altijd zeker is geweten of het asset aanwezig is, en waar, dit is niet het geval bij RFID.

Verder heeft BLE een voordeel door de lagere uitrolkosten van een systeem, wat de aanschafdrempel voor heel wat bedrijven, zeker deze met een kleiner budget, kan verlagen. De opschalingskosten, met name deze om meer assets te taggen, zijn hoger dan bij RFID, maar dit is voor toepassingen met een beperkt aantal assets niet zo'n probleem. Ook kan dit geleidelijk aan gebeuren samen met de groei van een bedrijf. Bijvoorbeeld een initiële investering van €5000 voor een systeem en elk jaar €2000 voor nieuwe beacons is realistisch, maar een uitrolkost van €50000 voor een RFID systeem, hoe klein de kost daarna ook mag zijn is veel onaantrekkelijker. Slechts als de kosten van de beacons in de buurt komt van de initiële kost van een RFID opstelling kan er een degelijke vergelijking gemaakt worden. Deze argumenten in acht nemend is het duidelijk dat BLE met oog op de onderzoeksvervraag voor dit onderzoek de bovenhand heeft. De beste opstelling zal hierdoor komen uit de 8 BLE opstellingen.

Statisch vs Dynamisch

Het volgende bestaande onderscheid is deze tussen de statische en dynamische opstellingen. Hier is het zo dat bij beide categorieën opstellingen bestaan die een perfecte lokalisatie bekomen van de assets. Hier bestaat een gelijkstand. Echter is dit niet het enige criteria in de onderzoeksvervraag. Ook de detectie van een verplaatsing is vereist, en op dit vlak is er een falen van de dynamische opstellingen. Dit voornamelijk door hun fundamentele niet real-time aard. Bij dynamische opstellingen worden de assets enkel gedetecteerd als de gateway rondgaat in het gebouw. Op dat moment kan een asset al lang verplaatst zijn en is deze niet, of in het beste geval later gedetecteerd. In tegenstelling tot een statische opstelling,

¹Zie Sectie 3.3 op pagina 18

waarbij deze verplaatsing meteen wordt gedetecteerd van zodra de gemeten RSSI waarden zo veranderen dat deze bij een andere locatie wordt gecategoriseerd. Statische opstellingen hebben een betere, of op zijn minst snellere detectie, van een verplaatsing.

Verder is het wel zo dat de kostprijs van een statische opstelling hoger licht dan deze van een dynamische. Echter is dit verschil niet zo uitgesproken, en nog steeds draagbaar (€100 voor een gateway is niet zo veel, en zeker niet zo veel meer dan de €10 voor een beacon). Verder is er qua kostprijs ook de onderhoudskost te bekijken. Voor een dynamische opstelling moeten de beacons op elk moment zeer snel staan ingesteld, wat de batterijduur veel verkort en waardoor er sneller nieuwe batterijen, of nieuwe beacons als de batterij onvervangbaar is, nodig zijn. Bij statische opstellingen kunnen de beacons veel trager ingesteld staan en nog steeds een acceptabele lokalisatie geven, met langere batterijduur tot gevolg. Daarom zal de beste opstelling een van de drie statische opstellingen zijn.

De keuze

Na vorige schiftingen blijven er nog 3 opstellingen over. Als eerste is het duidelijk dat de rasteropstelling niet de beste is, aangezien deze zeer slechte resultaten leverde. Verder is het, qua toepassingsgebied, duidelijk dat de opstelling met meerdere gateways per locatie de beste is uit de 2 overgebleven, aangezien deze werkt in een open ruimte en de opstelling met 1 gateway niet. Echter is het zo dat bij een situatie waarbij elke locatie omringt is door een muur, deze kan vereenvoudigd worden naar de opstelling met 1 gateway per locatie. Een combinatie van deze 2 opstellingen lijkt hierdoor het meest toegewezen om het probleem aangekaart in de onderzoeksvervraag op te lossen.

Het effectieve antwoord

Het antwoord op de onderzoeksvervraag luidt als volgt:

Een combinatie van 2 statische BLE opstellingen, nl. 1 gateway per locatie voor ommuurde locaties, en meerdere gateways per locatie voor meerder locaties in een open ruimte, is optimaal voor de plaats- en verplaatsingsbepaling van een voorwerp binnen een gebouw.

8.3 Nawoord

Het is ook duidelijk dat, hoewel dit de beste optie is als antwoord op de onderzoeksvervraag zoals ze gesteld is, het merendeel van de andere opstellingen ook hun toepassingsgebied hebben.

Statische RFID opstellingen, hoewel hier achterwege gelaten voornamelijk door de hoge initiële kost, heeft toepassingen bij zeer hoge volumes assets. Dit is ook niet verrassend aangezien toepassingen van deze opstellingen de voornaamste bezigheid is van Aucxis, en zeker voor de toevoeging van BLE aan hun palmares.

Dynamische BLE opstellingen hebben ook uitermate goed gepresteerd, en hier zit zeker potentieel in. Het leent zich meer voor concepten zoals inventarisatie, waarbij de eis kan zijn dat er 1x per dag een update van locaties moet zijn en de mobiele gateway bv. aan de kar van de poetsvrouw kan hangen. Echter is het niet geschikt voor (real-time) verplaatsingsdetectie zoals de eis was voor dit onderzoek.

8.4 Verder onderzoek

Dit onderzoek is voornamelijk bedoeld als verkennend, het verkennen van veel verschillende soorten opstellingen zonder al te diep erop in te gaan. Er is nu een antwoord uit de bus gekomen, maar dit is in essentie de optie die het meeste kans maakt om optimaal te zijn. Hierbij is verder onderzoek nodig naar de invloed van verschillende factoren die tijdens dit onderzoek constant zijn genomen. Dit zijn voornamelijk de invloed van de grootte van de locaties (opschalen van de testopstelling) en de invloed van de zendsterkte van de beacons. Maar verder ook meer specifieke variabelen zoals de soort gateway en beacons, de inhoud van de locaties (qua meubels en eventueel reflecterende materialen), het soort muren en deuren en zo veel andere beïnvloedende factoren. Het spreekt voor zich dat een onderzoek naar al deze factoren een onderzoek is van dezelfde grootteorde als deze, en dit niet meer bij de scope van dit onderzoek hoort.

Verder zijn tijdens dit onderzoek de opstellingen in een raster met trilateratie gefaald door de limitatie van het zeer onjuiste omrekening van RSSI waardes naar afstand. Echter is dit niet de enige mogelijkheid om uit deze data een locatie te bepalen, en hoogstwaarschijnlijk kan er, na enig onderzoek, een algoritme bedacht worden die wel acceptabele resultaten geeft. Dit lag echter ook buiten de scope van dit onderzoek.

A. Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1 Introductie

Dit onderzoek zal draaien rond het onderzoeken en vergelijken van verschillende tracking technologieën, zowel actieve als passieve, in verschillende use-cases. Dit zal worden gedaan in samenwerking met Auxcis. Dit bedrijf wil haar bestaande aanbod Track and Trace oplossingen, welke momenteel berusten op het gebruik van passieve RFID tags, uitbreiden met oplossingen gebaseerd op actieve technologieën (zoals BLE, CenTrak, UHF, GPS enz.). Voordat ze dit willen verwezenlijken zijn zij geïnteresseerd in een onderzoek naar de voor- en nadelen, en toepassingsgebieden/use-cases van de verschillende actieve technologieën die realistisch door hun inzetbaar zijn.

Tegenwoordig wordt er steeds meer gebruik gemaakt van trackingtechnologiën, echter is het in vele gevallen moeilijk te kiezen tussen de technologie waarvan gebruik zal gemaakt worden aangezien de specificaties verschillen tussen deze technologiën. Het doel van dit onderzoek is dan ook het kiezen tussen deze verschillende opties gemakkelijker maken, door op een overzichtelijke manier deze verschillende opties met hun voor-en nadelen en toepassingsgebieden weer te geven.

Practisch gezien zullen deze verschillende toepassingsgebieden vooral onderscheiden worden door het bereik (samengehangend met de grootte van het gebouw) en de nauwkeurigheid/detectiegraad (samengehangend met de grootte van het voorwerp, en de snelheid van verplaatsing) van de technologie, alsook het verschil tussen een statische en dynamische

setup. Ook andere factoren zoals kost (Hardware, licence fees et.), het effect van meerdere verdiepingen en gemak van integratie in bestaande systemen zullen van belang zijn, en deze zullen dus ook opgenomen worden in het onderzoek en conclusies.

A.2 State-of-the-art

A.2.1 Actieve vs. passieve trackingtechnologieën

Actieve trackers versturen voortdurend een signaal welke opgevangen kan worden door een basisstation, en zo kan in real-time de positie van de tracker (en bij uitbreiding het voorwerp of de persoon waaraan deze verbonden is) gelocaliseerd en gevogd worden. Dit in tegenstelling tot pasieve trackers, welke een locatie opslaan, die later kan uitgelezen worden om de locatiegeschiedenis te bepalen. (Rosenfeld, 2017)

A.2.2 Waarom dit onderzoek?

De keuze tussen de verschillende technologieën is niet gemakkelijk en zeer afhankelijk van de toepassing. Echter zijn er niet veel tot geen bronnen vindbaar die deze vergelijking maken. De bronnen die er zijn focussen zich voornamelijk op de voornaamste speler, GPS, gevolgd door satteliettracking en gebruik van het mobiel netwerk. Alhoewel dit zeer bruikbare technologieën zijn zijn deze niet geschikt voor de toepassing in gebouwen, aangezien zij niet nauwkeurig genoeg zijn en problemen hebben bij de aanwezigheid van verdiepingen. Andere meer besproken technologieën zijn BLE en WiFi, welke veelbelovend zijn, maar er bestaan geen vergelijkingen met andere minder bekende technologieën zoals CenTrak. Dit onderzoek is bedoeld ondersteuning te bieden bij deze keuze. (Deloitte, 2021) (Nijhawan, 2021)

A.3 Methodologie

Het onderzoek zal voornamelijk experimenteel verlopen, met testopstellingen van de fysieke hardware (opgesteld op het kantoor van Auxcis). De kwantitatieve resultaten (nauwkeurigheid, detectiegraad, bereik enz.) zullen hiermee worden bepaald. Voor het bepalen van het gemak van integratie in bestaande infrastructuur zal een server gebouwd worden met Dotnet, welke zal dienen als 'vertaler' tussen de fysieke infrastructuur en de bestaande servers van Auxcis. Alhoewel de resultaten op dit vlak voornamelijk een mening van mezelf zullen zijn (moeilijkheidsgraad is subjectief), zijn hier ook meetbare parameters zoals aantal werkuren en aantal lijnen code aan verbonden. Dus ook hier zijn kwantitatieve conclusies uit te trekken. Factor kost zal uiteraard vooral afhangen van de betaalde prijs van de opstelling, uiteraard gestandaardiseerd om alle technologieën hetzelfde te beoordelen.

A.4 Verwachte resultaten

Aangezien het doel van dit onderzoek een vergelijking maken is, zullen de resultaten grotendeels kunnen worden neergeschreven in een tabel, met een rij voor elke technologie en een kolom voor elke gemeten/bepaalde variabele. Ook zal aan elke technologie een score worden gegeven op basis van de geschiktheid voor een bepaalde toepassing, met hiervoor ook een boomdiagram voor het maken van een keuze van technologie.

A.5 Verwachte conclusies

Ik verwacht dat een klassieke technologie zoals GPS het slecht zal doen tegenover meer moderne en kleinschaligere technologieën met basisstations zoals BLE of CenTrak, door de slechtere nauwkeurigheid. Welke van de andere technologieën op welke vlakken zal uitschijnen zal afhangen van het onderzoek. Alhoewel ik denk dat CenTrak het goed zal doen aangezien dit voornamelijk is ontworpen voor de tracking van objecten binnen een ziekenhuis dus dit heeft zijn toepassing al mee.

Bibliografie

- Adarsh, M. (2022). Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon Technology Made Simple: A Complete Guide to Bluetooth Beacons. *Beaconstac*. <https://blog.beaconstac.com/2018/08/ble-made-simple-a-complete-guide-to-ble-bluetooth-beacons/>
- Admin, E. (2022). What is RSSI and its acceptable signal strength? <https://helpcenter.engeniustech.com/hc/en-us/articles/234761008-What-is-RSSI-and-its-acceptable-signal-strength>
- Advantenna-p11™RFID UHF wide beam antenna*. (g.d.). Keonn. <https://keonn.com/wp-content/uploads/Keonn-Advantenna-p11-Data-sheet.pdf>
- Amster, S. (2021). RFID (radio frequency identification). *IoTAgenda*. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/RFID-radio-frequency-identification>
- Armstrong, S. (2013). 6 Factors that Affect RFID Read Range. https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/improve-rfid-read-range/?utm_campaign=Content&utm_content=read-range&utm_medium=Tag_Info_Guide_Link&utm_source=Tag_Info_Guide
- atlasrfidstore. (2022a). What are RFID Tags? | UHF Tags Explained. https://www.atlasrfidstore.com/what-are-uhf-rfid-tags/?utm_source=RFID-Beginners-Guide&utm_medium=eBook&utm_campaign=Content&utm_content=tag-guide#introduction
- atlasrfidstore. (2022b). What is RFID? | The Beginner's Guide to How RFID Systems Work. <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-beginners-guide/>
- Aucxis. (2020). Over Aucxis. <https://www.aucxis.com/nl/rfid/over-aucxis>
- Aucxis. (2022). RFID technologie. <https://www.aucxis.com/nl/rfid/Wat%20is%20RFID?>
- Deloitte. (2021). Types of asset tracking technologies. <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/energy-resources-industrials/articles/industry40-types-of-asset-tracking-technologies.html>.

- Estimote. (2018). What is Eddystone and how can I use it with my beacons? *Estimote*. <https://community.estimote.com/hc/en-us/articles/206922207-What-is-Eddystone-and-how-can-I-use-it-with-my-beacons->
- Gillis, A. S. (2022). What is the internet of things (IoT)? *IoTAgenda*. <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Google. (2018). Eddystone. *Github*. <https://github.com/google/eddystone/tree/master/eddystone-eid>
- LogisCenter. (2022). ZIPRT3014648 - LABELS-ZEBRA. <https://www.logiscenter.be/ziprt3014648-zebra-lab-rfid-z-select-tt-pap-102x152mm-bo>
- MarCom. (2021). Mokosmart. <https://shop.marcomweb.it/en/shop-online/manufacturer/mokosmart.html>
- Mikrotik. (2020). KNOT. <https://mikrotik.com/product/knot>
- MQTT. (2022). MQTT: The Standard for IoT Messaging. <https://mqtt.org/>
- MultiTech. (2022). MultiTech. *MultiTech*. <https://www.multitech.com/landing-pages/what-is-an-iot-gateway>
- Nesbo, E. (2021). What Is BLE (Bluetooth Low Energy) and How Does It Work? *Make Us Of*. <https://www.makeuseof.com/what-is-ble-bluetooth-low-energy/>
- Nijhawan, B. (2021). Active and Passive Tracking: A Guide To Choosing The Right Technology. <https://loconav.com/blog/active-and-passive-vehicle-tracking/>.
- Nordquist, T. (2019). MQTT Explorer An all-round MQTT client that provides a structured topic overview. <http://mqtt-explorer.com/>
- Pasternack. (2020). Free Space Path Loss Calculator. <https://www.paternack.com/t-calculator-fspl.aspx>
- RabbitMQ. (2022). RabbitMQ is the most widely deployed open source message broker. <https://www.rabbitmq.com/>
- Rosenfeld, M. (2017). Passive vs. Active Tracking: How to Know Which Is Right for You. <https://gpstechnologies.com/2017/07/passive-vs-active-tracking/>.
- Semiconductor, N. (2022). nRF Connect for Desktop. [https://www.nordicsemi.com/Products/Development-tools/nRF-Connect-for-desktop](https://www.nordicssemi.com/Products/Development-tools/nRF-Connect-for-desktop)
- SICK. (2022). RFID-transponders. <https://www.sick.com/be/nl/automatische-identificatie/rfid/rfid-transponders/c/g543848>
- Smart, M. (2022). Eddystone Protocol and Specifications. *Moko Smart*. <https://www.mokosmart.com/eddystone-protocol-and-specifications/>
- Smiley, S. (2017). 17 Things You Might Not Know About Gen 2 RFID Tag Memory Banks. *RFID Insider*. https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/17-things-might-not-know-gen-2-rfid-tag-memory-banks?utm_source=RFID-Beginners-Guide&utm_medium=eBook&utm_campaign=Content&utm_content=memory-banks
- Speed of light. (2022). [https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_light#:~:text=The%20speed%20of%20light%20in,186000%20mi/s\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_light#:~:text=The%20speed%20of%20light%20in,186000%20mi/s).)
- theRFIDstore. (2022a). Keonn Advantenna-p11 UHF RFID Antenna. https://www.therfidstore.eu/en/rfid-antennas/1894-keonn-advantenna-p11-uhf-rfid-antenna-advantenna-p11.html#/operating_frequency-etsi_865_868_mhz/holder-without_holder
- theRFIDstore. (2022b). RAIN UHF RFID READER. <https://www.therfidstore.eu/en/181-rain-uhf-rfid-reader>

True-range multilateration. (2022). *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/wiki/True-range_multilateration#Two_Cartesian_dimensions,_two_measured_slant_ranges_\(trilateration\)](https://en.wikipedia.org/wiki/True-range_multilateration#Two_Cartesian_dimensions,_two_measured_slant_ranges_(trilateration))

Tseard. (2016). dBm (Decibel-Milliwatts). <https://www.skillsuni.com/dbm-decibel-milliwatts-wat-is-dat-en-hoe-werkt-het/>