

Location Based Services

Een algemeen model voor de keuze tussen
locatiebepalingstechnieken

Joost Koppers

Radboud Universiteit Nijmegen
Partners in Professional Computing BV



Colofon

Document: Location Based Services,
Een algemeen model voor de keuze tussen locatiebepalingstechnieken

Naam: Joost Koppers

Studentnr: 9918892

E-mail: jkoppers@science.ru.nl

Onderwijs: Radboud Universiteit Nijmegen

Opleiding: Informatica

Afdeling: ITA, Informatica voor technische toepassingen

Begeleider: dr. Theo Schouten, dr. Ben Dankbaar

Bezoekadres: Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Postadres: Postbus 9010, 6500 GL Nijmegen

Stage: PPC BV

Begeleiders: drs. Jack van Poll, ing. Erik Jonkers BA

Bezoekadres: Javastraat 68, 6524 MG Nijmegen

Postadres: Postbus 1144, 6501 BC Nijmegen

Abstract

Location based information can present a solution for an increasing range of problem, but there are many positioning techniques available in the world. Which technique provides the best solution for a specific (location-based) problem? The number of positioning techniques is so large and diverse that it is impossible to research them all for a specific problem. This can lead to unnecessary investments in research and implementation of positioning techniques

The objective of this thesis was the development of a model that will assist in choosing a specific location technique. On the basis of a number of specific input factors the model will advise on the most suitable positioning technique(s). The input filters are features of the problem that could play a role in the decision, for example: accuracy, battery consumption or data rate. The model can be found as a webapplication at <http://www.positioningtechniques.eu/>.

Samenvatting

Locatiegebaseerde informatie kan een oplossing bieden voor een steeds groter bereik aan problemen, maar er zijn veel locatiebepalingstechnieken in de wereld. Welke techniek biedt de beste oplossing voor een specifiek (locatiebepaling) probleem? Het aantal locatiebepalingstechnieken is dermate groot en divers dat het onmogelijk is om deze allemaal te onderzoeken voor een specifiek probleem. Verkeerde keuzes kunnen leiden tot onnodige investeringen in onderzoek en implementatie van locatiebepalingstechnieken.

Het doel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een model, dat kan helpen bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Aan de hand van een aantal specifieke inputparameters zal het model adviseren welke techniek het meest geschikt is. De inputfilters zijn kenmerken die een rol kunnen spelen bij de keuze, zoals nauwkeurigheid, batterijverbruik of datasnelheid. Het model kan gevonden worden als een webapplicatie op <http://www.positioningtechniques.eu/>.

Woord vooraf

Vooraf wil ik allereerst mijn begeleiders bedanken voor de hulp en ondersteuning, die ik tijdens het schrijven van deze thesis, heb gekregen. Verder wil ik mijn collega's bedanken voor de nuttige discussies, die we hebben gevoerd over dit onderwerp, en input die ik van ze heb gekregen. Mijn werkgever Partners in Professional Computing BV wil ik bedanken voor de ondersteuning die ik de afgelopen jaren bij het afronden van mijn studie heb gehad. Ook de bedrijven, die input geleverd hebben voor dit onderzoek, wil ik bij dezen bedanken. En als laatste, maar zeker niet de minste, wil ik mijn ouders, familie, vriendin en vrienden bedanken voor alle steun en geduld die ik heb gekregen tijdens mijn studietijd.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
1.1	Context	10
1.1.1	<i>Openbare veiligheid</i>	10
1.1.2	<i>Volgsystemen</i>	11
1.1.3	<i>Locatiegebaseerde informatie diensten</i>	11
1.2	Gerelateerd werk	13
1.3	Relevantie	14
1.4	Probleemstelling	14
1.4.1	<i>Doelstelling</i>	14
1.4.2	<i>Onderzoeksvraag</i>	15
1.5	Opzet onderzoek	15
2	Location Based Services	18
2.1	Historie LBS	18
2.2	Definitie LBS	20
2.2.1	<i>Diensten</i>	21
2.2.2	<i>Systeem</i>	22
2.2.3	<i>Locatie</i>	28
2.3	Conclusie	32
3	Categorisering technieken	33
3.1	Indelingen	33
3.1.1	<i>Waar de locatiebepaling plaatsvindt</i>	33
3.1.2	<i>Sensor type</i>	34
3.1.3	<i>Draadloos netwerk</i>	35
3.1.4	<i>Context</i>	35
3.1.5	<i>Frequentiespectrum</i>	36
3.1.6	<i>Infrastructuur</i>	37
3.1.7	<i>Globaal</i>	37
3.1.8	<i>ISO/IEC 24730-1</i>	39
4	Locatiebepaling methodes	40
4.1	Dead reckoning	41
4.2	Proximity sensing / Cell ID	42
4.3	Angle of Arrival (AOA)	44
4.4	Time of Arrival (TOA)	45
4.5	Time Difference of Arrival (TDOA)	47
4.6	(Enhanced) Observed Time Difference ((E)-OTD)	48
4.7	Received Signal Strength (RSS)	49

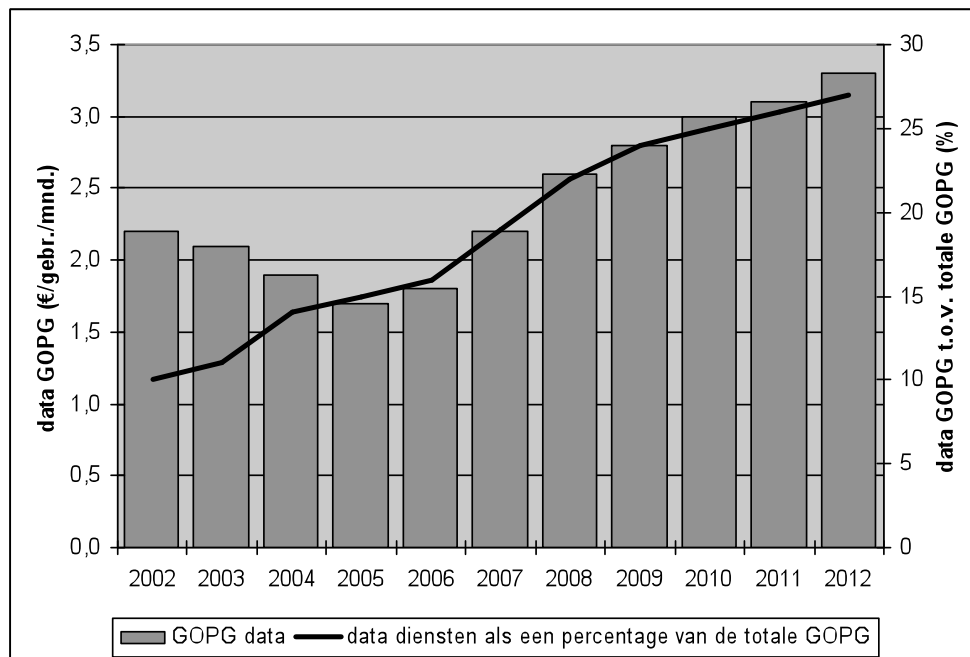
4.8	Kenmerken	50
5	Locatiebepalingstechnieken	52
5.1	Satelliet navigatie	52
5.1.1	GPS	55
5.1.2	GLONASS	56
5.1.3	Galileo	57
5.1.4	Beidou/Compass	58
5.2	Cellulair	59
5.3	Televisie	60
5.4	Infrarood	61
5.5	RFID	64
5.6	Ultrasound	67
5.7	Short-range Wireless	69
5.7.1	Wi-Fi (802.11x)	70
5.7.2	Bluetooth (802.15.1)	72
5.7.3	UWB (802.15.3)	75
5.7.4	ZigBee (802.15.4)	76
6	Kenmerken	79
6.1	Binnen/buiten	79
6.2	Nauwkeurigheid	80
6.3	Wachttijd (<i>latency</i>)	83
6.4	Bereik	84
6.5	Kosten	86
6.6	Schaal	91
6.7	Batterijverbruik	92
6.8	Datasnelheid	94
6.9	Frequentie	96
6.10	Privacy / encryptie	100
6.11	Storingen	106
7	Het model	107
7.1	Filters	107
7.1.1	Typen	107
7.1.2	Overzicht	109
7.2	Databasemodel	112
7.2.1	Opzoektabelen	112
7.2.2	Hoofdtabelen	113
7.2.3	Koppeltabelen	115
7.3	Scores	116
7.3.1	Individuele scores	116

7.3.2	<i>Totaalscore</i>	121
7.4	Webinterface	124
7.4.1	<i>Hoofdpagina model</i>	124
7.4.2	<i>Filters</i>	125
7.4.3	<i>Weging</i>	127
7.4.4	<i>Informatie over filters</i>	127
7.4.5	<i>Informatie scores</i>	129
7.4.6	<i>Waarschuwingen</i>	131
8	Conclusie en toekomstig werk	132
8.1	Conclusie	132
8.2	Toekomstig werk	133
9	Bibliografie	134

1 Inleiding

Sinds het begin van de jaren 90 is de interesse in Location Based Services (LBS) enorm toegenomen. Er zijn drie grote drijfveren te onderscheiden voor deze toename in onderzoek en implementatie van LBS technieken: de ontwikkeling van de 2^e generatie cellulaire netwerken, de opkomst van reguleringen en verordeningen ten behoeve van alarmnummers en hulpdiensten en de verschuiving van de context awareness van informatica en technische toepassingen.

De eerste drijfveer is de ontwikkeling van de 2^e generatie cellulaire netwerken (hier zal in paragraaf 2.2.2.2 dieper op ingegaan worden), in het bijzonder binnen GSM (Global System for Mobile communications) [1]. Tot eind jaren 90 werden de gemiddelde opbrengst per gebruiker (GOPG) voornamelijk behaald door opbrengsten vanuit belminuten. Door de snelle ontwikkeling binnen deze markt, werd duidelijk dat de mobiele telefonie markt snel het verzadigingspunt in klant penetratiegraad zou gaan bereiken. Om de GOPG omhoog te krijgen werd gezocht naar toepassing binnen deze cellulaire markt met toegevoegde waarde. Er vond een verschuiving plaats tussen GOPG vanuit belminuten naar GOPG voor dataverkeer (zie Figuur 1-1). Hierdoor zag de industrie al snel mogelijkheden voor commerciële toepassingen van locatiebepaling.



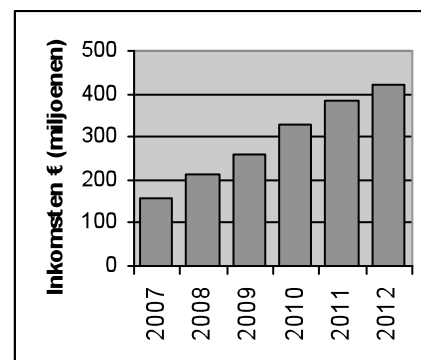
Figuur 1-1 GOPG data en data diensten als een percentage van de totale GOPG in centraal en oost Europa¹

¹ Bron: Analysys Research (2007) <http://www.analysismason.com/>

Naast deze commerciële interesse was er een andere belangrijke drijfveer voor de opkomst van LBS. Dit was de verordening van de Federal Communications Commission (FCC) in Amerika, genaamd *E911*². Deze moest ervoor zorgen dat hulpdiensten zo snel mogelijk op de plaats van het ongeluk konden komen, door middel van informatie over de locatie. Kort samengevat zegt deze verordening dat het voor alarmnummers mogelijk moet zijn om 67% van de oproepen binnen 100 meter en 95% van de oproepen binnen 300 meter te kunnen lokaliseren. Verder moet het telefoonnummer, de dichtstbijzijnde telefoonmast en de locatie van de dichtstbijzijnde alarmcentrale (Public Safety Answering Point (PSAP)) meegestuurd worden. De Europese tegenhanger is de EU-richtlijn E112. Het Europese project eCall³ bouwt voort op deze richtlijn. Technologieën ontwikkeld voor militaire- of hulpdiensten hebben vervolgens vaak allerlei ‘spin-offs’ voor consumenten applicaties. Daarom leidt ook het onderzoek voor deze hulpdiensten tot een grotere interesse in commerciële toepassingen van LBS.

De derde drijfveer van onderzoek naar Location Based Services, zowel voor commerciële- als hulpdiensten, hangt samen met de verschuiving van de zogeheten *context awareness* van informatica en technische toepassingen. Onder de *context van een dienst* wordt verstaan: alle omgevingskenmerken die ervoor kunnen zorgen dat de gebruiker een dienst als meer persoonlijk ervaart [2]. *Context awareness* kan dus gezien worden als: het vermogen van computerapparatuur om aspecten van de lokale omgeving, van een gebruiker en de apparatuur zelf, te herkennen, te interpreteren en erop te reageren [3]. In tegenstelling tot menselijke activiteiten, zijn computer activiteiten in de meeste gevallen context onafhankelijk. Dit verschil komt vanwege het feit dat computers oorspronkelijk ontworpen waren als *black boxes*. Mens-machine interactie vond voornamelijk plaats in kantooromgevingen met immobiele desktop computers. Tegenwoordig is vrijwel iedereen uitgerust met mobiele apparaten. Denk hierbij aan PDA’s, mobiele telefoons, laptops, et cetera. Tegelijkertijd is de mens mobieler geworden en wordt er vaker gewerkt in omgevingen uitgerust met sensoren of netwerken.

Deze drie drijfveren hebben ervoor gezorgd dat Location Based Services uitgegroeid zijn tot een van de snelst groeiende sectoren binnen de mobiele markt. Het aantal locatiegebaseerde diensten is de afgelopen vier jaar meer dan 100 maal toegenomen [3]. Volgens een onderzoek van Telephia⁴, een dienst van The Nielsen Company, genereerde LBS in het tweede kwartaal van 2007 meer dan de helft van alle mobiele applicatie inkomsten in de Verenigde Staten. Berg Insight⁵ voorspelt dat de inkomsten van LBS in Europa in 2012 gestegen zullen zijn naar € 412 miljoen⁶, zie Figuur 1-2.



Figuur 1-2 Opbrengsten LBS Europa

² <http://www.fcc.gov/pshs/services/911-services/>

³ <http://www.112sos.nl/algemene-onderdelen/112-thema%27s/ecall>

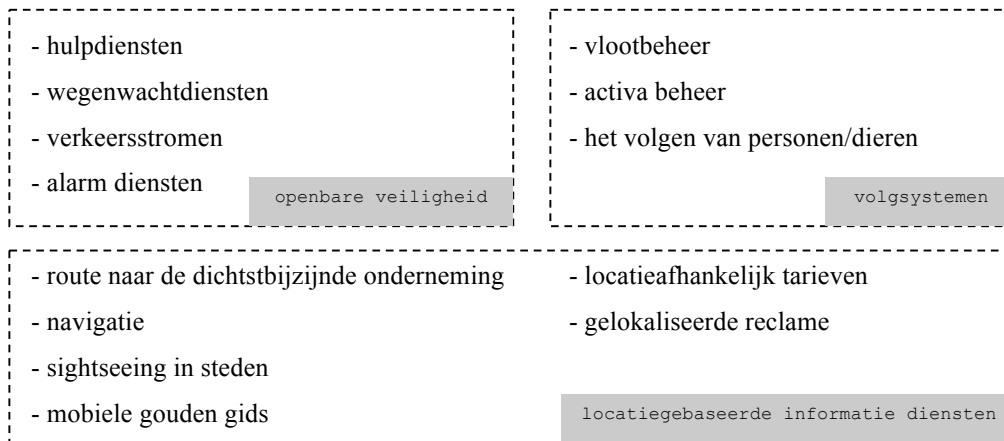
⁴ Persbericht Q207, 10 oktober 2007: http://www.telephia.com/html/LBS_PressRelease_Q207.html

⁵ <http://www.berginsight.com>

⁶ <http://social.telematicsupdate.com/content/positive-trend-mobile-lbs-europe>

1.1 Context

Wat er in dit onderzoek precies bedoeld wordt met Location Based Services zal in hoofdstuk 2 duidelijk gemaakt worden, maar het is duidelijk dat de wereld van locatiebepaling groot en divers is. Om een beeld te geven van deze diversiteit onderscheiden Tryfona *et al.* [4] een aantal vormen van traditionele LBS typen. Ook P.M. Adams *et al.* [5] categoriseren LBS naar een aantal verschillende typen. Gecombineerd kun je tot het volgende globale overzicht komen:



Om een beter beeld te krijgen van de wereld van Location Based Services zullen nu een aantal van deze typen kort besproken worden. Daartoe groeperen we de bovenstaande lijst tot een drietal (hoofd)categorieën: openbare veiligheid, volgsystemen en locatiegebaseerde informatie diensten.

Deze onderverdeling kan ook gezien worden vanuit een commercieel oogpunt. De categorie *openbare veiligheid* heet geen commerciële doeleinden. Er kan gediscussieerd worden over commerciële toepassingen voor wegenwachtdiensten. Snellere service zorgt voor betere dienstverlening, wat weer tot meer klanten kan leiden. Maar in deze onderverdeling wordt uitgegaan van de bijdrage van locatie informatie voor wegenwachtdiensten in het kader van veiligheid. Snellere service zorgt voor een snellere afhandeling bij ongelukken wat gunstig is voor de verkeersveiligheid. Bij de categorie *volgsystemen* heeft locatie informatie een indirecte commerciële waarde. Bijvoorbeeld het volgen van goederen door een transportbedrijf kan zorgen voor een beter overzicht voor de managers. Dit zorgt voor betere bedrijfsprocessen waardoor het bedrijf in het geheel beter kan gaan presteren. Bij *locatiegebaseerde informatie diensten* gaat het om puur commerciële toepassingen. Het gaat om het verkopen van producten en diensten die gebruik maken van locatiegebaseerde informatie of deze informatie leveren aan gebruikers.

1.1.1 Openbare veiligheid

Zoals al aangegeven in de inleiding van dit hoofdstuk is een van de drie drijfveren van LBS de E911 verordening. Het moet voor hulpdiensten mogelijk zijn om aan de hand van locatie informatie sneller op de plek van het ongeval te zijn. Hetzelfde kan gelden voor wegenwachtdiensten. Ook deze dienst kan er baad bij hebben om locatie informatie meegestuurd te krijgen. Ook bij deze dienst zou de dienstverlening

dan verbeterd kunnen worden. Het monitoren van verkeersstromen kan eigenlijk ook in de categorie *volgsystemen* geplaatst worden. Maar deze dienst kan ook veel bijdragen aan de openbare veiligheid. Hierbij moet niet alleen gedacht worden aan doorstroming en files op de snelwegen. Ook het monitoren van stromen mensen op bijvoorbeeld evenementen valt onder dit type LBS. Het gaat hierbij dus niet om het volgen van individuen (zoals bij het punt ‘het volgen van personen/dieren’), maar om het monitoren van de stroom in zijn geheel. Een voorbeeld hiervan is de Nijmeegse vierdaagse. De marsleiding wil continu in de gaten kunnen houden waar de stroom lopers zich bevinden. Dit is voor de veiligheid of om bijvoorbeeld snel extra mensen naar blarenposten te kunnen sturen.

Het kan nodig zijn om informatie over de locatie te verkrijgen of te verschaffen. Deze punten zijn duidelijke voorbeeld van het *verkrijgen* van locatie-informatie om de openbare veiligheid te waarborgen. Binnen deze categorie zijn er ook voorbeelden te bedenken van het *verschaffen* van locatie-informatie. Hierbij kan gedacht worden aan speciale alarm diensten. Abonnees op een dergelijke dienst kunnen informatie ontvangen gebaseerd op hun geografische locatie. Enkele voorbeelden van zulke diensten zijn: lawinemeldingen, overstromingsgevaar of ongevallen die de doorstroming verhinderen. Ook zijn er systemen in omloop die bij diefstal locatie-informatie over het gestolen waar verzenden naar de politie of beveiligingsbeambten. Op die manier kunnen de criminelen sneller opgepakt worden.

1.1.2 Volgsystemen

Binnen deze categorie gaat het voornamelijk om het *verkrijgen* van locatie informatie. Een van de grootste industrieën binnen de commerciële toepassingen van LBS, is vloot- en activa beheer. In de vervoersindustrie is het voor managers van belang goed in de gaten te kunnen houden waar hun producten of voertuigen zich op dat moment bevinden. Ook voor consumenten worden dergelijke diensten aangeboden. Een voorbeeld is de Track & Trace dienst van TNT⁷. Via deze dienst kunnen consumenten de locatie van hun bestellingen bijhouden.

Ook steeds meer toepassingen worden ontwikkeld voor het volgen van personen en dieren. Zo heeft Legoland[®] in 2004 een systeem in gebruik genomen die het voor ouders mogelijk maakt om de locatie van hun kinderen in het park te volgen⁸. Veel ontwikkelen in deze categorie vindt ook plaats binnen de zorgsector. Er kunnen bijvoorbeeld, aan de hand van locatie informatie, verloren voorwerpen, zoals bedden, teruggevonden worden. Ook kunnen patiënten op een gesloten afdeling in de gaten gehouden worden, zodat ze de afdeling niet ongezien kunnen verlaten.

1.1.3 Locatiegebaseerde informatie diensten

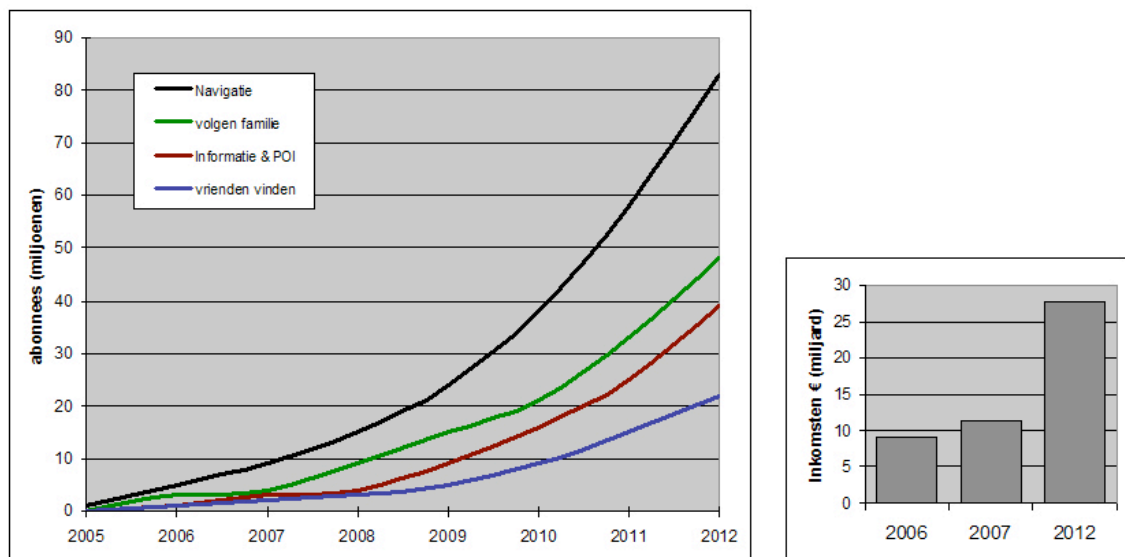
De omvangrijkste categorie is die van de locatiegebaseerde informatie diensten. Deze diensten maken het voor abonnees mogelijk om toegang te krijgen tot informatie die aan de hand van de locatie van de gebruiker gefilterd en op maat gemaakt is. Abonnees kunnen deze dienst op aanvraag starten, of de

⁷ <https://securepostplaza.tntpost.nl/tracktrace/>

⁸ Persbericht, Billund Denmark, 26 april 2004: <http://www.star-ventures.com/news/2004/20040426.pdf>

dienst wordt automatisch gestart als aan specifieke *trigger* condities voldaan wordt. Deze worden ook wel *push*- en *pull* diensten genoemd. Hier zal in paragraaf 2.2.1 dieper op ingegaan worden.

Binnen deze categorie neemt de navigatie industrie een prominente plaats in. Een steeds groter aantal nieuwe auto's wordt uitgerust met een navigatiepakket. Ook de verkoop van losse navigatiesystemen is de afgelopen jaren enorm toegenomen. Daarom wordt er een grote toename aan inkomsten vanuit navigatie verwacht voor de komende jaren, zie Figuur 1-3.



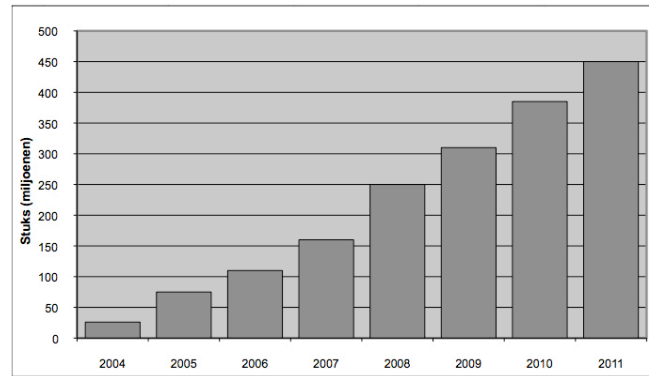
Figuur 1-3 LBS abonnees per applicatie⁹ & marktaandeel navigatie wereldwijd¹⁰

In Figuur 1-3 is ook duidelijk te zien dat er ook bij andere toepassingen binnen de locatiegebaseerde informatie diensten een toename te verwachten valt. Steeds meer applicaties worden ontwikkeld om consumenten van contextgebaseerde informatie te voorzien. Denk hierbij aan het vinden van de dichtstbijzijnde pinautomaten of restaurants. Of het opvragen van informatie over een monument waar de consument op dat moment in de buurt is.

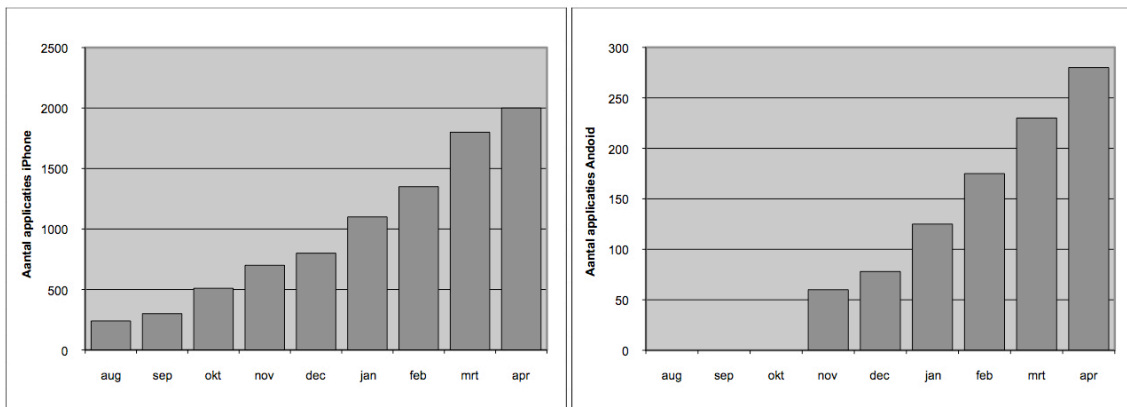
Zoals in het begin van deze paragraaf is aangegeven hangt de groei van LBS sterk samen met de groei van de mobiele telefoon markt. Binnen deze markt zal het aantal mobiele telefoons, uitgerust met GPS, ook groeien (Figuur 1-4). Om de groei binnen de categorie *locatiegebaseerde informatie diensten* te illustreren kan bijvoorbeeld gekeken worden naar het aantal locatiegebaseerde applicaties op twee van de belangrijkste bronnen van mobiele applicaties: Apples *App Store* en Googles *marketplace* (Figuur 1-5).

⁹ Bron: ABI research, www.abiresearch.com

¹⁰ BCC Research: Report SAS011B, Andrew McWilliams, Oktober 2007



Figuur 1-4 Aantal mobiele telefoons uitgerust met GPS, wereldwijd¹¹



Figuur 1-5 Aantal locatiegebaseerde applicaties in iPhone App Store en Android Marketplace 2008/2009¹²

1.2 Gerelateerd werk

Zoals aangegeven in de inleiding van dit hoofdstuk leidt de toename van interesse in Location Based Services ook tot een toename in onderzoek naar dit onderwerp. Deze onderzoeken kunnen in twee grote groepen ingedeeld worden. In de eerste groep wordt er voornamelijk onderzoek gedaan naar LBS in het algemeen [4, 5, 6, 7, 17]. Ook wordt er onderzocht hoe deze diensten zich zullen gaan ontwikkelen in de komende jaren, met name door de eerder genoemde verschuiving van de *context awareness* van informatica en technische toepassingen [3, 8, 9].

De tweede groep houdt zich bezig met onderzoek naar (specifieke) technische locatiebepalingstechnieken. Binnen deze groep kan weer een onderscheid gemaakt worden tussen onderzoek naar locatiebepaling binnenshuis en buitenshuis. Technieken voor locatiebepaling buitenshuis concentreren zich voornamelijk op GPS en cellulaire locatiebepaling. Aangezien deze technieken niet of nauwelijks binnenshuis werken, vindt er veel onderzoek plaats naar oplossingen voor locatiebepaling binnenshuis. Enkele voorbeelden hiervan zijn te vinden in [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

¹¹ Bron: iSuppli, GPS in Mobile Devices: Competing With or Complementing Personal Navigation Devices?

¹² Bron: Skyhook wireless, <http://www.skyhookwireless.com/locationapps/>

1.3 Relevantie

In de vorige paragrafen is duidelijk geworden dat de wereld van Location Based Services groot en groeiende is. Bij een steeds groter scala aan problemen kan locatiebepaling dus een oplossing bieden. Verder zijn er zeer veel methoden om aan locatiebepaling te doen. Enkele (bekende) voorbeelden zijn GPS, cellulair, bluetooth en RFID. Maar welke techniek biedt nu de beste oplossing voor een specifiek (locatiebepalings-) probleem? Het aantal locatiebepalingstechnieken is zo groot en divers dat het niet mogelijk is om deze allemaal te onderzoeken voor een bepaald probleem. De keuze voor een specifieke techniek gebeurt nu meestal arbitrair. Men heeft over een techniek gehoord, men is op de een of andere manier tegen een techniek aangelopen, et cetera. Dit wil dus zeker niet zeggen dat de gekozen techniek ook de beste techniek is voor het probleem. Ook kunnen misschien zeer geschikte technieken over het hoofd worden gezien. Zo worden er dus, ten onrechte, investeringen gedaan aan onderzoek en/of implementatie van locatiebepalingstechnieken.

Zoals aangegeven in paragraaf 1.2 vindt er uitgebreid onderzoek plaats naar specifieke locatiebepalingstechnieken. Er wordt bijvoorbeeld gekeken naar een (binnenshuis) oplossing van een locatiebepalingsprobleem met bluetooth [11] of Wi-Fi [16]. Er vindt alleen geen onderzoek plaats naar een overkoepelend model. Dit terwijl het in de praktijk van belang is om te weten welke technieken het meest geschikt zijn voor een specifiek probleem.

1.4 Probleemstelling

Zoals hierboven aangegeven is het van belang een overkoepelend model te ontwikkelen, dat kan helpen bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Een organisatie zit met een probleem, waar locatiebepaling nodig is, en wil graag weten welke techniek hij het best kan gebruiken voor zijn probleem. In dit onderzoek is ervoor gekozen om dit model in de vorm van matrices op te leveren. Deze matrices zullen uiteindelijk via een webinterface bevroegbaar zijn (hoofdstuk 7).

1.4.1 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is het ontwikkelen van een model, dat zal helpen bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Dit model zal aan de hand van een aantal specifieke inputfactoren het probleem in kaart proberen te brengen (dat wil zeggen: de kenmerken van het probleem die een rol kunnen spelen bij de keuze voor een locatiebepalingstechniek). Daarna zal het systeem met een advies komen van één of meer locatiebepalingstechnieken die het meest geschikt zijn. Hierbij zal de redenering om tot dit advies te komen ook aangegeven worden. Op deze manier kan de gebruiker alsnog naar eigen inzicht een keuze kunnen maken. Zo zou het kunnen zijn dat ultrasound een betere score behaalt dan Wi-Fi bij een specifiek probleem, omdat ultrasound een hogere nauwkeurigheid heeft. Een gebruiker zou dan alsnog kunnen kiezen voor Wi-Fi, omdat hij niet wil investeren in ultrasound en de mindere nauwkeurigheid daar voor over heeft. Nogmaals gezegd: het model zal helpen bij de keuze voor een locatiebepalingstechniek. Het zal nooit de keuze zelf kunnen maken, aangezien bepaalde bedrijfs- of persoonsbeslissingen niet gemodelleerd kunnen worden.

1.4.2 Onderzoeksvraag

Gegeven een specifiek probleem zal het model, aan hand van een aantal inputfactoren, aan moeten geven welke locatiebepalingstechniek het meest geschikt is. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

‘Gegeven een specifiek probleem, waar locatiebepaling een rol speelt, in welke mate brengen verschillende locatiebepalingstechnieken daar een oplossing voor?’

1.5 Opzet onderzoek

Om dit onderzoek in context te plaatsen en een aantal begrippen te verduidelijken zal in hoofdstuk 2 een globaal onderzoek plaatsvinden naar Location Based Services. Zoals aangegeven zal de onderzoeksvraag aan de hand van matrices beantwoord gaan worden. Om tot deze matrices, en de vulling ervan, te komen zullen er een aantal subvragen behandeld worden.

1) *“Welke locatiebepalingstechnieken zijn er?”*

Het is van belang om in kaart te brengen welke technieken voor plaatsbepaling er zijn. Deze lijst zal de belangrijkste locatiebepalingstechnieken moeten bevatten om het model zo volledig mogelijk te maken. Het antwoord op de vraag hangt samen met de categorie-indeling uit subvraag 2). Aan de hand van het onderzoek naar de categorie-indeling zal duidelijk worden welke technieken onderzocht moeten worden om het model volledig te krijgen. Dit deel van het onderzoek zal in hoofdstuk 3 en 5 plaatsvinden.

2) *“Hoe kunnen de locatiebepalingstechnieken gecategoriseerd worden?”*

In hoofdstuk 3 zal een globaal onderzoek naar categorie-indelingen van locatiebepalingstechnieken plaatsvinden. Zoals gezegd zal aan de hand van dit onderzoek duidelijk worden welke technieken onderzocht moeten worden. Verder zorgt deze categorie-indeling voor de basis van de matrix. Dit zal in hoofdstuk 7 aan bod komen.

Subvragen 1) en 2) zullen dus een lijst van locatiebepalingstechnieken opleveren, die vervolgens gecategoriseerd kunnen worden.

3) *“Wat zijn de kenmerken van locatiebepaling en locatiebepalingstechnieken, die een rol kunnen spelen bij de keuze voor een specifieke techniek?”*

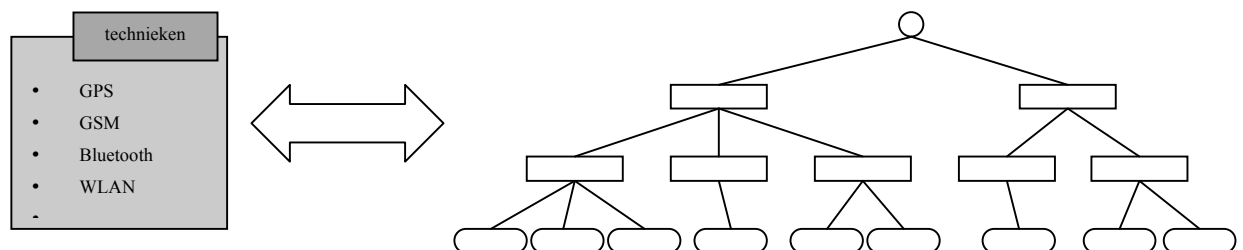
Van de technieken uit subvraag 1) zal onderzocht moeten worden welke kenmerken een rol spelen bij locatiebepaling. Hierbij kan gedacht worden aan nauwkeurigheid, snelheid enzovoorts. Deze kenmerken hangen enerzijds af van de technische specificaties van een locatiebepalingstechniek. Anderzijds hangen deze af van bevindingen uit het bedrijfsleven. Dit onderzoek zal uitgevoerd worden in hoofdstuk 6.

4) *“Hoe ‘scoren’ de locatiebepalingstechnieken op deze kenmerken?”*

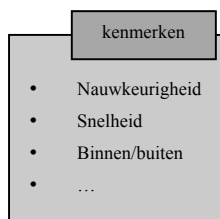
Om in het model tot een goed advies te kunnen komen, moeten de kenmerken uit subvraag 3) voor iedere locatiebepalingstechniek een waarde krijgen. Deze ‘scores’ kunnen verschillende waarden hebben. Zo kan bijvoorbeeld de factor ‘nauwkeurigheid’ weergegeven worden in afstandsintervallen terwijl bijvoorbeeld de factor ‘encryptie’ alleen de waarden ‘ja/nee’ kan bevatten. Dit deel van het onderzoek zal in hoofdstuk 6 en 7 plaatsvinden.

Kort en schematisch samengevat zal het onderzoek de volgende deelvragen beantwoorden:

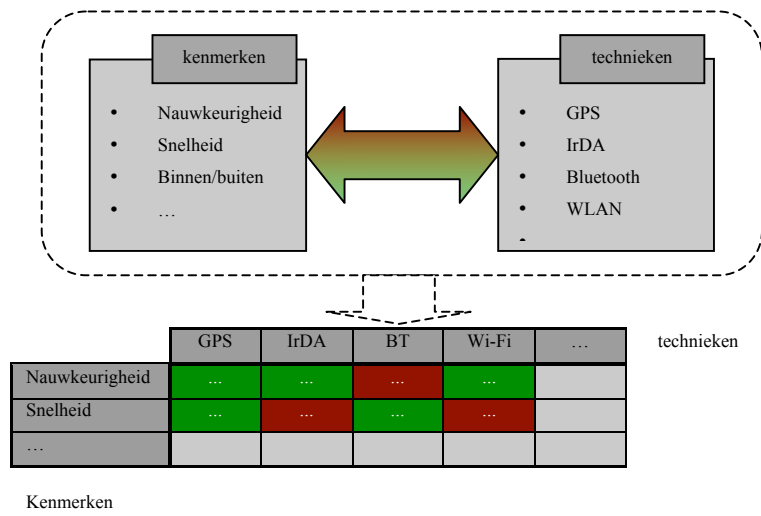
- *“Welke locatiebepalingstechnieken zijn er?”*
- *“Hoe kunnen de locatiebepalingstechnieken gecategoriseerd worden?”*



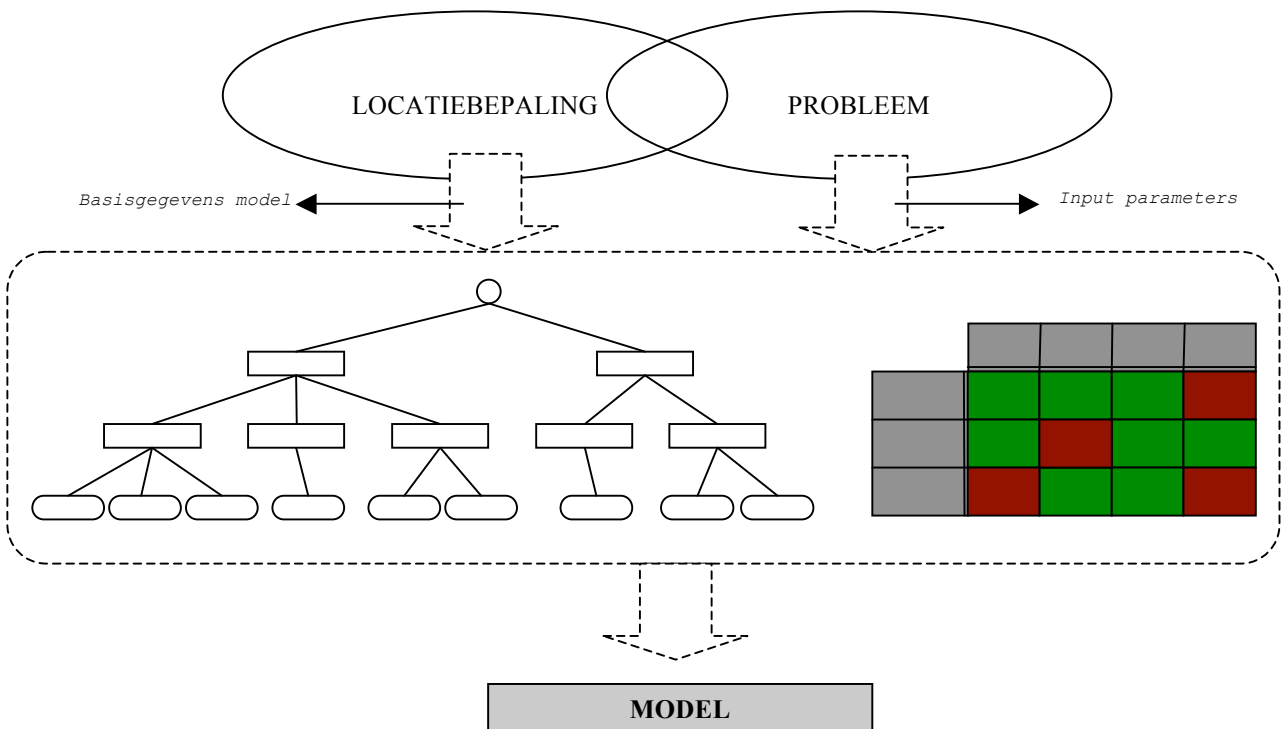
- *“Wat zijn de kenmerken van locatiebepaling en locatiebepalingstechnieken, die een rol kunnen spelen bij de keuze voor een specifieke techniek?”*



- “Hoe ‘scoren’ de locatiebepalingstechnieken op deze kenmerken?”



In hoofdstuk 7 zullen de antwoorden op de bovenstaande vragen gekoppeld worden tot het overkoepelende model:



2 Location Based Services

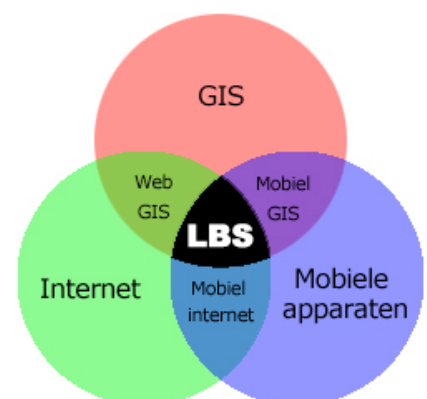
Zoals aangegeven, kan het in veel probleemsituaties van belang zijn informatie te hebben over de locatie van objecten die deelnemen aan die situatie. Bij objecten kun gedacht worden aan personen, voertuigen, enzovoorts. Deze omschrijving bevat nog teveel onduidelijkheden. Er rijzen meteen vragen op als ‘Wat wordt er verstaan onder locatie?’ of ‘Wat wordt er bedoeld met objecten’.

In dit onderzoek zal dieper ingegaan worden op de systemen die deze informatie kunnen leveren. Allereerst zal er duidelijk gemaakt moeten worden wat onder deze systemen verstaan wordt. Dat zal in dit hoofdstuk gebeuren. De term die in het algemeen gebruikt wordt voor dit soort systemen is *Location Based Services* systemen of kortweg *LBS* systemen. Het gaat dus om systemen die diensten aanbieden die betrekking hebben op locatie. Aan de hand van de onderstreepte woorden in de vorige zin, zal ik in dit hoofdstuk duidelijkheid verschaffen over wat in deze scriptie onder LBS systemen verstaan wordt. Het hoofdstuk zal eerst beginnen met een algemene inleiding over de historie van LBS.

2.1 Historie LBS

Systemen die diensten aanbieden voor een bepaalde locatie bestaan al honderden jaren. Voor de opkomst van de mobiele telefonie en internet werd er al aan positie afhankelijke informatievoorziening gedaan. Massapubliek kon plaatselijk geïnformeerd worden, maar dit was meestal eenrichtingsverkeer. Denk hierbij bijvoorbeeld aan posters van een concert of verkeersinformatie op matrixborden boven de snelweg. Op deze manier wordt er een dienst geleverd (het verschaffen van informatie aan de massa), afhankelijk van de positie van die massa (alleen personen die op een bepaalde snelweg rijden, krijgen informatie over die snelweg). Een dergelijk matrixbord is dus een op locatie gebaseerd systeem.

Maar met de opkomst van de mobiele telefonie en internet veranderde de aard van deze informatievoorziening. De mogelijkheid van tweerichtingsverkeer en interactie was ineens mogelijk. Gebruikers kunnen te allen tijde, waar ze ook zijn, het internet raadplegen en zo benodigde informatie raadplegen. Gebruikers kunnen ook meer gegevens aan de informatieaanbieder doorsturen, zoals specifieke wensen, waardoor de informatie meer op de persoon gericht is. *Location Based Services* is op dit moment de term die deze interactie omschrijft. LBS ligt op de kruising van drie verschillende technieken: *GIS*, *mobiele apparaten* en het *Internet* (Figuur 2-1) [17].

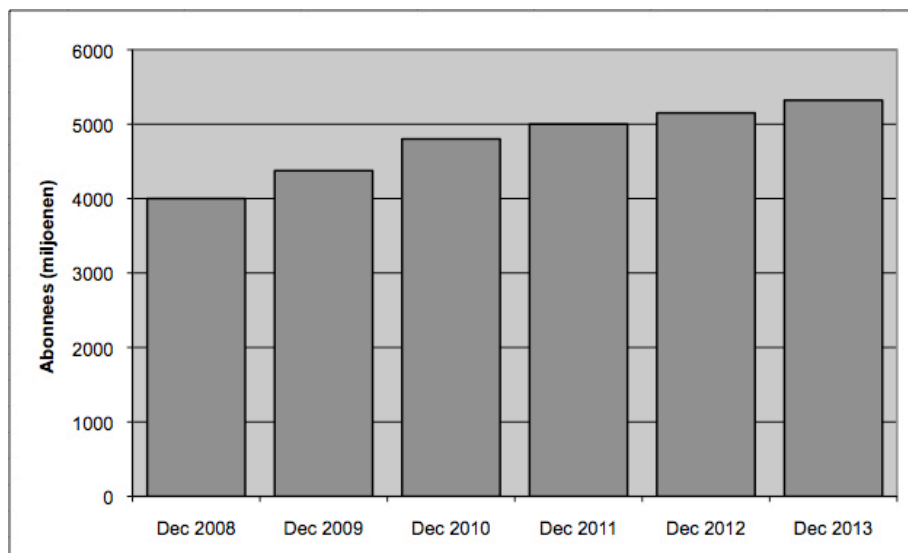


Figuur 2-1 LBS op grensvlak tussen technieken

Het Internet is vandaag de dag het meest gebruikte communicatiemiddel ooit. Volgens Internet World Stats¹³ gebruiken halverwege 2008 bijna 1,5 miljard mensen het internet. In Nederlands gebruiken 15 miljoen mensen het internet, dat is meer dan 90% van de bevolking.

Waar internet voorheen alleen via Pc's geraadpleegd werd en men dus gebonden was aan locatie, is het met de opkomst van mobiele apparaten mogelijk om op elk tijdstip vanaf iedere locatie toegang te krijgen tot de informatie op het internet.

Net zoals bij het internet is ook het gebruik van *mobiele apparaten* een enorme toegenomen. Als men alleen al kijkt naar het gebruik van GSM, het globale systeem van mobiele communicatie, zie je daar een enorme groei in de cijfers. Eind 2008 is de grens van 4 miljard gebruikers van het GSM netwerk bereikt, volgens een onderzoek van 3G Americas¹⁴. Verwacht wordt dat de grens van 5 miljard gebruikers in 2011 bereikt zal worden (Figuur 2-2).



Figuur 2-2 Voorspelling GSM gebruik 2008-2013 ¹⁴

Niet alleen het aantal abonnees neemt toe, ook de techniek verbetert met de dag. Tegenwoordig zijn mobiele apparaten (of *handhelds*) en internet onlosmakelijk met elkaar verbonden. Denk hierbij aan smartphones waarmee je toegang hebt tot het world wide web, maar ook aan bijvoorbeeld navigatiesystemen die realtime file-informatie downloaden.

¹³ Internet World Stats, <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>: Internetgebruik informatie komt uit data gepubliceerd door Nielsen//NetRatings en *the International Telecommunications Union*

¹⁴ 3G Americas, Mobile Connections Reach 4 Billion Worldwide, 22 december 2008, <http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay&pressreleaseid=2077>, gebaseerd op gegevens van het World Cellular Information Service (WCIS)

De laatste techniek die LBS overlapt is *GIS*. *GIS* staat voor *Geographic Information Systems*. Een Geografisch Informatiesysteem is een informatiesysteem waarmee (ruimtelijke) gegevens/informatie over geografische objecten kunnen worden opgeslagen, beheert, bewerkt, geanalyseerd en/of gepresenteerd. Een professioneel vakgebied dat gebruikt maakt van *GIS* is bijvoorbeeld planologie; een vakgebied dat zich bezighoudt met de (zo effectief mogelijke) in- en verdeling van de beschikbare ruimte in een land, stad, dorp, gewest of provincie. Voorbeelden van *GIS* - toepassingen voor consumenten zijn de routeplanners: op basis van de ligging van de postcode wordt automatisch de kortste of snelste route tussen twee locaties gezocht. Ook weerkaarten zijn een bekend voorbeeld van het gebruik van geografische informatie. De overlapping tussen *GIS* en LBS is duidelijk: het geven van informatie over de locatie. Het verschil zit hem meer in toepassing ervan. Geografische informatiesystemen worden meer in de professionele sector gebruikt, door ervaren gebruikers, terwijl LBS systemen ontwikkeld zijn voor lichte systemen (handhelds) en niet ervaren gebruikers.

Zoals in paragraaf 1.1 is aangegeven gaat LBS om systemen die diensten aanbieden die betrekking hebben op locatie. Door het positioneren van Location Based Services op het grensvlak van de hierboven beschreven technieken door Steiniger *et al.* [17] wordt deze interpretatie al wat duidelijker. LBS ligt op het grensvlak van internet (informatie), Geografische Informatiesystemen (locatie) en mobiele apparaten (systemen).

2.2 Definitie LBS

In de vorige paragraaf zijn LBS gepositioneerd ten opzichte van de sleutelwoorden *systeem*, *informatie* en *locatie*. In deze paragraaf zal de exacte definitie van Location Based Services onder de loep genomen worden.

In de literatuur is er geen sprake van een eenduidige begripsafbakening. Ook wordt er zelfs een diversiteit aan terminologie gehanteerd. John Steenbruggen van Rijkswaterstaat vat het als volgt samen [18]: “*Eigenlijk is LBS alleen maar een kapstok om ideeën aan op te hangen. Het vakgebied is ontzettend in beweging en er zijn veel technologische bouwstenen waar nu eens wat mee gedaan moet gaan worden. Maar sec gedefinieerd, houdt LBS voor mij in dat je altijd en overal informatie op maat, dus naar de wens van een consument, kan aanbieden.*”

In het artikel van J. Steenbruggen *et al.* [19] worden LBS dan ook geïntroduceerd als een paraplueterm. Verschillende termen en begrippen worden overkoepeld door de term LBS. Deze verscheidenheid aan definities en terminologie heeft te maken met het feit dat LBS een relatief jonge informatietechnologie is waar vanuit meerdere disciplines aan gewerkt wordt. Iedere discipline zal dan ook de term vanuit zijn eigen gezichtpunt interpreteren. In deze scriptie zullen Location Based Services dan ook gedefinieerd worden vanuit het gezichtpunt van het onderzoek. Er wordt daarbij, zoals aangegeven in paragraaf 2.1, uitgegaan van het model uit Figuur 2-1 en gekeken naar de drie speerpunten: *dienst*, *systeem* en *locatie*.

2.2.1 Diensten

LBS is een paraplueterm voor verschillende termen en begrippen en daarom kan de dienst die een LBS moet leveren ook zo breed mogelijk opgevat worden. Stel dat een gebruiker wil weten of er een Italiaans restaurant bij hem in de buurt is, dan zou een LBS systeem deze informatie kunnen leveren aan de hand van de positie van de gebruiker. Het leveren van deze informatie is dan de dienst die het LBS systeem levert. Deze dienst wordt dus geleverd op het verzoek van de gebruiker.

Het zou ook zo kunnen zijn dat een gebruiker door de stad loopt en wanneer hij in de buurt van een bepaalde winkel komt hij ineens informatie krijgt over de aanbiedingen die deze winkel heeft. Het geven van die informatie is dan de dienst.

De dienst, die het tweede geval beschrijft, heeft zich vooral eind jaren negentig ontwikkeld. Deze ontwikkelingen kwamen voornamelijk tot stand door de technische mogelijkheden, niet door de behoefte van de gebruikers. Vaak werd deze dienst ook opgevat als ongewenste reclame of *spamming*. In 2003 werd in de Verenigde Staten de *CAN-SPAM Act*¹⁵ aangenomen. Deze wet maakte het illegaal om berichten naar de eindgebruiker te sturen, zonder dat deze hiervoor gekozen had. Vanuit een commercieel oogpunt vinden er toch een hoop ontwikkelingen plaats in de, als tweede, beschreven dienst. Grote organisaties zijn op zoek naar de mogelijkheden om deze commerciële toepassing van LBS zo veel mogelijk te benutten. Er wordt nu al gebruik van gemaakt; bijvoorbeeld bij het doorsturen van file-informatie naar een navigatieset in de auto, voor de wegen in de buurt van de positie van de gebruiker. De twee hierboven beschreven diensten worden ook wel omschreven als *pull* –en *push* informatiediensten. Het kan van belang kan zijn voor de keuze van een LBS of deze vorm alleen push, alleen pull of beide vormen van informatiedienst kan leveren. Daarom zullen allereerst deze twee vormen beschreven worden.

2.2.1.1 Pull informatiediensten

Met locatiegebonden *pull* diensten is een informatievrager in staat om overal, op ieder moment zelf als initiatiefnemer de gewenste informatie op te vragen en naar zich toe te halen. Dit is een vorm van LBS die ook wel wordt aangeduid met *Active Services*. De gebruiker moet namelijk actief een handeling verrichten om aan de gewenste informatie te komen.

2.2.1.2 Push informatiediensten

Locatiegebonden push diensten zijn zogenoemde *trigger* diensten, waarbij de trigger ervoor zorgt dat de informatievrager, zonder zelf het initiatief daartoe te nemen, informatie ontvangt op basis van zijn of haar positie en bepaalde eisen. De gebruikers dient dus wel aan te geven wat deze eisen zijn. Hij dient zich dus nadrukkelijk te abonneren op deze dienst.

De vrager heeft dus zelf invloed op welke informatie, hij of zij wil ontvangen. Om deze behoefte vast te stellen wordt dan extra informatie geregistreerd in een vraag- of gebruikersprofiel.

¹⁵ Wettekst 15 U.S.C. 7701, et seq., nr. 108-187, bekrachtigd door ondertekening door de President van de Verenigde Staten George W. Bush op 16 december 2003

Push diensten worden ook wel aangeduid met *Passive Services*. Daarbij worden vier typen triggers onderscheiden [19].

- **Object triggers:** gebruikers van een mobiel apparaat worden geattendeerd wanneer zij een vooraf gedefinieerde zone van een bepaald object betreden (binnen een bepaalde straal). Denk bijvoorbeeld aan een bezienswaardigheid in een stad voor de bezoekende toerist;
- **Event of condition triggers:** een automobilist wordt geïnformeerd over lokale verkeers- en reisinformatie zoals fileberichten;
- **Object temporal triggers:** hier wordt de dimensie tijd geïntroduceerd (bijvoorbeeld alleen van toepassing tussen 8 uur en 17 uur). Dit kan per object afzonderlijk worden ingesteld. Tevens kan de gebruiker een voorkeur opgeven op welke momenten van de dag deze optie is geactiveerd;
- **Affinity triggers:** Een gebruiker krijgt de mogelijkheid om de positie te bepalen van een andere gebruiker (of apparaat).

Zoals al aangegeven kan de dienst die door een LBS geleverd wordt, zeer ruim opgevat worden. Dit onderzoek zal zich dan ook beperken tot de volgende definitie van de dienst die een LBS levert:

DIENST

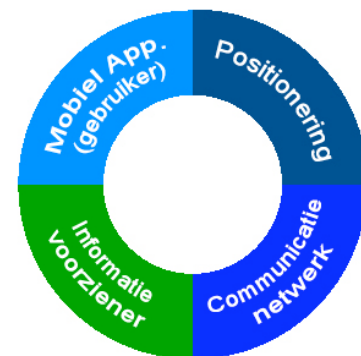
*Het geven van informatie over de **locatie** van een **systeem**.*

Dit kan zowel op een actieve (pull) als ene passieve (push) manier gebeuren. Het verschaffen van informatie over de *locatie* zal in paragraaf 2.2.3 behandeld worden. Het begrip *systeem* komt in de volgende paragraaf (2.2.2) aan bod.

2.2.2 Systeem

Om de term *systeem* duidelijker te krijgen zal eerst gekeken moeten worden naar de componenten van een LBS. Dit geheel kan natuurlijk ook als een systeem worden opgevat en daarom wordt deze paragraaf gebruikt om duidelijk aan te geven wat in dit onderzoek wordt verstaan onder het *systeem* waar informatie over gegeven moet worden (paragraaf 2.2.1).

Figuur 2-3 geeft een overzicht van de vier componenten waaruit een Location Based Service bestaat [17].



Figuur 2-3 Componenten LBS

Deze vier componenten zijn:

1) Het mobiele apparaat (de gebruiker)

Een hulpmiddel voor de gebruiker om de benodigde informatie te verkrijgen. Mogelijke apparaten zijn PDA's, mobiele telefoons, laptops, enzovoorts. Maar het kunnen ook apparaten zijn zoals een navigatieset in de auto of een apparaat in een vrachtwagen voor automatische tolheffing.

2) Positioneringcomponent

Om informatie te verkrijgen over de positie wordt deze component gebruikt. De locatie van de gebruiker kan bepaald worden door gebruik van het mobiele communicatienetwerk of door het globale positionering systeem (GPS). Andere mogelijkheden om positie te bepalen is via Wi-Fi, actieve tags (RFID) of radio bakens.

3) Communicatie netwerk

Dit is het mobiele netwerk dat de informatie van en naar de gebruiker overbrengt. Voorbeelden hiervan zijn Bluetooth, Infrarood of GPRS.

4) Data- en informatievoorzieners

De informatie die als dienst geleverd moet worden, moet ergens vandaan komen. Dat is de data- en informatievoorzieners. Hierbij kan gedacht worden aan geografische databases. Wanneer er als dienst informatie over bijvoorbeeld restaurants in de omgeving geleverd moet worden, kan de informatievoorzieners ook de Gouden Gids zijn.

In dit onderzoek zal weinig nadruk gelegd worden op punt 4. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2.1 is de enige dienst waar naar gekeken wordt, het leveren van informatie over de positie.

Informatievoorzieners als de Gouden Gids zijn dus niet van belang. Verder is het voor het onderzoek ook niet van belang waar de informatie precies vandaan komt, als het maar gevonden kan worden.

De blauwe delen in kunnen worden beschouwd als het systeem waar de informatie over geleverd moet worden. Het systeem wordt daarom gedefinieerd als:

SYSTEEM

- *een mobiel apparaat (de gebruiker) die via een positioneringcomponent over een communicatienetwerk informatie ophaalt.*

Om deze definitie te verduidelijken zal in de volgende paragrafen de begrippen *mobiel apparaat*, *communicatienetwerk* en *positioneringcomponent* verder uitgelegd worden.

2.2.2.1 Mobiel apparaat

Bij mobiel apparaat wordt in dit onderzoek in ieder geval uitgegaan van de zogenoemde *handhelds*. Het gaat om elektronische apparaten waarvan de afmetingen zodanig zijn dat het in de hand van de gebruiker past. Typische vormen van handhelds zijn de *Smartphone*, *Personal Digital Assistant (PDA)*, *Mobiele telefoon* of een *Personal Communicator*.

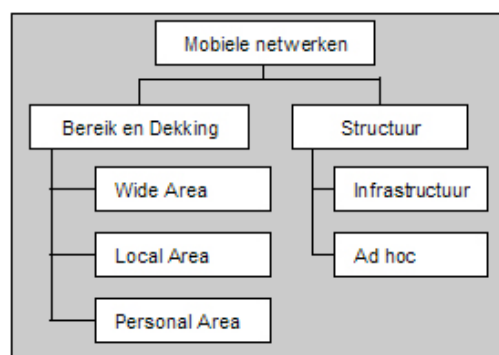
Het mobiele apparaat moet de mogelijkheid hebben om via een mobiel communicatienetwerk gegevens te verzenden die verkregen zijn via een positioneringcomponent (deze moeten dus aanwezig zijn of toegevoegd kunnen worden). Je kunt mobiele apparaten onderverdelen in twee groepen: *single purpose*- en *multi purpose* apparaten.

Single purpose apparaten zijn bedoeld om één specifieke taak uit te voeren. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld de iPod nano. Dit apparaat heeft als enige taak het mogelijk maken om naar muziek te luisteren. Het is bij een iPod nano (nog) niet mogelijk om deze zo uit te rusten dat hij via een communicatienetwerk gegevens van een positioneringcomponent uitzend. Daarom kan de iPod nano niet ondergebracht worden in de categorie *mobiele apparaten*; waar in dit onderzoek naar gerefereerd wordt. Een voorbeeld van een single purpose apparaat dat wel binnen de scope van mobiele apparaten valt is bijvoorbeeld een apparaat in een vrachtwagen voor automatische tolheffing.

Multi purpose apparaten maken veelal deel uit van het dagelijkse leven en zijn ook bedoeld voor meerdere functies. Voorbeelden hiervan zijn de handhelds die hierboven beschreven zijn.

2.2.2.2 Communicatienetwerk

Het mobiele netwerk binnen een LBS werkt twee kanten op. Dat wil zeggen: er is een netwerk nodig om de informatie over de positie uit een informatievoorzieners (bijvoorbeeld een geografische database) te halen, en er is een netwerk nodig om de informatie over te brengen naar de gebruiker. Verder is een mobiel netwerk onder te verdelen door middel van twee classificaties [17]: *bereik en dekking* en *de structuur van het netwerk* (Figuur 2-4).



Figuur 2-4 Classificatie Mobiele netwerken

De *structuur* van het netwerk kan van belang zijn voor het maken van beslissingen betreffende het communicatienetwerk. Je kunt daarbij onderscheid maken tussen (grote) infrastructures bestaande uit immobiele knopen, die voor deelnemers aan het netwerk toegankelijk zijn. Of het *ad hoc* netwerk, waarbij de deelnemers zelf het netwerk vormen. *Bereik en dekking* kan weer onderverdeeld worden in drie groepen:

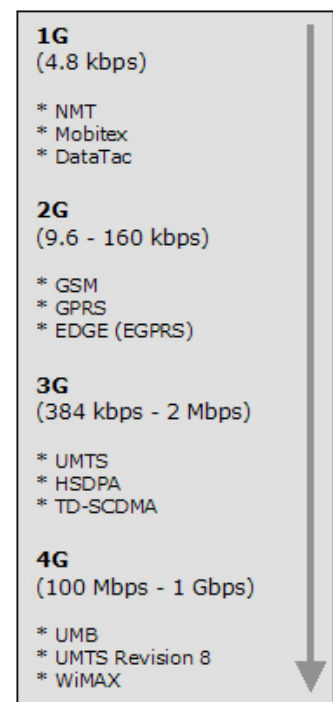
- Wireless Wide Area Networks (WWAN), zoals GSM en UMTS
- Wireless Local Area Networks (WLAN), zoals Ultra-Wideband en IEEE¹⁶ 802.11
- Wireless Personal Area Networks (WPAN), zoals Bluetooth en Infrarood

Wireless Wide Area Network knopen zijn in staat om afstanden van 100 meter t/m 35 kilometer te overbruggen. Doordat het uit een gestructureerd netwerk (*backbone*) van basisstations bestaat, kunnen WWAN globale dekking bereiken. Deze frequenties waarop deze backbones opereren zijn dusdanig meestal niet gratis. Met andere woorden: je hebt een licentie nodig om er gebruik van te kunnen maken. WWAN is een duidelijk voorbeeld van een netwerk uit de categorie *infrastructuur*.

De ontwikkeling van deze netwerken wordt in de literatuur aangeduid met generaties, ofwel de letter 'G' (Figuur 2-5). De generaties hebben niet alleen te maken met technologische vooruitgang. Het is ook de ontwikkeling in een stelsel van afspraken tussen aanbieders van verschillende mobiele netwerken. In eerste instantie zijn deze netwerken ontwikkeld voor communicatie via spraak (1G). Alleen de *data transfer rate*, de hoeveelheid data die per seconde verstuurd kan worden, was toen nog erg laag.

Dit werd aanzienlijk verbeterd in de 2e generatie WWAN. Voorbeelden van deze tweede generatie zijn *Global System for Mobile* (GSM) en *General Packet Radio Service* (GPRS). Toch zijn de transfersnelheden nog te laag om multimedietoepassingen mogelijk te maken.

Deze snelheden worden wel gehaald in de 3e generatie WWAN. De bekendste vorm hiervan is het *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS). Ontwikkelingen binnen WWAN met betrekking tot snelheden heeft meestal grote investeringen in het netwerk tot gevolg. De hype rondom UMTS zorgde bijvoorbeeld in 2001 voor grote problemen bij de grote telecombedrijven toen de internetzeepbel uiteenspatte en koersen zwaar daalden. De leningen die de meeste telecombedrijven aangegaan waren om de UMTS-licenties te kunnen bekostigen hingen vervolgens als molenstenen om de nek van de bedrijven en deden deze op het randje van het faillissement verkeren.



Figuur 2-5 WWAN generaties voorbeelden & snelheden

¹⁶ Institute of Electrical and Electronics Engineers, <http://www.ieee.org>

Er wordt op dit moment ook al gewerkt aan de 4e generatie WWAN. Voornamelijk in China, die in begin 2007 vanwege trage bureaucratie nog met 2G technologie werkt, wordt hier veel aandacht aan besteed.

Wireless Local Area Networks halen binnen afstanden tussen de 10 en 150 meter. Buiten kunnen afstanden tot 300 meter gehaald worden. Deze netwerken werken, in tegenstelling tot WWAN, op het vrije frequentiespectrum. Er is dus geen licentie nodig. Ook worden er veel hogere snelheden gehaald dan de WWAN die op dit moment actief zijn (2G). WLAN is ontstaan als een uitbreiding op computer local area networks. Daarom zijn deze netwerken ook gespecialiseerd in data overdracht.

Het maakt gebruik van simpele access-points i.p.v. de basisstations die WWAN gebruiken. Ook kunnen de mobiele stations rechtstreeks met elkaar communiceren. Daarom kan WLAN zowel onderverdeeld worden als een *infrastructuur* als *ad hoc* methode.

Wireless Personal Area Networks zijn geschikt voor zeer korte afstanden. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld headsets die door middel van bluetooth aan de telefoon gekoppeld kunnen worden. Gemiddeld worden er afstanden van ongeveer 10 meter gehaald, maar er zijn al systemen (zoals bluetooth) die onder ideale omstandigheden een afstand van 100 meter halen. Ook WPAN maakt net als WLAN gebruik van het vrije frequentiespectrum en er worden datasnelheden tussen die van WLAN en WWAN gehaald. Apparaten binnen een WPAN verbinden met elkaar wanneer het nodig is en dus is WPAN een typisch voorbeeld van een *ad hoc* structuur.

Zoals de bovenstaande uitleg al aangeeft, zijn er enige overlappingsen tussen de drie vormen van communicatienetwerken. Toch hebben ze alledrie eigen specifieke voor- en nadelen. Deze zullen in overwegen genomen moeten worden bij de keuze voor een bepaald LBS systeem. De gegevens van de drie netwerkvormen staan opgesomd in Figuur 2-6.

Netwerk technologie & Voorbeelden		Gemiddeld bereik	Data rate (Mbps)	Frequentie	Structuur
WWAN	GSM (2G)	Basisstation afstand	0,009 – 0,014	~900 Mhz. gelicenceerd	Infrastr.
	GPRS (2G)		0,160		
	UMTS (3G)	100 m. – 35 km.	2,0		
WLAN	Ultra-Wideband	10 m.	100	~2.4 & 5 GHz. ongelicenceerd	Infrastr. & Ad-hoc
	IEEE 802.11a	50 m.	54		
	IEEE 802.11b	100 m.	11		
WPAN	Bluetooth	10 m.	1	~ 2.4 GHz. ongelicenceerd	Ad-hoc
	Infrarood	1- 1,5 m.	1 - 16		

Figuur 2-6 Eigenschappen van verschillende netwerkmethoden

2.2.2.3 Positioneringcomponent

In paragraaf 2.2.3 zal dieper ingaan worden op locatie. Er zijn verschillende manieren om de locatie van een systeem (paragraaf 2.2.2) te bepalen. Naar gelang de keuze van positiebepaling zullen er verschillende positioneringcomponenten van toepassing zijn. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van het *Global Positioning System (GPS)* zal de meest voor de hand liggende module een GPS-module zijn. Dit kan een externe module zijn, die bijvoorbeeld via Bluetooth (WPAN) connectie maakt met het mobiele apparaat, maar het kan ook een externe module zijn, zoals bij bijvoorbeeld veel autonavigatiesystemen het geval is. Ook een Wi-Fi station kan als positioneringcomponent gezien worden. Door middel van signaalsterkte kan bijvoorbeeld de afstand tot een dergelijk station berekend worden en heb je informatie over de locatie van een systeem.

Een positioneringcomponent kan dus via een communicatienetwerk gegevens uit een informatievoorzieners halen en deze via een ander communicatienetwerk naar het mobiele apparaat doorgeven. Een voorbeeld staat in Figuur 2-7. Hier haalt een positioneringcomponent (GPS ontvanger) gegevens op via het GPS netwerk en stuurt deze via Bluetooth naar een mobiele telefoon.



Figuur 2-7 Voorbeeld positioneringcomponent met communicatienetwerken

2.2.3 Locatie

Zoals in paragraaf 1.3.1 aangegeven is een dienst het leveren van informatie over de locatie van een systeem. Wat ik onder een systeem versta heb ik in de vorige paragraaf uitgelegd. In deze paragraaf komt *het geven van informatie over de locatie* aan bod.

Laten we eerst een gaan kijken naar de definitie van locatie. Volgens Van Dale ¹⁷ is de definitie van locatie als volgt:

lo•catie (de ~ (v.), ~s)

1 plaats waar een gebeurtenis plaatsvindt

Het sleutelwoord in deze definitie is *plaats*. Een van de definities die Van Dale hiervoor geeft is de volgende:

plaats (de ~, ~en)

1 punt of gebied op aarde of in de ruimte, waar iem. of iets zich bevindt

In de Geografie betekent locatie gebruikelijk een positie of punt in de ruimte uitgedrukt relatief ten opzichte van een ander punt of object. Net zoals bij de definitie van plaats in Van Dale zou deze positie dus ten opzichte van de aarde kunnen zijn of ergens in een ruimte.

Het verschaffen van informatie over de locatie van een systeem kan dus opgevat worden als het verschaffen van informatie over de ligging van een object ten opzicht van een ander object.

● LOCATIE

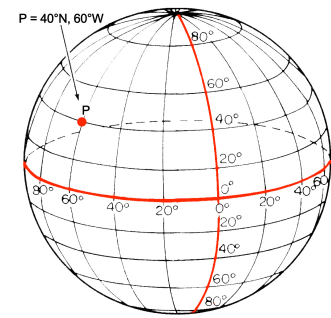
Informatie over de ligging van een object ten opzichte van een ander object.

Ter illustratie: “*In Nederland liggen alle plaatsen tussen 3° 20' Oosterlengte en 7° 13 Oosterlengte*”. Hier wordt een exacte positie op de aardbol weergegeven. Een ander voorbeeld kan zijn: “*Het systeem bevindt zich op 10 meter van het basisstation*”. Ook dit tweede voorbeeld verschaft informatie over de positie van een object. Zoals deze twee voorbeelden al enigszins laten blijken kan locatie onderverdeeld worden in twee groepen: *absolute-* of *relatieve* locatie.

¹⁷ Van Dale taalweb – <http://www.vandale.nl/>

2.2.3.1 Absolute locatie

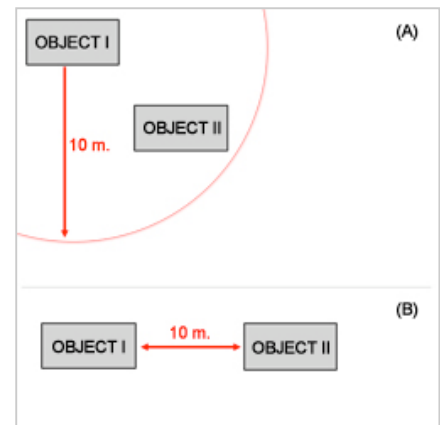
Absolute locatie geeft de exacte locatie van een object. Deze wordt meestal gedefinieerd met behulp van Cartesische coördinaten. Een Cartesisch coördinatenstelsel is een coördinatenstelsel waarbij de afstand tussen twee coördinaatlijnen constant is. Voor elke dimensie is er een as en de assen staan onderling loodrecht op elkaar. Voornamelijk in de geometrie wordt hier gebruik van gemaakt. De standaard manier om geografische positieaanduiding op aarde te doen, is via een Cartesisch coördinatenstelsel: de lengte –en breedtegraden op aarde (Figuur 2-8). Hierbij vormen de evenaar en de nulmeridiaan resp. de X –en Y-as van het coördinaatstelsel.



Figuur 2-8 Absolute plaatsbepaling

2.2.3.2 Relatieve locatie

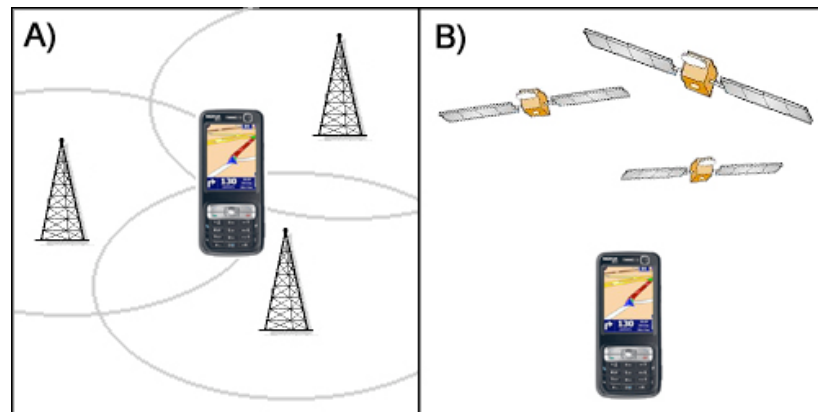
Relatieve locatie geeft de locatie van een object ten opzichte van een ander object. Bijvoorbeeld: Bluetooth heeft een gemiddeld bereik van 10 meter. Wanneer een mobiel apparaat via Bluetooth een ander apparaat herkent, betekent dit dat het andere apparaat zich binnen een straal van 10 meter van het mobiele apparaat bevindt (Figuur 2-9 (A)). Je kunt relatieve locatiebepaling ook exacter maken. Wanneer je met een meetlint de afstand tussen twee objecten meet, heb je nauwkeurigere informatie over de locatie van object I ten opzichte van object II (Figuur 2-9(B)). Je zou de informatie nog nauwkeurig kunnen maken door aan te geven dat het object zich het ten westen van het andere object bevindt, enzovoorts.



Figuur 2-9 Relatieve locatiebepaling

Relatieve locatiebepaling past overduidelijk binnen de definitie van locatie zoals deze in paragraaf 2.2.3 staat. Maar ook absolute plaatsbepaling valt binnen de definitie. Het verschaffen van informatie over een object door middel van absolute plaatsbepaling is niets anders dan het opleveren van de ligging van dat object ten opzichte van een ander object. Je levert namelijk de coördinaten van het object ten opzichte van de oorsprong van het coördinatenstelsel op.

Hierboven is ingegaan op het begrip *locatie*. Locatie- of positiebepaling is daarbij onderverdeeld in twee groepen: absolute en relatieve locatiebepaling. Hierbij wordt voornamelijk gekeken naar de manier waarop de informatie over de locatie gerepresenteerd wordt. Het is ook mogelijk een onderscheid te maken tussen de manier waarop de locatiebepaling daadwerkelijk plaats vindt. Één methode is gebaseerd op intelligentie in het netwerk, terwijl de andere de terminal (lees: het systeem, paragraaf 2.2.2) zelf gebruikt. Deze vormen van locatiebepaling worden respectievelijk *network-based*– en *terminal-based positioning* genoemd (Figuur 2-10).



Figuur 2-10 Network based (A) -en terminal based positioning (B)

Omdat in netwerkgebaseerde positiebepaling de positie bepaald wordt door het netwerk, zijn er geen specifieke eisen voor het systeem. Bij terminal gebaseerde positiebepaling zal op het systeem hard- en/of software aanwezig moeten zijn om de positiebepaling te kunnen doen. Een GPS ontvanger, bijvoorbeeld. In de volgende paragrafen zal hier iets dieper op ingegaan worden. Daarbij zal deze onderverdeling (naar manier van positiebepaling) nog iets verder gespecificeerd worden. Terminalgebaseerde positiebepaling zal onderverdeeld worden in *satelliet positionering* en *locale positionering*.

2.2.3.3 Satelliet positionering

Satelliet positioneringssystemen maken gebruik van een infrastructuur van satellieten die om de aarde cirkelen, en ontvangersystemen (paragraaf 2.2.2). Deze ontvangers berekenen de positie gebaseerd op de informatie die ze van drie of meer satellieten krijgen (meestal drie voor de berekening en één ter controle).

De bekendste vorm van satelliet positionering is GPS. Deze wordt beheerd door het Amerikaanse ministerie van defensie. Een ander voorbeeld is het Russische GLONASS systeem. Galileo is het satellietnavigatiesysteem dat gebouwd wordt door de Europese Unie als aanvulling op deze systemen. Het commerciële Europese navigatiesysteem zal in 2013¹⁸ in gebruik worden genomen. De belangrijkste politieke bestaansredenen van Galileo is behoud van de Europese onafhankelijkheid ten opzichte van Amerika. Toch zal Galileo kunnen samenwerken met GPS om toegang en continuïteit van dit systeem te waarborgen. Galileo is hierbij bedoeld voor gebruik in civiele toepassingen en GPS voor militaire toepassingen.

Alle systemen kennen een zogenaamde *militaire precisie*. Echter het Europese systeem wordt het nauwkeurigste systeem. Er is bij ontwerp gedacht aan millimeterpositiebepaling, bijvoorbeeld voor de bouwsector. Deze terminalgebaseerde methoden halen gemiddeld een nauwkeurigheid van 10 tot 40 meter. In paragraaf 5.1 zal dieper op satellietnavigatie ingegaan worden.

¹⁸ ESA - *Procurement of full Galileo system begins* - http://www.esa.int/esaNA/SEM3ODSHKHF_index_0.html

2.2.3.4 Locale positionering

Locale positionering refereert aan locatiebepaling in een beperkt gebied, gebaseerd op een signaal transmissie over korte afstand. Deze oplossing bestrijkt voornamelijk het gebied van binnenomgevingen waar satelliet en netwerkgebaseerde positiebepaling niet mogelijk is, of niet nauwkeurig genoeg is (WPAN, paragraaf 2.2.2.2). Voorbeelden hiervan zijn: positiebepaling door middel van Bluetooth, RFID of Infrarood.

2.2.3.5 Netwerkgebaseerde positionering

Netwerkgebaseerde positioneringstechnieken gebruiken de netwerkinfrastructuur om de locatie te bepalen. Positiebepaling met behulp van het netwerk kan op verschillende manieren gebeuren, allemaal met hun eigen nauwkeurigheid.

De minst nauwkeurige manier is de *Cell ID (CID)* manier. Hierbij wordt gekeken naar het dekkingsgebied van het netwerk. Dit kan het GSM netwerk zijn (WWAN), maar ook bijvoorbeeld een WLAN netwerk (paragraaf 2.2.2). Als het systeem in de buurt van een zendstation komt, is de locatie ten opzichte van dat station bekend, en dus de locatie binnen het gehele netwerk. Voornamelijk bij toepassingen in een WWAN netwerk kan de locatie maar tot op honderden meters nauwkeurig zijn. Driehoeksmeting zal tot een betere locatiebepaling leiden. Hierbij worden (minimaal) drie zendstations gebruikt om de locatie van het systeem te bepalen (net zoals bij GPS).

Een andere methode om tot netwerkgebaseerde locatiebepaling te komen is signaalsterkte. Wi-Fi apparaten zijn in staat de signaalsterkte van andere Wi-Fi apparaten te meten. Des te sterker het signaal is, des te dichterbij is het apparaat dat het signaal verstuurt. Ook worden er meer complexere algoritmes gebruikt om locatie te bepalen binnen een netwerk. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kansberekeningalgoritmes en de beweging van een systeem binnen het netwerk, om zo te kunnen bepalen waar het systeem zich vervolgens zal gaan bevinden. In hoofdstuk 4 zal dieper op locatiebepaling methoden ingegaan worden.

2.2.3.6 Hybride oplossingen

Er vinden ook overlappingen plaats tussen de drie bovengenoemde groepen. Een sterk opkomende vorm van een dergelijke hybride oplossing is *Assisted GPS* of *A-GPS*. Het is daarom van belang om techniek kort te bespreken.

A-GPS krijgt ondersteuning van een server die via het GSM of UMTS netwerk communiceert. Een normaal GPS systeem heeft zoals gezegd minimaal drie GPS satellieten nodig om de positie te bepalen. De ontvanger heeft zelf processing power nodig om de locatie te berekenen. In het geval van A-GPS verzamelt de ontvanger alleen de ontvangen data van de GPS satellieten, en stuurt deze direct door via de dichtstbijzijnde GSM paal naar de server, die razendsnel de locatie van de ontvanger berekent. Veel sneller dan de processor van de ontvanger het zelf kan doen.

De locatiegegevens worden teruggestuurd en de locatie is bepaald. Een voordeel van deze service is dat er ook locatiegebonden informatie meegestuurd kan worden, maar er kunnen wel

datatransmissiekosten aan verbonden zijn. Toch biedt A-GPS een goede en snelle oplossing die tegelijkertijd de markt voor Location Based Services zal stimuleren.

2.3 Conclusie

In dit hoofdstuk is ingegaan op de definitie van *Location Based Services*, zoals deze in dit onderzoek gehanteerd zal gaan worden. Samenvattend heeft dit de volgende definities opgeleverd:

LOCATION BASED SERVICES

Systemen die diensten aanbieden die betrekking hebben op locatie

DIENST

*Het geven van informatie over de **locatie** van een **systeem**.*

SYSTEEM

*een **mobiel apparaat (de gebruiker)** die via een **positioneringcomponent** over een **communicatienetwerk** informatie ophaalt.*

LOCATIE

Informatie over de ligging van een object ten opzichte van een ander object.

Hierbij is ingegaan op de verschillende onderdelen van deze definities. Daarbij zijn een aantal aspecten naar boven gekomen waarop gelet moet worden bij de keuze voor een specifieke LBS oplossing van een probleem. Deze komen ook naar voren in de definities: de keuze voor het mobiele apparaat, de positioneringcomponent en het communicatienetwerk brengen allemaal hun eigen voor- en nadelen mee binnen de locatiebepaling in het geheel. Hetzelfde geldt voor de manier waarop de locatie bepaald wordt. Wordt er gebruik bijvoorbeeld gebruik gemaakt van *network-based*- of *terminal-based positioning* bij het bepalen van de locatie.

3 Categorisering technieken

Dit hoofdstuk zal een overzicht geven van gebruikte en mogelijke categorie-indelingen van locatiebepalingstechnieken. In de literatuur worden veel verschillende vormen van categorisering aangehouden voor locatiebepalingstechnieken. Voor sommige onderwerpen is het niet van belang om de technieken gestructureerd te behandelen, anders hangt de indeling samen met het onderwerp dat behandeld of onderzocht wordt.

Dit hoofdstuk heeft een aantal doeleinden. Allereerst zal het een beeld geven van de diversiteit van categorie-indelingen. De context waarin dit onderzoek plaats vindt zal daardoor duidelijker worden. Verder geeft het een duidelijke opsomming van technieken die in de literatuur belangrijk gevonden worden. Hierdoor wordt de keuze voor de te behandelen technieken in dit onderzoek (hoofdstuk 5) vollediger en meer gestructureerd. Voor het overzicht zullen daarom in de boomstructuren in dit hoofdstuk veelvoorkomende technieken van een kleur worden voorzien. De categorie-indelingen bevatten dan ook alleen de technieken die in het desbetreffende onderzoek behandeld worden. Ook zal dit hoofdstuk de basis vormen voor het te ontwikkelen model in hoofdstuk 7. Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 is de LBS markt een zeer snel groeiende markt. Dit betekent dat er in de toekomst ook nieuwe locatiebepalingstechnieken ontwikkelen zullen gaan worden die niet in het model voorkomen. Technieken in dezelfde categorie hebben een groot aantal overeenkomstige kenmerken (hoofdstuk 6). Dit maakt het mogelijk om op een later tijdstip nog technieken aan het model toe te voegen.

3.1 Indelingen

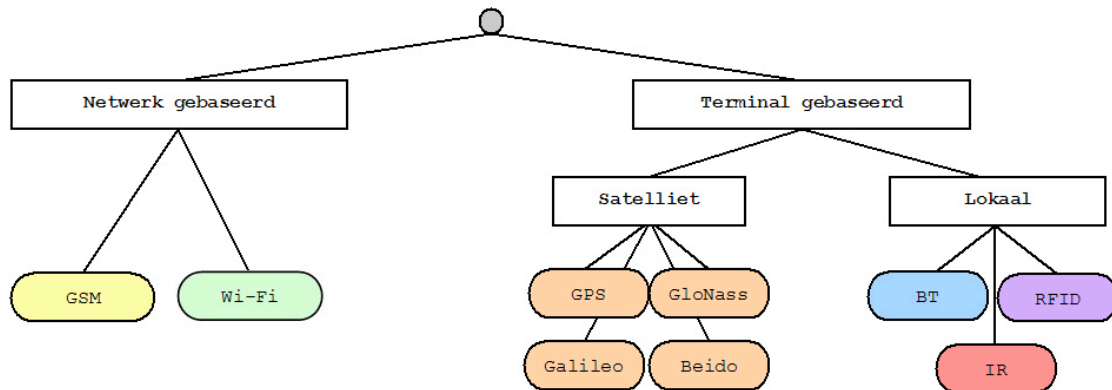
Een categorie-indeling voor locatiebepalingstechnieken kan op oneindig veel manieren gedaan worden. Het is dus onmogelijk om alle mogelijke indelingen in dit hoofdstuk te behandelen. De kenmerken in hoofdstuk 6 vormen in theorie al een basis voor een categorie-indeling. Zo zou je bijvoorbeeld op nauwkeurigheid kunnen onderverdelen met als categorieën de intervallen, zoals ‘minder dan 10 centimeter’, ‘tussen 10 centimeter en 1 meter’, enzovoorts. Eventuele groepering op basis van kenmerken zal in hoofdstuk 6 aan bod komen.

3.1.1 Waar de locatiebepaling plaatsvindt

In Kolodziej *et al.* [20] wordt een onderverdeling gemaakt op basis van de plek waar de locatiebepaling plaats vindt. Deze onderverdeling is in lijn met de informatie in paragraaf 2.2.3. Daar wordt onderscheid gemaakt tussen *netwerkgebaseerde*- en *terminalgebaseerde* positionering. Bij netwerkgebaseerde positionering (paragraaf 2.2.3.5) wordt de locatie van de terminal door het netwerk berekend en naar de terminal gestuurd. Het standaard voorbeeld van deze vorm van locatiebepaling is cellulaire locatiebepaling. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende vormen van locatiebepaling methoden, zoals *Cell ID* of *Time of Arrival*. Hier zal in paragraaf 4 dieper op ingegaan worden. In de onderverdeling van Kolodziej *et al.* wordt Wi-Fi tot de netwerkgebaseerde

locatiebepalingstechnieken gerekend. Hier kan over gediscussieerd worden. Er bestaan zowel netwerkgebaseerde- als terminalgebaseerde locatiebepaling methoden voor Wi-Fi toepassingen.

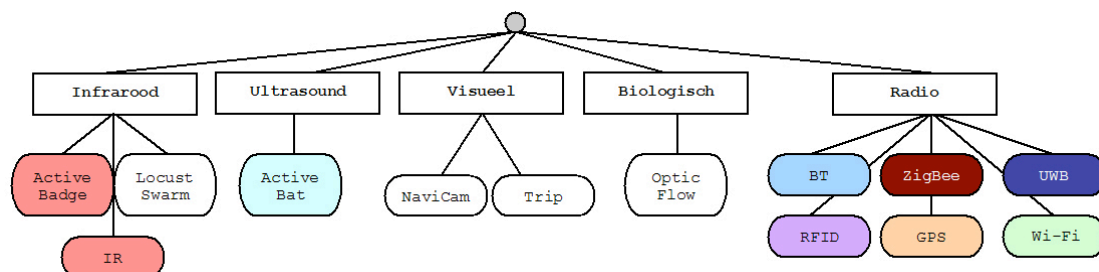
Bij terminalgebaseerde positionering vindt de locatiebepaling op de terminal zelf plaats. De terminal ontvangt informatie uit de omgeving (signaalsterkte, satelliet informatie, et cetera) en berekent hier zijn locatie uit. Binnen deze categorie kan een onderscheid gemaakt worden tussen satelliet- en lokale positionering (paragraaf 2.2.3.3 en 2.2.3.4). Dit onderscheid wordt ook gemaakt in het onderzoek van Kolodziej *et al.* Uiteindelijk kan de categorie-indeling als volgt weergegeven worden:



Figuur 3-1 Waar de locatiebepaling plaatsvindt

3.1.2 Sensor type

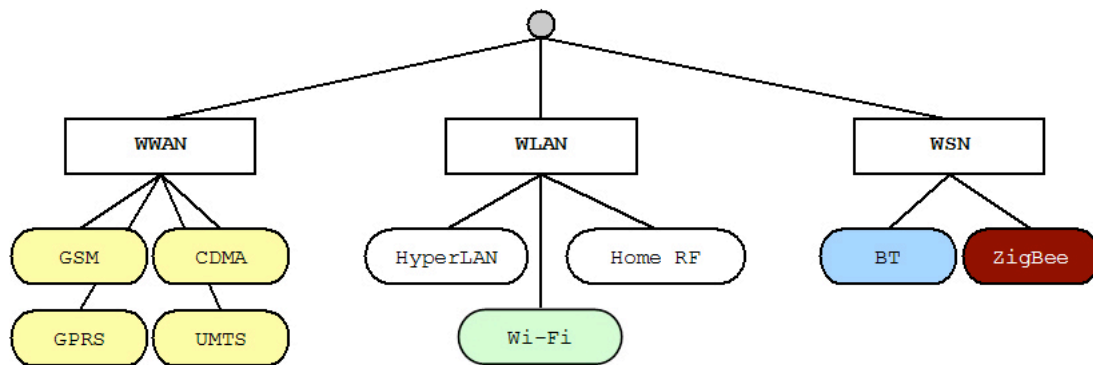
Een ander voorstel in Kolodziej *et al.* [20] is een onderverdeling op basis van sensortypen. Een zelfde structuur komt voor in het onderzoek van Al Mosawi *et al.* [21]. Deze twee onderverdelingen vormen gecombineerd de indeling in Figuur 3-2. De twee meest onderzochte technieken voor locatiebepaling buitenshuis zijn GPS en cellulair. Deze twee technieken worden dus soms als één categorie behandeld (zie ook de indeling in paragraaf 3.1.4). Maar in de meeste onderzoeken vormt satelliet locatiebepaling een aparte categorie. Dit komt ook naar voren in dit hoofdstuk. Daarom kan opgemerkt worden dat de onderverdeling op sensor type de enige indeling in dit hoofdstuk is waarbij dit niet het geval is. GPS locatiebepaling maakt namelijk, net zoals bijvoorbeeld RFID, gebruik van radiogolven voor het bepalen van de locatie (zie ook paragraaf 5.1).



Figuur 3-2 Sensor type

3.1.3 Draadloos netwerk

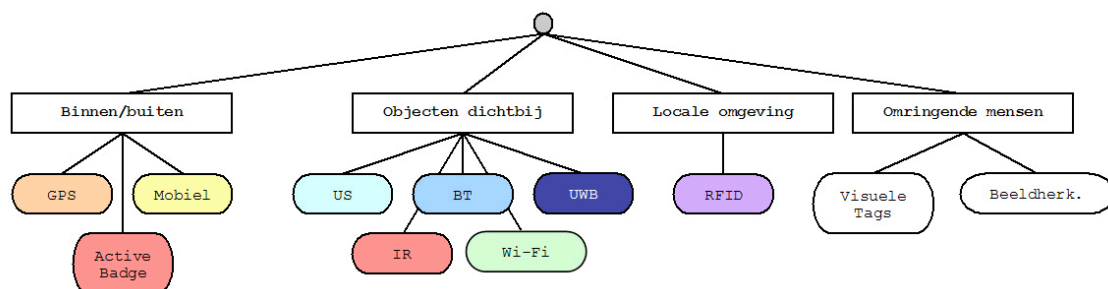
In paragraaf 2.2.2.2. wordt het onderscheid tussen verschillende communicatienetwerken uitgelegd. Een onderverdeling die daar gemaakt wordt is op het bereik en dekking van de draadloze netwerken. Deze onderverdeling vindt ook in het onderzoek van Ruiz-Garcia *et al.* [22] plaats. Zoals eerder aangegeven worden alleen behandelde technieken opgenomen in de categorie-indeling. In het onderzoek van van Ruiz-Garcia *et al.* naar het monitoren van intermodaal gekoeld transport speelt GPS een ondergeschikte rol. Er wordt melding gemaakt van deze techniek, maar er wordt niet dieper op ingegaan. Daarom komt GPS niet in de onderstaande indeling voor. Als GPS in deze categorie-indeling toegevoegd zou moeten worden, dan zou deze vanzelfsprekend in de categorie WWAN terecht komen.



Figuur 3-3 Draadloos netwerk bereik

3.1.4 Context

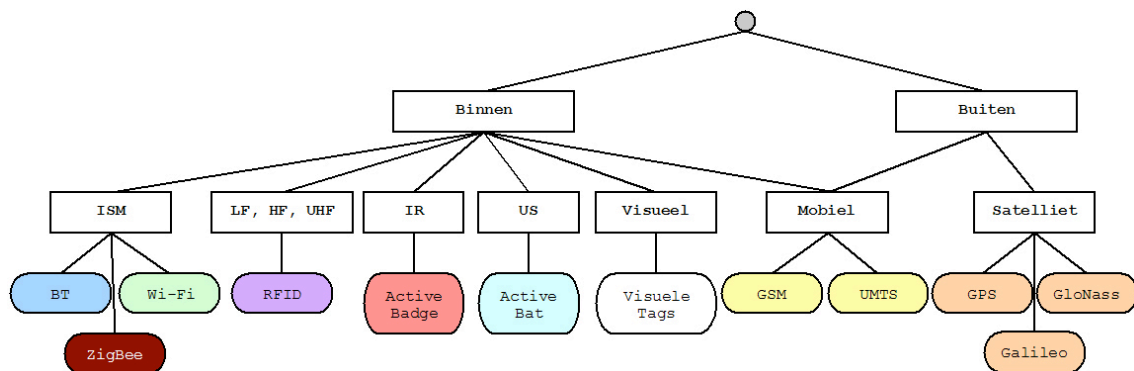
Zoals aangegeven in paragraaf 1.2 vindt er uitgebreid onderzoek plaats naar LBS en de verschuiving van de *context awareness* van informatica en technische toepassingen. Identificatie van de context van de gebruiker is van essentieel belang voor *context aware computing*. Vanuit het onderzoek van Uit E. Beinat *et al.* [3] kan er daarom een onderverdeling gemaakt worden op basis van de context van de gebruiker. Beinat *et al.* onderscheiden ook andere vormen van gebruikers context, zoals temperatuur of hartslag. Hier horen dan weer temperatuur- of fysiologische sensoren bij. Vanuit het oogpunt van dit onderzoek zijn in de indeling in Figuur 3-4 alleen de categorieën opgenomen die van belang zijn voor locatiebepaling.



Figuur 3-4 Context

3.1.5 Frequentiespectrum

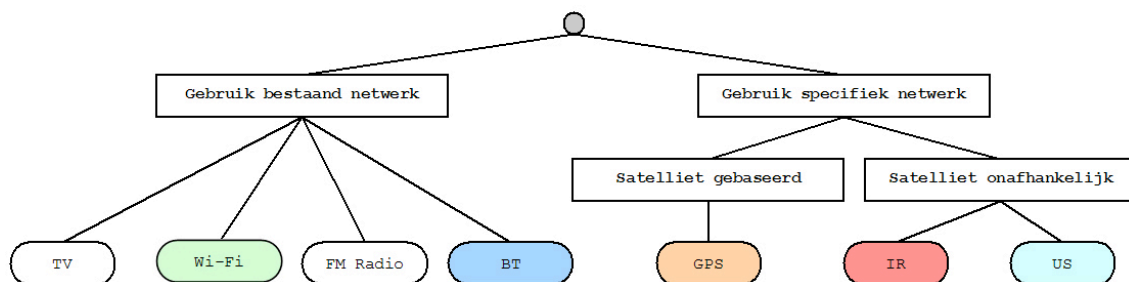
In het onderzoek van J.O. Filho *et al.* [13] wordt gecategoriseerd op basis van het frequentiespectrum waar de verschillende technieken op werken. Allereerst wordt er een onderscheid gemaakt tussen locatiebepaling binnen- en buitenshuis. Hierbij valt op dat mobiele locatiebepaling (GSM, UMTS) zowel bij locatiebepaling binnenshuis als buitenshuis ingedeeld wordt. In de literatuur wordt deze vorm van plaatsbepaling voornamelijk gezien als een vorm van plaatsbepaling buitenshuis. Dit komt met name door het netwerk bereik van GSM (WWAN, zie ook de indeling *Draadloos netwerk*). Hoewel het bereik van het cellulaire netwerk binnenshuis slechter is, vindt er ook onderzoek plaats naar locatiebepaling binnenshuis door middel van GSM. Een voorbeeld hiervan is het onderzoek van V. Otsason *et al.* [12]. Verder valt op te merken dat de categorieën *Visueel*, *Mobiel* en *Satelliet* geen onderdeling van het frequentiespectrum uitmaken. Maar dezen zijn door van J.O. Filho *et al.* toegevoegd om de lijst van technieken voor hun onderzoek zo volledig mogelijk te maken. *ISM* staat voor Industrial, Scientific en Medical. Deze frequentieband was oorspronkelijk internationaal voorbehouden voor het gebruik van RF elektromagnetische velden voor industriële, wetenschappelijke en medische doeleinden, niet voor communicatie. Tegenwoordig zijn er bepaalde radio frequenties die deze band kunnen gebruiken zonder een licentie van de FCC (of vergelijkbaar), zolang er binnen bepaalde vooraf vastgestelde limieten gebleven wordt. Een bekend voorbeeld van een apparaat dat binnen de ISM band werkt is de magnetron, die op 2,45 GHz werkt. Ook de IEEE 802.11.x standaarden (Wi-Fi) werken binnen deze frequentie. RFID opereert zowel binnen het spectrum van de *Low frequency*, *High frequency* als *Ultra high frequency*, globaal gezien van 30 kHz tot 300 MHz. Hier zal in paragraaf 6.9 dieper op ingegaan worden.



Figuur 3-5 Frequentiespectrum

3.1.6 Infrastructuur

In T. King *et al.* [23] wordt er een onderscheid gemaakt op basis van de infrastructuur waar de locatiebepaling in plaatsvindt. Zoals eerder aangegeven is Bluetooth een voorbeeld van een technieken waar locatiebepaling mee gedaan kan worden (paragraaf 0). Maar dit is niet de enige taak van een bluetooth netwerk. Deze netwerken kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden voor het uitwisselen van bestanden tussen verschillende mobiele apparaten. Hetzelfde geldt voor Wi-Fi netwerken. Onder de primaire taken van deze netwerken vallen bijvoorbeeld het koppelen van apparaten en het delen van internetverbindingen. Locatiebepaling kan als een toegevoegde waarde gezien worden om bijvoorbeeld de GOPG omhoog te krijgen (zie ook: eerste drijfveer in hoofdstuk 1). Aan de andere kant zijn er netwerken die wel als primaire taak locatiebepaling hebben. Het meest vanzelfsprekende voorbeeld hiervan is GPS. Hier is locatiebepaling geen toegevoegde waarde, maar de enige bestaansreden van dit netwerk. Infrarood en ultrasound kunnen gebruikt worden voor andere doeleinden. Zo kan er via infrarood bestandsoverdracht plaatsvinden. Maar er zijn speciale modules en netwerken die gebruik maken van IR of US die speciaal voor locatiebepaling ontwikkeld zijn. In tegenstelling tot bijvoorbeeld Wi-Fi zijn er over het algemeen ook geen IR of US netwerken aanwezig binnen bijvoorbeeld een bedrijf. Wanneer een van deze technieken voor locatiebepaling gebruikt gaat worden, zal hiervoor meestal een specifiek netwerk aangelegd moeten worden.

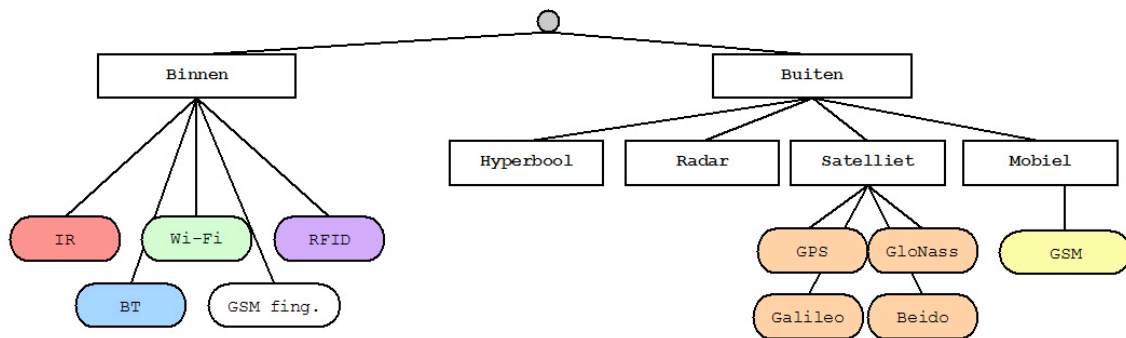


Figuur 3-6 Infrastructuur

3.1.7 Globaal

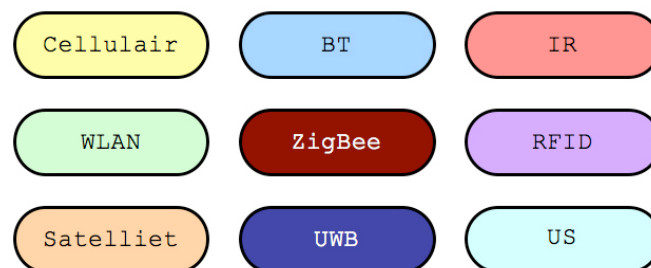
De voorgaande categorie-indelingen hebben allemaal een duidelijk kenmerk waarop de categorisering plaatsvindt. Er zijn in de literatuur ook indelingen te vinden waarbij dit kenmerk minder duidelijk aanwezig is. De indeling is gebaseerd op de voorkeur van de auteur of zelfs volkomen arbitrair. Ter illustratie is het van belang om de onderverdeling van Tuteneel [10] in dit hoofdstuk te noemen. Tuteneel maakt een duidelijk onderscheid tussen plaatsbepaling binnenshuis en buitenshuis. Voor locatiebepalingstechnieken binnenshuis wordt verder geen onderverdeling meer gemaakt. Verder wordt er een duidelijk onderscheid gemaakt tussen GSM locatiebepaling buitenshuis (door middel van een van de locatiebepaling methoden, paragraaf 4) en GSM fingerprinting [12], een GSM locatiebepalingstechniek voor binnenshuis. Wanneer de indeling van Tuteneel uitgebreid zou worden met bijvoorbeeld het

frequentiespectrum, krijgt deze in grote lijnen dezelfde onderverdeling als in J.O. Filho *et al.* [13] (paragraaf 3.1.5).



Figuur 3-7 Globale indeling (binnen/buiten)

Zoals eerder aangegeven is het dus mogelijk om talloze categorie-indelingen te bedenken voor locatiebepalingstechnieken. De indeling kan afhangen van het onderwerp dat onderzocht moet worden (zoals bij 3.1.4) of arbitrair zijn (paragraaf 3.1.7). De bovenstaande onderverdelingen geven een globaal overzicht van de mogelijkheden tot categorisering. Tegelijk geeft het een beeld van de technieken die binnen de literatuur onderzocht worden en dus van belang zijn om op te nemen in dit onderzoek. In Figuur 3-8 is een overzicht te vinden van de veelvoorkomende technieken, met kleurindeling zoals in dit hoofdstuk gebruikt.



Figuur 3-8 Meest voorkomende technieken

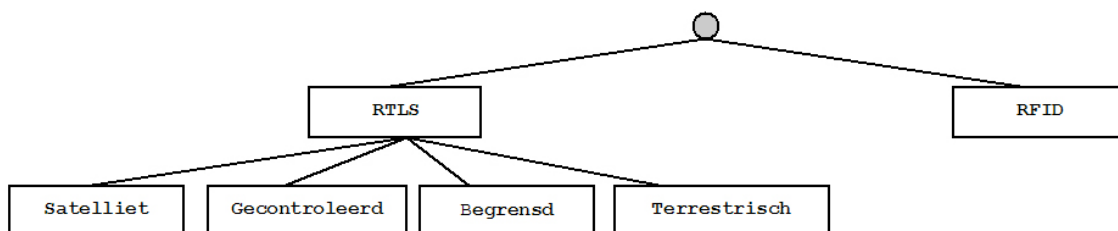
3.1.8 ISO/IEC 24730-1

Een indeling die niet kan ontbreken in dit hoofdstuk is de onderverdeling in de ISO/IEC standaard 24730¹⁹. Deze indeling geeft geen overzicht van locatiebepalingstechnieken zoals in de voorgaande paragrafen, maar het is een indeling op basis van de standaardisatie van *Real Time Location Systems* (RTLS). RTLS is een combinatie van hardware en software dat gebruikt wordt om continu real-time locatiegegevens van objecten te bepalen en op te leveren. Met de In de standaard van de *International Organization for Standardization (ISO)*²⁰ en de *International Electrotechnical Commission (IEC)*²¹ wordt een onderscheid gemaakt tussen RTLS en RFID. Bij locatiebepaling door RFID onderscheiden ze twee gevallen.

- Het lokaliseren van een object op grond van het feit dat dit object op een bepaald moment punt A is gepasseerd en nog niet punt B is gepasseerd;
- Het lokaliseren van een object door het verstrekken van een zender die door de gebruiker via een handheld gelokaliseerd kan worden.

RTLS worden in vier categorieën onderverdeeld:

- Het lokaliseren van een object via satellieten (*vereist line-of-sight*) – nauwkeurigheid tot 10 meter;
- Het lokaliseren van een object in een gecontroleerde ruimte, bijvoorbeeld een warehouse, campus of vliegveld (*het aandachtsgebied wordt van instrumenten voorzien*) – nauwkeurigheid tot 3 meter;
- Het lokaliseren van een object in een meer begrensd gebied (*het aandachtsgebied wordt van instrumenten voorzien*) – nauwkeurigheid tot tientallen centimeters;
- Het lokaliseren van een object over een aards gebied, gebruikmakend van een aardse gemonteerde ontvanger over een groot gebied, bijvoorbeeld GSM zendmasten – nauwkeurigheid tot 200 meter.



Figuur 3-9 ISO/IEC 24730-1/2006

¹⁹ ISO/IEC 24730-1: Real-time locating systems (RTLS) - Part 1: Application program interface (API) (2006)

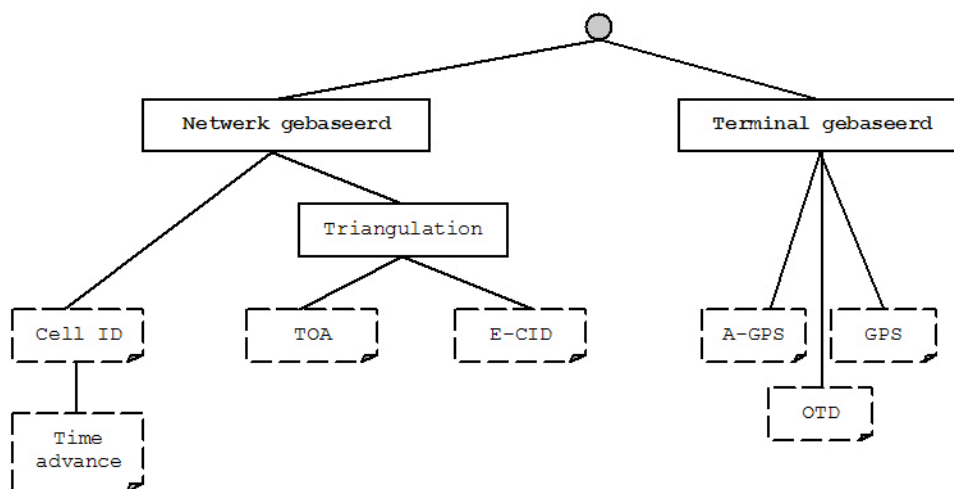
²⁰ <http://www.iso.org>

²¹ <http://www.iec.ch>

4 Locatiebepaling methodes

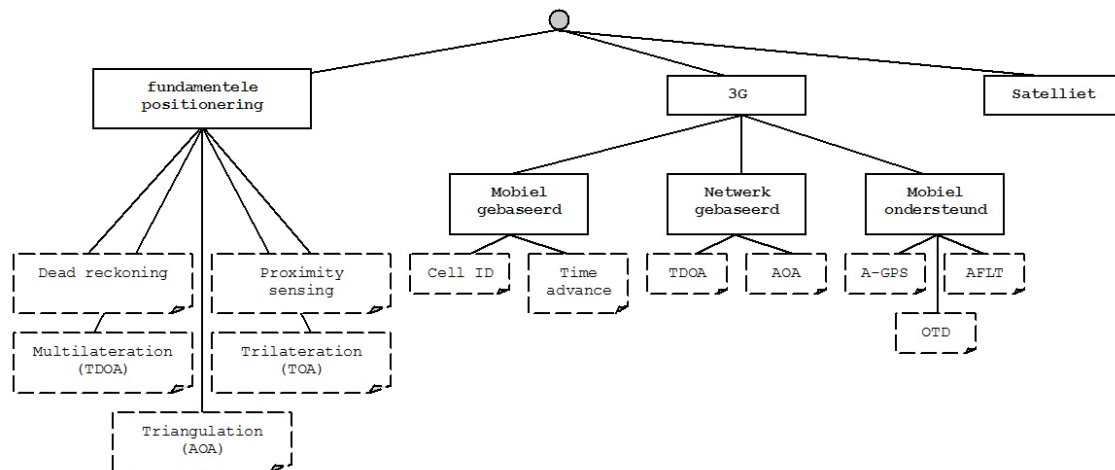
Het voorgaande hoofdstuk geeft een duidelijk overzicht van locatiebepalingstechnieken. Deze zullen in hoofdstuk 5 behandeld worden. Deze technieken hebben allemaal eigen kenmerken, die in hoofdstuk 6 aan bod zullen komen. Naast deze technische kenmerken is het ook van belang om te kijken naar verschillende locatiebepaling methodes. Er binnen methoden die deel uitmaken van een netwerk, bijvoorbeeld GSM, Wi-Fi en ultrasound een aantal methoden om de uiteindelijke locatie te bepalen. Deze methoden maken gebruik van het netwerk van radiostations in een infrastructuur om de handset te lokaliseren. De meeste netwerkgebaseerde locatiebepaling methodes zijn uitbreidingen op bestaande locatiebepaling mogelijkheden van draadloze netwerken. In feite is iedere draadloze communicatie gebaseerd op het vermogen om de positie van mobiele telefoons te lokaliseren en te volgen. Dit is nodig om te kunnen communiceren met mobiele telefoons die van locatie veranderen [3].

Ook locatiebepaling methodes kunnen op verschillende manieren gecategoriseerd worden. In E. Beinat *et al.* [3] wordt er allereerst onderscheid gemaakt tussen netwerkgebaseerde- en terminalgebaseerde locatiebepaling methodes. Dit komt overeen met de technische onderverdeling in paragraaf 3.1.1. Deze indeling wordt weergegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Locatiebepaling methodes I

In Wang *et al.* [24] wordt een iets uitgebreidere categorisering gebruikt. Wang *et al.* maken een onderscheid tussen fundamentele positioneringstechnieken, 3G en Satelliet positionering. De fundamentele positionering kan toegepast worden door allerlei locatiebepalingstechnieken. Binnen locatiebepaling in 3G, maken Wang *et al.* ook onderscheid tussen netwerkgebaseerde- en terminalgebaseerde locatiebepaling methodes, uitgebreid met mobiel ondersteunde locatiebepaling methodes. Deze categorisering wordt weergegeven in Figuur 4-2.

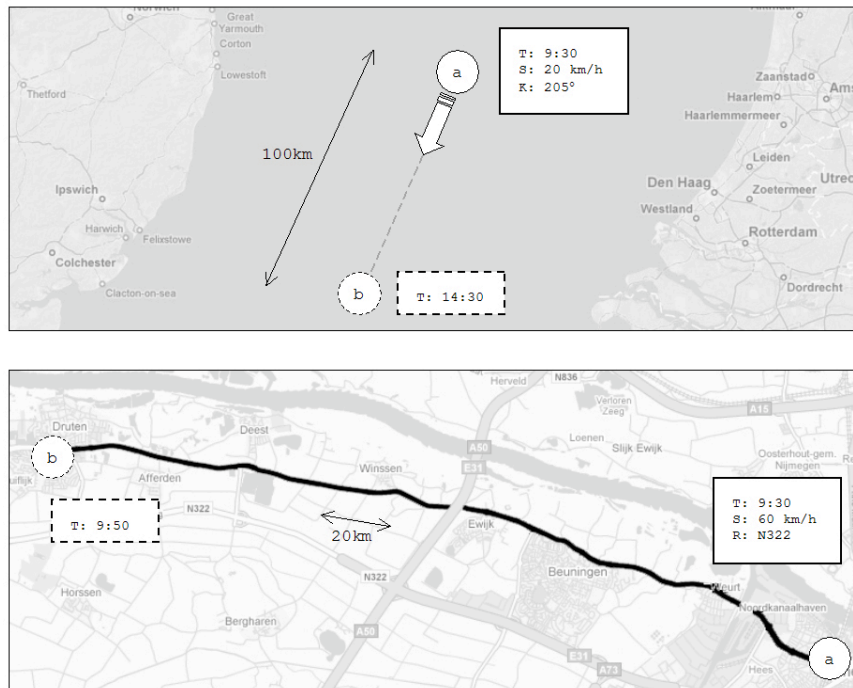


Figuur 4-2 Locatiebepaling methodes II

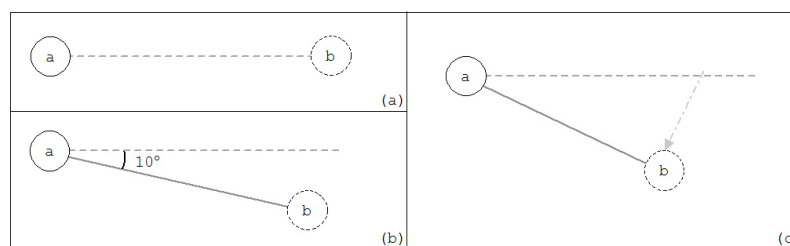
4.1 Dead reckoning

Dead Reckoning is een vorm van navigatie waarbij de huidige positie van een bewegend voertuig wordt afgeleid uit de snelheid en de richting vanaf de laatst bekende positie. De oorsprong van de term is niet duidelijk. Een populaire uitleg voor de term is dat het gaat om een verkorte versie van het woord *Deduced Reckoning*. Hier staat *deduced* voor het *afleiden* van de huidige positie. Een andere uitleg is dat het afkomstig is van de zeevaartpraktijk van het berekenen (*reckoning*) van de positie door de te kijken naar beweging ten opzichte van iets dood (*dead*) is het water. Afgezien van de oorsprong van de term, wordt de techniek al eeuwen gebruikt in de navigatie [25]. Het voordeel van *Dead Reckoning* is dat het afhankelijk is van de sensoren in het voertuig. De systemen zijn dus autonoom, ze maken geen gebruik van informatie in of langs de weg. Feitelijk doet het systeem niets anders dan het bepalen van de positie van het voertuig ten opzichte van de vertrekplaats met behulp van informatie die verkregen wordt door middel van richting- en afstandsensoren, die in het systeem geïntegreerd zijn.

In Figuur 4-3 worden twee voorbeelden van *Dead Reckoning* uitgebeeld. De simpelste vorm is *Dead Reckoning* op zee of in de lucht. Hier kan namelijk in een rechte lijn verplaatst worden. Stel een schip vertrekt op 9:30 vanaf punt *a* op de Noordzee met een snelheid van 20 km/h en een koers van 205°. Dit betekent dat het schip in 5 uur tijd 100 kilometer aflegt. Er kan dus verwacht worden dat het schip om 14:30 op punt *b* te vinden is. Natuurlijk is de koers onderhevig aan bijvoorbeeld stromingen. Daarom kan er een correctie uitgevoerd worden om punt *b* te bepalen. Dit is te zien in Figuur 4-4. Er wordt verwacht dat de koers bij punt *b* uit zal komen (a), maar uiteindelijk blijkt de gevaren koers een afwijking van 10° te hebben (b). Dan kan de verwachte positie met die kennis aangepast worden (c). *Dead Reckoning* kan ook uitgevoerd worden op het land. Zie hiervoor ook Figuur 4-3. Stel dat een auto op de N322 rijdt met een snelheid van 60 km/h. Als de auto om 9:30 in Nijmegen vertrekt, dan kan berekend worden dat deze om 9:50 in Druten (20 km.) aankomt.



Figuur 4-3 Dead Reckoning: water & land



Figuur 4-4 Dead Reckoning - correctie

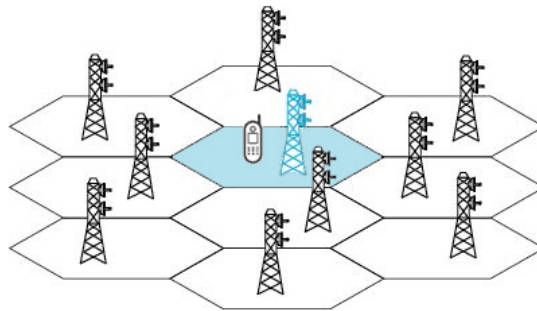
Een van de eerste autonavigatie systemen die in serieproductie vervaardigd werden was de *Citypilot* van VDO²², uit het begin van de jaren '80. De gebruiker moest begin- en eindpunt van de reis invoeren via een speciale kaart en een leespen. Het systeem maakte gebruik van wielsensoren en een elektronisch kompas om continu de positie en richting ten opzichte van het beginpunt te bepalen. Hieruit werd de nog af te leggen afstand en de richting tot het eindpunt berekend.

4.2 Proximity sensing / Cell ID

Locatiebepaling kan simpel geïmplementeerd worden op basis van het geografische gebied dat door de zogenaamde BTS (*Base Transceiver Station*) wordt bepaald. Het gehele cellulaire netwerk bestaat uit een mozaïek van radiocellen die rondom de BTS liggen. Ook Wi-Fi netwerken kunnen op een dergelijke manier opgebouwd worden. Het mozaïek wordt dan opgebouwd rondom de *Access Points* in het netwerk. De grootte van de cellen hangt af van het bereik van de zender, de hoeveelheid gebruikersverkeer en het

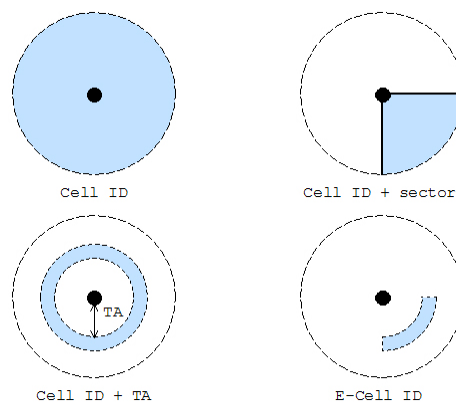
²² <http://www.vdodayton.com/>

aantal cellen. De cellen zijn uniek identificeerbaar en de coördinaten van de cellen zijn bekend. Wanneer een handheld zich aanmeldt bij een *BTS* waarvan de coördinaten bekend zijn, dan is daarmee automatisch zijn positie bepaald (zie Figuur 4-5). De fundamentele locatiebepaling methode achter deze techniek wordt ook wel *proximity sensing* genoemd. Zodra een ontvanger zich in de nabijheid van een zender bevindt, kan zijn locatie aan de hand van de locatie van de zender bepaald worden. Des te meer cellen er zijn, des te kleiner zijn de cellen en des te nauwkeuriger wordt de positiebepaling. In grote steden, waar veel gebruikersverkeer is zijn er veel kleine cellen (*pico-cellen*). Hier kan een gebruiker met een nauwkeurigheid van ongeveer 300 meter worden gelokaliseerd. In dunbevolkte gebieden kan een cel een gebied met een radius van 35 kilometer beslaan [2, 17]. Binnen het cellulaire netwerk is het voordeel van deze techniek dat er geen (software)aanpassingen aan de mobiele telefoon nodig zijn. Vanaf het moment dat mobiele netwerken zijn opgebouwd, zijn de telefoons uitgerust met deze functionaliteit [6]. Het nadeel is dat de nauwkeurigheid afhankelijk is van de bevolkingsdichtheid (cell-dichtheid) van het gebied.



Figuur 4-5 Cell ID

Er zijn een aantal technieken voor handen om de nauwkeurigheid van *Cell ID* positionering te verbeteren. Door gebruik te maken van sector gegevens en *Timing Advance* kan een hogere nauwkeurigheid bereikt worden. Deze vorm van *Cell ID* positionering wordt ook wel *Enhanced Cell ID* of *E-CID* genoemd [26]. Dit principe wordt weergegeven in Figuur 4-6.

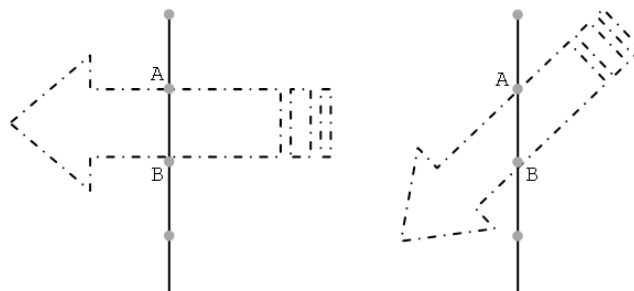


Figuur 4-6 E-CID

De lichtblauwe kleur geeft het gebied aan waar de handheld zich kan bevinden. Bij alleen *Cell ID* is dit dus gelijk aan de cel rondom de BTS (hier als een cirkel weergegeven). Veel BTS zijn uitgerust met zogenaamde *Sector Antennes*. Dit zijn directionele antennes. Dat wil zeggen dat deze antennes meer signaal naar een of meer richtingen uitstralen. Hierdoor kan de cel opgedeeld worden in meerdere sectoren. Het gebied waarin de handheld zich kan bevinden wordt hierdoor kleiner. Een andere techniek is de zogenaamde *Timing Advance* techniek. Deze techniek meet de tijd die een signaal nodig heeft om heen en weer tussen GSM en BTS verzonden te worden. Hierdoor kan de afstand tussen de zender en de handheld benaderd worden. Ook dit verkleint het mogelijke locatiegebied van de gebruiker. Dit kan ook bereikt worden door middel van *signaalsterkte*. Met name binnen Wi-Fi locatiebepaling wordt van deze techniek gebruik gemaakt. Des te zwakker het signaal, des te verder bevindt de handheld zich van de zender. Door sector indeling en TA/signaalsterkte te combineren kan vrij nauwkeurig de locatie bepaald worden (zie E-Cell ID in Figuur 4-6).

4.3 Angle of Arrival (AOA)

De *Angle of Arrival* locatiebepaling methode bepaalt de locatie van een gebruiker aan de hand van de hoek waarin de signalen op de handset worden ontvangen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van (richtingsgevoelige) gordijnantennes (*antenne array*) waarmee de richting van de zender kan worden bepaald. Een *antenne array* is een samenstel van een aantal zend- of ontvangstantennes. Het effect van het opnemen van een aantal antennes in een array is dat de uitgezonden straling wordt gebundeld in een bepaalde richting. AOA bepaalt de richting van de signalen door het verschil in aankomsttijd van de afzonderlijke elementen van de array te meten. Dit wordt weergegeven in Figuur 4-7. Wanneer het signaal loodrecht op de array gestuurd wordt, dan zal het signaal op de array elementen A en B op hetzelfde tijdstip ontvangen worden. De hoek waarin het signaal gestuurd werd, is dan dus 0° . Wordt het signaal wel onder een hoek verstuurd, dan zal het signaal het element A eerder bereiken dan B (in Figuur 4-7) en door middel van dat tijdsverschil kan dan de hoek berekend worden.

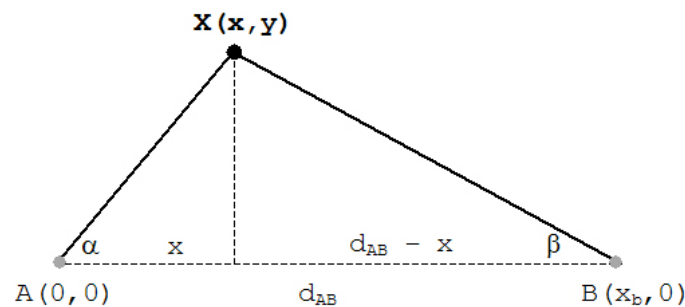


Figuur 4-7 Angel of Arrival

Wanneer van minimaal twee signalen de aankomsthoek bekend is, kan de positie van de handheld uitgerekend worden. Hiervoor wordt het principe van *triangulation* toegepast. Figuur 4-8 geeft een 2D bovenaanzicht van een dergelijke situatie. *Triangulation* berekent de afstand in n dimensies door één

afstand en n hoeken te meten. Een signaal vanuit A wordt verstuurd onder een hoek van α en een signaal vanuit B onder een hoek van β . De x en y coördinaten van X kunnen dan berekend worden via de formule:

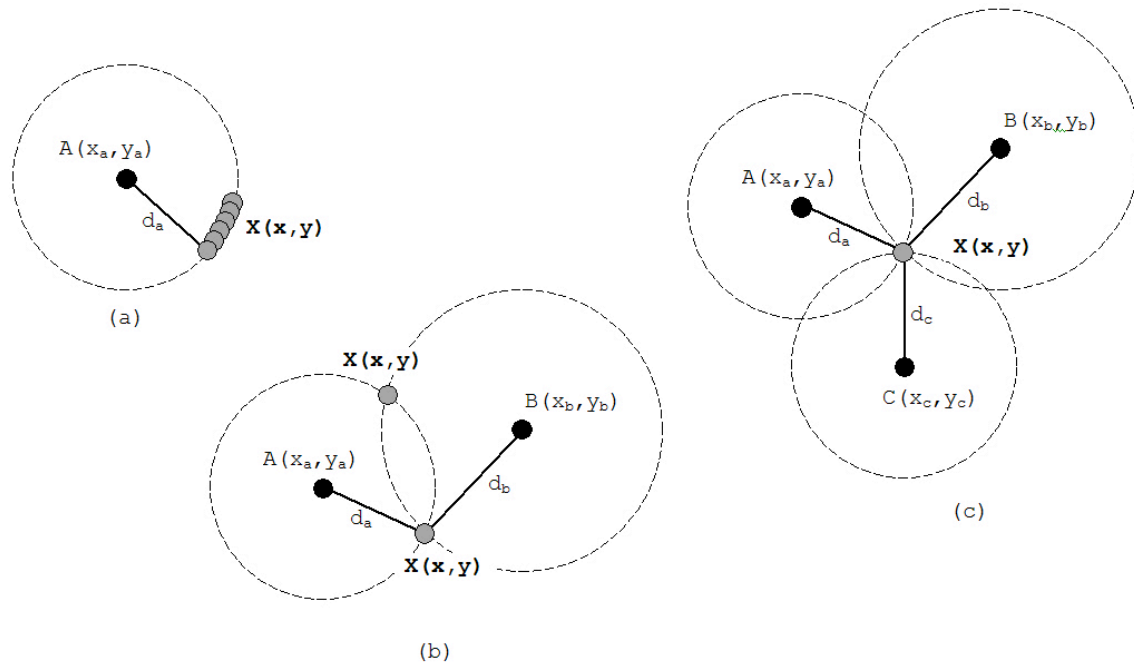
$$x = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad y = \frac{\tan \beta \cdot \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta}$$



Figuur 4-8 Triangulation

4.4 Time of Arrival (TOA)

De *Time of Arrival* locatiebepaling methode is gebaseerd op de precieze meting van de aankomsttijd van een signaal, die van een handheld naar verschillende ontvangende sensoren gestuurd wordt. Omdat de signalen zich met een bekende snelheid voortplanten (ongeveer de snelheid van het licht: ± 300000 km/sec) kan de afstand tussen de handheld en de ontvangende sensor berekend worden aan de hand van de verstreken tijd. Dit kan via de formule: $d = c(t)$, waarin d gelijk is aan de afstand, c de snelheid van het licht en t de verstreken tijd. De techniek maakt dus gebruik van de absolute tijd van aankomst bij een bepaalde ontvanger. Dit, in tegenstelling tot het verschil in aankomsttijd tussen twee ontvangers (zie *TDOA*, paragraaf 4.5). Het is voor de *TOA* techniek dus van cruciaal belang dat er de start- en aankomsttijd van het signaal precies bekend zijn. Alle ontvangende sensoren en de zender moeten dus nauwkeurig gesynchroniseerde klokken bevatten. Dit is een nadeel van de *TOA* techniek. Het synchroniseren van de klok van de handheld is vooral in Wi-Fi oplossingen een enorme uitdaging. Gezien de hoge snelheid kunnen zeer kleine verschillen in tijdsynchronisatie tot zeer grote fouten in de locatienuwkeurigheid leiden. Daarom wordt in Wi-Fi netwerken ook vaak gebruik gemaakt van signaalsterkte (paragraaf 4.7). Het berekenen van de uiteindelijke locatie maakt gebruik van het principe *Trilateration*. Deze techniek wordt weergegeven in Figuur 4-9. Bij systemen die gebruik maken van signalen met een mindere snelheid, zoals ultrasound, is de implementatie van een *lateration* methode eenvoudiger [15, 27].



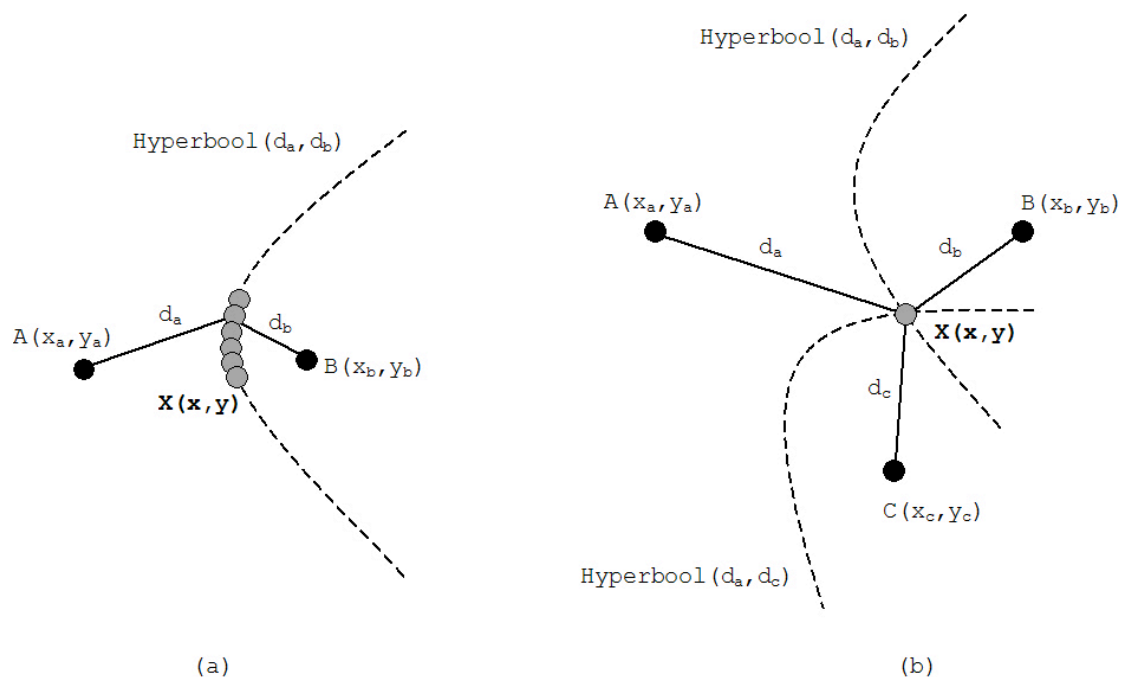
Figuur 4-9 Trilateration

Wanneer maar van één station de aankomsttijd van het signaal bekend is (a), kan dus de afstand (d_a) van de handheld (X) berekend worden. Als deze afstand als straal gebruikt wordt, zal X zich hoogstwaarschijnlijk op de cirkel met afstand d_a tot de zender bevinden. Wanneer er informatie van twee stations bekend is (b), kan de positie van X teruggebracht worden tot twee locaties, namelijk de snijpunten van de cirkels met afstand d_a en d_b . Om tot een precieze locatiebepaling te komen, is de informatie van een derde station nodig (c). De locatie van X bevindt zich dan op het kruispunt van de drie cirkels. *Trilateration* kan aan locatiebepaling doen in zowel 2D als 3D omgevingen. In een 3D situatie zullen bolvormige in plaats van circulaire modellen gebruikt worden. *Trilateration* berekent de positie in n dimensies door de afstand tot $n+1$ referentiepunten te berekenen.

Binnen cellulaire locatiebepaling moeten de *BTS* uitgerust zijn met een zogenaamde *Location Measurement Units (LMU)*. Deze maken connectie met het cellulaire netwerk om radio metingen te kunnen doen ter ondersteuning van LBS. De *Serving Mobile Location Centre (SMLC)* controleert een serie van *LMU* om deze tijdsmeting informatie te kunnen ontvangen. Uit deze informatie kan de *SMLC* de locatie van een handheld bepalen en tevens een indicatie van de nauwkeurigheid van deze informatie geven. De *SMLC* stuurt de ruwe gegevens voor verwerking naar een centraal punt. Hierbij worden de positie- en tijdgegevens losgekoppeld van de cellulaire identificatie, zodat gewaarborgd wordt dat de gegevens niet gebruikt worden voor tracering van specifieke GSM's (en hun gebruikers).

4.5 Time Difference of Arrival (TDOA)

In tegenstelling tot de absolute tijdsmetingen in *TOA* (paragraaf 4.4) maakt de *Time Difference of Arrival* locatiebepaling methode gebruik van relatieve tijdsmetingen tussen iedere ontvangende sensor. Het is daarom niet nodig om een gesynchroniseerde klok te hebben bij het transmissiepunt (bijvoorbeeld de handheld) om de locatie te kunnen bepalen. Bij *TDOA* wordt een transmissie met een onbekende starttijd ontvangen bij verschillende ontvangers. Bij deze ontvangers is tijdsynchronisatie nog steeds noodzakelijk. Voor het berekenen van de uiteindelijke locatie maakt *TDOA* gebruik van het principe *Multilateration*. Deze techniek wordt weergegeven in Figuur 4-10.



Figuur 4-10 Multilateration

Een signaal van transmissiepunt (handheld) X komt aan bij twee verschillende ontvangers A en B, maar omdat B dichterbij is dan A zal deze het signaal eerder ontvangen (a). Door middel van het verschil in aankomsttijd, kan het verschil in afstand berekend worden (met behulp van de lichtsnelheid, zie ook: paragraaf 4.4). De relatieve afstand van X tot A en B is dan bekend. Dit verschil kan gezien worden als een constante: $TDOA_{B-A} = |T_B - T_A| = k$; $|d_B - d_A| = k(c)$. Alle punten, waarvoor het verschil van de afstanden tot twee gekozen punten (de brandpunten, in dit geval A en B) een constante waarde heeft, kunnen worden weergegeven als een hyperbool. Het punt X bevindt zich dus ergens op de Hyperbool(d_a, d_b). Wanneer er een derde ontvanger C toegevoegd wordt (b) en bijvoorbeeld de Hyperbool(d_a, d_c) berekend wordt aan de hand van de *TDOA*, bevindt het punt X zich op het snijpunt van de hyperbolen. Om aan locatiebepaling in een 3D omgeving te doen, moet er een vierde ontvanger toegevoegd worden. X bevindt zich dan op het snijpunt van de hyperboloïdes. *Multilateration* berekent de positie in n dimensies door het verschil in afstand van n referentiepunten tot een $(n+1)$ de referentie te berekenen.

4.6 (Enhanced) Observed Time Difference ((E)-OTD)

De *E-OTD* locatiebepaling methode maakt gebruik van hetzelfde principe als *TDOA* (paragraaf 4.5) om aan locatiebepaling te doen. Het grote verschil met deze techniek is dat bij *E-OTD* de uiteindelijke locatiebepaling op de handheld zelf plaatsvindt, niet op de BTS of andere LMU. Het is dus nodig om extra functionaliteit aan de handheld toe te voegen. Handhelds in *E-OTD* systemen zijn uitgerust om aan locatiebepaling in een netwerk te doen, terwijl de BTS asynchroon zijn. In een mogelijke implementatie van deze methode rapporteert de handset de gemeten tijden van drie basisstations, gecombineerd met tijdsgegevens van verschillende punten in het netwerk (de *LMU*) om de locatie van de handset te bepalen. Er worden drie fundamentele tijdseenheden geassocieerd met deze locatiebepaling methode [28]. Aan de hand van deze eenheden kan de locatie van de handheld bepaald worden.

Observed Time Difference (OTD): Tijdsinterval tussen het ontvangen van signalen van twee verschillende BTS. t_1 is het moment dat het signaal van BTS1 ontvangen wordt en t_2 het moment dat het signaal van BTS2 ontvangen wordt.

$$OTD = t_2 - t_1$$

Real Time Difference (RTD): Het synchronisatie verschil tussen twee BTS. Als de $RTD=0$, gaat het om een gesynchroniseerd netwerk. Verstuurde signalen vanuit een BTS bevinden zich in een *timeslot*. Zo'n timeslot wordt ook wel beschouwd als een *burst*. Tijdens een opbouw voor een verbinding worden er verschillende *bursts* verzonden. t_3 is het moment dat BTS1 een *burst* stuurt, t_4 is het moment dat BTS2 een *burst* verstuurt.

$$RTD = t_4 - t_3$$

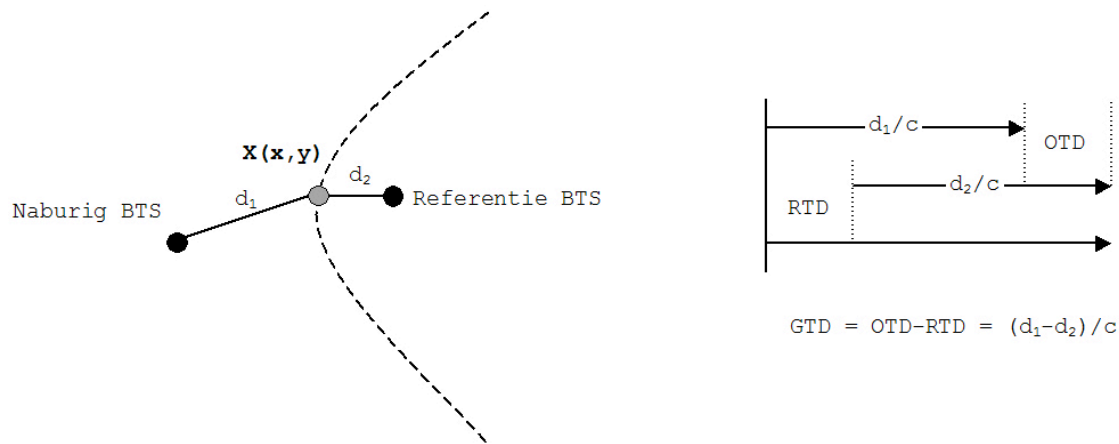
Geometric Time Difference (GTD): Propagatie tijdsverschil tussen twee BTS. Dit is het tijdsverschil dat de handheld meet tussen twee *bursts* van twee BTS. Propagatie, of voortplanting, is de wijze waarop de golven zich voortplanten (zie ook *path loss* in paragraaf 4.7). d_1 is de lengte van het *propagation path* tussen BTS1 en de handheld, d_2 is de lengte tussen BTS2 en de handheld.

$$GTD = \frac{d_2 - d_1}{c}$$

Hierin is c de snelheid van het licht. Verder geldt dat:

$$GTD = OTD - RTD$$

Dit wordt weergegeven in Figuur 4-11. Dit is een vorm van hyperbolische *E-OTD* (vergelijkbaar met de berekening die *TDOA* uitvoert).



Figuur 4-11 Hyperbolische E-OTD

4.7 Received Signal Strength (RSS)

De voorgaande methoden maken gebruik van tijd om de afstand tot een punt te bepalen. Maar *Trilateration* en *multilateration* kunnen ook gebruik maken van de ontvangen signaalsterkte. In deze methode wordt de ontvangen signaalsterkte door de handheld of de ontvangende sensor gemeten. Met kennis over het uitgangsvermogen van de zender samen het signaalverlies kan de afstand berekend worden. Des te verder de ontvanger zich van de zender bevindt, des te meer signaalverlies er opgetreden is. Voor het bepalen van het signaalverlies wordt een zogenaamd *path loss* model gebruikt. Een gebruikelijk voorbeeld van een dergelijk model is:

$$PL = PL_{1Meter} + 10\log(d^n) + s$$

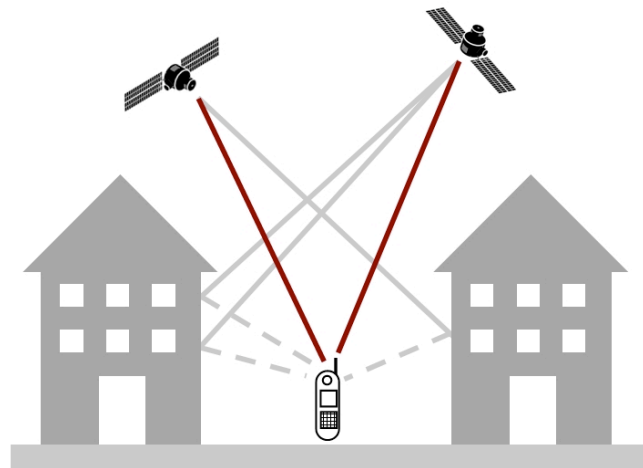
Waarvoor geldt:

- PL de totale *path loss* ervaren tussen de ontvanger en verzender in dB;
- PL_{1meter} referentie *path loss* in dB voor de gewenste frequentie als de afstand tussen zender en ontvanger 1 meter is;
- d afstand tussen zender en ontvanger (in meters)
- n de *path loss* exponent voor de omgeving
- s de standaardafwijking in verband met de mate van *shadow fading* in de omgeving, in dB.

Path loss is dus de vermindering van de vermogensdichtheid (demping) van een elektromagnetische golf als deze zich voortplant door de ruimte. Dit staat gelijk aan het verschil in niveau van het uitgezonden signaal bij de zender en het niveau van het ontvangen signaal bij de ontvangende antenne. Dit verlies wordt veroorzaakt door de effecten als reflectie, diffractie en verstrooiing. De *path loss* exponent (n) geeft het percentage waarmee de *path loss* toeneemt over afstand weer. De waarde van deze exponent hangt samen met de frequentie en de omgeving en is voornamelijk afhankelijk van de mate van belemmering

(*noise*) die in de omgeving aanwezig is. *Shadow fading* is een verschijnsel dat zich voordoet wanneer een mobiel apparaat zich achter een obstructie beweegt waardoor het een significante afname in signaalsterkte ondergaat. Deze afwijking (s) hangt bijvoorbeeld af van het aantal obstakels dat aanwezig is. Of bijvoorbeeld oriëntatie verschillen tussen zend- en ontvangstantennes.

Een ander probleem waar signalen mee te maken kunnen krijgen zijn zogenaamde *multipath effecten*. *Multipath* is het verschijnsel waarbij radiosignalen een ontvanger via twee of meer verschillende paden bereiken. Een oorzaak van *multipath* is bijvoorbeeld reflectie van waterlichamen en aardse objecten, zoals bergen en gebouwen. Dit verschijnsel wordt weergegeven in Figuur 4-12.



Figuur 4-12 Multipath

4.8 Kenmerken

Iedere locatiebepaling methode heeft zijn eigen kenmerken. Drie daarvan zijn van belang bij de keuze voor een van deze methoden: nauwkeurigheid, aanpassingen aan het netwerk en aanpassingen aan de handheld. Aanpassingen aan het netwerk of de handheld kunnen vanzelfsprekend kosten met zich meebrengen. Deze kenmerken worden samengevat in Figuur 4-13. Cell ID maakt gebruik van standaard functionaliteit van het mobiele netwerk. Het is daarom niet nodig om aanpassingen aan de handheld of het netwerk te doen. Voor de *Enhanced Cell ID* locatiebepaling methode, kan het noodzakelijk zijn om directionele antennes aan het netwerk toe te voegen. Bij de technieken *AOA*, *TOA*, *TDOA* en *E-OTD* moet het netwerk uitgerust worden met *LMU* om aan locatiebepaling te kunnen doen. Aanpassingen aan het netwerk zijn dus noodzakelijk. Verder is het voor *TOA* en *TDOA* van belang dat de interne klokken gesynchroniseerd zijn. Ook daar zijn eventueel aanpassingen in het netwerk voor nodig. Bij de *AOA* methode moet het netwerk eventueel uitgebreid worden met (richtingsgevoelige) gordijnantennes. Omdat bij *E-OTD* en *GPS/A-GPS* de locatiebepaling op de handheld zelf plaatsvindt, zal hier extra functionaliteit aan toegevoegd moeten worden. Bijvoorbeeld extra geheugen of software. Bij *GPS/A-GPS* kan het nodig zijn om een GPS module aan de handheld toe te voegen. Aanpassingen aan de handheld zijn dus

noodzakelijk. Omdat het GPS netwerk reeds aanwezig is, zijn er bij de keuze voor deze techniek geen aanpassingen aan het netwerk meer nodig.

Methode	Netwerk aanpassing	Handheld aanpassing	Nauwkeurigheid
Cell ID	Nee	Nee	100m-3km, afhankelijk van de cel grootte en dichtheid
Cell ID & TA	Nee	Nee	Standaard 500m. Hangt af van de bandbreedte.
AOA	Ja	Nee	100-200 meter
TOA	Ja	Nee	< 50 m
TDOA	Ja	Nee	< 50m.
E-OTD	Ja	Ja	20-200m
GPS/A-GPS	Nee	Ja	1-30m

Figuur 4-13 Overzicht kenmerken locatiebepaling methoden

5 Locatiebepalingstechnieken

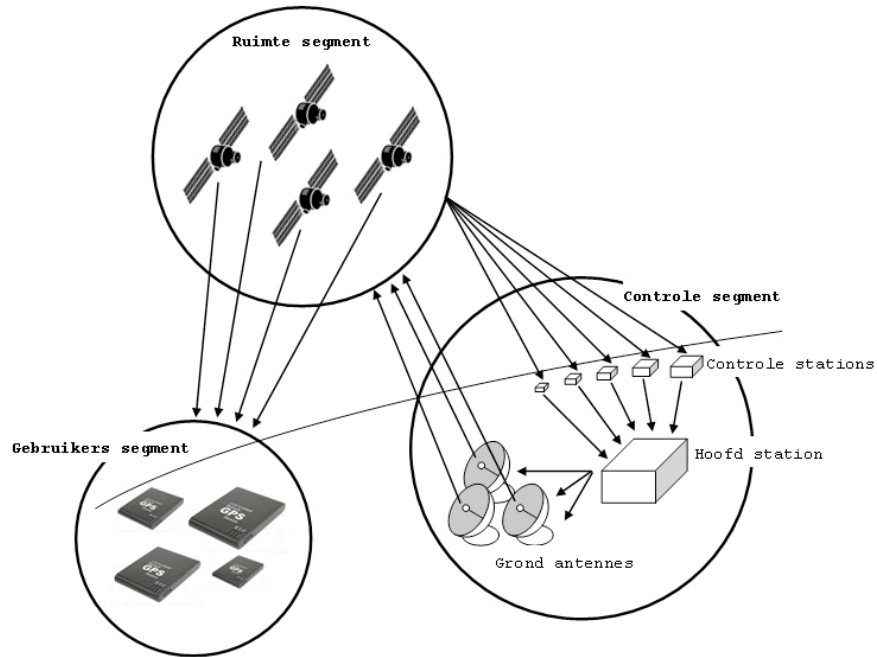
Zoals aangegeven in paragraaf 1.4 is een belangrijk onderdeel van dit onderzoek het in kaart brengen van de verschillende locatiebepalingstechnieken. Figuur 3-8 in hoofdstuk 3 gaf al een overzicht van de technieken die van belang zijn om op te nemen in dit onderzoek. In dit hoofdstuk zullen deze technieken aan bod komen.

5.1 Satelliet navigatie

Locatiebepaling buitenshuis is op dit moment vrijwel exclusief voorbehouden aan satelliet navigatie, in het bijzonder GPS [10, 12]. Het *TRANSIT* navigatie systeem, ook wel bekend als *NAVSAT* (*Navy Navigation Satellite System*), was het eerste operationele navigatie systeem dat gebruik maakte van satellieten [10, 29, 30]. De ontwikkeling van het systeem begon in 1958 en de eerste prototype satelliet werd in 1959 gelanceerd. Deze satelliet slaagde er niet in om in een baan rond de aarde te raken. De tweede satelliet werd wel succesvol gelanceerd in 1960. Het systeem is operationeel sinds 1964. Rond 1979 was de Russische tegenhanger van Transit systeem operationeel, genaamd *Cicade*. Beide systemen maakten gebruik van de afwijking in het radiosignaal door het Doppler effect. Omdat de baan van de satelliet bekend was, kon men uit die afwijking de locatie van de ontvanger afleiden. Het Transit systeem is tussen 1996 en 2000 stopgezet na meer dan 30 jaar trouwe dienst. Tegen die tijd was het Amerikaanse ministerie van defensie volledig omgeschakeld naar het nieuwe *Global Positioning System* (*GPS*). Omdat ook nu Amerika niet de gehele markt voor zichzelf mocht hebben, ontwikkelde in de jaren '80 de voormalige Sovjet-Unie een vergelijkbaar systeem onder de naam *Global Navigation Satellite System*, ofwel *GLOBAL'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (*GLONASS*). Deze modernere systemen gebruiken meer informatie van de satelliet, zoals tijdsgegevens uit de interne atoomklok. Hier zal in de volgende subparagrafen wat dieper op ingegaan worden. De ontwikkeling van deze satelliet systemen zorgde ervoor dat andere grootmachten niet achter kunnen blijven. Dit heeft geleid tot de ontwikkeling van het *Galileo* systeem in Europa en het *Compass* systeem in China.

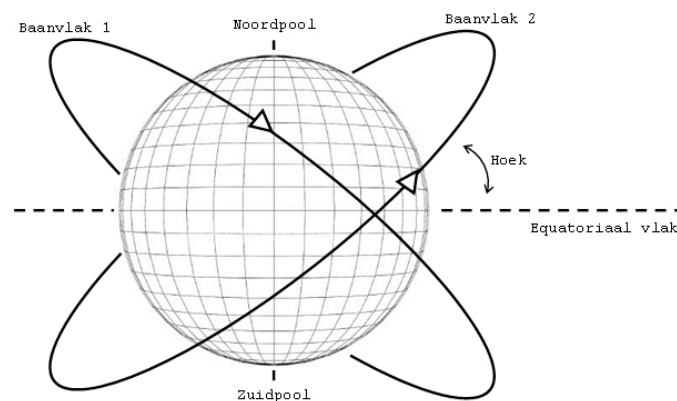
Het Global Positioning System is op dit moment het enige volledig operationele systeem. Dat is het al sinds 1995 en daardoor wordt de term GPS vaak gebruikt voor satelliet navigatie in het geheel. Tegenwoordig is het daarom gebruikelijk om voor satelliet navigatie de term *Global Navigation Satellite System* (*GNSS*) te gebruiken, om de andere technieken niet uit te sluiten [3]. GPS en GLONASS worden algemeen aangeduid als de eerste generatie GNSS (GNSS-1). Galileo wordt als tweede generatie aangeduid (GNSS-2). Maar de huidige uitgebreide ontwikkelingen binnen GPS en GLONASS, zullen er voor zorgen dat ook deze technieken als tweede generatie gezien kunnen worden. Ook het te ontwikkelen Compass systeem zal in deze generatie passen.

GNSS kunnen onderverdeeld worden in drie delen: het ruimte segment, het controle segment en het gebruikers segment. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-1. Hierin wordt uitgegaan van de onderverdeling die bij GPS gemaakt kan worden, maar de segmenten in de andere GNSS zijn vergelijkbaar.



Figuur 5-1 Segmenten in GNSS (GPS)

Het *ruimte segment* bestaat uit satellieten die in bepaalde baanvlakken om de aarde draaien. De aarde kan 'opgedeeld' zijn in verschillende baanvlakken. Dit is een denkbeeldig plat vlak dat de baan van een satelliet bevat. Het baanvlak doorsnijdt het middelpunt van de aarde. Deze vlakken kunnen een bepaalde lengte en hoek hebben. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-2.



Figuur 5-2 Baanvlakken

Twee categorieën van baanvlakken dienen nog genoemd te worden: *geostationaire-* en *geosynchrone banen*. Geostationaire satellieten bevinden zich in de *geostationaire baan*. Deze baan is de cirkelvormige baan rond de aarde waar een satelliet stil lijkt te staan ten opzichte van het aardoppervlak. De omlooptijd voor deze baan is exact gelijk met de rotatie van de aarde, en de positie is recht boven de evenaar.

Wanneer de satellietbaan een inclinatie vertoont ten opzichte van het equatoriaal vlak, spreekt men niet meer van een geostationaire satelliet maar wel van een geosynchrone satelliet. Deze hebben dezelfde omlooptijd als de draaitijd van de aarde, maar bevinden zich niet permanent boven dezelfde plek. Ze bevinden zich niet boven de evenaar en/of lopen niet in een cirkelvormige baan. Het aantal satellieten, de baanvlakken en de hoogte waarop ze cirkelen is bij de verschillende technieken anders. Dit wordt schematisch weergegeven in Figuur 5-3. De gegevens zijn afgeleid uit [31, 32, 33]. Daarbij dient opgemerkt te worden dat tijdens dit schrijven van het Compass systeem niet alle gegevens bekend zijn.

	Satellieten	Hoogte	# Baanvlakken	Hoek	Omtrek baanvlak	Periode
GPS	30	± 20.180	6	55°	26.560	11u. 58m.
GLONASS	24	± 19.100	3	64,8°	25.510	11u. 15m.
Galileo	30	± 23.200	3	56°	29.994	14u. 04m.
Compass	30 + 5 GEO	± 21.500	--	55°	--	12u. 30m.

Figuur 5-3 Vergelijking van de 4 GNSS

De satellieten versturen een speciaal radio signaal naar de ontvangers, dat gebruikt kan worden voor navigatie en positionering. Dit relatief zwakke signaal kan zich eenvoudig door de atmosfeer bewegen, maar wordt grotendeels belemmerd door massieve objecten, zoals gebouwen of gebergtes. Zonder deze obstructie moet het, in principe, mogelijk zijn om overal op aarde het signaal van minimaal 4 satellieten te kunnen ontvangen.

Het *controle segment* wordt gebruikt voor een verscheidenheid aan taken. Een van de taken is het synchroniseren van de klokken in de satellieten. Verder worden in dit segment alle verzonden signalen gecontroleerd. Ook kan informatie over de baan van de satellieten berekend worden. Deze informatie kan dan teruggestuurd worden naar de satelliet, zodat deze dit weer door kan geven aan alle gebruikers. Een andere taak is het terugsturen van eventuele signaalcorrecties. Bij GPS bestaat dit segment uit vijf onbemande controle stations en één bemand hoofdstation. Ook het GLONASS systeem bestaat uit één systeem controle centrum en verder een netwerk van volgstations verspreid over Rusland [33]. De kern van het controle segment van Galileo zal uit twee controle stations bestaan. Ieder station zal ‘controle’ functies, ondersteund door een speciaal *Ground Control Segment (GCS)* en ‘missie’ functies, ondersteund door een speciaal *Ground Mission Segment (GMS)* uitvoeren. Het GCS zal zich, net zoals bij GPS en GLONASS, bezig houden met het onderhoud van de gegevens van de satellieten. Het GMS zal controle op het navigatiesysteem uitvoeren. Het GCS zal uit een globaal netwerk van vijf stations bestaan. Het GMS zal een globaal netwerk van dertig *Galileo Sensor Stations (GSS)* gebruiken om de navigatie signalen van alle satellieten continu in de gaten te kunnen houden²³.

Het *gebruikers segment* omvat alle militaire en civiele gebruikers die ontvangers gebruiken. Deze gebruikers ontvangen de satelliet signalen, waarmee de locatie en andere navigatie informatie bepaald kunnen worden.

²³ ESA Navigation - Full deployment and operations; http://www.esa.int/esaNA/SEM5K8W797E_galileo_2.html

Satelliet navigatie is een tijdsgebaseerde positioneringmethode. Om aan locatiebepaling te kunnen doen, zijn twee zaken van belang: tijdsinformatie (voor het synchroniseren met de atoomklokken) en informatie over het precieze model van de baan van de satellieten. De satellieten sturen continu een signaal uit met deze informatie. Dit signaal is opgebouwd uit drie type informatie: de *almanak*, de *ephemeris* en de *C/A*- en *P-code*. De *almanak* bevat gegevens over het gehele satelliet netwerk, ook wel de *constellatie* genoemd. Uit deze gegevens kan worden berekend op welke plaats en op welke tijd zich een satelliet zal bevinden ten opzichte van de plaats waar de almanak werd ontvangen. Een almanak kan maanden lang worden gebruikt zonder te worden ververs. Als deze ververs moet worden, dan gebeurt dat aan de hand van de informatie uit het controle segment. Het *ephemeris* signaal bevat actuele gegevens over de baan waarin een satelliet zich bevindt op het moment van ontvangst. De *ephemeris* (Grieks voor dagelijks) is goed voor ongeveer zes uur gebruik. De *almanak* en de *ephemeris* vormen samen de *Navigation Message (NM)*. De *C/A (Coarse Acquisition code)*- en *P-code* bevatten de tijdsinformatie die wordt gegenereerd door de atoomklokken in de satelliet. De tijd informatie is bepalend voor het uitrekenen van de afstand tussen ontvanger en satelliet. De ontvanger zoekt naar satellieten en decodeert daarna de verstuurd informatie om aan locatiebepaling te kunnen doen. De uiteindelijke positionering vindt plaats door middel van 3D *lateration* methoden (paragraaf 4.4, 4.5) met vier satellieten [3, 10, 15]. Hiervoor moet de interne klok van de ontvanger continu gesynchroniseerd worden met de interne atoomklokken in de satellieten.

Het grootste probleem met satelliet navigatie is dat het uitsluitend buitenshuis werkt [3, 6, 10, 15]. Zoals eerder aangegeven wordt het relatief zwakke signaal belemmerd door massieve objecten. Ook kunnen de signalen te maken krijgen met multipath effecten (paragraaf 4.7). Verder is het voor deze vorm van positionering nodig om een aantal berekeningen uit te voeren voordat aan locatiebepaling gedaan kan worden. Dit heeft te maken met de synchronisatie van de ontvanger met de atoomklokken en het precieze model van de baan van de satellieten. De tijd die nodig is voor deze berekeningen is zeer verschillend voor een koude start (de eerste keer dat een positie nodig is) en erop volgende metingen [6]. Een andere tekortkoming is op dit moment het batterijverbruik van de ontvanger [5, 6]. Een van de drijfveren van de ontwikkeling van tweede generatie GNSS is het oplossen van een aantal van deze tekortkomingen van satelliet navigatie.

5.1.1 GPS

Zoals aangegeven in paragraaf 5.1 is GPS de directe opvolger van het TRANSIT navigatie systeem. De officiële naam is NAVSTAR GPS. Dit wordt meestal vertaald naar *Navigation Satellite Time And Ranging*. De constellatie bestaat uit minstens 24 satellieten. 21 daarvan zijn bedoeld voor de locatiebepaling en er zijn 3 reserve satellieten. De banen van de satellieten zijn zo ingedeeld dat er zich vrijwel overal op aarde minstens vier in het zichtveld bevinden (zie ook paragraaf 5.1). Het lanceren van de GPS satellieten begon in 1978 en het netwerk was officieel volledig operationeel vanaf april 1995. Sinds februari 2007 zijn er 30 actief verzendende satellieten in de GPS constellatie.

Oorspronkelijk was GPS puur ontwikkeld voor militaire doeleinden. Het moest ervoor zorgen dat Amerikaanse en geallieerde strijdkrachten een voordeel zouden hebben ten opzichte van vijanden op het

gebied van positionering en navigatie. In 1983 werd het burgervliegtuig Korean Airlines Flight 007 (KAL 007) neergeschoten toen het afgedwaald was naar verboden luchtruim boven de Sovjet-Unie. Hierbij kwamen alle 269 inzittenden om het leven. Na dit incident kondigde president Reagan aan dat GPS, zodra het afgerond was, ook beschikbaar zou zijn voor burgergebruik [30].

In hetzelfde jaar kondigde het Amerikaans ministerie van Defensie aan dat GPS voor burgergebruik maar een maximale nauwkeurigheid van 100 meter zou kunnen bereiken. Dit gebeurde door een ingebouwde (encryptie) fout in de signalen. Dit foutstelsel werd *Selective Availability (SA)* genoemd [3, 10, 30]. SA werd voor het eerst geactiveerd in maart 1990. Tijdens de Golfoorlog van '90-'91 was er een tekort aan militaire GPS ontvangers. Dit zorgde ervoor dat veel troepen reeds beschikbare GPS ontvangers voor burgers aanschafte. Het leger besloot daarom SA tijdelijk uit te zetten tijdens de oorlog. Midden jaren '90 begon de *Federal Aviation Administration (FAA)* steeds meer druk uit te oefenen op het ministerie van Defensie om SA permanent uit te zetten. Dit zou de FAA namelijk miljoenen dollars per jaar schelen in het onderhoud van hun eigen radio navigatie systemen. President Clinton kondigde uiteindelijk aan de SA-fout naar 0 teruggebracht moest worden in 2006.

Een aantal zaken zorgde ervoor dat SA al in 2000 uitgezet is, zes jaar eerder dan het schema. Allereerst kwam er een steeds grotere vraag vanuit commerciële gebruikers. Verder vond er ontwikkeling plaats van het zogenaamde *Differential Global Positioning System (DGPS)*. Dit systeem is een aanvullend locatiebepaling systeem, waarmee de nauwkeurigheid van GPS verbeterd wordt. DGPS bepaald de signaalfout door het ontvangen GPS signaal te vergelijken met een bekende locatie. Daarna wordt deze foutmeting doorgestuurd naar de ontvangers. Een andere reden was de toenemende dreiging van de Galileo- en GLONASS navigatie systemen. De belangrijkste reden voor het uitzetten van SA in 2000 was de ontwikkeling van een nieuw systeem door het Amerikaanse leger. Dit systeem maakt het mogelijk om GPS (en andere navigatie gegevens) te weigeren aan vijandige strijdkrachten in een specifiek crisisgebied, zonder dat de rest van de wereld of het eigen systeem daardoor beïnvloed wordt.

Er zijn structurele verbeteringen aangebracht om de nauwkeurigheid van de GPS signalen te verhogen. Veel onderzoek is gebaseerd op de verbetering van de GPS ontvangers. Uitbreiding met systemen als DGPS en *WAAS (Wide Area Augmentation System)*, die gebruik maken van berekende signaalfouten, kunnen de nauwkeurigheid verbeteren. WAAS is een navigatiesysteem, bestaande uit een aantal grondstations en een aantal geostationaire satellieten. Dit soort systemen worden aangeduid als *Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)*.

5.1.2 GLONASS

Het Global Navigation Satellite System (GLONASS) is ontwikkeld en uitgezet als de Russische tegenhanger van het Amerikaanse GPS systeem. Net als bij GPS zal de volledig operationele constellatie uit 24 satellieten bestaan. Ook GLONASS werd ontwikkeld voor militaire doeleinden, maar het bevat geen SA. De Russische regering beweert dat het ook niet de intentie heeft om doelbewust het burger signaal te verslechteren. Dus de volledige nauwkeurigheid van GLONASS zal te allen tijde beschikbaar zijn voor commercieel gebruik [30].

De Sovjet Unie plaatste de eerste operationele GLONASS satelliet in een baan om de aarde in 1982. In 1995 lanceerde de Russen negen GLONASS ruimtevaartuigen, waarmee de GLONASS constellatie compleet was met 24 primaire en 1 reserve satelliet. Na deze voltooiing viel het systeem snel in verval door de val van de Sovjet Unie en de ineenstorting van de Russische economie. De drie jaar erna volgde er geen lanceringen en door de relatief korte levensduur van drie jaar, waren er nog maar 11 satellieten operationeel in 1998.

Een speciaal programma, genaamd Global Navigation System, werd door de Russische regering opgezet in 2001. Dit moest ervoor zorgen dat het GLONASS systeem volledig operationeel was (met 24 satellieten in een baan om de aarde en een continue globale dekking) voor 2011. In 2005 is het Russische ruimteagentschap een samenwerkingsverband aangegaan met het Indiase ruimteagentschap. De twee regeringen hebben afgesproken dat ze samen gaan werken om de constante dekking van het Russische en Indische grondgebied te bewerkstelligen voor 2008 (met 18 satellieten). De constellatie moet volledig operationeel zijn met 24 satellieten voor 2010. Eind 2007 waren er 18 satellieten operationeel, genoeg voor een continue dekking van het Russische en Indiase grondgebied.

5.1.3 Galileo

Door de snelle ontwikkelingen van militaire en economische toepassingen van GPS satelliet navigatie, vreesde de Europese Commissie dat ze strategisch te afhankelijk van het Amerikaanse systeem zouden worden. Daarom werden in 1995 de eerste stappen voor een Europees GNSS gezet. De *European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)* is volledig operationeel sinds juli 2005 en bestaat uit drie geostationaire satellieten en een netwerk van grondstations [30]. Het EGNOS systeem gebruikt signalen van de GPS- en GLONASS satelliet constellaties om gebruikers navigatie en positioneringdiensten met hoge prestaties aan te bieden. Het systeem is bedoeld als aanvulling op GPS, GLONASS en Galileo door te rapporteren over de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de signalen. Het is vergelijkbaar met het Amerikaanse WAAS systeem en wordt ook gezien als een vorm van SBAS (paragraaf 5.1.1).

EGNOS is de eerste fase van het Europese GNSS. De tweede fase is door de Europese Commissie Galileo genoemd. Ervaringen met EGNOS hebben bijgedragen bij de ontwikkeling van het Galileo navigatie systeem. In 2003 vormden de Europese Commissie en de European Space Agency (ESA) formeel de *Galileo Joint Undertaking* om de ontwikkelingsfase van het Galileo project te besturen, voldoende geld op te brengen en Galileo en EGNOS te integreren. De kern van het Galileo systeem zal bestaan uit een wereldwijde constellatie van 30 satellieten, waarvan 27 actief en 3 reserve. De planning is dat het commerciële Europese navigatiesysteem in 2013 in gebruik zal worden genomen (zie ook paragraaf 2.2.2.3). Het Galileo systeem zal een onafhankelijk systeem worden, maar is wel complementair met zowel GPS als GLONASS [3, 5, 10, 30]. Het systeem zal opgebouwd zijn uit vijf verschillende diensten [3, 10, 30].

- *Open Service (OS)*. Deze dienst wordt (gratis) aangeboden aan consumenten. De dienst zal gericht zijn op massamarkt applicaties. Het zal een combinatie van Galileo en GPS signalen gebruiken om de prestaties te verbeteren wanneer nodig;
- *Safety of Live Service (SoL)*. Deze dienst zal net zo nauwkeurig zijn als de OS, maar het zal optimaal geïntegreerd zijn met EGNOS om een hoge integriteit en een gegarandeerd signaal te kunnen leveren. Deze dienst kan gebruikt worden wanneer er levens op het spel staan. Voorbeelden zijn assistentie bij het landen van vliegtuigen en scheepsnavigatie in kustwateren;
- *Commercial Service (CS)*. Deze dienst kan gebruikt worden als waarde toegevoegde dienst (*Value Added Service, VAS*), maar enkel voor commerciële en professionele applicaties. Deze betaalde dienst voegt twee versleutelde signalen toe om de nauwkeurigheid te verbeteren.
- *Public Regulated Service (PRS)*. Deze dienst is alleen bedoeld voor overheden, zoals politie en brandweer. Deze versleutelde dienst biedt een zeer hoge continuïteit. Het bevat een zeer robuust signaal dat bestand is tegen (opzettelijke) storingen en spoofing.
- *Search and Rescue*. Deze dienst zal zeer nauwkeurig wereldwijd verstuurd noodsignalen kunnen lokaliseren.

Een overzicht van de verschillende diensten wordt weergegeven in Figuur 5-4 [3, 10].

	OS	SoL	CS		PRS	
Bereik	Globaal	Globaal	Globaal	Lokaal	Globaal	Lokaal
Nauwkeurigheid	H = 4m.	4-6m.	< 1m.	< 10 cm.	H = 6,5m.	1 m.
- Horizontaal (H)	V = 8m.	(<i>duale freq.</i>)	(<i>duale freq.</i>)	(<i>lokaal</i>	V = 12m.	(<i>lokaal</i>
- Verticaal (V)	(<i>duale freq.</i>)			<i>verbeterde</i>		<i>verbeterde</i>
	H = 15m.			<i>signalen</i>)		<i>signalen</i>)
	V = 35m.					
	(<i>enkel. freq.</i>)					
Bereikbaarheid	99,8%	99,8%	99,8%		99-99,9%	
Integriteit	Nee	Ja	VAS		Ja	

Figuur 5-4 Galileo diensten

5.1.4 Beidou/Compass

De ontwikkeling van het Chinese GNSS begon met de ontwikkeling van het Beidou-I systeem. De Beidou-I constellatie zal uit vijf geosynchrone satellieten bestaan: drie operationele en twee reserve satellieten [34, 35]. Er zijn vier Beidou satellieten gelanceerd: twee in 2000, één in 2003 en nog één in 2007. De eerste drie satellieten zullen gebruikt worden als een demonstratie systeem dat basis diensten als positionering en communicatie kan leveren [34]. Dit systeem (Beidou-I) is alleen bereikbaar vanuit China en kan vergeleken worden met de andere SBAS systemen als WAAS en EGNOS (zie vorige paragrafen). Het Beidou-I systeem zal uitgebreid worden naar een globaal satelliet navigatie systeem onder de naam Beidou-II/Compass.

GPS, GLONASS en Galileo maken gebruik van satellieten in een baan om de aarde. Het Chinese Compass navigatie systeem positioneert vijf satellieten in een geostationaire baan boven China. Ze bewegen dus niet relatief tot het aardoppervlak (zie ook paragraaf 5.1). De 30 overige satellieten draaien om de aarde op een vergelijkbare manier als de andere drie GNSS systemen. Tot nu toe zijn de plannen voor dit systeem in geheimzinnigheid gehuld, met ambtenaren die herhaaldelijk weigeren commentaar te geven over het project [30, 35].

Het Compass systeem zal uit twee diensten bestaan: een *geautoriseerde*- en een *open dienst* [34, 35]. De *geautoriseerde dienst* is initieel ontwikkeld voor militaire doeleinden en garandeert een hoge betrouwbaarheid, zelfs in complexe situaties. Deze dienst is nauwkeuriger dan de *open dienst*, kan gebruikt worden voor communicatie en kan informatie over het status systeem naar de gebruiker sturen. In 2006 kondigde China aan dat naast de (versleutelde) geautoriseerde dienst voor militairen, Compass ook een *open dienst* zou bevatten. Deze *open dienst* is gratis voor gebruikers en zal een nauwkeurigheid van ongeveer 10m. halen, een tijdsnauwkeurigheid van 20 nanoseconde en een snelheidsnauwkeurigheid van 0,2 m/s.

Deze uitbreiding voor burgerdoeleinden van het Chinese systeem kan de business case van het Galileo project ondermijnen. Aanvankelijk werd er door experts vanuit gegaan dat China het Compass systeem alleen ging gebruiken om de militaire strijdkrachten te ondersteunen. Donateurs van het Galileo project waren van plan om ontvangers en *Commercial Service* abonnementen te verkopen in China. De *open dienst* van Compass zal ervoor zorgen dat een groot aantal potentiële Chinese Galileo klanten de keus hebben om de beste aanbieding te kiezen. Dit kan dus aanzienlijke invloed hebben op het business plan van de Europese GNSS. Ironisch hierin is dat de Chinese overheid en bedrijfsleven in 2003 toegetreden zijn tot het Galileo project met een investering van meer dan 200 miljoen Euro, terwijl op dat moment Compass zich als een potentiële concurrent aan het ontwikkelen was [30, 35].

5.2 Cellulair

Over locatiebepaling in het cellulair netwerk is in de vorige hoofdstukken al veel geschreven. De ontwikkelingen binnen het Global System for Mobile Communications worden gezien als een van de drijfveren van LBS (hoofdstuk 1). Dit heeft mede te maken met de toename van het GSM gebruik (paragraaf 2.1). Mobiele telefoons kunnen uitgerust zijn met GPS ontvangers of andere positioneringcomponenten (paragraaf 2.2.2.3), maar bij de cellulair locatiebepalingstechniek wordt er gekeken naar locatiebepaling door middel van het netwerk zelf. De huidige ontwikkelingen in de 3^e en 4^e generatie cellulair netwerken zorgen voor meer mogelijkheden op dat gebied (paragraaf 2.2.2.2). Alle methoden die behandeld zijn in hoofdstuk 4 kunnen toegepast worden bij locatiebepaling in het cellulair netwerk. Methoden als *proximity sensing* en *Cell ID* kunnen vrij eenvoudig toegepast worden bij cellulair locatiebepaling. Voor hogere nauwkeurigheidsniveaus, waarbij gebruik gemaakt wordt van lateration technieken, is zowel programmatuur nodig op de telefoon als samenwerking tussen de verschillende telefoonmaatschappijen, die deze techniek inzetten. Het cellulair netwerk heeft een globale dekking, maar juist deze samenwerking houdt de ontwikkeling van locatiebepaling, puur gebaseerd op GSM signalen, tegen [37].

5.3 Televisie

Momenteel is deze technologie nog in een vroeg stadium van ontwikkeling en is er in wezen slechts een commerciële leverancier, Rosum Corporation²⁴. Rosum is het eerste bedrijf dat analoge, digitale en mobiele TV signalen gebruikt voor locatiebepaling. Televisie is een van de meest invloedrijke technieken in onze tijd. Ook al is het niet primair ontwikkeld om aan locatiebepaling te doen; het is een zeer geschikte potentiële optie.

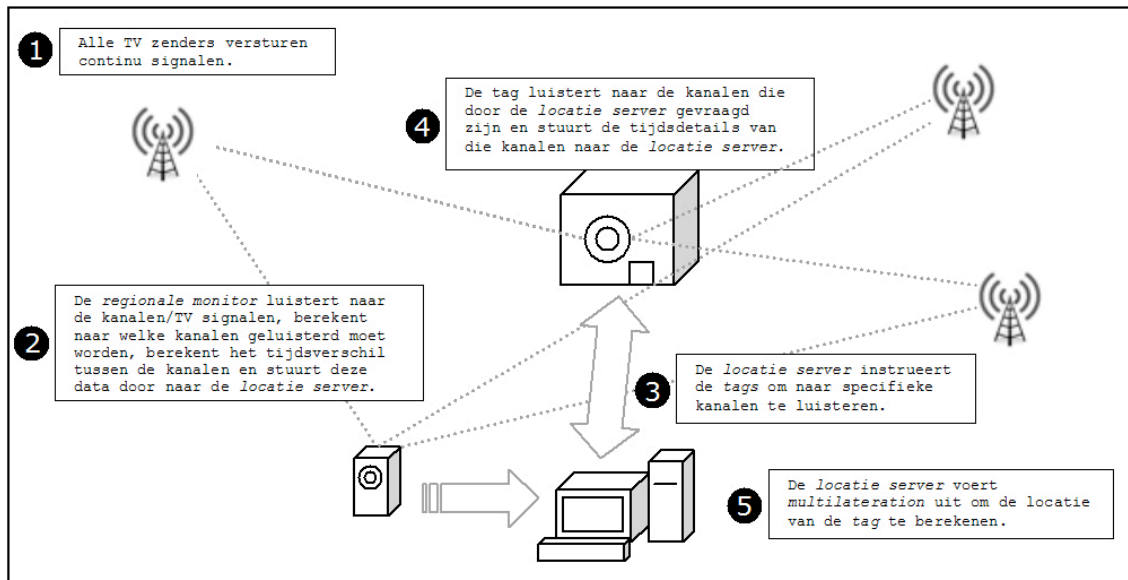
TV signalen zijn zeer krachtige signalen met uitzendingvermogens van honderden kilowatts of megawatts. Verder worden TV signalen op een zeer lage frequentie uitgezonden, zodat ze eenvoudig gebouwen binnendringen. Door deze twee eigenschappen hebben TV signalen een *position link margin* die 50dB hoger is dan bijvoorbeeld GPS. *Position link margin* is de ratio tussen het laagst bruikbare vermogen en het vermogen buitenshuis. Dit staat gelijk aan het aantal demping dat een signaal kan hebben, van bijvoorbeeld gebouwen, terwijl het nog bruikbaar blijft. Deze ratio is voor GPS 30dB en voor TV signalen is deze 80dB [14, 46]. Ook worden TV signalen over een grote bandbreedte uitgezonden. Hierdoor zijn ze ongevoelig voor *multipath* effecten (paragraaf 4.7). Een ander groot voordeel van TV voor locatiebepaling is de dekking. Omdat zowel analoge, digitale als mobiele TV signalen voor locatiebepaling gebruikt kunnen worden, is de dekking wereldwijd vrijwel compleet.

In de locatiebepaling oplossing van Rosum wordt gebruik gemaakt van zogenaamde *Femtocell* synchronisatie, door Rosum *FemtoSynch* genoemd. *Femtocells* zijn kleine cellulaire basisstations. Deze worden typische uitgezet in residentiële of kleine bedrijfsomgevingen voor hun basis operaties, te weten frequentie stabiliteit en tijdsynchronisatie met cellulaire netwerken. Het maakt verbinding met een netwerk (zoals GSM) via breedband. Hierdoor kan de provider de dekking van zijn diensten uitbreiden binnenshuis. Door een TV signaal *tag* aan de *femtocell* toe te voegen kan de locatie-informatie van deze stations automatisch berekend worden.

Grondgebaseerde televisie netwerken bestaan uit een serie TV torens. Iedere toren zendt een of meer kanalen uit. Ieder kanaal wordt op zijn eigen frequentie verstuurd, waar door een televisie of tv tuner kaart op afgestemd kan worden. Ieder kanaal heeft zijn eigen timing informatie. Locatiebepaling binnen een dergelijk netwerk gaat als volgt te werk (zie ook Figuur 5-5). De *FemtoSynch tags* bevatten een tv-tuner. Deze *tags* luisteren naar de kanalen en sturen de timing informatie van deze kanalen door naar een centrale *locatie server*. Door middel van *TDOA* (paragraaf 4.5), met kennis van de afstand tot drie of meer torens, kan de *locatie server* de positie van de *tag* bepalen. De locatie van de torens die zenden is bekend, omdat ieder kanaal zijn brontoren uniek identificeert in de omgeving. Een probleem is dat TV zenders uitgerust zijn met klok oscillators, die de kwaliteit van GPS satelliet klokken niet kunnen benaderen. Hierdoor zijn de klokken van verschillende TV stations meestal niet gesynchroniseerd ten opzichte van. Daarom is een extern systeem nodig, de *regionale (of signaal) monitor*. De *regionale monitor* onderzoekt de karakteristieken van de verschillende kanalen om de correcte data te bepalen. Deze data wordt dan doorgestuurd naar de *locatie server*, die het kan gebruiken oor het bepalen van de locatie. Het is mogelijk om een *tag* autonoom zijn positie te laten bepalen (dus zonder het gebruik van een

²⁴ Rosum TV-GPS, <http://www.rosum.com>

externe locatie server). Hiervoor moet de hulpdata, die nu van de regionale monitor naar de locatie server gestuurd wordt, direct doorgestuurd worden naar de *tag*. De *tag* zal dan uitgebreid moeten worden met een locatiebepaling algoritme. Ook kan er gebruik gemaakt worden van pseudo TV zenders, die gesynchroniseerd zijn met GPS tijd. De *tag* gebruikt dan de signalen van deze pseudo zenders.



Figuur 5-5 Locatiebepaling met TV signalen

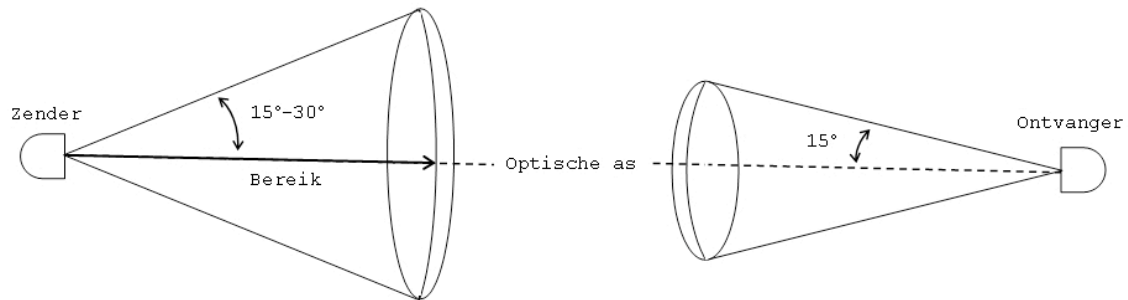
5.4 Infrarood

IrDA (*Infrared Data Association*) is een communicatiesysteem, gebaseerd op infrarood licht. Het wordt algemeen gebruikt in mobiele apparaten voor goedkope punt-tot-puntcommunicatie [11, 20]. Het is de meest voorkomende draadloze verbinding, maar hoe vaak het ook daadwerkelijk gebruikt wordt is onbekend [20]. Digitale camera's, mobiele telefoons en laptops zijn enkele voorbeelden van apparaten die vaak IrDA gebruiken voor draadloze communicatie. IrDA is alomtegenwoordig vanwege het feit dat de infrarood zondontvangtoestellen goedkoop en compact zijn, met een laag energieverbruik [9, 10, 15].

Het IrDA protocol bestaat uit een set verplichte protocollen en een set optionele protocollen. De belangrijkste zijn de verplichte protocollen: *IrPHY* (*Physical Signaling Layer*), *IrLAP* (*Link Access Protocol*) en *IrLMP* (*Link Management Protocol*) [10, 11].

De fysieke laag (*IrPHY*) van IrDA heeft twee belangrijke sublagen. Hij bevat de daadwerkelijke infrarood *transducer* module, verantwoordelijk voor het zenden en ontvangen van de signalen. Verder is deze laag uitgerust met een *encoder/decoder* die de signalen omzet naar data en andersom. De fysieke aspecten van deze laag zijn van belang voor positionering. Het gaat hierbij voornamelijk om het bereik, de invalshoek en het stroomverbruik. IrDA heeft een laag stroomverbruik en er zijn procedures om energie te besparen. Er zijn ook IrDA varianten met een extra laag verbruik. Deze varianten verbruiken 10 keer minder energie dan de standaard versies. Wel hebben ze minder bereik, ongeveer 20-30 centimeter. Dit is in tegenstelling tot de standaard versie die een bereik van 1-2 meter kan halen. Er zijn apparaten met een bereik tot 10 meter in ontwikkeling, maar deze worden nog steeds gelimiteerd door

line-of-sight en de invalshoek [11]. Deze ontvangst- en uitzendhoek bepalen of een apparaat zich in het zicht van een ander apparaat bevindt. De zender heeft een zendhoek van 15° tot 30° vanaf de optische as, terwijl de ontvanger een ontvangsthoek van ongeveer 15° heeft (zie Figuur 5-6).



Figuur 5-6 Zend- en ontvangsthoek

Het basisprotocol voor IrDA is *IrLAP*. Het doel van deze laag is de connectie tussen IrDA apparaten tot stand te brengen. Hiervoor moet deze laag kunnen omgaan met het ontdekken van zogenoemde *verborgen knopen*, adres conflicten en het afhandelen van verzoeken en bevestigingen van andere lagen. IrLAP kan zich in twee staten bevinden: Primair (*Master*) of secundair (*Slave*). Omdat twee apparaten niet tegelijk een bericht mogen sturen naar een ander apparaat, bepaalt de *Master* wie op welk moment signalen mag sturen. De *Slaves* mogen pas sturen wanneer zij toestemming hebben gekregen.

Het ontdekken van andere IrDA apparaten gaat aan de hand van drie diensten: *verzoek*, *indicatie* en *bevestiging*. De *verzoek* boodschap wordt gebruikt om te kijken of er zich apparaten, die willen verbinden, binnen het bereik van de Master bevinden. Als antwoord hierop zal een ander apparaat een *bevestiging* boodschap doorsturen met daarin een lijst met alle beschikbare apparaten. De *indicatie* boodschap wordt gebruikt om informatie over het apparaat dat de *verzoek* boodschap heeft verstuurd, naar andere apparaten door te sturen.

Apparaten die willen verbinden met een IrDA netwerk maken gebruik van een procedure die *sniffing* wordt genoemd. Dit is een energiebesparende procedure. Een dergelijk apparaat dat wil verbinden en een IrDA netwerk voor benaderd heet een *verborgen knoop*. Het apparaat moet luisteren en wachten totdat het ‘aangesproken’ wordt, voordat het verbinding kan maken met het netwerk. Deze *sniffing procedure* gaat als volgt te werk [10, 11]:

1. Een sniffing apparaat komt even uit de slaapstand en luistert of er dataverkeer opgevangen wordt.
2. Als er verkeer wordt opgevangen, gaat het terug in de slaapstand om het later opnieuw te proberen. Er kan namelijk maar één apparaat tegelijk een bericht sturen. Als er geen verkeer wordt opgevangen zal het een *XID (Exchange Identification)* frame versturen. Hierin staat een speciale waarde die uniek is voor de sniffing procedure. De XID geeft aan dat het apparaat wil verbinden als Slave.
3. Het apparaat wacht een korte tijd op een bericht dat aan hem gericht is. Als deze komt, kan de verbinding gemaakt worden.
4. Als dit antwoord niet gestuurd wordt, gaat het apparaat terug in de slaapstand en wacht ongeveer 2-3 seconden om het opnieuw te proberen.

In het IrLAP protocol worden ook eventuele adresconflicten afgehandeld. IrLAP id's zijn 32-bits adressen die willekeurig worden geselecteerd. De kans is dus klein dat twee apparaten hetzelfde adres toegekend krijgen. Mocht dit toch het geval zijn dan worden de desbetreffende apparaten op de hoogte gesteld, zodat deze een nieuw adres aan kunnen nemen.

Het laatste verplichte protocol is het *IrLMP* protocol. Dit protocol heeft meerdere taken. Hieronder zit het *multiplexen* van de verbinding en toegang krijgen tot informatie over de diensten die op een ander apparaat aanwezig zijn. *Multiplexing* is het proces waarbij meerdere signalen of datastromen worden gecombineerd tot één signaal. Het grote voordeel hiervan is dat een duur communicatiemedium gedeeld kan worden, en dus efficiënter gebruikt kan worden. Deze IrLAP multiplexer heet *LM-MUX (Link Management Multiplexer)*. Een ander protocol in IrLAP is het *LM-IAS (Information Access Service)* protocol. Een volledige AIS implementatie bestaat uit een client en een server. De client is de component die de informatie over een ander apparaat opvraagt. De server kan deze informatie opzoeken in een database en deze opleveren. Deze database wordt de *LM-IAS Information Base* genoemd. Dit is een collectie van objecten die de beschikbare diensten voor binnenkomende verbindingen beschrijven.

Infrarood is erg gevoelig voor storingen. Licht en elektromagnetische velden zijn twee factoren die de fysieke laag van IrDA verstoren. Er zijn vier storingen die de ontvanger nog kan afhandelen [10, 11]:

1. Elektromagnetische velden van maximaal 3 V/m
2. Zonlicht van maximaal 10 kilolux (bij de optische poort)
3. (gloei)verlichting van maximaal 1000 lux
4. Fluorescerend licht van maximaal 1000 lux

Er is hierbij geen garantie dat een apparaat meerder van deze storingen tegelijk aankan. De verstoring kan aangegeven worden met de *Bit Error Ratio (BER)*. Dit staat gelijk aan het aantal fouten gedeeld door het totale aantal bits. De *BER* mag niet groter zijn dan 10^{-8} [11]. Een ander probleem met IrDA is het eerder genoemde *line-of-sight*. De zender en ontvanger moeten zich in elkaars zichtveld bevinden om een connectie te kunnen maken. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om een verbinding te maken wanneer ontvanger zich in de jaszak van een gebruiker bevindt [8, 36]. IrDA is niet uitgerust met enige vorm van encryptie of beveiliging. Dit is ook niet nodig omdat het, door het beperkte bereik en de invalshoek,

vrijwel onmogelijk is om ongemerkt mee te luisteren op een bepaalde communicatie [10, 11]. Het is zo dat infrarode signalen niet door muren heen kunnen gaan. De locatie van een gebruiker binnen een kamer kan prima bepaald worden, zonder al te veel ontvangers op te moeten hangen. Ondanks de noodzaak van *line-of-sight*, zorgen de muren en andere obstakels voor genoeg reflectie van de signalen, zodat deze ontvangen kunnen worden [8, 15].

Locatiebepaling met infrarood is dus puur gebaseerd op de *proximity sensing* methode (paragraaf 4.2). Er kan alleen aan discrete locatiebepaling gedaan worden. Wanneer een toestel infrarode signalen opvangt van een zender, bevindt deze zich met zekerheid in de buurt van deze zender en anders niet. Het signaal kan niet geëvalueerd worden met betrekking tot de sterkte. Uitbreidingen zoals in *E-CID*, om de nauwkeurigheid te verbeteren, zijn dus niet mogelijk [8].

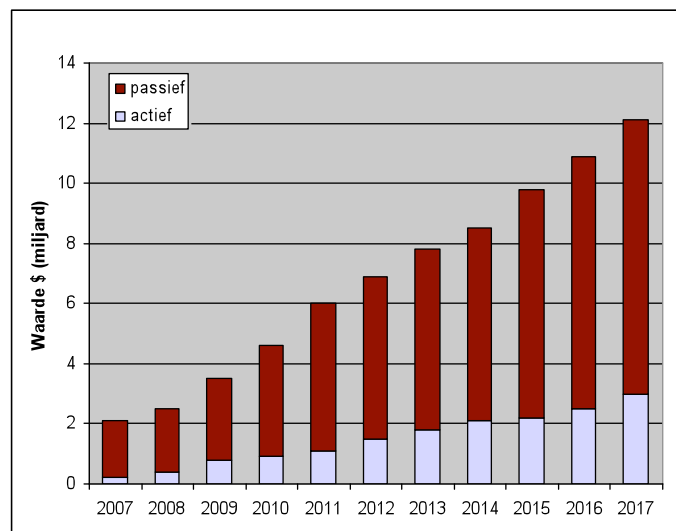
Een van de eerste locatiebepaling systemen binnenshuis is het *Active Badge Location System* uit 1992. Een persoon in het systeem draagt een badge bij zich. Deze stuurt iedere 10-15 seconde (of handmatig) een uniek (*GUID*) infrarood signaal uit. Deze signalen kunnen worden opgevangen door infrarode access points of sensoren in het gebouw. De locatie van de badge kan bepaald worden aan de hand van de informatie van deze sensoren. De locatie informatie wordt verzameld in een centrale locatie server. Deze server kan bepaalde handelingen verrichten, zoals het doorschakelen van de telefoon naar de kamer waar de persoon zich bevindt. Het ontwerp van het Active Badge Location System, met een centrale locatie server en “volg-mij”- toepassingen, wordt nog steeds als het archetype voor veel van de huidige locatiebepaling systemen gezien [8, 15, 21, 39].

5.5 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) is een opkomende techniek die gebruik maakt van draadloze communicatie. Het principe van identificatie door middel van radiosignalen gaat terug tot de Tweede Wereldoorlog met de introductie van radar technologie [3]. Zowel de Engelsen als de Duitsers ontwikkelde manieren gebruik te maken van radar, niet alleen voor het volgen, maar ook voor de identificatie van objecten. De Britten ontwikkelden het eerste actieve systeem om vriend en vijand te onderscheiden (*Identify Friend Foe system (IFF)*). Ieder Brits toestel werd uitgerust met een zender. Wanneer het signalen van radarstations op de grond ontving, zond het een signaal terug om het toestel als vriend te identificeren. RFID werkt via hetzelfde concept.

Vanaf de jaren 60 is de interesse in RFID opnieuw ontstaan en gegroeid. Dit heeft voornamelijk te maken met de ontwikkelingen in de grootte en prestaties van microprocessoren, microsensoren, miniatuur RFID tags, stroomvoorziening en draadloze technologieën [3]. De techniek werd de afgelopen jaren voornamelijk toegepast binnen de logistiek en ketenintegratie (*supply chain management*). Daar werd het voornamelijk toegepast als vervanging van de Barcodes [3, 21, 22]. Het grootste voordeel van RFID ten opzichte van Barcodes is dat bij RFID geen direct contact of *line-of-sight* scanning nodig is. Verder is het mogelijk om meerdere RFID tags efficiënt tegelijk door een lezer (*reader*) uit te laten lezen. Dit maakt het mogelijk om de gehele inhoud van bijvoorbeeld een container of pallet onbewaakt te identificeren. Andere voordelen ten opzichte van Barcodes zijn de zeer snelle leesnelheden en de moeilijkheid om de tags ongeautoriseerd uit te kopiëren of te wijzigen.

Toch heeft het enige jaren geduurd voordat RFID op grote schaal werd toegepast in de logistiek en de detailhandel. De redenen hiervoor zijn hoofdzakelijk van technische en economische aard. Zo vormden de prijs, afmeting en gebrek aan standaardisatie van RFID tags lange tijd een barrière voor een brede toepassing. Maar door de eerder genoemde technische ontwikkelingen, op het gebied van onder andere microprocessoren, worden deze barrières in hoog tempo geslecht. De verwachting is dat binnen enkele jaren de prijs van individuele RFID tags dermate gedaald is, dat de tags in of op elk product geplaatst kunnen worden (*item level tagging*). In de literatuur wordt een symbolische grens van 5 dollarcent aangehouden. Zodra deze grens bereikt is, zal *item level tagging* aantrekkelijk gaan worden. Naast de prijs voor de RFID tag zelf vormden ook de kosten voor de overige onderdelen van de infrastructuur een barrière voor de uitgebreide toepassing van RFID. Huidige technische ontwikkelingen zorgen ervoor dat deze kosten en de kosten voor de individuele tag omlaag gaan. De symbolische grens is dan ook bijna bereikt ²⁵. Hierdoor wordt verwacht dat de globale markt voor RFID een enorme vlucht gaat nemen, zie Figuur 5-7.



Figuur 5-7 Globale markt voor actieve en passieve RFID tags in miljarden dollars²⁶

Een RFID systeem kan onderverdeeld worden in drie componenten: de transponder (RFID tag), een zendontvangtoestel en een antenne. De laatste twee worden vaak gecombineerd tot een lezer (*reader*) [10, 21]. De tags kunnen globaal onderverdeeld worden in twee soorten: passieve- en actieve tags [3, 8]. *Passieve tags* hebben geen interne batterij. Ze gebruiken het ontvangen signaal als stroomvoorziening voor de chip en om te antwoorden. Deze technologie is gebaseerd op de uitstoot van radiofrequentie-energie door een RFID lezer, die zijn omgeving afzoekt naar de aanwezigheid van een tag. Wanneer een passieve tag blootgesteld wordt aan een dergelijk vooraf bepaald signaal, ontwaakt deze tag en antwoordt het door informatie terug te sturen met de ontvangen energie als stroomvoorziening. Deze informatie kan simpele identificatiedata zijn, maar (in tegenstelling tot Barcodes) kan een tag ook andere data

²⁵ Supply Chain Digest, *The Five-Cent Tag is Here, the Five-Cent Tag is Here! Well, Almost*, 27 januari 2009

²⁶ Bron: IDTechEx, *RFID Forecasts, Players & Opportunities 2007-2017*

doorsturen. Hierbij kan gedacht worden aan rijke informatie, die is ontvangen door geavanceerde sensoren, verwerkt door geïntegreerde microprocessors en opgeslagen in het interne geheugen. Deze complexere tags (zie ook klasse 2 in Figuur 5-9) zijn zelfs in staat om encryptie te voegen aan de verstuurde data om de integriteit te waarborgen. *Actieve tags* sturen periodiek een signaal dat ontvangen kan worden door de lezers. Deze tags zijn voorzien van een antenne. Deze tags verbruiken nog steeds weinig stroom, waardoor de interne batterij tot 10 jaar mee kan gaan [3, 10].

Het onderscheid tussen tags kan ook op een uitgebreidere manier plaatsvinden. Soms wordt er nog een andere categorie toegevoegd, namelijk *semi-actieve tags* [3, 8]. Deze tags hebben een interne batterij die alleen gebruikt wordt voor de microchip (zie ook klasse 3 in Figuur 5-9). Voor het versturen van de data, gebruiken ze nog steeds de energie van het ontvangen signaal. Een andere onderverdeling kan gemaakt worden op basis van de frequentie waarop de signalen uitgezonden worden. RFID opereert op verschillende frequenties (zie ook paragraaf 3.1.5). De kenmerken voor RFID, zoals reflectie, multipath, storing, afstand en data snelheid, hangen af van de frequentie waarop uitgezonden wordt. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-8 [3]. Voor een uitgebreide omschrijving van de frequentie afkortingen wordt verwezen naar paragraaf 6.9.

Frequentie	LF 30-300 KHz	HF 3-30 MHz	VHF 30-300 MHz	UHF 300Mhz – 3GHz	Microgolfoven >= 3GHz
Reflectie	nee	laag	hoog	hoger	hoogst
Storing	zeer hoog	hoog	gemiddeld	gem. tot laag	laag
Afstand (gemiddeld)	< 2 cm (1-1,5 cm)	< 1 m (1 cm-0,7 m)	1-100 m (1-3 m)	1-100 m (1-3 m)	1-300 m (1-10 m)
Data snelheid	1-10KB/s	1-3KB/s	1-20KB/s	1KB-10MB/s	1KB-10+MB/s

Figuur 5-8 Frequentie bereik RFID tags en karakteristieken

Beinat *et al.* [3] maken nog een ander tag onderscheiding waarin vijf klassen gedefinieerd worden. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-9.

Klasse	Naam	Functionaliteit
1	Identiteit	Pure passief, identificerende tags
2	Hogere functionaliteit	Puur passief, identificatie + extra functionaliteit (zoals schrijf/lees geheugen)
3	Semi-passief	Toevoeging van interne batterij
4	Actief	Communicatie met andere actieve tags
5	Lezers	Kan energie leveren voor- en communiceren met andere tags.

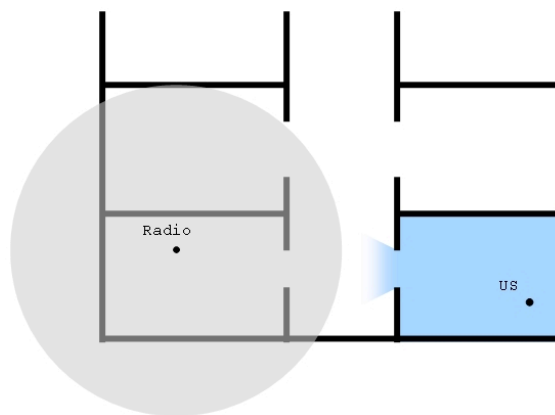
Figuur 5-9 RFID klasse structuur

Net zoals bij Infrarood (paragraaf 5.4) is locatiebepaling met behulp van RFID gebaseerd op het nabijheidprincipe (*proximity sensing*) [10, 37]. De informatie kan uit een RFID chip gelezen worden,

zodra een ontvanger binnen een bepaalde straal passeert. Aan de hand van de locatie van de zender, kan de locatie van de ontvanger bepaald worden.

5.6 Ultrasound

Op ultrasound gebaseerde systemen bestaan meestal uit een batterijgevoede *tag* of *badge* en een set van transponders die er ermee communiceren. Ultrasonische zenders en ontvangers zijn relatief goedkoop en hun signalen hebben doorgaans lagere verwerkingseisen dan technieken zoals infrarood of UWB. Dit resulteert in simpelere, goedkopere systemen die bewezen hebben doeltreffend te zijn voor *Wide Area Finegrained* positionering [38]. Ultrasonische signalen dringen niet door vast muren heen. Hierdoor is locatiebepaling per ruimte makkelijker te verwezenlijken (zie Figuur 5-10).



Figuur 5-10 US op kamerniveau

Verder zijn ultrasonische golven mechanische golven (in tegenstelling tot bijvoorbeeld radiogolven). Veel gevoelige apparatuur, bijvoorbeeld in ziekenhuizen, wordt verstoord door elektromagnetische golven. Deze ondervinden dus geen hinder van ultrasonische signalen. Verder is de beveiliging van ultrasonische systemen erg hoog, waardoor het vrijwel onmogelijk is om de communicatie af te luisteren²⁷. Ultrasonische signalen planten zicht met lage snelheid voort. In lucht is dit ongeveer 330 m/s, in tegenstelling tot radiosignalen die met ongeveer de snelheid van het licht voortplanten: 300.000.000 m/s. Hierdoor is de nauwkeurigheid van de klokken bij bijvoorbeeld de TOA locatiebepaling methode minder van belang. De afwijking die de snelheid kan veroorzaken in de formule $d = v(t)$ (met v als snelheid) is minder groot (zie ook paragraaf 4.4). Hierdoor is de implementatie van een ultrasound systeem, gebaseerd op *lateratie*, eenvoudiger en goedkoper te realiseren [15, 27]. Een aantal onderzoeksinspanningen is gericht op ultrasonische locatiebepalingssystemen. Twee van de bekendste (onderzoek) systemen die gebruik maken van ultrasound zijn *Active Bat* en *Cricket* [21, 39].

²⁷ Sonitor Indoor Positioning System (IPS), <http://www.sonitor.com>

Locatiebepaling in het *Active Bat* systeem, ontwikkeld door AT&T²⁸, is gebaseerd op de *TOA* locatiebepaling methode (paragraaf 4.4). Het systeem bestaat uit een aantal elementen: de zenders (*bats*), een locale controller, de ontvangers en een centrale locatiebepaling controller. Het systeem werkt als volgt. De locale *controller* stuurt via radio signaal een verzoek naar de *bats*. Waarom dit via een radio signaal gebeurt, zal verderop in deze paragraaf aan bod komen. Als reactie op dit verzoek worden korte ultrasone pulsen verstuurd vanaf een de *bat*. Deze is bevestigd aan het object waarvan de locatie bepaald moet worden. Het signaal wordt verstuurd naar een raster van ontvangers, die aan het plafond zijn bevestigd. Op hetzelfde moment dat de *controller* het verzoek aan de *bats* verstuurt, wordt een gesynchroniseerd *reset* signaal naar de ontvangers gestuurd via een bekabeld netwerk. Iedere ontvanger meet de *TOA* van de pulsen en zo kan door de centrale locatiebepaling *controller* de afstand berekend kan worden. Als er drie of meer afstanden gemeten zijn, kan de 3D positie van de *bat* bepaald worden. Verder is het mogelijk om de oriëntatie van een object te meten door er meer dan één *bat* aan toe te voegen. Directionele informatie kan bepaald worden door het patroon van de ontvangers van de puls te analyseren, aan de hand van signaalsterkte.

Aanvullend op het *Active Bat* systeem, gebruikt *Cricket* ultrasone zenders om de infrastructuur te genereren en zijn de ontvangers in het object dat gelokaliseerd moet worden verwerkt. Hierdoor wordt de locatiebepaling op de objecten zelf gedaan, niet via een centrale locatiebepaling controller. Verder gebruikt *Cricket* het radio signaal niet alleen voor synchronisatie van de tijd, maar ook om tijdsregio's te bepalen waarin de ontvanger het signaal kan verwachten. Hierdoor kan het systeem ultrasone signalen die na die tijdsregio ontvangen worden als reflectie zien en deze negeren. *Cricket* gebruikt, net zoals *Active Bat*, de *TOA* locatiebepaling methode en een RF controller signaal. Verder versturen de zender ook semantische gegevens over de ruimte, via radiosignaal. Hierdoor kan door nabijheidstechnieken ook aan redelijk nauwkeurige locatiebepaling gedaan worden, wanneer er maar vanuit een zender verstuurd is [39]. Er zijn drie eigenschappen van (smalband) ultrasone systemen, zoals *Active Bat* en *Cricket*, die verholpen moeten worden om aan goede locatiebepaling te kunnen doen [38].

De eerste is *single user access*. Als meerdere bijeen geplaatste zenders het ultrasone signaal op hetzelfde moment versturen, kunnen deze signalen elkaar verstoren. Dit probleem wordt opgelost doordat deze zenders het signaal een voor een versturen. Dit heeft wel een lagere updatefrequentie tot gevolg. Als maar één zender op een bepaald tijdstip kan zenden, wordt het aantal mogelijke locatie-updates, voor een bepaalde periode, beperkt.

Het tweede probleem is een gebrek aan identificatie codering. Zenders in bijvoorbeeld het *Active Bat* systeem zijn uitgerust met een *GUID* (*Globally Unique Identifier*) [39]. Maar deze smalband ultrasone systemen hebben vaak lage datasnelheden. Hierdoor is het vrijwel onmogelijk om een unieke identificatie te ontsleutelen in de kortdurende signalen. Hierdoor is het voor een ontvanger moeilijk om onderscheid te maken tussen de verschillende zenders. In het *Active Bat* systeem is het mogelijk om drie zenders tegelijk te laten zenden, maar het systeem kan ze niet uniek identificeren door alleen naar het ultrasone signaal te kijken. Om dit probleem te verhelpen wordt een breedband technologie toegevoegd,

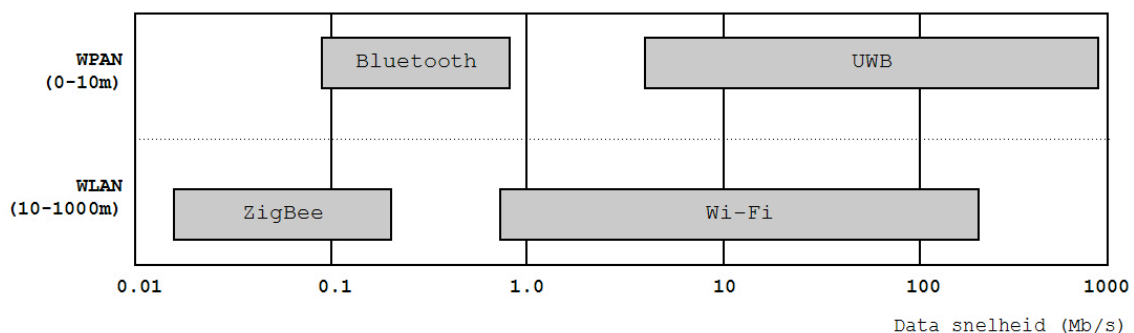
²⁸ Cambridge University Computer Laboratory, Digital Technology Group,
<http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/bat/>

zoals RF signalen, of infrarood. Hiermee wordt de identificatie van de zender verstuurd. Maar door het toevoegen van een dergelijk specifiek communicatiekanaal wordt het systeem complexer en meer statisch. Ook heeft de batterijduur van het mobiele apparaat eronder te leiden.

Het grootste nadeel van deze smalband ultrasone systemen is de gevoeligheid voor ruis, wat weer kan leiden tot signaalbotsingen (zie ook de eigenschappen van UWB in paragraaf 5.7.3 waar dit niet het geval is). Nieuwere onderzoeksprojecten kijken naar de mogelijkheden om een oplossing voor dit nadeel te vinden [38].

5.7 Short-range Wireless

Algemeen gesproken is wereld van de draadloze korte afstandcommunicatie, of *short-range wireless communication*, in handen van vier protocollen: Wi-Fi, Bluetooth, Ultra Wide Band en ZigBee [40]. Dit komt overeen met de IEEE standaarden 802.11x, 802.15.1, 802.15.3 en 802.15.4. De ontwikkeling van deze standaarden hing samen met de ontwikkeling van het cellulaire netwerk (zie ook hoofdstuk 1) midden 20^e eeuw. Tijdens het midden van de jaren '80 bleek dat er nog kleiner dekkinggebied nodig was voor hogere gebruikers dichtheden en het toenemende dataverkeer. Dit leidde tot de IEEE 802.11 werkgroep, die zich bezig houdt met de standaardisatie van deze draadloze lokale netwerken (WLAN, paragraaf 2.2.2.2). In tegenstelling tot WLAN, houdt WPAN zich bezig met de omgeving rond een object tot ongeveer 10 meter. De focus van deze persoonlijke netwerken is gericht op lage kosten, laag vermogen, korte afstand en kleine afmetingen. De IEEE 802.15 werkgroep houdt zich bezig met de standaardisatie hiervan. Deze groep heeft momenteel drie klassen WPAN gedefinieerd, die zijn gedifferentieerd door datasnelheid, batterijverbruik en de kwaliteit van de service (*QoS*). De WPAN met hoge datasnelheid (*IEEE 802.15.3, UWB*) is geschikt voor multimedia toepassingen met een zeer hoge *QoS*. De WPAN met gemiddelde snelheid (*IEEE 802.15.1, Bluetooth*) handelen een verscheidenheid van taken af, variërend van mobiele telefoons tot PDA communicatie. Verder beschikken ze over een *QoS* geschikt voor spraakcommunicatie. WPAN met lage snelheden (*IEEE 802.15.4, Zigbee*) zijn bedoeld voor een reeks van industriële, woon- en medische toepassingen met een zeer laag stroomverbruik en lage eisen voor *QoS* [41].



Figuur 5-11 Short-range Wireless; data snelheid

5.7.1 Wi-Fi (802.11x)

De eerste producten van de 802.11 werkgroep leidde tot interoperabiliteit problemen, omdat de IEE geen voorzieningen had voor testapparatuur voor de naleving van haar zijn standaarden. Interoperabiliteit is de eigenschap van systemen en software om data uit te wisselen met externe systemen via een gemeenschappelijke set procedures. In 1999 kwamen een aantal leiders in de industrie samen om een globale, non-profit organisatie te vormen, met als doel een wereldwijd aanvaarde standaard voor hoge snelheid WLAN te ontwikkelen²⁹. Deze organisatie kreeg de naam *Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)*. De organisatie veranderde haar naam naar *Wi-Fi Alliance* in 2002³⁰. Het doel van deze onafhankelijke organisatie is testen, het certificeren van interoperabiliteit van producten en het promoten van de technologie.

Wi-Fi is een handelsmerk van de Wi-Fi Alliance voor gecertificeerde producten gebaseerd op de IEEE 802.11-normen. De term is, volgende de Wi-Fi Alliance, een afkorting van *Wireless Fidelity*³¹. Deze term was een tegenhanger van de bestaande audio opname term *High Fidelity*, of *Hi-Fi*. Toch blijft er veel discussie bestaan over de echte betekenis van de term³². Het officiële standpunt van de Alliance is nu dat het slechts een merknaam is, die staat voor niets in het bijzonder. Ze ontmoedigen daarom het gebruik van de term *Wireless Fidelity*. Wi-Fi certificatie verzekert geteste een bewezen interoperabiliteit tussen de draadloze computer apparatuur. Deze certificering moet consumenten en zakelijke afnemers het vertrouwen geven dat draadloze LAN-producten met het Wi-Fi logo aan strenge interoperabiliteit certificeringeisen voldoen. De term Wi-Fi wordt vaak gebruikt als synoniem voor de term WLAN (paragraaf 2.2.2.2). Maar niet ieder WLAN product heeft een Wi-Fi certificaat.

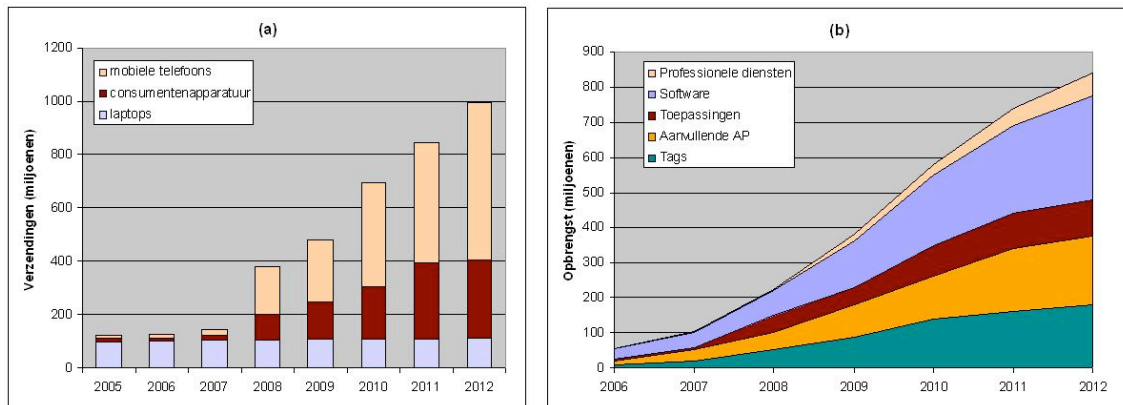
Het aantal met Wi-Fi uitgeruste mobiele apparaten blijft in aanzienlijke mate groeien. Volgens een onderzoek van ABI research zal het aantal verzendingen van Wi-Fi chipsets in 2012 de grens van één miljard per jaar bereiken. Verder wordt voorspeld dat meer dan 250 miljoen consumentenapparatuur en 360 miljoen mobiele telefoons, uitgerust met Wi-Fi, verzonden zullen worden in 2011. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-12 (a).

²⁹ <http://www.wi-fi.org/>

³⁰ *Wi-Fi Alliance Is The New Name For WECA*; http://www.wi-fi.org/pressroom_overview.php?newsid=59

³¹ *What is Wi-Fi Certification?*; http://www.wi-fi.org/knowledge_center_overview.php?docid=3280

³² *What is the True Meaning of Wi-Fi?*; <http://www.teleclick.ca/2005/12/what-is-the-true-meaning-of-wi-fi/>



Figuur 5-12 (a) Wi-Fi chipsets verzendingen & (b) Wi-Fi RTLS opbrengsten per categorie³³

De grootte en groei van geïnstalleerde Wi-Fi apparatuur betekent nieuwe kansen om Wi-Fi op een onorthodoxe manier in te gaan zetten. Een van de toenemende trends is het inzetten van Wi-Fi als *Real Time Location Service*. Door de alom aanwezigheid van deze netwerken worden Wi-Fi gebaseerde RTLS goedkoper voor bedrijven. Dit zal dus leiden tot een toename van opbrengsten vanuit deze diensten. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-12 (b).

Locatiebepaling in Wi-Fi netwerken kan uitgevoerd worden op basis van de volgende feiten [42]:

1. Alle Wi-Fi *Access Points (AP)* hebben een uniek nummer, genaamd *BSSID (Basic Service Set Identifier)*. Dit is gelijk aan het *MAC (Medium Access Control)* adres van de AP.
2. Iedere Wi-Fi AP verstuurd periodiek zijn BSSID
3. Iedere Wi-Fi *client* kan een verstuurd BSSID van een AP ontvangen.

Alle methoden, beschreven in hoofdstuk 4, kunnen worden toegepast om aan locatiebepaling in Wi-Fi netwerken te doen. Hierbij wordt voornamelijk uitgegaan van de *RSSI (Received Signal Strength Indicator)* van de AP. Naast de *lateration* methoden en voornamelijk *Proximity sensing / Cell ID* wordt bij Wi-Fi locatiebepaling ook gebruik gemaakt van omgevingsanalyse (*Scene Analysis*). Bij proximity sensing wordt gekeken naar de AP waarvan het sterkste signaal wordt ontvangen. Aan de hand van zijn locatie kan de locatie van de Wi-Fi ontvanger bepaald worden. Bij de *lateration* technieken worden de signaalsterktes van verschillende AP vergeleken om de locatie te kunnen bepalen. Bij omgevingsanalyse wordt eerst de omgeving van de signalen in kaart gebracht. Zo kan de Wi-Fi *client* bijvoorbeeld een database bevatten met daarin alle posities van de AP en hun signaalsterktes. Door een analyse op de ontvangen signaalsterkte uit te voeren, ten opzichte van deze database, kan geschat worden waar de client zich bevindt. Alle technieken hebben hun eigen voor- en nadelen. Zo is het bij grote netwerken onbegonnen werk om deze goed in kaart te brengen en aan omgevingsanalyse te doen. Een ander probleem zit hem in de RSS. Niet alle Wi-Fi AP zenden met een constante signaalsterkte uit. Ook zijn

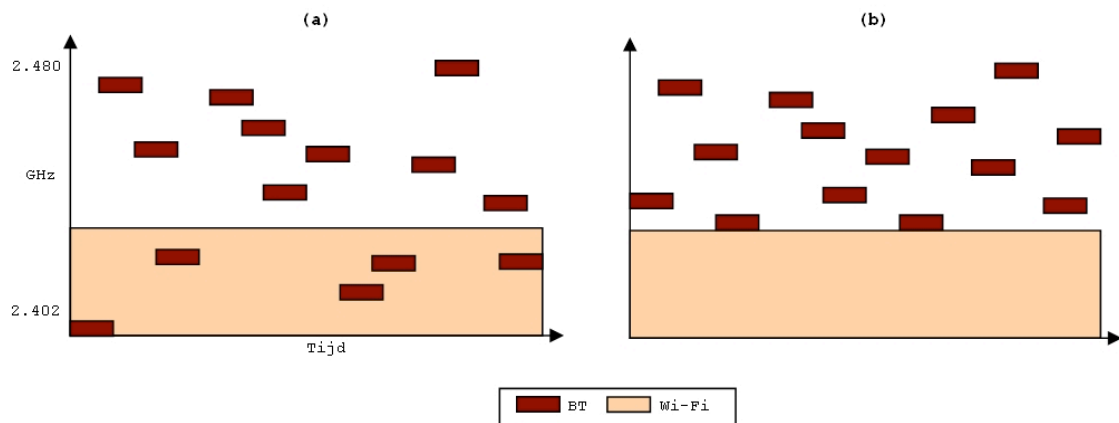
³³ Bron: ABI research, www.abiresearch.com

deze systemen erg gevoelig voor *multipath effecten* [43] (zie ook paragraaf 4.7). Maar door huidige technologische ontwikkelingen en onderzoek worden deze negatieve effecten steeds minder. Een ander punt waar rekening mee gehouden moet worden is verandering van de locatie van de Access Points. Dit is met name het geval wanneer er gebruik gemaakt wordt van grote (openbare) Wi-Fi netwerken.

5.7.2 Bluetooth (802.15.1)

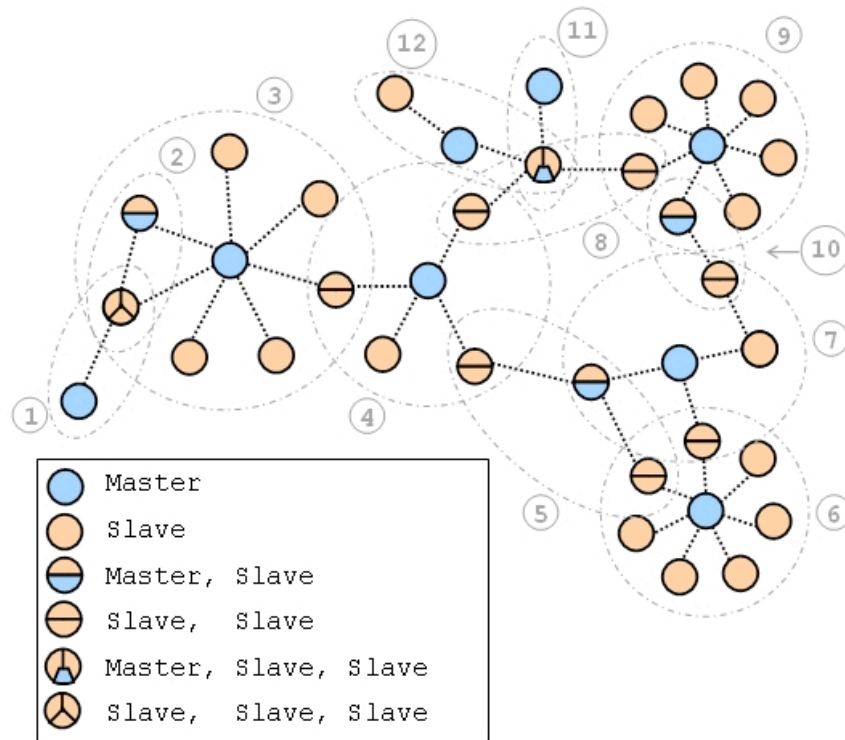
De bluetooth technologie is oorspronkelijk ontwikkeld als vervanging van kabels om apparaten, zoals mobiele telefoons, hoofdtelefoons en PDA's, te verbinden. De specificatie was in 1994 ontwikkeld door twee werknemers van Ericsson Mobile Platforms, Jaap Haartsen en Sven Mattison. Deze specificatie is verder geformaliseerd door de *Bluetooth Special Interest Group (SIG)*. Deze organisatie, opgericht in 1998, houdt toezicht op de ontwikkeling van Bluetooth standaarden en het verlenen van vergunningen aan Bluetooth technologieën en handelsmerken aan fabrikanten.

Bluetooth maakt gebruik van de ongelicenceerde ISM frequentieband (zie ook paragraaf 3.1.5). Op deze frequentieband is het erg druk, dus om zoveel mogelijk storingen te vermijden en de invloed van de storingen tot een minimum te beperken, wordt zogenaamde *Spread Spectrum* technieken toegepast. *Spread spectrum* is een vorm van draadloze communicatie waarbij de energie van het uitgezonden signaal met opzet verspreid wordt over een bepaald frequentiedomein. Dergelijke verspreide signalen hebben een veel grotere bandbreedte dan de informatie die ze bevatten, hierdoor ontstaat een ruisachtig signaal dat moeilijk te detecteren of te onderscheppen is. Verder is het ook heel moeilijk om een spread spectrum signaal te storen met een ander signaal. Spread spectrum bestaat in twee vormen: *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)* en *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*. Deze twee kunnen ook gecombineerd worden. Bluetooth het principe van *FHSS* toe [10, 11]. Hiermee worden botsingen met andere radiosignalen voorkomen. De ISM bandbreedte is opgedeeld in 79 kanalen. Het bluetooth apparaat verandert 1600 keer per seconde, in pseudowillekeurige volgorde, van kanaal, zie Figuur 5-13 (a). Omdat er nog steeds botsingen voor kunnen komen, wordt vaak *Adaptive Frequency Hopping* toegepast. Deze techniek zorgt ervoor dat Bluetooth zich kan aanpassen aan de omgeving. Vaste interferentie bronnen worden geïdentificeerd en deze kanalen worden verwijderd uit de lijst van beschikbare kanalen. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-13 (b). Technieken als Wi-Fi en ZigBee maken gebruik van *DSSS*. Ook dit wordt weergegeven in Figuur 5-13.



Figuur 5-13 (a) FHSS/DSSS & (b) Adaptive FHSS/DSSS

Bluetooth is ontwikkeld voor het opzetten van *Wireless Personal Area* netwerken (zie ook paragraaf 2.2.2.2 en 5.7). Deze bluetooth netwerken werken via het Master/Slave principe. Een *Master* kan samen met maximaal zeven *Slaves* een simpel LAN opzetten, genaamd een *piconet*. Twee of meer piconets kunnen met elkaar verbonden zijn tot een *scatternet*, wanneer een van de *Slaves* uit het ene piconet, *Master* is in het andere piconet. Een bluetooth apparaat kan dus zowel de rol van Master als van Slave aannemen in verschillende onafhankelijke piconets, met als uitzondering dat hij niet in twee verschillende piconets tegelijk Master kan zijn (dan zouden die twee netwerken samen weer een piconet vormen). Het apparaat dat de communicatie initieert wordt automatisch Master, maar dit kan gedurende de sessie veranderen. Een Slave kan alleen data verzenden als er een verzoek van zijn Master is verstuurd. Een voorbeeld van een dergelijk bluetooth scatternet wordt weergegeven in Figuur 5-14. Hierin vormen 12 piconets samen het scatternet.

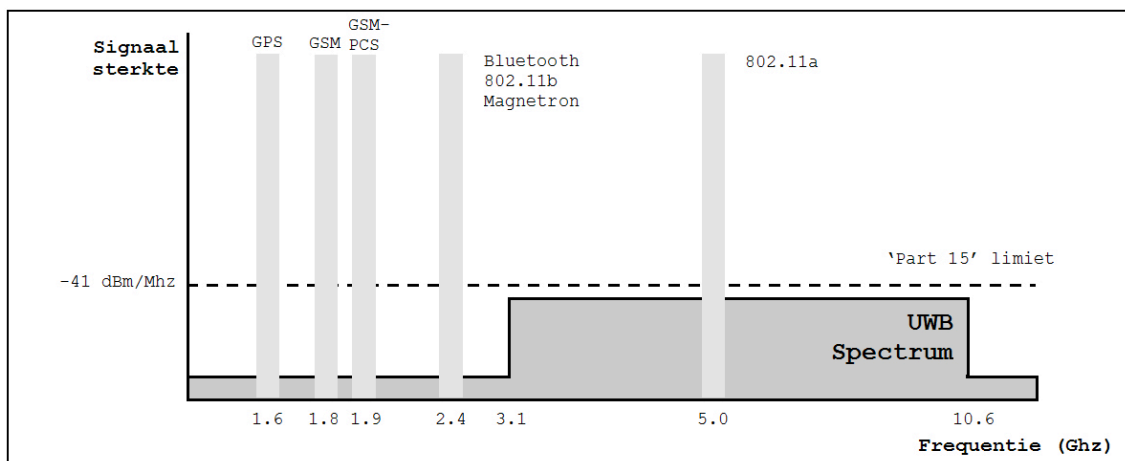


Figuur 5-14 Scatternet met 12 piconets

Het bereik van bluetooth apparaten hangt af van het vermogen van het apparaat. Er worden drie klassen onderscheiden: 100, 2.5 en 1 mW. Deze hebben respectievelijk een bereik van 100, 20 en 10 meter. Locatiebepaling met behulp van bluetooth komt overeen met de mogelijkheden in Wi-Fi netwerken. Wanneer er een piconet gevormd wordt met één Master en de rest Slaves, komt dit overeen met een Wi-Fi netwerk met Access Points. De Master ontvangt de signalen van de Slaves en kan aan de hand van signaalsterkte door middel van *Proximity Sensing* of *lateration* technieken zijn positie bepalen. Een specifieke eigenschap van bluetooth netwerken is de communicatie tussen de knopen. Door deze communicatieprotocollen wordt, net zoals bij infrarood netwerken (paragraaf 5.4), ook een andere vorm van locatiebepaling mogelijk. Een bluetooth apparaat zonder enige mogelijkheid om zijn positie te bepalen kan toch zijn positie te weten komen [10]. Dit gebeurt door een connectie op te zetten met een ander toestel dat wel weet op welke positie het zich bevindt. Deze informatie kan dan overgegeven worden. Dit geeft dan een nauwkeurigheid van honderd, twintig of tien meter, afhankelijk van het bereik. Hierbij moet wel met een aantal zaken rekening worden gehouden. Allereerst is het van belang om te weten hoe lang geleden het tweede apparaat zijn locatie berekend heeft. Ook kan het zo zijn dat het tweede apparaat niet zelf zijn locatie heeft berekend, maar deze ook weer van een ander apparaat heeft verkregen. Dit gaat uiteraard ten koste van de nauwkeurigheid van het systeem.

5.7.3 UWB (802.15.3)

De wereld van *Ultra Wide Band (UWB)* is de afgelopen jaren dramatisch veranderd. In de afgelopen 20 jaar werd UWB gebruikt voor toepassingen als radar, militaire communicatie en andere niche toepassingen (klein specifiek afgeschermd stuk van een grotere markt). Dit veranderde wezenlijk in februari 2002 toen de FCC bepaalde³⁴ dat ongeautoriseerd gebruik van UWB voor communicatie in het bereik van 3.1 tot 10.6 Ghz toegestaan was [44]. Dit betekende een toewijzing van een bandbreedte van 7,5 Ghz, veruit de grootste allocatie van bandbreedte. Dit zorgde initieel tot veel kritiek en vijandigheid vanuit de gelicenseerde frequentiespectra. *Ultra Wide Band* opereert, zoals de naam al zegt, in een brede bandbreedte van ongeveer 1-10 Ghz. Dit betekent dat deze bandbreedte bovenop de bandbreedte van een hoop andere technieken opereert. Hierdoor is de bandbreedte van UWB onderwerp van veel discussie geweest. De GPS gemeenschap was huiverig voor een nieuw signaal binnen de GPS bandbreedte [45]. De regeling van de FCC kwam ook hard aan bij de 3^e generatie cellulaire providers [44]. Begin 2000 was de veiling voor deze heftig bestreden en zeer bandbreedtes. Deze veiling leverde de Europese regeringen miljarden op. De allocatie van bandbreedte in de FCC regeling was 1500 keer zo groot als een enkele PCS (*Personal Communications Service*) licentie en het was nog gratis te gebruiken ook. De FCC regeling werd gewoon doorgevoerd, maar onder druk van deze organisaties werden wel een aantal concessies doorgevoerd. Zo is het vrij te gebruiken deel van de UWB bandbreedte verschoven van 1-10 Ghz naar 3-10 Ghz. Ook mocht de signaalsterkte niet te hoog zijn. Daarmee valt het UWB spectrum onder de zogenaamde 'part 15' limiet³⁵ van de FCC. Dit wordt weergegeven in Figuur 5-15. *Ultra Wide Band* signalen worden als ruis gezien door systemen in de gelicenseerde bandbreedtes. Daarom is het in sommige landen nog steeds illegaal om UWB systemen te implementeren [20].



Figuur 5-15 Frequentie bandbreedte

³⁴ FCC 2002a,b; http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf

³⁵ Part 15 - radio frequency devices; http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/PART15_07-10-08.pdf

Het doel van UWB is het leveren van zowel hoge datasnelheid in WPAN en lage datasnelheid in langere afstand applicaties. Door het signaalsterkte limiet van de FCC, zijn UWB systemen doorgaans korte afstand- en binnenshuis applicaties. Een aantal karakteristieke eigenschappen van UWB maken het uitermate geschikt voor locatiebepaling. Deze zijn de breedte van de frequentieband en de korte pulsen die UWB gebruikt. Door deze eigenschappen is UWB minder gevoelig voor het probleem van *multipath* (paragraaf 4.7). Door de grote diversiteit in frequenties is de kans groter dat obstakels ontweken worden.

Locatiebepaling door middel van UWB kan op verschillende manier plaatsvinden. Doordat UWB met zeer korte pulsen uitzendt, zijn de tijdsmetingen van de zenders zeer nauwkeurig. Toch is het van belang dat er globale kloksynchronisatie is, wanneer er gebruikt gemaakt wordt van *TOA* (paragraaf 4.4). Daarom kan er een UWB netwerk een extra UWB module toegevoegd worden voor de tijdsynchronisatie [45]. Ook kan er gebruik gemaakt worden van bidirectionele metingen [27]. Hierbij wordt een signaal verzonden van de zender naar de ontvanger, die dan weer een signaal terugzendt. Door de tijd die het signaal nodig heeft om heen-en-weer te gaan te meten, kan de afstand bepaald worden (zie ook *timing advance* in paragraaf 4.2). Hiervoor moet de *tag* wel uitgerust worden met zowel een UWB zender- als ontvanger. Om dit te omzeilen kunnen technieken als TDOA (paragraaf 4.5) en AOA (paragraaf 4.3) toegepast worden [20, 27, 44, 45].

5.7.4 ZigBee (802.15.4)

Zoals aangegeven in paragraaf 5.7 bevat de IEEE 802.15.4 standaard specificaties voor WPAN met lage data snelheid. Dit wordt ook wel *lowrate WPAN* of *LR-WPAN* genoemd. De specificaties zijn opgezet om simpele apparaten met minimaal batterijverbruik te ondersteunen [22, 40, 41]. ZigBee is vergelijkbaar met het Bluetooth protocol, maar er zijn enkele duidelijke verschillen. De grootste verschillen zitten in het batterijverbruik en de grootte van de netwerken.

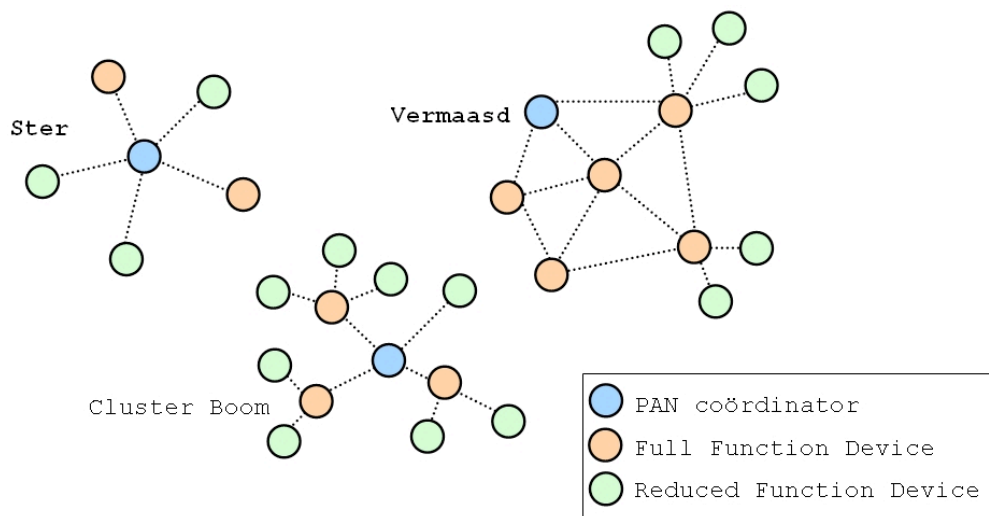
ZigBee is ontwikkeld voor zeer verschillende toepassingen dan Bluetooth. Daardoor zijn omvangrijke optimalisaties met betrekking tot de batterijduur mogelijk binnen ZigBee. In tegenstelling tot bij Bluetooth, is bij ZigBee energiebeheer een primaire taak. De batterijgevoede apparaten in een ZigBee netwerk kunnen uren of zelf dagen ‘slapen’. Wanneer een ZigBee knoop aan een netwerk gekoppeld wordt, kan deze ‘ontwaken’, communiceren met andere ZigBee apparaten en daarna weer in slaapstand gaan. Deze karakteristiek zorgt ervoor dat een knoop in een ZigBee netwerk zes maanden tot twee jaar kan werken op twee AA batterijen³⁶ [41]. Dit in tegenstelling tot de batterijduur van Bluetooth apparaten, die ongeveer één week is³⁶ [22]. Verder is het zo dat in ZigBee netwerken de PAN coördinator (wordt later dieper op ingegaan) gevoed wordt door het hoofdnet in plaats van batterijen. In Bluetooth netwerken gaan de secundaire batterijen net zo lang mee als de batterijen van de Master knoop.

Bluetooth netwerken kunnen bestaan uit piconets met acht knopen (1 Master, 7 Slaves). Deze kunnen samen weer een scatternet vormen (paragraaf 5.7.2). Door het principe van Frequency Hopping is het extreem lastig om uitgebreide netwerken te vormen, zonder grote synchronisatie kosten³⁶. Een andere belemmerende factor is de complexiteit van het Bluetooth protocol. Deze is complexer, omdat het is

³⁶ ZigBee Alliance Frequently Asked Questions; <http://zigbee.org/About/FAQ/tabid/192/Default.aspx>

afgestemd is op de verwerking van spraak, beelden en bestanden [41]. Deze complexiteit is in ZigBee netwerken niet aanwezig, waardoor deze veel groter kunnen worden. Vanwege ZigBee's adresseringschema is het mogelijk om een netwerk van meer dan 65.000 knopen te bouwen. Ieder ZigBee apparaat heeft twee identificaties. Tijdens de fabricage wordt een apparaat uitgerust met een unieke, permanente 64-bits IEEE adressering, dat vergeleken kan worden met IP adressen op het internet. Wanneer een apparaat toegevoegd wordt binnen een netwerk, krijgt deze een kort 16-bits adres binnen dit netwerk. Dit betekent dus dat er 2^{16} (65.536) knopen in een netwerk kunnen zijn.

Er kunnen twee type apparaten deel uit maken van een LR-WPAN netwerk: een *Full Function Device (FFD)* en een *Reduced Function Device (RFD)*. Een FFD kan drie modi opereren: als een PAN coördinator, een coördinator of een standaard apparaat [40]. Een FFD kan communiceren met RFD of andere FFD, terwijl een RFD alleen met een FFD kan communiceren. Een RFD is bedoeld voor toepassingen die extreem simpel zijn en geen grote hoeveelheden data hoeven te verzenden. En omdat ze maar met één FFD tegelijk kunnen communiceren, is kunnen ze geïmplementeerd worden met minimale resources en geheugen capaciteit. Wanneer een FFD voor de eerste keer geactiveerd wordt, kan deze zijn eigen netwerk starten en de rol van PAN coördinator op zich nemen. Er zijn drie vormen van mogelijke ZigBee netwerken: Ster netwerken, Cluster bomen en vermaasde (*mesh*) netwerken (ook wel peer-to-peer genoemd) [41]. Voorbeelden hiervan worden weergegeven in Figuur 5-16.



Figuur 5-16 topologie modellen ZigBee netwerk

In de *ster topologie* vindt de communicatie plaats tussen de apparaten en een enkele PAN coördinator. Wanneer een netwerk wordt gestart, kiest de PAN coördinator een *PAN identifier*, die nog niet door andere netwerken binnen de radio invloedssfeer gebruikt wordt. Hierdoor kunnen *ster netwerken* onafhankelijk van elkaar opereren. In de *peer-to-peer topologie* is er ook maar één PAN coördinator. Maar in tegenstelling tot bij *ster netwerken* kunnen apparaten binnen het netwerk met elkaar communiceren, zolang ze zich in elkaar bereik bevinden. Een *cluster boom netwerk* is een speciale vorm

van een *peer-to-peer netwerk*. RFD kunnen met een dergelijk netwerk verbinden als eindknooppunten (*leaf nodes*) van de takken. Dit omdat hij maar met één FFD tegelijk verbonden kan zijn. De meeste apparaten in een cluster boom zijn FFD. Deze FFD kunnen de rol van coördinator op zich nemen en synchronisatiediensten aanbieden voor andere apparaten of coördinatoren. Maar één van deze coördinatoren kan de algemene PAN coördinator zijn. Deze vormt het eerste cluster door zichzelf als *clusterhoofd* vast te stellen met een *cluster identifier* van 0. Ieder van deze netwerken typologieën heeft zijn eigen voor- en nadelen. De *ster topologie* is erg simpel en alle knopen communiceren direct met één centrale knoop. De *peer-to-peer topologie* is complexer, aangezien iedere knoop met een andere knoop in zijn bereik kan communiceren. Dit leidt er wel toe dat er veel routes mogelijk zijn binnen het netwerk. Dit zorgt ervoor dat het een zeer robuuste topologie is, aangezien slecht presterende routes genegeerd kunnen worden. De *cluster boom topologie* is in wezen een combinatie van de andere twee.

Een ander belangrijk aspect van deze LR-WPAN is de zogenaamde wachttijd, of *latency*. Dit geeft de hoeveelheid tijd aan die nodig is om contact te kunnen maken met een apparaat. Wanneer een ZigBee knoop in slaapstand staat, kan deze aangezet worden en een pakket ontvangen in ongeveer 15 ms., terwijl een bluetooth apparaat hier ongeveer 3 seconde voor nodig heeft ³⁶. Een overzicht van een aantal verschillen tussen bluetooth en ZigBee kan als volgt opgesomd worden ³⁶:

- ZigBee
 - Erg lage inschakelfactor, erg lange levensduur primaire batterij,
 - Statische en dynamische ster en vermaasde netwerken, >65.000 knopen, met een lage wachttijd beschikbaar,
 - Het vermogen om lange tijd in sluimerstand te blijven zonder communicatie,
 - DSSS maakt het mogelijk voor het apparaat om in slaapstand te gaan, zonder de noodzaak van nauwkeurig synchronisatie.
- Bluetooth
 - Gemiddelde inschakelfactor, secundaire batterij gaat net zolang mee als de master,
 - Quasi ster netwerken tot zeven *clients* met de mogelijkheid om in meer dan één netwerk deel te nemen,
 - Zeer hoge QoS en zeer lage gegarandeerd wachttijd,
 - In FSS is het zeer moeilijk om uitgebreide netwerken te genereren, zonder grote synchronisatiekosten.

6 Kenmerken

Het vorige hoofdstuk heeft een overzicht gegevens van de belangrijkste locatiebepalingstechnieken. Om tot het model te komen in hoofdstuk 7 is het van belang om een overzicht te krijgen van de belangrijkste kenmerken van deze technieken. Het gaat hierbij om de kenmerken die een rol kunnen spelen bij de keuze van een specifieke techniek voor een (locatiebepaling) probleem (zie ook paragraaf 1.4 en 1.5). Deze kenmerken kunnen als inputparameters (of: filters) van het model gebruikt worden.

Aan de hand van de meest gebruikte kenmerken in de literatuur en interviews met het bedrijfsleven (onder andere: Stichting 4daagse, Cap Gemini, Medisch Centrum Alkmaar en Vosko Networking) is bepaald wat op dit moment de belangrijkste kenmerken zijn. Dit hoofdstuk zal een overzicht geven van deze kenmerken. Iedere techniek heeft zijn eigen waarde(n) bij een bepaald kenmerk. Deze zullen in dit hoofdstuk opgenomen worden. Deze waarden zijn gebaseerd op gegevens uit de literatuur en de interviews.

De gegevens uit dit hoofdstuk zullen uiteindelijk leiden tot het model dat in hoofdstuk 7 verder uitgewerkt zal worden. Om een goed antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag, zullen de waarden omgezet moeten worden naar *scores* (subvraag 4 uit paragraaf 1.4). Deze omzetting zal in het volgende hoofdstuk gebeuren in paragraaf 7.3.

De ontwikkelingen op het gebied van de in hoofdstuk 5 besproken technieken gaat zeer snel. Continu worden nieuwe verbeteringen aangebracht die van invloed kunnen zijn op de waarden in dit hoofdstuk. Het model is zodanig opgezet dat dergelijke wijzigingen zonder enig probleem doorgevoerd kunnen worden.

6.1 Binnen/buiten

Het eerste aspect dat in dit hoofdstuk aan bod moet komen is het verschil tussen locatiebepaling binnen- en buitenshuis. Op deze karakteristiek van het probleem wordt in de literatuur vaak de eerste schifting gemaakt (zie hoofdstuk 3). Dit heeft te maken met het feit dat locatiebepaling buitenshuis vrijwel exclusief voorbehouden aan satelliet navigatie (paragraaf 5.1), ondersteund door cellulaire locatiebepaling (paragraaf 5.2), maar dat deze technieken (vrijwel) geen ontvangst binnenshuis hebben. Daardoor vindt veel onderzoek plaats naar alternatieven voor locatiebepaling binnenshuis (paragraaf 1.2). Het kenmerk *binnen/buiten* zou dus gezien kunnen worden als een *booleaans* kenmerk. Technieken kunnen *waar of niet waar* scoren op dit kenmerk. Maar voor deze aanpak is in dit onderzoek niet gekozen. Locatiebepaling binnen- of buitenshuis is een duidelijk kenmerk van het probleem. Maar voor de technieken is het niet zozeer een kenmerk waar op gescoord kan worden; het heeft invloed op andere kenmerken. De grootste invloed is, zoals eerder aangegeven, te merken bij satelliet navigatie. Wanneer de locatiebepaling binnenshuis plaatsvindt, zal dit het kenmerk *nauwkeurigheid* verslechteren en er uiteindelijk voor zorgen dat de techniek helemaal niet meer werkt. Als technieken in de literatuur onderzocht worden als binnenshuis technieken, wil dit niet zeggen dat ze buitenshuis niet werken. Het heeft alleen invloed op andere kenmerken. Zo kunnen extra *storingen* optreden, als multipath effecten.

Ook kan het extra kosten met zich meebrengen. Zo kan bijvoorbeeld Wi-Fi als techniek binnenshuis werken op een *bestaande infrastructuur*, maar moet er buitenshuis een heel nieuw netwerk aangelegd worden.

Het gaat hier dus om een zeer belangrijk, maar speciaal, aspect van het probleem. Omdat het geen eenduidige één op één relatie met de technieken heeft, maar van invloed is op de andere kenmerken, wordt dit kenmerk niet meegenomen in de modelmatrix. Er is in dit onderzoek voor gekozen om dit kenmerk te modelleren als een *waarschuwingsveld* (zie ook paragraaf 7.2.3.2). Wanneer er opgegeven wordt dat het probleem zich binnenshuis voordoet, zal er een waarschuwing melding getoond worden bij de technieken GPS en cellulair. Hierin zal gemeld worden dat deze technieken een slechtere nauwkeurigheid halen of mogelijk niet werken. Wanneer aangegeven wordt dat het probleem zich buitenshuis voordoet, zal er bij andere technieken een waarschuwing getoond worden. Zo kan bij infrarood gemeld worden dat er extra gevaar voor storingen is en bij Wi-Fi dat er extra kosten verbonden kunnen zijn aan het netwerk. Hier zal in hoofdstuk 7 dieper op ingegaan worden.

6.2 Nauwkeurigheid

Nauwkeurigheid is het verschil tussen de daadwerkelijke locatie en de geschatte locatie. Dit kenmerk wordt vaak beschouwd als het hoofdkenmerk voor de keuze van een bepaalde locatiebepalingstechniek. Onderzoek naar nieuwe locatiebepaling methoden, algoritmes en toepassingen zijn veelal gericht op het verbeteren van de nauwkeurigheid. De aard van de toepassing waar locatiebepaling voor gebruikt wordt, bepaald de mate van nauwkeurigheid die voldoende is. Een overzicht van een aantal LBS toepassingen met nauwkeurigheidseisen wordt weergegeven in Figuur 6-1.

Nauwkeurigheid	Toepassingen
Regionaal (> 100km)	Weerbericht, regionaal nieuws, generieke verkeerssituaties
District (tot 20 km)	Lokaal nieuws, verkeersrapporten
Tot 1 km	Volgen van voertuigen, vlootbeheer, ontwijken van congestie
500 – 1000 m	Hulpdiensten, personeelsplanning, informatie diensten, zoeken naar point of interest (POI)
100 – 200 m	Stedelijke alarmen, gelokaliseerde reclame, netwerk beheer, activa beheer, dichtstbijzijnde POI, locatie van mensen
10 – 100 m	Locatie van activa, gestolen voertuigen, turn-by-turn aanwijzingen
Een op een identificatie binnenshuis (< 1m)	Object identificatie, winkel informatie

Figuur 6-1 Toepassingen van locatie diensten en nauwkeurigheid [3, 6]

De nauwkeurigheid die behaald kan worden door de verschillende technieken hangt af van een aantal (dynamische) factoren. Enkele voorbeelden van deze factoren zijn [3, 6]:

- De dynamisch variërende radio omgeving (bijvoorbeeld signaal storingen en multipath);
- De netwerktopografie in termen van basisstationdichtheid- en geografie;
- Weersomstandigheden en de morfologie van de omringende omgeving.

Deze factoren zorgen ervoor dat er niet continu een eenduidige nauwkeurigheid opgeleverd kan worden door de technieken. Daarom wordt nauwkeurigheid weergegeven door middel van een bereik. De nauwkeurigheid die behaald kan worden is bijvoorbeeld 1-10 meter. Dit wil dus zeggen dat in het beste geval er een nauwkeurigheid van 1 meter behaald kan worden, maar dat door de bovenstaande factoren ook nauwkeurigheden van 10 meter behaald kunnen worden. Om geschikt te kunnen zijn voor LBS doeleinden, is het voor een techniek van belang dat dit bereik niet te groot is. Als een techniek op sommige locaties een nauwkeurigheid van 100 meter haalt, maar op andere locaties nauwkeurigheid van 2000 meter, dan presteert deze techniek niet consequent. Inconsequente prestaties zorgen voor twijfels bij de gebruikers over de algehele betrouwbaarheid van de informatie [7].

Satelliet. Zoals aangegeven in paragraaf 5.1 is de nauwkeurigheid van GPS enorm verbeterd de afgelopen jaren. Deze ligt nu tussen de 1-20 m. Ook GLONASS zal een dergelijke nauwkeurigheid moeten kunnen behalen. Verwacht wordt dat bij Galileo nauwkeurigheden tot onder de 10 cm. mogelijk zijn (CS, lokaal). Bij Compass zal het rond de 10 m. komen te liggen. Omdat GPS de enige operationele GNSS is, wordt in dit onderzoek **1 – 20 m.** als waarde toegekend aan het kenmerk nauwkeurigheid. [1, 2, 3, 34, 36, 37, 39, 42]

Cellulair. De nauwkeurigheid van cellulaire locatiebepaling hangt samen met de locatiebepaling methode die toegepast wordt (hoofdstuk 4). Cell ID behaald de laagste nauwkeurigheid, deze is namelijk afhankelijk van de grootte van de cellen, deze kunnen honderden meters tot kilometers zijn. In dit onderzoek is besloten om bij dit kenmerk een bovengrens van 200 meter te hanteren. De hoogste nauwkeurigheid wordt behaald door (E)-OTD, hierbij kunnen nauwkeurigheden van 20 meter behaald worden. Implementatie van methoden als triangulatie of trilateratie om de nauwkeurigheid te verhogen heeft wel tot gevolg dat extra programmatuur geïmplementeerd moet worden. Dit gaat weer ten koste van bijvoorbeeld batterijduur. Ook moeten er dus aanpassingen aan de handheld gedaan worden. Verder zal er een samenwerkingsverband nodig zijn met de telecommaschappijen om dit mogelijk te kunnen maken [37]. Dit aspect is gemodelleerd als een waarschuwing (paragraaf 7.2.3.2 en 7.4.6). In Nederland is het zelfs verboden om aan triangulatie te doen met cellulaire gegevens voor commerciële doeleinden. Dit is alleen voorbehouden aan hulpdiensten. Bij de waarde voor cellulair op dit kenmerk wordt dus niet gekeken naar de afzonderlijke methoden. Dit levert een waarde op van **20 – 200 m.** [1, 2, 3, 8, 37, 42]

Televisie. Rosum Corporation²⁴ heeft een aantal tests uitgevoerd om de nauwkeurigheid van TV locatiebepaling te meten [46]. Dit wordt weergegeven in:

Buiten, 'line-of-sight' met TV torens	5m.
Buiten	10-20m.
Makkelijk binnen	15-30m.
Gemiddeld binnen, provinciaals	20-40m.
Moeilijk binnen, dichtbevolkt	35-50m.
Extreem binnen, ondergronds, dichtbevolkt	>50m.

Figuur 6-2 Overzicht nauwkeurigheid TV

Deze waarden komen overeen met tests in andere literatuur. De waarde van televisie op het kenmerk nauwkeurigheid wordt dus **5 – 50 m.** [2, 37, 44, 46]

Infrarood. Bij IrDA, RFID en Bluetooth hangt de nauwkeurigheid samen met het maximale bereik. Des te groter het bereik is, des te meer kans er op fouten is [11]. De waarde is **5 – 10 m.** [1, 39]

RFID. RFID bepaald de positie door middel van *proximity sensing* (zie paragraaf 5.5). Daardoor is de nauwkeurigheid van locatiebepaling door middel van RFID erg afhankelijk van de positie van de scanners. De waarde is **1 – 10m.** [2, 42]

Ultrasound. Bij Ultrasonie locatiebepaling toepassingen kan een nauwkeurigheid onder de 10 cm. behaald worden. Het Active Bat systeem behaalde nauwkeurigheden tot 3cm. en het Cricket systeem tot 5 cm. [38]. De waarde is **1 – 20 cm.** [1, 3, 8, 37, 38, 39, 42]

Wi-Fi. Ook Wi-Fi is afhankelijk van de locatiebepaling methode die gehanteerd wordt, hierdoor kunnen nauwkeurigheden van **1 – 20 m.** behaald worden. [20, 37, 42, 47]

Bluetooth. De nauwkeurigheid voor locatiebepaling met bluetooth is **3 – 10m.** [11, 20]

UWB. Ook bij Ultra Wide Band kunnen, zoals bij Ultrasound, nauwkeurigheden van centimeters behaald worden. Een commerciële toepassing van Ubisense³⁷ behaalt bijvoorbeeld een nauwkeurigheid van 15 centimeter. De waarde is **10 – 25 cm.** [23, 20, 37, 42, 47]

ZigBee. Bij ZigBee locatiebepaling wordt zogenaamde *room-level* nauwkeurigheid behaald [47]. Dit betekent een nauwkeurigheid op kamerniveau, tot zo'n 5 meter. Texas Instruments³⁸ heeft bijvoorbeeld een ZigBee chip ontwikkeld waar een nauwkeurigheid van **3 – 5 m.** mee behaald kan worden. [47, 48]

³⁷ Ubisense – precise Real-time locating, system overview: <http://www.ubisense.net>

³⁸ Texas Instruments: Low Power Wireless, ZigBee Technical Overview, CC2430, System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee

6.3 Wachtijd (*latency*)

Wachtijd, of *latency*, is in principe de tijd van opstarten tot het tijdstip waarop de eerste locatie meting is verkregen. De vraag naar een lage of korte wachtijd is niet alleen maar ontstaan door eisen van hulpdiensten (hoofdstuk 1, drijfveren). Ook vanuit een LBS standpunt is er een vraag naar een korte wachtijd. De Quality of Service en bruikbaarheid van bijvoorbeeld volgapplicaties nemen af wanneer real-time werking niet gegarandeerd is. Korte wachtijd verlaagt ook het batterijverbruik. Wachtijd wordt over het algemeen gemeten in seconden. Maar niet voor alle technieken is er exacte data over dit kenmerk te vinden (gemeten in seconden). Daarom is ervoor gekozen om bij dit kenmerk discrete waarden te gebruiken (hier zal in paragraaf 7.1.1.3 dieper op ingegaan worden). De mogelijke waarden zijn: zeer hoog, hoog, gemiddeld, laag en zeer laag.

Satelliet. Bij GPS is er een zeer groot verschil tussen het bepalen van de positie met een koude start, of de daarop volgende metingen (zie ook paragraaf 5.1). Daarom wordt in het geval van GNSS vaak gesproken over *Time To First Fix (TTFF)* in plaats van *latency*. Deze wachttijden kunnen als volgt weergegeven worden:

- Koude start: ± 12 minuten;
- Warme start: ± 1 minuut;
- Hete start: ± 15 seconden (laatste fix <1 minuut oud).

Vanwege de tijdsduur bij een koude- en warme start, is ervoor gekozen om satelliet navigatie de waarde **zeer hoog** te geven. [6]

Cellulair. Net als bij nauwkeurigheid hangt de wachtijd bij cellulair af van de locatiebepaling methode die geïmplementeerd is. Bij een ingewikkelder algoritme zal langer duren voordat de locatie bepaald is. Een overzicht wordt weergegeven in Figuur 6-3 [49].

AOA	$\pm 10s.$
(E)-OTD	$< 10s.$
TOA/TDOA	$< 10s.$
Cell ID + TA	$< 5s.$
RSS	$< 5s.$

Figuur 6-3 Locatiebepaling methoden & latency

Het *worst-case* geval is dus ± 10 seconde. De waarde van cellulair wordt **gemiddeld**. [49].

Televisie. De wachtijd voor TV locatiebepaling is ongeveer 10 – 30 s.²⁴. Sneller dan GPS, maar langzamer dan cellulair. De waarde is **hoog**. [50]

Infrarood. Bij infrarood worden wachttijden van rond de seconde gehaald. De waarde is **laag** [20, 51]

RFID. Net zoals bij Infrarood is locatiebepaling met behulp van RFID gebaseerd op het nabijheidprincipe (zie ook paragraaf 5.5). Er zijn dus geen ingewikkelde algoritmes nodig om aan locatiebepaling te kunnen doen. De wachtijd staat dus gelijk aan de wachtijd van infrarood locatiebepaling, **laag**. [10, 52]

- Ultrasound.** Ultrasonische locatiebepalingssystemen, zoals bijvoorbeeld Active Bat, kunnen een wachttijd van rond de seconde halen. De waarde voor ultrasonische locatiebepaling is dus **laag** [53, 54]
- Wi-Fi.** De wachttijd bij Wi-Fi locatiebepaling ligt onder de 3s. [22]. De snelheid van de locatiebepaling is wel afhankelijk van het aantal clients die in het netwerk aanwezig zijn [36]. Bij meerdere clients kan de snelheid lager worden. De waarde voor Wi-Fi is **laag**. [22, 36, 43]
- Bluetooth.** De wachttijd bij Bluetooth locatiebepaling ligt onder de 10 seconde [22]. Over het algemeen wordt een latency van 3s. behaald (zie ook paragraaf 5.7.4). De waarde bij Bluetooth wordt **gemiddeld**. [22, 41]
- UWB.** Ultra Wide Band locatiebepaling heeft zeer lage wachttijden. Commerciële toepassingen van bijvoorbeeld Ubisense³⁷ behalen een latency van 100 milliseconde³⁹. De waarde van UWB is dus **zeer laag** [38]
- ZigBee.** ZigBee is ontwikkeld als een WPAN met een zeer lange batterijduur en een zeer lage latency³⁶ (zie hiervoor ook paragraaf 5.7.4). Wachttijden tussen de 15 – 30 ms. kunnen behaald worden. De waarde voor ZigBee is dus **zeer laag** [22, 41]

6.4 Bereik

Met bereik wordt de maximale afstand tussen de zender en de ontvanger bedoeld. Een bereik van 10 meter wil zeggen dat de ontvanger zich binnen een straal van 10 meter van de zender moet bevinden, wil deze het signaal kunnen ontvangen. Bij technieken met een groot bereik zullen er over het algemeen minder zenders en ontvangers geplaatst moeten worden om aan locatiebepaling te doen. Maar door de grotere afstand is de kans wel groter op fouten in het signaal (zoals multipath) of de mogelijkheid tot het af luisteren van het signaal (privacy). Ook hangt het bereik vaak samen met het batterijverbruik. Groter bereik betekent krachtigere signalen, wat weer meer batterijverbruik betekent.

- Satelliet.** Bereik is als kenmerk bij satelliet navigatie niet van toepassing. De constellaties bevinden zich op zo'n 20.000 km van de aarde en zijn (vrijwel) overal te ontvangen (zie ook paragraaf 5.1). Satelliet locatiebepaling krijgt dus de waarde **20.000 km**. Maar voor dit kenmerk is een maximum waarde van 100 km. ingesteld. Dit vanwege de waarden bij de andere technieken. Satelliet zal dus altijd 100% scoren op dit kenmerk. Het zal ook niet getoond worden in het informatie overzicht van het bereik kenmerk (paragraaf 7.4.4.1), omdat de waarde zo veel groter is dan van de andere technieken. [3]
- Cellulair.** Mobiele telefoons moeten met zendmasten kunnen communiceren om te kunnen verbinden met het cellulaire netwerk. Cellulaire zendmasten zenden met een bereik ter

³⁹ Ubisense –factsheet, http://www.ubisense.net/media/pdf/Ubisense_Software_LocEn_ENV1.0.pdf

grootte van de cell uit (zie paragraaf 4.2). De grootte van deze cellen ligt tussen de 100 m. – 35 km., afhankelijk van de bevolkingsdichtheid van het gebied. Het bereik van de mobiele telefoons ligt dus ook tussen deze waarden. De waarde van cellulair op het kenmerk bereik wordt dus **100 – 25.000 m.** [3, 17]

- Televisie.** Net als bij cellulair, moeten ook Tv-tuners kunnen verbinden met televisie zendmasten. Deze masten zenden een krachtiger signaal uit en daardoor is het bereik een stuk hoger dan bij cellulair. De waarde van het bereik is **50 – 100 km.** [50]
- Infrarood.** Het bereik van IrDA apparaten is minimaal 1 meter en er kan een bereik van 2 meter behaald worden. Er zijn ook varianten met een laag verbruik. Deze halen een bereik van ongeveer 20 – 30 cm [10, 11]. Er vinden op dit moment ontwikkelingen plaats om IrDA apparaten met een bereik tot 10 meter te ontwikkelen [11, 15]. Toch zullen deze nog steeds beperkt zijn vanwege *line-of-sight* en de invalshoek (zie ook paragraaf 5.4). De waarde voor IrDA wordt dus **0,2 – 2 m.** [10, 11, 15, 17]
- RFID.** Datasnelheid en bereik hangt bij RFID af van de gebruikte frequentie, de grootte van de antenne en storingen. Een overzicht van het mogelijke bereik wordt weergegeven in Figuur 5-8 in paragraaf 5.5. Bij passieve tags is bijna contact tussen de zender en de ontvanger nodig om het signaal door te kunnen sturen. Actieve tags kunnen een bereik tot wel 300 meter halen, maar gemiddeld wordt er een bereik van 10 – 20 m. gehaald [3, 11]. De waarde voor RFID wordt **0,01 – 20 m.** [3, 11, 20, 37]
- Ultrasound.** Bij locatiebepaling met Ultrasound kan een bereik van 3 – 20 m. behaald worden. Sonitor²⁷, een commerciële aanbieder van locatiebepaling door middel van Ultrasound, heeft twee tags op de markt: de E-tag⁴⁰ en de P-tag⁴¹. Deze hebben een nominaal bereik tot 15 meter. De waarde voor ultrasound is dus **3 – 20 m.** [3, 15]
- Wi-Fi.** Het bereik van Wi-Fi apparaten ligt binnenshuis rond de 50m. Buitenshuis kan een bereik van rond de 200 meter behaald worden. Het probleem hierbij is wel dat access points en routers hun signaal in alle richtingen uitsturen of er nu een mogelijke client is of niet. Het is dus potentieel mogelijk voor iedereen om het signaal af te luisteren en data te stelen [8]. De waarde voor Wi-Fi bij het kenmerk bereik is **50 – 200 m.** [2, 8, 9, 17, 22, 37, 40, 43]
- Bluetooth.** De bluetooth specificatie kent drie verschillende vermogensklassen: 1, 2.5 en 100 mW [10, 11] (zie ook paragraaf 5.7.2). Het bereik is afhankelijk van het vermogen van het signaal dat verstuurd wordt. Bij de vermogensklassen van bluetooth staat dit gelijk aan respectievelijk: 10, 20 en 100 meter. De waarde wordt **10 – 100 m.** [2, 8, 9, 10, 11, 17, 22, 23, 37, 40, 41, 43]
- UWB.** Zoals eerder aangegeven is het bereik van een techniek afhankelijk van het vermogen waarmee het signaal verstuurd wordt. Ubisense³⁷ heeft tags gedemonstreerd die een bereik

⁴⁰ Datasheet E-tag: http://www.sonitor.com/downloads/files/Sonitor_E-Tag_Datasheet.pdf

⁴¹ Datasheet P-tag: http://www.sonitor.com/downloads/files/Sonitor_P-Tag_Datasheet.pdf

van meer dan 50 meter behaalden (wel met verminderde nauwkeurigheid) [20, 27]. Maar vanwege de FCC regulatie mogen UWB apparaten maar met een gereduceerd vermogen uitzenden (zie paragraaf 5.7.3). Daarom ligt het gemiddeld bereik nu rond de 20 meter. In dit onderzoek is ervoor gekozen om als waarde toch uit te gaan van een maximum van 50 meter. Wel zal door middel van een waarschuwing duidelijk gemaakt worden dat vanwege de FCC regulatie er maar een maximum van ongeveer 20 meter gehaald kan worden (paragraaf 7.2.3.2 en 7.4.6). De waarde is dus **10 – 50 m.** [3, 9, 17, 20, 27, 40, 44]

ZigBee. De waarden voor het bereik van ZigBee zijn vergelijkbaar met het bereik van Bluetooth³⁶. ZigBee is ontwikkeld als een WPAN met een zeer laag vermogen, maar toch kan een bereik van **10 – 100 m.** behaald worden.[9, 22, 40, 41, 43]

6.5 Kosten

Kosten van een locatiebepaling systeem kunnen op verschillende manieren beoordeeld worden. Kosten in tijd bevatten factoren als de lengte van het installatieproces en de administratie kosten van het systeem. Ruimtelijke kosten gaan bijvoorbeeld over de hoeveelheid geïnstalleerde infrastructuur en de grootte van de hardware en kapitaalkosten gaan over zaken als de kosten per eenheid of infrastructuur element en kosten voor het ondersteunende personeel. Energieverbruik is ook een kostenfactor van een systeem [15, 39].

Kosten zijn uitermate onderhevig aan externe factoren. Allereerst is er natuurlijk tijd. De ontwikkelingen op het technische vlak gaan met een razendsnel tempo. Daarmee dalen ook de prijzen voor de onderdelen van locatiebepaling systemen. Ter illustratie: in J. Hightower *et al.* [39] wordt gesproken over een prijs voor GPS ontvangers van \$100,-, waardoor het een dure techniek is. Maar dit artikel is geschreven in 2001. Tegenwoordig zijn er al er al GPS ontvangers van rond de \$6 verkrijgbaar⁴². De kostenanalyse in deze paragraaf is gebaseerd op kostenonderzoek in andere literatuur, tezamen met de bevindingen die in onderzoek gedaan zijn. Omdat kosten van veel factoren afhankelijk zijn (zie hierboven) is ervoor gekozen om het kenmerk kosten met discrete waarden weer te geven. Dit heeft ook te maken met het feit dat niet altijd alle gegevens beschikbaar zijn (met betrekking tot de prijzen voor locatiebepaling systemen) en dat prijzen kunnen fluctueren (door tijd, aanbiedingen, hoeveelheid van inkoop, etc.). De mogelijke waarden zijn: laag, gemiddeld en hoog. Bij iedere techniek zal er gekeken worden naar de *kosten voor de aanleg van het netwerk*, de *kosten per eenheid* en *overige kosten* (bijvoorbeeld onderhoud, energieverbruik, initiële investeringen, etc.).

Satelliet. GPS ontvangers zijn, zoals hierboven aangegeven, al voor onder de \$10 verkrijgbaar. Bij bulkinkoop kunnen deze prijzen nog lager liggen. Dit is op zich geen hoge prijs, maar het ligt veel hoger dan bijvoorbeeld de prijs voor een IrDA module. Voor een uitgebreid locatiebepaling systeem met veel ontvangers, kunnen de kosten toch hoog oplopen. Wel is

⁴² Bron: <http://www.dealextrême.com>

het zo dat veel mobiele apparaten tegenwoordig uitgerust zijn met GPS ontvangers (zie paragraaf 1.1.3). Hierdoor kunnen de kosten per eenheid drastisch afnemen. Ook hoeft er bij satelliet navigatie niet meer geïnvesteerd te worden in het netwerk. Dit netwerk is vrij toegankelijk en aangelegd door de overheid en defensie. Er kan wel abonnementsgeld gevraagd worden voor bepaalde uitgebreide diensten, zoals bij de CS van Galileo (paragraaf 5.1). Door de uitgebreide ontwikkelingen op het gebied van GPS navigatie en de leidende rol in locatiebepaling buitenshuis, is er veel kennis, software en hardware aanwezig. Satelliet navigatie is ook puur ontwikkeld voor locatiebepaling. Er zal dus niet geïnvesteerd moeten worden in het ontwikkelen van locatiebepaling algoritmes, en dergelijke. Dit haalt de kosten voor de software en het onderhoud van het systeem naar beneden. Satelliet navigatie heeft wel een zeer hoog energieverbruik (paragraaf 6.7) wat weer extra kosten met zich meebrengt. Kort samengevat:

Netwerk: geen investering

Prijs per eenheid: hoog (maar vaak al aanwezig)

Overige kosten: gemiddeld

Hierdoor krijgt satelliet navigatie de waarde **gemiddeld**. [6, 39]

Cellulair. Ook bij cellulaire locatiebepaling hoeft er niet geïnvesteerd te worden in het netwerk. De kosten zijn wel afhankelijk van de locatiebepaling methode die toegepast wordt. Zoals al eerder aangegeven, is het voor de complexere methoden nodig om extra software te installeren op de mobiele telefoon, wat ook weer onderhouden zal moeten worden. Daardoor zijn de kosten voor Cell ID laag, de kosten voor E-CID medium en voor (E-)OTD hoog [6]. Ook zal er bij complexere algoritmes een samenwerking met de telecommaschappijen aangegaan moeten worden, wat ook kosten met zich mee kan brengen [37]. De markt voor GSM abonnees is vrijwel verzadigd (hoofdstuk 1 en paragraaf 2.1). Dit betekent dat er weinig tot niet geïnvesteerd hoeft te worden in de mobiele apparaten, aangezien deze volop aanwezig zijn. In dit onderzoek is ervoor gekozen om bij het kenmerk *kosten* uit te gaan van Cell ID aangezien deze techniek geïmplementeerd kan worden zonder de telecommaschappijen. Ook is het in Nederland bijvoorbeeld verboden om voor commerciële doeleinden aan triangulatie te doen met cellulaire gegevens. De hogere kosten voor complexere algoritmes zal als een waarschuwing (paragraaf 7.2.3.2 en 7.4.6) geïmplementeerd worden. Kort samengevat:

Netwerk: geen investering

Prijs per eenheid: laag, aangezien vrijwel overal aanwezig

Overige kosten: laag (bij complexe methodes hoog).

Hierdoor krijgt cellulaire locatiebepaling de waarde **laag**.

Televisie. Net als bij de vorige twee technieken werk TV locatiebepaling op een bestaand netwerk. Hier hoeft niet in geïnvesteerd te worden. Voor het locatiebepaling systeem van Rosum²⁴ is het niet nodig om het TV signaal te demoduleren om de locatie te berekenen. Het kan

daarom gebruik maken van goedkope mobiele TV tuners (ongeacht de TV standaard die gebruikt wordt). Deze prijzen liggen onder de \$2 en Rosum verwacht dat de prijzen de komende jaren snel zullen dalen. Deze kostenverlaging wordt aangedreven door een explosie in het aantal apparaten waarop televisie kijken mogelijk is [46]. Omdat televisie locatiebepaling een vrij nieuwe techniek is, met maar één commerciële aanbieder, ben je voor de installatie en het onderhoud afhankelijk van Rosum Corporation. Zij beweren dat ze kosttechnisch de concurrentie met GPS aan kunnen gaa. Het is mogelijk om zelf locatiebepaling methoden met behulp van TV signalen te implementeren, maar dat levert vanzelfsprekend hoge onderzoeks- en implementatiekosten op. Kort samengevat:

Netwerk: geen investering

Prijs per eenheid: laag/gemiddeld

Overige kosten: hoog (bij eigen implementatie), gemiddeld (door Rosum)

Hierdoor krijgt televisie locatiebepaling de waarde **gemiddeld**.

Infrarood. IrDA systemen bestaan uit zeer goedkope componenten. Infrarood zenders kunnen al voor enkele eurocenten aangeschaft worden⁴³ en de prijs voor de ontvangers ligt onder de €7⁴³. Er zal wel geïnvesteerd moeten worden in de aanleg en het onderhoud van een netwerk. Maar vanwege de lage prijs van de IrDA componenten, zullen de kosten voor de aanleg van het netwerk niet hoog zijn. Het energieverbruik van IrDA is laag (paragraaf 6.7), waardoor het systeem wel een lange levensduur heeft. Kort samengevat:

Netwerk: laag

Prijs per eenheid: zeer laag

Overige kosten: gemiddeld

Hierdoor krijgt televisie locatiebepaling de waarde **laag**. [36, 39].

RFID. Zoals aangegeven in paragraaf 5.5 is de prijs voor RFID tags zeer laag. Daarom zal RFID waarschijnlijk de standaard voor *item level tagging* gaan worden. RFID lezers daarentegen zijn vrij duur. Prijzen liggen al snel rond de €50⁴³. Bij het kenmerk kosten wordt in dit onderzoek gekeken naar RFID als RTLS. Zoals eerder aangegeven maakt RFID gebruik van *proximity sensing* voor de locatiebepaling. Om aan nauwkeurige real time locatiebepaling te kunnen doen, moet het netwerk uit veel lezers bestaan. Dit in tegenstelling tot *item level tagging*, waarbij veel minder lezers noodzakelijk zijn, maar waar de objecten niet real time in de gaten gehouden worden. Vanwege de hoge kosten voor deze lezers wordt het netwerk als geheel een zeer duur systeem. Ook is de locatiebepaling afhankelijk van de posities van de lezers, hieraan wordt namelijk de locatie van de tag afgeleid. Het veranderen van de structuur van de omgeving, zoals bijvoorbeeld het verplaatsen van muren, betekent dat lezers verplaatst en opnieuw aangesloten en geconfigureerd moeten worden. Dit betekent dus hoge onderhoudskosten.

⁴³ Bron: <http://www.conrad.nl>

Kort samengevat:

Netwerk: zeer hoog (vanwege kosten lezers)

Prijs per eenheid: zeer laag (voor tags), zeer hoog (voor lezers)

Overige kosten: hoog

Hierdoor krijgt RFID als RTLS de waarde **hoog** op het kenmerk kosten. [55]

Ultrasound. De kosten voor ultrasone sensoren ligt tussen de 5-10 euro⁴³. Het Active Bat locatiebepaling systeem maakt gebruik van een centrale *controller* en een reeks van bekabelde sensoren (paragraaf 5.6). Hierdoor zijn er vrij hoge opstartkosten. De sensoren moeten namelijk aangesloten en geconfigureerd worden. Ook moeten er veel sensoren geplaatst worden. Door de vaste positie die de sensoren innemen op het plafond is dit systeem ook erg gevoelig voor wijzigingen in de omgeving. Bij Cricket locatiebepaling systeem is er maar één ultrasone sensor per kamer nodig (paragraaf 5.6). De initiële kosten voor het netwerk zijn hierdoor aanzienlijk lager. Ook bij Cricket is het noodzakelijk dat de sensoren op het plafond geplaatst en gekalibreerd moeten worden. Maar de sensoren in het Cricket systeem werken op batterijen en zijn autonoom, in plaats van bekabeld. Iedere sensor moet geïnitieerd worden met zijn systeemcoördinaten en kan daarna met rust gelaten worden tot de batterijen vervangen moeten worden. En het batterijverbruik is zeer laag (paragraaf 6.7). De onderhoudskosten zijn dus een stuk lager dan bij het Active Bat systeem. Kort samengevat:

Netwerk: gemiddeld

Prijs per eenheid: gemiddeld

Overige kosten: gemiddeld

Hierdoor krijgt ultrasone locatiebepaling de waarde **gemiddeld**. [15, 36, 39]

Wi-Fi. In S. Xuesong *et al.* [43] is een onderzoek gedaan naar de relatieve kosten van de Short-Range Wireless technieken (paragraaf 5.7). Daar kwam de volgende volgorde uit: UWB (hoogst), Wi-Fi (relatief hoog), Bluetooth (relatief laag) en ZigBee (laag).

De kosten voor Wi-Fi componenten zijn hoog. De prijzen zijn vergelijkbaar met de RFID lezers hierboven⁴³. Hierdoor kan de aanleg van een Wi-Fi netwerk een dure operatie worden. Maar, net als bij GPS, neemt het aantal mobiele apparaten, uitgerust met Wi-Fi, steeds meer toe (zie paragraaf 5.7.1). Ook zijn Wi-Fi netwerken vrijwel overal aanwezig. Hierdoor zullen de kosten voor de aanleg van het netwerk vrijwel nihil zijn. Net als bij GPS is er veel programmatuur en kennis aanwezig. Hierdoor kunnen de onderhoudskosten laag blijven. Kort samengevat:

Netwerk: hoog (maar indien aanwezig laag)

Prijs per eenheid: hoog

Overige kosten: gemiddeld

Hierdoor krijgt Wi-Fi locatiebepaling de waarde **gemiddeld**. [36, 43]

- Bluetooth.** Bluetooth componenten zijn onder de €2 verkrijgbaar⁴⁴. De onderhoudskosten van het netwerk zijn vergelijkbaar met die van Wi-Fi. Heel veel apparaten zijn uitgerust met bluetooth zenders/ontvangers, waardoor er meer kosten bespaard kunnen worden. Kort samengevat:
- Netwerk:* laag
Prijs per eenheid: laag/gemiddeld
Overige kosten: gemiddeld
 Hierdoor krijgt bluetooth locatiebepaling de waarde **laag**. [43]
- UWB.** De prijzen voor UWB componenten liggen rond de €20⁴⁵. Hiermee zijn ze aan de dure kant, maar dat komt ook omdat UWB nog een redelijk nieuwe techniek is. De prijzen zullen de komende jaren gaan dalen, nu de interesse naar UWB aan het toenemen is (zie paragraaf 5.7.3). Het installeren van het netwerk is vergelijkbaar met Wi-Fi. Maar UWB netwerk zijn vrijwel niet aanwezig, dus er zal in geïnvesteerd moeten worden. Hetzelfde geldt voor de kennis van en dus het onderhoud van het netwerk. Ter illustratie: een compleet UWB onderzoekspakket van Ubisense³⁷ (bestaande uit 4 sensoren, 10 tags en Ubisense software) met installatie, training, ondersteuning en onderhoud inbegrepen, kost €20.340⁴⁶. Kort samengevat:
- Netwerk:* hoog
Prijs per eenheid: gemiddeld/hoog
Overige kosten: gemiddeld
 Hierdoor krijgt UWB nu nog de waarde **hoog** [43, 44]
- ZigBee.** De prijs voor ZigBee zenders ligt zo rond de €5, voor zendontvangtoestellen rond de €10 en voor routers/controllers tussen de 20-30 euro⁴⁷. Daarmee liggen de prijzen onder de prijzen voor Wi-Fi componenten. Een complete ontwikkelaarpakket kan voor €300 aangeschaft worden. Net als bij UWB is de aanleg en het onderhoud vergelijkbaar met Wi-Fi, alleen zijn deze niet alom aanwezig. Maar door de hoge flexibiliteit en simpelheid van de 802.15.4 specificatie, zijn de aanleg- en onderhoudskosten lager dan bijvoorbeeld bij Bluetooth³⁶. Kort samengevat:
- Netwerk:* laag/gemiddeld
Prijs per eenheid: laag/gemiddeld
Overige kosten: laag
 Hierdoor krijgt ZigBee nu de waarde **laag**. [43]

⁴⁴ Bron: <http://www.dealxtreme.com>

⁴⁵ Ultra Wideband Radio Takes Off, <http://techon.nikkeibp.co.jp/NEA/archive/200205/183143/>

⁴⁶ http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_mocaptrack_ubisense&SubCatID_=21&cur=EUR

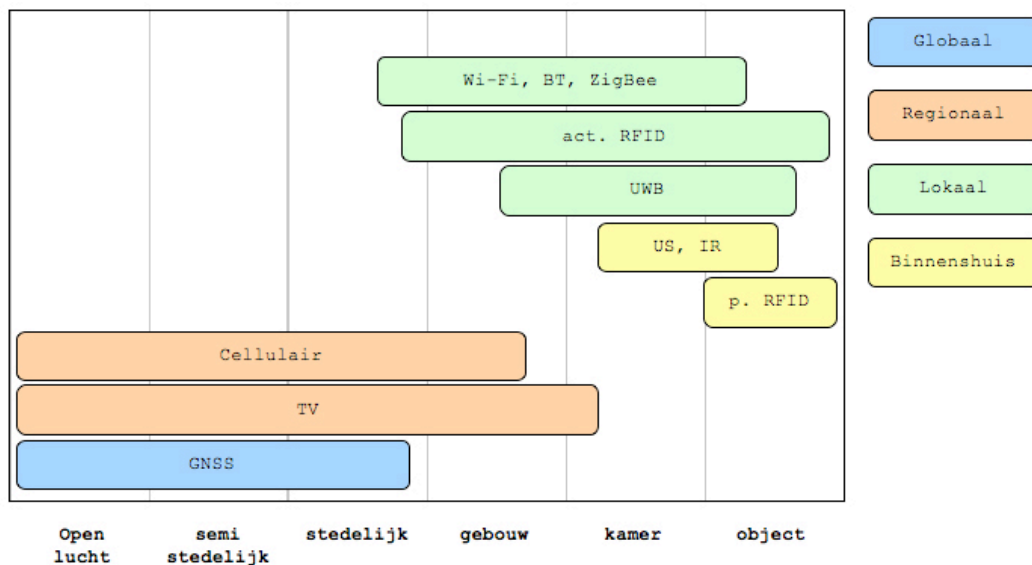
⁴⁷

6.6 Schaal

In Beinat *et al.* [3] wordt een overzicht gegeven over schalen waarin de verschillende locatiebepalingstechnieken opereren. Er wordt een hoofdsplitsing gemaakt tussen globaal, regionaal, lokaal en begrenst binnenshuis. Dit wordt nog verder gesplitst in de categorieën open lucht, semi stedelijk, stedelijk, gebouw, kamer en object. De huidige locatiebepalingstechnieken bestrijken samen alle schalen, maar er is geen techniek die alleen alle schalen omvat. Verder werken de meeste technieken op een geïsoleerde manier en werken ze niet samen. Dit is niet alleen het geval tussen verschillende technieken, maar ook tussen dezelfde technieken in andere landen, bedrijven of organisaties. Het overgaan van de ene schaal naar de ander betekent dat er wijzigingen aangebracht moeten worden. Dit betekent vaak een verandering in nauwkeurigheid, absolute of relatieve locatie, functionaliteit, verordeningen en kosten. Ter illustratie: een transportbedrijf die zijn goederen wil volgen om de toeleveringsketen te verbeteren moet mogelijk [3]:

- De goederen in het warehouse lokaliseren met behulp van actieve RFID om de zending samen te stellen;
- Het product identificeren met een passieve RFID van het transportbedrijf om te starten met het volgen van de toeleveringsketen;
- De vrachtwagen lokaliseren met GPS om het weg-, spoor- of zee gedeelte van de distributieketen te overzien.

De schaal waarin een techniek opereert hangt af van het bereik van een techniek (paragraaf 6.4). Ook de dekking van de netwerk waarin de locatiebepaling plaatsvindt speelt hierbij een rol (zie ook paragraaf 3.1.3) [39]. De gegevens uit Beinat *et al.* [3] en de rest van dit onderzoek, met betrekking tot de schaal van opereren, worden weergegeven in Figuur 6-4.



Figuur 6-4 Schalen waar de technieken in opereren

De waarden worden dus:

Satelliet.	open lucht, semi stedelijk, stedelijk
Cellulair.	open lucht, semi stedelijk, stedelijk, gebouw
Televisie.	open lucht, semi stedelijk, stedelijk, gebouw, kamer
Infrarood.	kamer, object
RFID.	stedelijk, gebouw, kamer, object
Ultrasound.	kamer, object
Wi-Fi.	stedelijk, gebouw, kamer, object
Bluetooth.	stedelijk, gebouw, kamer, object
UWB.	gebouw, kamer, object
ZigBee.	stedelijk, gebouw, kamer, object

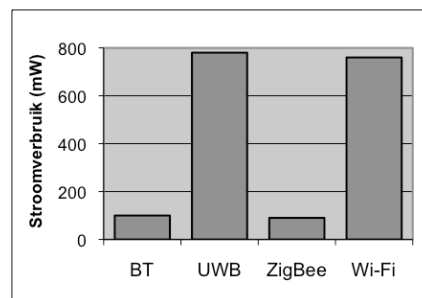
6.7 Batterijverbruik

Om aan locatiebepaling te doen is er vaak extra rekenkracht en software nodig. Dit kan ten koste gaan van de batterijduur van het mobiele apparaat of de tag. De plek waar de locatiebepaling plaatsvindt speelt hier een belangrijke rol in (zie paragraaf 3.1.1). Als de locatie op de handheld berekend wordt, dan is er extra soft- of hardware nodig op de handheld. Hierdoor neemt het batterijverbruik van de handheld toe. Een hoog batterijverbruik gaat ten koste van de mobiliteit van het systeem. Ook de kosten kunnen hoger uitkomen, aangezien vaker batterijen of accu's vervangen moeten worden. De mogelijke waarden bij dit filter zijn zeer hoog, hoog, laag en zeer laag.

Satelliet.	Het batterijverbruik van GPS ontvangers is zeer hoog . Dit is, samen met het gebrek aan locatiebepaling binnenshuis, het grootste nadeel van satelliet locatiebepaling. De belangrijkste reden voor de hoge batterijconsumptie is het feit dat de locatiebepaling plaatsvindt op de ontvanger. Ook moet continu contact gezocht worden met de satellieten, wat ook ten koste van het batterijverbruik gaat. [3, 5, 6, 36]
Cellulair.	Het batterijverbruik bij locatiebepaling in het cellulaire netwerk is ook afhankelijk van de locatiebepaling methode (hoofdstuk 4). Ingewikkeldere locatiebepaling methoden vragen meer rekenkracht van de handheld en zorgen dus voor meer stroomverbruik. Er zijn commerciële ontvangers op de markt die puur voor locatiebepaling in het cellulaire netwerk ontwikkeld zijn. Deze ontvangers kunnen een jaar opereren met de interne batterij ⁴⁸ . Daarom wordt de waarde voor het batterijverbruik van cellulair laag .
Televisie.	Rosum ²⁴ probeert met hun ontwikkelde locatiebepalingstechniek de tekortkomingen van GPS te ondervangen. Het batterijverbruik van mobiele apparaten, uitgerust met TV tuners, zal lager liggen dan dat van GPS. De waarde voor TV is hoog . [54]

⁴⁸ Secutrac - GSM-Ortung für Sicherheit und Logistik, http://www.secutrac-ortung.de/Flyer_Secutrac-Contrac.pdf

- Infrarood.** IrDA heeft een **laag** batterijverbruik. en er zijn enkele procedures aanwezig om stroom te sparen, zoals bijvoorbeeld *sniffing* (zie paragraaf 5.4). Er zijn ook varianten met een minder bereik en een laag stroomverbruik. Deze varianten verbruiken tien keer minder stroom dan de standaard versies. [11, 15, 20]
- RFID.** Er zijn twee verschillende soorten RFID tags: passieve en actieve . De passieve tag heeft zelf geen stroombron. Het krijgt zijn stroom via het signaal dat door de lezer gegenereerd wordt (paragraaf 5.5). Daarom heeft een passieve tag een oneindige levensduur, zolang het circuit intact blijft. Actieve tags hebben een eindige levensduur, maar het batterijverbruik van deze tags is **zeer laag** en daardoor kunnen ze wel 10 jaar meegaan. De oneindige levensduur van passieve tags zal als waarschuwing opgenomen worden in het model. (paragraaf 7.2.3.2 en 7.4.6). [3, 11, 36]
- Ultrasound.** De P-tag⁴¹ van Sonitor heeft een batterijduur van 12-24 dagen, en de E-tag⁴⁰ heeft zelfs een batterijduur van 5 jaar. Een andere commercieel locatiebepaling product gebaseerd op ultrasound, de Ultrasonic Object Tracker van Bristol Wearables⁴⁹, heeft ook een batterijduur van enkele jaren. De waarde voor ultrasound wordt dus **zeer laag**. [56]
- Wi-Fi.** Bluetooth en ZigBee zijn bedoeld voor mobiele producten over korte afstanden met een begrensd batterij verbruik. Ook UWB is bedoeld voor korte afstanden, maar dan wel voor zeer hoge datasnelheden. Hier is meer energie voor nodig. Wi-Fi is ontwikkeld voor langere connecties en ondersteund apparaten met een aanzienlijke stroomaansluiting. J.Lee *et al.* [40] hebben een onderzoek gedaan naar het stroomverbruik van deze vier technieken. Dit wordt weergegeven in Figuur 6-5.



Figuur 6-5 Stroomverbruik

De batterijduur van Wi-Fi is enkele uren en het batterijverbruik dus **hoog**. [22 , 40, 43]

Bluetooth. De batterijduur van Bluetooth apparaten is loopt van enkele dagen tot een week. Het batterijverbruik is dus **laag**. [11 ,22 , 40, 43]

UWB. De batterij bij UWB locatiebepaling kan enkele uren meegaan. Het verbruik is dus **hoog**. [20, 40, 43]

⁴⁹ Bristol Wearables group - Ultrasonic Object Tracker, Equator Curious Home project, www.equator.ac.uk/index.php/articles/670

ZigBee. Bij ZigBee is energiebeheer een primaire taak. Hier is in paragraaf 5.7.4 op ingegaan. Hierdoor kan een batterijduur van enkele maanden tot enkele jaren behaald worden³⁶. Het batterijverbruik is dus **zeer laag**. [22, 40, 43, 44]

6.8 Datasnelheid

De snelheid waarmee de data verstuurd wordt verschilt per techniek. Dit kan van belang zijn bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Hogere datasnelheid van de signalen kan ervoor zorgen dat de locatie sneller berekend kan worden. Maar het kan voornamelijk van belang zijn als de techniek ook voor andere doeleinden gebruikt gaat worden. UWB bijvoorbeeld is geschikt voor multimedia toepassingen met een zeer hoge QoS (zie ook paragraaf 5.7). Dit maakt het dus mogelijk om in een UWB netwerk, naast locatiebepaling, ook andere toepassingen te implementeren.

Satelliet. GPS is primair ontwikkeld voor locatiebepaling. Het is niet mogelijk om communicatiegegevens over het signaal te versturen (behalve de almanak data, die nodig is voor de locatiebepaling, zie ook paragraaf 5.1). Daarom is dit kenmerk voor de GNSS technieken niet van toepassing. De snelheid waarmee het GPS signaal verstuurd wordt is gelijk aan 50 bits pers seconde [57, 58]. Bij de ontwikkeling van Galileo is wel rekening gehouden met eventuele andere commerciële toepassingen. De open service laag (zie paragraaf 5.1.3) zal een datasnelheid van 500 bits per seconde toelaten voor het versturen van waardeverhogende commerciële data [59, 60]. De waarde voor satelliet locatiebepaling zal dus **50 – 500 bps**. zijn. Voor dit kenmerk is een minimum waarde van 1 kbps. ingesteld. Dit vanwege de waarden bij de andere technieken. Satelliet zal dus altijd 0% scoren op dit kenmerk. Het zal ook niet getoond worden in het informatie overzicht van het bereik kenmerk (paragraaf 7.4.4.1), omdat de waarde zo veel lager is dan van de andere technieken. [57, 58, 59, 60]

Cellulair. De datasnelheid van het cellulaire netwerk hangt samen met de generatie van het netwerk waarin het signaal verstuurd is. De nieuwere generaties (zie ook paragraaf 2.2.2.2) hebben hogere datasnelheden. De ontwikkelingen binnen het cellulaire netwerk vinden ook plaats op dit gebied. Hogere snelheden maken waardetoevoegende diensten als e-mail, televisie en multiplayer spellen mogelijk. De waarden zijn als volgt:

GSM: 9 – 14 kbps.

GPRS: 160 kbps.

UMTS: 2 Mbps

De waarde voor cellulaire locatiebepaling is dus **9 kbps – 2 Mbps**. [8, 17]

Televisie. Wanneer TV signalen voor locatiebepaling gebruikt worden, zijn er (net als bij de GNSS) maar enkele bits pers seconde aan dataverkeer nodig om voldoende informatie te krijgen [61]. Maar, in tegenstelling tot bij Satelliet navigatie, zijn TV signalen niet primair

bedoeld om aan locatiebepaling te doen. De datasnelheden die bij TV signalen gehaald kunnen worden liggen tussen de **3 – 20 Mbps**. [61, 62, 63]

Infrarood. De datasnelheden in de huidige IrDA specificatie zijn onderverdeeld in drie categorieën: *Serial Infrared (SIR)*, *Medium Infrared (MIR)* en *Fast Infrared (FIR)*. De datasnelheden voor deze categorieën zijn als volgt [11]:

SIR: 2,4 – 115,2 kbps.

MIR: 115,2 kbps.

FIR: 4 Mbps.

Sinds 2005 is er een nieuwe categorie bijgekomen de *Very Fast Infrared (VFIR)*. De categorie kan datasnelheden tot 16 Mbps. halen [17, 20]. Deze ontwikkeling hangt samen met het streven van de Infrared Data Association om tot een *Ultra Fast Infrared (UFIR)* protocol te komen waarin snelheden tot 100 Mbps. gehaald kunnen worden. Dit protocol is nog steeds in ontwikkeling, dus de waarde voor datasnelheid van infrarood wordt **2,4kbps. – 16Mbps**. [11, 17, 20]

RFID. Net als het bereik hangt ook de datasnelheid bij RFID af van de gebruikte frequentie. Een overzicht van het mogelijke datasnelheden wordt ook weergegeven in Figuur 5-8 in paragraaf 5.5. De waarde is dus **1 kbps – 10 Mbps**. [3, 11]

Ultrasound. Datasnelheden tussen de **1 – 10 kbps**. kunnen makkelijk verstuurd worden door middel van ultrasound⁵⁰. Tests met ultrasone communicatie onder water haalde een datasnelheid tussen de 4 – 10 kbps. [64]. In andere onderzoeken wordt gewerkt met ultrasone zenders met een datasnelheid van 2 kbps. [65]

Wi-Fi. De datasnelheid van Wi-Fi hangt af van de specificatie. 802.11a heeft een snelheid van 54 Mbps en 802.11b een snelheid van 11 Mbps. De waarde voor Wi-Fi is **11 – 54 Mbps**. [9, 28, 17, 22, 43]

Bluetooth. De maximale datasnelheid voor de Bluetooth 1.2 specificatie is 780 kbps [2, 8]. Deze bandbreedte kan op twee manieren gesplitst worden, afhankelijk van het soort communicatie. Voor unidirectioneel dataverkeer is de bandbreedte verdeeld in 721 kbps en 57,6 kbps voor de terugkeer richting. De tweede mogelijkheid voor communicatie is symmetrisch dataverkeer. Hierbij is de bandbreedte verdeeld in twee delen met ieder een datasnelheid van 432,6 kbps. Bij de Bluetooth 2.1 specificatie van 2007 is *Enhanced Data Rate (EDR)* geïntroduceerd voor sneller dataverkeer⁵¹. De nominale snelheid is 3 Mbps, maar gemiddeld wordt er een snelheid van 2,2 Mbps gehaald [20, 23]. Sinds april 2009 is 3.0 specificatie aangenomen. Deze *High Speed (HS)* specificatie haalt een datasnelheid tot 24 Mbps⁵¹. De waarde is dus **721 kbps. – 24 Mbps**. [2, 8, 9, 17, 20, 22, 23, 40, 41, 43]

⁵⁰ L .Hofmann, *Transmission of data by ultrasound*, United States Patent 6950681

⁵¹ Bluetooth –Basics, <http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Basics.htm>

UWB. De wet van *Shannon-Hartley*, $C=B \log_2(1+S/R)$, zegt dat de maximale hoeveelheid data die foutloos over een kanaal getransporteerd kan worden (C, de kanaalcapaciteit in bps) lineair toeneemt met de bandbreedte van het kanaal (B). Omdat er enkele GHz aan bandbreedte beschikbaar is voor UWB (zie paragraaf 5.7.3), kan er ook een erg hoge datasnelheid gehaald worden tot Gigabits per seconde.

De datasnelheid van UWB ligt tussen de **100Mbps–1Gbps**. [9, 17, 20, 40, 43]

ZigBee. De datasnelheid bij ZigBee is afhankelijk van de frequentie waarop uitgezonden wordt. De waarden zijn als volgt:

868MHz: 20 kbps.

915MHz: 40 kbps.

2.4GHz: 250 kbps.

Dus de algehele waarde voor ZigBee wordt **20 – 250 kbps**.³⁶ [9, 22, 40, 41, 43]

6.9 Frequentie

Zoals ook aangegeven is in paragraaf 3.1.5 opereren de technieken op verschillende bandbreedtes in het frequentiespectrum. Het is van belang om deze techniek op te nemen in het model vanwege verschillende redenen. De hoogte van de frequentie kan uitmaken of signalen door muren kunnen of niet. Ook kunnen grotere bandbreedtes zorgen voor hogere datasnelheden (zie ook paragraaf 6.8). Het kan zo zijn dat een techniek interfereert met andere technieken in dezelfde frequentie bandbreedte (bijvoorbeeld ziekenhuisapparatuur).

Het elektromagnetische spectrum is het bereik van alle mogelijke frequenties van elektromagnetische straling. Het spectrum strekt zich uit van beneden de gebruikte frequenties voor moderne radio tot gammastraling. Hiermee loopt het bereik van golflengten van duizenden kilometers tot een fractie van de grootte van een atoom. Een overzicht van het spectrum wordt weergegeven in Figuur 6-6 [67].

Regio	Frequenties	Golflengtes
Radio uitzendingen	3 Hz – 20 MHz	100 Mm – 10 m
Televisie uitzendingen	30 MHz – 900 MHz	10 m – 0,3 m
Microgolf transmissies	900 MHz – 30 GHz	0,3 m – 10 mm
Infrarood	300 GHz – 400 THz	1 mm – 760 nm
Zichtbaar licht	400 THz – 750 THz	760 nm – 400 nm
Ultraviolet	750 THz – 3 PHz	400 nm – 100 nm
Röntgenstraling	30 PHz – 6 EHz	10 nm – 50 pm
Gammastraling	6 EHz – 600 EHz	50 pm – 500 fm

Figuur 6-6 Het elektromagnetisch spectrum

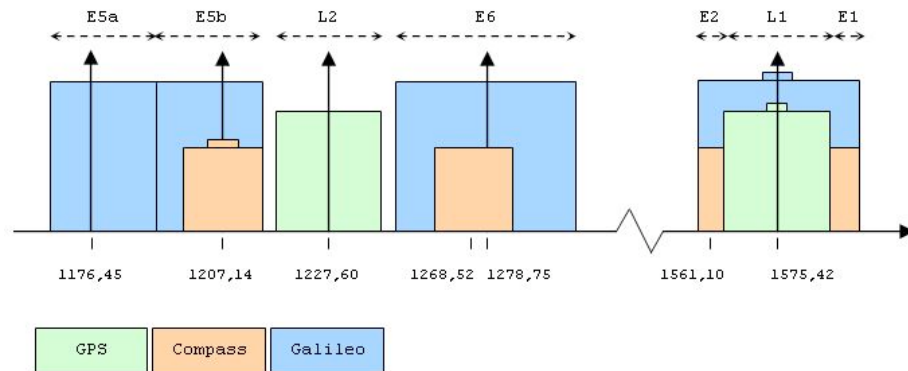
De lange golflengtes aan de lage energie kant van het spectrum bevatten de banden die gebruikt worden voor radio- en televisie transmissies en de microgolf banden. De segmenten van deze kant van het spectrum worden weergegeven in [67].

Naam	Afk.	Frequentie	Golflengte
Extremely low frequency	ELF	3 – 30 Hz	100 – 10 Mm
Superlow frequency	SLF	30 – 300 Hz	10 – 1 Mm
Ultralow frequency	ULF	300 Hz – 3 kHz	1 Mm – 100 km
Very low frequency	VLF	3 – 30 kHz	100 – 10 km
Low frequency	LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km
Medium frequency	MF	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m
High frequency	HF	3 – 30 MHz	100 m – 10 m
Very high frequency	VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultrahigh frequency	UHF	300 MHz – 3 GHz	1 m – 100 mm
Superhigh frequency	SHF	3 – 30 GHz	100 – 10 mm
Extremely high frequency	EHF	30 – 300 GHz	10 – 1 mm
Micrometer golven	--	300 GHz – 30 THz	1 mm – 10 μ m

Figuur 6-7 Radio frequentie deel van het elektromagnetisch spectrum

Satelliet. De L frequentieband is het bereik tussen 390 MHz en 1.55 GHz dat gebruikt wordt voor satelliet communicatie. De L1 frequentie bevat de *C/A code*, de versleutelde *P-code* en navigatie berichten die gebruikt worden voor commerciële GPS ontvangers (zie ook paragraaf 5.1). De L2 frequentie bevat alleen de versleutelde *P-code* en wordt alleen gebruikt om signaalvertragingen door de ionosfeer te berekenen. Een derde civiele frequentie L5 is in ontwikkeling. Deze frequentie zal gebruikt gaan worden voor het *safety-of-life* signaal (*SoL*) van GPS. De *Open Service (OS)* van Galileo zal verstuurd worden via de E5a frequentie en de *Commercial Service (CS)* via de E6 frequentie. Het *safety-of-life* signaal (*SoL*) van Galileo zal verstuurd worden via twee frequentiebanden: L1 en E5b en de *Public Regulated Service (PRS)* via E1 en E2 (zie paragraaf 5.1.3). De frequenties voor het Compass navigatie systeem zijn verspreid over vier banden: E1, E2, E5b en E6. Deze overlappen met Galileo. Hierdoor bestaat de kans op interferentie tussen de systemen, met name in de E1 en E2 band. Dit wordt grafisch weergegeven in Figuur 6-8. Volgens de richtlijnen van de International Telecommunications Union (ITU) heeft het eerste land dat gaat uitzenden op een bepaalde frequentie de prioriteit over die frequentie. Overige gebruikers zijn genoodzaakt om toestemming te vragen of te verzekeren dat hun uitzendingen niet interfereren met die van het andere land.^{52,53}

⁵² GPS World, *Galileo, Compass on collision course* (2009)



Figuur 6-8 Frequenties GPS, Galileo, Compass

De waarden zijn als volgt (in MHz.):

	E2-L1-E1	L2	L5-E5a	E5b	E6
GPS	1575.42	1227.6	1176.45		
GLONASS	1598.1 - 1609.3	1242.9 - 1251.7			
Galileo	1575.42		1176.45	1207.14	1278.75
Compass	1575.42			1207.14	1278.75

De mogelijke waarden zijn dus **1176,45; 1207,14; 1227,60; 1242,90 – 1251,70; 1278,75; 1575,42; 1598,10 – 1609,3** MHz. [22, 33, 46]

Cellulair. Het eerste wijd verspreide automatische mobiele netwerk in Europa was gebaseerd op de NMT-450 standaard, wat gelijk was aan de 450 MHz. band. Vanaf het moment dat mobiele telefoons populair en betaalbaar werden, konden de mobiele telefoon aanbieders geen diensten meer aanbieden aan het toenemende aantal gebruikers. Enkele Europese landen, en Japan, namen het *Total Access Communication System (TACS)* aan dat op 900 MHz. opereerde. De GSM standaard, die in Europa de NMT-450 en andere standaarden moest vervangen, gebruikt initieel deze frequentieband ook. Naarmate de vraag groeide vroegen steeds meer aanbieders licenties aan voor de 1800 MHz. band. Algemeen gezegd zorgen lagere frequenties ervoor dat aanbieders minder dekking voor een groot gebied kunnen leveren, terwijl hogere frequenties het voor aanbieders mogelijk maakt om diensten te leveren aan meer gebruikers in een kleiner gebied. In noord Amerika opereert GSM op de primaire mobiele communicatiebanden 850 MHz. en 1900 MHz.. In Canada is in stedelijke gebieden de GSM-1900 de primaire band, met 850 als back-up. Op het platteland is GSM-850 de primaire band. In de Verenigde Staten bepalen wettelijke vereisten welk gebied welke band kan gebruiken. Veel GSM toestellen ondersteunen drie

⁵³ D. Levin, *Chinese Square Off With Europe in Space* (2009)

banden (900/1800/1900 MHz. of 850/1800/1900 MHz.) of vier banden (**850/900/1800/1900 MHz**). Deze toestellen worden *Tri-band* en *Quad-band* toestellen genoemd. Dergelijke toestellen kun je overal ter wereld gebruiken. [8, 17, 28]

Televisie. GPS signalen worden op een hoge frequentie uitgezonden en daardoor sterk verzwakt door gebouwen en andere kunstmatige structuren. Rosum²⁴ maakt bij zijn TV locatiebepaling gebruik van veel lagere frequenties. Bij deze frequenties kunnen de signalen dieper gebouwen binnendringen en dus gebruikt worden voor televisie kijken en locatiebepaling binnenshuis. In het elektromagnetisch spectrum (zie Figuur 6-6) bestrijken TV signalen de frequenties van **30 – 900 MHz**. De frequenties, waarop de locatiebepaling van Rosum gebaseerd is, zijn 50 – 700 MHz. [66]

Infrarood. Infrarood bestrijkt de frequenties van 300 GHz – 400 THz (zie Figuur 6-6). Voor de overzichtelijkheid van het model en vanwege de waarden van de andere technieken is voor dit kenmerk een bovengrens van 10 THz gekozen. De waarde van infrarood op dit kenmerk wordt **300 GHz – 10 THz**. [67, 68]

RFID. De energie voor passieve tags wordt verstuurd door middel van radio signalen van een bepaalde frequentie. Deze signalen worden ook gebruikt om data en commando's te versturen van de lezer naar de tag. De tag moduleert de energie om de data, die de lezer verwacht, te encoderen en stuurt het terug over dezelfde frequentie. Er zijn vijf frequentiebanden die door RFID gebruikt worden (zie ook paragraaf 5.5). Standaardisatie hiervan is vastgelegd in *ISO/IEC 18000*⁵⁴. Dit is een internationale standaard die een passief RFID systeem, gebruikt voor objectidentificatie, beschrijft. Deze standaard bevat de volgende onderdelen, onder de titel "Radio frequency identification for item management":

Deel 1: Referentie architectuur en de definitie van de parameters die gestandaardiseerd moeten worden.

Deel 2: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces onder 135 kHz.

Deel 3: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces bij 13,56 MHz.

Deel 4: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces bij 2,45 GHz.

Deel 5: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces bij 5,8 GHz. (Dit deel van de standaard is teruggetrokken vanwege te weinig mondiaal belang)

Deel 6: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces bij 860 MHz - 960 MHz.

Deel 7: Parameters voor luchtcommunicatie interfaces bij 433 MHz.

De waarden voor RFID zijn dus:

135 kHz, 13.56 MHz, 433 MHz, 868/915 MHz, 2.45 GHz

⁵⁴ http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=45332

In het UHF domein hangen de twee frequenties (868/915) af van de geografische positie. In Europa is de band rondom 900 MHz gereserveerd voor GSM communicatie (zie ook kopje cellulair hierboven) en een frequentie van 915 MHz zou kunnen interfereren met het cellulaire netwerk. [8, 22]

- Ultrasound.** Ultrasound refereert aan geluidsgolven groter dan de bovengrens van het menselijk gehoor. Hoewel deze grens verschilt van persoon tot persoon, is dit ongeveer gelijk aan 20 kHz. Sommige dieren zoals honden, katten, dolfinen, vleermuizen en muizen, hebben een frequentie bovengrens die hoger is dan van het menselijk oor. Daardoor kunnen zij ultrasone geluiden horen. In het algemeen lopen ultrasone frequenties van 1 – 10 MHz. De waarde voor ultrasound wordt **20 kHz – 10 MHz**. [69, 70]
- Wi-Fi.** Bluetooth, Wi-Fi en ZigBee opereren binnen de *Industrial, Scientific en Medical (ISM)* radio band (zie ook paragraaf 3.1.5 en 5.7.2). Daarbinnen maakt 802.11a gebruik van een frequentie van **5 GHz**, en 802.11b een frequentie van **2.4 GHz**. [9, 17, 22, 40, 43]
- Bluetooth.** Binnen de ISM band opereert bluetooth op een frequentie van **2.4 GHz**. Vanwege de drukte binnen deze band, maakt bluetooth gebruik van *Spread Spectrum* technieken, zoals is behandeld in paragraaf 5.7.2. [9, 17, 22, 40, 43]
- UWB.** Het frequentiespectrum van Ultra Wide Band is uitgebreid behandeld in paragraaf 5.7.3. Deze loopt van **3.1 – 10.6 GHz**. [9, 40, 43]
- ZigBee.** ZigBee maakt wereldwijd binnen de ISM band gebruik van de frequentie van **2.4 GHz**. In Amerika wordt ook nog gebruik gemaakt van de **915 MHz** en in Europa van de **868 MHz** ISM band. [22, 40, 43]

6.10 Privacy / encryptie

Beveiliging en privacy zijn altijd een grote kwestie geweest bij het koppelen van apparaten. Tot nu toe was het beveiligingsaspect van desktop Pc's het meest besproken aspect. Maar met de komst van draadloos gekoppelde mobiele apparaten, komt er een nieuwe manier van beveiliging en privacy aan bod. Naast het feit dat draadloze signalen makkelijk afgeluisterd kunnen worden, is ook de opslag van data een kwestie geworden. Mobiele apparaten kunnen makkelijker gestolen of verloren worden, dus de data moet beveiligd (en versleuteld) opgeslagen worden. [8]

Daarom is de afhandeling van de privacy en beveiliging een zeer groot item bij de implementatie en verlening van Location Based Services. Het is een kritieke succesfactor voor een brede acceptatie van deze diensten. De term privacyafhandeling versterkt zaken als eigendom van de locatie-informatie, gebruik van de locatie-informatie, openbaarmaking aan de dienstverlener, enzovoorts. Bestaande voorstellen van exploitanten en standaardisatie organisaties (zoals de 3GPP⁵⁵) stellen een prioriteiten schema voor waarbij de kern netwerk elementen (zoals bijvoorbeeld het *Home Location Register (HLR)*) de hoofdcontrole hebben over de locatie informatie. De openbaarmaking of levering van deze informatie

⁵⁵ 3rd Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org/>

aan andere entiteiten (zoals de locatieserves en application service providers (ASP)) is onderworpen aan abonnee gegevens (bijvoorbeeld registratie informatie) en regelgevingskaders [1].

De eis voor persoonlijke privacy vereist dus dat de openbaarmaking, van de locatie van een gebruiker aan een derde partij, alleen door de gebruiker zelf goedgekeurd mag worden. P.M. Adams *et al.* [5] onderscheiden vier categorieën van locatieverzoeken waarbij geen privacycontrole uitgevoerd dient te worden:

- legale interceptie (in opdracht van de overheid kan telefoonverkeer, internetverkeer e.d. worden afgetapt en afgeleverd aan de overheid);
- alarmnummers;
- door het dienstdoende netwerk voor het anoniem volgen vanwege statistische doeleinden;
- door een thuisnetwerk, aangevraagd door de netwerkbeheerder, voor interne doeleinden.

Voor een uitgebreider onderzoek naar de beveiliging en versleuteling van privacygevoelige informatie op mobiele apparaten, wordt verwezen naar [1, 3, 5, 8, 11].

Het is impliciet dat, naast locatie informatie, een LBS de mogelijkheid moet hebben om de gebruiker (persoon of object) te identificeren om *context awareness* (derde drijfveer, hoofdstuk 1) te creëren. Locatie en identificatie zijn altijd geassocieerd met elkaar, maar hun relatieve belang verschilt afhankelijk van het gebruik. De tabel in Figuur 6-9 geeft een overzicht voor het definiëren van diensten, gebaseerd op het relatieve belang van de locatie en identificatie methode [3].

	Locatie niet essentieel	Locatie essentieel
Identificatie niet essentieel	Niet toepasbaar: is geen LBS	Klasse van diensten waarbij de identiteit van het individuele object/persoon niet relevant is voor de dienst. Dit bevat gezamenlijke informatiediensten, zoals verkeer op een bepaald stuk snelweg, aantal mensen in een gebouw, aantal goederen in een warehouse.
Identificatie essentieel	Diensten waarbij de locatie impliciet is in de definitie van de dienst en daardoor niet relevant is als een apart informatiedeel. Deze klasse bevat bijvoorbeeld het tellen van items in een winkelwagen of het verifiëren van de inhoud van een vrachtwagen. In deze gevallen worden de items meestal gedetecteerd op een vooraf gedefinieerde locatie. Deze diensten worden vaak <i>auto-id</i> diensten genoemd.	Diensten die de identificatie van het object/persoon en de locatie als basis voor de dienst vereisen. Bijvoorbeeld de locatie en identificatie van infusen in een ziekenhuis, de locatie van een bestuurder in nood, enzovoorts. Dit zijn de meest gebruikelijke LBS.

Figuur 6-9 locatie en identificatie

De plaats waar de locatiebepaling plaatsvindt (paragraaf 3.1.1) is ook van invloed op de veiligheid van de gegevens. Als de informatie op de handheld berekend wordt, dan is de locatie alleen daar bekend en nergens anders. GPS satellieten hebben bijvoorbeeld geen kennis over de gebruiker van het signaal dat ze verzenden [39].

Ook datasnelheid kan van invloed zijn op de beveiliging. Smalband systemen hebben meestal lage datasnelheden, waardoor het haast onmogelijk is om een unieke identificatie te encoderen in het kort durende signaal (zie ook paragraaf 5.6). Het is hierdoor moeilijk voor een ontvanger om de signalen van verschillende tags te onderscheiden [38].

Alle behandelde technieken zorgen er op de een of andere manier voor dat de signalen veilig verstuurd kunnen worden. Er is in dit onderzoek voor gekozen om bij dit kenmerk te kijken naar de aanwezigheid van encryptie algoritmes. Deze zouden ervoor kunnen zorgen dat zowel het signaal beveiligd is, als de eventueel opgeslagen data. In het model zal dit kenmerk dus opgenomen worden met als naam *encryptie* waarbij alleen de waarde ja of nee gekozen kunnen worden (zie paragraaf 7.1.2).

Satelliet. Signaal authenticiteit van satelliet navigatie systemen is nodig om er zeker van de te zijn dat het signaal niet van een simulator komt, maar authentiek is. Er zijn een aantal bestaande en voorgestelde signaal authenticatie methoden. De Open Service (OS) van het Galileo systeem zal authenticatie door middel van *Authentication Navigation Messages (ANM)* gaan ondersteunen. De ANM's gaan een digitale handtekening bevatten die de andere navigatieberichten, met de almanak en de ephemeris, zullen authenticeren. Een ander voorbeeld is *Spreading Code Encryption (SCE)*. SCE is een van de oudste signaal authenticatie technieken en wordt op dit moment gebruikt om het militaire P signaal van GPS te versleutelen. De **encryptie methode** werd ook gebruikt om *Selective Availability* mogelijk te maken. De authenticatie van Galileo's CS en PRS signalen zal op dezelfde manier gaan gebeuren. De uitdaging voor de nieuwe generatie satelliet systemen zit hem in de authenticatie van burgersignalen. Burgerlijke (GPS) ontvangers zijn op dit moment nog erg kwetsbaar voor *spoofing*. C/A signalen, met een correct formaat, kunnen gegenereerd worden met behulp van bestaande signaalgenerators. In Pozzobon *et al.* [71] wordt een overzicht gegeven van authenticatie methoden die hier een oplossing voor kunnen gaan bieden.

Cellulair. GSM is ontwikkeld met een gemiddeld beveiligingsniveau. Het systeem is ontworpen om de abonnee te authenticeren door middel van een vooraf gedeelde sleutel en een *challenge response* authenticatie. De anonimiteit van de gebruiker wordt gegarandeerd door het gebruik van tijdelijke identificatie nummers. De vertrouwelijkheid van de communicatie over de radio verbinding wordt gegarandeerd door **encryptie algoritmen** en *frequency hopping*. Met de ontwikkeling van UMTS werd een optionele *Universal Subscriber Identify Module (USIM)* geïntroduceerd. Deze gebruikt een grotere authenticatie sleutel om meer beveiliging te geven. Verder maakt UMTS gebruik van het wederzijds

authenticeren van het netwerk en de gebruiker, terwijl GSM alleen de gebruiker van het netwerk authenticert (en niet andersom). Hierdoor kunnen valse zendmasten gevonden worden. UMTS bouwt voort op de beveiliging van GSM en heeft de beveiligingskenmerken, die zich bewezen hebben, overgenomen. Dit maximaliseert de compatibiliteit tussen GSM en UMTS. UMTS bestaat uit vijf beveiligingskenmerk groepen:

- *Network Access Security* voorziet de gebruiker van een veilige toegang tot UMTS diensten en beveiligt tegen aanvallen op het signaal.
- *Network Domain Security* beveiligt tegen aanvallen op het bedraad netwerk en laat knopen in het domein van de aanbieder beveiligd signaalgegevens uitwisselen.
- *User Domain Security* levert beveiligde toegang tot mobiele stations.
- *Application Domain Security* maakt het beveiligd uitwisselen van berichten tussen applicaties in het gebruikers- en het aanbieders domein mogelijk.
- *Zichtbaarheid en configureerbaarheid van de beveiliging* stelt de gebruiker in staat in de gaten te houden of een beveiligingskenmerk op dit moment actief is en of bepaalde diensten afhangen van dat kenmerk.

Televisie. Het is mogelijk om encryptie toe te passen op televisie signalen. Dit wordt vaak aangeduid als *scrambling* en wordt gebruikt om bijvoorbeeld toegang tot betaaltelevisie te regelen. In de locatiebepalingstechniek van Rosum²⁴ wordt ook gebruik gemaakt van Femtocells (zie paragraaf 5.3). De standaard encryptie die gebruikt wordt in het cellulaire netwerk moet ook aanwezig zijn in de femtocell die van die dienst gebruik maakt. Maar er is geen enkele informatie te vinden over de aanwezigheid van encryptie algoritmes op de FemtoSynch tags, die gebruikt worden voor de locatiebepaling. Daarom krijgt locatiebepaling met TV signalen de waarde **geen encryptie** bij dit kenmerk.

Infrarood. IrDA bevat **geen encryptie** of andere vormen van beveiliging. Toch wordt IrDA als veilig beschouwd, vanwege het korte bereik, *line-of-sight* en de invalshoek (paragraaf 5.4). Iemand die het infrarode signaal wil afluisteren moet zich in de directe nabijheid van de communicerende apparaten bevinden, binnen de invalshoek. Verder moeten nieuwe apparaten goedkeurig krijgen van het apparaat dat de rol van Master heeft in het netwerk, om te kunnen verbinden. Deze vorm van 'beveiliging' zal als een waarschuwing geïmplementeerd worden in het model (paragraaf 7.2.3.2 en 7.4.6). [10, 11, 48]

RFID. Door het zeer korte bereik van passieve RFID tags is afluisteren van het vrijwel signaal onmogelijk. Toch heeft de RFID technologie veel aandacht in de pers gekregen vanwege bezorgdheid over privacy. Men was bang dat deze technologie bedrijven en de overheid teveel kennis zou geven over het gedrag van consumenten. Om die reden hebben standaardisatie organisaties een *kill* commando opgenomen in de specificatie. Deze zet de

chip op slot totdat er een wachtwoord ingevoerd wordt. De noodzaak van beveiliging is voornamelijk aanwezig wanneer er een vorm van netwerk connectie gelegd met worden. Bij de locatiebepaling methoden van RFID is er dus geen echte noodzaak voor geavanceerde beveiliging. Toch zijn tegenwoordig complexere actieve RFID tags uitgerust **met encryptie** methoden wat beveiligde zendingen tussen lezer en ontvanger mogelijk maakt (zie ook paragraaf 5.5) [8, 11]

Ultrasound. De ultrasonische locatiebepaling systemen (zoals Cricket) zijn ontwikkeld om de privacy van de gebruikers in het systeem te beschermen. Dit wordt bereikt omdat alleen het mobiele apparaat, en niet de infrastructuur, de locatie kent [38, 72]. Verder hebben ultrasonische signalen een zeer lage datasnelheid (paragraaf 6.8). Het is daarom lastig om een versleutelde identificatie mee te sturen (zie eerder deze paragraaf). De huidige ultrasonische locatiebetalingssystemen zijn **niet uitgerust met encryptie** mogelijkheden.

Wi-Fi. Zoals aangegeven in paragraaf 6.4 sturen access points en routers hun signaal in alle richtingen of er nu een mogelijke client is of niet over een bereik van maximaal 200 meter. Daardoor is het dus potentieel mogelijk voor iedereen om het signaal af te luisteren en data te stelen. Het beveiligen van de signalen heeft daarom bij de Wi-Fi Alliance altijd een grote rol gespeeld. In 802.11 maakt Wi-Fi gebruik van een RC4 stroomversleuteling voor de encryptie en een CRC-32 checksum voor de integriteit. Echter werden vrij snel enkele serieuze zwakheden ontdekt door cryptoanalisten. De zogenaamde *Wired Equivalent Privacy (WEP)* encryptie, kan binnen tegenwoordig enkele minuten gekraakt worden en wordt daarom als volledig gekraakt beschouwd. Om dit tegen te gaan werd in 2002 door de Wi-Fi Alliance *Wi-Fi Protected Access (WPA)* geïntroduceerd. Deze techniek was een stuk veiliger dan WEP, maar ook hier zijn bekende aanvalsvectoren voor gevonden, en daarom wordt deze encryptie methode niet meer aanbevolen. Sinds 2004 is de 802.11i standaard geïntroduceerd (*WPA2*), die gebruik maakt van een *Advanced Encryption Standard (AES)* blokversleuteling. Tijdens dit schrijven wordt deze **versleuteling** nog steeds als veilig beschouwd. Ook het authenticatie mechanisme van Wi-Fi maakt gebruik van deze AES versleuteling [8, 16, 40].

Bluetooth. Iedereen met de juiste apparatuur kan Bluetooth signalen opvangen en toegang krijgen tot de verstuurde data. Het FHSS algoritme (paragraaf 5.7.2) maakt dit, door het pseudowillekeurige veranderen van frequentie, zeer moeilijk, maar het is niet onmogelijk. Om apparaten te authenticeren en de data van het signaal te beveiligen, beschikt Bluetooth over **encryptie** en verschillende beveiligingsmodussen. Voor meer informatie wordt verwezen naar Hallberg *et al.* [11]. De basis voor de encryptie in Bluetooth is een variant van de SAFER+ versleuteling. Er zijn verschillende soorten sleutels gedefinieerd in de Bluetooth specificatie.

- *Link Key*. Deze worden gebruikt om Bluetooth apparaten te authenticeren, maar ook om sleutels te genereren. *Link keys* kunnen zowel semipermanent als tijdelijk zijn.
- *Master Key*. Deze sleutels worden gebruikt voor punt tot multi-punt communicatie en kunnen de huidige *link key* vervangen voor een bepaalde tijd.
- *Unit Key*. Deze sleutel is meestal ROM gebaseerd en wordt aangemaakt tijdens de fabricage.
- *Combination Key*. Deze sleutel is een combinatie van de twee *unit keys* van de communicerende apparaten. Het wordt vaak gebruikt om de *unit key* te vervangen.
- *Initialization Key*. Deze sleutels worden gebruikt als *link keys* gedurende een enkele sessie. Ze worden alleen gebruikt als er geen *combination-* of *units keys* zijn uitgewisseld.
- *Encryption Key*. Deze sleutels worden afgeleid uit de huidige *link key*.

Authenticatie kan gebruikt worden wanneer twee apparaten zeker willen zijn dat ze een gemeenschappelijke geheime sleutel delen. Deze geheime sleutel kan een vaste sleutel zijn die tijdens fabricage is aangemaakt, of een sleutel die is afgeleid uit een opgegeven PIN code door de gebruiker, die op beide apparaten ingevoerd moet worden. [8, 11, 40]

UWB. UWB stuurt series van zeer korte elektrische pulsen (miljarden per seconde) die niet deel uitmaken van een bepaalde frequentie, maar over alle mogelijke frequenties tegelijk. Het is eigenlijk een stoot elektrische ruis. De sleutel tot het omvormen van deze ruis naar communicatie ligt in de timing van de pulsen die een code uitzenden. Om de informatie in die code te kunnen horen, moet een UWB ontvanger exact de door de zender gebruikte puls sequentie weten. Met andere woorden, bij UWB dien je exact te weten wanneer je moet luisteren om het te kunnen horen. Hierdoor is UWB zeer veilig (het is oorspronkelijk ook ontwikkeld voor militaire communicatie, zie ook paragraaf 5.7.3) en vrijwel resistent tegen afluisteren, interferentie en andere opzettelijke storingen [9]. Verder is UWB uitgerust met **encryptie** en authenticatie mechanismes zoals een AES blokversleuteling. Voor meer informatie over de versleuteling wordt verwezen naar J.Lee *et al.* [40]

ZigBee. ZigBee maakt gebruik van dezelfde (AES) **encryptie** en authenticatie methoden als UWB. IEEE 802.15.4 is uitgerust met authenticatie, encryptie en integriteit diensten die het mogelijk maken voor systeemontwikkelaars om beveiligingsniveaus toe te passen indien nodig. Deze niveaus bestaan uit: geen beveiliging, toegangscontrole lijst en een 32-128-bit AES encryptie met authenticatie³⁶. Deze opbouw maakt het voor ontwikkelaars mogelijk om het beveiligingsniveau dat het best bij de applicatie past, uit te kiezen. Hierdoor ontstaat een beheersbare afweging tussen veiligheid en bijvoorbeeld batterijduur of rekenkracht. [40, 48]

6.11 Storingen

Signalen kunnen onderhevig zijn aan storingen. Een van de grootste problemen voor (radio) signalen is het *multipath effect* (paragraaf 4.7). Deze paragraaf zal kort aangeven welke technieken wel of geen last hebben van deze vorm van storing. Indien een techniek ook nog onderhevig is aan andere interferentie, zal dit ook in deze paragraaf aan bod komen.

- Satelliet.** GNSS zijn erg onderhevig aan multipath effecten. Dit is de voornaamste reden waardoor satelliet navigatie een slechte nauwkeurigheid heeft in stedelijke gebieden. [3, 14, 24, 32, 33, 37, 61]
- Cellulair.** Radiosignalen in het cellulaire netwerk zijn ook onderhevig aan multipath effecten. Alleen is deze interferentie niet schadelijk voor het presteren van de ontvangers. Standaarden in het cellulaire netwerk vereisen dat ontvangers uitgerust zijn met een equalizer. Deze kan de vertragingverschillen in de paden gelijk trekken tot 16 μ s. Dit staat gelijk aan 4,5 kilometer verschil in de lengte van de paden. [73]
- Televisie.** De gebruikte signalen in het TV locatiebepaling systeem van Rosum²⁴ maken gebruik van een brede bandbreedte. Hierdoor zijn de signalen multipath resistent. [14, 46, 50, 61]
- Infrarood.** Vanwege het korte bereik, *line-of-sight* en de invalshoek is infrarood niet onderhevig aan multipath effecten. Maar, zoals aangegeven in paragraaf 5.4, IrDA is wel erg gevoelig voor andere storingen, namelijk ander licht elektromagnetische velden. [15, 39]
- RFID.** De gevoeligheid voor storingen is bij RFID afhankelijk van de frequentie waarop uitgezonden worden (zie paragraaf 5.5). De hogere frequenties zijn minder gevoelig voor multipath storingen. De actieve RFID op lage frequenties wel. Bij passieve RFID is multipath niet aan de orde. De korte afstand die tussen de zender en ontvanger noodzakelijk is, zorgt ervoor dat er geen interferentie voor de signalen is. [3]
- Ultrasound.** Ook ultrasone signalen zijn gevoelig voor multipath effecten. Verder kan vochtigheid ultrasound vertragen tot 0,3%. Een temperatuurstijging van 0 naar 30C verandert de snelheid van het geluid nog drastischer, namelijk met 3%. [15, 74]
- Wi-Fi.** Wi-Fi radio signalen zijn erg gevoelig voor multipath effecten. Met name in complexe omgevingen heeft de nauwkeurigheid hier erg onder te leiden. [36, 43]
- Bluetooth.** Ook bluetooth signalen zijn gevoelig voor multipath. [43]
- UWB.** Vanwege de hoge bandbreedte is UWB vrijwel ongevoelig voor multipath. Hier is in paragraaf 5.7.3 uitgebreid op ingegaan. [3, 9, 37, 43]
- ZigBee.** Ook ZigBee signalen zijn onderhevig aan multipath effecten. In vermaasde netwerken (zie paragraaf 5.7.4) zijn deze effecten minder, aangezien er alternatieve routes gekozen kunnen worden bij falende communicatie³⁶. Multipath is dus geen grote zorg voor dichte vermaasde ZigBee netwerken, maar weldegelijk voor kleinere netwerken. [75]

7 Het model

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de vorige hoofdstukken omgezet naar het model dat antwoord zal geven op de onderzoeksvraag uit paragraaf 1.4.2. Het model zal uiteindelijk geïmplementeerd worden als een webinterface. Aannames die in dit onderzoek gedaan zijn voor het model en de webinterface zullen in dit hoofdstuk aan bod komen. Allereerst zal de modellering van de verschillende kenmerken/filters (uit hoofdstuk 6) aan bod komen. Aan de hand van deze structuur zal ingegaan worden op de *database structuur* dat de basis vormt voor het model. Vervolgens zal uitgelegd worden hoe de waarden uit hoofdstuk 6 omgezet zullen worden tot *scores*. Uiteindelijk zal de implementatie en de werking van de webinterface aan bod komen.

7.1 Filters

De kenmerken die behandeld zijn in het vorige hoofdstuk zullen dienen als input parameters van het model (zie ook paragraaf 1.5). Ze kunnen gezien worden als filters op de gehele kennisbank die in dit onderzoek ontwikkeld is. Het probleem, waarbij locatiebepaling een rol speelt, kan aan de hand van deze filters worden vastgelegd. Stel dat het voor een specifiek (locatiebepaling) probleem van belang is om een nauwkeurigheid van 10 cm. te halen, zonder dat er veel aanpassingen aan een bestaande infrastructuur gedaan moeten worden. Dit betekent in het model dat er twee filters toegevoegd moeten worden, namelijk (nauwkeurigheid \leq 10 cm.) en (aanpassing infrastructuur = gemiddeld). Om alle kenmerken en waarden uit hoofdstuk 6 goed te kunnen modelleren, zijn er in dit onderzoek verschillende typen filters geïmplementeerd.

7.1.1 Typen

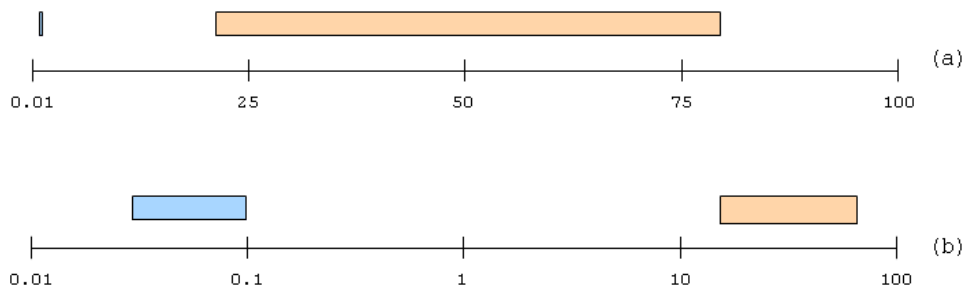
7.1.1.1 Bereik (standaard)

Wanneer er een nauwkeurigheid van 2 meter vereist is, betekent dit dat de waarden van 0 t/m 2 meter voldoen aan het filter. Je geeft dus een continu bereik van waarden op. Dit type filter kan twee kanten op werken. Zo loopt het gehele bereik van nauwkeurigheid van 0.01 t/m 100 meter, waarbij 0.01 m. gelijk staat aan zeer nauwkeurig en 100 m. aan zeer onnauwkeurig. Maar bij bijvoorbeeld datasnelheid loopt het gehele bereik van 0.001 t/m 1000 Mbit/s, waarbij 1000 Mbps gelijk staat aan zeer snel en 0.001 Mbps aan zeer langzaam. Wanneer een nauwkeurigheid van 2 meter vereist is, betekent dit een filter als (nauwkeurigheid \leq 2 m.). Maar als er een datasnelheid van 0.1 Mbps vereist is, betekent dit een filters als (datasnelheid \geq 0.1 Mbps).

7.1.1.2 Bereik (logaritmisch)

Naast het verschil tussen *normale* en *inverse* bereik filters, is ervoor gekozen om een speciale vorm van een bereik filter te implementeren: het *logaritmische bereik*. Dit heeft een visuele reden. Het bereik van bijvoorbeeld nauwkeurigheid loopt van 1 centimeter tot 100 meter. Dit bereik is dermate groot, dat

technieken met een hoge nauwkeurigheid (bijvoorbeeld 5-10 centimeter) niet weergegeven kunnen worden. Op een logaritmische schaal wordt dit wel duidelijk. Stel je hebt een filter van 5-10 centimeter en een filter van 20-80 meter. Het verschil tussen een normale schaal en een logaritmische schaal wordt weergegeven in Figuur 7-1.



Figuur 7-1 Filter met (a) normale en (b) logaritmische schaal

7.1.1.3 Discreet bereik

Bij de vorige twee filters wordt uitgegaan van een bereik met continue waarden. Maar een bereik kan ook discrete waarden bevatten. Een filter kan bijvoorbeeld als mogelijke waarden *laag*, *middel* en *hoog* bevatten. Wanneer dan als filter *middel* opgegeven wordt, voldoen de technieken met als waarde *laag* ook. Dit is geïmplementeerd door de toevoeging van een waarde. De reeks met mogelijke waarden wordt opgeslagen als: 1#laag;2#middel;3#hoog. Het filter *middel* staat dan gelijk aan (waarde ≤ 2). Hier zal in de paragrafen over het databasemodel en de scores dieper op ingegaan worden. Bij dit filter is geen inverse geïmplementeerd. Deze functionaliteit kan namelijk geregeld worden door middel van de hiërarchie en naamgeving.

7.1.1.4 Enkele waarde

Dit zijn de filters waarbij maar één waarde goedgekeurd wordt. De simpelste vorm is een booleaans filter. Deze bevat de waarden *waar* en *onwaar*. Wanneer als filter *waar* opgegeven wordt, voldoen alleen de technieken die bij dat kenmerk de waarde *waar* hebben. Maar de mogelijke (keuze)waarden van dit filter kunnen er meer dan twee zijn. Ter illustratie: het filter *kleur* kan de mogelijk waarden *rood*, *groen*, *blauw*, *geel*, etc. bevatten. Bij het filter (kleur = *blauw*) is dat ook de enige waarde die voldoet. Ook bij dit filter is ervoor gekozen om geen inverse te implementeren, maar dit via de naamgeving te regelen.

7.1.1.5 Meerdere waarden

Bij dit filter kunnen meerdere waarden opgegeven worden. Technieken kunnen ook meerdere waarden hebben bij dit kenmerk. Bij het filter *schaal* (paragraaf 6.6) kunnen bijvoorbeeld zes verschillende waarden opgegeven worden. De hoeveelheid waarden die aan het filter voldoen, bepalen de score voor de techniek. Bij dit filter is er wel voor gekozen om gebruik te maken van een inverse. Als het om een invers filter gaat, dan zorgt iedere waarde die aan het filter voldoet ervoor dat er een lagere score gehaald wordt (dit wordt uitgelegd in paragraaf 7.3.1.4). Een voorbeeld hiervan is het kenmerk *storingen*.

Als filter kunnen dan mogelijk storingen opgegeven worden. Als een techniek aan geen enkele van deze storingen onderhevig is, dan scoort deze 100%. Voor iedere storing waaraan hij wel voldoet, zal de score lager worden.

7.1.1.6 Blokfilter

Dit filter is in principe ontwikkeld voor het frequentie kenmerk (paragraaf 6.9), maar het kan later eventueel ook nog voor andere kenmerken gebruikt worden. Bij het blokfilter kan een minimale en maximale waarde opgegeven worden. Dit in tegenstelling tot bereikfilters in paragraaf 7.1.1.1 en 7.1.1.2 waar alleen een minimale of een maximale waarde opgegeven kan worden. Technieken kunnen bij dit filter meerdere waarden ('blokken') hebben. Zo heeft RFID vijf 'blokken' bij het kenmerk frequentie: 135 kHz, 13.56 MHz, 868/915 MHz, 2.45 GHz en 5.8 GHz. Maar het kunnen ook waarden met een groter bereik zijn, zoals bij TV: 50-700 MHz. Omdat er bij dit filter een minimale en een maximale waarde opgegeven kan worden, is het niet nodig om een inverse te implementeren.

7.1.2 Overzicht

De kenmerken uit hoofdstuk 6 gecombineerd met de filters uit paragraaf 7.1.1 geven een overzicht van de modellering van de kenmerken naar de filters in het model. Dit overzicht wordt in deze paragraaf gegeven. Hierbij worden de volgende aspecten weergegeven: type filter, mogelijke waarde(n), eenheid en soort filter. Ook zijn in dit overzicht de waarden van de verschillende technieken opgenomen.

Nauwkeurigheid					Paragraaf 6.2
Type	Bereik (logaritmische)				
Waarde	0.01 - 200				
Eenheid	Meter (m.)				
Soort	<=				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
3-10	20-200	5-10	1-10	1-20	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
5-50	0,01-0,20	0,1-0,25	1-20	3-5	

Wachttijd					Paragraaf 6.3
Type	Discreet bereik				
Waarde	zeer laag, laag, gemiddeld, hoog, zeer hoog				
Eenheid	--				
Soort	--				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
gemiddeld	gemiddeld	laag	laag	zeer hoog	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
hoog	laag	zeer laag	laag	zeer laag	

Bereik Paragraaf 6.4				
Type Bereik (logaritmische)				
Waarde 0.01 - 100.000				
Eenheid Meter (m.)				
Soort >=				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet
10-100	100-25.000	0,20-2	0,01-20	19.000.000-24.000.000
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee
50.000-100.000	3-20	10-50	50-200	10-100

Kosten Paragraaf 6.5				
Type Discreet bereik				
Waarde laag, gemiddeld, hoog				
Eenheid --				
Soort --				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet
laag	laag	laag	hoog	gemiddeld
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee
gemiddeld	gemiddeld	hoog	gemiddeld	laag

Schaal Paragraaf 6.6				
Type Meerdere waarden				
Waarde open lucht (OL), semi stedelijk (S-S), stedelijk (S), gebouw (G), kamer (K), object (O)				
Eenheid --				
Soort --				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet
S, G, K, O	OL, S-S, S, G	K, O	S, G, K, O	OL, S-S, S
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee
OL, S-S, S, G, K	K, O	G, K, O	S, G, K, O	S, G, K, O

Batterijverbruik Paragraaf 6.7				
Type Discreet bereik				
Waarde zeer laag, laag, hoog, zeer hoog				
Eenheid --				
Soort --				
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet
laag	laag	laag	zeer laag	zeer hoog
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee
hoog	zeer laag	hoog	hoog	zeer laag

Datasnelheid					Paragraaf 6.8
Type Bereik (logaritmische)					
Waarde 0.001 - 1000					
Eenheid Mbit/s					
Soort >=					
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
0.721-24	0.009-2	0.0024-16	0.001-10	0.00005-0.0005	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
3-20	0.001-0.01	100-1000	11-54	0.02-0.25	

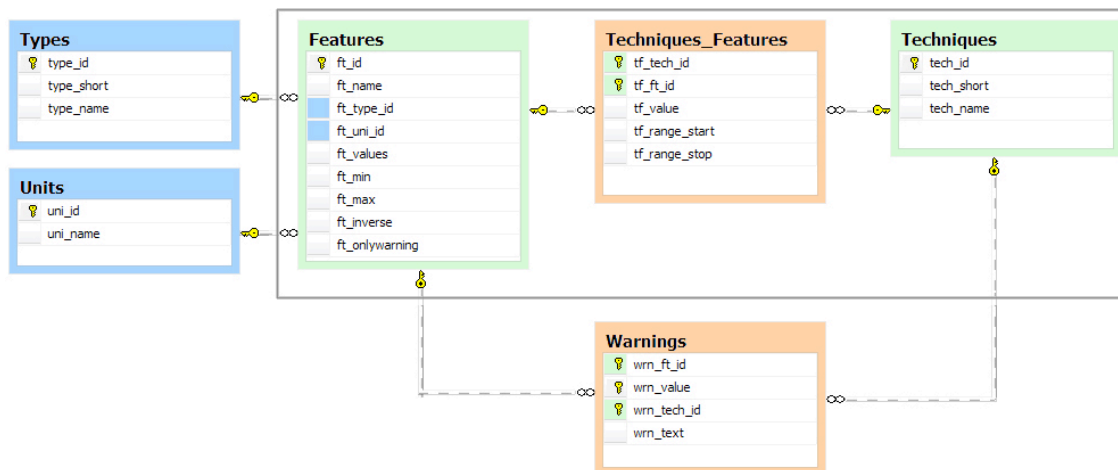
Frequentie					Paragraaf 6.9
Type Blokfilter					
Waarde 0.00002 - 10000					
Eenheid GHz					
Soort --					
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
2.4	0.85, 0.9, 1.8, 1.9	300 - 10000	0.000135, 0.01356, 0.433, 0.868, 0.915, 2.45	1.2, 1.6	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
0.03-0.9	0.00002-0.01	3.1-10.6	2.4, 5	2.4	

Encryptie					Paragraaf 6.10
Type Enkele waarde					
Waarde ja, nee					
Eenheid --					
Soort --					
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
ja	ja	nee	ja	ja	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
nee	nee	ja	ja	ja	

Storingen					Paragraaf 6.11
Type Meerdere waarden					
Waarde multipath (m), licht (l), elektromagnetische velden (e), vocht (v), hoge temperatuur (t)					
Eenheid --					
Soort Inverse					
BT	Cellulair	IR	RFID	Satelliet	
m	--	l,e	m	m	
TV	US	UWB	Wi-Fi	ZigBee	
--	m, v, t	--	m	m	

7.2 Databasemodel

De gegevens uit de voorgaande hoofdstukken hebben samen met de ontwikkeling van de webinterface tot een databasemodel geleid. Deze structuur is de basis van de webapplicatie en kan opgevat worden als een database implementatie van het model dat in dit onderzoek ontwikkeld is. Het database diagram wordt weergegeven in Figuur 7-2. De webapplicatie is ontwikkeld voor mondiaal gebruik, vandaar dat gekozen is voor Engels als voertaal. Dit is ook terug te vinden in de kolomnamen van het database diagram.



Figuur 7-2 Database diagram webapplicatie

Het databasemodel bestaat uit drie type tabellen: opzoektabelen, hoofdtabelen en koppeltabelen. Deze structuur komt overeen met de structuur in dit onderzoek. De tabellen zullen nu kort besproken worden. In de volgende paragraaf worden de *Types* en de *Features* tabellen verder uitgelegd.

7.2.1 Opzoektabelen

Een opzoektabel is een tabel waarin gegevens aan de hand van hun identificatiecode kunnen worden teruggevonden. In het dit databasemodel zijn twee opzoektabelen aanwezig: *Types* en *Units*. De *Techniques* tabel kan ook als een opzoektabel gezien worden, maar vanwege de relatie met dit onderzoek, wordt deze tabel als hoofdtabel gezien (paragraaf 7.2.2).

7.2.1.1 Units

Deze tabel bevat de eenheden van de filters/kenmerken (hoofdstuk 6). Enkele voorbeelden hiervan zijn: *m.*, *Mbits/s.*, enzovoorts.

pk	uni_id	identificatiecode
	uni_name	omschrijving

Voorbeeld

uni_id	uni_name
1	m.

7.2.1.2 Types

In deze tabel staan de soorten filters die mogelijk zijn. Dit overzicht is gegeven in paragraaf 7.1.1.

pk	type_id	Identificatiecode
	type_short	korte omschrijving van het type filter (max. 3 tekens). Deze wordt gebruikt bij de afhandeling in de achterliggende code van de webapplicatie.
	type_name	Omschrijving

Voorbeeld

type_id	type_short	type_desc
1	RL	Range Logaritmisch

7.2.2 Hoofdtabellen

Conform de structuur van dit onderzoek, bevat de database twee hoofdtabellen: *Techniques* en *Features*. Deze komen respectievelijk overeen met de technieken uit hoofdstuk 5 en de kenmerken uit hoofdstuk 6. Deze tabellen bevatten de conclusies uit dit onderzoek met betrekking tot subvraag 1) en 3) uit paragraaf 1.5.

7.2.2.1 Techniques

Deze tabel bevat de tien technieken die besproken zijn in hoofdstuk 5.

pk	tech_id	Identificatiecode
	tech_short	korte omschrijving. Deze kan getoond worden wanneer bijvoorbeeld de ruimte op het scherm te klein is.
	tech_name	Omschrijving

Voorbeeld

tech_id	tech_short	tech_name
1	BT	Bluetooth

7.2.2.2 Features

Deze tabel bevat de kenmerken die besproken zijn in hoofdstuk 6, gemodelleerd naar de filters in paragraaf 7.1.2.

pk	ft_id	Identificatiecode
	ft_name	de naam van het kenmerk. Deze naam wordt ook gebruikt om te tonen in de webinterface
fk	ft_type_id	koppeling met de <i>Types</i> tabel. Hier staat aangegeven wat voor een type filter dit kenmerk is (paragraaf 7.1.1).
fk	ft_uni_id	koppeling met de <i>Units</i> tabel. Hierin staat de eenheid van het filter. Deze hoeft niet verplicht gevuld te zijn.
	ft_values	[<i>alleen gevuld bij discreet bereik, enkele waarde en meerdere waarden</i>] * Bij <i>enkele waarde</i> en <i>meerdere waarden</i> staan hier de mogelijke waarden in, puntkomma seperated. Bijvoorbeeld <i>rood;groen;blauw;geel</i> * Bij <i>discreet bereik</i> staan er (ook puntkomma seperated) de waarden van het bereik in. Deze waarde is een combinatie van een id en een omschrijving, die wordt gescheiden door een #. De id wordt gebruik om hiërarchie aan te geven. Bijvoorbeeld <i>1#laag;2#middel;3#hoog</i>
	ft_min	[<i>alleen gevuld bij blokfilter en bereik standaard- en logaritmisch</i>] Laagst mogelijke waarde van het bereik. Bij een logaritmisch bereik staat hier de exponent van de 10-macht in. De waarde 0.01 wordt dus opgeslagen als -2 ($10^{-2} = 0.01$)
	ft_max	[<i>alleen gevuld bij blokfilter en bereik standaard- en logaritmisch</i>] Hoogst mogelijke waarde van het bereik. Bij een logaritmisch bereik staat hier de exponent van de 10-macht in. De waarde 1000 wordt dus opgeslagen als 3 ($10^3 = 1000$)
	ft_inverse	[<i>alleen gevuld bij meerdere waarden, bereik standaard- en logaritmisch</i>] Geeft aan of het een iners filter is. Bij de <i>bereik</i> filters geeft het dus aan of het filter \leq of \geq is
	ft_onlywarning	Dit veld geeft aan of het filter puur voor waarschuwingen gebruikt moet worden. Standaard gevuld met <i>False</i> . Als de waarde <i>True</i> in dit veld staat, zal het filter niet gebruikt worden om de scores te berekenen. Ook zal het filter op het scherm van de webapplicatie anders afgehandeld worden. Een voorbeeld van een dergelijk filter is het <i>binnen / buiten</i> filter uit paragraaf 6.1.

Voorbeeld

ft_id	ft_name	Ft_type_id	ft_uni_id	Ft_values	ft_min	ft_max	ft_inv	ft_only
1	accuracy	1	1	NULL	-2	2	0	False
2	data rate	1	2	NULL	-2	3	1	False
3	impact	2	NULL	1#1;2#m;3#h	NULL	NULL	NULL	False
4	Indoor/outdoor	3	NULL	indoor;outdoor	NULL	NULL	NULL	True
5	frequency	4	5	NULL	-3	2	NULL	False
6	privacy	5	NULL	id;encryption	NULL	NULL	0	False

7.2.3 Koppeltabellen

7.2.3.1 Techniques_features

De waarden uit hoofdstuk 6 en daarmee het eerste deel van het antwoord op subvraag 4 (uit paragraaf 1.5) zijn vastgelegd in de koppeltabel *Techniques_Features*. In deze tabel worden dus de technieken aan de kenmerken gekoppeld. Het tweede deel van deze subvraag (de *scores*) zal in paragraaf 7.3 aan bod komen. Wanneer een filter (*tf_ft_id*) niet voorkomt in deze tabel, zal deze niet gebruikt worden voor het berekenen van de scores. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het filter *indoor / outdoor* (paragraaf 6.1).

pk, fk	tf_tech_id	koppeling met de <i>Techniques</i> tabel
pk, fk	tf_ft_id	koppeling met de <i>Features</i> tabel
	tf_value	[alleen gevuld bij discreet bereik, enkele waarde, meerder waarden en blokfilter] Waarde(n) van de techniek bij dit kenmerk. * bij filters van het type <i>discreet bereik</i> staat hier de id van de waarde in. * Bij het <i>blokfilter</i> staan hier de 'blokken' in. De 'blokken' worden gescheiden door een ;. Het begin en het einde van een 'blok' wordt gescheiden door een #. Bijvoorbeeld 0.135#0.135;2.4#2.4;50#700 * Bij meerdere waarden staan hier de waarden in, gescheiden door een ;.
	tf_range_start	[alleen gevuld bij bereik standaard- en logaritmisch] Begin van het waardebereik van de techniek bij dit kenmerk.
	tf_range_stop	[alleen gevuld bij bereik standaard- en logaritmisch] Eind van het waardebereik van de techniek bij dit kenmerk.

Voorbeeld

tf_tech_id	tf_ft_id	tf_value	tf_range_start	tf_range_stop
1	2	NULL	0.4	20
8	4	ja	NULL	NULL
6	5	0.135#0.135;2.4#2.4;50#700	NULL	NULL
2	3	2	NULL	NULL

7.2.3.2 Warnings

Deze tabel bevat de kenmerken die tot waarschuwingen leiden, zoals bijvoorbeeld *indoor / outdoor* (paragraaf 6.1). Een techniek/kenmerk combinatie kan meerdere keren voorkomen in deze tabel, als de waarde maar verschillend is. Als de waarschuwing op moet treden, ongeacht de waarde van het filter, dan staat in het veld `wrn_value` de waarde `'**'`.

pk, fk	wrn_ft_id	koppeling met de <i>Features</i> tabel
pk	wrn_value	bij welke filterwaarde de waarschuwing moet optreden
pk, fk	wrn_tech_id	koppeling met de <i>Techniques</i> tabel
	wrn_text	de waarschuwing

Voorbeeld

wrn_ft_id	wrn_value	wrn_tech_id	wrn_text
6	Binnen	8	"Doesn't work indoors..."

7.3 Scores

Zoals aangegeven in hoofdstuk 6 moeten de waarden die de verschillende technieken hebben bij de verschillende kenmerken nog omgezet worden naar scores. Op deze manier is subvraag 4 geheel beantwoord en kan er een duidelijk advies gegeven worden. Na het invoeren van de inputparameters (de filters uit paragraaf 7.1) zal het model bij iedere techniek een percentage berekenen (de scores). De techniek met het hoogste percentage is de beste keuze voor dat specifieke probleem.

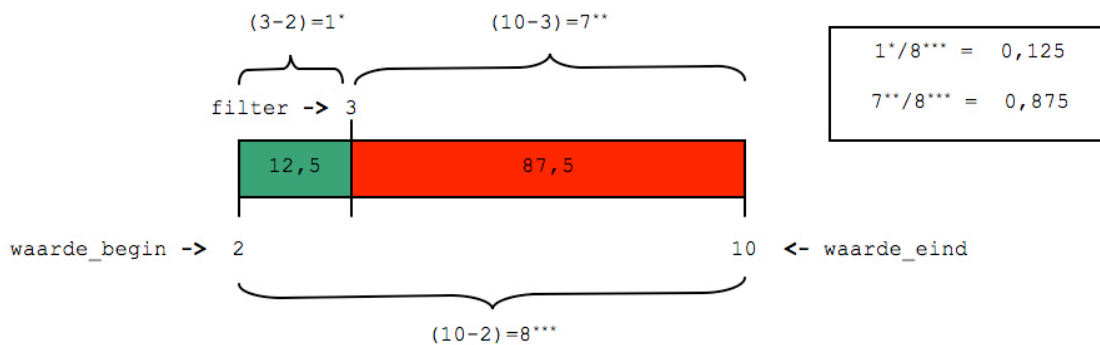
7.3.1 Individuele scores

Voor ieder filter wordt per techniek een score berekend. De scores voor alle filters samen vormen de totaalscore voor de techniek. Het berekenen van de totaalscore komt in de volgende paragraaf aan bod. Het berekenen van de individuele scores hangt samen met het type filter dat opgegeven is (paragraaf 7.1.1). Deze zullen nu apart behandeld worden met de berekening van de score in pseudocode en een voorbeeld.

7.3.1.1 Bereik (standaard) en Bereik (logaritmisch) (paragraaf 7.1.1.1 en 7.1.1.2)

Bij dit type filter worden de waarden van de technieken ook met een bereik opgegeven (zie hoofdstuk 6 en paragraaf 7.1.1.2). Dit bereik geeft de *worst-case* en het *best-case* waarde van de techniek weer. Bij een nauwkeurigheid van 2 – 10 meter, betekent dit dat in het beste geval een nauwkeurigheid van 2 meter gehaald wordt en in het slechtste geval een nauwkeurigheid van 10 meter. Natuurlijk is het zo dat wanneer er een nauwkeurigheid van 10 meter behaald kan worden, er ook een nauwkeurigheid van 100 meter behaald kan worden. Theoretisch gezien loopt het bereik dus van 2 meter tot oneindig. Maar het bereik van de waarde geeft de beste waarde die de techniek kan halen weer. Dit is niet een eenduidige waarde, omdat het van allerlei factoren afhankelijk is. Wanneer een nauwkeurigheid van 2 – 10 meter opgegeven wordt, dan betekent dit eigenlijk dat een nauwkeurigheid van maximaal 2 meter gehaald kan worden, maar door bijvoorbeeld storingen kan dit zakken naar 10 meter.

De score bij dit filter wordt bepaald aan de hand van het gedeelte van het bereik van de waarde dat aan het filter voldoet. Als de waarde van de techniek van 2 – 10 meter loopt en het filter staat op 3 meter, dan ligt het stuk van 2-3 meter binnen het filter en het stuk van 3-10 meter niet. Het totale bereik is 8 meter (10-2). Het stuk van 2 – 3 meter heeft een lengte van 1 meter. 1/8 van het bereik van de waarde voldoet dus aan het filter. Dit staat gelijk aan 12,5%. Als het om een inverse filter gaat, dan wordt de waarde 87,5% opgeleverd. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 7-3.



Figuur 7-3 Bereken score bereik

Berekening (<= filter)

```

if (waarde_eind <= filter) then
    return 1
elseif (waarde_begin > filter) then
    return 0
else
    /* (stuk binnen filter) / (lengte bereik) */
    return (filter - waarde_begin) / (waarde_eind - waarde_begin)
fi
    
```

Berekening (>= filter)

```

if (waarde_begin >= filter) then
    return 1
elseif (waarde_eind < filter) then
    return 0
else
    /* (stuk binnen filter) / (lengte bereik) */
    return (waarde_eind - filter) / (waarde_eind - waarde_begin)
fi
    
```

Voorbeeld

Mogelijke waarden filter: 0.01 – 100

Opgegeven filter: ≤ 8

Techniek	Waarde	Berekening	Score
1	0.05 – 2	$2 \leq 8$, dus 1	100%
2	3 – 110	$(8 - 3) / (110 - 3) = 5 / 117 = 0,467$	4,67%
3	1.5 – 20	$(8 - 1.5) / (20 - 1.5) = 6.5 / 18.5 = 0.3514$	35,14%
4	60 – 100	$60 \geq 8$, dus 0	0%

7.3.1.2 Discreet bereik (paragraaf 7.1.1.3)

Ook bij dit filter kunnen alleen de waarden 0% en 100% voorkomen, maar in tegenstelling tot het enkele waarden filter kunnen hier meerdere waarden aan het filter voldoen. Dit wordt geregeld door middel van hiërarchie (zie ook paragraaf 7.2.2.2). Stel je hebt het filter met de waarden *laag*, *middel*, *hoog*. De hiërarchie kan dan als volgt opgegeven worden: laag = 1, middel = 2 en hoog = 3. Als het filter dan op *middel* gezet wordt, betekent dit dat alle waarden ≤ 2 aan het filter voldoen. Deze krijgen dan een score van 100%, de rest een score van 0%.

Berekening

```
if (waarde <= filter) then return 1 else return 0 fi
```

Voorbeeld

Mogelijke waarden filter: 1#laag, 2#middel, 3#hoog

Opgegeven filter: 2#middel

Techniek	Waarde	Score
1	1	100%
2	3	0%
3	2	100%

7.3.1.3 Enkele waarde (paragraaf 7.1.1.4)

Bij dit type filter is er maar één waarde die voldoet. Dit betekent dat de score van een techniek alleen de waarden 0% en 100% kan krijgen.

Berekening

```
if (waarde == filter) then return 1 else return 0 fi
```

Voorbeeld

Mogelijke waarden filter: ja, nee

Opgegeven filter: ja

Techniek	Waarde	Score
1	Ja	100%
2	Nee	0%
3	Ja	100%

7.3.1.4 Meerdere waarden (paragraaf 7.1.1.5)

De technieken kunnen meerdere waarden hebben bij dit filter. Bij het filter kunnen ook meerdere waarde opgegeven worden. De hoeveelheid waarden van de techniek die aan het filter voldoen, bepaalt de score van deze techniek. Als er bijvoorbeeld 5 filterwaarden opgegeven worden en een techniek heeft 2 waarden gemeenschappelijk, dan is de score $2/5 = 0,4$ (40%). Bij een invers filter (via *ft_inverse*) werkt dit precies andersom. De opgegeven filterwaarden zijn de waarden waaraan de technieken niet mogen voldoen. Voor iedere waarde die aan het filter voldoet gaat er dus een deel van de score af. Bij het voorgaande voorbeeld, waarbij de techniek aan 2 van de 5 waarden voldoet, wordt dus een score van $1 - 0,4$ (60%) opgeleverd.

Berekening	Berekening (inverse)
<i>return (aantal(goed waarden) / aantal(filter))</i>	<i>return 1-(aantal(goed waarden) / aantal(filter))</i>

Voorbeeld

Mogelijke waarden filter: a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z

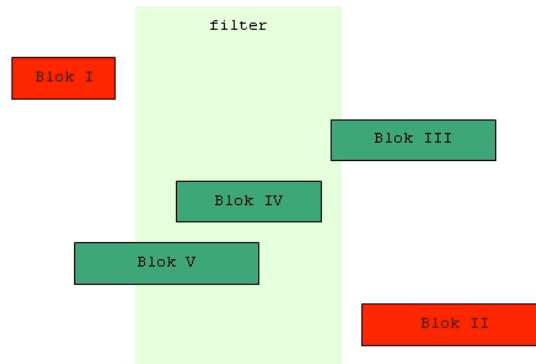
Opgegeven filter: a, c, h, i, l, t, w

Inverse: nee

Techniek	Waarde	Berekening	Score
1	c	$1 / 7 = 0,143$	14,3%
2	a, f, l, o, z	$2 / 7 = 0,286$	28,6%
3	b, d, j	$0 / 7 = 0$	0%
4	a, c, d, h, i, l, q, s, t, u, v, w, y	$7 / 7 = 1$	100%
5	a, h, l, t	$4 / 7 = 0,571$	57,1%

7.3.1.5 Blokfilter (paragraaf 7.1.1.6)

Ook dit filter kan alleen de waarden 0 en 100% opleveren. Het filter wordt opgegeven met een maximale en een minimale waarde. De technieken kunnen meerdere waarden ('blokken') hebben bij het filter. Als een deel van minimaal één van deze blokken binnen het bereik van het filter valt, dan scoort deze techniek 100%, anders 0%. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 7-4.



Figuur 7-4 Blokfilter (groen = 100%, rood = 0%)

Berekening

```

for each blok in blokken
  if
    NOT
      ((blok_begin < filter_begin) AND (blok_eind < filter_begin))
    OR
      ((blok_begin > filter_eind) AND (blok_eind > filter_eind))
  then
    return 1
  end if
next
return 0

```

Voorbeeld

Mogelijke waarden filter: 0.001 – 1000

Opgegeven filter: 2 – 5

Techniek	Waarde	Score
1	2.4	100%
2	0.047, 0.9, 1.9, 2.4-6 , 8	100%
3	1.2, 1.6	0%
4	50-700	0%
5	0.135, 2.4 , 5	100%

7.3.2 Totaalscore

Wanneer er meer dan één filter ingevoerd wordt, zal de uiteindelijke totaalscore van de techniek aan de hand van de individuele scores berekend moeten worden. Er zijn verschillende manieren waarop dit kan gebeuren. Een aantal methoden om de totaalscore te berekenen zullen in deze paragraaf behandeld worden.

7.3.2.1 Minimale waarde

Bij deze berekening is de totaalscore gelijk aan de minimale individuele score. Dit betekent dus dat het kenmerk waarop het slechtst gescoord wordt de totaalscore bepaalt.

Berekening

$$\text{totaalscore}(\text{score}(1), \dots, \text{score}(n)) = \text{MIN}(\text{score}(1), \dots, \text{score}(n))$$

Voorbeeld

Techniek	score 1	score 2	score 3	totaalscore
1	1%	90%	-	1%
2	50%	50%	-	50%
3	10%	40%	-	10%

1	1%	90%	80%	1%
2	50%	50%	60%	50%
3	10%	40%	0%	0%

7.3.2.2 Vermenigvuldigen

De totaalscore wordt berekend door de individuele scores met elkaar te vermenigvuldigen. Bij deze berekening wordt de totaalscore dus niet door één slecht scorend kenmerk bepaald, maar door alle slecht scorende kenmerken. Ieder kenmerk waar niet een 100% score op gehaald wordt, haalt de totaalscore naar beneden. Dit betekent dus dat de slechtst scorende technieken veel zwaarder wegen in de totaalscore.

Berekening

$$\text{totaalscore}(\text{score}(1), \dots, \text{score}(n)) = \text{score}(1) * \text{score}(2) * \dots * \text{score}(n)$$

Voorbeeld

Techniek	score 1	score 2	score 3	totaalscore
1	1%	90%	-	0.9%
2	50%	50%	-	25%
3	10%	40%	-	4%

1	1%	90%	80%	0,72%
2	50%	50%	60%	15%
3	10%	40%	0%	0%

7.3.2.3 Middelen

De totaalscore is gelijk aan het gemiddelde van de individuele scores. Bij deze berekening is de invloed van de slechtst scorende kenmerken dus veel minder groot. Als een techniek vrijwel niet aan een van de filters voldoet, kan deze toch nog een hoge totaalscore halen, omdat hij wel goed op de andere kenmerken scoort. Dit verschil ten opzichte van de voorgaande berekeningen is goed te zien in het onderstaande voorbeeld bij techniek 1. Omdat deze techniek vrijwel niet aan filter 1 voldoet (1%) komt hij bij de vorige berekeningen steeds als slechtste techniek naar voren, maar bij deze methode zorgen de hoge scores op filter 2 en filter 3 ervoor dat techniek 1 zelfs als beste techniek beschouwd wordt.

Berekening

$$\text{totaalscore}(\text{score}(1), \dots, \text{score}(n)) = (\text{score}(1) + \text{score}(2) + \dots + \text{score}(n)) / n$$

Voorbeeld

Techniek	score 1	score 2	score 3	totaalscore
1	1%	90%	-	45,5%
2	50%	50%	-	50%
3	10%	40%	-	25%

1	1%	90%	80%	57%
2	50%	50%	60%	56,67%
3	10%	40%	0%	16,67%

7.3.2.4 Wegingsfactor

Het doel van het model in dit onderzoek is opleveren van de beste techniek, gegeven één of meer filters. Wanneer een techniek zeer slecht scoort op minimaal één van deze filters, voldoet deze techniek niet voldoende als keuze voor het probleem en zal zijn totaalscore dus laag moeten zijn. Om dit te kunnen bereiken zouden de berekeningsmethoden uit paragraaf 7.3.2.1 en 7.3.2.2 het meest geschikt zijn. Ieder kenmerk, waaraan de techniek niet goed genoeg voldoet, zorgt ervoor dat die techniek minder geschikt is voor het opgegeven probleem. Volgens deze redenering zou de vermenigvuldiging methode het meest geschikt zijn voor het berekenen van de totaalscore.

Echter bij deze twee technieken is het niet mogelijk om één of meer filters zwaarder te laten wegen dan de anderen. De slechtst scorende technieken wegen het zwaarst. Uit interviews die in dit onderzoek gevoerd zijn, is gebleken dat het opgeven van wegingsfactoren een belangrijk punt is bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van een praktijkvoorbeeld.

Medisch Centrum Alkmaar heeft een onderzoek gedaan naar een specifiek locatiebepalingsprobleem. Iedere patiënt in het ziekenhuis heeft een verpleegkundig dossier. Wanneer bijvoorbeeld een verpleegster aan het bed van een patiënt staat, moet het juiste dossier getoond worden. In dit onderzoek zijn twee locatiebepalingstechnieken getoetst: ultrasound en Wi-Fi. Bedden in een ziekenhuis staan redelijk dicht op elkaar. Het is daarom van belang dat de techniek een hoge nauwkeurigheid behaalt. Verder moet een hoge responsietijd gehaald worden om de werkzaamheden van het verpleegkundig personeel niet te vertragen. Bij beide kenmerken scoorde ultrasound beter dan Wi-Fi. Maar op de vraag welke techniek uiteindelijk geïmplementeerd zou gaan worden, werd Wi-Fi geantwoord. In tegenstelling tot ultrasound kon deze techniek werken op een bestaand netwerk (het draadloze netwerk dat bijvoorbeeld voor internet gebruikt wordt). Voor ultrasound zou een nieuwe infrastructuur geïmplementeerd moeten worden. Dit kenmerk woog blijkbaar zwaarder dan de nauwkeurigheid- en responsietijd kenmerken.

Het toevoegen van een wegingcoëfficiënt bij de filters geeft de gebruikers de vrijheid om prioriteiten te geven aan de verschillende kenmerken. Daarom is er in dit onderzoek voor gekozen om deze methode te gebruiken bij het bepalen van de totaalscore. Standaard hebben alle filters de wegingcoëfficiënt van 1. Wanneer er meer dan één filter opgegeven wordt, kunnen coëfficiënten toegekend worden. Zo zou bijvoorbeeld het filter *nauwkeurigheid* 4x zo zwaar kunnen wegen dan het filter *datasnelheid*. De berekening is een uitbreiding op de berekening in paragraaf 7.3.2.3. Er wordt als basis dus uitgegaan van het gemiddelde van de individuele scores. Er is bij de berekening één uitzonderingsgeval ingebouwd. Normaliter is het gemiddelde van 0% en 100% gelijk aan 50%. Maar wanneer op één of meer van de individuele scores 0% gescoord wordt, dan zal de totaalscore ook 0% zijn. De techniek voldoet dan namelijk helemaal niet aan een van de filters en is daarom niet geschikt als keuze voor het locatiebepalingsprobleem (zie ook paragraaf 7.4.5).

```

Berekening
if ((score(1) == 0) OR (score(2) == 0) OR ... OR (score(n) == 0)) then
    0
else
    ((weging(1) * score(1)) + ... + (weging(n) * score(n))) / (weging(1) + ... + weging(n))
fi
    
```

Voorbeeld

Techniek	score 1 (2x)	score 2	score 3 (4x)	totaalscore
1	1%	90%	-	30,67%
2	50%	50%	-	50%
3	10%	40%	-	20%

1	1%	90%	80%	68,67%
2	50%	50%	60%	55,71%
3	10%	40%	0%	0%

7.4 Webinterface

In deze paragraaf zal de werking en de implementatie van de webinterface van het model aan bod komen. De webapplicatie is te vinden op <http://www.positioningtechniques.eu/>.

7.4.1 Hoofdpagina model

Figuur 7-5 geeft de hoofdpagina van de webinterface van het model weer. Op deze pagina kunnen de inputparameters van het probleem (de filters) opgegeven worden. Hierna worden op deze pagina de scores van de verschillende technieken weergegeven. Aan de hand van de gele letters in Figuur 7-5 zullen nu de verschillende onderdelen van de hoofdpagina uitgelegd worden.


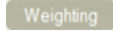


Figuur 7-5 Hoofdpagina webinterface model

(a) Aan de linkerkant van het scherm staat een overzicht van de opgegeven filters. Hierbij wordt de naam van het filter en de opgegeven waarde(n) getoond.

✕ Met deze knop kan een filter verwijderd worden.

i Met deze knop kan informatie over het filter opgevraagd worden. Hier zal in paragraaf 7.4.4 op ingegaan worden

(b) Hier staat een overzicht van de filters die alleen een waarschuwing opleveren en dus niet bijdragen aan de berekening van de scores. Dit zijn de filters waarbij *ft_onlywarning* gevuld is met *True* (zie ook paragraaf 7.2.2.2).

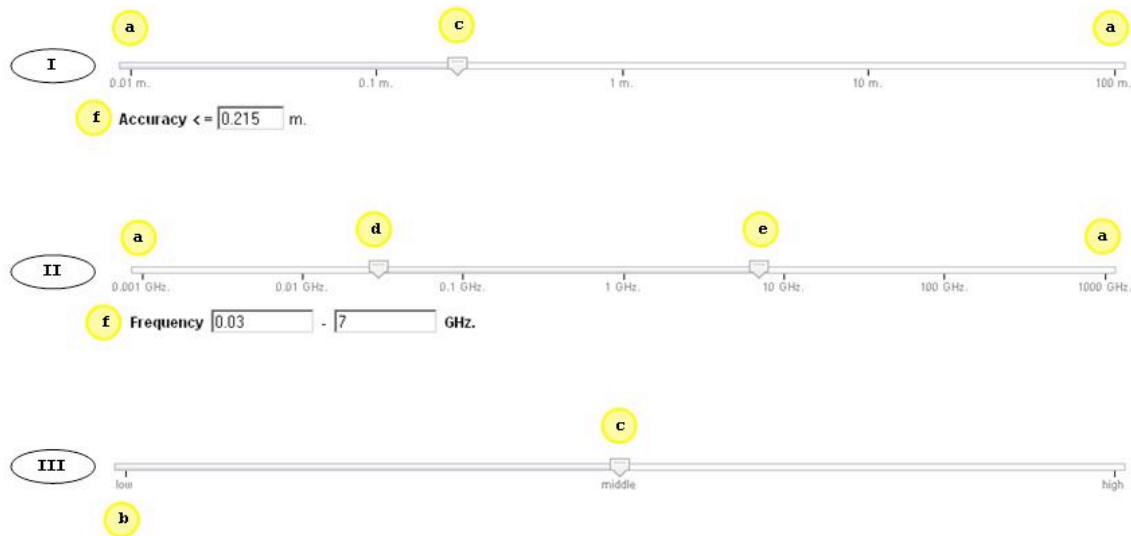
- (c) Met de knop  kan een filter toegevoegd worden. Hier zal in paragraaf 7.4.2 op ingegaan worden. Met de knop  kan de wegingcoëfficiënt opgegeven worden. Deze knop wordt alleen getoond als er meer dan één filter opgegeven is. Hier zal in paragraaf 7.4.3 op ingegaan worden.
- (d) De wegingcoëfficiënt (paragraaf 7.3.2.4). In dit specifieke voorbeeld weegt het filter *accuracy* 5x zo zwaar als de andere filters.
- (e) Aan de rechterzijde van het scherm wordt een overzicht van de technieken (uit hoofdstuk 5) weergegeven met daarbij de behaalde scores (paragraaf 7.3) op de ingegeven filters.
-  Deze knop wordt alleen getoond als er een waarschuwing voor de techniek gegenereerd is. Deze waarschuwing(en) kunnen getoond worden door op de knop te klikken.
-  Met deze knop kan informatie de berekende score opgevraagd worden. Hier zal in paragraaf 7.4.5 op ingegaan worden
- (f) De berekende totaalscores worden getoond als een percentage en in de vorm van een grafiek. De techniek met de hoogste score is de beste techniek voor het ingevoerde probleem. Technieken met een rode kleur, zonder score voldoen dus niet aan minimaal één van de ingevoerde filters (zie ook in paragraaf 7.4.5).

7.4.2 Filters

Deze paragraaf zal een overzicht geven van de implementatie van de verschillende filters uit paragraaf 7.1.1.

7.4.2.1 Bereik (standaard, logaritmisch en discreet) en blokfilter

Deze vier filter zijn geïmplementeerd in de vorm van een *slider*. De verschillende vormen van deze *slider* worden weergegeven in Figuur 7-6. Behalve bij het *discrete filter* is het ook mogelijk om de filterwaarde via een tekstveld in te voeren. Wijzigingen in dit tekstveld zorgt tot een wijziging van de waarde van de *slider* en andersom.



Figuur 7-6 (I) Standaard & Logaritmisch. (II) blokfilter. (III) discreet

(a) De minimale en maximale waarde van het filter. Dit zijn de waarden uit ft_min en ft_max uit de feature tabel (paragraaf 7.2.2.2). Als bij een logaritmische schaal de waarden van -2 tot 2 lopen (0,02 – 100), dan wordt de *slider* opgedeeld in 4 stukken ($ft_max - ft_min$). Bij standaard bereik wordt de *slider* in 10 stukken verdeeld.

(b) De mogelijk waarden van het filter. Dit is de waarde uit ft_values uit de feature tabel (paragraaf 7.2.2.2).

(c) De opgegeven waarde van het filter. Bij een standaard of logaritmisch filter is deze gelijk aan de waarde in het tekstveld (f).

(d) (e) De minimale (d) en maximale (e) opgegeven waarde van het filter. Deze is gelijk aan de waarden uit de tekstvelden (f).

(f) Het tekstveld. Bij standaard en logaritmische filters is deze opgebouwd uit de waarden van de features tabel (paragraaf 7.2.2.2): de naam van het filter (ft_name), het koppelteken (\leq , \geq ; bepaald aan de hand van $ft_inverse$) en de eenheid van het filter (via ft_uni_id). Bij het blokfilter speelt $ft_inverse$ geen rol.

Hier is geen koppelteken, maar een tekstveld voor de minimale en de maximale waarde. Wijzigingen in de tekstvelden zorgt voor een wijziging van de *slider* (c).

7.4.2.2 Enkele waarde

Dit filter is geïmplementeerd in de vorm van *radiobuttons*. Hierdoor kan er maar één waarde opgegeven worden. De mogelijke waarden van de *radiobuttons* worden aan de hand van de waarde uit ft_values bepaald.

7.4.2.3 Meerdere waarden

Dit filter is geïmplementeerd in de vorm van *checkboxes*. Hierdoor kunnen er meerdere waarden opgegeven worden. De mogelijke waarden van de *checkboxes* worden aan de hand van de waarde uit *ft_values* bepaald.

7.4.3 Weging

Zoals aangegeven in paragraaf 7.3.2.4 wordt de totaalscore berekend met behulp van wegingsfactoren. Deze factoren zijn gelijk aan de variabelen $x_{(1..n)}$ in de onderstaande berekening: $Totaalscore = (x_1 * score_1) + \dots + (x_n * score_n) / (x_1 + \dots + x_n)$. De waarden van deze variabelen zijn standaard 1. Ze kunnen gewijzigd worden via een *slider*. Dit wordt weergegeven in Figuur 7-7.



Figuur 7-7 Wegingcoëfficiënten

Per filter kan de wegingcoëfficiënt x opgegeven worden. Er is in de implementatie voor gekozen om hier een maximale waarde van 10 aan toe te kennen. In het voorbeeld in Figuur 7-7 weegt *Range* 6x zo zwaar als *Scale* en *Cost* en 2x zo zwaar als *Data rate*. *Data rate* weegt dus 3x zo zwaar als *Scale* en *Cost*. De formule voor de totaalscore wordt dan:

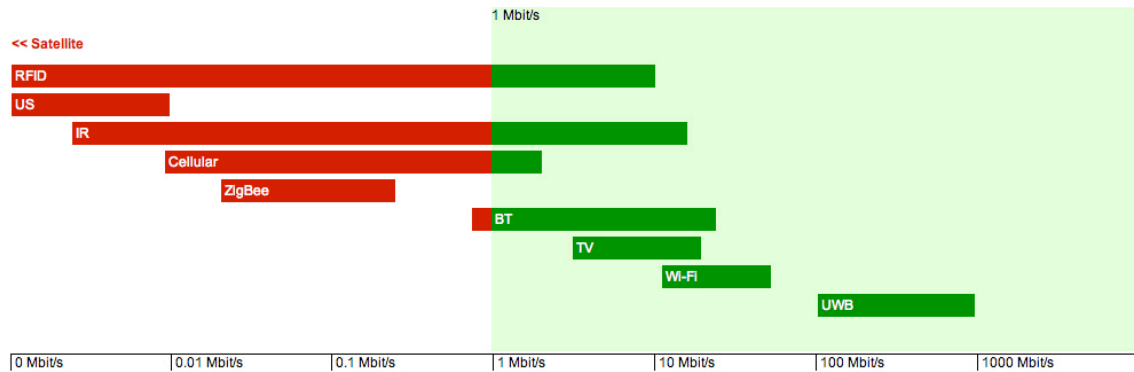
$$(6 * score(Range)) + score(Cost) + (3 * score(Data rate)) + score(Scale) / 11$$

7.4.4 Informatie over filters

Het is mogelijk om informatie over de opgegeven filters op te vragen. Dit toont een grafische weergave van de waarden van de technieken op het desbetreffende filter. Ook wordt het filter zelf grafisch getoond. Met de kleuren groen en rood wordt aangegeven welke waarden wel en niet aan het opgegeven filter voldoen. Het filter wordt in een lichtgroene kleur getoond. Er zijn drie verschillende weergaven van dit informatiescherm geïmplementeerd.

7.4.4.1 Bereik (standaard, logaritmisch)

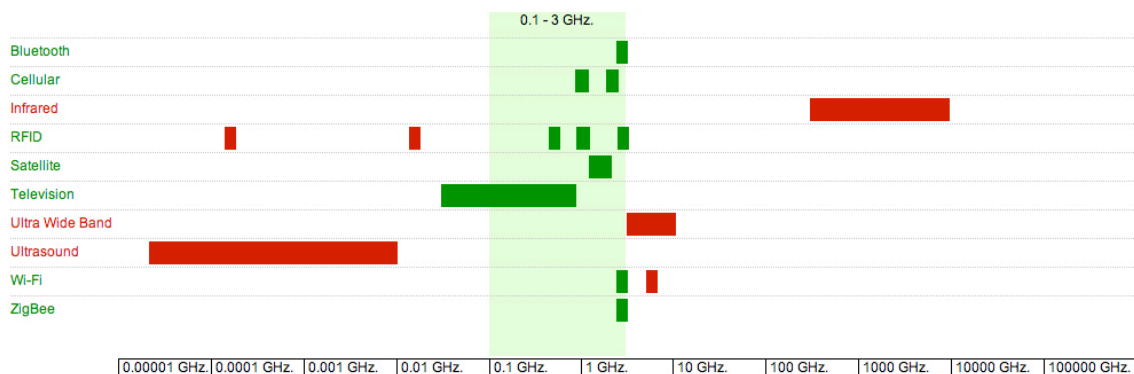
De waarden van de verschillende technieken worden op een schaal weergegeven die loopt van ft_{min} t/m ft_{max} . Het bereik van de waarde van de technieken wordt weergegeven als een blok die loopt van tf_{range_start} tot tf_{range_stop} . De waarde in $ft_{inverse}$ bepaalt of het filter getekend wordt van ft_{min} t/m $filter$ of van $filter$ t/m ft_{max} .



Figuur 7-8 Informatie filter bereik (standaard, logaritmisch)

7.4.4.2 Blokfilter

Ook hier worden de waarden van de technieken op een schaal getoond die van ft_{min} t/m ft_{max} loopt. De waarden van de technieken (de *blokken*) lopen van de beginwaarde van het blok tot de eindwaarde van het blok. Als deze gelijk zijn, dan krijgt het blok toch een minimale breedte om de leesbaarheid te vergroten. Het filter loopt van de opgegeven minimale t/m de maximale waarde. Om het overzicht meer duidelijkheid te geven, is ervoor gekozen om de naam van de techniek ook een rode of een groene kleur te geven. Dit hangt af van de score van de techniek (0% of 100%).



Figuur 7-9 Informatie blokfilter

7.4.4.3 Discreet bereik, enkele waarde en meerdere waarden

De informatie over deze filters wordt weergegeven in een tabelstructuur. Het aantal kolommen hangt af van het aantal mogelijke waarden van het filter uit ft_values . Bij *enkele waarde* kan een techniek maar één waarde hebben, bij de andere filters kunnen dit er meer zijn. De kolommen met de desbetreffende waarde(n) worden ingevuld en krijgen de kleur rood of groen, afhankelijk van het filter. De kolommen die aan het opgegeven filter voldoen krijgen een lichtgroene kleur. Bij *enkele waarde* zal dit dus één kolom zijn. Bij *meerdere waarden* kunnen dit er één of meer zijn. Bij *discreet bereik* krijgt de kolom met de opgegeven filterwaarde een lichtgroene kleur. Alle kolommen links van deze kolom krijgen ook een lichtgroene kleur. Dit zijn de kolommen met een lagere id (in ft_values). Bij *meerdere*

waarden kunnen dus losse kolommen een filter bevatten, terwijl bij *discreet bereik* het een aaneengesloten geheel is. Een *meerdere waarden* filter kan ook inverse zijn (via *ft_inverse*). Dan worden de groene en rode kleur dus omgedraaid. Voor de overzichtelijkheid is ervoor gekozen om het opgegeven filter een lichtrode kleur te geven, in plaats van een lichtgroene kleur (zie (I) in Figuur 7-10).



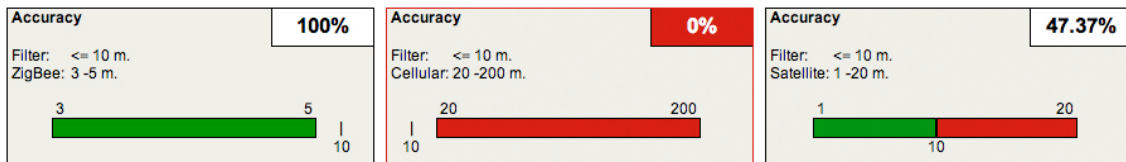
Figuur 7-10 Informatie filter (I) enkele/meerdere waarden, inverse (II) discreet bereik (III) enkele/meerdere waarden

7.4.5 Informatie scores

Het is mogelijk om informatie over de berekening van de totaalscore op te vragen. Dit overzicht toont in blokken grafisch de individuele scores op de opgegeven filters. Als de techniek op alle filters meer dan 0% scoort, dan wordt ook de berekening van de totaalscore getoond. Ander staat er de melding: *This technique does not satisfy one or more filters, therefore the total score is 0%*. Blokken van filters waarop de techniek een score van 0% haalt, worden met een rode kleur weergegeven. In de blokken met de individuele scores worden de volgende gegevens getoond: de naam van het filter, de waarde van het filter, de naam van de techniek, de waarde(n) van de techniek op dit filter, de individuele score en een grafische weergave van de berekening van de score. Voor deze grafische weergave zijn drie verschillende vormen geïmplementeerd.

7.4.5.1 Bereik (standaard, logaritmisch)

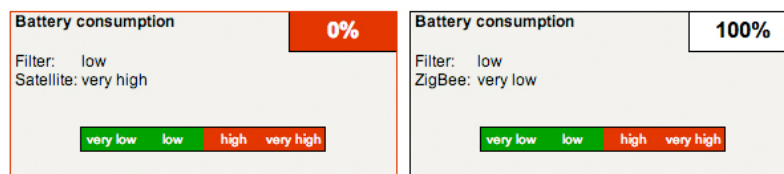
Er wordt een blok (met een vaste lengte) weergegeven met daarop de minimale en de maximale waarde van de techniek (*tf_range_start* en *tf_range_stop*). Het filter wordt aangegeven met een waarde en een verticale streep. De positie is afhankelijk van de waarde van het filter ten opzicht van de waarden van de techniek. Met de rode en groene kleur wordt aangegeven welk deel van het bereik van de waarde van de techniek aan het filter voldoet.



Figuur 7-11 Informatie individuele scores bereik filter

7.4.5.2 Discreet bereik

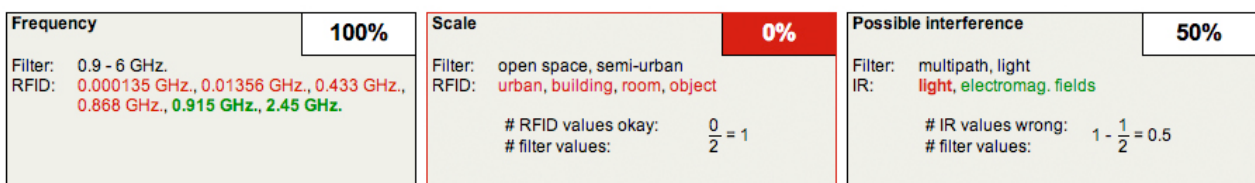
De waarden uit *ft_values* worden naast elkaar getoond volgens de opgegeven hiërarchie. De mogelijke waarden die aan het filter voldoen worden met groen aangegeven, de anderen met rood.



Figuur 7-12 Informatie individuele scores discreet bereik

7.4.5.3 Enkele waarde, meerdere waarden en blokfilter

De waarden van de techniek (die sowieso getoond worden) krijgen bij deze filters een groene of rode kleur (afhankelijk van het filter). Bij *meerdere waarden* wordt ook nog de berekening van de score getoond aan de hand van het aantal opgegeven filters en het aantal waarden dat aan het filter voldoet. Bij een invers *meerdere waarden* filter zijn de kleuren omgedraaid.



Figuur 7-13 Informatie individuele scores blokfilter, meerdere waarden en meerdere waarden (inverse)

7.4.6 Waarschuwingen

Zoals aangegeven, in dit hoofdstuk en het vorige hoofdstuk, is er in het model de mogelijkheid om waarschuwingen te tonen. Deze waarschuwingen zijn gekoppeld aan een techniek bij een bepaald filter. Ook kan er een waarde voor het filter opgegeven worden. Dan wordt de melding alleen getoond als die waarde opgegeven is (zie ook paragraaf 7.2.3.2). Deze paragraaf geeft een overzicht van de geïmplementeerde waarschuwingen in het model. In de webapplicatie is de voertaal Engels, maar in deze paragraaf zullen de meldingen in het Nederlands weergegeven worden. Er is in dit onderzoek voor gekozen om alleen bij Wi-Fi en het filter (Binnen/buiten = buiten) de melding te tonen over extra kosten voor het netwerk. Natuurlijk is het zo dat bij de andere technieken (op Satelliet, Cellulair en TV na) er ook geïnvesteerd moet worden in een netwerk. Maar, zoals al aangegeven in paragraaf 6.5, Wi-Fi netwerken zijn op veel plaatsen (binnenshuis) aanwezig. De investering in het netwerk is dan niet nodig. Wanneer het probleem zich buiten afspeelt, zal er dus een extra investering nodig zijn. Bij de meeste andere technieken moet er sowieso geïnvesteerd worden, dus is een melding overbodig.

Techniek	Filter	Waarde	Melding
Satelliet	Binnen/buiten	binnen	<i>“Werkt (vrijwel) niet binnenshuis.”</i>
Cellulair	Binnen/buiten	binnen	<i>“Werkt (vrijwel) niet binnenshuis.”</i>
Infrarood	Binnen/buiten	buiten	<i>“Mogelijk extra storingen (bijvoorbeeld zonlicht).”</i>
Wi-Fi	Binnen/buiten	buiten	<i>“Mogelijk extra kosten, vanwege aanleg nieuw netwerk buitenshuis.”</i>
Cellulair	Nauwkeurigheid	--	<i>“Welke locatiebepaling methode geïmplementeerd wordt, bepaald de mogelijke nauwkeurigheid. Cell ID heeft de laagste nauwkeurigheid en (E)-OTD de hoogste.”</i>
Cellulair	Kosten	--	<i>“Complexere locatiebepaling methodes, zoals (E)-OTD brengen meer kosten met zich mee. Er moet bijvoorbeeld extra programmatuur geïnstalleerd worden.”</i>
UWB	Bereik	--	<i>“Vanwege de FCC regulatie, waardoor er maar met een laag vermogen verzonden mag worden, kan er maar een maximum bereik van ongeveer 20 meter gehaald kan worden.”</i>
RFID	Batterijverbruik	--	<i>“Passieve RFID tags halen de energie uit het signaal en hebben dus in principe een oneindige levensduur.”</i>
Infrarood	Privacy	--	<i>“Vanwege het korte bereik, line-of-sight en de invalshoek wordt IrDA als veilig beschouwd”</i>

8 Conclusie en toekomstig werk

In dit hoofdstuk zal de conclusie die getrokken kan worden, met betrekking tot de onderzoeksvraag, aan bod komen. Verder zal kort ingegaan worden op een aantal zaken die van belang kunnen zijn voor eventueel toekomstig onderzoek over dit onderwerp.

8.1 Conclusie

Het doel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een model, dat kan helpen bij de keuze voor een specifieke locatiebepalingstechniek. Hieruit rees de onderzoeksvraag:

‘Gegeven een specifiek probleem, waar locatiebepaling een rol speelt, in welke mate brengen verschillende locatiebepalingstechnieken daar een oplossing voor?’

Om deze vraag te kunnen beantwoorden moesten vier deelvragen beantwoord worden (zie paragraaf 1.4.2). Allereerst is er in hoofdstuk 2 een algemeen onderzoek naar Location Based Services gedaan. Dit hoofdstuk heeft de problematiek en het doel van dit onderzoek in kaart gebracht. Verder zijn er definities en aspecten van LBS aan bod gekomen, die later in het onderzoek weer gebruikt zijn. Aan de hand van een uitgebreid literatuuronderzoek zijn in hoofdstuk 3 verschillende locatiebepalingstechnieken gecategoriseerd. Met behulp van deze categorie-indelingen is een overzicht ontstaan van de technieken die op dit moment belangrijk zijn om te onderzoeken. Hier zijn tien technieken uitgekomen. Omdat het algoritme, waarmee de locatie bepaald wordt, van belang is bij de uiteindelijke kenmerken, is in hoofdstuk 4 een onderzoek gedaan naar deze locatiebepaling methodes. Hoofdstuk 5 heeft een algemeen beeld gegeven van de tien locatiebepalingstechnieken en de manier waarop deze technieken de locatie bepalen. Verder literatuuronderzoek heeft in hoofdstuk 6 een overzicht gegeven van de kenmerken die van belang zijn voor de keuze voor een bepaalde locatiebepalingstechniek. Daarbij is meteen onderzocht welke waarden de tien verschillende technieken hebben bij deze kenmerken. Hiermee zijn de vier deelvragen van dit onderzoek beantwoord.

Voor het uiteindelijke model is ervoor gekozen een webapplicatie te ontwikkelen. Hierdoor zit het model als volgt in elkaar: er zijn vijf verschillende soorten filters geïmplementeerd. Deze filters hebben allemaal een eigen individuele scoreberekening. Een kenmerk kan aan het model toegevoegd worden, door te bepalen wat voor een soort filter het is. Verder kunnen de waarden van de technieken aan het kenmerk toegekend worden. Deze kenmerken zijn de uiteindelijke inputparameters van het model en definiëren daarmee het (locatiebepaling) probleem. Voor iedere techniek kan bepaald worden wat zijn score is bij een ingevoerd kenmerk, aan de hand van de individuele scoreberekening van het type filter dat bij het kenmerk hoort. De uiteindelijke totaalscore van de techniek, op de opgegeven inputparameters, wordt berekend door het gemiddelde van de individuele scores te berekenen, met de mogelijkheid om wegingsfactoren op te geven.

Door het opgeven van de verschillende filters kan de gebruiker in het model zijn (locatiebepaling) probleem definiëren. Aan de hand van de uiteindelijke totaalscores van de verschillende technieken, kan bepaald worden welke techniek het meest geschikt is voor het probleem. Hierbij wordt ook aangegeven op welke manier de score berekend is (de redenatie), waardoor de gebruiker zijn eigen conclusies kan trekken. Het model (de webapplicatie) levert dus hulp bij de keuze voor een locatiebepalingstechniek, gegeven een specifiek (locatiebepaling) probleem. Hiermee is antwoord gegeven op de onderzoeksvraag uit paragraaf 1.4.2 en de doelstelling voor dit onderzoek bereikt.

8.2 Toekomstig werk

Dit onderzoek geeft een beeld van de technieken en kenmerken die op dit moment de belangrijkste rol hebben in Location Based Services. Maar de ontwikkelingen in deze wereld gaan zeer snel. Er worden continu verbeteringen aan de technieken aangebracht, waardoor de waarden die op dit moment in het model aanwezig zijn, continu veranderen. Ook kunnen er in de toekomst nieuwe technieken ontwikkeld worden, die misschien een veel betere keuze zijn dan de huidige technieken voor een probleem. De context van de wereld van Location Based Services verandert ook continu. Hierdoor kunnen nieuwe kenmerken ontstaan, die belangrijk kunnen zijn voor de keuze van een bepaalde techniek. Het model is zo opgezet dat dergelijke wijzigingen makkelijk doorgevoerd kunnen worden. Nieuwe kenmerken kunnen toegevoegd worden, door te bepalen wat voor een soort filter het is en wat de waarden voor de technieken zijn. Nieuwe technieken kunnen toegevoegd worden door de waarden op de verschillende kenmerken in te voeren. Hierbij zou in de toekomst kunnen blijken dat de huidige set van vijf filters hiervoor niet voldoende is. Er zouden dan zonder probleem nieuwe filters aan het model toegevoegd kunnen worden.

9 Bibliografie

- [1] A. Tsalgatidou, J. Veijalainen, J. Markkula, A. Katasonov, S. Hadjiefthymiades, *Mobile E-Commerce and Location-Based Services: Technology and Requirements*, Proc. 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Sciences (ScanGIS'03), Espoo, Finland p1-14 (2003)
- [2] J. de Heer, H. van Kranenburg, C. Ponsioen, W. Teeuw, *Personalisatie en context-awareness van mobiele diensten*, GigaMobile/D0.10, COM-PAS Enschede (2002)
- [3] E. Beinat, J. Steenbruggen, A. Wagtendonk, *Location Awareness 2020: A foresight study on location and sensor services*, IVM rapport E-07/09, Vrije Universiteit Amsterdam, Instituut voor Milieuvraagstukken.(2007)
- [4] N. Tryfona, D. Pfoser, *Data Semantics in Location-Based Services*, Journal on Data Semantics III, p168-195, Springer Berlin, ISBN: 9783540262251 (2005)
- [5] P.M. Adams, G.W.B. Ashwell, R. Baxter, *Location-Based Services — An Overview of the Standards*, BT Technology Journal Volume 21, p34-43, Springer Netherlands, ISSN 1358-3948 (2004)
- [6] E. Beinat, E. Diaz, *Location services and accuracy, An analysis for field work applications*, GIPSY rapport 2004-7 versie 1.0, Vrije Universiteit Amsterdam in samenwerking met Geodan, 3e projectenronde ICT-Onderwijsteams (ICT 2002/3) (2004)
- [7] K.A. Grajski, E. Kirk, *Towards a Mobile Multimedia Age – Location-Based Services: A Case Study*, Wireless Personal Communications 26, p105–116, Kluwer Academic Publishers, ISSN: 0929-6212 (2003)
- [8] M. Stöttinger, *Context-Awareness in industrial environments*, Diplomarbeit am Studiengang für Software Engineering, FH-Hagenberg (2004)
- [9] A. Mihovska, F. Platbrood, G. Karetsos, S. Kyriazakos, R. Van Muijen, R. Guarneri, J.M. Pereira, *Towards the Wireless 2010 Vision: A Technology Roadmap*, Wireless Personal Communications 42, p303–336, Springer, ISSN: 11277-006-9180-0 (2006)
- [10] T. Tuteneel, *Hybrid indoor/outdoor location determination technologies*, Universiteit Hasselt (2006)
- [11] J. Hallberg and M. Nillson. *Positioning with Bluetooth IrDA and RFID*. Master's thesis, Luleå University of Technology (2002)
- [12] V. Otsason, A. Varshavsky, A. LaMarca, E. de Lara, *Accurate GSM Indoor Localization*, UbiComp 2005: Ubiquitous Computing, p141-158, Springer Berlin / Heidelberg, ISBN 9783540287605 (2005)
- [13] J.O. Filho, A. Bunoza, J. Sommer, W. Rosenstiel, *Self-Localization in a Low Cost Bluetooth Environment*, UIC 2008, LNCS 5061, p258-270, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2008)

-
- [14] M. Rabinowitz, J.J. Spilker, Jr, *A New Positioning System Using Television Synchronization Signals*, Rosum Corporation white paper, http://www.rosun.com/rosun_whitepapers.html (2004)
- [15] J.A. Tauber, *Indoor location systems for pervasive computing*, Technical report, MIT Laboratory for Computer Science, Cambridge (2002)
- [16] O. Tanz, J. Shaffer, *Wireless Local Area Network Positioning*, Ambient Intelligence for Scientific Discovery, LNAI 3345, p248–262, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2005)
- [17] S. Steiniger, M. Neun, A. Edwardes, *Foundations of Location Based Services*, Lecture Notes on LBS, Department of Geography, University of Zürich (2006)
- [18] J. van Wijck, A. van Elburg, *Rondetafelgesprek over Location Based Services*, Emerce Editie 63 (2006)
- [19] J. Steenbruggen, M. Grothe, *Location based services gepositioneerd als informatiedienst*, Geoinformatie Nederland, Deurne (2004)
- [20] K. W. Kolodziej, J. Hjelm. *Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*, CRC Press, ISBN 0849333490, 9780849333491 (2006)
- [21] K. Al Mosawi, J. H. Lim, *Aura Digital Toolkit*, CO600 Group Project Reports 2003/04, Department of Computer Science Kent University, Sun Microsystems centre for learning innovation (2003)
- [22] L. Ruiz-Garcia, P. Barreiro, J. Rodriguez-Bermejo, J.I. Robla. Review. *Monitoring the intermodal, refrigerated transport of fruit using sensor networks*, Spanish Journal of Agricultural Research 2007 p142-156, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), ISSN 1695-971-X (2007)
- [23] T. King, S. Kopf, W. Effelsberg, *A Location System based on Sensor Fusion: Research Areas and Software Architecture*, 2nd GI/ITG KuVS Expert Interview "Ortsbezogene Anwendungen und Dienste", University of Mannheim, Stuttgart, Germany (2005)
- [24] S. Wang, J. Min, B.K. Yi, *Location Based Services for Mobiles: technologies and standards*, LG Electronicx Mobile Research, WCNC 2008 / ICC 2008, Beijing (2008)
- [25] D. Gebre-Egziabher, *Design and Performance Analysis of a Low-cost Aided Dead Reckoning Navigator*, PhD thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, USA (2004)
- [26] N. Deblauwe, L. Van Biesen, *A Cellular Localisation Technology: Multi Cell-ID*, Vrije Universiteit Brussel, dept. ELEC (IWT), Brussel (1999)
- [27] D. Porcino, J. Sachs, R. Zetik, A. Ward, *UWB ranging*; UWB Communication Systems: A Comprehensive Overview, EURASIP Book Series on Signal Processing & Communications, p.411-446, Hindawi Publishing Corporation, ISBN: 9789775945105 (2006)
- [28] M.S. Sharawi, *Enhanced Observed Time Difference Location Technology Through Fading Channels in GSM Networks*, Department of School of Informatics and Computing, Jordan,

- Engineering, *Asioan Journal of Information Technology*, 5 (10) p.1158-1165, Medwell Online (2006)
- [29] S.D. Ilčev, *Global Mobile Satellite Communication*, For Maritime, Land and Aeronautical Applications, Springer US, ISBN 9781402077678 (2005)
- [30] R. Constantine, *GPS & Galileo. Friendly foes?*, AU/AF FELLOWS/NNN/2007-04, Maxwell Air Force Base, Alabama (2007)
- [31] A. Kleusberg, *Comparing GPS and GLONASS*, *GPS World* 1(6), p52-54 (1990)
- [32] K. O'Keefe, O. Julien, M.E. Cannon, G. Lachapelle, *Availability, accuracy, reliability, and carrier-phase ambiguity resolution with Galileo and GPS*, Department of Geomatics Engineering, Schulich School of Engineering, The University of Calgary, Elsevier (2006)
- [33] Novatel, *GPS+ Reference Manual 0G*, OM-20000039 (2006)
- [34] C. Cao, G. Jing, *COMPASS Satellite Navigation System Development*, PNT Challenges and Opportunities Symposium, Stanford University (2008)
- [35] J. van Haften, *Five Satellites in Geostationary Orbit - China's Beidou Navigation Project*, *GEO Informatics* Nr. 1 Volume 10 (2007)
- [36] E.A. Gryazin, B.A. Krassi, J.O. Tuominen, *WLAN Technology for Indoor Positioning and Navigation*, IV International Science Conference "New Information Technologies. Development and Applications", p.10-23, Taganrog, Russia, ISBN 5-880440-037-9 (2003)
- [37] F. Kleijer, *Nut en noodzaak van plaatsbepalingsinfrastructuur op Schiphol*, Projectrapport RGI-150-01, Bsik-project 3D-plaatsbepalingsinfrastructuur in de bebouwde omgeving, Sectie GIS-technologie TU Delft (2007)
- [38] M. Hazas and A. Hopper. *Broadband Ultrasonic Location Systems for Improved Indoor Positioning*, *IEEE Transactions on Mobile Computing* volume 5, p.536-547 (2006)
- [39] J. Hightower, G. Borriello, Location systems for ubiquitous computing, *IEEE Computer*, vol.34, p57-66, (2001)
- [40] J.Lee, Y. Su, C. Shen, *A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi*, The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Taipei, Taiwan (2007)
- [41] S.C. Ergen, *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*, Internal Report to Advanced Technology Lab of National Semiconductor, University of California Berkeley, (2004)
- [42] N. Kawaguch, *WiFi Location Information System for Both Indoors and Outdoors*, LNCS Volume 5518, p638-645, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 9783642024801 (2009)
- [43] S. Xuesong, C. Wu, L. Ming, *Wireless Sensor Networks for Resources Tracking at Building Construction Sites*, *Tsinghua Science and Technology* Volume 13, Number S1, p.78-83, Hong Kong, ISSN: 1007-0214 (2008)
- [44] I. Oppermann, M.Hämäläinen, J. Linatti, *UWB Theory and Applications*, WileyBlackwell, ISBN: 9780470869178 (2004)

-
- [45] N. Samama, *Global Positioning: Technologies and Performance*, Wiley Survival Guides in Engineering and Science, chapter 9: Indoor positioning problem and main techniques (Non-GNSS), WileyBlackwell, ISBN: 9780471793762 (2008)
- [46] Rosum Corporation, *Rosum FemtoSynch In-Building Timing and Location for Femtocells*, Technical report, http://www.rosum.com/pdfs/Rosum_FemtoSynch_White_Paper_Oct08.pdf (2008)
- [47] R. Blasco, Á. Marco, R. Casas, A. Ibarz, V. Coarasa, Á. Asensio, *Indoor Localization Based on Neural Networks for Non-dedicated ZigBee Networks in AAL*, Lecture Notes in Computer Science p1113-1120, Springer Berlin / Heidelberg (2009)
- [48] S. Tadakamadla, *Indoor Local Positioning System For ZigBee, Based On RSSI*, The Department of Information Technology and Media (ITM), Mid Sweden University (2006)
- [49] I.K. Adusei, K. Kyamakya, K. Jobmann, *Mobile Positioning Technologies in Cellular Networks: An Evaluation of their Performance Metrics*, MILCOM 2002, Volume 2, p.1239-1244 (2002)
- [50] M. Martone, J. Metzler, *PrimeTime Positioning - Using Broadcast TV Signals to Fill in GPS Acquisition Gaps*, GPS world, Volume 16, Number 9, p52-59 (2005)
- [51] D. Hallaway, T. Höllerer, S. Feiner, *Coarse, Inexpensive, Infrared Tracking for Wearable Computing*, Wearable Computers Proceedings, Seventh IEEE International Symposium, p.69-78 (2003)
- [52] F. Kleijer, *Nut en noodzaak van plaatsbepalingsinfrastructuur op Schiphol*, Projectrapport RGI-150-01, Bsik-project 3D-plaatsbepalingsinfrastructuur in de bebouwde omgeving, Sectie GIS-technologie TU Delft (2007)
- [53] F. Rousseau, P. Hellier, C. Barillot, *A Novel Temporal Calibration Method for 3D Ultrasound*, University of Rennes, IRISA, Unit/Project Visages U746 F-35042 (2006)
- [54] A. Madhavapeddy, A. Tse, *A study of Propagation Using accurate indoor location mapping*, Ubicomp 2005 LNCS 3660, p.105-122, Springer-Verlag Berlin (2005)
- [55] Ekahaum, *Comparison of Wireless Indoor Positioning Technologies*, Whitepaper (2006)
- [56] G. Coulouris, *Exploring the Design Space*, Laboratory for Communication Engineering (LCE), University of CambridgeUniversity of Cambridge, Ubiconf 2004, April 19th, Gresham College, London (2004)
- [57] N. Samama, *Global Positioning: Technologies and Performance*, Wiley-Interscience, ISBN: 9780471793762 (2008)
- [58] K. Borre, D.M. Akos, N. Bertelsen, P. Rinder, *A Software-defined GPS and Galileo Receiver*, Birkhauser; Pap/DVD edition, ISBN: 9780817643904 (2006)
- [59] M.J. Rycroft, *Satellite Navigation Systems - Policy, Commercial and Technical Interaction*, Springer; 1 edition, ISBN: 978-1402016783 (2003)

- [60] Galileo Open Service, GAL OS SIS ICD/D.0, Signal In Space Interface Control Document, European Space Agency / Galileo Joint Undertaking (2006)
- [61] M. Rabinowitz, J.J. Spilker, *Is a next generation Technology Necessary?*, Technical report, http://rosum.com/pdfs/RosumCorpWhitePaper_Is_A_Next_Generation_Positioning_Technology_Necessary.pdf (2002)
- [62] V.K. Madisetti, D. Williams, *The Digital Signal Processing Handbook*, CRC Press; 1 edition, K. Tzou: Digital Television (56), ISBN: 9780849385728 (1998)
- [63] D. Minoli, *Telecommunications Technology Handbook*, Artech House; 2 edition, ISBN: 9781580535281 (2003)
- [64] E.T.M. Law, R. Bradbeer, L.F. Yeung, L. Bin, G. ZhongGuo, T.H.T. Kwan, *Using multicarrier modulation in an ultrasonic data link to communicate with an underwater vehicle*, Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong (2005)
- [65] H. Piontek, M. Seyffer, J. Kaiser, *Improving the Accuracy of Ultrasound-Based Localisation Systems*, LNCS 3479, p. 132–143, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2005)
- [66] S.V. Strelnikov, G.I. Shapovalov, S.G. Lapshin, *The Use of Television Signals of Stationary Television Centers for Navigation Determination of Low-Orbit Satellites*, Cosmic Research Volume 39, Number 6, p.615–621, MAIK Nauka/Interperiodica, Moscow (2001)
- [67] E.J. Huth, *Scientific Style and Format: The CBE Manual for Authors, Editors, and Publishers*, Cambridge University Press; 6 Sub edition, ISBN: 9780521471541 (1994)
- [68] J. Whitaker, *The Electronics Handbook*, CRC-Press; 1 edition, ISBN: 9780849383458 (1996)
- [69] J. Swarbrick, J.C. Boylan, *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*, Volume 14 - Self-Medication to Technology Transfer Considerations for Pharmaceuticals, Taylor & Francis Ltd, ISBN: 9780824728137 (1996)
- [70] Timothy J. Mason, *Ultrasound in synthetic organic chemistry*, Chem Soc Rev 26, p443-451, Sonochemistry Centre, School of Natural and Environmental Sciences, Coventry University, Coventry (1997)
- [71] O. Pozzobon, C. Wullems, K. Kubik, *Secure Tracking using Galileo Services*, Presented at GNSS 2004, The 2004 International Symposium on GNSS/GPS, Sydney, Australia (2004)
- [72] A.C. Rice, *Dependable systems for Sentient Computing*, Technical Report number 868, University of Cambridge Computer Laboratory, ISSN: 14762986 (2007)
- [73] J. Lempiäinen, M. Manninen, *Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS*, Springer, ISB: 9780792375166 (2001)
- [74] R. Mautz, *Combination of Indoor and Outdoor Positioning*, 1st International Conference on Machine Control & Guidance, Zurich (2008)
- [75] A. Gupta, M.R. Tennefoss, *Radio Frequency Control Networking: Why Poor Reliability Today Hampers What Could Be a Viable Technology in the Future*, a technology assessment (2005)