

2014•2015  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

Masterproef  
Patient positioning system

Promotor :  
ing. Frank APPAERTS

Promotor :  
Prof. dr. LARS GRIETEN

Davy Struys  
*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015  
Faculteit Industriële  
ingenieurswetenschappen  
*master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

Masterproef  
Patient positioning system

Promotor :  
ing. Frank APPAERTS

Promotor :  
Prof. dr. LARS GRIETEN

Davy Struys  
*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: elektronica-ICT*

# WOORD VOORAF

---

Davy Struys september 2015

Deze master thesis vormt het slot van mijn opleiding als industrieel ingenieur in de elektronica-ICT. Het voorbije jaar heb ik mij verdiept in verschillende toepassingen van indoor positie systemen en hun gebruikte technieken om uiteindelijk een eigen conceptueel systeem uit te bouwen.

Bij dezen wil ik mijn dank betuigen aan de gedreven en creatieve mensen van de Future Health afdeling van het ZOL die mij de kans gegeven om een stage bij hun te volgen.

Vooreerst gaat men dank uit naar Ing. Frank Appearts en Prof. Dr. Lars Grieten voor hun steun en begeleiding maar zeker ook voor hun vertrouwen in mij.

Zeker niet te vergeten zijn mijn mede studenten Bart Suelze, Marijn Lemmens en Glenn hahn waar ik steeds bij terecht kon voor vragen en technische steun.

Deze ervaring was zeer educatief en Ik heb veel nieuwe kennis vergaard, bedankt.



# INHOUDSOPGAVE

---

<b>I</b>	<b>INTRODUCTIE</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>13</b>
1.1	Situering	13
1.2	Probleemstelling	14
1.3	Doel	15
1.4	Methode	16
<b>II</b>	<b>LITERATUURSTUDIE</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>INDOOR POSITIONING SYSTEM</b>	<b>17</b>
1.1	Inleiding	17
1.2	Indoor Positie Toepassingen	17
1.3	Opbouw van het systeem	18
1.4	Sensor Technologieën	19
1.5	Performance karakteristieken	21
1.5.1	Accuraatheid	21
1.5.2	Precisie	21
1.5.3	Schaalbaarheid	21
1.5.4	Complexiteit	21
1.5.5	Kost	21
1.5.6	Robuustheid	21
<b>2</b>	<b>WI-FI POSITIONING SYSTEM</b>	<b>22</b>
2.1	Inleiding	22
2.2	RF Meet Technieken	22
2.2.1	Tijdsmeeting	22
2.2.2	Angle of Arrival (AOA)	23
2.2.3	Received Signal Strength (RSS)	23
2.3	Positiebepaling Methodes	24
2.3.1	Triangulation	24
2.3.2	Trilateration	24
2.3.3	Multilateration	25
2.3.4	Fingerprinting	25
2.4	Storingen	26
2.4.1	Multipath propagatie	26
2.4.2	Absorptie	26
2.5	Samenvatting	27
<b>3</b>	<b>HARDWARE / SOFTWARE</b>	<b>28</b>
3.1	Inleiding	28
3.2	Android Device	28
3.2.1	Android Studio	28
3.2.2	Smartphone	29
3.3	Redpin Server	29
3.3.1	Wat is Redpin	29
3.3.2	Opstelling	30
3.3.3	Meeting	30
3.3.4	Locatie Algoritme	31

3.4	Web Framework	33
3.4.1	Vergelijking	33
3.4.2	Play Framework	33
<b>III</b>	<b>ONTWIKKELINGSFASE</b>	<b>35</b>
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>35</b>
1.1	Overzicht	35
1.2	Doel	35
<b>2</b>	<b>CONCEPT VAN HET SYSTEEM</b>	<b>36</b>
2.1	Inleiding	36
2.2	Opstelling	36
2.3	Positie Methode	37
2.3.1	RSSI Fingerprinting	37
2.4	Gehele werking van het systeem	38
2.4.1	Training fase (offline)	38
2.4.2	Positie fase (online)	39
2.5	Communicatie Methode	39
<b>3</b>	<b>HARDWARE / SOFTWARE</b>	<b>40</b>
3.1	Inleiding	40
3.2	Wi-Fi Infrastructuur	40
3.3	Client	41
3.3.1	Access point scan	41
3.3.2	Set-Up-app	42
3.3.3	Patient-app	43
3.4	Server	44
3.4.1	User Interface Service	44
3.4.2	Locator Service	46
<b>4</b>	<b>RESULTATEN</b>	<b>49</b>
4.1	Inleiding	49
4.2	Access point opmeting	49
4.3	Test case radiomap	50
4.3.1	Opstelling	50
4.4	Besluit	51
<b>IV</b>	<b>SLOT</b>	<b>53</b>
<b>1</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>53</b>
1.1	Suggestie voor verder onderzoek	53
<b>V</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>55</b>
<b>1</b>	<b>ONDERZOEK PAPERS</b>	<b>55</b>
<b>2</b>	<b>ONLINE BRONNEN</b>	<b>55</b>
<b>3</b>	<b>LEZINGEN</b>	<b>56</b>

# LIJST VAN TABELLEN

---

Tabel 1 Sensor technologieën .....	19
Tabel 2 Eigenschappen van meettechnieken .....	27
Tabel 3 Vergelijking Android en Eclipse .....	28
Tabel 4 Sensoren Galaxy S4.....	29
Tabel 5 Framework vergelijking [19] .....	33
Tabel 6 Redpin action tabel.....	47
Tabel 7 Acces point BSSID tabel.....	49





# LIJST VAN FIGUREN

---

Figuur 1	Verschillende onderdelen van het body area network .....	13
Figuur 2	Toekomst visie .....	14
Figuur 3	Verschillende delen van het IPS .....	15
Figuur 4	Abstracte voorstelling van IPS systeem [10].....	17
Figuur 5	IPS layers .....	18
Figuur 6	Verschillende IPS opstellingen.....	18
Figuur 7	Dekking en Accuraatheidsgrafiek van verschillende positie systemen [1].....	20
Figuur 8	TDOA.....	22
Figuur 9	Two Way Ranging / Round Trip Time [11].....	23
Figuur 10	Angle of Arrival [5].....	23
Figuur 11	Recieved Signal Strength [12].....	23
Figuur 12	Triangulation [13].....	24
Figuur 13	Trilateration [13] .....	24
Figuur 14	Multilateration hyperboloïden .....	25
Figuur 15	Fingerprint representatie .....	25
Figuur 16	Multipath propagatie storingen [6].....	26
Figuur 17	Redpin logo [14] .....	29
Figuur 18	Redpin opstelling [7].....	30
Figuur 19	Redpin data structuur meeting [7] .....	30
Figuur 20	KNN k=3, k=5 [17].....	31
Figuur 21	Lineaire classificatie [16] .....	32
Figuur 22	SVM multi-class classificatie [16].....	32
Figuur 23	Patient Positioning System opstelling .....	36
Figuur 24	RSSI fingerprinting schema [9] .....	37
Figuur 25	Training fase schema .....	38
Figuur 26	Visuele radiomap.....	38
Figuur 27	Positiefase schema .....	39
Figuur 28	SetFingerprint actie .....	39
Figuur 29	Cisco access point .....	40
Figuur 30	Future Health Wi-Fi coverage .....	40
Figuur 31	Acces point met meerdere WLANs [21].....	41
Figuur 32	Java reflection Active scan solution .....	41
Figuur 33	Set-Up-app lay-out .....	42
Figuur 34	Set-Up-app notificatie.....	42
Figuur 35	Patient-app lay-out .....	43
Figuur 36	Routes file UIS .....	44
Figuur 37	Akka scheduler.....	44
Figuur 38	cURL POST setLocation .....	45
Figuur 39	UIS functie diagram.....	45
Figuur 40	UIS EER model .....	46
Figuur 41	Redpin properties bestand .....	47
Figuur 42	Telnet Socket connectie .....	47
Figuur 43	Redpin EER model.....	48
Figuur 44	RSS grafiek ZOL-Guest .....	49
Figuur 45	Radiomap opstelling.....	50
Figuur 46	Staafdiagram meeting 2.4 GHz radiomap (KNN).....	50
Figuur 47	Staafdiagram meeting 2.4 GHz radiomap (KNN).....	50
Figuur 48	Staafdiagram meeting 2.4 en 2.5 GHz radiomap (KNN).....	51



# ABSTRACT

---

De druk op de gezondheidszorg in de ziekenhuisomgeving blijft alsmaar toenemen. Om een goede en efficiënte kwaliteitszorg te kunnen garanderen moet er ingegaan worden op deze toename. Het doel van deze thesis is om een Patient Positioning System te ontwikkelen dat een patiënt kan lokaliseren tot op kamer nauwkeurigheid door gebruik te maken van de bestaande Wi-Fi-infrastructuur van het ziekenhuis. De verkregen locatie data kan leiden tot een optimalisatie van het tijdsbeheer en de logistieke workflow.

Het systeem is opgebouwd uit 2 services die data verwerken. De lokalisatie service gebruikt de Received Signal Strength Indication (RSSI) fingerprinting methode, die geïmplementeerd wordt door het gebruik van opensource software. De tweede service is een User Interface Service (UIS), die locatie data verwerkt en visualiseert op online platform. De data wordt geproduceerd door twee smartphone applicaties, waarvan elk in een verschillende fase wordt gebruikt.

Het resultaat is een Proof Of Concept systeem waar de smartphone dient als vervanging van een specifieke hardware module. De lokalisatie service is in staat een locatie terug te geven na een voorafgaande trainingsfase. De patiënt zijn smartphone verstuurt continu locatie data en bouwt zo de locatie database op, zodat deze later kan gebruikt worden.



# ABSTRACT IN ENGLISH

---

The pressure on healthcare is increasing in the hospital environment. To guarantee the same amount of healthcare quality, improvements in hospital logistics are required. The goal of this master's thesis is to develop a Patient Positioning System that is capable of tracking a patient within the hospital at room accuracy, by only using the existing Wi-Fi-infrastructure. The acquired location data can be used to optimize the time management and workflow-logistics and so improve wait times and schedule planning, other applications that can be used are geo-fencing and panic button response.

The system consists of 2 services that process data. The localization system uses a technique named Received Signal Strength Indication (RSSI) fingerprinting and is implemented with the use of open-source software. The second service is a User Interface Service (UIS) that processes the received location data and visualizes this on an online platform. All the data is produced by two smartphone applications, wherefrom each is used in a different phase.

The end result is a Proof of Concept system where smartphones are used as replacement of future wearable modules. The localization service is capable of returning a correct location after a training phase with the smartphone. The patient's smartphone sends continuing localization data to build up the location database, this can be viewed later by the authorized persons.



# I INTRODUCTIE

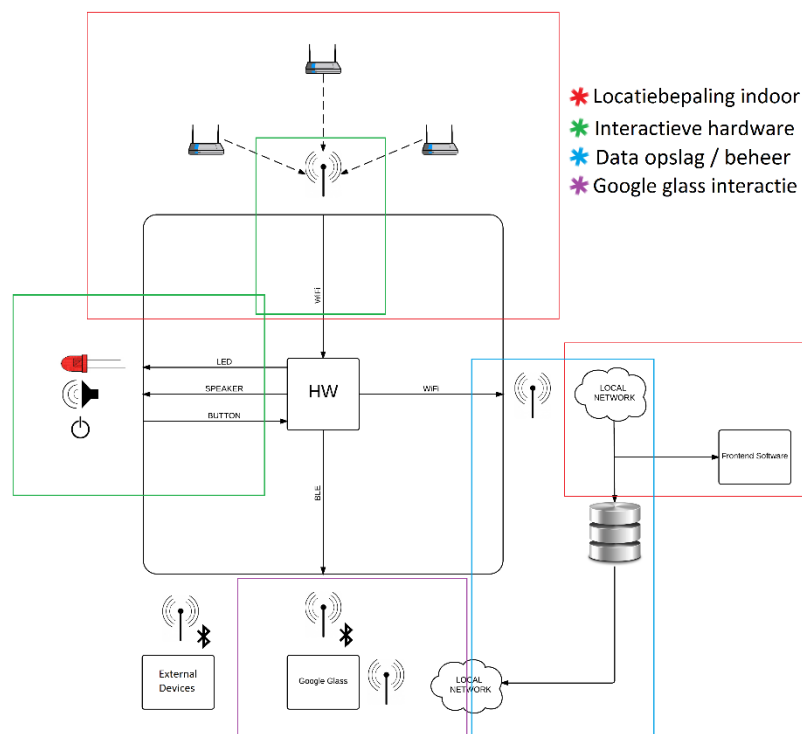
## 1 INLEIDING

De belangstelling voor indoor positie systemen is in het laatste decennium sterk toegenomen. Deze systemen werden eerst geïntroduceerd in de industrie voor bijvoorbeeld het traceren van objecten of het voorzien van autonoom vervoer. De evolutie van de indoor positie bepaling is overgewaaid naar andere sectoren zoals de consumenten, recreatie en gezondheid sector. Shopping centra en musea maken gretig gebruik van de positie informatie die ze verkrijgen door hun bezoekers. De gezondheid sector gebruikt deze technologie eerder voor het traceren van objecten, personeel en patiënten. De ene wil positie informatie verzamelen om beter af te stemmen op de klant en de andere wilt een betere bezoekerservaring creëren of zijn algemene werkingsefficiëntie verbeteren.

### 1.1 Situering

Deze masterproef vindt plaats binnen de afdeling Future Health in het Ziekenhuis Oost Limburg (ZOL) te Genk. Zij specialiseren zich in nieuw en innoverende onderzoek binnen de medische sector.

Dit project maakt deel uit van een groter geheel namelijk het Body Area Network systeem dat voorgesteld is in de onderstaande figuur. Het project heeft verschillende functies zoals, locatie bepaling van de patiënt, vitale lichaam functies monitoren en communicatie met randapparatuur door gebruik te maken van bluetooth en Wi-Fi. Het is zelfs mogelijk om de Google Glass te integreren als een hulpmiddel voor de dokter, zo kan men een patiënt identificeren en zijn medische gegevens opvragen.



Figuur 1 Verschillende onderdelen van het body area network

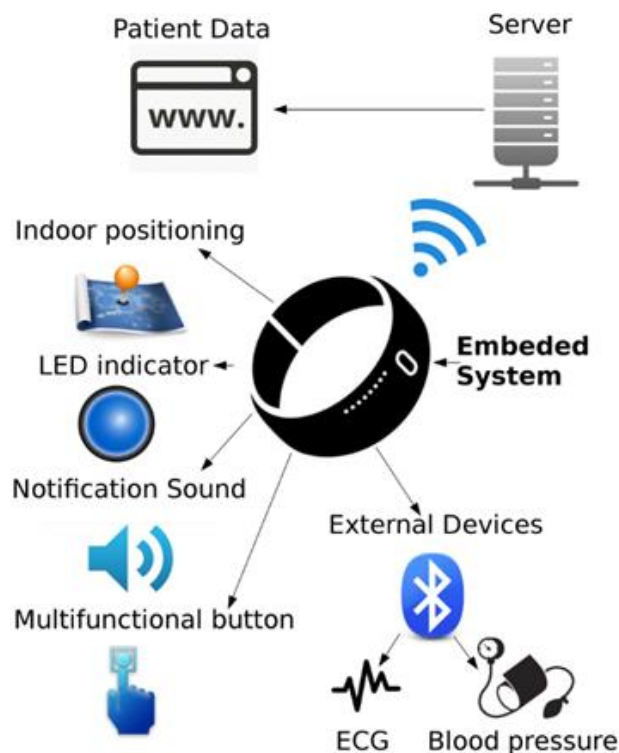
## 1.2 Probleemstelling

In een als maar drukker ziekenhuisomgeving moet de efficiëntie gegarandeerd blijven om een kwalitatieve zorg te kunnen leveren. Tijdens een bezoek of verblijf wordt de patiënt vaak blootgesteld aan verscheidende wachttijden en verplaatsingen.

Het Patient Positioning System registreert deze wachttijden en verplaatsingen, hierdoor kan achteraf een optimalisatie toegepast worden op het tijdsbeheer en de logistieke workflow van het ziekenhuis. Andere mogelijke toepassingen zijn beveiliging bij verwarde patiënten of een soort panic button response waarbij hulp meteen naar de patiënt zijn locatie wordt gestuurd.

Dit soort lokaliseringsplatform bestaat al in de vorm van draag- en kleefbare tags die de locatie kunnen bepalen, maar deze systemen hebben een hoge installatie kost.

Het Patient Positioning System wordt binnenshuis ontwikkeld en dient geïmplementeerd te worden binnen het Body Area Network project om zo positie gegevens van de patiënt te verkrijgen en deze in kaart te brengen via een locatie database die beheerd wordt door het ziekenhuis. De positie bepaling maakt gebruik van de bestaande infrastructuur van het ziekenhuis. Dit zorgt er voor de kosten laag gehouden worden.

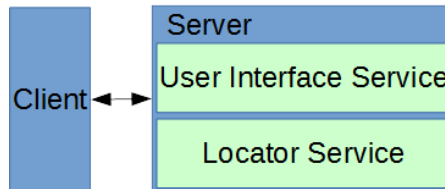


Figuur 2 Toekomst visie



## 1.3 Doel

Het doel van dit project is de ontwikkeling van een proof of concept Indoor Positie Systeem (IPS) met kamer nauwkeurigheid dat gebruik maakt van de bestaande Wireless Local Area Network (WLAN) infrastructuur van het ZOL, het systeem moet in de eindfase in staat zijn een persoon te lokaliseren met een kamer nauwkeurigheid.



Figuur 3 Verschillende delen van het IPS

Het project bestaat uit 2 delen, client en server. De client verzamelt locatie gegevens en de server beschikt over een Locator en User Interface Service met als doel de locatie te berekenen.

Vooropgestelde doelstellingen:

### Client

- ✓ De client moet in de opzetfase (offline fase) gegevens verzamelen om zo een RSSI (Received Signal Strength) fingerprinting map samen te stellen van de verschillende ruimtes.

Deze RSSI gegevens worden opgeslagen op de server en verwerkt door de locator service.

- ✓ In de online fase moet de client in staat zijn een WLAN scan uit te voeren, dit gebeurt in vooraf bepaalde intervallen. Als de patiënt tot rust / stilstand komt moet de client overschakelen naar de spaarstand en de gemeten RSSI waardes doorsturen naar de locator service.

Deze opzet wordt verwezenlijkt met een smartphone, dezelfde functionaliteit moet ook toegepast kunnen worden in het Body Area Network.

### Server

- ✓ De server doet dienst als locator service die gegevens van de opzetfase (offline fase) verzameld en opslaat in online databases.
- ✓ In de online fase moet de locator service bij het ontvangen van een fingerprint een locatie kunnen teruggeven van de desbetreffende patiënt door gebruik te maken van offline verzamelde data.
- ✓ De positie van de patiënt wordt via een User Interface Service tekstueel of symbolisch weergegeven op een plattegrond.
- ✓ De plaats- en tijdsgegevens per patiënt moeten worden opgeslagen.

## 1.4 Methode

Om een positie bepaling te realiseren met kamer nauwkeurigheid, wordt er gebruik gemaakt van de indoor positietechniek "fingerprinting". Deze methode maakt gebruik van de gemeten signaal sterkte die verkregen wordt van het ontvangen Wi-Fi signaal van de bestaande infrastructuur.

In de opzetfase wordt een bepaalde afdeling in kaart gebracht, dit noemt men de offline fase. Er wordt een RSS (received signal strength) radiomap samengesteld, door binnen de afdeling op verschillende punten WLAN scans te nemen. Deze radiomap zal opgeslagen worden op de locatieserver voor verder gebruik. De RSSI scans worden met een smartphone uitgevoerd en die de rol van client op zicht neemt.

In de online fase gaat de Locator Service een unieke fingerprint ontvangen van de client. Deze fingerprint is gerelateerd aan een locatie binnen de opgemeten afdeling. Door de verkregen fingerprint te gaan vergelijken met de fingerprint-database aan de serverkant is het mogelijk een locatie te verkrijgen als antwoord. Dit wordt bereikt via een algoritme dat de database doorzoekt naar dichtstbijzijnde match.

De positie van de patiënt / client kan gevolgd worden via een user interface die de locatie symbolisch of tekstueel op een kaart weergeeft. De tijds- en locatiedata worden ook bijgehouden per patiënt voor later gebruik bij de optimalisatie van de patiënten-logistiek en planningsprocedures.

# II LITERATUURSTUDIE

## 1 INDOOR POSITIONING SYSTEM

---

### 1.1 Inleiding

Het doel van een IPS is een object of persoon traceren binnen een gebouw waar GPS niet beschikbaar is, dit wordt gerealiseerd door het gebruik van een draagbaar apparaat. Positie data wordt verkregen door het gebruik van verscheidende draadloze technologieën die in deze studie verklaard worden.



Figuur 4 Abstracte voorstelling van IPS

### 1.2 Indoor Positie Toepassingen

De toepassingen van een indoor positie systeem zijn zeer divers van industrie tot privé gebruik. Hieronder worden een paar voorbeelden gegeven die de dag van vandaag al toegepast worden, naar de toekomst toe zullen indoor positioning systemen zich meer en meer integreren in het dagelijkse gebruik.

#### **Gezondheidszorg**

In ziekenhuizen kan belangrijke en kostelijk apparatuur gevolgd worden. Locatie informatie van patiënten en personeel kan gebruikt worden voor logistiek optimalisatie of bijvoorbeeld als een noodrespons wanneer de patiënt een incident heeft [1]

#### **Museums**

In een museum kan positie data gebruikt worden voor beveiliging en gedragsanalyse. Een ander voorbeeld is een automatische gids die uitleg geeft aan de hand van jouw positie, dit kan in de vorm zijn van een applicatie op een smartphone.

#### **Logistiek en Optimalisatie**

Voor de optimalisatie van systemen binnen de werkvloer heeft men locatie informatie nodig van personeel, bezoekers en assets. Dit kan gaan van een optimalisering in het bagage systeem van een luchthaven, de wachttijden in een ziekenhuis, ophalen van onderdelen in een opslag ruimte, ... . [1]

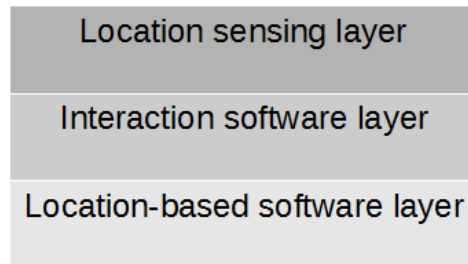
#### **Privé gebruik**

Hier is toepassing bijvoorbeeld het terug vinden van voorwerpen zoals autosleutels of games waarbij de gebruiker gevolgd wordt in zijn huiskamer bijvoorbeeld de Kinect. Een ander soort systeem is het monitoren van hulpbehoevende en hun dagelijkse routine, waarbij een melding wordt gegeven wordt als er handeling verkeerd afloopt.

## 1.3 Opbouw van het systeem

De meeste Indoor locatie systemen zijn samengesteld uit 3 layers: [2]

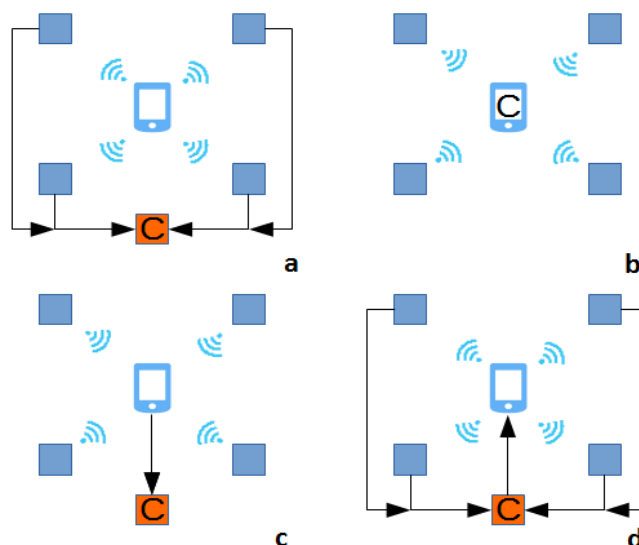
- **De location sensing layer** maakt gebruik van verschillende sensor technieken om relevante locatiedata te verzamelen.
- **De Interaction software layer** zet de verkregen data om naar een gewenste representatie voor gebruiker.
- **De location Based software layer** is het brein van het IPS systeem, deze berekent de positie aan de hand van de verzamelde informatie.



Figuur 5 IPS layers

Hieronder worden 4 opstellingen voorgesteld voor het traceren van objecten en personen met een mobiel apparaat en vaste nodes: [3]

- Remote positioning system** bestaat uit een **mobiele transmitter** en verscheidende vast opgestelde **ontvanger nodes**, deze meten het signaal van de mobile transmitter en sturen hun resultaat door naar de centrale node waar de positie berekend wordt.
- Self-positioning** bestaat uit een **mobiele ontvanger** die de signalen van verschillende vast opgestelde **transmitter nodes** meet en via deze meetgegevens zelf zijn positie bepaalt.
- Indirect remote positioning**: Is het zelfde principe als self-positioning alleen wordt de ontvangen data door de **mobile ontvanger** naar een **remote-side** verstuurd voor positie bepaling.
- Indirect self-positioning**: is als de positie resultaten van de **remote-side** naar het mobiele apparaat worden verstuurd.



Figuur 6 Verschillende IPS opstellingen

## 1.4 Sensor Technologieën

Verschillende sensor technologieën zijn ontwikkeld om te voldoen aan de vereisten van indoor positie systemen. De 3 hoofd sensor technologieën zijn Infrarood, radio frequenties en ultrasoon. Hier onder wordt een korte opsomming gegeven van verschillende technologieën met hun eigenschappen en meest gebruikte meetprincipe.

### Ultrasound:

- Gebruik: *Personen en asset tracking.*
- Voordeel: *Hoge nauwkeurigheid*
- Nadeel: *Kleine gebieden dekking van 10 m, nieuwe infrastructuur nodig.*
- Nauwkeurigheid: *(1<5cm)*
- Meetprincipe: *Time of arrival.*

### Echolocatie:

- Gebruik: *Personen en asset tracking.*
- Voordeel: *Geen nieuwe infrastructuur nodig.*
- Nauwkeurigheid: *0.5 m < 5m (Varieert per toepassing)*
- Meet principe: *Unieke Geluidsafdruk per ruimte.*

### RFID:

- Gebruik: *Personen en asset tracking.*
- Voordeel: *Energie zuinig, wifi over RFID mogelijk.*
- Nadeel: *Nieuwe infrastructuur nodig.*
- Nauwkeurigheid: *0.5m<5m*
- Meetprincipe: *Proximity detection, fingerprinting*

### Ultra-Wideband:

- Gebruik: *Automatisatie en robotica.*
- Voordeel: *Energie zuinig, minder last van storing.*
- Nadeel: *Nieuwe infrastructuur nodig.*
- Nauwkeurigheid: *0.1m<1m.*
- Meetprincipe: *Time of arrival*

### WLAN:

- Gebruik: *Personen en asset tracking.*
- Voordeel: *Bestaande infrastructuur, mobiele apparaten met wifi mogelijkheid.*
- Nadeel: *Storingsgevoelig*
- Nauwkeurigheid: *1m < 20m (Bepaalt door toegepaste techniek en omgeving)*
- Meet principe: *RSSI Fingerprinting*

### Magnetisme:

- Gebruik: *Ziekenhuizen en mijnen.*
- Voordeel: *Meeste smartphones hebben magnetische sensor.*
- Nadeel: *Storing in magnetisch veld door metalen objecten.*
- Nauwkeurigheid: *1m < 2m (smartphone sensor)*
- Meetprincipe: *Fingerprinting*

### Infrarood:

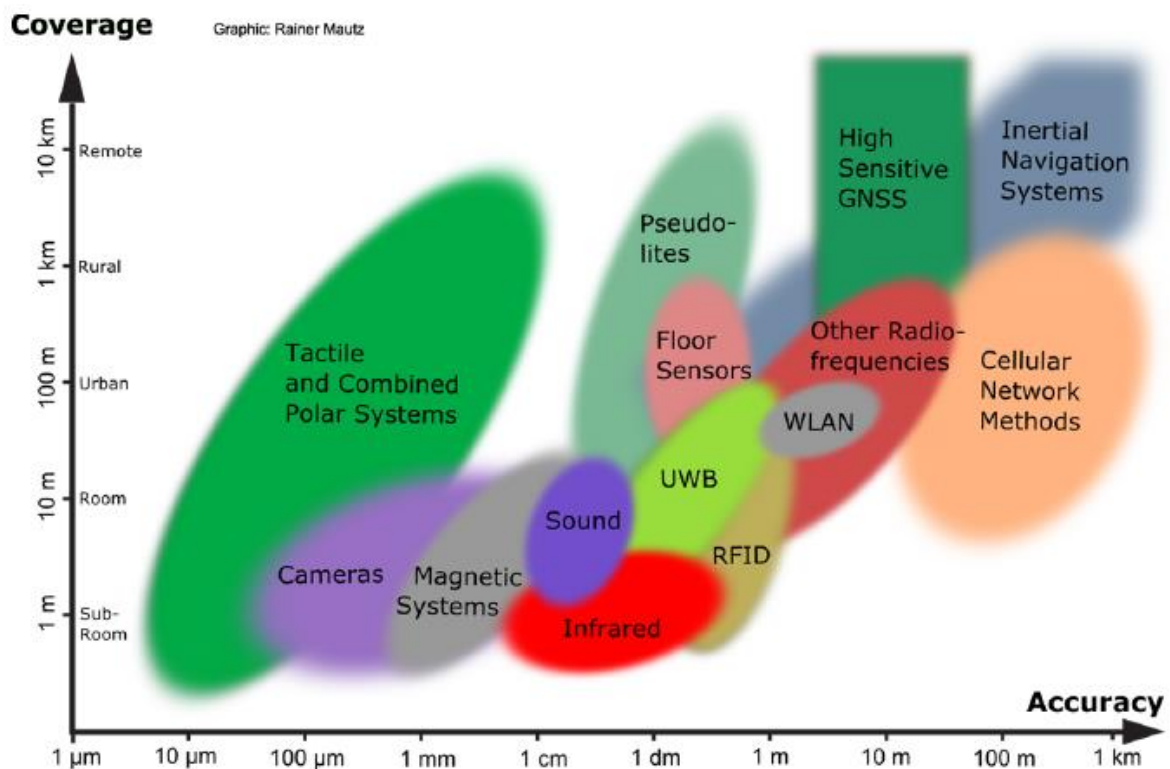
- Gebruik: *personen en asset tracking*
- Voordeel: *hoge nauwkeurigheid haalbaar*
- Nadeel: *storingsgevoelig voor omgevingslicht, nieuwe infrastructuur nodig*
- Nauwkeurigheid: *0.1mm < 6m (varieert sterkt per toepassing)*
- Meetprincipe: *Thermal imaging, active beacons*

Tabel 1 Sensor technologieën

[1] [22]

Het merendeel van de vorige technieken is gebaseerd op Radio frequenties, dit zijn elektro magnetische golven die doorheen de meeste materialen kunnen passeren en voordelig zijn voor indoor gebruik. De meeste gebruikte technologie bij commercieel gebruik is WLAN, hiervoor is geen licentie nodig en het is al sterk aanwezig in onze samenleving vergeleken met de andere sensor technieken.

Dit soort systeem wordt ook wel Wi-Fi Positioning System (WPS) genoemd. Hieronder wordt een grafiek getoond met nog eens de verschillende sensor technologieën die ingedeeld worden volgens hun bereik en positie bepalingssaccuurtheid.



Figuur 7 Dekking en Accuraatheidsgrafiek van verschillende positie systemen [1]

De magnetische sensor techniek is een interessante technologie omdat er geen nieuwe infrastructuur voorzien moet worden en er toch een goede nauwkeurigheid verkregen kan worden. De meeste smartphones beschikken al over deze sensoren. De combinatie van een Wi-Fi en magnetische sensor is mogelijk om zo een beter resolutie te verkrijgen.

## 1.5 Performance karakteristieken

De performance van een indoor positie systeem wordt door de onderstaande eigenschappen gekarakteriseerd. Een goed systeem voor deze thesis zou een accuraatheid hebben van enkele meters en een hoge precisie marge en ook niet te complex. De schaalbaarheid zit goed omdat de infrastructuur al aanwezig is, dit zorgt ook voor een lagere kost.

### 1.5.1 Accuraatheid

Accuraatheid wordt misschien als de belangrijkste eigenschap gezien maar er moet rekening gehouden worden alle eigenschappen. Accuraatheid wordt bepaald door de gemiddelde afstandsfout die het systeem maakt tussen de reële en de geschatte locatie. Een hoge accuraatheid wil niet altijd zeggen dat het een beter systeem is, meestal is een goede accuraatheid nadelig voor ander factoren bijvoorbeeld een kleine schaalbaarheid leidt een duurder installatie kost.

### 1.5.2 Precisie

Precisie is niet hetzelfde als accuraatheid dat alleen maar rekening houdt met de gemiddelde afstandsfout die gemaakt wordt. De precisie bepaalt hoe consistent een systeem werkt. Het is een maat in robuustheid en vertelt ons hoe correct een systeem werkt over verloop van tijd.

### 1.5.3 Schaalbaarheid

Schaalbaarheid bepaald de inzetbaarheid van een systeem over een bepaald gebied, dit kan gaan van een kamer met 2D positie bepaling tot een volledig gebouw met meerdere verdiepingen waar 3D positie bepaling mogelijk is.

### 1.5.4 Complexiteit

De complexiteit van een systeem wordt bepaald door verschillende factoren, zoals de locatie algoritmes en de hardware die ze nodig hebben, bijvoorbeeld wordt de berekening verzorgd door het mobile apparaat zelf of door een externe server, al deze factoren dragen bij tot de complexiteit van een systeem.

### 1.5.5 Kost

De kost van een systeem wordt bepaald door veel factoren, zoals de infrastructuurkost, energiekost, installatiekost, onderhoudskost, ... .

### 1.5.6 Robuustheid

Een positie systeem met een hoge robuustheid werkt zelfs correct onder de slechtste omstandigheden bijvoorbeeld door gebruik te maken van bewegingsdata en vorige posities om toch een juist locatie te bepalen onder niet ideale omstandigheden.

[3]

## 2 WI-FI POSITIONING SYSTEM

---

### 2.1 Inleiding

In deze thesis is er voor gekozen om de bestaande Wi-Fi infrastructuur van het ziekenhuis te gebruiken om een indoor positie systeem te realiseren. Deze positie systemen worden ook wel Wi-Fi Positioning Systems genoemd (WPS). De keuze was voor de hand liggend omdat de Wi-Fi infrastructuur uitstekend voorzien is binnen het ziekenhuis.

### 2.2 RF Meet Technieken

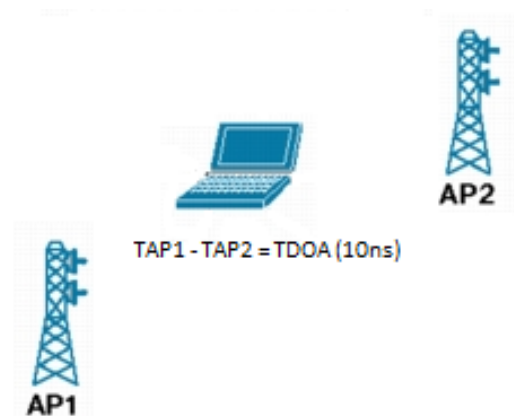
Wi-Fi is een radio frequentie in de 2.4GHz en de 5,0GHz band. Deze laten toe verscheidende meet technieken te gebruiken zoals TOA, TDOA, AOA, RWT en RSS. Deze technieken worden kort besproken en alsook hun toepasbaarheid binnen of de context van deze thesis.

#### 2.2.1 Tijdsmeting

De volgende 3 technieken maken gebruik van nauwkeurige tijdsmetingen met een precisie van nanoseconden. Deze nauwkeurigheid is nodig omdat 1 ns theoretisch overeenkomt met een verplaatsing van 30 cm. De afgelegde weg wordt bepaald door de Signal Travel Time te vermenigvuldigen met de Wave Propagation Speed (theoretisch is dit de snelheid van het licht).

**Time Of Arrival (TOA)** is een techniek die de tijd meet dat een signaal nodig heeft om zich voort te planten tussen de zender en ontvanger. Het nadeel bij deze techniek is dat de klokken tussen ontvanger en zender moeten gesynchroniseerd zijn. [4]

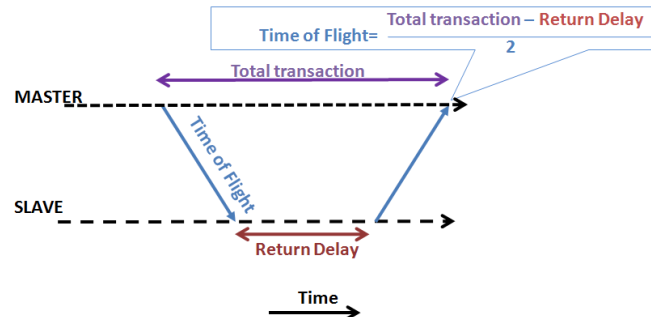
**Time Difference Of Arrival (TDOA)** is een techniek die gebruik maakt van het verschil in aankomst tijd van pakketten bij minstens 2 nodes. TDOA is een veel gebruikte techniek omdat er geen nood is aan klok synchronisatie tussen zender en ontvanger, de klokken van de bekende ontvanger nodes moeten wel synchroon lopen. Met het bekende tijdsverschil kunnen multilateration berekeningen toegepast worden. [5][4]



Figuur 8 TDOA



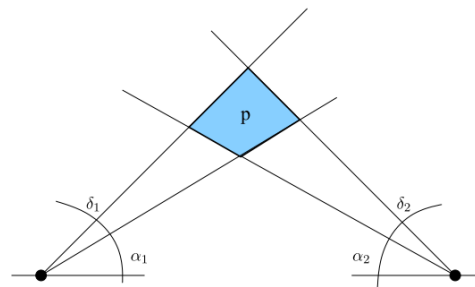
**Two Way Ranging (TWR) / Round Trip Time (RTT)** is een techniek waarbij er geen nood is aan klok synchronisatie. Dit wordt verwezenlijkt door de totale reistijd te meten die het signaal nodig heeft om heen en terug gestuurd te worden en hiervan de hardware delay af te trekken. Het nadeel aan deze techniek is dat de hardware delay bij de ontvanger moet gemeten en mee terug gestuurd dient te worden.



Figuur 9 Two Way Ranging / Round Trip Time [11]

### 2.2.2 Angle of Arrival (AOA)

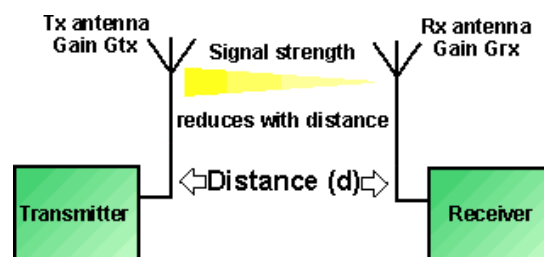
Deze techniek maakt gebruik van speciale directionele ontvangantennes, deze zijn in staat de ontvangst hoek te meten. Het positie gebied wordt bepaald door de intersectie lijnen van de hoeken. De onderstaande figuur toont een situatie waar 2 referentie nodes gebruikt worden die elk het signaal onder een andere hoek ontvangen. [5]



Figuur 10 Angle of Arrival [5]

### 2.2.3 Recieved Signal Strength (RSS)

De RSS waarde wordt gemeten bij ontvangst door een RSS circuit, dat in elk Wi-Fi apparaat aanwezig is. Het ontvangen vermogen wordt in het ideale geval alleen bepaald door de afstand tussen de zender en ontvanger. Bij deze techniek wordt geen overhead veroorzaakt omdat de meting automatisch gebeurt bij het ontvangen van een pakket. Het nadeel is dat de RSS metingen zeer onnauwkeurig zijn door verschillende indoor radio propagatie effecten die het verband tussen RSS en de afstand verstoren. [12]



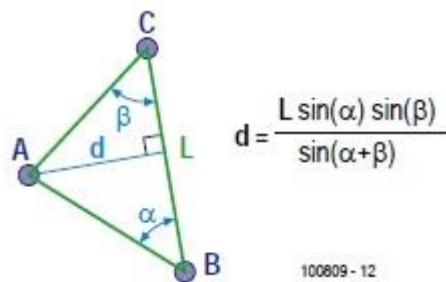
Figuur 11 Recieved Signal Strength [12]

## 2.3 Positiebepaling Methodes

In dit deel worden de meest gebruikte positie methodes besproken. Vaak ontstaat er verwarring tussen de eerste 3 methodes (Triangulation, Trilateration, multilateration) deze gebruiken afstandsmetingen om 2D of 3D posities te bepalen. De laatste methode maakt alleen gebruik van signaal sterktes.

### 2.3.1 Triangulation

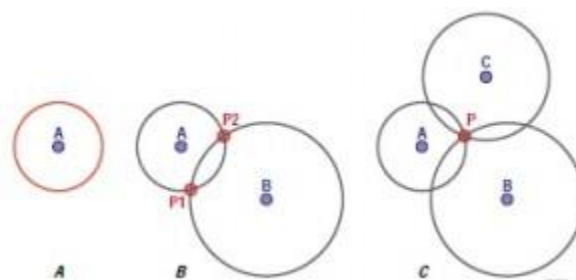
Triangulatie is een oude en gekende techniek om een afstand te bepalen. Bij deze techniek moet de positie van 2 referentie nodes gekend zijn, nu is de lengte (L) van een zijde van de driehoek gekend. De twee hoeken kunnen gevonden worden met de AOA meet techniek vermeld in de vorige sectie. Met de onderstaande formule wordt dan de afstand d berekend [13]



Figuur 12 Triangulation [13]

### 2.3.2 Trilateration

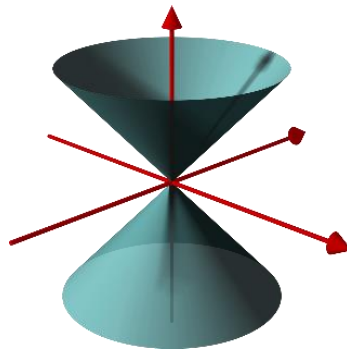
Deze techniek gebruikt de afstand tussen zender en ontvanger, de gebruikte meettechnieken zijn RSSI, TOA en TWR. De verkregen afstanden kunnen gebruikt worden om een cirkel te plotten waarvan de straal gelijk is aan de afstand tussen zender en ontvanger. GPS steunt op deze techniek, er moeten steeds 4 afstanden gekend zijn om de positie in 3D te kunnen bepalen. [5]



Figuur 13 Trilateration [13]

### 2.3.3 Multilateration

Deze techniek is te vergelijken met trilateration het enige verschil is dat de positie zich niet meer op een cirkel bevindt maar op een hyperboloïde. Om een exacte positie te kunnen bepalen zijn er 3 hyperboloïden nodig die elkaar snijden. Deze techniek steunt op de TDOA meetmethode, er zijn minstens 3 TDOAs nodig om 3d positie te bepalen. Deze techniek wordt nog steeds toegepast in de luchtvaart. Bij deze techniek moet het zendt tijdstip niet geweten zijn alleen het verschil in aankomst tijd. [13]



Figuur 14 Multilateration hyperboloïden

### 2.3.4 Fingerprinting

Deze methode gebruikt een analytische benadering door een algoritme te gebruiken dat op voorhand fingerprints verzamelt van een bepaalde ruimte en hierna wordt de locatie van een object bepaald door een zo goed mogelijk match te vinden van de online meting met de op voorhand verzamelde fingerprint metingen. [3]

De methode bestaat uit 2 fases, offline (set-up fase) en online. In de offline fase wordt de omgeving opgemeten en de ingeprent data opgeslagen. In de online fase wordt er een positie algoritme gebruikt dat de online metingen vergelijkt met opgeslagen data. De best mogelijk match is het object zijn locatie.

De meet techniek die wordt gebruikt is RSS (sectie 2.2.3). Hieronder wordt een samenstelling getoond van een fingerprint, deze bestaat uit een locatie label en de ontvangen RSSI waardes van verschillende acces points.

LABEL	RSSI AP1	RSSI AP2	RSSI AP3	RSSI AP4	RSSI AP5	RSSI AP6
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Figuur 15 Fingerprint representatie

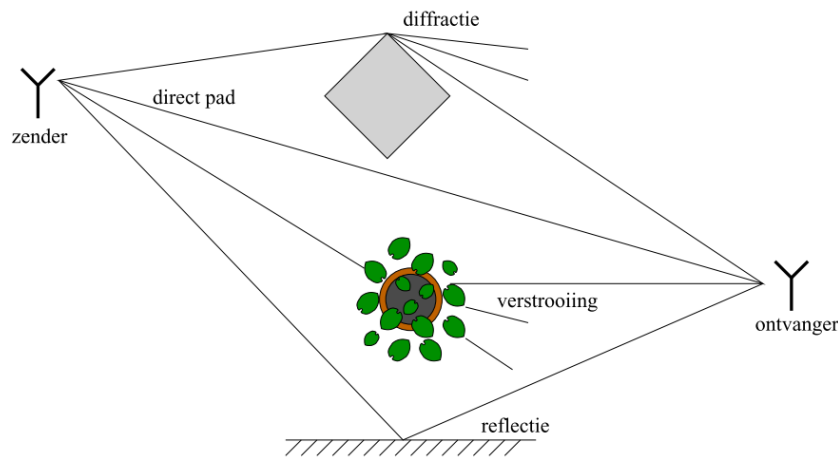
Er bestaan verschillend soorten positie algoritmes voor deze methode, maar in de thesis worden er twee besproken namelijk K-Nearest Neighbor (KNN) en Support Vector Machine (SVM). Deze worden verder uitgelegd in de volgende sectie 3.3.4.

## 2.4 Storingen

De vorige meettechnieken en positie methodes zijn zeer gevoelig aan storingen. Hieronder worden de meest voorkomende storingen uitgelegd.

### 2.4.1 Multipath propagatie

Het verzonden signaal bij draadloze communicatie kan via verschillende paden aankomen bij de ontvanger, men noemt dit multipath propagatie. De oorzaak is de nabijheid van objecten die het signaal tegenkomt op zijn pad. De meest voorkomende storingen die veroorzaakt worden door multipath propagatie zijn weergegeven in de figuur (diffractie, reflectie, verstrooiing). [6]



Figuur 16 Multipath propagatie storingen [6]

De interactie van het verzonden signaal met de objecten heeft gevolgen bij de ontvanger, zoals schommelingen in het ontvangstvermogen door constructieve of destructieve interferentie en er wordt een variërende propagatie tijd veroorzaakt omdat de afgelegde afstand verandert.

Het beste pad dat recht naar de ontvanger gaat noemt men Line Of Sight (LOS), de rest van paden vallen onder No Line Of Sight (NLOS) benaming.

### 2.4.2 Absorptie

Elektromagnetische signalen kunnen doorheen verschillend materialen passeren maar verliezen hierdoor wel hun zendt vermogen door absorptie. Het menselijke lichaam is hier een goed voorbeeld van, wij zijn een spons voor elektromagnetische golven en veroorzaken hierdoor veel interferentie. [6]

De absorptie is maar bij één positie methode tegelijkertijd voordelig en nadelig, dit is het geval bij de fingerprinting methode. Veel variatie in signaalsterkte is voordelig voor het positie algoritme maar nadelig als deze variatie niet constant blijft, bijvoorbeeld door de beweging van mensen in een ruimte.

## 2.5 Samenvatting

Meettechniek	Positie Techniek	Ideaal	Sync Klok
TOA	Trilateration	LOS	Ontvanger en zender
TDOA	Multilateration	LOS	Ontvanger
TWR / RTT	Trilateration	LOS	/
AOA	Triangulation	/	/
RSS	Trilateration / Fingerprinting	LOS/ NLOS	/

Tabel 2 Eigenschappen van meettechnieken

De eerste 2 technieken **TOA** en **TDOA** hebben LOS nodig voor een goede werking en gesynchroniseerde klokken met nanoseconde precisie.

De **TWR** techniek ondervindt geen last van synchrone lopende klokken, maar er is wel de moeilijkheidsgraad om een exacte software delay te berekenen, de meeste routers zijn niet uitgerust om deze delay te berekenen.

De bovenstaande technieken vergen ook het gebruik van de propagatiesnelheid die nodig is om een afgelegde afstand te berekenen. Deze snelheid varieert in een indoor locatie, dit komt door het multipath effect dat gecreëerd wordt door gefragmenteerde ruimtes met vaste en bewegende objecten. Deze variaties in propagatie snelheid introduceert fouten van enkele meters in de berekende afstand.

**AOA** vergt speciale antennes waarmee de hoek van het ontvangen signaal kan gemeten worden, de meeste routers of ontvangers zijn niet uitgerust met deze hardware.

De **RSS** meettechniek kan met 2 positie methodes gebruikt worden trilateration en fingerprinting.

Bij **trilateration** is er het voordeel dat er geen synchroon lopende klokken meer nodig zijn. Deze meet techniek is het simpelst om te implementeren, maar heeft een groot nadeel, de ontvangen signaal sterktes variëren sterk door storingsfactoren.

Om deze storingsfactoren te overkomen kan naar de analytische aanpak van de **fingerprinting methode** gekeken worden om zo de best mogelijk locatie match te verkrijgen.

Bij een indoor locatie systeem is de fingerprint methode de beste en meest gebruikte keuze van de bovenstaande vijf voornamelijk in gebieden met weinig openruimtes. De ander technieken werken het best bij line of sight. De fingerprint techniek werkt het best in opgedeelde ruimte omdat er hierdoor veel variatie is in signaal sterkte.

## 3 HARDWARE / SOFTWARE

---

### 3.1 Inleiding

In de thesis moesten enkele keuzes gemaakt worden betreffende de software en de ontwikkelomgeving waar het IPS concept op uitgevoerd wordt. Al snel was de keuze gemaakt om een Android smartphone te gebruiken als data acquisitie systeem. De keuze van de locatie software is uitgekomen bij een open-source server genaamd Redpin die gebruik maakt van de RSSI Fingerprinting methode. Als online interface en database management systeem is er gekozen voor het Play Framework.

### 3.2 Android Device

Het Android apparaat is gekozen vanwege het open ontwikkelplatform en de aanspreekbaarheid van de interne sensors, sinds kort is de ontwikkel omgeving van Android verplaatst naar hun eigen IDE Android studio

#### 3.2.1 Android Studio

De IDE is specifiek voor de ontwikkeling van Android applicaties en is gebaseerd op de bekende JetBrains' IntelliJ IDEA en is beschikbaar voor Linux, Windows, Mac OS X en vervangt de Eclipse Android Development Tools (ADT) plug-in.

Eclipse ADT vs Android Studio

IDE	Android studio	Eclipse ADT
Build tool	Gradle	Ant
Graphical layout editor support	Werkt veel vlotter. Verbeterd	Niet geweldig in gebruik. Was in orde
Stabiliteit	Eerste versies waren niet stabiel	Nooit iets ondervonden
Systeem vereisten	Vergt veel van het systeem, zware ontwikkel omgeving	Lichte ontwikkel omgeving
Snelheid	Traag	Voldoende

Tabel 3 Vergelijking Android en Eclipse

De Android Studio omgeving oogt veel mooier en werkt fijner maar vergt heel veel van het systeem in vergelijking met de meer minimalistische versie van Eclipse ADT.

### 3.2.2 Smartphone

In de opstelling is de Samsung Galaxy S4 gebruikt met de laatste versie Lollipop 5.1. De galaxy S4 bevat tal van sensoren waarvan er enkele nuttig zijn voor indoor positie bepaling deze zijn aangeduid met het @ symbool.

<b>RGB Light Sensor</b>	Past scherm helderheid aan.
<b>Hall Sensor</b>	Detecteert of de cover gesloten of open is.
<b>Barometer</b>	Meet de luchtdruk.
<b>Temperature Humidity Sensor</b>	Meet temperatuur en vochtigheidslevel.
<b>Geomagnetic Sensor</b>	Meet magnetische veld sterkte op 3 assen. @
<b>Accelerometer</b>	Meet de beweging van de mobiele telefoon. @
<b>Gyro Sensor</b>	Meet de rotatie van de telefoon. @
<b>Proximity Sensor</b>	Meet of de telefoon dicht bij de gebruiker is door gebruik van infrarood stralen.
<b>Gesture Sensor</b>	Meet handgebaren door gebruik van infrarood stralen.

Tabel 4 Sensoren Galaxy S4

Er zijn uiteraard ook nog de Wi-Fi en GPS modules die in combinatie met de beweging sensoren en magnetische sensor de indoor positie nog beter kunnen bepalen. De gebruikte sensoren in deze opstelling zijn beweging en Wi-Fi.

## 3.3 Redpin Server

### 3.3.1 Wat is Redpin

Redpin is een open-source locatie systeem met het doel een locatie terug te geven met kamernauwkeurigheid. Het systeem werkt op basis van de RSSI Fingerprint methode. De code van de server is volledig werkend maar er is nog steeds ruimte voor verbetering omdat de het niet volledig afgewerkt is, de code mag aangepast en verbeterd worden.

De code is vrij gegeven onder de GNU Lesser General Public License, deze licentie laat bedrijven en ontwikkelaars toe de vrijgegeven software te gebruiken in hun projecten zonder dat ze plagiaat plegen.

De server applicatie is beschikbaar in een redpin.jar file maar ook als volledige source files die in Eclipse kunnen geïmporteerd worden. [14]

De documentatie rond dit systeem is beperkt en verouderd. Je moet de werking eerder zelf leren begrijpen door de code te bestuderen. De community is klein en bestaat slechts uit een email lijst voor vragen te stellen of te ontvangen.



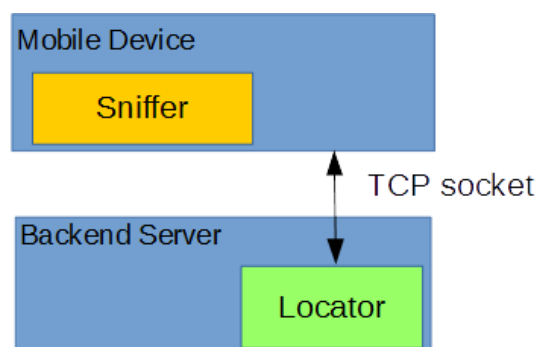
Figuur 17 Redpin logo [14]

### 3.3.2 Opstelling

De Redpin architectuur bestaat uit 2 componenten een Sniffer en Locator volgens hun terminologie. [7]

**De sniffer** verzamelt RSSI Fingerprint gegevens van alle GSM torens, Wi-Fi acces points en vaste Bluetooth nodes in de buurt en stuurt deze gegevens in een JSON formaat door naar de Locator zodat er een radiomap kan gebouwd worden. De Sniffer is een mobiel apparaat bijvoorbeeld een smartphone of een specifieke hardware module kan even goed gebruikt worden.

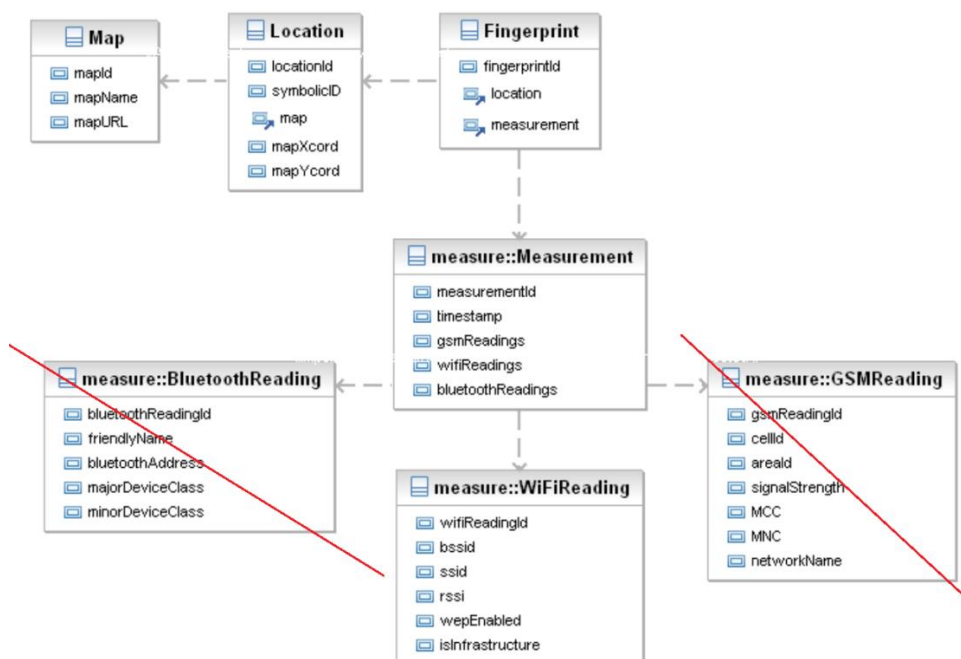
**De Locator** is een server applicatie geschreven in Java deze verzameld de Fingerprints en slaat deze op in een database, uit deze gegevens kan een locatie terug geven worden door het gebruik van een locatie algoritme.



Figuur 18 Redpin opstelling [7]

### 3.3.3 Meeting

Een Sniffer meeting is opgesteld uit de onderstaande structuur. In deze thesis worden alleen de RSSI sterktes van de Wi-Fi access points gebruikt. De andere data arrays BluetoothReading en GSMReading worden nog steeds mee doorgestuurd maar zijn leeg.



Figuur 19 Redpin data structuur meeting [7]



Elke meeting bevat een kaart met de desbetreffende locatie coördinaten van de genomen meeting. Het speciale aan deze structuur is dat bij elke meeting ook een symbolische ID gedefinieerd wordt bijvoorbeeld een kamer nummer of naam, zo kunnen verschillende Fingerprints toegewezen worden aan dezelfde Symbolische ID.

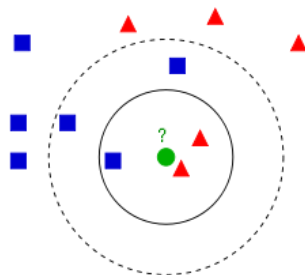
### 3.3.4 Locatie Algoritme

De server gebruikt twee locatie algoritmes de **K Nearest Neighbor (KNN)** en een **Support Vector Machine (SVM)** beide zijn machine learning algorithms. De SVM techniek wordt alleen gebruikt als de training fase is afgerond als back-up wordt de KNN techniek gebruikt. Beide algoritmes hebben hun toepassing in statische classificatie en regressieanalyse. Beide algoritmes worden in dit systeem gebruikt als classificatie methodes, dit wil zeggen dat ze beslissen tot welke klasse de ontvangen data behoort. [15]

#### KNN

Is een simpel algoritme in machine learning en het is gebaseerd op het Nearest Neighbor algoritme. Voor het ontvangen data punt wordt een class label bepaald door zijn afstand tot alle bestaande data punten te meten, het ontvangen data punt krijgt het zelfde class label toegewezen als het dichtstbijzijnde data punt.

Bij KNN geldt hetzelfde principe hier worden nu alleen de K dichtstbijzijnde burens gezocht. Bij  $K = 4$  worden de 4 dichtste burens gezocht, het meest voorkomende class label bij deze 4 wordt toegewezen aan het ontvangen data punt. In de onderstaande figuur bij  $K = 3$  wordt het bolletje geclassificeerd tot de driehoeken, bij  $K = 5$  wordt het geclassificeerd bij de rechthoeken. [15] [17]



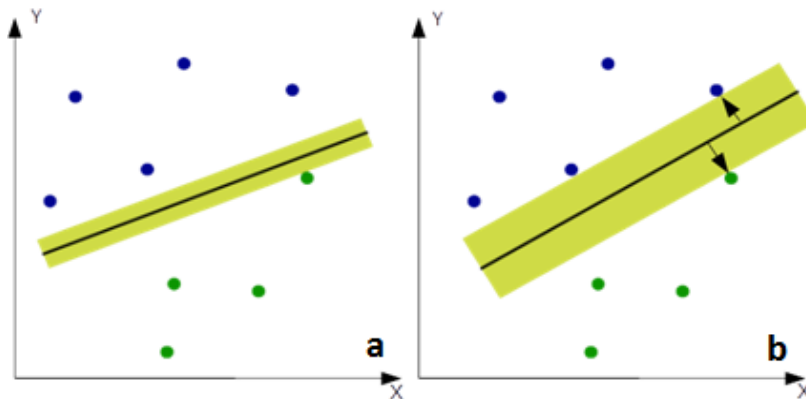
Figuur 20 KNN  $k=3$ ,  $k=5$  [17]

Het nadeel van KNN is dat het te complex wordt voor grote datasets, de afstand tot elk data punt moet telkens opnieuw berekend worden.

#### SVM

Een SVM is een binaire lineaire classificeerder, deze gaat het ontvangen data object toewijzen aan een klasse door gebruik te maken van bepaalde kenmerken. Om deze keuze te kunnen maken moet eerst een numeriek model gemaakt worden van het data object als punten in een vector ruimte. In de Redpin server wordt de Fingerprint database eerst geconverteerd naar bruikbare data voor het bouwen en trainen van een SVM model. [16][18]

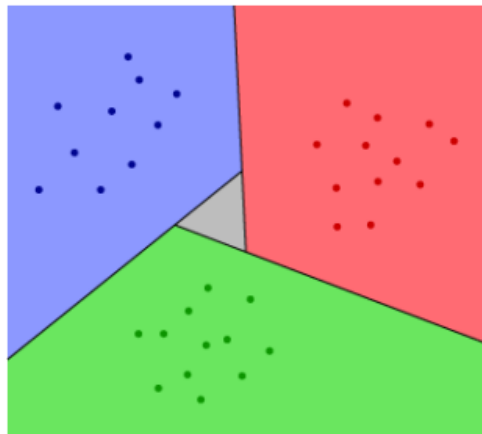
In de training fase gaat het SVM algoritme op basis van een verzameling gegevens (Fingerprint Database) waarvan is geweten tot welke klassen ze behoren een zo goed mogelijke scheiding bepalen tussen de klassen. De dichtstbijzijnde gelegen punten noemen we de support vectors, de gele error band wordt bepaald door deze vectors figuur 21.



Figuur 21 Lineaire classificatie [16]

Met SVM is het ook multi-class classificatie mogelijk, het vorige voorbeeld was binaire classificatie. De Redpin server gebruikt de Fingerprint database om multi-class classificatie toe te passen.

Er bestaan verschillende manieren om een binaire classificatie om te zetten in een multi-class classificatie. Bijvoorbeeld je hebt 3 klassen (rood, groen, blauw). Nu kun men voor elk mogelijk paar een binaire classificatie maken (rood / blauw, blauw / groen, rood / groen), de ontvangen data krijgt het label van de klasse met de meeste stemmen. Deze techniek wordt All vs All genoemd (AVA), het nadeel van deze techniek is het grijze gebied dat onbepaald blijft. [16]



Figuur 22 SVM multi-class classificatie [16]

### **SVM software**

SVM wordt in dit systeem geïmplementeerd met behulp van een software pakket. Er zijn verschillende SVM software pakketten beschikbaar. In de Redpin server is het 'C.-C. Chang and C.-J. Lin. LIBSVM' software pakket gebruikt. Zij voorzien interfaces voor verschillende software omgevingen zowel Java als c++ en vele meer. Deze informatie is terug te vinden op hun website. [18]

## 3.4 Web Framework

Er is gekozen voor het gebruik van een web framework omdat deze specifiek ontworpen zijn als hulpmiddel bij het ontwikkelen van goede en dynamische web applicatie. Er bestaan zeer veel verschillende Java frameworks met elk hun voor en nadelen. Ik heb 3 frameworks geprobeerd Spring MVC, Grails en Play. De uiteindelijke keuze wordt in het volgende deel verklaard.

### 3.4.1 Vergelijking

Om een keuze te maken tussen de verschillende frameworks is gebruik gemaakt van een online verslag dat de verschillende Java frameworks uitgebreid met elkaar vergelijkt in de onderstaande categorieën. In totaal werden in het verslag 8 frameworks vergeleken dit is gereduceerd tot 3 frameworks die ik zelf heb uitgetest.

	Rapid Application Development	Framework Complexity	Ease of Use	Documentation & Community	Throughput/ Scalability	code	Ecosystem
Spring MVC	2.5	3.5	3	4	4	3	4
Grails	5	3	4.5	5	4	4.5	4.5
Play	5	2	3.5	4	5	4	4.5

Tabel 5 Framework vergelijking [19]

Volgens de punten verdeling in het verslag komt Grails er als de beste tussen uit. Het nadeel van dit framework is dat het in Groovy geschreven is. Spring MVC was laatste maar beschikte over de grootse gebruikers community. Het Play Framework zat ergens halverwege dit kwam voornamelijk door de complexiteit die eerst overwonnen moet worden. [19]

De keuze is naar het **Play Framework** gegaan omdat ik hier al enige ervaring mee had en het alom een goed framework is, dat vlot in gebruik is en waar je snel een werkende web applicatie mee opzet.

### 3.4.2 Play Framework

Play is een opensource framework geschreven in Scala en Java. Het framework heeft handige functies zoals hot code reloading en de weergave van gedetailleerde fouten in de browser. Hieronder vind je enkele technieken en eigenschappen: [20]

- **Scala templating:** met scala kun je variabelen aanspreken vanuit de html code of de input van een formulier kan direct overgezet worden naar een Java model.
- **JSON support:** ingebouwde json functies (Jackson)
- **HTTP routing:** vertaalt HTTP requests naar een acties call.
- **reverse routing:** via deze weg kan je de routes aanspreken overal in de software
- **DB toegang:** 2 lijnen in de config file veranderen voor de in-built H2 database te activeren. Andere db connecties zijn mogelijk zoals MySQL.
- **Ebean ORM:** is een Object Relational Mapping layer en is simpeler in gebruik als JPA. JPA annotaties kunnen nog steeds gebruikt worden gebruiken.



# III ONTWIKKELINGSFASE

## 1 INLEIDING

---

In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling en de werking van het indoor positie systeem verder uitgelegd. De verschillende onderdelen worden beschreven en hoe ze samen komen tot een werkend positie systeem. De uiteindelijke resultaten worden op het einde besproken.

### 1.1 Overzicht

In het eerste deel wordt de concept opstelling besproken van het systeem en de verschillende modules en hun functies hierna volgt het werkingsprincipe van de gebruikte positie methode en waarom deze keuze gemaakt is en we eindigen met de gehele werking van het systeem.

In deel twee worden de gebruikte hardware en software beschreven. Dit omvat de gebruikte Wi-Fi infrastructuur, smartphone applicaties en de server applicaties.

In het laatste en derde deel wordt er een afweging gemaakt tussen de verkregen resultaten van opmetingen en enkele test cases.

### 1.2 Doel

Het doel van deze thesis is de ontwikkeling van een Proof Of Concept indoor positioning system dat het mogelijk maakt om een patiënt / persoon te lokaliseren binnen het ziekenhuis met een kamer nauwkeurigheid, door alleen gebruik te maken van de bestaande Wi-Fi infrastructuur. De verkregen positie data wordt per patiënt opgeslagen voor verder gebruik.

## 2 CONCEPT VAN HET SYSTEEM

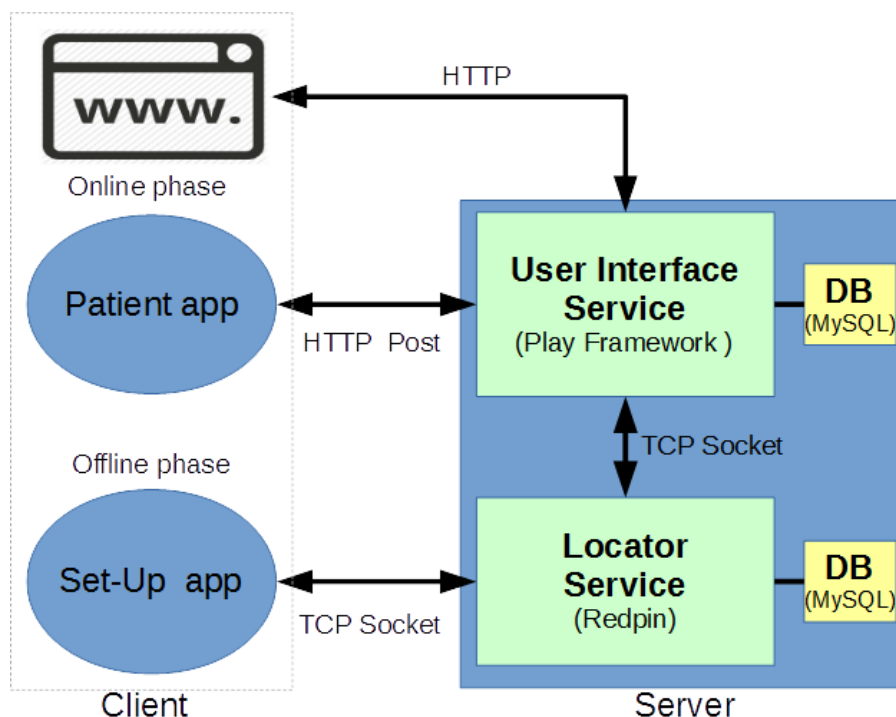
### 2.1 Inleiding

Het systeem is opgedeeld in 4 afzonderlijke software modules die samen moeten werken om het positie systeem te vormen. Het nadeel van verschillende modules is dat de gehele werking van het systeem pas getest kan worden als elke module afgewerkt is. Het voordeel van dit concept is dat de software modules kunnen vervangen worden met ander hardware systemen het enige wat consistent moet blijven is de communicatie methode. Bijvoorbeeld de smartphones kunnen vervangen worden door specifieke mobiele hardware modules zolang ze dezelfde communicatie methodes gebruiken ondervind het systeem hier niets van.

### 2.2 Opstelling

Het ontworpen systeem bestaat uit 2 delen de server en client side. De server beschikt over 2 afzonderlijke services, de User Interface Service (UIS) en de Locator Service.

De client beschikt over 2 smartphone applicaties, één applicatie is voorzien voor de patiënt en de tweede applicatie wordt gebruikt door een getrainde gebruiker in de Set-Up fase van het positie systeem. Het concept steunt op de **RSSI Fingerprinting positie methode**, dat geïmplementeerd wordt door de open-source Locator Service van Redpin. Zoals je kunt zien is het systeem opgebouwd uit 4 afzonderlijke software modules die met elkaar communiceren via verschillende netwerk protocollen.



Figuur 23 Patient Positioning System opstelling

De opstelling in figuur 23 is een Indirect remote positioning systeem omdat de verzamelde positie gegevens via de client naar een remote server verzonden worden waar de locatie bepaling plaatsvindt. Hieronder vindt je een korte beschrijving van de verschillende delen:

- **User Interface Service:** stuurt locatie verzoeken naar de locatie server en houdt de verkregen locatie gegevens per patiënt bij in een MySQL DB.
- **Locator Service:** geeft de locatie terug van de patiënt wanneer deze gevraagd wordt door de UIS, hier gebeuren de locatie berekeningen via een algoritme.
- **Patient app:** de applicatie stuurt locatie data (fingerprints) naar de UIS in vastgelegde intervallen wanneer er een beweging wordt waargenomen.
- **Setup-UP app:** deze applicatie wordt gebruikt in de opzet fase en voorziet de locatie DB van de nodige data

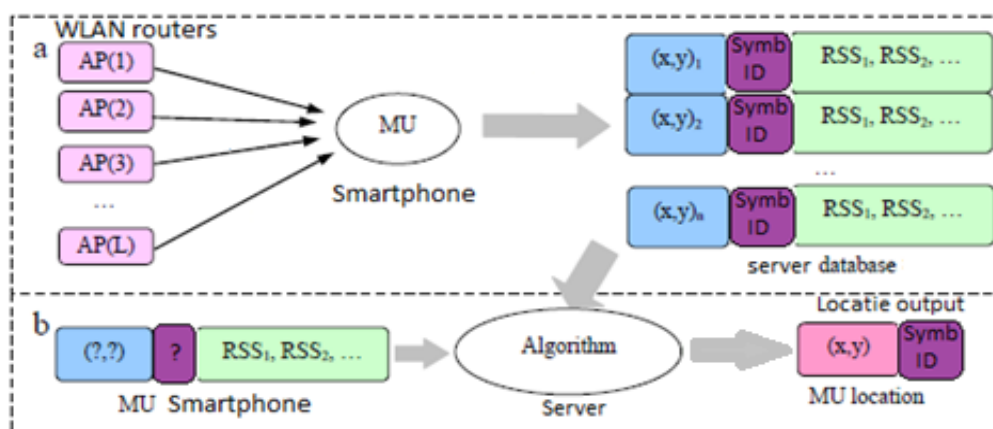
## 2.3 Positie Methode

Er is gekozen voor de RSSI Fingerprint methode omdat de integratie van dit systeem is mogelijk in elke omgeving waar een goede WLAN infrastructuur bestaat. De methode is gebaseerd op het meten van signaal sterktes. De fingerprint methode gedijt het beste in een niet open omgeving met verschillende ruimtes waar LOS uitzonderlijk is, hierdoor ontstaat er variërende signaal sterkte in elke ruimte wat voordelig is bij het opbouwen van een fingerprint database, elke fingerprint moet zo uniek mogelijk zijn.

### 2.3.1 RSSI Fingerprinting

In de onderstaande figuur zie je een schematische voorstelling van de RSSI Fingerprint methode. Er wordt gebruik gemaakt van een Mobile Unit (MU) die de RSSI waarde van verschillende acces points meet. Fingerprints zijn opgebouwd uit positie coördinaten en de bijhorende RSSI waarden. In dit systeem is er één extra variabele toegevoegd namelijk de **Symbolic ID** van een ruimte bijvoorbeeld een naam of numerieke waarde. [7]

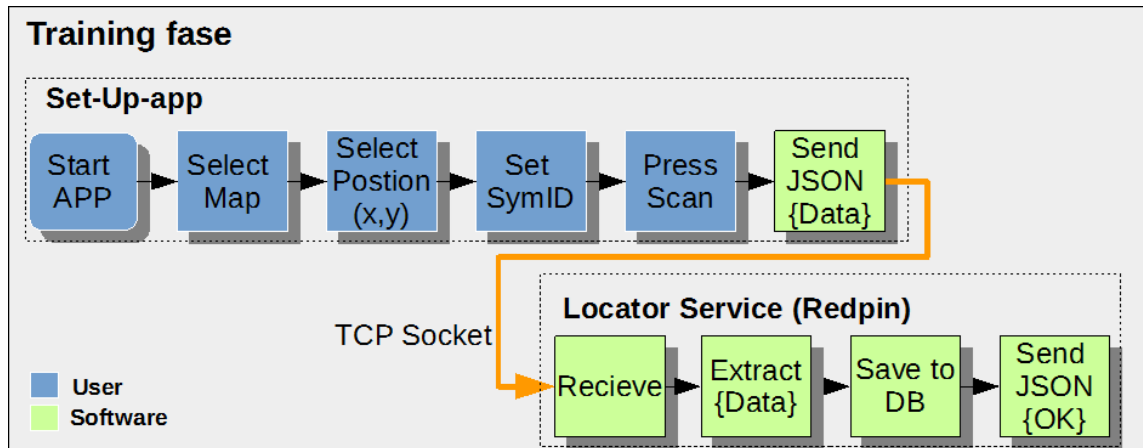
De methode bestaat uit 2 fases de **Training-** en de **Positie fase** deze worden ook wel de offline- en online fase genoemd. De training fase wordt eerst uitgevoerd met de Set-Up app, na de training fase wordt de Patient-app gebruikt in de online fase waar de positie bepaling gebeurt.



Figuur 24 RSSI fingerprinting schema [9]

## 2.4 Gehele werking van het systeem

De werking van het systeem is opgedeeld in twee fases die in de vorige sectie vermeld zijn, de training fase moet eerst uitgevoerd worden vooraleer men kan beginnen met de positie fase / online fase. In de volgende delen wordt de werking van de twee fases uitgelegd aan de hand van een diagram dat de handelingen van de fasen beschrijft. De blauwe kaders is een gebruikershandeling en de groene kader is een softwarehandeling.

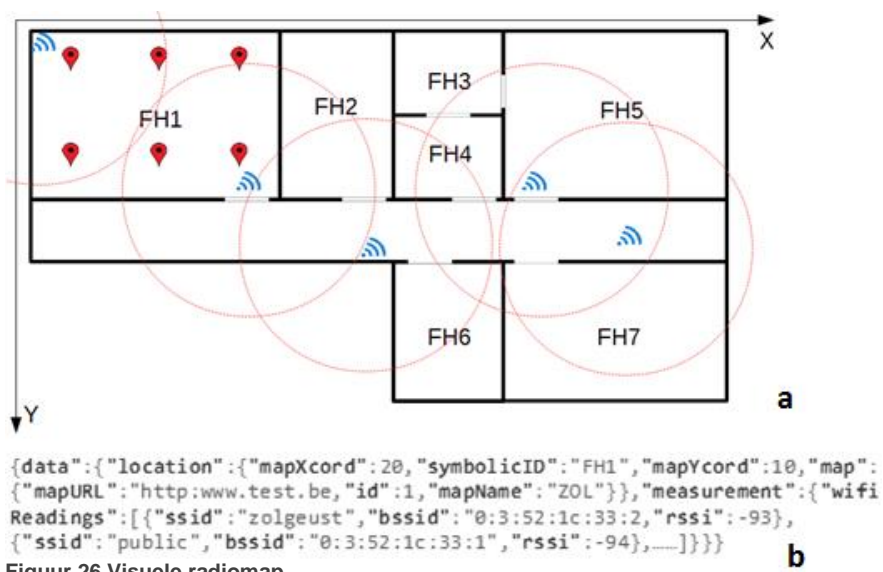


Figuur 25 Training fase schema

### 2.4.1 Training fase (offline)

Het proces hierboven noemt men radio mapping. Bij het starten van de applicatie wordt er een plattegrond geselecteerd, men duidt de positie aan op de kaart en vervolgens geeft men de symbolische ID mee van de ruimte waar men zich bevindt, hierna start er een access Point scan die de RSSI waardes registreert. De fingerprint wordt door de applicatie samengesteld en in het juiste formaat verzonden naar de **Locator Service** waar de data verwerkt en opgeslagen wordt in de database.

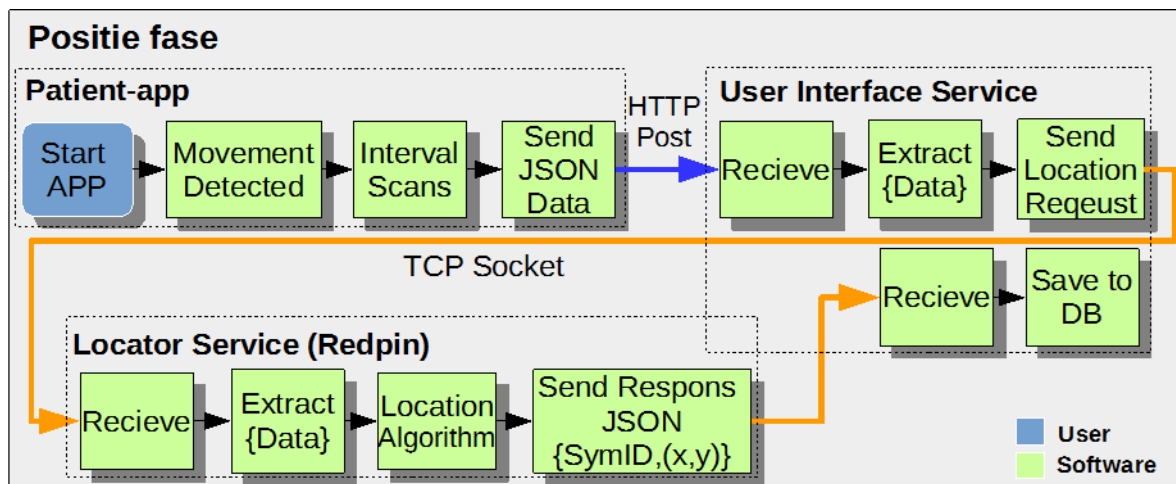
De volgende figuur is een visuele weergave van een radiomap waar elke rode pointer een fingerprint voorstelt. In figuur 26b zie je een ingekort voorstelling van een fingerprint in JSON formaat, er worden maar 2 RSSI waardes getoond in werkelijkheid loopt deze data door.



Figuur 26 Visuele radiomap



## 2.4.2 Positie fase (online)



Figuur 27 Positiefase schema

Na het opstellen van de radiomap kan het systeem online gebruikt worden. Nu is het de taak van de **Patient-app** om data te verzamelen. De enige handeling die de gebruiker moet uitvoeren is de applicatie starten en eventueel zijn gegevens invullen bij het eerste gebruik.

De acces point scan wordt allen gestart als er beweging wordt waargenomen. De verkregen scan data wordt omgezet naar het correcte formaat maar deze keer zonder positie coördinaten en symbolic ID zie figuur 24b. De data wordt nu eerst naar de **User Interface Service** verstuurd waar de data verwerkt wordt en hierna volgt er een locatie request naar de **Locator Service** waar een algoritme de locatie bepaald met de verzamelde gegevens van de radio map. Het gebruikte algoritme is één van de classificatiemethodes die besproken zijn in de literatuurstudie sectie 3.3.4. De ontvangen response bij de UIS is een locatie die samen met de patiënt gegevens opgeslagen wordt in de DB voor verder gebruik.

## 2.5 Communicatie Methode

De communicatie verloopt via twee protocollen, HTTP en netwerk sockets. Via deze weg wordt er gecommuniceerd met JavaScript Object Notation (JSON), dit is een veel gebruikte structuur voor het uitwisselen van data tussen verschillende software platformen. Het voordeel van deze structuur is dat de inhoud leesbaar blijft. Hieronder wordt een voorbeeld getoond van een setFingerprint request dat verstuurd wordt naar de **Locator Service** via een server socket.

```
{
  "action": "setFingerprint",
  "data": {
    "location": {
      "map": {
        "id": 1,
        "mapName": "kelder",
        "mapURL": "http://192.168.1.3:9000/assets/images/maps/kelder.jpg"
      },
      "symbolicID": "e1",
      "mapXcord": 436,
      "mapYcord": 673
    },
    "measurement": {
      "bluetoothReadings": [],
      "gsmReadings": [],
      "wifiReadings": [
        {
          "bssid": "e4:f4:c6:0e:1b:67",
          "ssid": "NETGEAR43-5G",
          "isInfrastructure": false,
          "rssi": -53,
          "wepEnabled": true
        },
        {
          "bssid": "e4:f4:c6:0e:1b:68",
          "ssid": "NETGEAR43",
          "isInfrastructure": false,
          "rssi": -60,
          "wepEnabled": true
        },
        {
          "bssid": "40:f2:01:8d:28:9e",
          "ssid": "WiFi-2.4-2898",
          "isInfrastructure": false,
          "rssi": -90,
          "wepEnabled": true
        },
        {
          "bssid": "42:f2:01:8d:28:9f",
          "ssid": "PROXIMUS_FON",
          "isInfrastructure": false,
          "rssi": -90,
          "wepEnabled": false
        },
        {
          "bssid": "e4:f4:c6:fe:81:34",
          "ssid": "telenet-apn-e8134",
          "isInfrastructure": false,
          "rssi": -90,
          "wepEnabled": true
        }
      ],
      "timestamp": 1439406770730
    }
  }
}
```

Figuur 28 SetFingerprint actie

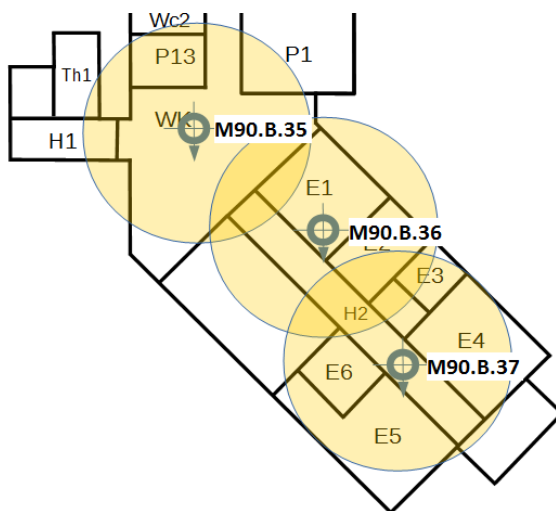
## 3 HARDWARE / SOFTWARE

### 3.1 Inleiding

Als ontwikkeling omgeving is er gebruik gemaakt van een Linux Laptop met Java 8 en 2 IDE's, Eclipse en IntelliJ IDEA. De gebruikte hardware is een Android smartphone met de laatste 5.1 lollipop versie. Het positie systeem maakt ook gebruik van de bestaande Wi-Fi infrastructuur van het ziekenhuis, de configuratie van deze infrastructuur wordt ook kort besproken.

### 3.2 Wi-Fi Infrastructuur

De Wi-Fi infrastructuur is uitstekend voorzien binnen het ziekenhuis, er zijn recent nieuwe access points (AP) geïnstalleerd doorheen het ziekenhuis van de Cisco serie aironet 2600, dit zijn uitstekende access points met power over ethernet en een Dual-band controller-based 802.11a/g/n radio. Dit betekent 2 beschikbare frequentie banden van 2.4GHz en 5GHz. Hieronder wordt de Wi-Fi coverage map getoond van de Future Health afdeling waar.



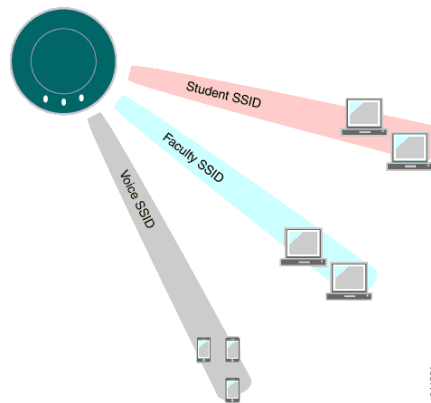
Figuur 30 Future Health Wi-Fi coverage



Figuur 29 Cisco access point

De APs in het Wi-Fi netwerk zijn geconfigureerd met meerder WLAN netwerken de enige zichtbare SSID is zol-geust. De overige netwerken zijn verborgen alleen de BSSIDs zijn zichtbaar en worden verzonden. Één AP is opgemeten en had een configuratie van 16 verschillende BSSIDs, dit zijn 8 verschillende WLAN netwerken verdeeld over de 2 frequentie banden. De meet resultaten zijn terug te vinden in sectie 4.2 in de BSSID tabel op het einde bij de resultaten.

Een AP kan met meerder WLAN netwerken geconfigureerd worden bijvoorbeeld een netwerk voor studenten en werknemers.



Figuur 31 Acces point met meerdere WLANs [21]

Een WLAN beschikt steeds over een SSID en BSSID. De SSID is de netwerknaam en wordt nie altijd uitgezonden. De BSSID heeft de structuur van het MAC adres en wordt altijd meegestuurd met de netwerk pakketen. Als een AP maar over 1 WLAN beschikt en 1 radio dan is de BSSID = Hardware MAC adres. De gebruikte acces points beschikken over 2 radios (2.4 GHZ en 5 GHz) dus moeten er al meerdere BSSID voorzien worden. [21]

Bijvoorbeeld er zijn 5 WLAN netwerken geconfigureerd en het is een dual band AP, dus er zijn in totaal 10 verschillende BSSIDs nodig, elke BSSID wordt bepaald op basis van het hardware MAC adres.

### 3.3 Client

Voor de client is er gebruik gemaakt van een Android smartphone waar twee afzonderlijke applicatie voor ontwikkeld zijn met deels dezelfde code functionaliteit. De training en positie fase zouden even goed uitgevoerd kunnen worden door 1 applicatie, maar de doelstelling van deze thesis was om een draagbare hardware module te simuleren die de patiënt in de toekomst zou kan monitoren en traceren. Twee Applicaties zijn ontwikkeld, één voor de patiënt te traceren en één voor het opbouwen van de fingerprint DB.

#### 3.3.1 Access point scan

Beide applicaties beschikken over dezelfde scan functie. De smartphone neemt een passieve scan van de omgeving om zo alle acces points (AP) binnen bereik te detecteren. De passieve scan luistert op alle kanalen naar beacons die elke AP periodiek verstuurd, de default interval is elke 100ms. Beacons bevatten informatie over de AP zoals de BSSIDs en SSIDs, bij het ontvangen van de beacon wordt ook de RSS waarde gemeten.

Verschillende forums spreken ook van een startScanActive functie maar deze is verborgen en niet aanspreekbaar, een actieve scan zou sneller zijn omdat deze eerst een broadcast probe request verstuurt en wacht op de respons.

De onderstaande methode heb ik uitgetest maar zonder succes. Sommige forums speculeren zelfs dat er geen verschil is in resultaat tussen een actieve en passieve scan.

```
Method startScanActiveMethod = WifiManager.class.getMethod("startScanActive");
startScanActiveMethod.invoke(getWifiManager());
```

Figuur 32 Java reflection Active scan solution

### 3.3.2 Set-Up-app

Zoals eerder vermeld wordt deze applicatie specifiek gebruikt voor het opbouwen van de fingerprint database, de applicatie is simpel gehouden zo dat het gemakkelijk is in gebruik voor de bevoegde persoon die metingen neemt.



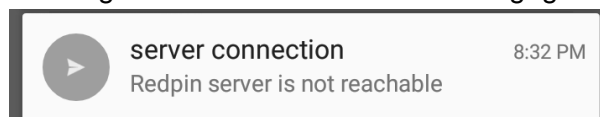
Figuur 33 Set-Up-app lay-out

De app bestaat uit 5 fragmenten met een grafische lay-out. De sidebar wordt gebruikt om te navigeren tussen de fragmenten:

- 1) **Mapview:** deze layout beschikt over een speciale map view die het toelaat in te zoomen en te bewegen met de kaart zodat je je positie gemakkelijk kan bepalen. Bij een long press op de kaart verschijnt een rood puntje op de aangeduide positie hierna wordt er via een pop-up om de symbolic ID gevraagd.
- 2) **Maps:** geeft een lijst weer van kaarten die bij de start gedownload worden, bij het selecteren wordt fragment 1 geopend met de geselecteerde kaart.
- 3) **Settings:** hier worden het server adres en port nummer ingeven van waar de Locator Service zich bevind.
- 4) **Guide:** legt kort uit hoe de applicatie werkt en hoe je een fingerprint moet nemen
- 5) **Message:** dit fragment geeft een boodschap als er zich een probleem voordoet zoals geen verbinding of een fout bij het downloaden van de kaarten.

Verder worden er ook twee services gebruikt die op de achtergrond werken.

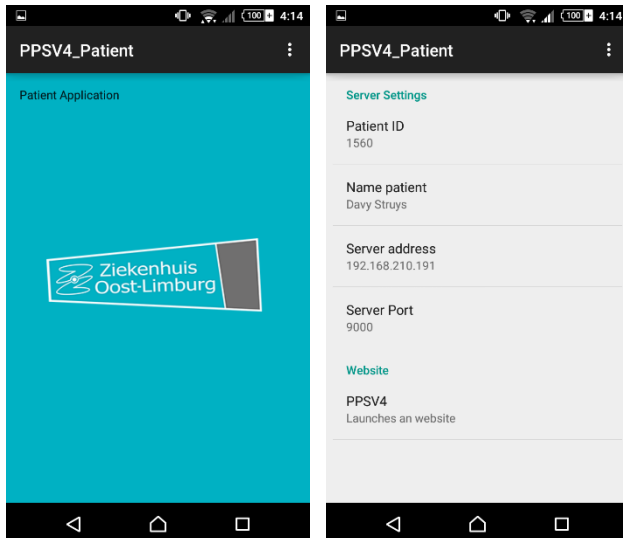
- **WiScanService:** start een passieve scan en luistert naar de ontvangen resultaten
- **InternetConnectionManager:** de service gaat controleren of de Locator service bereikbaar, als dit niet het geval is wordt er een notificatie gegeven.



Figuur 34 Set-Up-app notificatie

### 3.3.3 Patient-app

Deze applicatie wordt gebruikt op de patiënt zijn smartphone en dient als simulatie van een draagbare hardware module. Hierdoor is de applicatie zeer beperkt toegankelijk voor de gebruiker. De functionaliteit wordt geleverd door services die op de achtergrond werken.



Figuur 35 Patient-app lay-out

Deze applicatie beschikt maar over 1 fragment namelijk de instellingen.

- **Patient ID:** patiënten beschikken over een unieke ID die hen wordt toegewezen.
- **Name patient:** de naam is optioneel omdat de patiënt herkend wordt via zijn ID.
- **Server address:** IP adres van de server waar de UIS zich bevindt.
- **Server Port:** het port nummer da UIS gebruikt.

De applicatie bestaat uit 3 services die op de achtergrond blijven werken ook al wordt de applicatie verlaten.

- **SendService:** verstuurt één voor één de scan data via http post naar de server
- **MotionService:** maakt gebruik van de Android significant motion sensor, deze functie geeft een trigger wanneer er voldoende beweging is waargenomen. De trigger start de interval Wi-Fi scans.
- **WiScanService:** start een passieve scan en luistert naar de ontvangen resultaten.

## 3.4 Server

Beide server applicaties zijn geschreven in Java en kunnen elk uitgevoerd worden op een Java Virtuele Machine, de server applicaties zijn platform onafhankelijk. De User Interface Service is een web applicatie geschreven met behulp van het Play Framework. De Locator Service is een Java open-source server ontwikkeld door Redpin.

### 3.4.1 User Interface Service

Bij de ontwikkeling heb ik mij geconcentreerd op de backend en database management. Het visuele aspect, de gebruiker interface van de service is niet afgewerkt maar de functionaliteit op de achtergrond is aanwezig.

#### Werking

Het Play Framework maakt gebruik van een routes file om HTTP GET en POST requests te verbinden met functies die gedefinieerd zijn in een controller classe. De figuur hieronder is de routes file van de UIS.

```
GET / controllers.Application.index()
GET /image/:name controllers.Application.image(name)
POST /locdata controllers.Application.setLocationData()
POST /addp controllers.Application.addPatient()
POST / controllers.Application.upload()

# Map static resources from the /public folder to the /assets URL path
GET /assets/*file controllers.Assets.versioned(path="/public", file: Asset)
GET /images/*file controllers.Assets.at(path="/public/images/maps",file)
```

Figuur 36 Routes file UIS

POST requests en hun functies verder verklaart:

- **setLocationData():** De functie ontvangt een post request met fingerprint data, de data wordt verwerkt en toegevoegd aan de Locator request lijst.
- **upload():** De functie dient om een plattegrond naar de server te laden.
- **addPatient():** De functie ontvangt data van een html formulier en mapt deze naar het patient model om op te slaan in de database.

#### **Job thread**

Omdat Play een web applicatie framework is wordt de meeste code uitgevoerd door een controller die reageert op HTTP requests. In dit systeem is het nodig om bepaalde logica uit te voeren buiten de controllers zodat de HTTP requests niet geblokkeerd worden. In vorige edities was dit een speciale Job functie maar deze is verwijderd, nu wordt er gebruik gemaakt van de Akka sheduler, deze functie laat het toe om de herhalingsfrequentie van de code in te stellen. De logica die uitgevoerd wordt in de thread is een location request naar de Locator Service.[20]

```
tickTask = getContext().system().scheduler().schedule(delay,frequency,self(),TICK,
getContext().dispatcher(), self());
```

Figuur 37 Akka scheduler

## Communicatie protocol

De communicatie met de server gebeurt via het HTTP protocol dat altijd een request / respons paar gebruikt.

**GET:** Geeft een bestaande resource terug, de url bevat alle nodige data wat niet altijd even veilig is.

**POST:** Creëert een nieuwe resource. Het POST request bevat data om de resource aan te maken.

Bij een POST request moet men uitkijken dat de juiste headers geconfigureerd zijn. Bij het versturen van een JSON request moet de Entity-header 'Content-type' de waarde 'application/json' hebben zodat het media-type bekend is voor server.

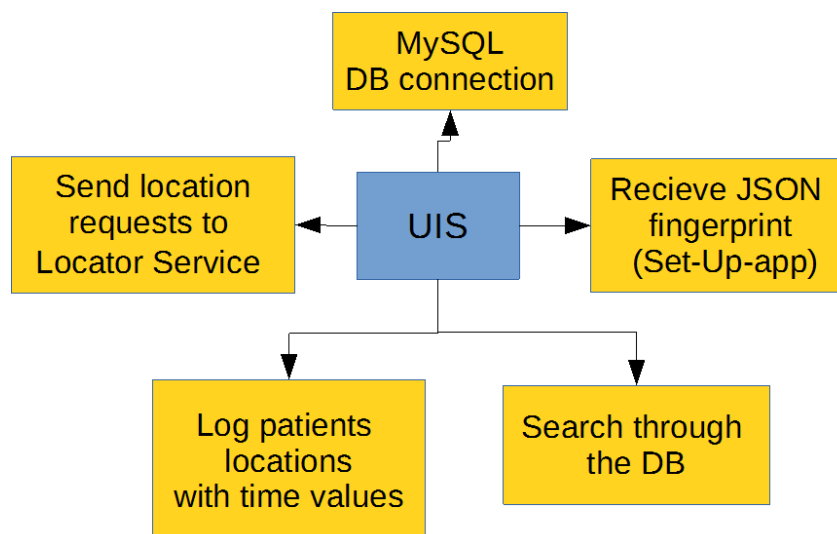
## cURL

cURL is command-line tool die data kan versturen over verschillende communicatie protocollen. De cURL tool is gebruikt om de UIS te testen met fingerprint data via een POST request. Hieronder wordt een voorbeeld gegeven van een POST request naar de <http://localhost:9000/locdata> route

```
curl -v -H "Accept: application/json" -H "Content-type: application/json" -X POST -d '{"action": "setLocation", "data": {"patientID": "1650", "wifiReadings": [{"bssid": "e4:f4:c6:0e:1b:67", "ssid": "NETGEAR43-5G", "isInfrastructure": false, "rssi": -56, "wepEnabled": true}, {"bssid": "e4:f4:c6:0e:1b:68", "ssid": "NETGEAR43", "isInfrastructure": false, "rssi": -66, "wepEnabled": true}, ...], "timestamp": 1437987643966}}' http://localhost:9000/locdata
```

Figuur 38 cURL POST setLocation

## Functie diagram UIS



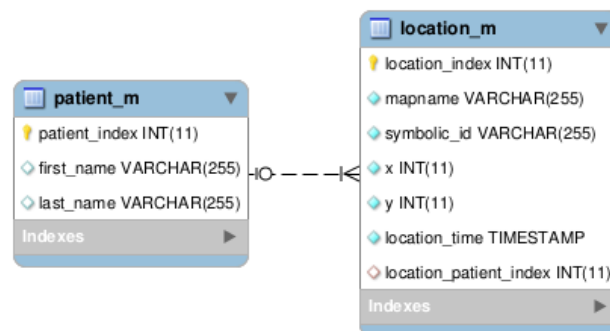
Figuur 39 UIS functie diagram

## MySQL database

Om de locatie data van de patiënten op te slaan wordt er gebruik gemaakt van een MySQL database. De database wordt opgemaakt en bewerkt met Ebean dit is een Java Object Relational Mapping tool, het is simpeler in gebruik als JPA (Java Persistence API).

### Structuur

In de figuur hieronder wordt het EER model van de database voorgesteld. De patient\_m tabel bevat 3 velden, patient\_index die gelijk is aan de unieke patient ID en de voor- en achternaam. Een patiënt heeft meerdere locaties en alle locaties worden voorzien van een timestamp met het formaat ("YYYY-MM-dd HH:mm:ss"), zo is het mogelijk om de tabel te doorzoeken binnen een tijdsinterval.



Figuur 40 UIS EER model

### 3.4.2 Locator Service

Deze service is open-source software en beschikbaar gesteld op de Redpin website. Tijdens de trainingfase worden de gemeten fingerprints opgeslagen in de geconfigureerde database. In de online fase wordt de locatie bepaald door één van de twee positie algoritmes KNN (K Nearest Neighbour) of SVM (Support Vector Machine) die besproken zijn in de literatuurstudie in sectie 3.3.4.

De code is beschikbaar als een uitvoerbaar.jar bestand (redpin.jar) of als source bestanden die in Eclipse kunnen geïmporteerd worden om naar wens aan te passen.

### Code aanpassingen

Hieronder is een korte opsomming van enkele kleine veranderingen aan de code:

- 1) Je kunt nu kiezen tussen het SVM of KNN algoritme via de lactor.svm instelling in het redpin.properties bestand figuur 41. Dit was voorheen niet mogelijk, de SVM werd altijd als voorkeur gekozen.
- 2) Database import schema functie. De functie creëert het database schema in de aangeduide MySQL database, dit was niet voorzien voor een MySQL database.
- 3) Verouderde functies vervangen die veranderd zijn in Java 8.

De code is niet volledig afgewerkt en op enkele plaatsen verouderd omdat de server nog met Java SE 6 ontworpen is. De functionaliteit van de server is in orde, het is staat locaties op te slaan en terug te geven.



```

redpin.properties

port = 8000
log.format = xml
log.level = all
requests.log = true
requests.log.path = /
db.type = mysql
db.location = //localhost/redpin?user=root&password=pass
svm.libdir = svm 2.9
svm.trainrate = 10
locator.svm = true

```

Figuur 41 Redpin properties bestand

**Communicatie protocol**

Het gebruikte protocol is TCP Socket, default is de server bereikbaar op port 8000. Als gegevensformaat wordt er Javascript Object Notation (JSON) gebruikt zie figuur 42. In de onderstaande tabel vind je de mogelijk acties die server uitvoert aan de hand van de gegeven input action.

**Actions**

<i>Action</i>	<i>Expected data</i>	<i>Result data</i>	<i>Description</i>
getMapList	-	List of Maps	Get all available maps
setMap	Map	Map	Add a new map
removeMap	Map	-	Remove a map
getLocation	Measurement	Location	Get estimated location by locator
getLocationList	-	List of Locations	Get all available locations
updateLocation	Location	-	Update a location
removeLocation	Location	-	Remove a location (including fingerprint and measurement)
setFingerprint	Fingerprint	Fingerprint	Add a new fingerprint (including new location with measurement)

Tabel 6 Redpin action tabel

**Telnet**

Om de server te testen is er gebruik gemaakt van de Telnet terminal applicatie die standaard op Linux geïnstalleerd is. De TCP connectie wordt via het onderstaande commando tot stand gebracht. In het voorbeeld is er een getMaplist Action verstuurd naar port 8000.

```

Send Request
telnet localhost 8000 {"action":"getMapList"}

Response
{"status":"ok","data":[
{"id":1,"mapName":"IFW A","mapURL":"http://www.rauminfo.ethz.ch/..."},
{"id":2,"mapName":"IFW B","mapURL":"http://www.rauminfo.ethz.ch/..."},
{"id":3,"mapName":"IFW C","mapURL":"http://www.rauminfo.ethz.ch/..."}
]}

```

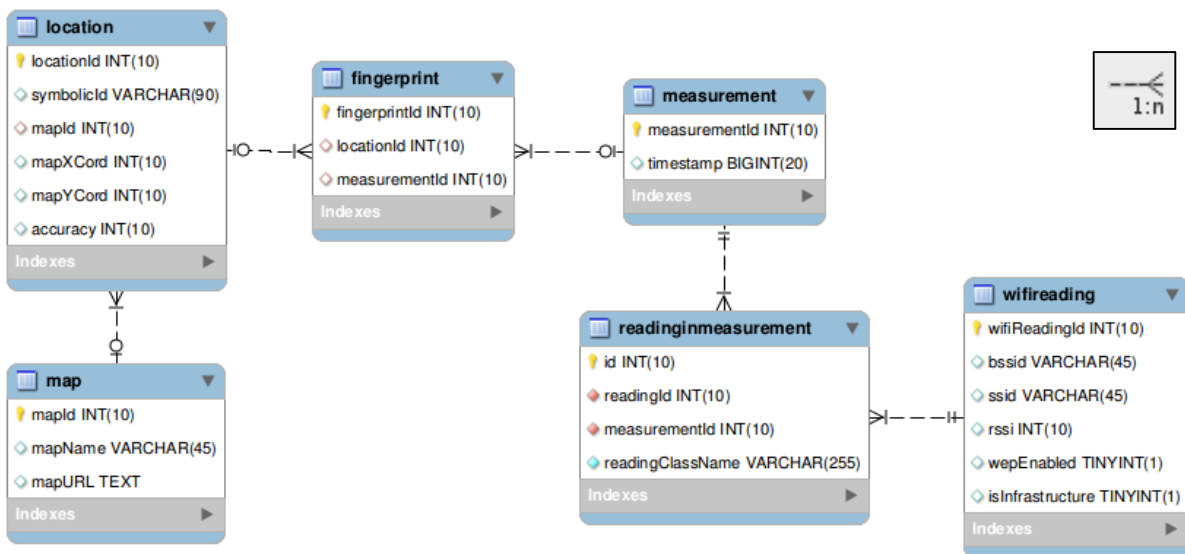
Figuur 42 Telnet Socket connectie

## Database

Bij de server instellingen is er de keuze tussen SQLITE en MySQL.

**SQLITE** genereert een geïntegreerde DB genaamd redpin.db en is zeer handig in de testfase zo kunnen er verschillende databases getest worden met telkens andere data set. Het nadeel is dat er geen user management of beveiliging aanwezig is.

**MySQL** is de meest bekende database, om deze in te stellen geeft men de locatie en inlog gegevens mee van het database schema. In het redpin.properties bestand (figuur 41) wordt een voorbeeld getoond bij de location.db instelling. De tabellen worden automatisch gegenereerd als deze nog niet bestaan.



Figuur 43 Redpin EER model

In de bovenstaande figuur wordt het EER diagram van de Locator Service getoond. De fingerprint bestaat uit een location en measurement. De measurement is een samenstelling van alle Wifi readings die er bij horen. De Redpin server gebruikt ook de tabellen 'bluetoothreading' en 'gsmreading', maar deze worden niet gebruikt en zijn dus niet van toepassing.

## 4 RESULTATEN

### 4.1 Inleiding

Hier worden enkele metingen kort uitgezet en besproken, Als eerst is de configuratie van een access point opgemeten en zijn bijhorende RSS waardes, als tweede is er een kleine test case opgezet om de beste radiokaart configuratie te bepalen.

### 4.2 Access point opmeting

Hier naast wordt een tabel met alle geconfigureerde BSSIDs van één AP (access piont) weergegeven. De AP beschikt in totaal over 8 verschillende WLANs waarvan er maar 2 bekend zijn, deze zijn dubbel door het gebruik van de frequentiebanden, 2.4 en 2.5 GHz. Elke BSSID heeft een eigen RSS waarde, omdat hun herkomst één AP is.

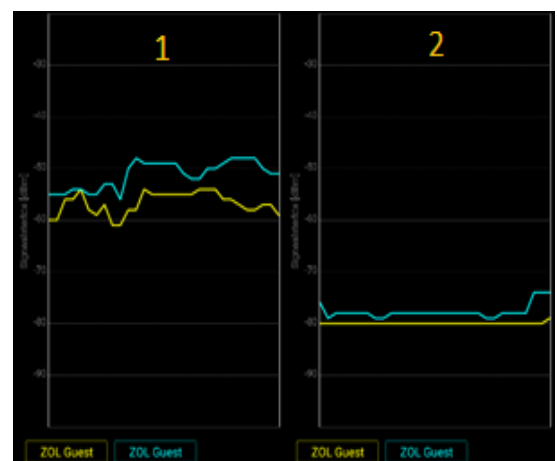
Een fingerprint wordt opgesteld met al deze verschillende BSSIDs en hun RSS waardes, hierdoor kan een fingerprint vrij groot worden bijvoorbeeld bij 3 APs wordt de fingerprint gevuld met 48 RSS waardes (3\*16 BSSID) waarvan elke een unieke BSSID heeft.

E8:ED:F3	No SSID	WLANs	
1	C3:9D:5E	Psk-geust	5G
2	C3:9D:58	?	5G
3	C3:9D:5C	?	5G
4	C3:9D:5A	?	5G
5	C3:9D:5B	?	5G
6	C3:9D:59	?	5G
7	C3:9D:5F	?	5G
8	C3:9D:53	?	
9	C3:9D:57	?	
10	C3:9D:50	?	
11	C3:9D:55	?	
12	C3:9D:51	Psk-geust	
13	C3:9D:56	?	
14	C3:9D:54	?	
	<b>SSID</b>		
15	C3:9D:52	ZOL Geust	
16	C3:9D:5D	ZOL Geust	5G

Tabel 7 Acces point BSSID tabel

In de figuur hiernaast zijn de RSS waardes van het ZOL Guest WLAN uitgezet in de tijd. De eerste grafiek is vlakbij de AP gemeten met veel personen in de buurt die voor schommelingen zorgen. De tweede grafiek is gemeten in een iets verder gelegen ruimte waar er geen personen aanwezig waren, de meting is veel stabiel.

De onstabieliteit in RSS waardes kan er voor zorgen dat verkeerde locaties bepalingen gemaakt worden. Positie Algoritmes zouden rekening moeten kunnen houden met deze variaties maar dit is niet altijd het geval, dat blijkt uit de volgende metingen.



Figuur 44 RSS grafiek ZOL-Guest

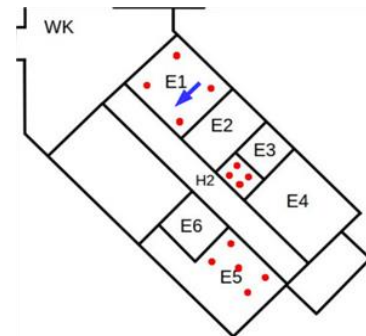
## 4.3 Test case radiomap

Bij deze meting wordt er getest welke radiomap samenstelling de beste resultaten geeft. In totaal zijn er 3 radiomappen gemaakt één met de 2.4 GHz RSS waarden, 5GHz RSS waarden en een combinatie van de twee. Dit gebeurt door bij het ontvangst van de RSS waarden te filteren op frequentie. In sommige onderzoeken wordt beweerd dat de 5GHz RSS waarde betere resultaten geeft omdat deze stabiel is. [8]

### 4.3.1 Opstelling

In elke kamer is op de aangeduide posities een fingerprint meting genomen met de smartphone gepositioneerd in de richting van de pijl. Dit proces is 3 keer herhaald telkens voor de verschillende frequentiebanden en een combinatie van de twee.

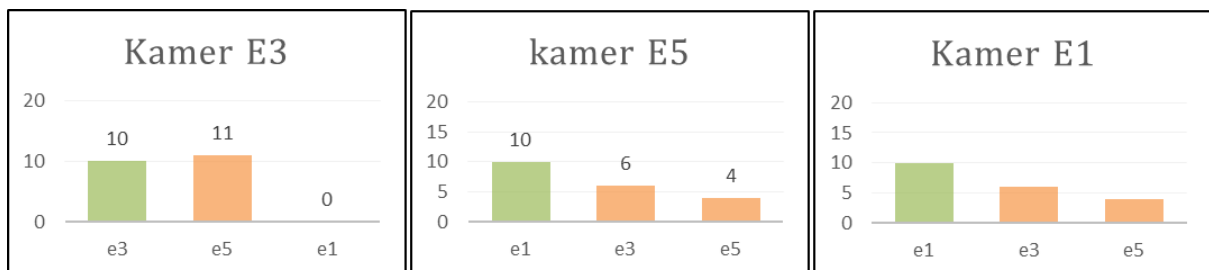
In elke kamer zijn 20 fingerprints genomen in de online fase op willekeurige locaties, de Locator Service geeft telkens een symbolic ID terug (E1, E3, E5). Alleen het KNN algoritme is gebruikt omdat de SVM geen coherente data terug gaf.



Figuur 45 Radiomap opstelling

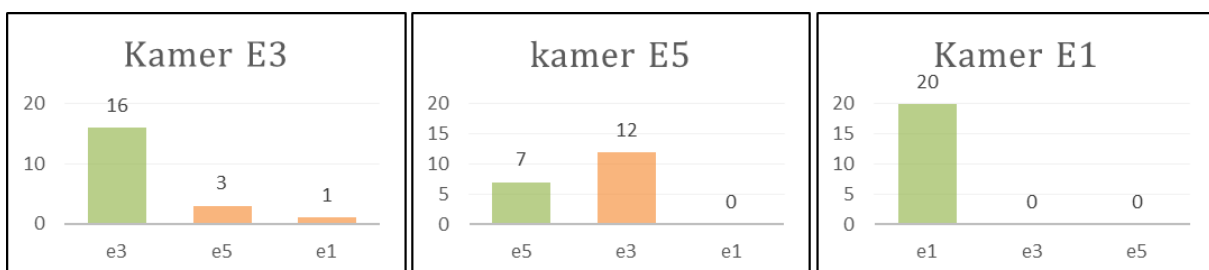
De resultaten zijn terug te vinden in de onderstaande staafdiagrammen. Het aantal correcte locatie bepalingen per radiomap en kamer is weergegeven door de groene staaf.

#### Locatie bepaling 2.4 GHz radiomap (KNN)



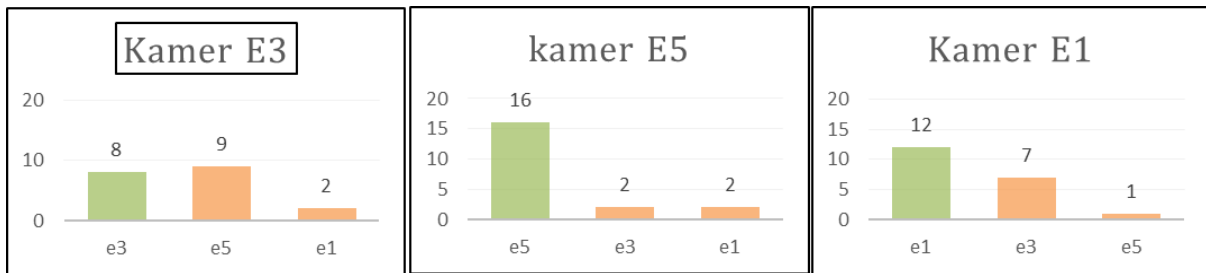
Figuur 46 Staafdiagram meting 2.4 GHz radiomap (KNN)

#### Locatie bepaling 5 GHz radiomap (KNN)



Figuur 47 Staafdiagram meting 2.4 GHz radiomap (KNN)

## Locatie bepaling 2.4 en 5 GHz radiokaart (KNN)



Figuur 48 Staafdiagram meeting 2.4 en 2.5 GHz radiomap (KNN)

## 4.4 Besluit

Uit de **eerste meeting** kan men besluiten dat de RSS waardes zeer sterk variëren door stilstaande en bewegende objecten in de ruimte, dit zal altijd het geval zijn door absorptie en reflectie die plaatsvind bij elektromagnetische golven.

Acces points met meerdere WLAN netwerken geconfigureerd zijn voordeliger omdat deze een meer unieke fingerprint creëren door de vele verschillende BSSIDs en hun RSS waarde.

In de **tweede metingen** is gebleken dat de 5GHz en de combinatie van 2.4 en 5 GHz net iets betere resultaten geven, maar er zitten nog steeds te veel foute locaties in de resultaten.

De vermelde 9/10 correcte locatie bepaling in de Redpin paper [14] is toch niet gehaald in deze testcases, een reden hiervoor kan zijn is dat er maar een 3 AP binnen bereik waren en dat de kamers dicht bij elkaar lagen.

Een verbetering in resultaten zou kunnen verkregen worden als de ruimtes niet bevolkt zijn maar dit is geen realistische alledaagse situatie.

Uit de metingen blijkt dat de Locator Service in staat is een correcte locatie terug te geven en dat zelfs zonder fouten dat blijkt uit de 5 GHz grafiek van kamer E1, maar er worden nog te vaak willekeurige fouten gemaakt.



# IV SLOT

## 1 CONCLUSIE

---

Het doel van deze thesis was het ontwerpen van een proof of concept indoor positie systeem waarbij er later ook de mogelijkheid is om over te schakelen naar een andere hardware module zoals het body area network.

Uit het vooronderzoek blijkt dat de fingerprint methode de meest geschikte techniek is bij indoor positie bepaling. De andere genoemde technieken in deze thesis zijn eerder geschikt voor grote open ruimtes waar weinig interferentie plaatsvindt, wat niet het geval is in een labrynt van kamers en gangen zoals een ziekenhuis. Het nadeel van de fingerprint techniek is dat er grote opzet fase aan vooraf gaat, de offline fase.

Met de fingerprint methode is er een werkend proof of concept systeem opgezet dat uit verschillende modules bestaat die samen moeten werken om één systeem te vormen, hiervoor is er gebruik gemaakt van de Java programmeertaal.

De vooropgestelde doelstellingen zijn grotendeels bereikt buiten het grafische aspect van de User Interface Service die achterop gebleven is. Met het systeem is het mogelijk om een locatie terug te krijgen met een kamernauwkeurigheid en dit gebeurt door de 2 fases te doorlopen waarbij alle modules samen moeten werken om een locatie te verkrijgen. De locatie data wordt in een afzonderlijke database bijgehouden om later de afgelegde weg van een persoon te kunnen weergeven.

### 1.1 Suggestie voor verder onderzoek

Het systeem maakt momenteel gebruik van 2 smartphone applicaties en de opensource locatie server met de originele positie algoritmes. In verder onderzoek naar de fingerprint methode moet er dieper ingegaan worden op de gebruikte positie algoritmes want deze bepalen de precisie en nauwkeurigheid van het systeem.

Om de foute locatie bepalingen te verkleinen kan er een combinatie gemaakt worden van RSSI fingerprints en magnetische veld fingerprints van de ruimte. In elke kamer is er namelijk een verschillend magnetisch veld aanwezig door de gebruikte constructiematerialen in een gebouw.

Het nadeel van de fingerprint methode is de tijdrovende opzet fase die eerst moet gebeuren door afdeling per afdeling op te meten.

In het vooronderzoek is een andere mogelijke toepasbare techniek beschreven namelijk de Two Way Ranging techniek deze vereist geen gesynchroniseerde kloken en grote opzetfase maar er zijn wel andere uitdagingen die overwonnen moeten worden, zoals de exacte hardware delay bepaling en de berekening van een nauwkeurige propagatie snelheid.

De gemakkelijkst implementeerbare methode in de ziekenhuisomgeving blijft in mijn ogen nog steeds de **fingerprint methode** met zijn analytische aanpak om een locatie te bepalen.





# V BIBLIOGRAFIE

## 1 ONDERZOEK PAPERS

---

- [1] R. MAUTZ, "INDOOR POSITIONING TECHNOLOGIES," NO. FEBRUARY 2012, P. 127, 2012.
- [2] Y. GU, A. LO, AND I. NIEMEGEREERS, "A SURVEY OF INDOOR POSITIONING SYSTEMS FOR WIRELESS PERSONAL NETWORKS," *IEEE COMMUN. SURV. TUTORIALS*, VOL. 11, NO. 1, PP. 13–32, 2009.
- [3] H. LIU, "SURVEY OF WIRELESS INDOOR POSITIONING TECHNIQUES AND SYSTEMS," VOL. 37, NO. 6, PP. 1067–1080, 2007.
- [4] Y.-C. LEE AND S.-H. PARK, "RSSI-BASED FINGERPRINT MAP BUILDING FOR INDOOR LOCALIZATION," *2013 10TH INT. CONF. UBIQUITOUS ROBOT. AMBIENT INTELL.*, VOL. 1, PP. 292–293, OCT. 2013.
- [5] L. WITEPA, "LABOBAD : RSS-BASED INDOOR PLAATSBEPALINGSSYSTEMEN TECHNIEKEN EN TECHNOLOGIE " EN VOOR PLAATSBEPALING OP BASIS VAN RF SIGNALLEN LOCATIE AFHANKELIJKE DIENSTEN -," PP. 1–11, 2012.
- [6] L. WITEPA, "LABOBAD : RSS-BASED INDOOR PLAATSBEPALINGSSYSTEMEN INDOOR RADIOPROPAGATIE LOCATIE AFHANKELIJKE DIENSTEN -," PP. 1–13, 2012.
- [7] P. BOLLIGER, "REDPIN - ADAPTIVE , ZERO-CONFIGURATION INDOOR LOCALIZATION THROUGH USER COLLABORATION."
- [8] A. FARSHAD, J. LI, M. K. MARINA, AND F. J. GARCIA, "A MICROSCOPIC LOOK AT WIFI FINGERPRINTING FOR INDOOR MOBILE PHONE LOCALIZATION IN DIVERSE ENVIRONMENTS," NO. OCTOBER, PP. 28–31, 2013.
- [9] B. LI, J. SALTER, A. DEMPSTER, AND C. RIZOS, "INDOOR POSITIONING TECHNIQUES BASED ON WIRELESS LAN," *LAN, FIRST IEEE INT. ...*, 2006.

## 2 ONLINE BRONNEN

---

- [10] Igoing. (2015). Is there an interest on indoor navigation? [Online] <http://www.igoing.eu/is-there-an-interest-on-indoor-navigation-2>
- [11] BeSpoon. (2012). Two Way Ranging. [Online] <http://bespoon.com/two-way-ranging>.
- [12] Poole, I. (2015). ANTENNAS AND PROPAGATION. [Online] <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/path-loss/free-space-formula-equation.php>

- [13] Circuit Cellar Staff, (19 maart 2014). Triangulation, Trilateration, or Multilateration. [Online] <http://circuitcellar.com/ee-tips/triangulation-trilateration-or-multilateration-ee-tip-125/>
- [14] Redpin. (2008). What is Redpin. [Online] <http://redpin.org/>
- [15] The Shape of Data. (7 mei 2013). K-Nearest Neighbors. [Online] <https://shapeofdata.wordpress.com/2013/05/07/k-nearest-neighbors/>
- [16] The Shape of Data. (14 mei 2013). Linear Separation and Support Vector Machines. [Online] <https://shapeofdata.wordpress.com/2013/05/14/linear-separation-and-support-vector-machines/>
- [17] Wikipedia. (17 augustus 2015). k-nearest neighbors algorithm. [Online] [https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest\\_neighbors\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm)
- [18] C.-C. Chang and C.-J. Lin. (november 2014). LIBSVM -- A Library for Support Vector Machines. [Online] <https://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>
- [19] Maple, S. (30 Julie 2013). The Curious Coder's Java Web Frameworks Comparison: Spring MVC, Grails, Vaadin, GWT, Wicket, Play, Struts and JSF. [Online] <http://zereturnaround.com/rebellabs/the-curious-coders-java-web-frameworks-comparison-spring-mvc-grails-vaadin-gwt-wicket-play-struts-and-jsf/>
- [20] Play. (2015). The High Velocity Web Framework For Java and Scala. [Online] <https://www.playframework.com/>
- [21] Juniper. (15 oktober 2015). Understanding the Network Terms SSID, BSSID, and ESSID. [Online] [http://www.juniper.net/documentation/en\\_US/network-director1.5/topics/concept/wireless-ssid-bssid-ssid.html](http://www.juniper.net/documentation/en_US/network-director1.5/topics/concept/wireless-ssid-bssid-ssid.html)

### 3 LEZINGEN

---

- [22] Flanders Make. Future Indoor Localization and Tracking Solutions. Leuven 3 april 2015.

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Patient positioning system**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT**

Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Struys, Davy**

Datum: **21/08/2015**