



**RAAK MKB Wireless Sensortechnologie bij
Calamiteiten
Werkpakket 3 Proximity**

Onderzoeksrapport Indoor Lokalisatie

Niels Sondervan, Henk van Leeuwen

**Saxion Kenniscentrum Design en Technologie
Lectoraat Ambient Intelligence**

Januari 2011

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Probleemstelling	4
3	Wensen van de brandweer	5
3.1	De wensen	5
3.2	Aanscherping van de specificaties	5
4	Leeswijzer.....	6
5	Systemen op basis van radio signalen	7
5.1	Methoden voor positiebepaling	7
5.2	Afstand- of hoekbepaling	9
5.3	Veel voorkomende problemen	10
5.3.1	Consequenties van de problemen	11
5.4	Technologieën met minder problemen	11
5.5	Voorgeïnstalleerde systemen.....	12
5.5.1	Onderzoek op dit gebied.....	12
5.6	Ad Hoc geplaatste systemen	13
5.6.1	Onderzoek op dit gebied.....	13
5.6.1.1	Precision Personnel Locator:.....	13
5.6.1.2	LocataLite:	16
5.6.1.3	Thales Research and Technology.....	20
5.7	Wireless Sensor Networks	22
5.7.1	Ambient Systems	22
5.8	Proximity sensing met RFID.....	23
5.9	Zijn de problemen opgelost?.....	23
6	Systemen op basis van inertie	25
6.1	Onderzoek op dit gebied	26
6.2	Veel voorkomende problemen	28
6.3	Voorbeelden van verbeteringen.....	28
6.4	Afweging bij inertiegebaseerde systemen	31
7	Verslag van bezoek aan TNO.....	32
7.1	HIMS	32
7.1.1	Inleiding.....	32
7.1.2	Structuur.....	32
7.1.3	Resultaten	33
8	Conclusies.....	34
8.1	Terugblik.....	34
8.2	Afweging.....	34
9	Literatuurlijst.....	35

1 Inleiding

Het project Wireless Sensor Technologie bij Calamiteiten is een samenwerkingsverband tussen Saxion University of Applied Science, Thales Nederland (de dochterondernemingen D-CIS Lab en Iseti), Ambient Systems, Ti-WMC, het beveiligingsbedrijf Vigilat, het Regionaal Centrum Criminaliteitspreventie en Veiligheidsregio's Twente, Noord en Oost Gelderland, Gelderland Midden en Zuid. Dit project wordt ondersteund door de Stichting Innovatie Alliantie (SIA) vanuit het RAAK MKB fonds.

Binnen het werkpakket Proximity wordt onderzoek gedaan naar de stand van zaken van indoor lokalisatie.

De motivatie voor dit deelproject komt voort uit het streven het risico voor de hulpverlener in actie te verminderen. Elke dag wagen brandweermannen hun leven bij het blussen van branden en het redden van mensen uit brandende gebouwen. Hierbij wil het wel eens gebeuren dat een brandweerman in problemen komt door de gevaarlijke en onoverzichtelijke situatie, de weg kwijtraakt of het contact verliest met zijn collega's. Op zulke momenten is het moeilijk voor deze brandweerman om zijn collega's te vinden en andersom is het moeilijk voor zijn collega's om hem te vinden. Dit resulteert soms in de dood van een of meer brandweermannen.

Daarom zal onderzocht worden welke rol technologie kan spelen om de veiligheid van een brandweermannen te verhogen bij de uitvoering van hun taak en wel voornamelijk door het realtime bepalen van zijn locatie en positie in een brandend gebouw.

Allereerst zal het probleem behandeld worden, daarna wordt onderzocht welke technieken en technologie er beschikbaar zijn. Deze zullen gewaardeerd worden op basis van de praktijkcriteria: betrouwbaarheid, snelle operationele inzetbaarheid, nauwkeurigheid en kosten. Aan de hand daarvan wordt een onderzoeksvraag geformuleerd. Op basis van geschiktheid van de oplossingsrichtingen zal in het vervolg een prototype ontworpen en gebouwd worden.

2 Probleemstelling

Er wordt uitgegaan van een brandend gebouw waarin een brandweerman zijn blus- of reddingsactie moet uitvoeren.. We gaan uit van de volgende aannames.

- Het gebouw is afgesloten van het elektriciteitsnet;
- Het is heet en donker in het gebouw, de brandweerman ziet geen hand voor ogen;
- De brandweerman draagt veiligheidskleding;
- De handschoenen belemmeren de brandweerman om fijne motorische handelingen te verrichten.

Met deze beperkingen in het achterhoofd, rijzen de volgende vragen:

1. Kunnen we vaststellen waar een reddingswerker zich bevindt in een gebouw?
2. Kunnen we een reddingswerker volgen in een getroffen gebouw?
3. Kunnen we vaststellen of er in een getroffen gebouw personen of bepaalde objecten aanwezig zijn?
4. Kunnen we vaststellen waar personen of objecten zich bevinden in een getroffen gebouw?
5. Kunnen we biometrische gegevens van een reddingswerker verzamelen?
 - Denk aan: hartslag, bloeddruk, lichaamstemperatuur, koolmonoxide
 - En gerelateerd daaraan: de hoeveelheid zuurstof in de luchtfles.
6. Kunnen we gegevens van de omgeving van een reddingswerker verzamelen?
 - Denk aan: omgevingstemperatuur, aanwezige gassen in de lucht, koolstofdioxide gehalte, koolmonoxide gehalte, rookontwikkeling, trillingen van het gebouw.

De vragen zijn gerangschikt op importantie.

3 Wensen van de brandweer

De mogelijkheden om een brandweerman te lokaliseren in een gebouw zijn beschreven, zowel technieken die gebruikt kunnen worden als systemen die van deze technologieën gebruik maken. In dit hoofdstuk zullen de beschreven systemen getoetst worden aan de wensen van de brandweer.

3.1 De wensen

Om de wensen van de brandweer te bepalen is overlegd met Gerke Spaling en Harald Aarnink die beide als officier van de brandweer regio Twente gesprekspartners waren in dit project. De wensen zijn als volgt:

- Zo min mogelijk tijd besteden aan operationeel maken van het systeem bij een calamiteit. Een brandweerman moet zo snel mogelijk aan de slag kunnen nadat hij op de plaats van de calamiteit is aangekomen. De brandweer moet binnen 8 minuten na het ontvangen van een melding aanwezig zijn bij een calamiteit. Als het opzetten of kalibreren van het lokalisatiesysteem dan enkele minuten duurt is dat buitenproportioneel veel. Er kan wel onderscheid gemaakt worden tussen een complex gebouw, zoals het Saxion gebouw in Enschede en niet-complex gebouw, zoals een woning. Voor een complex gebouw is meer voorbereiding vereist en daardoor is er ook meer tijd beschikbaar om een lokalisatiesysteem op te zetten en/of te kalibreren.
- Een afwijking in de positionering van maximaal vijf meter in het horizontale vlak. Als de afwijking binnen vijf meter blijft, dan zijn ze ervan overtuigd dat ze binnen afzienbare tijd een collega kunnen vinden. Met een indicatie van de positie, bijvoorbeeld in welke kamer een brandweerman zich bevindt, kan een gebied daaromheen vrij snel uitgekamd worden om hem te vinden.
- Betrouwbare bepaling van de verdieping waarop de brandweerman zich bevindt. Wat in het horizontale vlak mogelijk is, namelijk systematisch de omgeving uitkammen, is onmogelijk in het verticale vlak. Daarom moet nauwkeurig en betrouwbaar de verdieping waar een brandweerman loopt bepaald kunnen worden.
- De kosten voor het systeem mogen niet te hoog worden. Wanneer de kosten precies te hoog worden is niet eenduidig. Dat is afhankelijk van de prestaties van het systeem. Voor een betere 'opzettijd/nauwkeurigheid verhouding' is de brandweer bereid meer geld te investeren. Uiteindelijk is het aan de brandweer om te bepalen wanneer een systeem wel of niet te duur is.

3.2 Aanscherping van de specificaties

Uit de lijst van initiële specificaties blijken voor dit onderzoek vooral van belang te zijn

1. Het lokalisatiesysteem kan bepalen waar een reddingswerker zich bevindt in een gebouw?
2. Het systeem kan realtime een reddingswerker volgen in een gebouw dat in brand staat?

Uit de wensenlijst van de brandweer komen de volgende toevoegingen.

1. Het systeem moet op de plek van de calamiteit binnen twee minuten operationeel zijn.
2. De nauwkeurigheid moet op het horizontale vlak binnen de vijf meter zijn en in het verticale vlak moet de exacte verdieping bepaald worden.
3. De kosten moeten beperkt blijven. Een kosten niveau is niet aangegeven.

Bij de specificaties houden we rekening met de beperkte tijdsduur (maximaal ca. 20 minuten) dat een brandweerman in een brandend gebouw is. De zuurstoffles bevat slechts beperkte hoeveelheid zuurstof. De brandweerman moet het gebouw verlaten hebben voor de zuurstofvoorraad op is.

De keuze van specificaties betekent dat we niet nagaan met behulp van welke technologie kan worden bepaald of er personen in het gebouw aanwezig zijn. Ook zal geen aandacht worden geschonken aan de mogelijkheden de omgevingsfactoren en de fysieke factoren van de brandweerman in actie in beeld te brengen. We beperken ons tot lokalisatie.

4 Leeswijzer

Er zijn meerdere technologieën bekend om iemand te lokaliseren en te volgen binnen een gebouw. Fischer en Gellersen (2010) hebben een overzicht gemaakt, dat in de volgende hoofdstukken gebruikt wordt. De meer geavanceerde technologieën zijn gebaseerd op RF signalen of op inertie. Naast de technologie maken ze onderscheid tussen systemen die vooraf in een gebouw aangebracht zijn, systemen die bij een calamiteit ter plekke in een minimum aan tijd kunnen worden ingericht en systemen die geen gebruik maken van vooraf geïnstalleerde elementen.

In de eerste categorie vallen radio gebaseerde systemen zoals wireless sensornetwerken, RFID tags, Ultra Wide Band en tal van andere technologieën. Deze worden beschreven in hoofdstuk 5. Systemen gebaseerd op inertie en dead reckoning met verschillende typen sensoren als versnellingsmeters, gyroscopen, kompas komen in het hoofdstuk 6. Systemen op basis van inertie aan de orde. Bij de beschrijving gaan we ook in op beschikbare commerciële producten die exemplarisch zijn voor de genoemde technologieën.

Een onderbouwde waardering van de toepassingsmogelijkheden van de technologieën en systemen komt aan de orde in de betreffende hoofdstukken..

Naast resultaten van literatuurstudie, melden we bevindingen uit contacten met productontwikkelaars als Ambient Systems, Inertia Technology en een onderzoeksgroep van TNO Defensie en Veiligheid.

Na een analyse van de stand van zaken komen aanbevelingen voor verder onderzoek.

5 Systemen op basis van radio signalen

Iedereen kent de plaatsbepaling met behulp van GPS. Dit systeem gebruikt radiosignalen van satellieten om de positie te bepalen. Dit systeem is prima voor gebruik in de openlucht. Binnen een gebouw is GPS niet meer betrouwbaar en vaak zelfs geheel onbruikbaar vanwege het niet ontvangen van de radiosignalen. Dus moet er voor indoor lokalisatie gebruik gemaakt worden van andere systemen. Radiosignalen van bronnen binnen een gebouw kunnen beschikbaar zijn. Denk aan elektromagnetische straling van WiFi, bluetooth, lokale sensornetwerken en UWB. Deze straling kan, afhankelijk van de gebruikte frequentie en het materiaal, door muren heen komen. Hoe hoger de frequentie, hoe moeilijker het is om door een muur te komen. Hoe dikker de muur, hoe moeilijker het is om erdoor te komen. En als het materiaal waar de muur van gemaakt is een hoge dichtheid heeft, is het ook moeilijk om er doorheen te komen.

5.1 Methoden voor positiebepaling

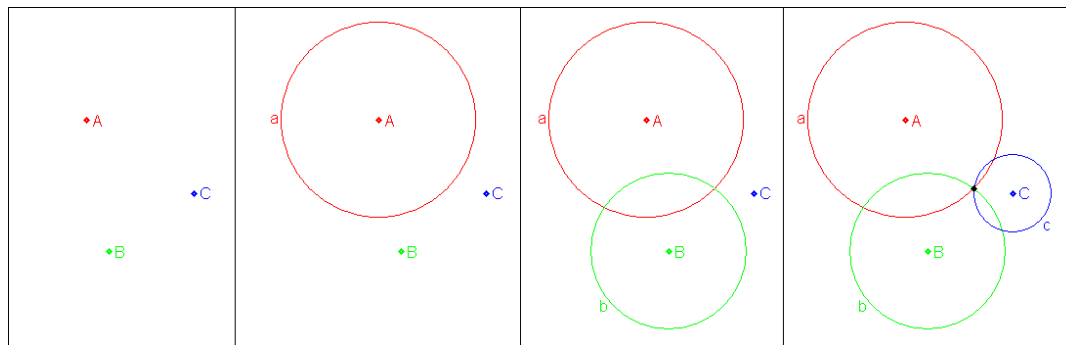
Bij het ontvangen van een signaal zijn er verschillende manieren om te achterhalen wat de afstand tot de zender is of in vanuit welke richting het signaal komt. Door deze gegevens over verschillende zenders te combineren kan een positie worden berekend. Deze worden hieronder kort behandeld waarbij voorlopig van een ideale situatie wordt uitgegaan:

Trilateratie:

Bij trilateratie wordt uitgegaan van de afstand van een voorwerp tot verschillende bakens. Voor een positiebepaling van een voorwerp in 2D (het tweedimensionale vlak), bijvoorbeeld alleen op de begane grond, zijn de afstanden tot minstens drie bakens vereist, waarbij de drie bakens niet op dezelfde rechte lijn liggen. Voor een positiebepaling in 3D (de driedimensionale ruimte), zijn de afstanden tot minstens vier bakens vereist, waarbij de vier bakens niet in hetzelfde platte vlak liggen. Dat is het enige verschil tussen 2D en 3D positiebepaling, verder werkt trilateratie hetzelfde voor beide dimensies.

Een voorbeeld:

Stel een voorwerp bevindt zich op 100 meter van baken A, 80 meter van baken B en 40 meter van baken C. De posities van de bakens zijn bekend. Met de afzonderlijke informatie kan alleen bepaald worden dat het voorwerp op een van de drie cirkels ligt.



Figuur 5-1 - Trilateratie

Vanuit baken A kan het voorwerp alleen op de rode cirkel a liggen, vanuit baken B alleen op de groene cirkel b en vanuit baken C alleen op de blauwe cirkel c. Door de gegevens van twee bakens te combineren, bijvoorbeeld baken A en B, kan berekend worden dat het voorwerp op een van de twee snijpunten van cirkels a en b moet liggen.

Als alle gegevens gecombineerd worden, dan blijft er een positie over. Het snijpunt van alledrie de cirkels is de positie van het voorwerp. In figuur 5-1 is dit voorbeeld uitgewerkt.

Trilateratie is de methode waar GPS mee werkt.

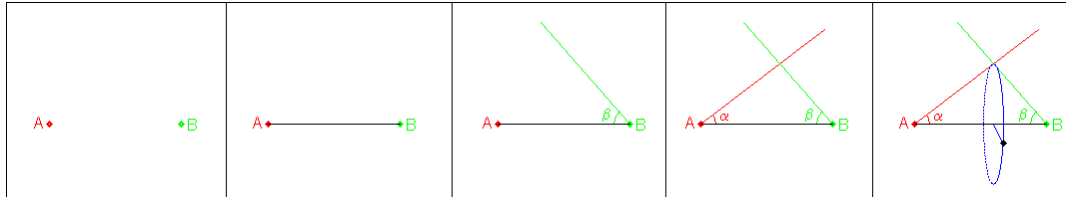
Triangulatie:

Voor triangulatie uitgevoerd kan worden, moet er bekend zijn wat de afstand is tussen 2 bakens, de hoek tussen het voorwerp V, baken A en baken B (hoek α = hoek VAB), de hoek tussen het voorwerp

V, baken B en baken A (hoek β = hoek VBA). Voor een positiebepaling in 2D is dit genoeg, voor een positiebepaling in 3D is er nog een gegeven nodig, de draairichting of azimuth van het voorwerp.

Een voorbeeld:

Stel de afstand tussen baken A en baken B is 132 meter, hoek α is 37.2 graden en hoek β is 48.5 graden. Vanuit baken A gezien ligt het voorwerp op de rode lijn die een hoek van 37.2 graden maakt met de denkbeeldige lijn van baken A naar baken B. Vanuit baken B gezien ligt het voorwerp op de groene lijn die een hoek van 48.5 graden maakt met de denkbeeldige lijn van baken A naar baken B.



Figuur 5-2 - Triangulatie

Vanuit baken B gezien ligt het voorwerp op de groene lijn die een hoek van 48.5 graden maakt met de denkbeeldige lijn van baken A naar baken B. Het snijpunt van de twee lijnen is de positie van het voorwerp.

Voor een 2D positie is dit genoeg. Voor een 3D positie betekent dit dat het voorwerp zich op een cirkel bevindt, de blauwe cirkel in figuur 2. Met behulp van het azimuth kan de positie bepaald worden. Het azimuth is de hoek die een lijn maakt met een referentielijn, gemeten met de klok mee. Bij navigeren over het land wordt deze term vaak gebruikt en daar is de referentie het noorden. In figuur 5-2 is de referentie naar boven en is het azimuth 90 graden.

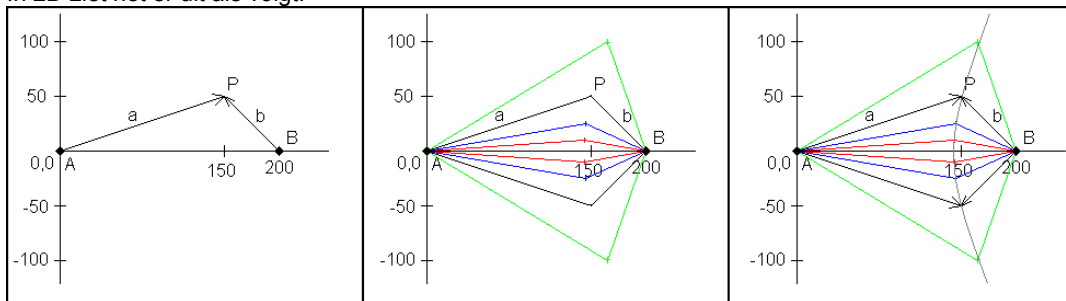
Multilateratie:

Deze techniek is gebaseerd op het verschil in aankomsttijden van een signaal bij verschillende bakens waarvan de positie vaststaat. Er zijn minstens drie bakens nodig om de positie te bepalen van een zender. Daarnaast is het noodzakelijk een klok te gebruiken met een zeer hoge nauwkeurigheid. RF signalen snellen voort met de snelheid van het licht, bijna 300 000 000 meter per seconde. Een afwijking van 1 milliseconde levert een verschil in afstand op van 300 kilometer.

Drie bakens leveren drie keer een verschil in aankomsttijden op, het verschil tussen baken 1 en baken 2, baken 1 en baken 3, en het verschil tussen baken 2 en baken 3. Voor een hogere nauwkeurigheid en om het rekenwerk wat te vereenvoudigen worden meerdere bakens toegevoegd.

Met het verschil tussen twee bakens kan een reeks posities berekend worden waarop het verschil in afstand gelijk is aan het gemeten verschil. De reeks posities vormen samen een hyperbool.

In 2D ziet het er uit als volgt:



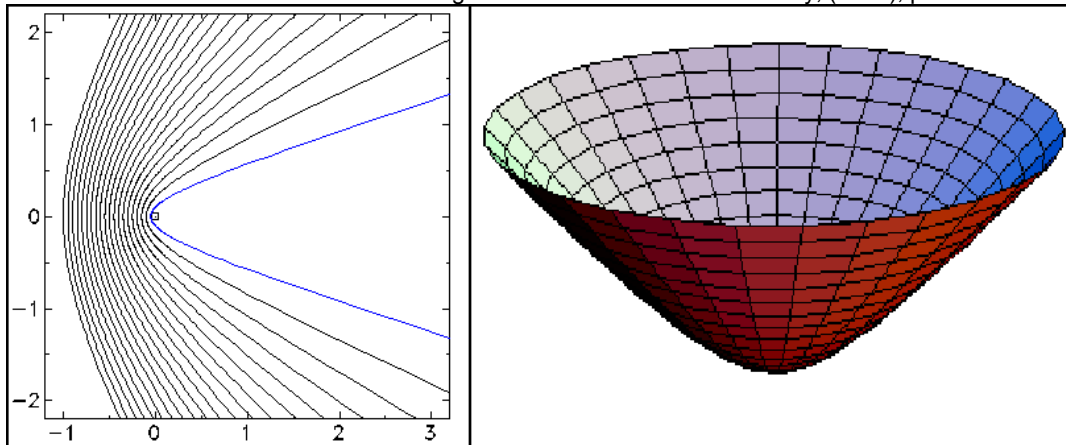
Figuur 5-3 - Hyperbool in 2D

De lengte van de zwarte lijn, lijn a (van A naar P) is uit te rekenen met de stelling van Pythagoras:

$a^2 + b^2 = c^2$, of $c = \sqrt{a^2 + b^2}$. In dit voorbeeld is het $\sqrt{150^2 + 50^2} = \sqrt{25000} \approx 158,11m$.

Op dezelfde manier kan berekend worden dat de lengte van de zwarte lijn, lijn b (van B naar P) gelijk is aan $\sqrt{(150 - 200)^2 + (0 - 50)^2} = \sqrt{5000} \approx 70,71m$. Het verschil in lengte tussen beide lijnen is dan 87,40 meter.

De formule om de coördinaten uit te rekenen waarop het verschil in lengte tussen a en b gelijk blijft voor dit voorbeeld wordt: $\sqrt{(x-0)^2 + (y-0)^2} - \sqrt{(x-200)^2 + (y-0)^2} = 87,4$. De twee nullen in de meest linker term zijn de coördinaten van punt A, de 200 en de 0 uit de term ernaast zijn de coördinaten van punt B. Nu kunnen andere punten P' berekend worden waarop het verschil in lengte van A naar P' en van B naar P' gelijk is aan 87,4. De groene, blauwe en rode lijnen zijn voorbeelden hiervan. Daarna kan er een lijn getrokken worden door alle punten P', in dit voorbeeld de grijze lijn. Op elk punt op deze lijn is het verschil in afstand van P' naar A en van P' naar B gelijk aan 87,40 meter. Deze lijn is een hyperbool. Het wiskundig bewijs hiervoor is te vinden in standaard wiskundige werken zoals Edward en Penny, (1982), p. 431.



Figuur 5-4 - Hyperbolen

In figuur 5-4 zijn meer voorbeelden te zien van hyperbolen. Voor een 3D positie moet gebruik gemaakt worden van de hyperbolen aan de rechterkant van figuur 5-4. Voor elk gemeten verschil in aankomsttijd tussen 2 bakens kan een zo'n hyperbool getekend worden. De verzameling gemeenschappelijke punten tussen twee hyperbolen vormen een lijn. Na toevoegen van een derde hyperbool blijft er een punt over die op alledrie de hyperbolen ligt. Op dat punt ligt de zender.

5.2 Afstand- of hoekbepaling

Voor zowel trilateratie als triangulatie is het nodig om de afstand te bepalen tussen de zender en een van de bakens. Hieronder worden enkele manieren beschreven waarop de afstand bepaald kan worden. Voor een overzicht zie Savvides (2001)

Received Signal Strength

Een van de manieren is Received Signal Strength (RSS). Elke zender zendt zijn signalen uit met een bepaalde intensiteit. Die neemt af naarmate de afstand groter wordt. Hoe kleiner de gemeten intensiteit, hoe groter de afstand tussen zender en ontvanger. De mate waarin de intensiteit afneemt is niet lineair, maar kwadratisch. Als de afstand verdubbeld wordt, is de intensiteit daar nog maar een kwart van wat deze was. Als de afstand twee keer verdubbeld wordt, is de intensiteit nog maar een kwart van een kwart of een-zestiende deel van wat deze was.

Nu zendt niet elke zender uit met dezelfde intensiteit, wat een kleine meetfout oplevert. Daarnaast wordt de intensiteit beïnvloed door de materialen waar het signaal doorheen moet.

Angle of Arrival (AOA)

De hoek waaronder een signaal van een zender wordt ontvangen geeft aan in welke richting de zender zit. Als dat van meerdere zender wordt gemeten kan met behulp van triangulatie de eigen positie ten opzichte van de zenders berekend worden. Uitgangspunt is dat de posities van de zenders bekend zijn. In het ideale geval ontstaan er geen afwijkingen bij meer dan het benodigde aantal zenders.

Time of Flight:

Een andere manier is Time of Flight (TOF). De snelheid van RF signalen is gelijk aan de snelheid van het licht, bijna 300 000 000 meter per seconde. Hierdoor is het, net als bij multilateratie, nodig om een zeer nauwkeurige klok te gebruiken.

Door het tijdstip van verzenden mee te sturen, kan aan de hand van het tijdstip van aankomst bepaald worden hoe lang het signaal erover heeft gedaan en daaruit kan de afstand berekend worden. Dit betekent dat de klokken in de verzender en de ontvanger met elkaar gesynchroniseerd moeten zijn.

Een andere mogelijkheid is de TOF berekenen door middel van de Round Trip Time (RTT). Een baken verzendt een signaal naar een transponder en houdt bij op welk tijdstip dat gebeurde. Daarna wacht het baken op het antwoord van de transponder. Wanneer dat binnenkomt, kan de RTT berekend worden. De RTT bestaat uit de tijd die het signaal nodig had om bij de transponder te komen, de tijd die de transponder nodig had om het signaal te verwerken en de tijd die het signaal nodig had om weer terug te komen bij het baken.

De tijd die de transponder nodig heeft om te antwoorden zal voor elke transponder gelijk zijn en wordt vooraf bepaald. Deze wordt van de RTT afgetrokken en dan blijft 2x de TOF over.

Een derde manier vereist dat bij de ontvanger bekend is hoe het verzonden signaal eruit hoort te zien. Zowel zender als ontvanger genereren het signaal en de zender verzendt het. De ontvanger vergelijkt zijn eigen signaal met het binnenkomende signaal, deze zullen niet gelijk lopen. Daarop vertraagt de ontvanger zijn eigen signaal, tot het overeenkomt met het ontvangen signaal. Wanneer dat het geval is, is de duur van de vertraging gelijk aan de TOF.

Vergelijkbaar is het gebruik van de Time of Arrival (TOA) waarbij tijdsverschillen worden gebruikt om de afstand tot tussen zender en ontvanger te berekenen. Ook gebruikt men de TDOA (Time Difference of Arrival) in sommige gevallen om verschillende golven te gebruiken bijv. radio en ultra sound om de afstand af te leiden.

5.3 Veel voorkomende problemen

De systemen op basis van RF hebben problemen, vooral als het gaat om indoor systemen. Deze hebben vooral te maken met omgevingsfactoren. In dit onderdeel worden deze problemen beschreven. Specifieke oplossingen hiervoor worden besproken wanneer systemen bedacht door universiteiten en bedrijven worden beschreven. Meer algemene oplossingen worden wel besproken.

Multipath:

RF signalen kunnen weerkaatsen van oppervlakken. Dat kunnen stenen of stalen muren of vloeren zijn, maar ook water. De gereflecteerde signalen kunnen ook een weg vinden naar de ontvanger. Als dat gebeurt, is het erg moeilijk te onderscheiden wat het originele signaal was. Zo kan het gebeuren dat de daadwerkelijke positie een aantal meters verder of juist dichterbij ligt dan de gemeten positie. Een andere consequentie van multipath kan zijn dat het gereflecteerde signaal kan interfereren met het originele signaal. In dat geval blijft er over het algemeen niet veel meer over van het originele signaal, waardoor de meting wegvalt. Dit probleem kan zich blijven voordoen, waardoor een brandweerman niet meer gevolgd kan worden.

Attenuation:

Of afzwakken van het RF signaal. Zoals bij RSS beschreven staat, neemt de intensiteit van RF signalen af als de afstand tot de zender groter wordt. Daarnaast beïnvloeden materialen de intensiteit van het signaal. Stone (1997) <uit een secundaire bron> heeft deze invloeden onderzocht voor verschillende materialen bij een frequentie van 1500MHz. Na een gipsmuur blijft er ongeveer 80% over van de intensiteit. Bij multiplex en glas blijft ongeveer de helft over. Dat betekent voor RSS dat de gemeten afstand bijna 1,5 keer zo groot is als de werkelijke afstand.

De invloed van hout kan variëren van 60% tot 10% van de intensiteit en daarmee een afwijking van 1,5 keer tot 8 keer bij de gemeten afstand bij RSS.

Bij stenen en beton is het erg afhankelijk van de gebruikte grondstoffen. In het meest gunstige geval blijft er 30% over van de intensiteit van het signaal, over het algemeen blijft er 0,1% over en in het ergste geval 0.005%.

Om deze signalen waar te nemen is zeer gevoelige apparatuur nodig en dan nog is het de vraag of het signaal valt te onderscheiden van ruis. Met minder gevoelige en dus goedkopere apparatuur is het niet mogelijk zulke zwakke signalen te meten. Dat is de reden waarom GPS binnenshuis niet werkt.

Doppler Shift

Bij bewegende zender of ontvanger kan er door verplaatsing een verschuiving van de energie in het frequency spectrum optreden. Hierdoor kan de ontvangst verstoord worden evenals de signaalsterkte op een bepaalde frequentie.

5.3.1 Consequenties van de problemen

De omgevingseffecten spelen een grote rol. Zo zal bij het plaatsen van zenders en ontvangers rekening gehouden moeten worden met reflecties, de demping door de structuur van een gebouw, de gebruikte materialen en de mogelijkheid de effecten ervan te reduceren. De demping van de signalen heeft onder andere te maken met de frequentie van het signaal. De keus van de te gebruiken frequentieband speelt een grote rol. Door snelheden van bewegende personen of objecten met een zender/ontvanger te beperken zullen de effecten van het Doppler effect verwaarloosbaar zijn. In de volgende paragraaf zijn hier deels voorbeelden van opgenomen.

5.4 Technologieën met minder problemen

Er zijn enkele technologieën die gebruik maken van straling en minder last hebben van de hiervoor genoemde problemen.

DASH7:

Gebaseerd op de ISO/IEC 18000-7 standaard, DASH7 tags zijn actieve RFID-tags die op een frequentie van 433 MHz werken. Deze band is over de hele wereld vrijgegeven. Met deze lagere frequentie is het makkelijker om door muren heen te komen. DASH7 tags kunnen met elkaar communiceren, er kunnen sensoren aan aangesloten worden en multihop ondersteuning is standaard. De tags zijn zo in elkaar gezet dat dataoverdracht zo min mogelijk plaatsvindt en datapakketten zijn gelimiteerd qua grootte. Dat zorgt voor een batterijduur van meerdere jaren. Uitgebreidere informatie is te vinden op www.dash7.org

RuBee:

Gebaseerd op de IEEE 1902.1 standaard, RuBee tags werken in het magnetische veld in plaats van het elektromagnetische veld waarin RF signalen werken. Het heeft daarom geen last van interferentie en het bereik wordt niet verminderd door muren, water, staal of andere materialen. Er wordt elektromagnetische straling gecreëerd, bestaande uit een elektrisch veld en een magnetisch veld. Het verschil tussen beiden is afhankelijk van de weerstand van de lucht waar de velden zich voortplanten. Normaal is deze weerstand 377Ω , bij RuBee tags is het kleiner dan 1Ω . Daarmee is het elektrische veld dat ontstaat ook 377 keer kleiner dan normaal. Meer informatie op www.rubee.com.

UltraWideBand:

Een UltraWideBand (UWB) signaal valt in een bandbreedte die minstens 500 MHz breed is. De uitgezonden signaal bandbreedte omvat minsten 20% van de frequentiebreedte waarop het gecentreerd is. Het heeft een hoge resolutie, dat wil zeggen dat een signaal in vele, smalle signalen gescheiden waargenomen kan worden. Omdat elke frequentie net even anders beïnvloed wordt door tussenliggende materialen, kan de afstand bepaald worden van een zender naar een ontvanger. Hoe breder het signaal, hoe hoger de resolutie en daarmee hoe hoger de nauwkeurigheid. UWB transmissions verzendt data door radio energie te genereren op specifieke tijdstippen en gebruikt een grote bandbreedte om puls-posities of tijdmodulatie mogelijk te maken. UWB lokalisatie kan een object vrij nauwkeurig lokaliseren met een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Daar staat evenwel tegenover dat de operationele afstand sterk kan variëren per installatie

Voor een uitgebreid overzicht van de UWB-technologie zie Siwiak (2001) en Gezici (2005). Een citaat uit deze laatste bron: *"Although the fundamental mechanisms for localization, including AOA-, TOA-, TDOA-, and SS-based methods, apply to all radio air interface, some positioning techniques are favored by UWB-based systems using ultrawide bandwidths. Due to the high time resolution of UWB signals, time-based location estimation schemes usually provide better accuracy than the others."*

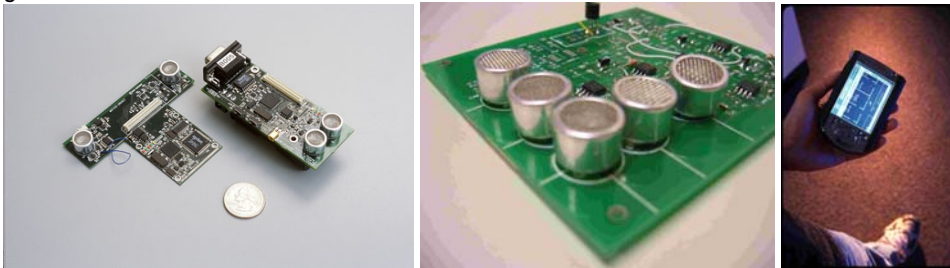
5.5 Voorgeïnstalleerde systemen

Nu de algemene karakteristieken van radiogebaseerde systemen verkend zijn, is het interessant te zien welke systemen (althans prototypen ervan) ontwikkeld en onderzocht zijn. Bij deze systemen worden base-stations en/of bakens opgehangen, waarvan wordt vastgelegd wat hun absolute positie is. Door middel van triangulatie, maar vooral trilateratie wordt berekend wat de positie van een persoon is waarbij de persoon een device bij zich draagt dat signalen uit de infrastructuur kan ontvangen en metingen en berekeningen kan uitvoeren. Bestaande WLAN installaties gebruiken is een vrij populaire methode, waarbij vaak gebruik wordt gemaakt van RSS. Hierbij moet van tevoren in kaart worden gebracht wat de signaalsterkte is op elk punt. De bruikbaarheid van WLAN voor de brandweer valt te bezien. In goed geprepareerde omgevingen wordt WiFi soms gebruikt voor lokalisatie van robots. Men gaat in de regel uit van plattegronden waarop de signaalsterkte van de access point in kaart is gebracht (zie Moster et al (2006)). Daarin schuilt het probleem als dit wordt gebruikt bij een calamiteit. De kaart is bij een calamiteit als een brand in de regel niet meer betrouwbaar. Bovendien is de kans groot dat het WiFi netwerk bij een brand geheel of gedeeltelijk uitvalt.

5.5.1 Onderzoek op dit gebied

Cricket Location Support System:

Het Cricket Location Support System is ontwikkeld door het Massachusetts Institute of Technology (<http://cricket.csail.mit.edu/>). Het is een systeem waarbij RF-signalen en ultrasoon met elkaar gecombineerd worden.



Figuur 5-5 - Gebruikte hardware voor het Cricket Location Support System

In een gebouw worden aan plafonds en muren bakens opgehangen. Deze zenden tegelijkertijd een RF-sigitaal en een ultrasoon sigitaal uit. Het RF-sigitaal bevat informatie over het baken. Een uniek ID-nummer, gegevens over de ruimte waarin het geïnstalleerd is en de coördinaten van het baken zijn voorbeelden van de informatie die via het RF-sigitaal verzonden kunnen worden.

Omdat deze signalen een verschillende snelheid van voortplanten hebben, komen ze aan op verschillende momenten. Aan de hand van het verschil in aankomsttijd kan berekend worden wat de afstand is tot een baken. Daarna kan door middel van trilateratie de positie berekend worden. Ultrasone signalen worden vooral beïnvloed door temperatuur. Om hiervoor te kunnen corrigeren heeft elk baken een temperatuursensor om de snelheid van het geluid uit te rekenen. Bij kamertemperatuur (25 graden Celsius) is deze snelheid ongeveer 344 meter per seconde.

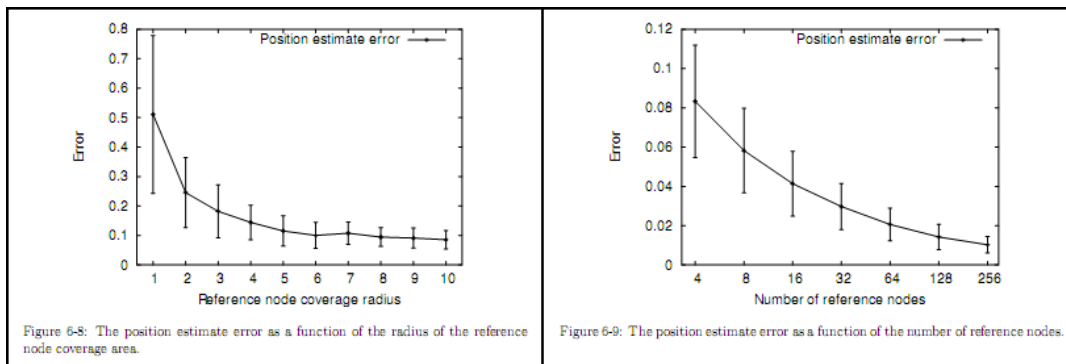
Het systeem moet zorgvuldig aangelegd worden in een gebouw, anders gaan de prestaties zienderogen achteruit. De bakens moeten goed gericht worden, zodat de ultrasone signalen terecht komen waar ze moeten komen. Vanuit het baken komt een 'kegel' met het ultrasone sigitaal, binnen deze kegel is de intensiteit goed meetbaar, daarbuiten blijft er niets meer over van de intensiteit. Daarnaast kunnen ultrasone signalen, het zijn geluidsgolven, een hoek om. Dit zorgt voor problemen als de bakens onzorgvuldig zijn opgehangen.

De laatste stap die ze gezet hebben is dat de posities van de bakens niet van tevoren bekend hoeft te zijn. Met behulp van de afstandsmetingen die ontvanger uitvoert wordt een graaf opgebouwd en verfijnd. Aan de hand van deze graaf kunnen zowel de posities van de bakens, als van de ontvangers bepaald worden ten opzichte van elkaar.

Hiermee kan het Cricket Location Support System ook ingezet worden als Wireless Sensor Network.

Resultaten

Hieronder staan de resultaten van een simulatie uit Priyantha (2005).



Figuur 5-6 - Figuur 6-8 en 6-9 uit Priyantha (2005)

De linkerfiguur laat zien dat zowel de meetfout als de variantie van die meetfout afneemt als het gebied dat een baken kan dekken groter wordt. Vanaf een straal van ongeveer 6 meter is de gemiddelde afwijking ongeveer 10 centimeter.

De rechterfiguur laat zien dat de nauwkeurigheid verbetert als de ontvanger informatie krijgt van meer bakens.

5.6 Ad Hoc geplaatste systemen

Door middel van radio signalen, ultrasound of infrarood kan bepaald worden waar iemand zich bevindt. Deze aanpak lijkt daarin veel op de voorgeïnstalleerde systemen, ook de drie genoemde methodes om de positie van een persoon te bepalen worden hierbij gebruikt. Het verschil zit erin dat bij deze vorm de infrastructuur op de locatie van de calamiteit wordt opgebouwd. Kalibratie is minimaal en vooraf hoeft er niets in kaart gebracht te worden.

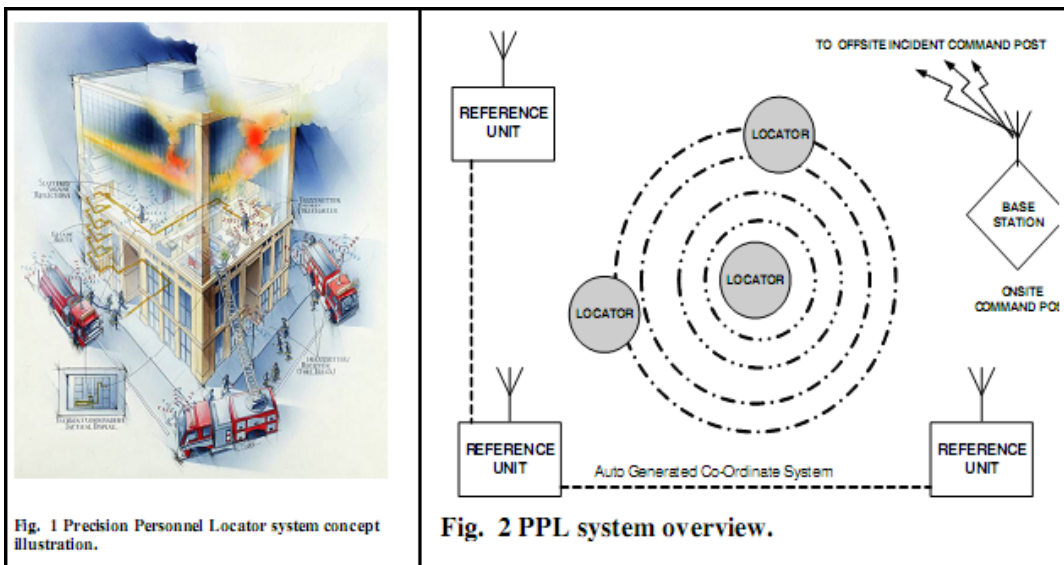
5.6.1 Onderzoek op dit gebied

5.6.1.1 Precision Personnel Locator:

Bij het Worcester Polytechnic Institute (WPI, <http://www.wpi.edu/academics/ece/ppl/>) is men al ruim een decennium bezig met de ontwikkeling van de Precision Personnel Locator (PPL).

Op de brandweerauto's worden reference units geïnstalleerd, deze staan met elkaar in verbinding en vormen de bakens van het systeem. Op deze manier kan een lokaal coördinaten stelsel opgebouwd worden, wat indien nodig omgezet kan worden naar 'echte' coördinaten.

De commandant heeft een base station bij zich. Daarop wordt alle informatie verzameld en weergegeven.



Figuur 5-7 - Figuur 1 en 2 uit Duckworth et al. (2007)

In figuur 5-7 wordt dit weergegeven. De linkerfiguur is een illustratie van een mogelijke situatie waarbij de PPL gebruikt wordt. De rechterfiguur is een schematische weergave hiervan. De brandweerauto's zijn weergegeven als reference units. Ook is er te zien dat elke brandweerman een locator, of UWB zender bij zich krijgt. Op een vooraf bepaald interval zendt deze signalen uit welke opgevangen worden door de reference units op de brandweerauto's. Door middel van Time Difference of Arrival wordt de positie bepaald van de brandweerman. De gebruikte bandbreedte is 150 MHz en het signaal zit rond de 625 MHz band, zie Cyganski et al. (2007).

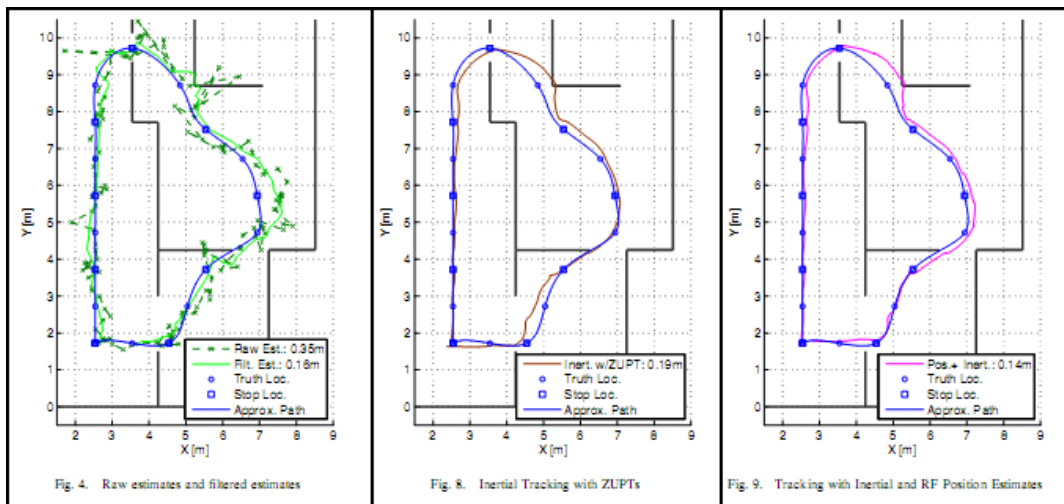
Bij een latere versie van het systeem is een PDR-module toegevoegd. Deze verhoogt de nauwkeurigheid tussen meetpunten en zorgt ervoor dat de positie bepaald kan worden als het contact wegvalt met een of meerdere reference units.

De focus van het onderzoek ligt nu op het zo snel mogelijk kunnen aanleggen van de infrastructuur, zowel het plaatsen van antennes als het kalibreren van het systeem, zodat een brandweerman daar zo min mogelijk tijd mee verliest.

Resultaten

Deze resultaten zijn vrijgegeven in Amendolare et al. (2008), waarin beschreven wordt hoe ze het bestaande systeem hebben uitgerust met een PDR-module. Figuur 5-8 hieronder geeft enkele metingen weer.

In elke figuur is een blauwe lijn te zien. Dit is de lijn die afgelegd is, daarin zijn ronde en vierkante markeringen in aangegeven. Van deze markeringen zijn de coördinaten vooraf bepaald. Op de posities van de vierkante markeringen stond de locator een periode lang stil. Op de posities van de ronde markeringen is de locator zeker langs geweest. De blauwe lijnstukken tussen de markeringen is het meest waarschijnlijke pad dat afgelegd is met de locator. In de meest linkerfiguur is te zien hoe het systeem presteert zonder extra toevoeging. De donker groene strepen en sterren zijn ongefilterde meetpunten en hebben een afwijking van ongeveer 35 centimeter ten opzichte van de blauwe lijn. De lichtgroene lijn zijn dezelfde meetpunten maar dan nadat ze gefilterd zijn met een Kalman filter. Daardoor wordt de prestatie van het systeem verbeterd en verkleint de afwijking naar 16 centimeter.



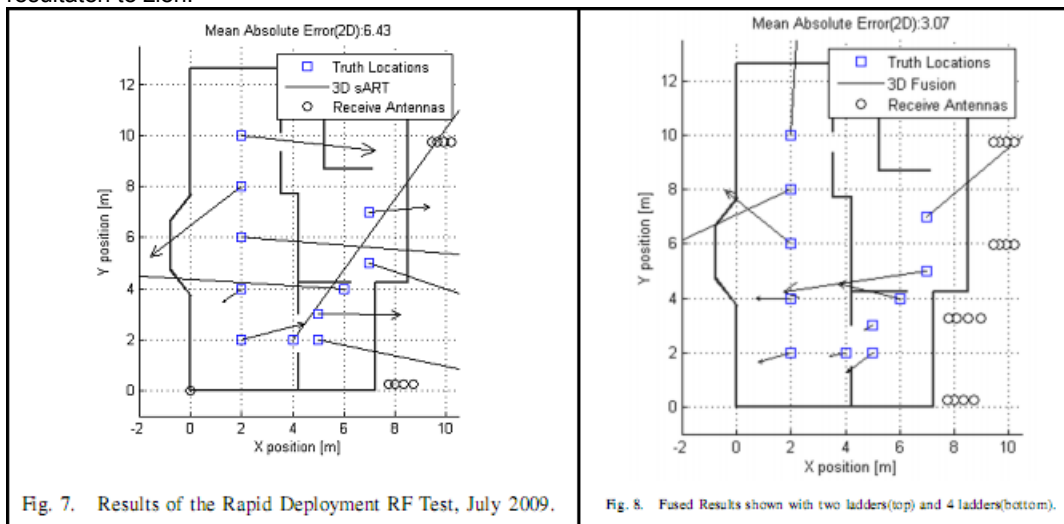
Figuur 5-8 - Figuur 4, 8 en 9 uit Amendolare et al. (2008)

In de middelste figuur is te zien hoe de PDR-module presteert (de werking van Dead Reckoning wordt uitgelegd bij 'Systemen op basis van inertie'). De bruine lijn is het pad dat de module gemeten heeft en de afwijking ten opzichte van de blauwe lijn is 19 centimeter.

In de rechterfiguur is het resultaat te zien van de samenvoeging van beide systemen. De combinatie van beide systemen levert op wat de bedoeling was, een verbeterde nauwkeurigheid ten opzichte van het bestaande systeem en minder afhankelijkheid van de omstandigheden waarin gewerkt wordt. Als RF signalen door multipath of attenuation niet bij de bakens komen, is het nog steeds mogelijk de positie te bepalen. De afwijking na het samenvoegen is nog 14 centimeter, beter dan het RF systeem of de PDR-module alleen.

Hier moet wel bij opgemerkt worden dat het systeem voor de meting goed gekalibreerd werd en dat er een grote hoeveelheid aan bakens werd gebruikt buiten het gebouw.

Bij het snel opbouwen van de infrastructuur vindt er geen kalibratie plaats en worden er ook minder bakens gebruikt. Dat zorgt voor een minder nauwkeurig resultaat. In figuur 5-9 zijn hiervan de resultaten te zien.



Figuur 5-9 - Figuur 7 en 8 (top) uit Cavanaugh, Lowe, Cyganski en Duckworth (2010)

In beide figuren zijn blauwe vierkanten te zien. Net als bij de vorige figuur zijn dit posities waarvan de coördinaten vooraf bepaald zijn. De zwarte pijlen geven aan welke locator gemeten werd op welke positie en daarmee de afwijking van de werkelijke positie.

De linkerfiguur geeft het resultaat weer van een meting waarbij alleen gebruik werd gemaakt van het door de WPI ontwikkelde algoritme. Daarmee wordt bepaald wat de meest waarschijnlijke positie is van de locator. De test werd uitgevoerd door twee ladders met antennes tegen de gevel te zetten en te meten. De gemiddelde afwijking was hierbij 6.43 meter.

De rechterfiguur geeft het resultaat weer van een meting waarbij niet alleen gebruik gemaakt wordt van het algoritme, maar ook van metingen over de temperatuur, de druk en de Time of Arrival bij de antennes. Hiermee wordt de gemiddelde afwijking teruggedrongen naar 3.07 meter.

5.6.1.2 LocataLite:

Daarnaast is ook LocataCorp al meerdere jaren bezig met onderzoek en ontwikkeling van een positioneringssysteem (<http://www.locatacorp.com/meetALocataLite.html>).



Figuur 5-10 - Gebruikte hardware voor LocataLite

Het systeem LocataLite lijkt op dat van WPI. Een brandweerman legt bakens, LocataLites genaamd, neer op strategische plekken. Deze bakens kunnen ook gemonteerd worden op een brandweerauto. Elk baken heeft een interne klok, waarmee de tijd gemeten kan worden in nanoseconden.

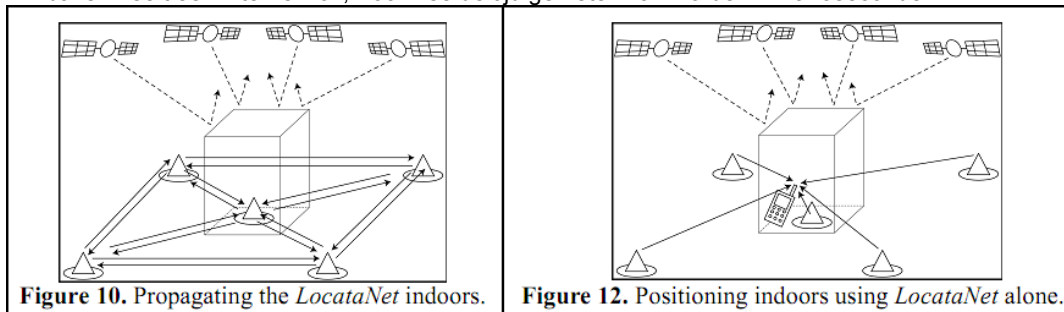


Figure 10. Propagating the LocataNet indoors.

Figure 12. Positioning indoors using LocataNet alone.

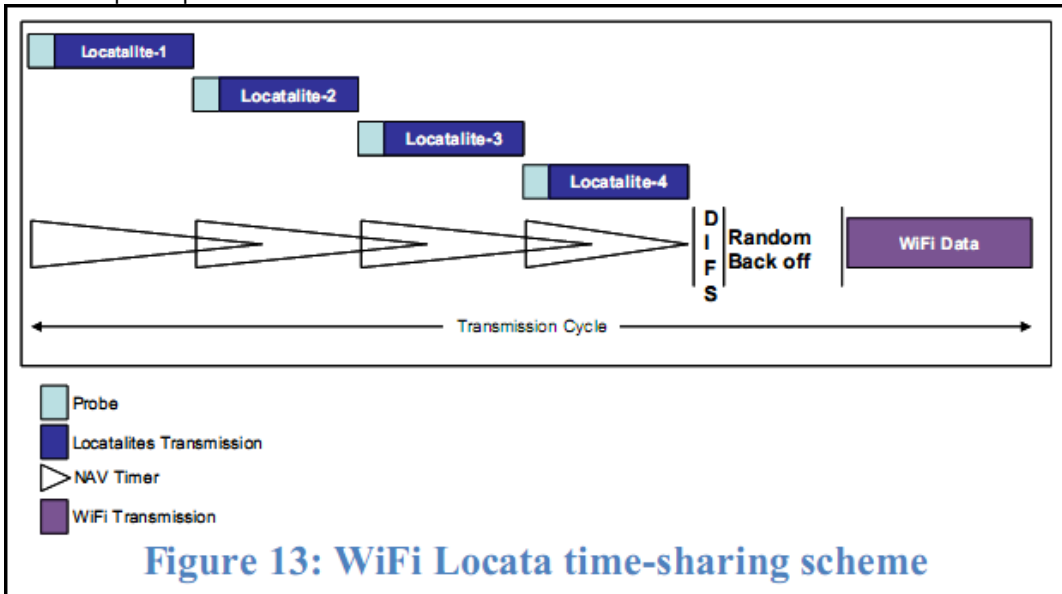
Figuur 5-11 - Figuur 10 en 12 uit Barnes et al. (2003)

Brandweermannen krijgen een ontvanger mee waarmee hun positie bepaald kan worden.

In de verdere werking verschilt Locata wel van de PPL. Het gehanteerde systeem lijkt op dat van GPS. De bakens vormen samen een netwerk. Wanneer dat gevormd is, zijn de interne klokken van de LocataLites met elkaar gesynchroniseerd. In de linkerfiguur van figuur 5-11 is het eindresultaat hiervan te zien. De vijf pionnen vormen samen een LocataNet. Met GPS wordt de positie van het eerste baken berekend. De posities van de andere bakens worden berekend met de beschikbare signalen van GPS en andere LocataLites, of alleen het signaal van LocataLites als GPS niet beschikbaar is. Vervolgens zenden de bakens signalen uit en wordt door middel van Time of Flight de afstand van een ontvanger naar de bakens berekend. Daarna kan de positie met behulp van trilateratie berekend worden, zie Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010).

Locata werkt met een bandbreedte van ongeveer 80MHz rond de 2.4GHz band. Dit is dezelfde band waarin Wi-Fi ook werkt, wat enige interferentie problemen kan opleveren. De gebruikte oplossing is

om de LocataLites in volgorde hun gegevens te laten verzenden en voordat ze daadwerkelijk sturen, eerst een 'probe-pakket' te versturen.



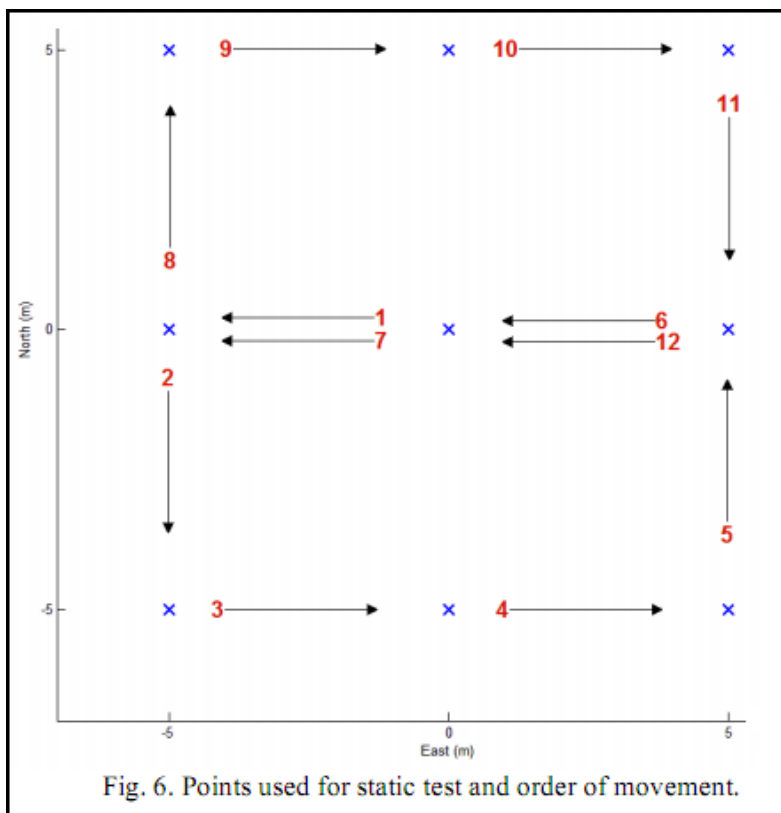
Figuur 5-12 - Figuur 13 uit Politi et al. (2009)

Voordat WiFi apparaten gegevens verzenden, testen ze eerst of het kanaal vrij is. Hiertoe wordt het 'duration' veld van de huidige zending uitgelezen, daarna wordt een wekker, de Network Allocation Vector (NAV), gezet. Als die afloopt en er is in de tussentijd geen zending geweest waarvoor de NAV timer opnieuw gezet moet worden, dan kan het WiFi apparaat zijn gegevens verzenden. In figuur 5-12 is te zien hoe dit het interferentie probleem voor Locata oplost. De eerste LocataLite verzendt zijn probe-pakket, WiFi apparaten in de omgeving lezen het duration veld uit en zetten hun NAV timer. Daarna kan veilig, zonder tussenkomst van andere apparaten, het Locata signaal verzonden worden. Het verzenden hiervan duurt echter minder lang dan opgegeven in het duration veld en vlak voor de NAV timers aflopen, verstuurt de tweede LocataLite zijn probe pakket, waardoor de timers opnieuw gezet worden. Daarna kan wederom veilig, zonder tussenkomst van andere apparaten, het Locata signaal verzonden worden. Zo gaat dat door tot alle bakens klaar zijn met zenden. Pas dan kunnen andere apparaten hun gegevens verzenden. In Politi et al. (2009) is hierover meer te vinden.

Om multipath tegen te gaan, hebben ze hun eigen signaalstructuur, Politi et al. (2009) en TimeTenna antenne, Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010), ontwikkeld.

Resultaten

Deze resultaten zijn afkomstig uit Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010).



Figuur 5-13 - Figuur 6 uit Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010)

Figuur 5-13 is een overzicht van de afgelegde route en in welke volgorde dat is gedaan. Er is begonnen in het centrum en is daarna naar links gegaan om vervolgens naar beneden te gaan. Van alle x-en op de afbeelding is de positie bekend. Twee verschillende configuraties van het Locata systeem zijn gemonteerd op een kar, net als een Robotic Total Station (RTS). Een RTS, totaal station of tachymeter in het Nederlands, is een erg nauwkeurig meetsysteem waarmee bijvoorbeeld bouwterreinen in kaart worden gebracht.

Een van de gemonteerde configuraties van het Locata systeem vereist dat ontvangers geïnitieerd worden op een bekende startpositie.

Het andere systeem past een Kalman filter toe, wat ervoor zorgt dat initialisatie niet nodig is. In het begin zullen de werkelijke positie en de gemeten positie van elkaar afwijken, maar de gemeten positie zal naar de werkelijke positie toe kruipen naarmate er meer metingen verricht zijn. Deze methode komt een snelle inzet ten goede.

Table 1: The Mean East and North Positions and Standard Deviation for Static Points (Traditional Navigation Implementation and EKF Implementation)

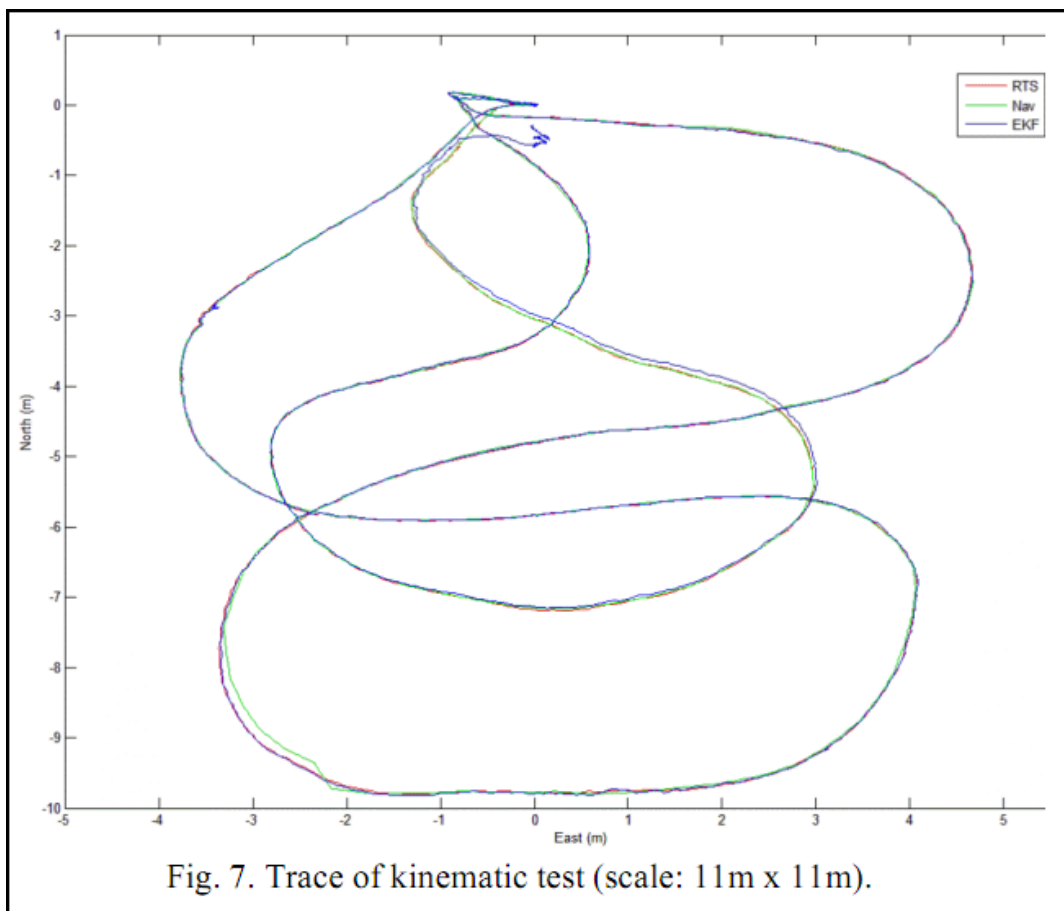
Point Index	Coords	RTS Mean E (m)	RTS Mean N (m)	RTS STD E (mm)	RTS STD N (mm)	Nav Mean E (m)	Nav Mean N (m)	Nav STD E (mm)	Nav STD N (mm)	EKF Mean E (m)	EKF Mean N (m)	EKF STD E (mm)	EKF STD N (mm)
1	(0, 0)	-0.002	0.014	0.5	0.6	-0.005	0.008	2.6	1.6	-0.544	-0.314	9.1	5.8
2	(-5, 0)	-5.015	-0.018	0.1	0.6	-5.034	-0.022	7.1	2.7	-5.301	0.012	19.6	3.0
3	(-5, -5)	-5.008	-4.995	2.0	0.8	-5.013	-5.006	3.7	3.6	-5.011	-4.989	6.5	4.2
4	(0, -5)	-0.015	-5.006	0.3	0.7	-0.020	-5.001	3.0	2.3	-0.020	-4.995	3.8	2.8
5	(+5, -5)	5.005	-5.000	0.3	0.7	5.005	-4.997	4.0	4.1	5.003	-5.006	4.7	4.8
6	(+5, 0)	4.992	0.007	0.5	0.8	4.989	0.002	5.4	3.6	4.970	-0.002	6.5	3.7
7	(0, 0)	0.001	0.011	0.5	0.6	-0.005	0.004	2.6	1.7	-0.021	0.002	3.2	2.2
8	(-5, 0)	-5.012	-0.019	0.2	0.5	-5.012	-0.019	3.1	3.4	-5.029	-0.017	4.1	4.2
9	(-5, +5)	-5.025	5.011	0.2	0.6	-5.067	5.008	4.1	2.0	-5.025	5.010	4.1	3.5
10	(0, +5)	-0.008	5.005	0.3	0.5	-0.013	4.988	4.0	2.2	-0.008	5.000	5.0	2.8
11	(+5, +5)	4.977	5.000	0.5	0.5	4.967	4.993	3.9	3.5	4.956	5.001	4.8	4.3
12	(+5, 0)	4.992	0.009	1.5	0.6	4.987	0.002	5.7	3.2	4.969	0.004	5.9	3.8
13	(0, 0)	0.002	0.003	0.5	0.6	-0.003	-0.004	2.5	1.9	-0.013	-0.002	3.0	2.2

Figuur 5-14 - Tabel 1 uit Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010)

Figuur 5-14 geeft de resultaten van de test weer. Onder Coords staan de coördinaten zoals de punten op de route staan. De rode kolommen zijn de resultaten van het Robotic Total Station. De eerste twee rode kolommen geven de posities aan zoals de RTS ze gemeten heeft. Te zien is dat de afwijking van het station zo klein is dat ze inderdaad geschikt zijn als referentiemeting.

De groene kolommen zijn meetwaarden van de Locata configuratie die geïnitieerd moet worden. De afwijking van het systeem is maximaal 4 centimeter en een groot deel van de meetwaarden ligt binnen 1 centimeter van de werkelijke waarde.

De blauwe kolommen zijn meetwaarden van de Locata configuratie waarbij het Kalman filter is toegepast. De eerste meetwaarden hebben een afwijking van een halve meter, maar vanaf het derde meetpunt is de afwijking afgenomen tot ongeveer 1 centimeter. Over het geheel is de afwijking wat groter dan bij de andere configuratie, maar dat er geen tijd nodig is voor initialisatie heeft een grotere meerwaarde dan een centimeter nauwkeurigheid.



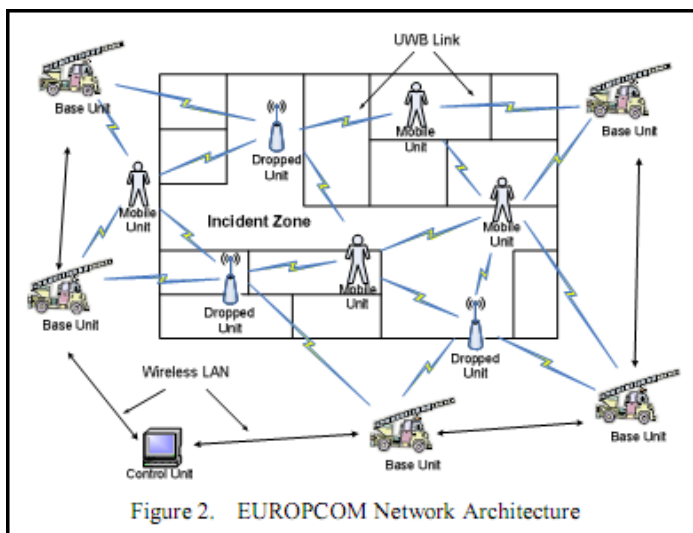
Figuur 5-15 - Figuur 7 uit Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010)

In figuur 5-15 zijn resultaten te zien van een meting waarbij de positie wederom werd bijgehouden door alledrie de systemen, RTS, Locata met initialisatie en Locata met Kalman filter. De gelopen route is een willekeurige route. Als referentie zijn de metingen van het RTS gebruikt. Uit de resultaten van de vorige test is gebleken dat het RTS kan dienen als referentie. De kleuren zijn weer hetzelfde, rood voor RTS, groen voor Locata met initialisatie en blauw voor Locata met Kalman filter. Net als bij de voorgaande test, volgen beide Locata configuraties de kar met grote nauwkeurigheid. Ook hier is de afwijking van de Kalman configuratie bij aanvang ongeveer een halve meter, maar al vrij snel is de afwijking gereduceerd tot enkele centimeters.

5.6.1.3 Thales Research and Technology

Ook Thales is bezig met het ontwikkelen van een lokalisatiesysteem. De werking van een van deze systemen lijkt ook veel op die van WPI, evenals de gebruikte technologie, namelijk UWB. Een ander systeem wordt besproken in het volgende hoofdstuk. Daarin is sprake van een combinatie van UWB en inertial navigation.

Lo, et al. (2008) geeft een beschrijving van de manier waarop het UWB gebaseerde systeem in elkaar zit.



Figuur 5-16 - Figuur 2 uit Lo, et al. (2008)

De brandweerauto's worden voorzien van base units of bakens en staan met elkaar in contact, zodat er een lokaal coördinaten stelsel opgebouwd kan worden. Elk van de base units heeft GPS, waardoor het mogelijk is het lokale stelsel om te zetten naar het 'echte' stelsel. De commandant heeft de beschikking over een control unit. Die kan vrij rond bewegen en daarop wordt alle informatie verzameld en weergegeven.

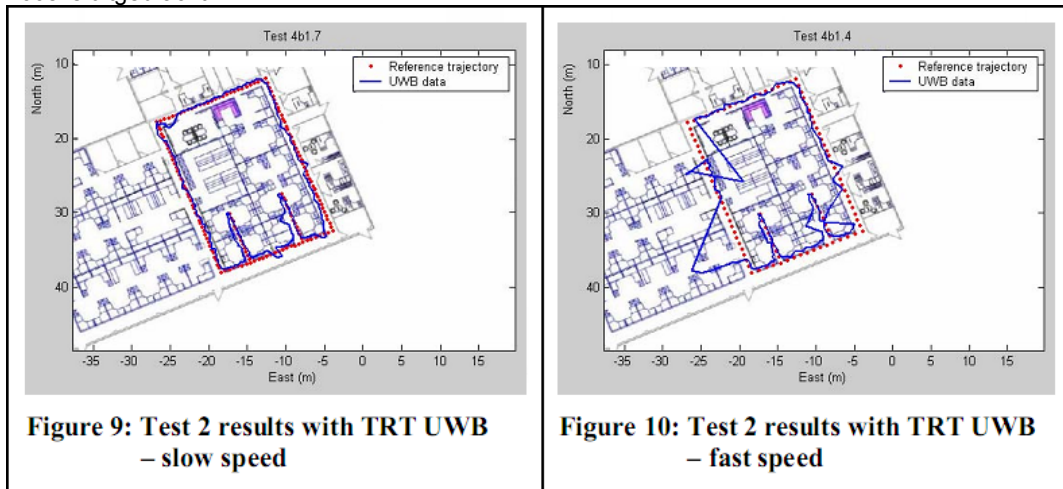
Een brandweerman heeft een mobile unit en een of meerdere dropped units bij zich. Van deze units wordt de positie bepaald. Omdat er gebruik wordt gemaakt van UWB, wordt volgens Challamel, Tomé, Harmer en Beauregard (2008) een zeer nauwkeurige time of flight verkregen. Dat betekent dat de positiebepaling wordt gedaan met trilateratie.

Een dropped unit lijkt qua werking veel op een mobile unit, het verschil is dat een dropped unit ook kan functioneren als repeater. Op die manier kan een brandweerman tot diep in een gebouw gevolgd worden.

Er wordt niet gespecificeerd rond welke band het systeem werkt, wel dat de gebruikte bandbreedte 1.25GHz breed is.

Resultaten

De enige resultaten die Thales heeft vrijgegeven komen uit Challamel, Tomé, Harmer en Beauregard (2008). De resultaten zijn van versie 1 van het UWB systeem, terwijl versie 2 in het derde kwartaal van 2008 is uitgebracht.



Figuur 5-17 - Figuur 9 en 10 uit Challamel, Tomé, Harmer en Beauregard (2008)

In figuur 5-17 zijn de meetresultaten te zien. De figuren zijn verkleind ten opzichte van die in het rapport, verder is er niets veranderd. De rode stippellijn in beide figuren is het pad dat gelopen is en is net wat langer dan 100 meter. De blauwe lijn is het pad dat gemeten is door het systeem.

In de linkerfiguur, waarbij de proefpersoon langzaam liep, is te zien dat het systeem goed het pad kan volgen. Er zijn enkele afwijkingen van het pad, maar geen van allen erg groot. De gemiddelde fout na vijf keer de route te hebben gelopen is bijna 3 meter. Langzaam is gedefinieerd als 0,5 meter per seconde.

In de rechterfiguur, waarbij snel gelopen wordt, is te zien dat het systeem het pad nog steeds goed kan volgen, hoewel de maximale afwijking een stuk groter is. De gemiddelde fout na vier keer de route te hebben gelopen is ruim 3,5 meter. De gemiddelde maximale afwijking is bijna 4 meter, maar zoals te zien is in de rechterfiguur zijn afwijkingen van ongeveer 8 meter mogelijk. Dat maakt het systeem op hogere snelheden minder betrouwbaar. Fast speed is 1 meter per seconde.

Meer resultaten dan deze zijn niet vrijgegeven.

5.7 Wireless Sensor Networks

Door middel van het achterlaten van nodes op de grond, de muur, of andere plaatsen, wordt een netwerk opgebouwd. Er moet voor gezorgd worden dat elke node met meerdere andere nodes kan communiceren om te bepalen waar ze liggen of hangen ten opzichte van elkaar. Bij uitvallen van een node moet het nog steeds mogelijk zijn om communicatie van buiten naar binnen vol te blijven houden.

Er moeten een paar 'anchor-nodes' geplaatst worden. Hiervan is bekend waar ze liggen in de wereld en ten opzichte van het gebouw dat bekeken moet worden, zodat van de rest van de nodes ook de absolute positie bepaald kan worden.

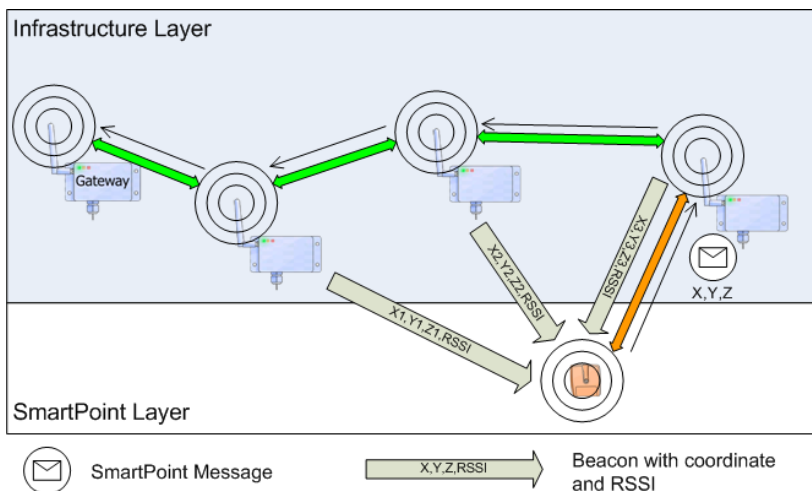
Enige voorkennis over de omgeving is niet vereist, dit systeem werkt overal.

De nodes zouden ook voorzien kunnen worden van sensoren, zodat temperatuur, gassen en trillingen gemeten en bijgehouden kunnen worden. Daarnaast kunnen ze dienst doen als back-up communicatie mochten de andere systemen uitvallen.

Mogelijk probleem is dat de nodes gemakkelijk over het hoofd gezien kunnen worden en daardoor per ongeluk weggetrapt worden van hun originele positie.

5.7.1 Ambient Systems

In Bijl en Dil (2010) worden lokalisatiemogelijkheden besproken met behulp van nodes in het sensornetwerk (3000 Series) van het bedrijf Ambient Systems. Daarbij wordt uitgegaan van een vooraf aangelegde sensornetwerkinfrastructuur waar nodes mee communiceren. Op basis van Received Signal Strength kunnen nodes zelf hun relatieve positie bepalen ten opzicht van componenten met een bekende positie in de infrastructuur. Voorwaarde is dat de nodes binnen de convex hull liggen van de infrastructuurcomponenten. Dat wil zeggen: de nodes worden ingesloten door de componenten.



Figuur 5-18 - Figuur 3 uit Bijl en Dil (2010)

Bij deze methode gaat men uit van een maximale berekende fout in de afstand tot een infrastructuurcomponent van 25%. De afwijking hangt af van de hoeveelheid infrastructuurcomponenten die binnen het bereik van de node liggen, de topologie van het netwerk en de omgevingsfactoren (zoals reflectie, absorptie etc). Men gaat ruwweg uit van een nauwkeurigheid van ca. 10 meter.

5.8 Proximity sensing met RFID

Door middel van strategisch geplaatste sensoren of bakens, kan een grove positie van iemand bepaald worden. Bijvoorbeeld door het ophangen van RFID tags. Hoe groter het bereik van de tags, hoe minder er geplaatst hoeven te worden, maar ook hoe groter de afwijking van de daadwerkelijke positie. Hierbij moet ook van tevoren bekend zijn waar de tags hangen of liggen. De tags zouden ook gebruikt kunnen worden als ad-hoc markers van doorgangen, deuren, ingestorte gangen, burgers die gered moeten worden etc.

5.9 Zijn de problemen opgelost?

De in paragraaf 5.3.1 genoemde problemen zijn redelijk op te lossen. Zelfs is een redelijke nauwkeurigheid te bereiken. Voor gebruik bij calamiteiten blijven twee andere niet technisch probleem een hinderlijke rol spelen. Eerst een beknopt overzicht.

	Type	Frequentie	Installatie vooraf of ad-hoc	Positief	Negatief
DASH7	RFID	433 Mhz	vooraf		
Rubee	Electro-magnetisch	131 Khz			Geen toepassing bekend voor positionering Bereik is klein
UWB	Pulstechnologie in grote bandbreedte	Bandbreedte minimaal 500 Mhz		nauwkeurig	Bakens zijn groot en zwaar
Cricket Location Support	RF met ultrasoon gecombineerd		Vooraf		Aanleg vraagt om grote zorgvuldigheid, tijdrovend.
Precision	UWB,		Ad-hoc	Grote	Opbouwtijd; kan

Opmerking [Ieu1]: Frequentie opzoeken

Personnel Locater	trilateratie gecombineerd met inertie,			nauwkeurigheid	sneller ten koste van nauwkeurigheid
Locata Lite	GPS met ad-hoc bakens, TOF met trilateratie	2,4 Ghz		Grote nauwkeurigheid	Opbouwtijd, Interferentie met WiFi
Thales UWB Precise Positioning	UWB		Vooraf of ad-hoc	Grote nauwkeurigheid (afw. < 1 m)	Onbekend hoe lang opbouw ad-hoc duurt
Wireless sensornetwerk		800-900Mhz, 2,4Ghz	Vooraf, Ad-hoc kan in principe		Bij ad-hoc kalibratietijd Grote onnauwkeurigheid (10 m)
Proximity sensing met RFID			Vooraf		

Vooraf installeren en ad-hoc installeren

In een aantal gevallen wordt gebruik gemaakt van een vooraf geïnstalleerde infrastructuur. Er kan niet vanuit gegaan worden dat die altijd aanwezig is. De brandweer kan er dus niet blindelings vanuit gaan dat die beschikbaar is en zal andere oplossingen moeten hebben bij het ontbreken van de infrastructuur. Als die wel vooraf is geïnstalleerd kan het zijn dat de infrastructuur vernield is door de calamiteit. Ook zal in veel gevallen de infrastructuur onbruikbaar zijn door het wegvallen van de elektrische spanning.

Niet vooraf geïnstalleerde infrastructuur kan bruikbaar zijn. Dan moet bij het operationeel gebruik de infrastructuur met weinig moeite binnen twee minuten bruikbaar aangelegd zijn.

Kalibratie

Om op basis van de signaalsterkte de locatie van iemand te bepalen, moet het systeem van tevoren gekalibreerd worden. De situatie in elk gebouw is anders. De muren zijn anders geplaatst, gemaakt van ander materiaal en het interieur is anders. Er moet een database aangemaakt worden met de verschillende signaalsterktes op elke locatie.

Frequentie

Wat betreft de keus voor de signaalfrequentie is er sprake van een trade-off. Een lagere frequentie betekent een lagere bandbreedte en daarmee een lagere gegevensoverdracht. Het betekent ook dat de gebruikte antenne groter en groter moet worden. Hier kan een kleine short-cut genomen worden door de helft of een kwart van de voor ontvangst optimale lengte te gebruiken. Dat betekent echter weer dat de intensiteit waarmee verzonden moet worden omhoog moet. Wat weer betekent dat al vrij snel de door de overheid toegestane maximale intensiteit bereikt wordt. Daarnaast zijn de lagere frequentiebanden al in gebruik en kan er niet zomaar een systeem ontwikkeld worden dat hiervan gebruik maakt.

Een hogere frequentie betekent een hogere bandbreedte en hogere gegevensoverdracht. De antenne kan kleiner gemaakt worden en er zijn minder frequentiebanden in gebruik. Het betekent echter ook dat de maximale afstand waarop het werkt aanzienlijk ingekort wordt en dat de mogelijkheid om door muren heen te zenden afneemt of zelfs wegvalt.

Multisensor aanpak

Het blijft zinvol te zoeken naar alternatieve methoden om positiebepaling mogelijk te maken. Er zijn veelbelovende systemen waarin een combinatie van RF-gebaseerde technologie met andere technologieën gebruikt wordt. In hoofdstuk 6 komen deze aan de orde.

6 Systemen op basis van inertie

Deze techniek kan gebruikt worden in situaties waarin GPS niet meer (nauwkeurig genoeg) werkt. Deze technologie wordt ook wel inertial navigation genoemd en wordt gebruikt bij navigatiesystemen die onafhankelijk van GPS of bekende bakens werken. Enige voorkennis over de omgeving is niet vereist, dit systeem werkt overal.

Het principe dat gebruikt wordt is Dead Reckoning. Dat wil zeggen dat de huidige positie wordt berekend uitgaande van de laatst bekende positie. Dit impliceert een afhankelijkheid van de nauwkeurigheid van die vorige positie en initieel de positie van het vertrekpunt, waar de berekening begint.

Deze systemen voor inertial navigation werken met behulp van een of meer IMU's. Een IMU is een Inertial Measurement Unit. Deze bevat versnellingsmeters en gyroscopen. Met een versnellingsmeter (accelerator) kan men de veranderingen in de snelheid, de versnelling, van een object meten. Uitgaande van een bekende beginsnelheid kan men dan de snelheid op enig moment berekenen en ook de lengte van de afgelegde weg vanaf de beginpositie. Gyroscopen geven relatieve veranderingen in richting aan. De sensordata uit versnellingsmeters en gyroscopen worden gebruikt om de bewegingen, de positie en het afgelegde traject van een object of persoon te berekenen. Aan sommige IMU's is een elektronisch kompas toegevoegd om de absolute richting te kunnen bepalen.

Elk van deze systemen heeft te maken met drift in de metingen, dat wil zeggen dat elke meting een kleine afwijking heeft, waardoor de werkelijke positie en de berekende positie steeds verder uit elkaar komen te liggen. De drift kan verkleind worden, maar helemaal wegnemen is voorlopig nog niet mogelijk. Bij elk systeem dat hierop is gebaseerd, zal de totale afwijking groter en groter worden. Proximity sensing kan toegepast worden om de afwijking onder controle te houden. Hierbij wordt RF technologie gecombineerd met inertial navigation.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van manieren om een persoon te lokaliseren met behulp van dead reckoning op basis van gegevens van een IMU die de persoon bij zich draagt.

Er wordt nagegaan of bekend is in hoeverre met deze technologie een brandweerman in een gebouw gevolgd kan worden. In hoofdstuk 3 van Ruizenaar (2008) wordt een leerzame inleiding tot deze technologie beschreven.

Voor het beste resultaat, moeten de sensoren op de voeten/schoenen/laarzen geplaatst worden. Dan kan de stapgrootte ingeschat worden, evenals snelheid, richting en eventueel de houding van een persoon. Daarnaast kan drift in de metingen teruggedrongen worden. Dit is mogelijk doordat bij het lopen de voet na een stap een korte tijd stil staat. Deze korte tijd met snelheid nul wordt gebruikt als ijkpunt.



Figuur 6-1 - Voorbeeld van een Xsens IMU sensor (links) en een Inertia Technology IMU sensor (rechts)

Als er alleen een sensor op de borst geplaatst wordt, is het lastig, zonet onmogelijk, om een accurate meting te geven. Het systeem moet dan gekalibreerd worden op de persoon die het gaat gebruiken, omdat iedereen een ander 'loopje' heeft en veranderingen in loopsnelheid en richting zijn erg moeilijk te detecteren.

Om deze informatie van de brandweerman naar de commandant te zenden, zal een of andere radiotechnologie gebruikt moeten worden. Maar deze communicatie valt voorlopig buiten het bestek van onze oriëntatie.

Om van de versnelling naar een positie te komen, zal er tweemaal geïntegreerd moeten worden over de tijd. In formules:

$$v(t) = \int_0^t a(t) \cdot dt = a \cdot t + v_0$$

$$p(t) = \int_0^t \int_0^t a(t) \cdot dt = \int_0^t v(t) \cdot dt = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + p_0$$

Waarbij:

a = de versnelling

v = de snelheid

p = de positie

v_0 = de beginsnelheid

p_0 = de beginpositie

t = de verstreken tijd

6.1 Onderzoek op dit gebied

Ojeda en Borenstein (2006, 2007), Beauregard (2007), Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo (2009) hebben onderzoek verricht op dit gebied. De algemene aanpak bij het gebruik van inertiesensoren om een positie te bepalen zoals hierboven toegelicht is, wordt in deze artikelen beschreven.

De hardware waar deze onderzoekers gebruik van maken zijn zogenaamde 6DOF Inertial Measurement Units (IMU) van verschillende fabrikanten (o.a. Xsens MTi sensoren). Dit zijn chips met drie gyroscopen en drie versnellingsmeters erop, vandaar de 6DOF (Degrees of Freedom). Hiermee kan de versnelling en tilt of richting in de x-, y- en z-as gemeten worden.

Alleen Beauregard maakt geen gebruik van een kompas om de richting te bepalen.

Problemen

Een kompas maakt gebruik van het aardmagnetisch veld om zijn eigen richting te bepalen. Als het kompas zich buiten bevindt, is er geen probleem. Binnenshuis vonden Ojeda en Borenstein (2007) en Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo (2009) dat metalen objecten, computer apparatuur, trappleuning en dergelijke de metingen verstoorden. Daar moest overgestapt worden op de gyroscopen.

Oplossingen

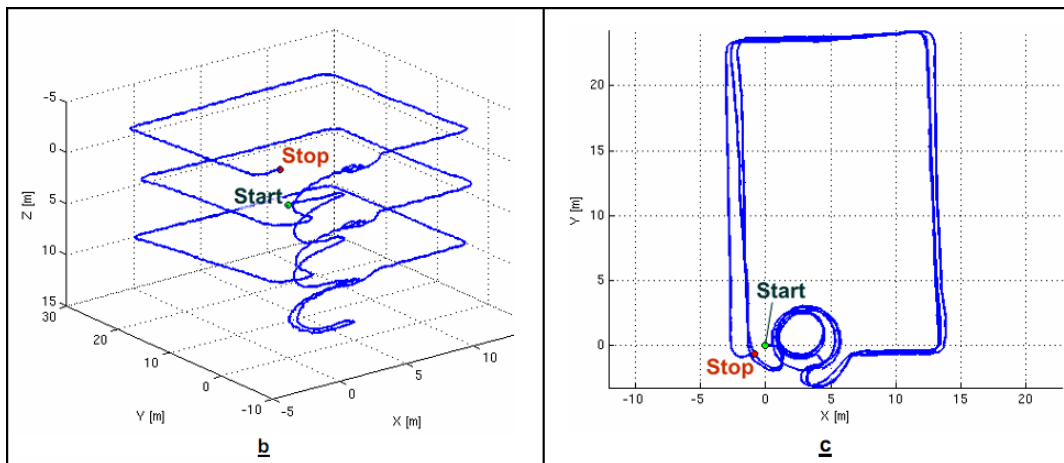
Anders dan op tijd omschakelen van gyroscoop naar kompas, is er geen oplossing. Helaas heeft men nog geen oplossing gevonden om dynamisch te bepalen wanneer het kompas gebruikt moet worden en wanneer de gyroscopen.

Opmerking [Ieu2]: Bron noemen

Resultaten

Waar deze systemen vooral erg sterk in zijn, is het bijhouden van de totale afgelegde afstand. De afwijking tussen gemeten afstand en afgelegde afstand is slechts ongeveer 2%. Deze afwijking wordt groter naarmate de afgelegde afstand groter is.

Het volgen van personen verloopt wat problematischer, helemaal als de hoogte ook nog bepaald moet worden. In het x-y vlak zijn Ojeda en Borenstein vrij nauwkeurig.

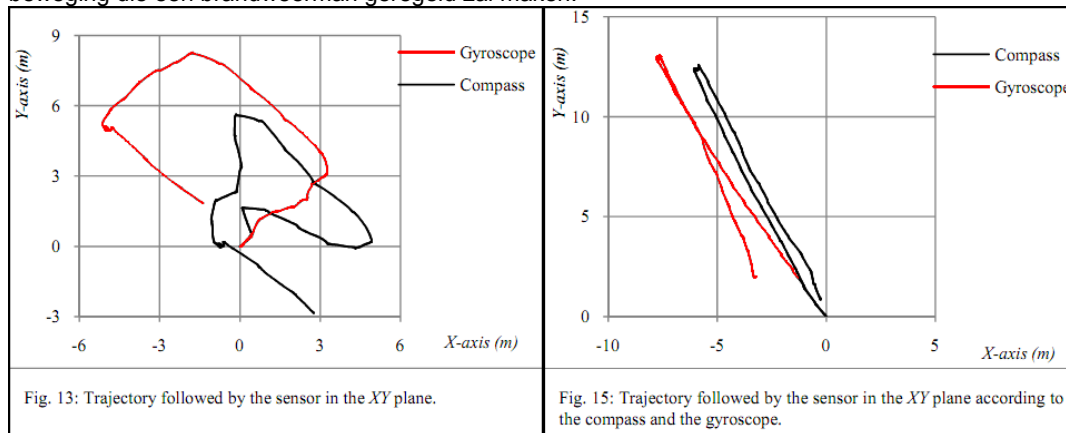


Figuur 6-2 - Figuur 4b en 4c uit Ojeda en Borenstein (2007)

In figuur 6-2 zijn resultaten van Ojeda en Borenstein weergegeven. Het startpunt en het stoppunt waren hetzelfde punt. Het gevolgde traject is eerst met een wenteltrap naar beneden lopen. Dan weer een verdieping naar boven en een rechthoek lopen. Dat wordt herhaald tot men bij het startpunt uitkomt. In de linkerfiguur is te zien dat de verticale afwijking ongeveer 3 meter is, in vele gebouwen is dat ongeveer een verdieping.

De rechterfiguur laat de horizontale afwijking zien van dezelfde meting. Die afwijking is ongeveer 1 meter.

Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo hebben problemen als de persoon zich omdraait. Een beweging die een brandweerman geregeld zal maken.



Figuur 6-3 - Figuur 13 en 15 uit Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo (2009)

In figuur 6-3 zijn resultaten van Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo weergegeven. De grafieken zijn licht aangepast om onderscheid te kunnen maken tussen de metingen met de gyroscopen en metingen met het kompas.

De linkerfiguur laat de resultaten zien van een meting waarin een rechthoek van iets meer dan 20 meter in omtrek werd afgelegd. Om het traject heen stonden metalen bureaus, kasten en computerapparatuur. De gyroscop is hier het meest nauwkeurig, maar heeft nog altijd een afwijking van 2,1 meter, bijna 10% van de afgelegde afstand. Het kompas werd duidelijk beïnvloed door de metalen objecten in de omgeving. De gemeten route lijkt niet meer op de rechthoek die werd afgelegd en de afwijking is 3,7 meter, ongeveer 16% van de afgelegde afstand.

De rechterfiguur laat de resultaten zien van een meting waarin in een gang werd gelopen, een draai van 180 graden werd gemaakt en weer werd teruggelopen naar het startpunt. De totale afgelegde

afstand is 30 meter. Hier is het kompas het meest nauwkeurig. De draai wordt goed gedetecteerd en de uiteindelijke afwijking is bijna 1 meter, ongeveer 3% van de afgelegde afstand. De gyroscoop doet het goed tot aan het keerpunt. Van daar krijgt het een bias naar rechts mee en loopt de afwijking op tot 3,8 meter, bijna 13% van de afgelegde afstand.

6.2 Veel voorkomende problemen

De algemene problemen die elk dead reckoning systeem heeft worden hieronder besproken, evenals de algemene oplossingen.

Drift in afgelegde afstand

Het grootste probleem waar men tegenaan loopt is de interne drift van de gebruikte versnellingsmeters. Elk type heeft hiermee te maken. Onder andere de zwaartekracht is hier een oorzaak van. Omdat dit een versnelling is, heeft deze altijd invloed op de meetwaarden, vooral als het gaat om het meten van de hoogte of z-as. Helaas is de zwaartekracht niet overal exact hetzelfde. De drift heeft invloed op vooral het meten van de versnelling en daarmee op bekende snelheid en de afgelegde afstand. Om van versnelling naar positie te komen, moet er tweemaal geïntegreerd worden, waarbij elke meetfout (sterk) vergroot wordt.

Drift in richting

Voor de gyroscopen geldt een vergelijkbaar probleem. Richtingsverandering is niet 100% nauwkeurig

Ruis

Afgezien van de drift kent een verzameling meetwaarden een bepaalde ruis. Een meetwaarde met behulp van elektronische componenten heeft een (vaak slechts geringe) afwijking van de echte fysieke waarde. Maar door de drift kan deze ruis een steeds grotere invloed hebben op de berekende positie.

Frequentie van sampling

Het meten van de versnelling en verandering van de richtingshoek is geen continu proces maar gebeurt door periodiek een sample te nemen. Het nemen van te weinig samples per seconde leidt tot afwijkingen die te groot kunnen worden.

Door de berekeningen kunnen fouten zich voortdurend opstapelen met alle nadelige effecten op de validiteit van de uitkomst. Het is het belangrijk om de meet- en berekeningsfouten zo klein mogelijk te houden.

Kalibratie en filtering

Om dit te bereiken kan gebruik gemaakt worden van verschillende kalibratietechnieken.

De meest voor de hand liggende zijn:

- intervallen met snelheid gelijk aan nul herkennen en daarop de berekening afstemmen
- het herkennen in de buurt van bekende bakens te zijn; een variant is het combineren van positiebepaling met RF en met inertie technologie.
- het combineren van meerdere sensorbordjes met op elk versnellingsmeters en gyroscopen.

Daarnaast is filtering van de meetwaarden om afwijkingen door ruis te elimineren. Er zijn eenvoudige en complexe filtermethoden bekend. Eenvoudige is o.a. low pass filtering. Daarnaast is er zowel Kalman filtering als partikelfiltering mogelijk.

Door kalibratie en filtering is de nauwkeurigheid van de positiebepaling te verbeteren.

De schatting is dat een nauwkeurigheid van 2% tot 5% binnen bereik ligt. Dat betekent dat op een gelopen afstand van 100 meter de afwijking 2 tot 5 meter bedraagt.

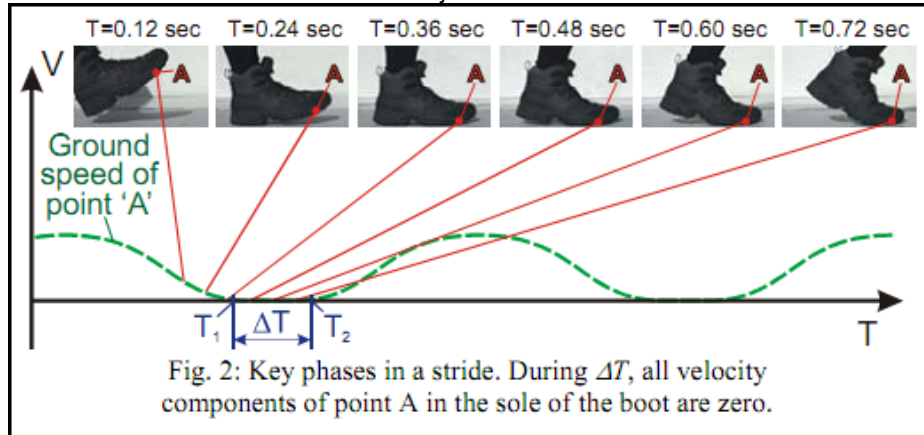
De technologie op basis van inertie biedt veel perspectief. Er wordt veel onderzoek naar verricht en er worden steeds betere resultaten bereikt.

6.3 Voorbeelden van verbeteringen

Hier worden veel gebruikte oplossingen behandeld.

Zero Velocity Updates:

Een van de oplossingen waar veel gebruik van gemaakt wordt, is Zero Velocity Updates (ZUPT). Bij elke stap die iemand zet, is er een bepaald moment dat de voet stil staat. Op dat moment is de versnelling van die voet 0 en kunnen de meetwaarden van de versnellingsmeters gereset worden. Hierdoor worden de meetfouten aanzienlijk verkleind.



Figuur 6-4 - Figuur 2 uit Ojeda and Borenstein (2007)

In figuur 6-4 is te zien hoe dit in zijn werk gaat. De verschillende fases van het zetten van een stap zijn weergegeven. De snelheid van punt A op de schoen wordt gevolgd. Vlak voor 0.48 seconden in de stap is de snelheid van punt A 0 meter per seconde, dit duurt tot ongeveer 0.72 seconden in de stap. Ongeveer een kwart seconde lang staat punt A stil, tijdens deze kwartseconde moet de versnelling op een bepaald moment ook 0 zijn. De meetwaarden zullen door de drift een andere waarde weergeven, maar kunnen nu gereset worden. Voorwaarde is wel dat de voet niet verschuift of wegglijdt. De kans hierop is niet zo groot, omdat het volle gewicht van de brandweerman op de voet rust. Ojeda en Borenstein (2007 p.5) schatten dat de afwijking zonder ZUPT "would be on the order of hundreds or even thousands of meters!"

Helaas is deze oplossing niet geschikt om toe te passen op de gemeten richting van een gyroscoop. Als iemand een stap zet, is er geen enkel punt waarop met zekerheid gezegd kan worden wat de richting is.

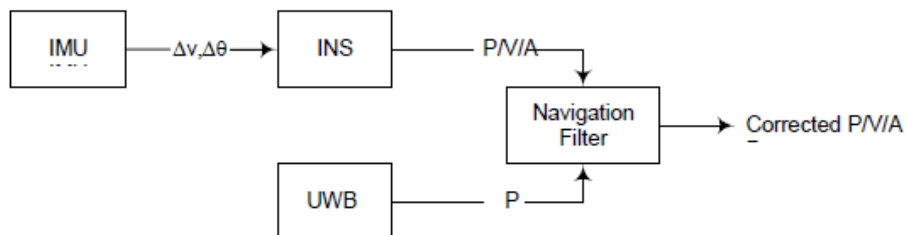
Het gebruik van meerdere IMU's

IMU's worden als goedkope MEMS in de industrie geproduceerd. In de WII zitten enige MEMS IMU's om bewegingen te volgen. MEMS IMU's vertonen nog niet de gewenste nauwkeurigheid voor inertial navigation. De nauwkeurigheid neemt weliswaar snel toe bij nieuwere producten. Juist omdat deze IMU's goedkoop zijn, is het aantrekkelijk met gebruikmaking van meerdere IMU's een nauwkeurig systeem te bouwen. Op dit gebied is veel onderzoek gaande.

Er is reeds een patent aangevraagd om de berekeningen op basis van meerdere IMU's tot een nauwkeurig resultaat te brengen. Ook is er een Master Thesis geschreven door Rayn Hanson (Hanson, 2005) voor het Air Force Institute of Technology, Ohio. Dit is een theoretische studie. Er zijn nog geen resultaten van praktisch gebruik bekend.

Het combineren van een IMU met RF technologie

Het systeem van Thales beschreven in paragraaf 5.6.1.3 is uitgebreid met inertial navigation. De combinatie vraagt om speciale filtering van de verkregen data. Dit systeem wordt beschreven in McGowan (2004)



Figuur 6-5 - Figuur 1 uit McGowan (2004)

De IMU geeft als ruwe data de versnelling in drie dimensie en de hoekverandering. De INS component berekent daaruit een benadering van de positie en snelheid. Ook de UWB geeft een benadering van de positie. Het Navigation Filter corrigeert de resultaten van de INS op basis van de uitkomst van de UWB berekening. In een simulatietool is dit systeem getest en het resultaat gaf aan dat de berekende positie slechts enkele centimeters van de werkelijke positie afweek.

6.4 Afweging bij inertiegebaseerde systemen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van plus-/minpunten en op te lossen problemen.

	Pluspunten	Minpunten	Oplossing
Ruis		Veroorzaakt onnauwkeurigheid	Filtering
Drift		Vergroot onnauwkeurigheid	Filtering, Zupt en kalibratie bij referentiepunten. Koppeling van GPS in IMU om waar mogelijk een goed referentiepunt te kunnen gebruiken.
Tijdsduur	Installatie kan on-the-fly. Na 10 seconden opstartkalibratie is system operationeel	Drift neemt toe naarmate langer geen referentiepunt is aangetroffen	Persoon meldt aanwezigheid bij referentiepunt
Plaatsing sensoren op de persoon	Voorkeurspunt is op de voet om drift terug te dringen.	Weinig punten op lichaam die periodiek echt stil staan.	Sensoren zo klein maken dat de IMU in een hak van een laars geplaatst kan worden.
Meerwaarde kompas	Drift gyroscopen corrigeren door middel van kompas.	Kompas geeft afwijking in de buurt van ijzeren voorwerpen	Koppeling van kompas aan gyroscopen.
Bewegingspatroon		Een brandweerman in actie kent onregelmatige en heftige bewegingen. Dit beperkt de mogelijkheid drift te corrigeren.	Gebruik van meerdere IMU's. Fysieke begrenzings van menselijke beweging meenemen in validatie van berekende posities.

Hoogte

Onnauwkeurigheid in hoogte zorgt voor onzekerheid op welke verdieping een brandweerman zich bevindt. Dat bemoeilijkt het zoeken enorm in een gebouw waar verdiepingen bijv. slechts 3 meters in hoogte verschillen en de onnauwkeurigheid in hoogte meer kan zijn dan 4 meter. Als oplossing kan een hoogtemeter gebruikt worden die in een brandend gebouw nog goed functioneert.

Bewegingspatroon

Er is nog weinig bekend over manieren om hiervan met eenvoudige IMU's voordeel van te kunnen hebben. Een uitkomst die twee lichaamsdelen ver uit elkaar laat zien is een indicatie van een sterke afwijking.

Een karakteristiek bewegingspatroon van een brandweerman is het met de voet aftasten van de omgeving op zoek naar muren, gaten in de vloer etc. Dit verdient een eigen onderzoek dat buiten de scope van dit rapport valt.

7 Verslag van bezoek aan TNO

Nadat we vernomen hadden dat TNO met een vergelijkbaar problematiek bezig was, is in het kader van dit onderzoek een bezoek gebracht aan TNO Defensie en Veiligheid te Soesterberg. Gerard Veldhuis en Marcel van der Lee, programma manager en onderzoeker bij TNO, hebben informatie verschaft en naderhand een onderzoeksrapport opgestuurd Ruizenaar (2008).

7.1 HIMS

Hier wordt een korte beschrijving gegeven van het systeem dat bij TNO ontwikkeld wordt. Eerst wordt behandeld wat de insteek is van het project en hoe het zich verhoudt met andere onderzoeken. Daarna volgt de structuur en werking van het systeem.

7.1.1 Inleiding

Het systeem dat ontwikkeld wordt bij TNO is het Hulpverlener Informatie Management Systeem (HIMS). Hierbij wordt samengewerkt met Thales, Smartposition en de Gezamenlijke Brandweer van het Rotterdamse haven- en industriegebied.

De insteek van hun onderzoek is "Juiste informatie is een basis voor veiligheid!"

Daarom willen ze weten:

- Waar zijn mijn mensen?
- Wat is de status van mijn mensen?
- Waar zijn de slachtoffers?
- Welke ruimtes zijn doorzocht?
- Is er explosiegevaar?
- Is er flash-overgevaar?

De eerste vraag is eigenlijk dezelfde die wij ook proberen te beantwoorden, net als de behandelde onderzoeken in dit rapport. De focus van TNO ligt op het realiseren van een systeem dat zonder vooraf aangelegde infrastructuur werkt. Dat gecombineerd met de overige vragen onderscheidt TNO zich van de rest. Geen enkel ander systeem bepaalt de positie en verschaft daarnaast gegevens over de status van de brandweerman, de luchtvoorraad in zijn zuurstoffles en verzamelt gegevens over zijn omgeving om gevaars als explosie- en flash-overgevaar te detecteren.

7.1.2 Structuur

HIMS bestaat uit vier modules of onderdelen. Die worden hieronder apart beschreven en de samenhang met andere module wordt ook uitgelegd.

Sensormodule

Deze module bevat sensoren om voor brandweermannen relevante gegevens te verzamelen. De laatste versie houdt bij wat de druk in de zuurstoffles is die de brandweerman bij zich draagt en wat zijn hartslag is.

Van de omgeving wordt gemeten wat de temperatuur is van het pak, de temperatuur van de directe omgeving en de temperatuur van de gassen boven de brandweerman. Daarnaast zijn er sensoren aangebracht om bij te houden wat het percentages zuurstof en koolmonoxide in de lucht zijn om explosiegevaar en flash-overgevaar te kunnen bepalen. De gegevens van deze module worden door middel van bluetooth verzonden naar een smartphone.

Positiebepaling

Een aparte module heeft als enige functie de positiebepaling van de brandweerman. Hiervoor is eerst een dead reckoning module van Honeywell aangeschaft. Bij gewoon lopen voldoet deze hardware prima, bij de bewegingen die een brandweerman maakt zakt de prestatie enorm in.

Een brandweerman zoekt de omgeving af met behulp van zijn voeten. Hij bepaalt of de ondergrond stevig genoeg is, en schopt tegen muren en andere voorwerpen aan om te achterhalen wat het zou kunnen zijn en hoe stevig het staat. Nu is de module van Honeywell een stappenteller die op de rug gedragen wordt, daardoor kunnen eerder genoemde dead reckoning methoden uit dit rapport niet gebruikt worden. Daar worden de sensoren op de voeten gedragen.

Bij TNO heeft men echter besloten voor de volgende versie van HIMS een radar systeem te ontwikkelen. Dat is nog steeds in ontwikkeling. In december 2010 is de eerste test met het radar systeem uitgevoerd op BOCAS, het laboratorium dat gebruikt wordt om de functionaliteit van

ondersteunende systemen als HIMS levensecht te testen.. Bij die test moet er één persoon gevolgd worden die een ontvanger bij zich draagt. Het bereik van het systeem zou enkele honderden meters moeten zijn, ook binnenshuis.

Van deze module worden de gegevens ook verzonden door middel van bluetooth naar een smartphone.

Smartphone

Elke brandweerman draagt een smartphone bij zich. De data van de sensormodule en de positiebepaling komen hier binnen, waarna de smartphone het via UMTS doorstuurt naar een server. Op de server komen de verzamelde gegevens van alle brandweermannen binnen en worden die netjes geordend.

Cerberus bevelvoerdermodule

Een handheld apparaat ongeveer zo groot als een iPad dat de bevelvoerder of officier van dienst bij zich draagt. Hierop worden de verzamelde gegevens weergegeven. Dit zijn dus de positie van de brandweerman en de door de sensormodule verzamelde data. Door middel van groene, oranje en rode achtergronden wordt aangegeven of bijvoorbeeld de hartslag niet gevaarlijk laag of hoog is.

7.1.3 Resultaten

Er zijn geen resultaten gegeven. Het enige dat aan ons bekend is gemaakt, is dat de positiebepaling niet goed werkte en daarom gekozen werd om iets anders zelf te ontwikkelen.

Zoals gezegd is dat systeem in december 2010 getest en zullen binnenkort de resultaten bekend worden.

8 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt op basis van de beschreven systemen en technologieën een afweging gemaakt met de specificaties in het achterhoofd. Eerst zal kort herhaald worden wat in hoofdstukken 5 en 6 behandeld is.

8.1 Terugblik

De systemen op basis van radiosignalen halen over het algemeen een hoge nauwkeurigheid, meer dan genoeg om aan de specificaties te voldoen. Met name LocateLite is erg nauwkeurig.

De problemen met multipath, attenuation en interferentie zijn grotendeels verholpen.

Daar staat tegenover dat de installatie- en kalibratietijd vrij groot zijn om tot deze nauwkeurigheid te komen. Als er minder tijd voor vrijgemaakt wordt, is dat terug te zien in de nauwkeurigheid. Het kan zo zijn dat de gewenste nauwkeurigheid niet meer gehaald wordt. De gebruikte bakens zijn vaak groot en zwaar.

Voorgeïnstalleerde systemen presteren ook goed, maar vereisen zorgvuldige installatie en bestaan uit vele componenten. In veel gevallen geen probleem, behalve bij een calamiteit. Het eerste dat de brandweer zal doen na aankomst, is het afsluiten van de stroomvoorziening, waarmee het systeem buiten werking wordt gesteld. Bij gebruikmaking van batterijen of accu's zullen deze periodiek gecontroleerd moeten worden, wat door de vele componenten een tijdsintensieve bezigheid zal zijn.

De systemen op basis van inertie zijn minder nauwkeurig dan de systemen op basis van radiosignalen, maar presteren wel binnen de specificaties.

De nauwkeurigheid van deze systemen neemt af met de tijd, doordat kleine, onvermijdelijke meetfouten blijven opstapelen. Een korte kalibratieperiode is nodig om de meetfouten te verkleinen en daarmee het afnemen van de nauwkeurigheid in de tijd te verminderen. Dat een brandweerman niet meer dan 20 minuten aaneen in een gebouw zal zijn tijdens een calamiteit zorgt ervoor dat de gewenste nauwkeurigheid zeker gehaald wordt en dat er tijd is voor een korte herkalibratie.

Dit type systeem werkt bij elke infrastructuur. Dikte en materiaal van de muren hebben geen invloed op de sensoren.

De gebruikte onderdelen voor de sensoren zijn 'off-the-shelf' componenten, waardoor de sensoren relatief goedkoop zijn. Ontwikkeling van deze componenten blijft doorgaan, waardoor steeds meer van deze componenten zijn beschikbaar zijn, de kwaliteit ervan in de toekomst zal verbeteren en de kosten zullen dalen.

8.2 Afweging

Op basis van de hiervoor behandelde gegevens is de keuze gevallen op een systeem op basis van inertie. Alle systemen halen de gewenste nauwkeurigheid, maar de voordelen van inertial navigation zijn:

- Snel inzetbaar bij een calamiteit
 - Weinig tijd nodig voor (her)kalibratie
 - Geen tijd nodig om bakens neer te zetten
- Minder gewicht om mee te nemen voor een brandweerman
 - De sensoren zijn licht
 - Geen zware bakens om mee te nemen
- De werking is onafhankelijk van de infrastructuur van een gebouw

Allemaal factoren die een snelle inzet bij een calamiteit bevorderen.

Daarnaast valt te verwachten dat de kosten voor sensoren in de toekomst zal afnemen.

9 Literatuurlijst

Amendolare et al. (2008)

Amendolare, V. et al., 2008. WPI Precision Personnel Locator System: Inertial Navigation Supplementation. In: Position Location and Navigation Symposium. Monterey, United States of America May 2008.

Bancroft (2009)

Bancroft, J. 2009. Multiple IMU Integration for Vehicular Navigation, ION GNSS 2009, Session D2, Savannah, GA, 22-25 September, 2009

Barnes et al. (2003)

Barnes, J. et al., 2003. High Precision Indoor and Outdoor Positioning using LocataNet. In: Japan Institute of Navigation and Japan GPS Council International Symposium. Tokyo Japan, 15-18 November 2003.

Beauregard (2007)

Beauregard, S., 2007. Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders [online] Available at: http://www.xsens.com/images/stories/PDF/beauregard_WPNC_omnidirectionalPDR.pdf [Accessed 15 September 2010].

Beauregard (2006)

Beauregard, S., 2006. A Helmet mounted Pedestrian Dead Reckoning System, IFAWC2006 March 15-16, Mobile Research Center, TZI Universität Bremen, Germany

Bijl en Dil (2010)

Bijl, M., Dil, B., 2010. Localization, revision 1.1p0-R1A-26/01/2010, 3000 Series White Paper, Ambient Systems

Cavanaugh, Lowe, Cyganski en Duckworth (2010)

Cavanaugh, A.; Lowe, M.; Cyganski, D.; Duckworth, R.J., 2010. WPI Precision Personnel Location System: Rapid Deployment Antenna System and Sensor Fusion for 3D Precision Location. In: ION ITM. San Diego, United States of America 25-27 January 2010.

Challamel, Tomé, Harmer en Beauregard (2008)

Challamel, R.; Tomé, P.; Harmer, D.; Beauregard, S., 2008. Performance Assessment of Indoor Location Technologies. 1-4244-1537-3/08 IEEE.

Cyganski et al. (2007)

Cyganski, D. et al., 2007. WPI Precision Personnel Locator System - Indoor Location Demonstrations and RF Design Improvements. In: Institute of Navigation, 63rd Annual Meeting. Cambridge United States of America, 23-25 April 2007.

Duckworth et al. (2007)

Duckworth, J., 2007. WPI Precision Personnel Locator System - Evaluation by First Responders. In: IOS-GNSS. Fort Worth, United States of America September 2007.

Edwards en Penney. (1982)

Edwards, C.H, Penney, D.E., 1982, Calculus and Analytic Geometry, Prentice Hall, ISBN 0-13-11609-6

Feliz, Zalama en Gómez García-Bermejo (2009)

Feliz, R.; Zalama, E.; Gómez García-Mermejo, J., 2009. Pedestrian Tracking Using Intertial Sensors, *Journal of Physical Agents*, volume 3 (1), pp.35-43.

Fischer en Gellersen (2010)

Fischer, C.; Gellersen, H., 2010. Location and Navigation Support for Emergency Responders: A Survey. *Pervasive Computing*, January-March, pp.39-47.

Gezici (2005)

Gezici, S., Tian Z., Biannakis, G.B., 2005, „Localization via Ultra-Wideband Radios, *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE* Volume 22 p.70- 84

Hanson 2005

Hanson, R. 2005: Using Multiple MEMS IMU's to for a Distributed Inertial Measurement Unit,

McGowan (2004)

McGowan, R. 2004. High Accuracy Position and Attitude, Integrating UWB and MEMS for Indoor Positioning, NAV040707, White Paper, Thales Research and Technology UK, 2004

Lo et al. (2008)

Lo, A.; Xia, L.; Niemegeers, I.; Bauge, T.; Russel, M.; Harmer, D., 2008. EUROPCOM - An Ultra-WideBand (UWB)-based Ad Hoc Network for Emergency Applications. 978-1-4244-1645-5/08 IEEE.

Moster et al (2006)

Moster, F, Tews, A., 2006. Practical WiFi Localization for Autonomous Industrial Vehicles,,

Ojeda en Borenstein (2006)

Ojeda, L.; Borenstein, J., 2006. Non-GPS Navigation for Emergency Responders. In: International Joint Topical Meeting, Sharing Solutions for Emergencies and Hazardous Environments. Salt Lake City, United States of America, 12-15 February 2006.

Ojeda en Borenstein (2007)

Ojeda, L.; Borenstein, J., 2007. Personal Dead-reckoning System for GPS-denied Environments. In: IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics. Rome, Italy, September 27-29 2007.

Politi et al. (2009)

Politi, N. et al., 2009. Locata: A New Technology for High Precision Positioning. In: European Navigation Conference. Napels Italy, 2009.

Priyantha (2005)

Priyantha, N.B., 2005. The Cricket Indoor Location System. Ph. D. Massachusetts Institute of Technology.

Rizos, Roberts, Barnes en Gambale (2010)

Rizos, C.; Roberts, G.; Barnes, J.; Gambale, N., 2010. Locata: A New High Accuracy Indoor Positioning System. In: 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Zürich Switzerland, 15-17 September 2010.

Ruizenaar (2008)

Ruizenaar, M.G.A., 2008. Overzicht lokalisatietechnieken voor hulpverleners, TNO Defensie en Veiligheid, TNO-DV 2008 C438

Savvides (2001)

Savvides, A. et al , 2001, Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors, In: Proceedings MobiCom '01 Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, p. 166-179

Siwiak (2001)

Siwiak, K, (2001), Ultra-wide Band Radio: Introducing a new Technology, in Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd, p 1084 – 1093

Waegli (2010).

Waegli, A., Skaloud, J.1, Guerrier, S. Noise reduction and estimation in multiple, micro-electro-mechanical inertial systems, MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY 21 065201, 2010