



# Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten

Kom verder. Saxion.

[saxion.nl/wireless](https://saxion.nl/wireless)

**SAXION**

# Inhoudsopgave

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Voorwoord</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Samenvatting</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1. Inleiding</b>   | <b>5</b>  |
| <b>2. State of the art wireless sensortechnologie</b>         | <b>8</b>  |
| <b>3. Werkpakket Branddetectie</b>                            | <b>13</b> |
| 3.1 Detectie van (het begin van) een calamiteit               | 13        |
| 3.2 Ontwerp sensornetwerk voor branddetectie                  | 17        |
| 3.3 Implementatie hybride sensornetwerk voor branddetectie    | 20        |
| <b>4. Werkpakket Alarmverificatie</b>                         | <b>23</b> |
| 4.1 Scenario's voor branddetectie                             | 23        |
| 4.2 Datafusie voor branddetectie                              | 30        |
| <b>5. Werkpakket Proximity</b>                                | <b>40</b> |
| 5.1 Verkenning indoor-lokalisatie in brandend gebouw          | 40        |
| 5.2 Ontwerp indoor-lokalisatie met Kalman-filtering           | 50        |
| 5.3 Indoor-lokalisatie met een robot                          | 54        |
| 5.4 Indoor-lokalisatie op basis van geluid                    | 55        |
| 5.5 Overzicht locatiebepalende technieken                     | 55        |
| 5.6 Personendetectie bij calamiteiten                         | 58        |
| 5.7 Dynamisch ontruimingssysteem - sturen van zelfredzaamheid | 61        |
| <b>6. Werkpakket Communicatie</b>                             | <b>65</b> |
| 6.1 Sensorcommunicatie van sensordata via een Android-systeem | 65        |
| 6.2 User Interface Sensordata                                 | 69        |
| <b>7. Kennisdeling</b>  | <b>70</b> |
| <b>8. Conclusies en aanbevelingen</b>                         | <b>72</b> |

# Voorwoord

Het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten is gestart in juni 2010 en nadert zijn voltooiing. In het boek dat u nu leest, geven we een overzicht vanaf de aanleiding tot de bereikte resultaten. De combinatie van sensortechnologie en calamiteiten vormt een dankbaar onderwerp. Op beide fronten is er volop beweging. Het belang van sensortechnologie wordt in steeds meer maatschappelijke thema's onderkend. De data vanuit een grote diversiteit van sensoren worden via verschillende communicatiekanalen gecommuniceerd met gebruikers, maar nog meer met andere apparaten die de data gebruiken. Die communicatie maakt zo intensief gebruik van het internet dat nu al gesproken wordt van het Internet of Things.

De metingen die sensoren kunnen verrichten zijn voor de beveiligingsbedrijven en publieke veiligheidsdiensten als politie en brandweer van groot belang om inzicht te krijgen in situaties waarin men moet optreden. Door deze situation awareness is men beter in staat te bepalen wat er speelt, wat men in een bepaalde situatie kan verwachten. Dit ondersteunt de operationele besluitvorming.

In het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten hebben we de mogelijkheden van de technologie verkend. Vooral aan de hand van demonstrators is inzicht ontstaan in wat haalbaar is en welke kansen er liggen voor het bedrijfsleven om te komen tot innovatieve producten en systemen om daarmee de beveiligingsbedrijven en de brandweer beter te ondersteunen.

Wij bieden de lezer veel leesplezier en hopen dat de resultaten hun bruikbaarheid zullen bewijzen. Wij danken de Stichting Innovatie Alliantie (SIA) die het project financieel heeft mogelijk gemaakt. Ook willen we alle studenten, medewerkers van bedrijven en onze collega's bedanken voor hun bijdrage om dit project tot een succes te maken.

*Ronald Tangelder, projectleider,  
Henk van Leeuwen, lector*

# Samenvatting

Na twee jaar met veel studenten te hebben gewerkt aan het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten geeft dit boek een overzicht van de activiteiten die zijn uitgevoerd. In 14 deelprojecten verspreid over vier werkpakketten hebben vooral studenten onder leiding van docenten en medewerkers van het lectoraat Ambient Intelligence in het Kenniscentrum Design en Technologie van Saxion zich verdiept in een breed scala van onderwerpen.

Na een eerste verkenning door middel van literatuurstudie en verkenning van de markt is er gewerkt aan praktische oplossingen van problemen. In de meeste gevallen zijn de oplossingen vormgegeven in echte systemen met de nodige hard-en software. Bij de testen en de experimenten werd duidelijk in hoeverre de oplossing ook echt voldeed als antwoord op de onderzoeksvraag die aan het begin gesteld werd.

Alle deelprojecten zijn beschreven en aan het eind van dit boek worden de belangrijkste conclusies op een rij gezet.

# 1. Inleiding

Het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten is ontstaan uit gesprekken met beveiligingsbedrijven, de brandweer en technologiebedrijven. Voordat we elk deelproject beschrijven, komen de aanleiding tot het project, de partners die eraan deelnamen, de manier waarop het project is uitgevoerd en de resultaten aan de orde. De ambitie die we bij het begin hebben geformuleerd bleek verder te reiken dan in twee jaar kan worden waargemaakt. Vandaar dat aanbevelingen voor een vervolg niet ontbreken.

## Aanleiding

Uit de gesprekken die leidden tot het project kwam een aantal punten naar voren, waarbij de vraag opkwam of slimme sensortechnologie gekoppeld aan communicatie van de sensordata kon bijdragen aan het realiseren van enkele wensen.

Bij een begin van een calamiteit willen hulpdiensten en beveiligingsbedrijven zo snel als nodig is ter plekke zijn om mensen te helpen, schade te minimaliseren, brand te blussen, ongeregelheden in te dammen, diefstal en vernielingen te beperken. Hierbij is de zinsnede 'zo snel als nodig' essentieel. Als het niet nodig is, dan is zo snel mogelijk erop afgaan niet aan de orde.

Wel is het goed de situatie in het oog te kunnen houden. Voor de brandweer is een vals alarm niet alleen een kostbare zaak, maar het is ook een risikante aangelegenheid. Het uitrukken van een brandweerauto houdt risico's in die men niet onnodig wil lopen.

Als de brandweer in actie komt, is het van belang de communicatie met de sensoren in stand te houden om de bevelvoerder een goed beeld te bieden van de zich ontwikkelende situatie. Daarbij gaat het ook om inzicht in de situatie waarin de manschappen zich bevinden. Vooral bij het binnengaan van een brandend gebouw is het belangrijk te weten waar de brandweerman in actie is. Mocht hem iets overkomen, dan moeten collega's hem levend uit het gebouw kunnen halen.

Bij een calamiteit als een brand van een gebouw kan er niet vanuit gegaan worden dat de datanetwerken van het gebouw nog functioneren. Evenmin is er bij een natuurbrand altijd communicatie via de gebruikelijke netwerken mogelijk. Men zit soms op plaatsen zonder dekking van GSM, GPRS etc. Er is in die situaties behoefte aan direct inzetbare nieuwe ad-hoc communicatiefaciliteiten voor het doorgeven van sensordata of voor onderlinge coördinatie.

De wensen die hieruit voortvloeien worden als volgt samengevat. Hoe kan wireless sensortechnologie ondersteunen bij:

- Het tijdig detecteren van een begin van een calamiteit.
- Het bepalen of er mensen in een brandend gebouw aanwezig zijn.
- Het bepalen waar een brandweerman zich bevindt in een brandend gebouw.
- Het faciliteren van ad-hoc wireless communicatie voor de situation awareness bij brandbestrijding en hulpverlening.

Voor technologiebedrijven ligt in deze problematiek een uitdaging om innovatieve technologische oplossingen te ontwikkelen die beter of goedkoper zijn dan wat nu in de markt beschikbaar is. Het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten heeft de ambitie kennis en ervaring op te doen die technologiebedrijven helpen dit te bereiken.

De wensen hebben geleid tot vier werkpakketten:

1. **Branddetectie:** met behulp van een combinatie van nieuwe off-the-shelf sensoren het begin van een natuurbrand vroegtijdig detecteren.
2. **Alarmverificatie:** het toepassen van sensorfusie om de betrouwbaarheid van de interpretatie van waarnemingen te verhogen.
3. **Proximity:**
  - a. Met behulp van sensortechnologie detecteren of en hoeveel mensen zich bevinden in een ruimte.

- b. Mensen ondersteunen met dynamische bewegwijzering om bij brand een gebouw veilig te verlaten.

- c. Indoor-lokalisatie om de positie van brandweermannen in een brandend gebouw real-time te bepalen.

4. **Communicatie:** communicatie van sensordata vanuit een brandend gebouw naar de bevelvoerder via een ad-hoc netwerk.

Binnen elk werkpakket wilden we één of meer demonstrators of algoritmen ontwikkelen en experimenten uitvoeren om de werking te verifiëren. Ons ultieme doel was te komen tot kennis en ervaring die leidt tot systemen waarmee de prestaties verbeterd worden ten opzichte van wat nu gebruikelijk is.

### **Consortium**

Bij de vraagarticulatie die de aanleiding voor het project vormde en de uitvoering ervan zijn partners betrokken met verschillende achtergronden en belangen. De veiligheidsregio en daarbinnen vooral de brandweer hebben een duidelijk operationeel belang. Vanuit de verschillende regio's is geparticipeerd door Veiligheidsregio Twente, Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland (VNOG) en Veiligheidsregio Gelderland-Midden. Het beveiligingsbedrijf dat actief betrokken was, is Vigilat (brede beveiliging) en later ook C24 (vooral cameratoezicht). De bedrijven in het consortium die technologie

ontwikkelen zijn Twente Institute for Wireless and Mobile Communication (TI-WMC), Ambient Systems (wireless sensornetwerken), Inertia Technology (acceleratiesensoren) en Thales Nederland (vooral het D-Cis Lab). Syntens heeft een rol gespeeld in de kennisdisseminatie, evenals het Regionaal Platform Criminaliteitsbeheersing Twente (RPC Twente) dat inmiddels opgegaan is in de Veiligheidsregio Twente.

De samenspraak tussen brandweer, beveiligingsbedrijven en technologiebedrijven maakte het project uniek, doordat vragers en aanbieders van technologie elkaar troffen.

### **Werkwijze**

Binnen elk werkpakket hebben we deelprojecten uitgevoerd. Onder supervisie van docenten en lectoren hebben vooral studenten aan deze deelprojecten gewerkt. Consortiumpartners speelden daarbij een rol als opdrachtgever of als adviseur. Op basis van de resultaten en ervaring in een deelproject hebben we nieuwe deelprojecten ontwikkeld. Soms was het de moeite waard voort te bouwen op een voorgaand deelproject. Soms was het duidelijk dat een nieuwe weg moest worden ingeslagen. Van elk deelproject is een samenvattende beschrijving opgenomen in dit boek. Daarbij wordt duidelijk wat de probleemstelling was, hoe het probleem is aangepakt en wat de bereikte resultaten waren.

### **Kennis delen**

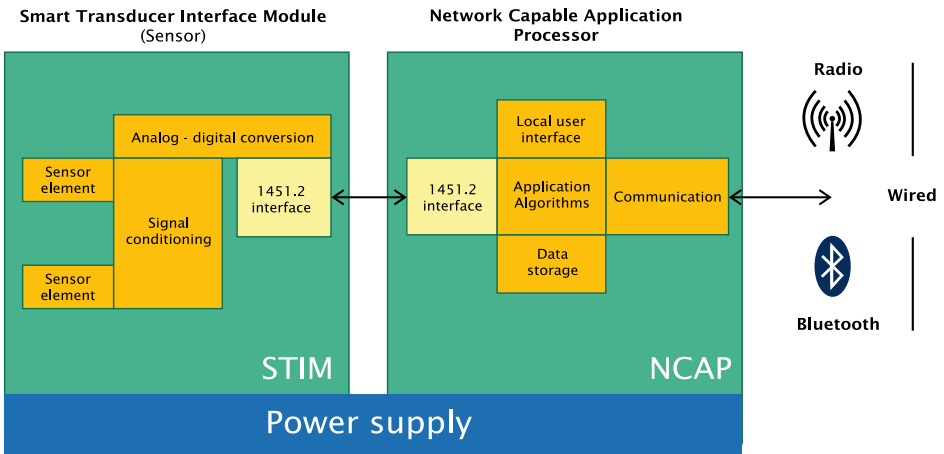
De deelprojecten leverden steeds nieuwe ervaringen op. Elk halfjaar en soms tussendoor werd in netwerkbijeenkomsten verslag gedaan van de bevindingen. Vaak presenteerden de studenten zelf hun resultaten, soms vertelde een consortiumpartner vanuit zijn optiek over een deelproject. Bij de meeste bijeenkomsten gaven sprekers van buiten het consortium hun visie op het belang van de combinatie van technologie en veiligheid of deelden zij ervaringen vanuit eigen activiteiten. De bezoekers kwamen uit verschillende bedrijven en instellingen die voor het merendeel niet bij het consortium-betrokken waren. Via het RPC Twente is het project onder de aandacht gekomen van regionale stakeholders in de veiligheidsproblematiek.

Door een nauwe betrokkenheid bij het ICT Innovatieplatform Sensornetwerken (IIP SN) en SensorUniverse is kennis gedeeld op activiteiten van deze platformen. Vooral in het HBO Team van IIP SN heeft Saxion een belangrijke rol kunnen spelen zoals blijkt uit de Thematische Impuls Intelligente sensornetwerken die door de Stichting Innovatie Alliantie is gepubliceerd. Via de sensoractiviteiten van de branche-federatie FHI konden we kennis delen op de conferentie Sense of Contact. Voor het project is een website ingericht, waarop presentaties en rapporten te vinden zijn: [www.saxion.nl/wireless](http://www.saxion.nl/wireless).

## 2. State of the art Wireless Sensortechnologie

### Wat is een wireless sensor?

In de literatuur komt men verschillende begrippen zoals sensorelement, sensor, en smart sensor. De IEEE 1451.2 standaard definieert een smart sensormodel, dat is weergegeven in de onderstaande figuur.



Wireless sensormodel



Aan de hand van deze figuur worden de volgende definities geïntroduceerd (vertaling op basis van (NRC, 1995)):

- Een sensorelement is een fundamenteel omzettingsmechanisme dat één vorm van energie omzet in een andere vorm. Sommige sensoren bevatten meer dan één sensorelement.
- Een sensor bestaat uit één of meer sensorelementen inclusief verpakking, elektronica en externe verbindingen (het STIM module in bovenstaande figuur).
- Een smart sensor is een sensor met de daarbij behorende (applicatie) processing, dataopslag faciliteiten en communicatiefaciliteiten (het NCAP module).

Enkele voorbeelden: een temperatuursensor zet een thermische waarneming om in een elektrisch signaal waarvan de spanning een indicatie is voor de temperatuur. Een bewegingssensor zet optische of akoestische veranderingen om in een elektrisch signaal dat een buitenverlichting kan doen aangaan. Het begrip sensornode is een alternatief voor het begrip smart sensor, waarbij node duidt op een node in een netwerk van sensoren.

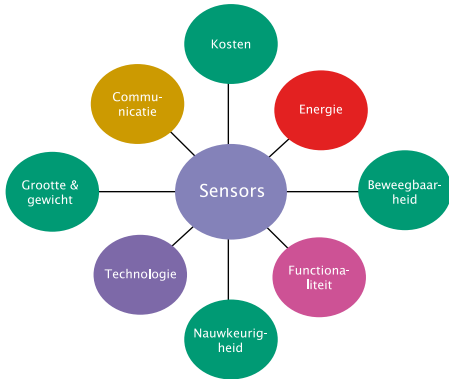
### **Typen sensoren**

Sensortechnologie speelt een belangrijke rol bij het vormen van een beeld van de situatie. Sensoren kunnen worden ingedeeld afhankelijk van de parameter die wordt bemeaten. Denk aan omgevingsensoren voor het meten van temperatuur of de aanwezigheid van gassen als CO<sub>2</sub>. Een ander type zijn sensoren om beweging te meten. Weer van een andere type zijn lichaamssensoren die lichaamscondities meten. Het onderscheid zit vooral in het toepassingsgebied.

### **Algemene eigenschappen**

Ongeacht het toepassingsgebied worden sensoren ook gekenmerkt door een aantal algemene parameters (zie ook Yurish, 2011). Het belang van die parameters is sterk afhankelijk van de specifieke toepassing. Maar het zijn wel deze parameters die maatgevend zijn voor ontwikkelingen op het gebied van sensoren. Algemene sensorparameters die hier worden beschreven zijn ondermeer:

- Kosten
- Grootte en gewicht
- Energieverbruik
- Nauwkeurigheid en gevoeligheid
- Communicatiemogelijkheden
- Functionaliteit
- Beweegbaarheid.

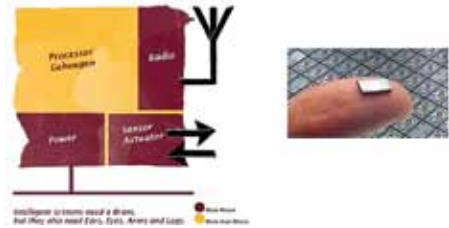


*Sensorparameters*

Het gaat te ver om hier uitgebreid in te gaan op al deze parameters. De parameters zijn bovendien niet allemaal onafhankelijk van elkaar. De ene parameter beïnvloedt andere parameters. Daarom wordt hier ingegaan op een beperkt aantal sensorparameters, die maatgevend worden geacht voor toekomstige ontwikkelingen.

Sensortechnologie ontwikkelt zich snel in positieve zin als het gaat om grootte, kosten, energieverbruik, nauwkeurigheid, integratie en functionaliteit (intelligentie). Dit is vooral te danken aan de ontwikkelingen op het gebied van semi-conducteurtechnologie, nanotechnologie en MEMS-technologie. MEMS duidt op de integratie van mechanische en elektronische componenten op microschaal. Inmiddels heeft dit geleid tot uitdrukkingen als Lab-on-Chip en Sensor-on-Chip met een oppervlakte van enkele mm<sup>2</sup>. De verwachting is dat daardoor de sensormarkt de komende

jaren sterk groeit en vooral die van sensoren gebaseerd op MEMS-technologie. Sensortoepassingen van MEMS zijn ondermeer druksensoren, acceleratiesensoren, licht- en geluidssensoren. Bovendien treedt een verregaande integratie op van computertechnologie met sensor- en communicatietechnologie, zoals in onderstaande figuur wordt verbeeld.



*Integratie op een chip*

Communicatie is een belangrijke parameter van sensoren. Communicatie vormt de basis van draadloze sensornetwerken. Communicatie geeft aan dat meetgegevens verdeeld kunnen worden, zodat informatie van gedistribueerde sensoren gezamenlijk kan worden verwerkt. Communicatie kan draadloos (wireless) zijn of vast (wired). Smart sensors, zoals bewakingscamera's, zijn tegenwoordig standaard voorzien van GSM of WiFi faciliteiten (het sensor web). Kleinschaligere netwerken, zoals een Body-Area-Network (BAN), maken gebruik van Bluetooth, Infrarood (IrDA) of Ultra Wide Band (UWB).

De trend is dat sensorcommunicatie steeds meer gebaseerd zal zijn op standaard mobiele communicatieprotocol-

len. Bij de keuze voor het type communicatie is de frequentie een factor van belang. Voor het werken in natuurgebieden is een frequentie in de orde van 400 MHz meer geschikt dan 2,4GHz. Hier speelt de afstand een belangrijke rol in combinatie met de benodigde energie voor het overbruggen van die afstand. Ook de mate waarin fysieke omstandigheden de demping en reflectie van het signaal beïnvloeden speelt mee.

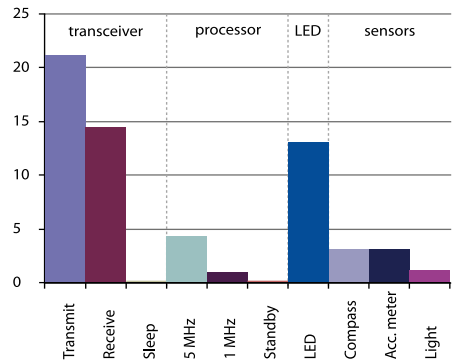


MEMS

Voeding en energieverbruik zijn kritische en vaak beperkende factoren bij het gebruik van sensoren en sensornodes. Als een vaste (wired) voeding of het dagelijks herladen van de batterij een optie is, dan is het probleem beperkt. Maar in sommige gevallen zoals bij draadloze sensornetwerken is dit geen optie. Het credo is dan energiezuinigheid. Omdat communicatie qua energieverbruik de duurste component is, is het van belang communicatie tot het hoogst noodzakelijke te beperken. MEMS-technologie is ook hier van belang in de vorm van miniaturisatie van energiebronnen (AALIANCE).

Een andere belangrijke ontwikkeling is die van energy harvesting en energy

scavengers (Kansal et. al., 2006). Harvesting is het onttrekken en opslaan van energie uit de omgeving zoals wind en zonlicht, of uit beweging en aanwezige elektromagnetische signalen. Het uiteindelijke doel van harvesting is te komen tot de energieneutrale werking van sensornodes



Energieverbruik sensor node [mW]

De beweegbaarheid van een sensor geeft aan of de sensor fixed is, draagbaar is of mobiel is. Een vaste sensor is onderdeel van de omgeving. Draagbare sensoren zijn verwerkt in kleding of anderszins. Draagbare sensoren fungeren als een persoonlijk schild. Mobiel betekent dat de sensor zich al dan niet autonoom kan voortbewegen. Mobiele sensoren zijn het terrein van de robotica. De autonomie van (meerdere) multimodale mobiele sensoren is nog in onderzoek.

Mobiele sensoren zijn zeer geschikt voor het onderzoeken van voor de mens vijandige omgevingen en voor het verschaffen van een helicopterview bij

calamiteiten. Mobiele sensoren zijn nog volop in ontwikkeling.

### Trends

Uit extrapolatie van de ontwikkelingen in de afgelopen decennia en uitgesproken verwachtingen zoals hiervoor beschreven, komt een aantal vooruitzichten naar voren:

De miniaturisatie van sensoren zet door. Dat heeft te maken met de ontwikkelingen in de semi-conductorindustrie en met de voortgang in de nanotechnologie. Sensoren worden gevoeliger en nauwkeuriger. Hierbij moeten we opmerken dat niet alle beschikbare sensoren ook goedkoper en nauwkeuriger worden. Er is onderscheid tussen goedkoop geproduceerde sensoren op basis van bekend concepten, en gespecialiseerde nieuwe sensoren op basis van schaarse materialen en nieuwe concepten die nog niet in massaproductie worden toegepast. Sensoren worden energiezuiniger. Sensoren worden goedkoper en komen steeds meer als off-the-shelf componenten beschikbaar. Sensoren worden slimmer omdat steeds meer embedded processing zal plaatsvinden. Sensoren zullen makkelijker geïntegreerd kunnen worden, omdat ze standaard voorzien worden met communicatiefaciliteiten. De verwachting is dan ook dat sensoren op grote schaal toegepast gaan worden in consumentenproducten en op ad-hoc basis een groter sensornetwerk zullen vormen (Personal-Area-Network, Body-Area-Network, WLAN). Om het boven-

staande te realiseren moeten enkele hindernissen worden genomen in de komende jaren. Die hebben te maken met:

- De beschikbaarheid van energie en het onttrekken van energie op de plek waar de sensoren zich bevinden. Bijvoorbeeld op het lichaam, verweven in kleding of in de vrije natuur.
- De schaarste en prijs van bepaalde grondstoffen en materialen.
- De autonomie van mobiele sensoren.

### Literatuur

**NRC (1995).** *NRC (National Research Council), Expanding the vision of sensor materials, Washington, D.C.: National Academy Press.* (beschikbaar op <http://www.nap.edu>)

**Sergey Y. Yurish (2011);** *Smart Sensor Systems Integration: New Challenges;* The 6th International Conference on Systems (ICONS 2011), St. Maarten, The Netherlands Antilles, 24 January 2011.

**AALIANCE;** *Ambient Assisted Living Roadmap;* <http://www.aaliance.eu/public/documents/aaliance-roadmap/aaliance-aal-roadmap.pdf>

**Aman Kansal, Jason Hsu, Sadaf Zahedi, Mani B Srivastava (2006);** *Power Management in Energy Harvesting Sensor Networks;* ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 2006.

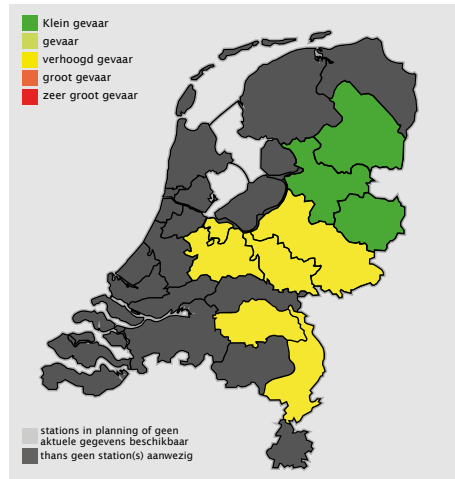
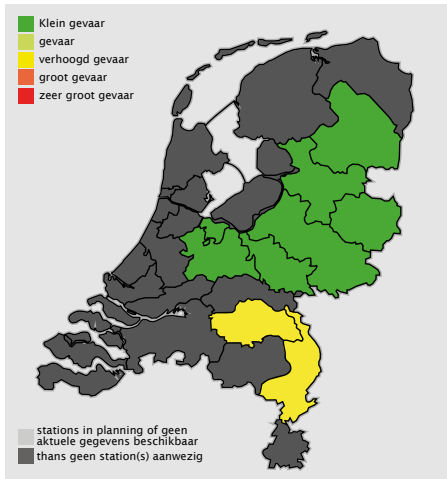
## 3. Werkpakket Branddetectie

Een reeks deelprojecten is uitgevoerd binnen het werkpakket Branddetectie. In een aantal opeenvolgende semesters hebben studenten gewerkt aan een systeem voor sensorwaarnemingen. Daarbij is voortgebouwd op aanbevelingen en deelsystemen die in een vorig semester zijn opgeleverd.

### 3.1 Detectie van (het begin van) een calamiteit

Studenten van de opleidingen Informatica en Technische Informatica/ICT Beheer Arno de Jager, Steven Hogewij, Andreas Richter en Matthijs Visscher hebben met de samenwerkingspartners Veiligheidsregio Noord en Oost Gelderland (VNOG), SavelInc, TNO en de Brandweer Twente een onderzoek verricht, waarbij de kernvraag luidde 'Hoe kan de detectie van (het begin van) een calamiteit verbeterd worden?'. Beoogd resultaat was te komen tot een methode en technologie om brand in een natuurgebied tijdig te detecteren. De studenten hebben een literatuuronderzoek gedaan naar beschikbare technologieën en bestaande toepassingen. Ook hebben zij gesproken met VNOG om inzicht te krijgen in behoeftes en werkwijze van deze organisatie. Eén van de taken van de brandweer is het vaststellen van het natuurbrandgevaar. Daartoe is door TNO een sys-

teem ontwikkeld bestaande uit vaste meetstations die elk acht indicatoren meten, waaronder windsnelheid, temperatuur, neerslag en de droogte van hout. De metingen worden samengevat in de zogenaamde M8-index, die aangeeft wat het natuurbrandgevaar is, oplopend van klein tot zeer groot. Afhankelijk daarvan kunnen voorzorgsmaatregelen worden genomen. Het systeem wordt inmiddels ook door andere veiligheidsregio's toegepast.



Situatie natuurbrandgevaar 'Veilig' respectievelijk 'Verhoogd risico' ([www.natuurbrandgevaar.nl](http://www.natuurbrandgevaar.nl))

Veel meldingen van natuurbranden worden aan de brandweer doorgegeven door wandelaars en toeristen (112). Deze meldingen kunnen erg behulpzaam zijn. Alleen is het vaak ontoereikend doordat de plaats van de waarneming niet specifiek genoeg kan worden gemeld. Het idee is geopperd om een app voor een smart phone te ontwikkelen die de brandmelding doorgeeft met een nauwkeurige positie. Daarnaast wordt, afhankelijk van het natuurbrandgevaar, ook met vliegtuigen gepatrouilleerd.

tot andere in gebruik zijnde systemen. Vanzelfsprekend moet het systeem de detectiekans verhogen, terwijl het aantal valse meldingen beperkt blijft.

De brandweer is geïnteresseerd in het toepassen van slimme technologie voor het detecteren van natuurbranden, maar stelt daaraan wel eisen. Zo moet het systeem onderhoudsvriendelijk zijn, moeten de exploitatiekosten draagbaar zijn en in verhouding staan

## Technologie en systemen

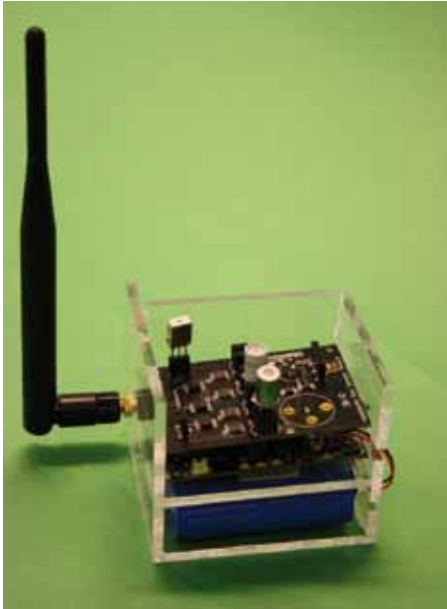
In de onderstaande tabel zijn de onderzochte technologieën samengevat.

| Technologie                      | Omschrijving  | Opmerkingen   |
|----------------------------------|---|---|
| Camera's                         | Gecombineerde TV en infraroodcamera's voor 24/7 surveillance      | <ul style="list-style-type: none"><li>- Privacygevoelig</li><li>- Relatief hoge falsealarm rate</li><li>- Bediening</li></ul>   |
| Satelliet                        | Satellietopnames gebruiken voor de bewaking van een gebied        | Voor Nederlandse doeleinden een te lage resolutie in plaats en tijd   |
| Unmanned Aerial Vehicles (UAV's) | Met camera's en andere sensoren uitgeruste onbemande vliegtuigjes | <ul style="list-style-type: none"><li>- Alleen bruikbaar in line-of-sight</li><li>- Inzetbaarheid beperkt tot max. 2 uur</li><li>- Privacygevoelig</li><li>- Bediening en onderhoud</li></ul> |
| Wireless sensornetwerken         | Aantal kleine nodes voorzien van sensoren en radio                | <ul style="list-style-type: none"><li>- Klein bereik sensoren</li><li>- Duurzaamheid / energie</li></ul>  |

We adviseren het gebruik van wireless sensornetwerken verder te onderzoeken als middel voor het detecteren van natuurbranden. De duurzaamheid kan worden ondervangen door energy harvesting: het opwekken van energie uit de omgeving, zoals wind- en zonne-energie.

### Wasp node

De Wasmote node is een voorbeeld van een node in een wireless sensor-netwerk. Deze node heeft ingebouwde GPS en ondersteunt protocollen zoals ZigBee en GSM / GPRS voor het verzenden van sensordata en alert SMS'en.



*Libelium Wasmote*

De node heeft een aantal standaard sensoren voor het meten van ondermeer CO, CO<sub>2</sub>, temperatuur en luchtvochtigheid en is daardoor zeer geschikt voor het detecteren van natuurbranden. De node kan worden uitgebreid met iedere commercieel beschikbare sensor, mogelijk zelfs TV/IR- camera's. De Wasmote kan geleverd worden met zonnepaneeltje.

Voor software- ontwikkeling is er de Wasmote IDE die beschikbaar is voor ondermeer Windows en Linux.

### Wireless sensor netwerk

Bij het inzetten van een wireless sensor-netwerk voor natuurbranddetectie moet goed bekeken worden waar en hoeveel nodes ingezet moeten worden. Volledige sensordekking is niet haalbaar, maar is ook niet nodig. Deze analyse geeft ook inzicht in de aanschafkosten. Speciale aandacht gaat uit naar bescherming van kampeertreinen, zorginstellingen en dergelijke in natuurgebieden. De nodes kunnen voorzien worden van intelligentie, zoals drempelwaarden en adaptief bemonsteren, afhankelijk van het natuurbrandgevaar en gemeten waarden. Daardoor kan zuinig met de energie worden omgegaan. Zenden is de meest kostbare activiteit en moet daarom alleen plaatsvinden als het echt nodig is. Uiteindelijk komen de relevante sensordata binnen op de computer van de meldkamer en worden de data geïnterpreteerd. Voor onderhoudsdoeleinden verzenden de nodes periodiek een alive bericht, zodat de actuele status van het netwerk gevisualiseerd kan worden.

### Aanbeveling voor vervolg

Voor de brandweer is het de moeite waard kennis te krijgen van sensornetwerken met specifieke sensoren. Een open vraag is op welke onderlinge afstand sensoren geplaatst moeten worden. Bij te kleine onderlinge afstand zijn



er te veel sensoren nodig om de kosten ervan te kunnen verantwoorden. De studenten adviseren om met wireless sensor technologie te experimenteren en de effectiviteit te onderzoeken. Dit biedt de mogelijkheid om op een slimme manier waarnemingen van diverse, gedistribueerde sensoren te combineren en zodoende tijdig een betrouwbaar beeld te krijgen van de situatie.

### 3.2 Ontwerp sensornetwerk voor branddetectie

Peter Winterberg, Sander Marsman, Tom Baten, Kelvin ten Vregelaar, studenten Technische Informatica van de specialisatie Real-time Embedded Systemen, hebben in samenwerking met de Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland (VNOG) een systeem ontwikkeld dat meldingen genereert als er brand wordt gedetecteerd. Zij hebben hierbij gebruik gemaakt van wireless nodes, waarop sensoren zijn gemonteerd die de omgeving 'aftasten'. Deze nodes sturen dan de gemeten waarden periodiek naar een centraal punt. Vanuit dit punt worden de waarden naar een server gestuurd, waar ze opgeslagen worden. Tevoren was een aantal criteria bepaald waaraan het systeem moest voldoen:

1. Het netwerk moest in staat zijn door middel van sensoren een brand te detecteren.
2. De tijdsduur tussen detectie en de melding bij de eindgebruiker mocht maximaal 15 minuten bedragen.
3. Het netwerk/nodes moesten zelfvoorzienend zijn qua energie.
4. Het netwerk moest communiceren met een centraal systeem, bijvoorbeeld via GPRS.
5. Het systeem moest temperatuur, luchtvochtigheid, windrichting en windsnelheid meten.
6. Productie-/aanschafkosten moesten rendabel zijn.
7. Het systeem moest onderhoudsvriendelijk zijn.
8. Het systeem moest robuust zijn.
9. Het systeem moest vandalismebestendig zijn.
10. Het systeem moest makkelijk verplaatsbaar zijn.

De studenten hebben in een vooronderzoek de mogelijkheden en restricties op de Veluwe in kaart gebracht. Ook was het belangrijk te weten wat bij een brand te verwachten is. Dit vooronderzoek was ook bedoeld om inzicht te krijgen in de verschillende methoden en mogelijkheden om een brand te detecteren. Hierbij is informatie uit het vorige deelproject gebruikt. Na de afronding van het vooronderzoek hebben de studenten drie scenario's verder bekeken.

#### Camerascenario

Bij dit scenario hebben de studenten gekeken naar het plaatsen van infrarood-camera's in risicovolle gebieden. Deze camera's kunnen tot wel 5 kilometer ver brandhaarden detecteren. De gevoeligste camera kan een persoon van 1.80 meter die een sigaret rookt,

vanaf deze afstand detecteren. Om voldoende dekking te bieden in een gebied van 30 x 30 kilometer zijn er 16 camera's nodig. Iedere camera heeft een gemiddeld detectiebereik van 5 kilometer.

Om een bebost gebied te monitoren moeten de camera's op palen of bestaande GSM-masten worden gemonitord die (hoog)boven de boomtoppen uitkomen. Als er een vlakke moet worden gemonitord met weinig bebossing moeten er hoge palen worden geplaatst. De communicatie met dit systeem kan via drie verschillende manieren worden bewerkstelligd, te weten: bijvoorbeeld TCP/IP, RS232 en RS485. Het is dan de bedoeling dat wanneer de camera's iets detecteren de beelden hiervan via één van de reeds genoemde interfaces worden verzonden naar een centraal punt. Dit kan een meldkamer of een andere ingerichte ruimte zijn waar men deze camera's op afstand kan besturen en waar men ook de live-beelden kan bekijken. Het onderzochte scenario met camera's was al eens eerder door de VNOG onderzocht en bleek te vaak valse alarmen af te geven. Dit is niet wenselijk en er zijn met deze camera's moeilijk brandhaarden te detecteren in beboste risicogebieden. Dit omdat deze camera's geen direct zicht hebben op deze risicogebieden.

### Satellietscenario

Bij dit scenario hebben de studenten gekeken of het mogelijk is om met een satelliet de gehele Veluwe te monitoren. Er is al een aantal satellieten speciaal

ingericht om bosbranden te detecteren. Deze satellieten bevinden zich voornamelijk boven Noord-Amerika. Deze satellieten hebben een resolutie van 1,1 km<sup>2</sup>. Dit systeem is dus zeer handig als er grote oppervlakten gemonitord moeten worden. Dit alles gebeurt met een geostationaire satelliet. Dit houdt in dat deze boven een vast punt op de aarde zweeft. Deze satelliet draait dus in feite met de aarde mee.

De oplossing met een satelliet bleek veel te duur en niet nauwkeurig genoeg te zijn. Een geostationaire satelliet de lucht in sturen kost ongeveer 290 miljoen euro en de resolutie hiervan is 1,1 km<sup>2</sup>. Dit is handig als men grote bosgebieden wil monitoren, zoals in Noord-Amerika wordt gedaan, maar in Nederland is dit totaal niet relevant.

### WSN (Wireless Sensor Network) scenario

Uit de resultaten van de hiervoor onderzochte scenario's bleek dat er maar één scenario overbleef dat kansrijk is voor het project. Dat is het WSN-scenario en is ook gelijk het scenario waarvan de VNOG in de toekomst gebruik wil maken.

In dit deel van het onderzoek hebben de studenten onderzocht hoe reëel het is om een WSN te gaan gebruiken. Hiervoor kwam een sensornetwerk uit Spanje, van het bedrijf Libelium, in aanmerking. Libelium is gespecialiseerd in omgevingsmonitoring, waaronder bosbranddetectie. De sensor-nodes, de zogenaamde WaspMotes,

zijn voordat aan dit project begonnen werd al eens oppervlakkig onderzocht door de vorige projectgroep. De keuze viel op de WaspMotes omdat deze nodes in Spanje al op grote schaal schijnen te worden gebruikt en omdat er berichten waren dat met dit systeem goede resultaten waren geboekt.

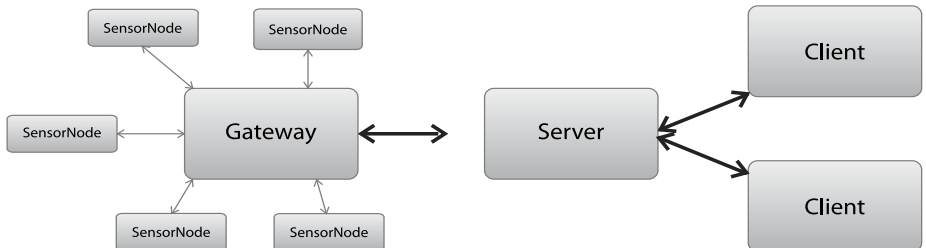
Naar aanleiding van het gesprek met de VNOG en de onderzoeksresultaten zijn de studenten begonnen met de implementatie en realisatie van een WSN.



Sensorboard

Dit systeem is opgebouwd uit meerdere onderdelen. Allereerst is er het WSN-gedeelte en het servergedeelte. Het WSN-gedeelte doet de metingen in het veld en stuurt deze naar de server, waar ze verwerkt worden en zonodig een melding kan worden gegeven. Het WSN is weer onderverdeeld in sensor-nodes. Dit zijn nodes die daadwerkelijk de sensoren uitlezen en een gateway om de informatie naar de goede plek te leiden. De gateway verzamelt alle meetgegevens en stuurt deze door naar de server.

Onderstaande afbeelding laat een overzicht van het systeem zien.



Architectuur detectiesysteem

## De back-end

De server zelf is ook weer onderverdeeld in meerdere onderdelen. Allereerst draait op de server een data-receiver. Dit proces wacht op een verbinding met een gateway. Zodra deze verbinding er is ontvangt deze de meetwaarden en schrijft deze weg. Dit wegschrijven gebeurt in zowel in een SQL-database als in XML-files. Als tweede proces draait een server-applicatie. Dit proces bekijkt de SQL-database en XML-files en maakt deze beschikbaar voor eventuele cliënten. Een cliënt kan niet zelf verbinding maken met de SQL-database of XML-files inlezen. Daarnaast controleert dit proces of er opmerkelijke gegevens instaan. Dit gebeurt door validatie van meetgegevens. Ook controleert dit proces of er thresholds zijn overschreden. Als dit het geval is wordt de ernst van het probleem bepaald. Zonodig wordt er een verantwoordelijke op de hoogte gesteld. Dit kan op de volgende manieren: SMS, E-mail, C2DM en APNS. De laatste fineses van dit ontwikkelde systeem moeten nog geïmplementeerd worden. Als het systeem af is moeten er nog veldtesten worden uitgevoerd om te kijken of het ook inderdaad werkt, maar bovenal of het geschikt is om vroegtijdig bosbranden te detecteren

## Ervaring met het wireless netwerk

De nodes van Libelium bleken minder bruikbaar dan verwacht. Het geleverde wireless sensornetwerk bleek nog geen voltooid product te zijn. De studenten

hebben veel energie moeten steken in het doorgronden van de software en het achterhalen van fouten die het functioneren van het netwerk belemmerden. Een aantal problemen is opgelost, maar het werk om het netwerk beter te laten functioneren is voortgezet in het volgende deelproject.

## Literatuur

*Digimesh protocol* <http://www.digi.com/technology/digimesh/>

**Javier Solobera**, *Detecting forest fires using Wireless Sensor Networks with WaspMote*, 09 april 2010, <http://www.libelium.com/libeliumworld/articles/101031032811>

## 3.3 Implementatie hybride sensornetwerk voor branddetectie

Kelvin ten Vregelaar, student Technische Informatica, heeft in samenwerking met Veiligheidsregio Twente en de Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland (VNOG) en studenten uit de specialisatie Real-Time Embedded Systemen, een onderzoek gedaan naar branddetectie met behulp van van slimme sensoren. In dit deelproject heeft Kelvin in zijn eentje zelfstandig verder gewerkt aan het werk beschreven in de vorige paragraaf (3.2).

Doel was om in een vroeg stadium het begin van een brand tijdig en betrouwbaar te kunnen vaststellen. Voor dit onderzoek zijn wireless sensornodes van de Spaanse firma Libelium gebruikt. Daarnaast zijn wireless sensor-

nodes van de Enschedese firma Ambient Systems gebruikt. Beide systemen zijn voorzien van sensoren die CO<sub>2</sub> kunnen detecteren. De sensornodes sturen de gemeten waardes naar de gateway van de fabrikant. Beide gateways sturen de verzamelde meetgegevens door naar de server. De server bekijkt de ontvangen meetwaardes en bepaalt of er een brand is. Als er een brand is stuurt de server meteen een melding naar de brandweer. Nadat de meetwaardes zijn gecontroleerd worden ze opgeslagen, zodat ze eventueel later via een cliënt opnieuw bekeken kunnen worden.

Het interessante resultaat van dit deelproject is dat er een integratie is gemaakt van twee afzonderlijke sensornetwerken namelijk die van Libelium en die van Ambient Systems. Vroeg het netwerk van Libelium nog om veel extra herstelwerk om het goed draaiend te krijgen, het systeem van Ambient Systems werkte bij aflevering meteen zoals het hoorde. Bovendien bleek de software van Ambient Systems het doorgeven, opslaan en zichtbaar maken van sensordata goed te ondersteunen.

De cliënt is een applicatie die verbinding maakt met de server, op de cliënt kunnen live de meetwaardes worden bekeken, waarbij ook de bijbehorende grafieken worden getekend. Daarnaast bevat de cliënt een mogelijkheid om oude metingen terug te bekijken, zodat een brand later geanalyseerd kan worden.

Ook hebben de studenten proefondervindelijk bepaald hoe groot de dichtheid van het sensornetwerk moet zijn om betrouwbaar te zijn onder alle omstandigheden (denk hierbij aan verschillende weersomstandigheden).

Vooraf hadden we de systeemeisen als volgt bepaald:

- Het product moet in staat zijn door middel van sensoren een brand te detecteren.
- De tijdsduur tussen detectie en melding bij de eindgebruiker bedraagt maximaal 15 minuten.
- Productie/aanschafkosten moeten rendabel zijn.
- Het systeem moet onderhoudsvriendelijk zijn.
- Het systeem moet robuust zijn.
- Het systeem moet makkelijk verplaatsbaar zijn.
- Meetgegevens moeten makkelijk te bekijken en te analyseren zijn.

De student heeft het systeem opgeleverd. Bovendien heeft hij de software en documentatie voor het Libelium-systeem op orde gebracht. Voor het geïntegreerde systeem van Libelium, Ambient Systems de server en cliënt zijn door hem bruikbare handleidingen geschreven.



*Nodes van Ambient Systems*

### **Adviezen voor vervolg**

Het doel van deze opdracht was het opzetten van een systeem dat rondom een risico-object een brand kan detecteren en melden aan de brandweer. Aan het eind van dit project is dit nog niet helemaal afgerond. Dit komt voornamelijk door de vele onverwachte problemen met het Libelium-systeem. Als workaround sturen de sensornodes de gemeten gegevens direct naar de server in plaats van via een gateway. Het grootste nadeel aan deze methode is dat de server nu op maximaal 100 meter van de nodes af mag staan, waar dit anders geen afstandsbeperking was geweest.

Het tweede belangrijke punt dat mist is het algoritme om een brand te detecteren. Dit algoritme is nog niet af, omdat er nog niet genoeg testen zijn gedaan

om een betrouwbaar algoritme op te kunnen stellen. Als tijdelijke oplossing wordt er alleen gekeken naar de parts per million (PPM) van CO<sub>2</sub>. Indien dit boven een ingestelde hoeveelheid komt wordt er alarm gegeven.

Afgezien van deze twee punten werkt het hele systeem goed samen. De server kan meetwaarden van zowel het Ambient Systems-systeem en het Libelium-systeem ontvangen en verwerken. De metingen worden gecontroleerd en opgeslagen. Ook de cliënt is volledig functioneel en kan zowel live metingen bekijken als de historie opvragen.

De Brandweer Twente en soortgelijke organisaties zouden een verder uitontwikkeld systeem kunnen gebruiken. Het is daarom wenselijk verder te onderzoeken of de problemen met het Libelium-systeem opgelost kunnen worden. Hierbij valt te denken aan meerdere veldtesten, waarbij zowel van de sensoren van Ambient Systems als van Libeliumgebruik gemaakt wordt en bekeken wordt of er alternatieven zijn voor de CO<sub>2</sub>- en CO-metingen. Hierbij valt te denken aan een elektronische neus.

## 4. Werkpakket Alarmverificatie

In het vorige werkpakket is gebouwd aan een instrumentarium om brand te kunnen detecteren. In dit werkpakket gaat het twee aansluitende zaken. Er zijn experimenten uitgevoerd met het gebouwde systeem en er is een keus gemaakt voor statistische algoritmen. Deze algoritmen zijn nodig om uit het verloop van gemeten sensorwaarden conclusies te kunnen trekken. De kernvraag is of uit de sensordata de conclusie kan worden getrokken 'Er is brand'.

### 4.1 Branddetectie: Scenario's voor experimenten met sensoren

Jack Krielen, student van de hogeschool Avans, heeft in samenwerking met de Brandweer Twente, de Veiligheidsregio Noord- en Oost Gelderland (VNOG) en Ambient Systems onderzocht hoe men in open gebied, zoals de Sallandse Heuvelrug, vroegtijdig een brand kan detecteren met wireless sensoren.

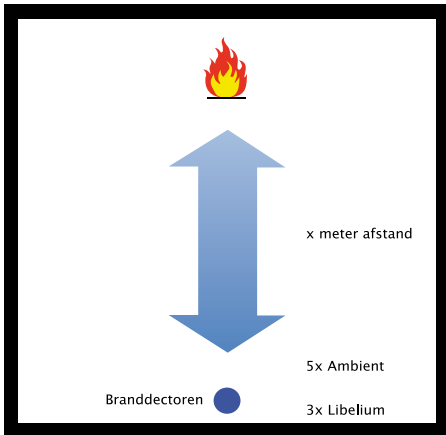
Deelvragen in dit onderzoek waren:

- Welke scenario's kunnen uitgevoerd worden en kunnen worden gecontroleerd op betrouwbare gegevens?
- Hoe reageert een sensor in bepaalde omstandigheden, zoals in de nacht, tijdens sneeuw, regen of hagel?
- Wanneer is er sprake van een betrouwbare melding met bepaalde sensoren in een open gebied, waarbij de brandweer ter plaatse moet komen?

Doel van dit onderzoek was te komen tot een oordeel over de bruikbaarheid van bepaalde sensoren bij branddetectie in natuurgebieden. Jack heeft meerdere scenario's opgesteld om met sensoren aan de hand van verschillende parameters brand en vooral het begin van brand te detecteren. Het doel was om op basis van de sensordata aan te kunnen geven welke parameters snel en betrouwbaar een indicatie van brand opleveren.

#### Eerste scenario: meten wij iets?

In het eerste scenario is onderzocht in hoeverre de sensoren voor CO, CO<sub>2</sub>, temperatuur en luchtvochtigheid, onderling overeenkomstige waarden meten. Om de testen herhaalbaar te maken, heeft hij alle factoren van de situatie waarin de sensoren meten, gedocumenteerd. Om de metingen herhaalbaar te maken werden ze in het eerste scenario in een gebouw uitgevoerd. Hier konden we de temperatuur, wind, brandstof en andere omstandigheden controleerbaar houden. In dit eerste scenario gold een nulsituatie: geen brand. De gebruikte opstelling is hieronder schematisch te zien.



*Plaatsing van de sensoren*

### **Tweede scenario: plaatsing van sensoren**

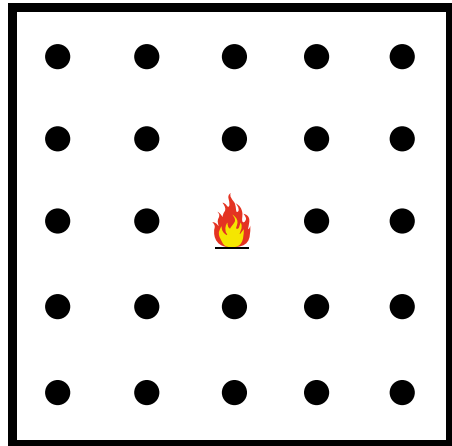
Vervolgens is het experiment opnieuw uitgevoerd. Eerst met weinig en later met veel vuur. Er werd een brandhaard gecreëerd met pallets. In dit scenario ging het erom het verloop van de gemeten sensorwaarden te zien vanaf het begin van een brand.

### **Derde scenario: buitenbrand**

Het doel van deze meting was om te onderzoeken in welke mate een brand buiten een gebouw is te meten met de beschikbare sensoren. Daarbij moesten we rekening houden met niet controleerbare omstandigheden, zoals de windrichting en windkracht. De verwachting was dat niet op elke positie rond de brandhaard hetzelfde gemeten kan worden. De herhaalbaarheid is daarom moeilijker te realiseren. Het zijn de weersomstandigheden die

minder gecontroleerd kunnen worden. Alle variabele factoren zijn beschreven om metingen onder vergelijkbare omstandigheden te kunnen analyseren.

Voor het uitvoeren van de meting hebben we een raster opgezet. Dit raster diende als meetlocatie rondom de brand. De vraag die we wilden beantwoorden was op welk punten de sensoren een verhoogde waarde geven. Op hoeveel meter afstand en op welke positie ten opzichte van de brandhaard kan een sensor het best geplaatst worden om een brand te kunnen ontdekken?



*Raster van sensoren*

Voor de uitgemeten meetpunten, zijn we met de sensoren gedurende twee minuten op met een stip aangegeven locaties gaan staan. Hierbij werd de brand continu aangehouden door een stoker. Bij het meten van CO hebben



we de brand steeds opnieuw aangestoken, om vaak het begin van een brand te creëren. Het begin is voor het meten van CO van belang, omdat er dan sprake is van onvolledige verbranding. Bij een groot vuur komt door de volledige verbranding veel CO<sub>2</sub> vrij, maar nauwelijks CO. Wanneer er binnen het raster geen stijging van de waarde van de sensoren werd ontvangen, vergrootten of verkleinden we de onderlinge afstanden van de rasterpunten. Op woensdag 7 december 2011 hebben we op het terrein van het trainingscentrum Oost-Nederland (TRONED) van de brandweer Twente de eerste testen gedaan met de CO<sub>2</sub>-, luchtvochtigheid- en temperatuursensoren van Ambient Systems. Voor dit experiment hebben we een brandbestendige loods gebruikt.



*De loods voor de indoorexperimenten*

Tijdens deze eerste test bleek dat op de grond geen stijgende CO<sub>2</sub>-waarde gemeten werd. Dat was te verwachten. De rook stijgt op en hangt onder het plafond. Door de sensoren op twee meter hoogte te plaatsen werd het mogelijk effectievere metingen te doen.



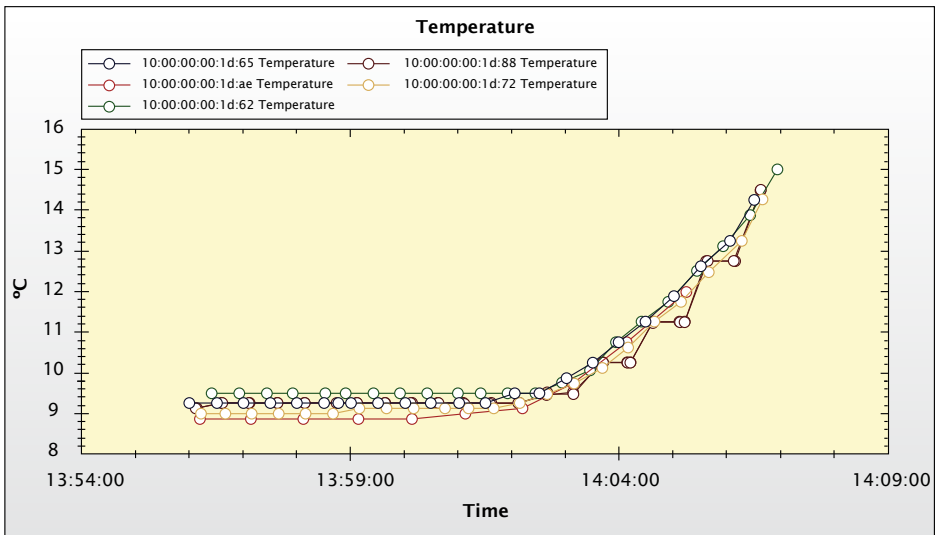
*De opstelling van de sensoren: eerst laag, later hoog.*

De loodsdeuren bleven open om een natuurlijk trek te veroorzaken. Op de afbeelding is te zien dat deze deuropening later is verkleind om de rook minder snel te laten uitstromen.

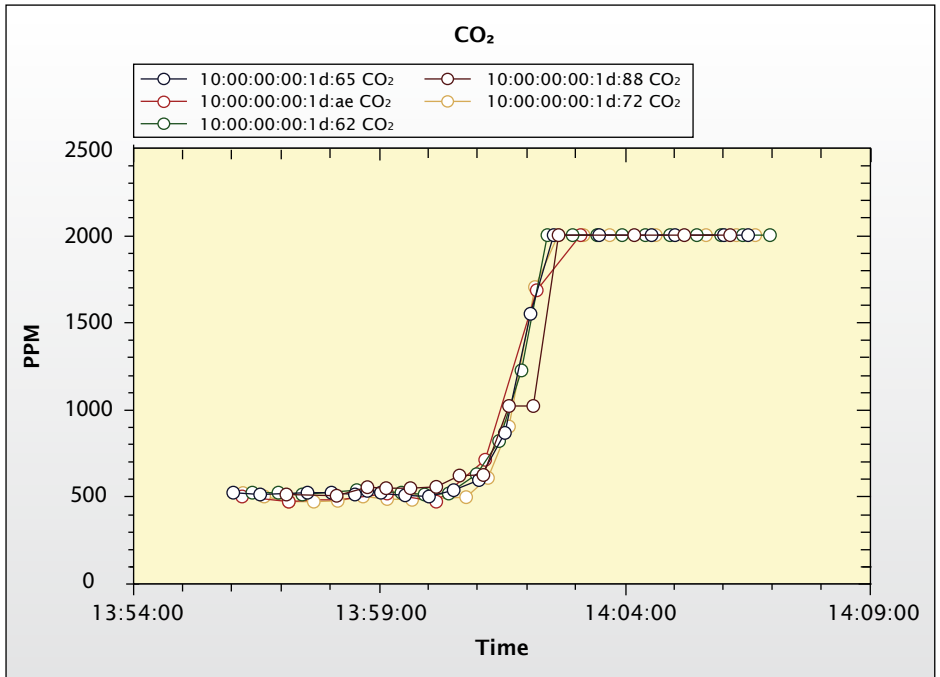


Observatie van het experiment

De brandhaard werd vervolgens vergroot van 2 pallets naar 5 pallets. De tijd van aansteken betekent ook de tijd van starten van de test. De grafiek laat de stijging van de gemeten CO<sub>2</sub>-waarden zien.



Temperatuur (°C) eerste test

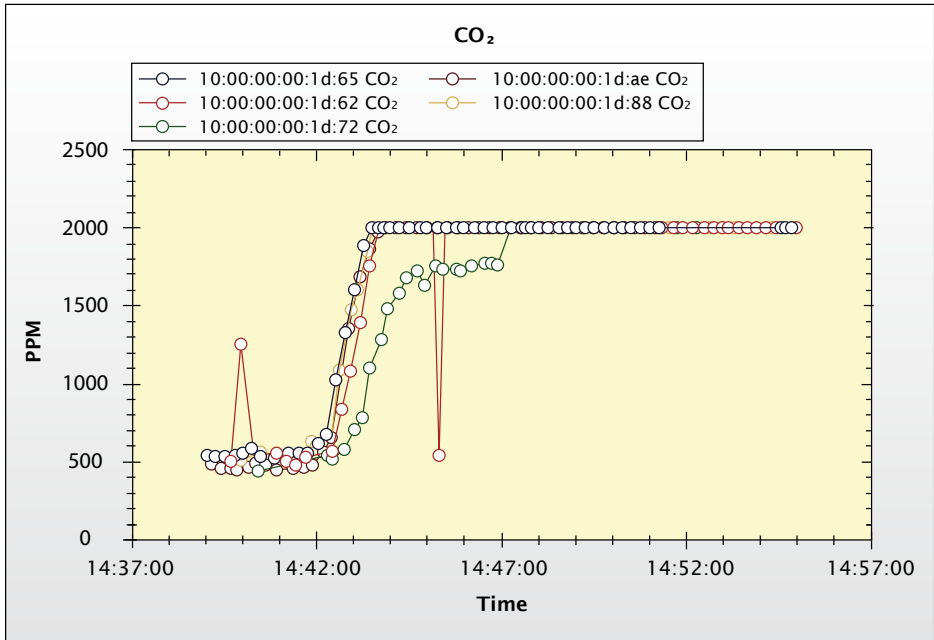


*CO<sub>2</sub>-gehalte (PPM) eerste test*

In de grafiek te zien is dat de sensoren binnen een minuut aan hun maximale meetwaarde zitten. In de test was ook zichtbaar dat de sensoren zich in de lichte rook van de brand bevonden. In tegenstelling tot onze verwachtingen werd de temperatuur niet echt hoog op de positie van de sensoren. Er trekt vrij veel aangezogen lucht van buiten langs de sensoren.



*De laptop als server*

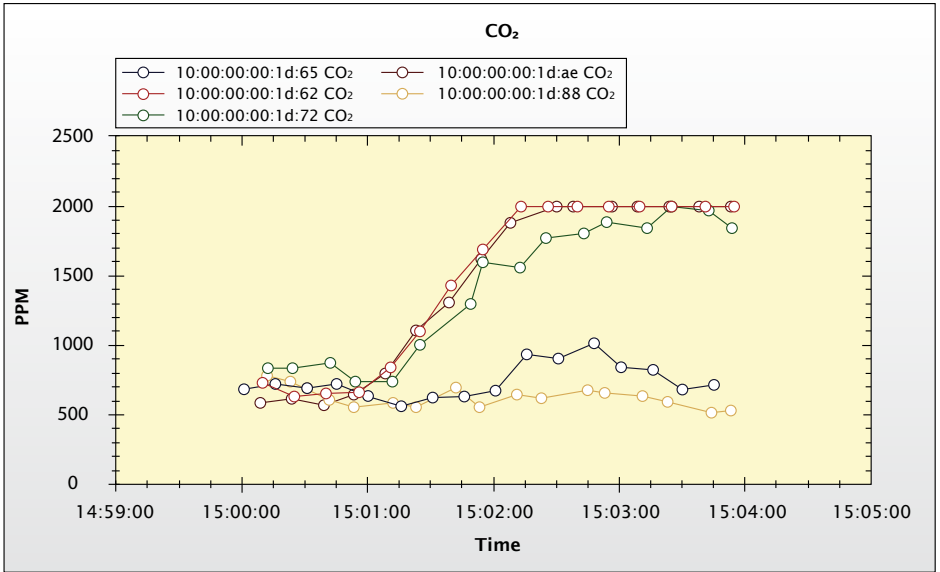


CO<sub>2</sub>-gehalte (PPM) tweede test

Bij de tweede test hebben wij opnieuw CO<sub>2</sub> gemeten.

Hierna kwam de vraag op welke invloed de afstand heeft. Daarvoor is een experiment gedaan waarbij vijf sensoren in een rechte lijn op een afstand van respectievelijk 5, 6, 7, 8, 9 en 10 meter van de brand werden opgesteld.

Hierdoor ontstond het volgende beeld:



CO<sub>2</sub>-gehalte (PPM) derde test

Hierin valt op dat de sensoren (blauw en gele curves) die buiten de loods stonden nauwelijks een stijging van CO<sub>2</sub> hebben gemeten. Enkele weken later hebben we een experiment uitgevoerd om in de open lucht bij een brand CO<sub>2</sub> te meten. Daarbij bleken de gemeten waarden bij het begin van de brand niet of zo weinig te variëren dat een indicatie van brand niet betrouwbaar te geven was.

### Advies voor vervolg

De conclusie is dat de sensoren van Ambient Systems indoor goed te gebruiken zijn, zowel qua meting als qua communicatie van gemeten waarden naar de centrale laptop. De outdoor-meting liep wel goed, maar de gemeten waarden lagen erg dicht bij de waarden gemeten zonder brand, waardoor het onderscheidend vermogen ontbrak. Meer outdoor-metingen met diverse sensoren en onder specifiekere omstandigheden zijn daarom gewenst.



Buitenmeting

## 4.2 Data fusion in Wireless Sensor Networks

Marcel van Oosterwijk heeft in overleg met Henk van Leeuwen een onderzoek uitgevoerd op het gebied van data fusion. Daarvoor is advies ingewonnen bij Nirvana Meratnia (UT) en bij Job Oostveen en Bram van der Waaij (beiden TNO).

Bij het detecteren van natuurbrand met off-the-shelf sensoren moet rekening gehouden worden met onbetrouwbaarheid van de interpretatie van sensordata. Bovendien kan een sensor, bijvoorbeeld een camera, verschijnselen waarnemen die lijken te wijzen op een brand, terwijl het verschijnsel niet door brand veroorzaakt wordt. Denk aan een stofwolk op een akker die lijkt op een rookpluim. De vraag is dan ook: hoe kan sensordata zodanig geanalyseerd en geïnterpreteerd worden dat

- a. bij een begin van brand wel een alarm wordt afgegeven;
- b. in een situatie waarin van brand geen sprake is, geen alarm wordt afgegeven.

Om het probleem op te lossen is gezocht naar typen sensoren die de meest relevante factoren detecteren die wijzen op een begin van brand en naar algoritmen en statistische analyses die leiden tot een valide interpretatie. Hiertoe is eerst een literatuuronderzoek uitgevoerd naar voor branddetectie relevante sensoren,

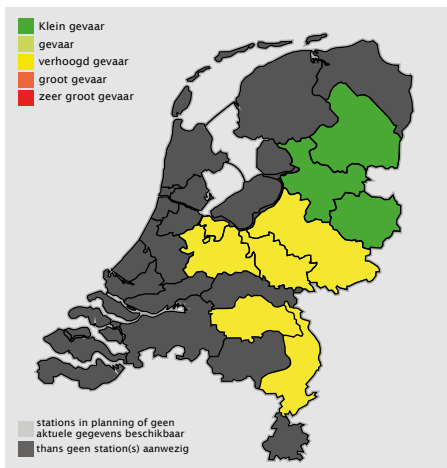
wireless sensornetwerken en datafusie. Tegelijkertijd zijn gesprekken gevoerd met de brandweer Twente over de huidige manieren om brand te detecteren in natuurgebieden. Vervolgens is naar statistische methoden gezocht die hoge betrouwbaarheid hebben bij de interpretatie van afwijkende sensordata. Met afwijkende data bedoelen we in dit geval sensorwaarden die bij afwezigheid van brand in het algemeen weinig voorkomen en dus zouden kunnen duiden op brand.

### Nederlandse situatie

Om natuurbranden tijdig waar te nemen wordt in Nederland sterk gelet op weersomstandigheden die gunstig zijn voor het ontstaan van een natuurbrand. Droog weer, zeker aanhoudend droog weer, verhoogt de kans op natuurbrand.



*Natuurbrand*



*Natuurbrandgevaar*

Het KNMI geeft daarom ook informatie die de risico's in kaart brengt. In enkele natuurgebieden is door de overheid een standaardopstelling geplaatst die de droogte van dood hout nauwkeurig in de gaten houdt om een inschatting te kunnen maken van de droogte van de natuur. En tweede factor is de wind. Bij sterke wind zal een eenmaal ontstane brand zich snel kunnen verspreiden.



*Bosbrand*

Voor de brandweer is tijdig waarnemen van brand van groot belang. Men wil snel ter plaatse zijn om de brand te bestrijden en te voorkomen dat de brand zich uitbreidt. In tijden dat de kans op een brand in natuurgebieden groot is vliegt men rond met kleine vliegtuigen van waaruit mensen de gebieden met het oog in de gaten houden. Ook worden uitzichttorens bemenst van waaruit men rond kijkt om brand te zien.

In de praktijk blijkt dat veel natuurbranden door mensen die toevallig in de buurt zijn vrij snel telefonisch worden doorgegeven aan de meldkamer. Aangezien bij de melding de locatie in de meeste gevallen niet nauwkeurig vermeld wordt, kan een app met locatiebepaling een goede aanvulling zijn op onderstaand onderzoek.

Veel literatuur gaat over branddetectie in het buitenland. De omstandigheden kunnen drastisch verschillen met de Nederlandse situatie. Natuurgebieden zijn vaak veel groter, de bewoningsdichtheid is veel kleiner en de weersomstandigheden kunnen aanzienlijk verschillen. Dat betekent in veel gevallen dat langere aanrijdtijden geaccepteerd worden en dat men qua tijdigheid van detectie andere eisen stelt.

## Typen sensoren

In de literatuur worden de ervaringen met tal van sensoren beschreven. We noemen camera's, rooksensoren, sensoren om gasconcentraties te meten, vochtigheidssensoren, temperatuursensoren en ionisatiesensoren.

Camerabeelden kunnen detectie ondersteunen, maar de kans op vals alarm is groot, indien alleen afgegaan wordt op de camera. Andere verschijnselen kunnen lijken op rook van vuur en niet door de camera worden onderscheiden van echt vuur. Dit geldt temeer daar waar camerabeelden gebruikt worden voor waarneming op grote afstand. Temperatuur is een factor die in het wisselend weerbeeld in Nederland en de dichte bewoning en verkeersbewegingen moeilijk als enige indicatie voor het ontstaan van brand gebruikt kan worden. Warmtebeeldcamera's (infrarood) kunnen dus maar beperkt ingezet worden. De oorzaken van een sterke temperatuurstijging kunnen zeer divers zijn en hoeven niet door brand veroorzaakt te worden. In de literatuur is men het erover eens dat temperatuur niet de sterkste indicator is voor branddetectie.



*Meetopstelling in het veld*

Bij het meten van gasconcentraties wordt vooral aandacht geschonken aan CO en CO<sub>2</sub>. Een verhoogde concentratie van CO kan worden veroorzaakt door niet brandend vuur. Denk hierbij aan smeulend vuur. Dat komt voor bij het begin van een brand en aan het einde van de brandcyclus. In beide gevallen is er sprake van smeulend materiaal. Een verhoogde concentratie van CO<sub>2</sub> in een natuurgebied kan in de regel gepaard gaan met brandend vuur. Ionisatiesensoren zijn gevoelig voor brandend vuur. Rookgas-sensors zijn juist weer voor geschikt voor niet brandend vuur.

Uit de literatuur wordt duidelijk dat concentraties van CO en van CO<sub>2</sub> de belangrijkste kenmerken zijn voor de detectie van een brand, omdat ze het meest blijken bij te dragen aan een nauwkeurige detectie.

Veel aandacht wordt in de literatuur geschonken aan onderzoeken waarbij men verschillende typen sensoren com-



bineert om brand te detecteren. Men is er sterk van overtuigd dat het aantal valse alarmen alleen teruggedrongen kan worden met behulp van multisensorsystemen. Voorbeelden die genoemd worden zijn ionisatiesensoren gecombineerd met CO of CO<sub>2</sub>. Deze combinatie is bovendien ongevoelig voor ruis.

De combinatie van ionisatie- en fotoelektrische sensoren is wel gevoelig voor ruis. CO of CO<sub>2</sub> gecombineerd met temperatuur vermindert de ruisgevoeligheid, maar geeft nog geen betrouwbaar beeld. CO of CO<sub>2</sub> gecombineerd met ionisatie en temperatuur leidt tot een accuraat beeld met ruisimmunitet.

### Sensornetwerk

Enkel sensoren opstellen in natuurgebieden opstellen is niet voldoende. De gemeten sensorwaarden moeten ook doorgegeven worden aan de meldkamer; ten minste die sensorwaarden of afgeleide alarmeringen die er toe doen. Alles doorgeven leidt tot onnodige communicatie en onnodig hoge communicatiekosten. Doordat wireless sensornetwerken vrij nieuw zijn in de toepassing bij branddetectie wordt er in de literatuur veel aandacht aan geschonken. Daarbij richt men zich vaak op de topologie en typen nodes van het wireless netwerk, zoals sensor nodes, routers en gateways.



*Wireless sensornodes in de natuur*

Voor ons onderzoek was het minder relevant welke communicatieprotocollen daarbij worden gebruikt of welke schedulingstrategie wordt geïmplementeerd. Ook het meest efficiënte energiegebruik laten we voorlopig buiten beschouwing. Wel doet het er toe hoe groot de onderlinge afstand tussen nodes maximaal kan zijn om de detectie tijdig te doen en om de sensordata te kunnen doorgeven aan een gateway naar de meldkamer.

### Data-analyse

Van groot belang was de vraag hoe uit gemeten sensorwaarden afgeleid kan worden of er sprake is van brand en nog beter of er sprake is van het begin van een brand. Daarbij is de betrouwbaarheid van een alarm essentieel. Valse alarmen leiden niet alleen tot onnodige kosten, maar ook tot onnodige risico's die verbonden zijn aan het uitrukken van de brandweer. In dit onderzoek zijn verschillende methoden geanalyseerd om te bepalen met welke aanpak de betrouwbaarheid het meest verhoogd kan worden.

Voordat we daarop ingaan vermelden we eerst enkele resultaten uit de literatuur. We vermelden hier drie classificatiemethoden met vergelijkbare (lage) rekentijden (allen slechts derdemachtsfuncties van het aantal sensoren). Bayes is het meest accuraat, maar als een node niet alle sensoren heeft (dus als meer communicatie noodzakelijk is) wordt D-FLER aantrekkelijker.

### Naïve Bayes Classifiers

Bayes rule geeft, gegeven een bepaalde situatie, de kans op een bepaalde gebeurtenis weer. Uitgaande van gegeven bepaalde sensordata wordt de kans dat er brand is berekend. De mogelijke waarden van sensormetingen worden in intervallen opgedeeld. De kansen worden met behulp van een bestaande dataset bepaald.

### Feed Forward Neural Network (FFNN)

Het neurale netwerk bestaat hier uit hidden neuronen en input- en uitput-neuronen. Het Feed Forward Neurale Netwerk wordt getraind met waarden uit een bestaande dataset. Een algoritme, bijvoorbeeld gradient descent (GD), bepaalt de gewichten in het netwerk. De input bestaat uit sensordata en de uitkomst is de conclusie: wel of niet brand. Helaas is de uitkomst sterk afhankelijk van het gebruikte wireless sensornetwerk. Dat betekent dat elk sensornetwerk opnieuw getraind moet worden met relevante sensordata, zowel van de situatie waarin er geen brand is als waarin er wel brand is.

### D-Fler

Bij D-Fler wordt een decentraal fuzzy engine gebruikt waarbij sensordata (temperatuur en rook) worden gecombineerd met die van buursensoren. Onderstaande tabel geeft weer hoe de accuratesse van de resultaten was in de beschreven onderzoeken in (Bahrepour, 2009):

| Naïve Bayes | Neural Network | D-FLER |
|-------------|----------------|--------|
| 100%        | 98.7%          | 98.5%  |

### Veel of weinig data?

Een belangrijk punt in de analyse is of we data krijgen van veel sensoren of van slechts enkele. De macht van de grote getallen leidt tot goede oplossingen met behulp van statistiek of neurale netwerken, zodat er weinig belangstelling is in oplossingsroutes waarbij slechts een klein aantal sensoren betrokken. Maar juist bij het begin van een brand is het goed mogelijk dat slechts enkele sensoren verhoogde meetwaarden opleveren, terwijl een groot aantal sensoren nog geen stijgende waarden meten.

Er is één methode die binnen het WSN-domein veel toegepast wordt die ook bij kleine hoeveelheden data nuttig kan zijn: Bayesiaanse netwerken. Deze methode zal hieronder behandeld worden. Vervolgens geven we een methode aan die niet uit het WSN-domein komt, maar wel veelbelovend lijkt voor ons probleem: hypothesetoetsing met behulp van log likelihood ratio-tests. Ten slotte beschrijven we de cusummethode,

die voornamelijk geschikt is om kleine structurele fluctuaties van kleine toevallige fluctuaties te onderscheiden.

### Bayesiaanse netwerken

Deze netwerken berusten op de stelling van Bayes over voorwaardelijke kans:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}$$

Voor branddetectie met behulp van één sensor die alarm afgeeft bij bepaalde meetwaarden, valt deze stelling als volgt te interpreteren:

**P(brand | alarm)** is de kans dat er brand is als het alarm afgaat.

**P(alarm | brand)** is de kans dat het alarm afgaat als er brand is (stel deze is 100%).

**P(alarm)** is de kans dat het alarm afgaat, ongeacht of er wel of geen brand is, deze wordt door de kleine kans op brand vooral bepaald door de kans op vals alarm (stel deze is 5%).

**P(brand)** is de kans dat er brand is, los van de vraag of er wel of geen alarm afgaat (stel deze is 1%).

#### De stelling van Bayes betekent dan:

$$P(\text{brand} | \text{alarm}) = \frac{P(\text{alarm} | \text{brand}) * P(\text{brand})}{P(\text{alarm})} = \frac{(1,00 * 0,01)}{0,05} = 0,20.$$

In het geval van meerdere sensoren wordt de wiskunde wat gecompliceerder. De denkwijze blijft hetzelfde. Het resultaat is hier interessant.

Bij banddetectie met 1 sensor, die in 5% van de gevallen een foutmelding geeft en altijd alarm afgeeft wanneer er brand is, is de kans dat er brand is wanneer het alarm afgaat slechts 20%.

Bij branddetectie met 2 van dergelijke sensoren (van verschillend type zodat de kans op een gelijktijdige foutmelding nihil is) is de kans dat er brand is wanneer het alarm afgaat 80%.

Bij banddetectie met 1 sensor, die in 20% van de gevallen een foutmelding geeft en altijd alarm afgeeft wanneer er brand is, is de kans dat er brand is wanneer het alarm afgaat slechts 5%.

Bij branddetectie met 2 van dergelijke sensoren (van verschillend type zodat de kans op een gelijktijdige foutmelding nihil is) is de kans dat er brand is wanneer het alarm afgaat 20%.

Het gebruik van meerdere onafhankelijke sensoren (d.w.z.: verschillende typen sensoren) geeft dus een significante verhoging van de betrouwbaarheid van het alarm. Doordat in een sensornetwerk geen keten zit van oorzaken en gevolgen is een Bayesiaans netwerk weinig zinvol gebleken. De sensordata blijven bekend en of er brand is blijft onzeker.

### De Log likelihood ratiotest

De Log likelihood ratiotest is een methode van hypothesetoetsing. Deze methode komt niet uit het WSN-domein, maar is goed toepasbaar voor

onze probleemstelling. Belangrijkste kenmerken van deze methode zijn:

- De statistische verdeling van de waarden die een sensor oplevert moet bekend zijn of bekend worden verondersteld.
- Idealiter is dit de normale verdeling, omdat de Log ratiotest zich daarbij robuust en betrouwbaar gedraagt.
- Op basis van deze verdeling worden veel betrouwbaardere resultaten behaald dan in het klassieke Bayesiaanse netwerk.
- De methode is robuust en bijna optimaal.
- De methode is eenvoudig toe te passen, hoewel de wiskunde erachter niet eenvoudig is.

Opgemerkt moet worden dat ook wanneer de veronderstelde normale verdeling maar matig overeenkomt met de werkelijkheid, de resultaten van de log likelihood ratiotest al significant betrouwbaar kunnen zijn.

De belangrijkste stappen in de methoden zijn:

1. Bepaal voor elk type sensor welke meetwaarden we kunnen verwachten als er geen brand is. Belangrijk zijn vooral het gemiddelde en de standaardafwijking.  $G_a$  verder uit van een normale verdeling.
2. Reken de waarden voor elke type sensor terug naar de standaard normale verdeling met gemiddelde gelijk aan 0 en een standaarddeviatie van 1.

3. Toets de volgende hypothese. Bij geen brand: steekproefgemiddelde van de waarden van de sensoren is gelijk aan 0. Bij wel brand: steekproefgemiddelde van de waarden van de sensoren is ongelijk aan 0.
4. Bereken bij  $n$  sensoren de teststatistiek  $L = n \cdot Z^2$  waarbij  $Z$  het gemiddelde is van de waarden van de sensoren ( $Z_1$  t/m  $Z_n$ ).
5. Kies een betrouwbaarheidsdrempel  $a$  (bijvoorbeeld: we willen dat de brandmelding 95% betrouwbaar is;  $a = 0,05$ ). Hoe groter  $a$  hoe eerder het alarm afgaat, maar alarm is meer onzeker dan bij een kleine  $a$  waarbij het alarm later afgaat.
6. Zoek bij deze onbetrouwbaarheidsdrempel  $a$  de bijbehorende grenswaarde  $G_a$  in de Chi-kwadraattabel met één onzekerheidsgraad.
7. Vergelijk de teststatistiek  $L$  met de grenswaarde  $G_a$ . Als  $L > G_a$  dan is er brand.

Verfijning van stap 7: Als  $L > G_a$  kijk dan of het steekproefgemiddelde  $Z > 0$ , zo ja dan concludeer: er is brand. Anders kan er bij een (zeer onwaarschijnlijke) extreme afkoeling door het systeem geconcludeerd worden dat er brand is.

De kern van deze methode is dat beslist wordt op een te grote afwijking van de meetwaarden bij geen brand. Het is dus van groot belang de meetwaarden te kennen in de situatie 'geen brand'. In bovenstaande methodiek wordt een vast aantal sensoren  $n$  ge-

nomen. Dit heeft echter een belangrijk nadeel: de grote groep sensoren die te ver van een brandhaard af staan, drukken de waarde van L uit stap 4 sterk. Wanneer altijd alle sensoren worden meegewogen zal het WSN dus nooit alarm afgeven. In het stappenplan moet daarom een algoritme opgenomen worden dat deelgroepen van sensoren vaststelt. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren op basis van een buurstructuur in het WSN. Maar de sterkste manier is het zoeken naar die deelgroep van sensoren die een maximale waarde voor L opleveren, ofwel: alleen die sensoren meenemen in je berekening van L die ook een verhoging ten opzichte van het gemiddelde waarnemen. Dit mag echter niet te radicaal worden gedaan: wanneer een algoritme wordt genomen waarin alleen die sensoren die maximaal bijdragen aan een stijging van L wordt gekozen, dan zal alleen de meest extreme sensorwaarde meewegen en wordt L dus altijd bepaald door één extreme sensor, hetgeen nou net niet de bedoeling was. Dit kan ondervangen worden door ervoor te kiezen het aantal sensoren dat meeweegt bijvoorbeeld minimaal 3 te laten zijn. Misschien is het zelfs verstandig om te zeggen dat er altijd precies (bijv) 3 sensoren worden meegenomen, te weten de 3 meest extreme sensorwaarden Zi.

Om de communicatie in het sensornetwerk te reduceren kan de regel worden gehanteerd dat een node pas een 'alert' met zijn sensorwaarden doorgeeft aan

zijn buurnodes wanneer zijn kritische waarde wordt overschreden. Vervolgens gaan de buurnodes hun meetgegevens combineren als verificatie van het 'alert' en geven zonodig een alarm af. Met de beschreven methode is een werkwijze mogelijk om met een multisensornetwerk betrouwbare alarmen te genereren. Helaas is 100% betrouwbaarheid niet te garanderen. Maar met een verantwoorde afweging tussen tijdigheid en zekerheid van het alarm kan er veel winst ontstaan.

### De CUSUM-test

Page's CUSUM-test wordt gebruikt om de verandering van temperatuur (of een andere sensorwaarde) te meten. De CUSUM-test bepaalt na iedere sensormeting de waarde van een testvariabele. Deze wordt vergeleken met een Tresholdwaarde  $T$ .  $T$  wordt bepaald op basis van de gewenste false alarm rate  $f$  (bijv 1%). In het model wordt rekening gehouden met ruisparameters (volgens Gombay).

De basisgedachte is: CUSUM neemt (de gemeten temperatuur - (min) de verwachte temperatuur). Dit verschil is normaalgesproken ongeveer 0, maar wordt positief wanneer (door brand) de temperatuur werkelijk structureel stijgt. Deze waarde wordt bijvoorbeeld iedere seconde bepaald en bij de voorgaande waarden opgeteld (CUSUM = Cumulative SUM). Een kleine verhoging die langere tijd aanhoudt leidt zo tot een toenemende waarde van deze testvariabele.

Wanneer de testvariabele boven de thresholdwaarde komt wordt, met bijvoorbeeld 99% zekerheid, brandalarm afgegeven. Belangrijk feit voor de toepasbaarheid van de behandelde methodiek, is dat het temperatuurverloop (of de metingen daarvan) wordt beschouwd als een stochastische variabele: pas als de gevonden waarden buiten de normale standaardafwijking vallen, volgt alarm. Dit draagt sterk bij aan de praktische toepasbaarheid van de methodiek.

### Testopstelling

We hebben de bovenstaande methode gebruikt in ons deelproject Scenario's voor experimenten met sensoren. De resultaten van een beperkt aantal experimenten worden in paragraaf 4.1 beschreven.

### Advies voor vervolg

Van belang is dat we een sterk algoritme hebben gevonden dat op basis van sensorwaarden van verschillende typen sensoren met een zelf te kiezen betrouwbaarheidsdrempel een alarm afgeeft. Hierbij is de afweging tussen zekerheid van alarm en de tijdigheid van het alarm een lastige keuze.

Dit algoritme is bruikbaar voor iedere sensortoepassing waarbij meerdere (al dan niet gelijksoortige) sensordata tot een betrouwbare beslissing moeten leiden. Het is belangrijk de methode in veldexperimenten verder te beproeven om voor de gebruikte sensoren de goede drempelwaarden te leren kennen. Aan-

vullend op dit onderzoek met sensoren is het de moeite waard een eenvoudig te bedienen app met locatievermelding (GPS) voor smart phones te ontwikkelen die een door mensen waargenomen brandmelding kan ondersteunen.

### Literatuur

**E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro, and A. C. Frery,** *Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications*, ACM Comput. Surv., vol. 39, no. 3, p. 9, 2007.

**Krishnamachari, B. and Iyengar, S. 2004.** Distributed bayesian algorithms for fault-tolerant event region detection in wireless sensor networks. *IEEE Trans. Comput.* 53, 3 (March), 241–250.

**Li, S., Lin, Y., Son, S. H., Stankovic, J. A., and Wei, Y. 2004.** Event detection services using data service middleware in distributed sensor networks. *Telecomm. Syst.* 26, 2–4 (June), 351–368.

**Yu, B., Sycara, K., Giampapa, J. A., Andrews, S. R. 2004.** Uncertain information fusion for force aggregation and classification in airborne sensor networks. *In AAAI-04 Workshop on Sensor Networks*. AAAI Press, San Jose, CA.

**D.K. Gifford,** *Weighted Voting for Replicated Data*, *Proc. ACM Symp. Operating Systems Principles*, 1979.

**Klein, L. A. 1999.** *Sensor and Data Fusion: Concepts and Applications*. SPIE Optical Engineering Press.

**Hinman, M. L. 2002.** Some computational approaches for situation assessment and impact assessment. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion*, 687–693.

**Zervas E., Sekkas O., Hadjiefthymiades S., Anagnostopoulos C.,** Fire Detection in the Urban Rural Interface through Fusion techniques, in *Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Ad hoc and Sensor Systems for Global and Homeland Security (MASS-GHS 2007)*, Pisa, Italy, October 2007.

**E. Zervas, A. Mpimpoudis, C. Anagnostopoulos, O. Sekkas and S. Hadjiefthymiades,** Multisensor Data Fusion for Fire Detection and Monitoring, *Information Fusion Journal, Elsevier, Special Issue of Information Fusion in Future Generation Communication Environments* (2009).

**Dempster, A. P. 1968.** A generalization of Bayesian inference. *J. Royal Stat. Soc., Series B* 30, 205–247.

**Shafer, G. 1976.** *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

**Van der Vaart, A.W. 2008.** *Collegedictaat algemene statistiek*. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.

**Majid Bahrepour, Nirvana Meratnia, and Paul J. M. Havinga,** Sensor Fusion-based Event Detection in Wireless Sensor Networks, verschenen in *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, MobiQuitous, 2009*. MobiQuitous '09. 6th Annual International.

# 5. Werkpakket Proximity

## 5.1 Indoor-lokalisatie

Niels Sondervan, Informaticastudent, heeft in samenwerking met Inertia technology, Ambient Systems en de Brandweer Twente een rapport geschreven over de verkenning en evaluatie van technologieën voor indoor-lokalisatie. Hij heeft een aanzet gegeven voor eenvoudig prototype. De motivatie voor dit deelproject kwam 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.



*Reddingsactie*

Hierbij wil het wel eens gebeuren dat een brandweerman in problemen komt door de gevaarlijke en onoverzichtelijke situatie, de weg kwijt raakt 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 één of meer brandweermannen. Niels heeft onderzocht worden welke rol technologie kan spelen om de veiligheid van brandweermannen te verhogen bij de uitvoering van hun taak en wel voornamelijk door het realtime bepalen van hun locatie en positie in een brandend gebouw.

Niels heeft eerst het probleem geanalyseerd. Daarna heeft hij onderzocht welke technieken en technologieën beschikbaar zijn. Hij heeft deze geëvalueerd op basis van de praktijkcriteria: betrouwbaarheid, snelle operationele inzetbaarheid, nauwkeurigheid en kosten. Aan de hand daarvan is de onderzoeksvraag geformuleerd en een prototype ontworpen en gebouwd. Bij dit onderzoek is uitgegaan van een brandend gebouw waarin een brandweerman zijn blus- of reddingsactie moet uitvoeren. Hierbij zijn de volgende aannames gehanteerd:



- 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.
- De vereiste nauwkeurigheid van lokalisatie is horizontaal maximaal viermeter afwijking, verticaal maximaal drie meter (juiste verdieping).



*In actie in een gebouw*

Op grond van deze beperkingen moesten de volgende vragen beantwoord worden:

- Kunnen we vaststellen waar een reddingswerker zich bevindt in een gebouw? De eis daarbij is dat de nauwkeurigheid groot moet zijn. Dat betekent dat over een periode van 25 minuten de afwijking tussen de berekende en de echte positie niet groter mag zijn dan 5 meter. Ook moet precies berekend kunnen worden op welke verdieping van een gebouw de brandweerman zich bevindt. De eisen zijn zo streng om een brandweerman snel te kunnen helpen in geval van nood.
- Kunnen we een reddingswerker volgen in een getroffen gebouw?
- Kunnen we vaststellen of er in een getroffen gebouw personen of bepaalde objecten aanwezig zijn?
- Kunnen we vaststellen waar personen of objecten zich bevinden in een getroffen gebouw?
- Kunnen we biometrische gegevens van een reddingswerker verzamelen?
  - Denk aan: hartslag, bloeddruk, lichaamstemperatuur, koolmonoxide
  - En gerelateerd daaraan: de hoeveelheid zuurstof in de luchtfles.
- 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 belangrijkheid. In ons onderzoek lag de focus op de eerste twee vragen.



*Hevige bedrijfsbrand*

### **State of the art en prototype**

Er is eerst een overzicht gemaakt van de state of the art. Hierbij hebben we ons gericht op verschillende typen technologie voor lokalisatie: lokalisatie met gebruikmaking van RF-technologie en daarna lokalisatie met behulp van inertial navigation. Op basis hiervan kon een weloverwogen beslissing genomen worden over de te volgen route en de meest geschikte hardware voor een te ontwikkelen prototype.

Na een beschrijving van het literatuuronderzoek wordt de aanzet tot een prototype behandeld. Eerst wordt ingegaan op de mogelijkheden en beperkingen van navigatie met behulp van RF-technologie en vervolgens Inertial Navigation.

### **RF Technologie**

Voor systemen die werken met RF-technologie is een overzicht gegeven in de volgende tabel.

| Technologie Systeem            | Type  | Frequentie                            | Installatie vooraf of ad-hoc   | Positief                          | Negatief   |
|--------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| DASH7                          | RFID, wsn   | 433 Mhz                               | vooraf                         | Lange afstand, door beton         |  |
| Rubee                          | Electro-magnetisch                                    | 131 Khz                               |                                |                                   | Geen toepassing bekend voor positionering<br>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 Personnel Locater    | UWB, trilateratie gecombineerd met inertie            |                                       | Ad-hoc                         | Grote nauwkeurigheid              | Opbouwtijd; kan sneller ten koste van nauwkeurigheid         |
| Locata Lite                    | GPS met ad-hoc bakens, TimeOf Flight 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 sensor netwerk        |   | 400- 500 MHz<br>800-900Mhz,<br>2,4Ghz | Vooraf, Ad-hoc kan in principe |                                   | Bij ad-hoc kalibratietijd<br>Grote onnauwkeurigheid (10 m)   |
| Proximity sensing met RFID     |   |                                       | Vooraf                         |                                   |  |

Doordat de technologie gebruikt moet kunnen worden voor lokalisatie van een brandweerman in een gebouw, gelden er beperkende voorwaarden die we hieronder in overweging nemen.

### **Vooraf installeren en ad-hoc installeren**

Bij het toepassen van navigatie op basis van RF-technologie wordt in een groot aantal gevallen 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. Dan is de brandweer aangewezen op niet vooraf geïnstalleerde apparatuur. De eis die de brandweer stelt is dat bij het operationeel gebruik de ad-hoc infrastructuur met weinig moeite binnen twee minuten bruikbaar aangelegd moet zijn.

### **Kalibratie**

Om op basis van de signaalsterkte de locatie van iemand te bepalen, moet de ad-hoc infrastructuur 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 van

elk gebouw van tevoren een database aangemaakt zijn met de verschillende signaalsterktes op elke locatie.

### **Frequentie**

Wat betreft de mogelijke keuze 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.

### **Conclusie ten aanzien van navigatie op basis van RF-technologie**

Om een aantal redenen is het onverstandig navigatie in een brandend gebouw te baseren op RF-technologie.

De tijd om ad-hoc een RF-infrastructuur aan te leggen kost te veel tijd. Daar komt bij dat kalibratie de tijdsduur vergroot. De signaalsterkte is een probleem. De omstandigheden in een brandend gebouw zijn niet van tevoren vast te leggen. Daardoor zijn de effecten van demping en reflectie niet te voorspellen. Dat neemt niet weg dat RF-technologie in combinatie met andere technologieën zinvol kan bijdragen aan indoor-lokalisatie. Met name Ultra Wide Band kan een goede rol spelen. Bij gebruik van meerdere technologieën is er sprake van een multisensor aanpak.

### **Inertial Navigation**

Navigatie met inertial sensoren wordt veel toegepast in lucht- en ruimtevaart. Daarbij meet men met 3D-acceleratoren en 3D-gyroscoopen de versnelling ofwel mate van verandering van snelheid en de mate van verandering in richting. Door in de tijd wiskundig te integreren over de waarden van deze sensoren bepalen we de snelheid en de hoeksnelheid. Door nog eens te integreren berekenen we respectievelijk de afgelegde weg en de richting. 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.

Dat er veel ervaring is met inertial navigation betekent niet dat er al dergelijke

systemen voor de brandweer beschikbaar zijn. De sensoren in vliegtuigen en ruimtevaartuigen zijn te groot en te duur. Met de opkomst van sensoren op een chip (MEMS) komen kleinere en goedkopere sensoren op de markt. Daarmee is het probleem niet opgelost, want deze of-the-shelf sensoren zijn tot nog toe veel onnauwkeuriger dan die uit lucht-en ruimtevaart.

Er treden enkele problemen bij op: drift in de afgelegde weg en in de richting en daarnaast ruis. Oplossingen kunnen in verschillende richtingen worden gezocht: verhoging van de sample frequentie, kalibratie en filtering. De meest voor de hand liggende technieken zijn:

- Intervallen met snelheid gelijk aan nul (stilstand) herkennen en daarop de berekening afstemmen.
- Het herkennen van de positie aan de hand van in de buurt aanwezige herkenningspunten in het gebouw zoals een trap, een karakteristieke hoek in een gang etc.
- Het detecteren van RF-bakens in de directe omgeving. Deze variant combineert positiebepaling met RF- en met inertietechnologie.
- Het combineren van meerdere sensorbordjes, met daarop versnellingsmeters en gyroscoopen.

Daarnaast is filtering van de meetwaarden nodig om afwijkingen door ruis te elimineren. Er zijn eenvoudige en complexe filtermethoden bekend.

Een eenvoudige methode is bijvoorbeeld low pass-filtering. Daarnaast is er zowel Kalman-filtering als partikelfiltering mogelijk, maar deze zijn complex. Onderstaande tabel geeft een overzicht van plus- en minpunten en op te lossen problemen.

|                                  | <b>Pluspunten</b>  | <b>Minpunten</b>  | <b>Oplossing</b>  |
|----------------------------------|--|---|---|
| Ruis                             |  | Veroorzaakt onnauwkeurigheid.   | Filtering   |
| Drift                            |  | Vergroot onnauwkeurigheid.  | Filtering, Zupt en kalibratie bij referentiepunten.<br>Koppeling van GPS in IMU om waar mogelijk een goed referentiepunt te kunnen gebruiken. |
| Tijdsduur                        | Installatie kan on-the-fly.<br>Na 10 seconden opstartkalibratie is het systeem 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.<br>Dit biedt mogelijkheden voor Zero Velocity Update. | 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.<br>Dit beperkt de mogelijkheid drift te corrigeren. | Gebruik van meerdere IMU's.<br>Fysieke begrenzingen van menselijke beweging meenemen in validatie van berekende posities.                     |

### Keuze voor inertial navigation

Op basis van de verworven informatie is de keuze gevallen op een systeem op basis van inertie. Alle systemen halen in potentie 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.
- Een snelle inzet bij een calamiteit is mogelijk.

Met inertial navigation wordt dus beter tegemoet gekomen aan de eisen die de brandweer stelt.

### Prototype

Dit prototype is een systeem waarmee iemand gevolgd kan worden binnen de verzamelruimte van ons eigen Kenniscentrum Design en Technologie.

Bij het experimenteren om te komen tot een prototype is gebruik gemaakt van ProMove sensoren van het bedrijf Inertia Technology. De ProMove 3D-node is een geminiaturiseerde inertial sensor-node die volledige 3D-beweging en -oriëntatie waarneemt en draadloos communiceert.



*ProMove 3D-nodes*

Meerdere ProMove 3D-nodes kunnen een network vormen waarin de nodes hun sampling activiteiten synchroniseren. Dat geheel bood een praktisch instrumentarium om te experimenteren. Bij de ProMove is software geleverd voor de grafische userinterface, zodat zichtbaar kan worden gemaakt wat de sensoren waarnemen. Daaraan gekoppeld is software voor de verwerking van die data.

Aanvullend is door Niels software ontwikkeld om na te gaan in hoeverre een bewegingspatroon vanuit de sensordata goed te reconstrueren is. Hier bleek dat filtering van de sensordata beslist nodig is voordat een reconstructie betrouwbaar kan worden gedaan.

### Advies voor vervolg

Door gebrek aan tijd hebben we maar weinig experimenten uitgevoerd met de ProMove sensoren en de datavisualisatie. Deze experimenten gaven duidelijk bewegingen aan maar de behoefte aan het elimineren dan wel corrigeren van drift bleek duidelijk noodzakelijk. Een vervolgstudie naar het beperken van drift op basis van Kalman-filtering is gewenst. Dat geldt ook voor een nader onderzoek hoe met multisensor waarnemingen de nauwkeurigheid kan worden verhoogd.

### Literatuur

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

**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, S., 2007.** *Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders* [online] Available at: [\[beauregard\\\_WPNC\\\_omnidirectionalIP-DR.pdf\]\(#\) Accessed 15 September 2010\].](http://www.xsens.com/images/stories/PDF/</a></p></div><div data-bbox=)

**Beauregard, S., 2006.** A Helmet mounted Pedestrian Dead Reckoning System, *International Forum on Applied Wearable Computing* 2006 March.

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

**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: *Institute of Navigation International Technical Meeting*. San Diego, United States of America 25-27 January 2010.

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

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



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

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

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

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

**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, 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, F, Tews, A., 2006.** Practical WiFi Localization for Autonomous Industrial Vehicles, *Australasian Conference on Robotics and Automation*, 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, 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, N. et al., 2009.** Locata: A New Technology for High Precision Positioning. In: *European Navigation Conference*. Naples Italy, 2009.

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

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

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

## 5.2 Indoor-lokalisatie met Kalman-filtering

Theo Miltenburg, student Technische Informatica, Ronald Tangelder en Henk van Leeuwen hebben in samenwerking met Dennis Bijwaard en Gerard de Jong van Inertia technology en Sorin Iacob van het D-Cis Lab van Thales onderzocht of bij een brand de positie van een brandweerman bepaald kan worden met slimme sensoriek. Er wordt van uit gegaan dat er in dit gebouw brand is uitgebroken. Wanneer er slachtoffers in het gebouw zijn kan het zijn dat de brandweerlieden het brandende gebouw betreden. Doel van dit deelproject was te komen tot een praktische en betrouwbare implementatie van inertial navigatie.

Brandweerkorpsen hebben de behoefte om de positie van een brandweerman te volgen wanneer hij een gebouw

betreedt. Mocht de brandweerman zelf in de problemen komen, dan is het van groot belang dat collega's hem te hulp kunnen komen. Dan is het van essentieel belang dat men weet waar hij is.

Een brandend gebouw kan beschadigd raken, net zoals eventuele faciliteiten in dit gebouw. Hierdoor kan de brandweer er niet vanuit gaan dat er nog betrouwbare infrastructuur in het gebouw aanwezig is. Er mag niet worden aangenomen dat WiFi nog werkt. Ook is er weinig tijd om ter plekke een infrastructuur aan te leggen. Een veel gebruikt plaatsbepalingsstelsel is GPS. GPS is onbetrouwbaar in gebouwen, omdat het vaak alleen in de directe nabijheid van de buitenkant bereik heeft, maar niet binnen in het gebouw. Daarom is er in deze situatie behoefte aan andere, betrouwbare, plaatsbepalingmethode.

Het doel van dit project was het ontwikkelen van een algoritme dat de positie berekent. Op basis van het vooronderzoek (Sondervan en Van Leeuwen, zie 5.1) hebben we ervoor gekozen gebruik te maken van het gegist bestek (dead reckoning) en traagheidsnavigatie (inertial navigation) op basis van sensordata vanuit een inertial measurement unit, IMU. Deze methode kent enkele problemen die veroorzaakt worden door ruis, sensorafwijkingen en stapeling van afwijkingen door dead reckoning. Enkele vragen die we wilden beantwoorden waren:

1. Wat is de invloed van afwijkingen op het bepalen van de positie?
2. Op welke manier is het mogelijk deze afwijkingen te reduceren?

Om antwoorden te vinden op deze vragen hebben we een aantal deeltaken geformuleerd:

1. Selecteer een wiskundige methode om de effecten van ruis te reduceren.
2. Ontwikkel een plaatsbepalingalgoritme dat gebruik maakt van gegist bestek en traagheidsnavigatie.
3. Implementeer het plaatsbepalingalgoritme dat gebruik maakt van door een IMU gemeten data.
4. Ontwikkel een testomgeving om de sensor van de IMU te kalibreren en metingen te doen.
5. Test de nauwkeurigheid van het algoritme.

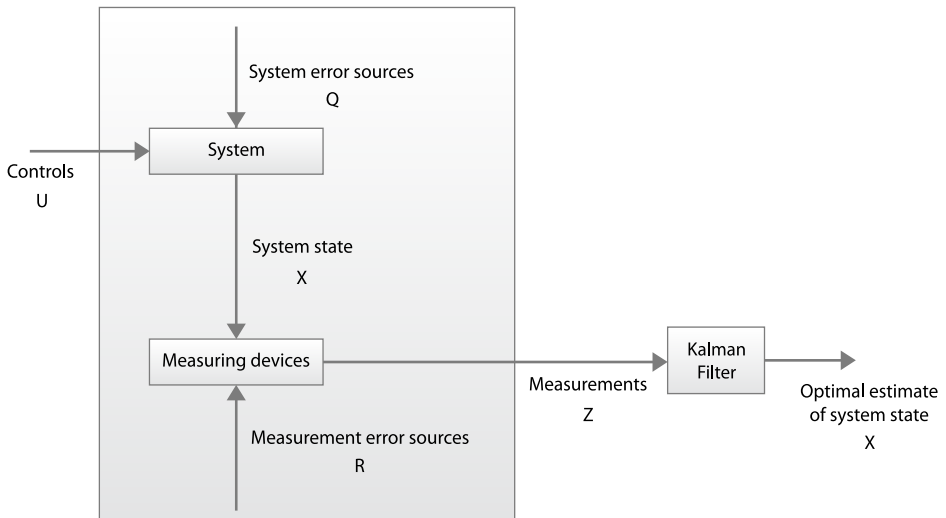
Uit literatuurstudie komt naar voren dat voor positiebepaling met behulp van een IMU de ruis en afwijkingen in de berekening kunnen worden gereduceerd met behulp van

- lineaire ruisonderdrukking
- (Extended) Kalman-filtering
- particle filtering.

Kalman-filtering wordt voor vergelijkbare doeleinden het meest gebruikt en levert meer op dan alleen maar ruisonderdrukking. Bij Kalman-filtering wordt vanuit een begintoestand een volgende toestand, de eindtoestand, geschat. Bij het volgen van iemand die loopt zou de stilstand voordat de stap

gezet wordt de begintoestand kunnen zijn en de eindtoestand de stilstand nadat de stap gezet is. De eindtoestand is in de berekening de begintoestand voor de volgende berekening. Er wordt bij de berekening niet verder terug gekeken dan de laatste eindtoestand. Dit betekent dat elke fout in een reeks berekening en van eindtoestanden doorwerkt in het resultaat van de berekening van de laatste eindtoestand. De cumulatie van afwijkingen veroorzaakt een toenemende drift. Die kan leiden tot een onbetrouwbare positiebepaling. Kalman-filtering draagt eraan bij de drift zo klein mogelijk te houden, maar kan niet garanderen dat er geen drift meer is.

Het idee van Kalman-filtering leggen we in enkele stappen uit. De ingewikkelde wiskunde wordt buiten beschouwing gelaten.



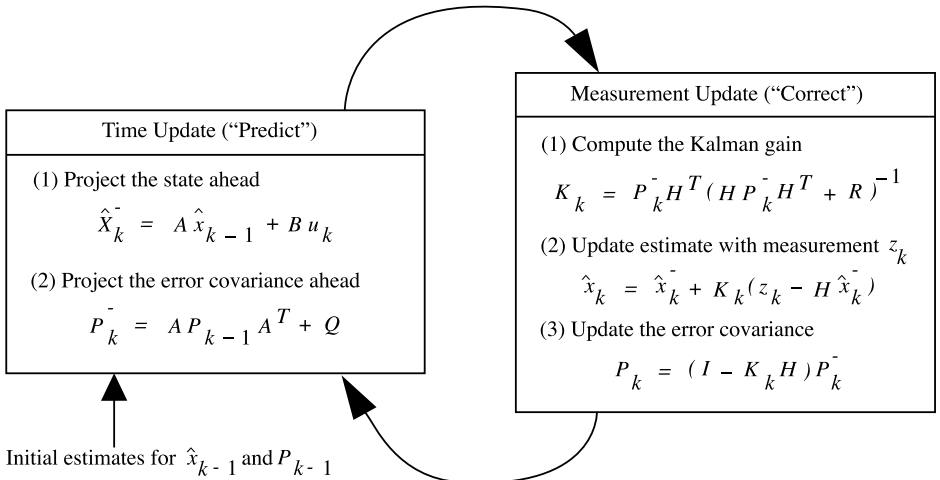
*Systeemmodel uit Maybeck (1979)*

Kalman-filtering komt uit de systeemtheorie. Het bewegend voorwerp beschouwen we als een systeem. Het measuring device is de IMU. Het Kalman-filter bevat de algoritmen en berekeningen.

Een systeem bevindt zich in een bepaalde toestand en met behulp van controls wordt de toestand van het systeem beïnvloed. In het geval van de zich voortbewegende brandweerman is dat de bewegingsstrategie van de persoon. Op basis van de beginpositie en de beweging is een voorspelling te doen van de positie na een stap gezet te hebben. Tijdens de beweging kan ook met de sensoren van de IMU gemeten worden en zo kan een schatting van de nieuwe positie gemaakt worden. De voorspelling en de schatting zullen in de regel verschillen door

verstoringen. Door de schatting en de voorspelling te combineren kan een betere schatting van de nieuwe positie gemaakt worden.

In Kalman-filtering gaat dit via de twee genoemde stappen, voorspelling en schatting. Het volgende schema laat de twee stappen zien.



Schematisch overzicht van het Kalman-filter (Welch, Bishop, 2001)

Het gaat hier in de twee genoemde stappen, voorspelling en schatting, om de update van de toestand  $x^k$  van het systeem na op basis van de toestand  $x^{k-1}$ . Daarbij worden stochastische variabelen gebruikt als de covariantie van de mogelijke fout die kan leiden tot een afwijking.

In het geval van de brandweerman worden deze twee berekeningsstappen doorlopen na elke fysieke stap van de persoon. Ter vereenvoudiging wordt ervan uitgegaan dat het systeem lineair is en dat de ruis zowel normaal verdeeld is, als tijdsonafhankelijk.

Kalman-filtering blijkt goed bruikbaar te zijn en wordt veel toegepast bij positieberekeningen. Ook in het geval van meerdere sensoren in de IMU blijft deze methode bruikbaar.

In dit deelproject is het niet gelukt tot goede resultaten te komen. Dat heeft te maken met twee factoren.

- Er is te weinig experimenteel onderzocht hoe de berekeningen met behulp van Kalman-filtering zich verhouden tot fysiek gecontroleerde positieveranderingen.
- Daardoor is onvoldoende achterhaald welke parameterwaarden in de berekeningen moeten worden gebruikt om tot betrouwbare positieberekeningen te komen.

### Advies voor vervolg

Het onderzoek heeft nu nog te weinig praktische ervaring opgeleverd om concreet praktisch te kunnen gebruiken. Wel kan met de opgebouwde kennis een reeks experimenten worden opgezet om de theorie praktisch toepasbaar te maken. Het advies is hiervoor meer

experimenten te doen met het volgen van bewegende personen of voorwerpen, waarbij berekeningen met het Kalman-filter worden geverifieerd in experimenten. De verwachting is dat het dan mogelijk is het systeem goed werkend te krijgen, waardoor het zeer interessant wordt voor brandweercorpsen.

### Literatuur

**Maybeck, P. (1979).** Stochastic Estimation and Control, Volume 1. Londen, San Francisco, New York: Academic Press.

**Ojeda, L., & Borenstein, J. (2007).** Personal Deadreckoning System for GPS-denied Environments. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics. Rome, Italy.

**Sondervan, N., & van Leeuwen, H. (2011).** Onderzoeksrapport Indoor Lokalisatie, Enschede, Saxion Kenniscentrum Design en Technologie.

**Welch, G., & Bishop, G. (2001).** An introduction to the Kalman Filter. Chapel Hill: ACM,inc.

**Woodman, O. J. (2007).** An introduction to inertial navigation. (p. 37). Cambridge: University of Cambridge.

## 5.3 Indoor lokalisatie met een robot

Sander Marsman, student Technische Informatica, heeft een onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van indoor-lokalisatie. Hij heeft daarvoor overleg gehad met medewerkers van Inertia Technology en Thales Nederland.

Voor dit onderzoek is een Nao-robot ingezet, waarbij we gebruik gemaakt hebben van een inertial measurement unit (IMU) van de partner Inertia Technology.



NAO robot ([www.aldebaran-robotics.com](http://www.aldebaran-robotics.com))

In dit project is het onderzoek van de projecten 5.1 en 5.2 voortgezet en is onderzocht wat voor resultaten behaald kunnen worden bij het toepassen van inertial measurement units. Omdat we de robot zodanig konden programmeren dat deze een precies

gedefinieerd parcours kon afleggen, konden we goed vergelijken of de afgelegde route overeen kwam met de route die uit de meetwaardes berekend werd. Bij dit experiment bleek het nodig dat de robot uit een lijnenpatroon op de vloer een lijn van een bepaalde kleur kan volgen. Aan dit probleem van vision en patroonherkenning is veel aandacht besteed. Dit deelprobleem is hiermee opgelost.

Op het moment van het schrijven van dit boekje is dit project nog niet afgerond.

#### **5.4 Indoor-lokalisatie op basis van geluid**

Roy Borgonjen, Björn Oelgemöller, Eduard Rens, Thijs van Veen en Andre Louis Wassing, studenten van de opleiding Technische Informatica van de specialisatie Real-Time Embedded Systemen, hebben een onderzoek uitgevoerd naar indoor-lokalisatie van een Nao-robot. Dit hebben zij gedaan door gebruik te maken van (ultrasoon) geluid.

Uit het onderzoek is gebleken dat het gebruik van verschillende typen sensoren om de positie van een NAO-robot te bepalen mogelijkheden biedt om te kijken of met behulp van sensorfusion betere resultaten behaald kunnen worden. Tevens kan hiermee beter de exacte positie van de robot bepaald worden, zodat de afwijking bij het gebruik van een inertial measurement unit nauwkeurig bepaald kan worden. De studenten maken gebruik

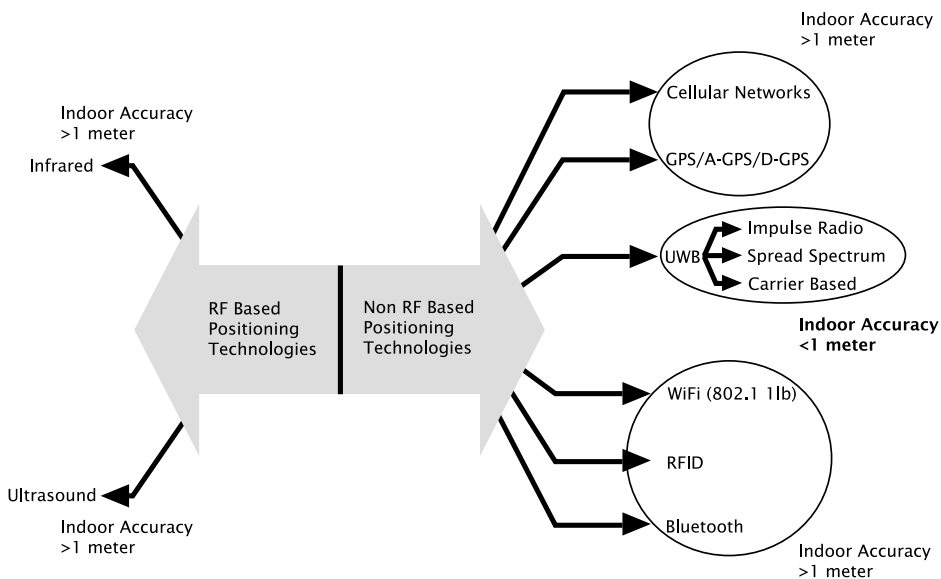
van een WSN met behulp van meerdere geluidsbronnen, waarvan de positie exact bekend is. Zo kan de NAO-robot zijn positie berekenen. Deze positie dient als referentie voor andere positiebepalingsmethodes.

Het oplossen van het probleem van tijdsynchronisatie is hierbij een van de uitdagingen.

Op het moment van schrijven van dit boekje is dit veelbelovende project nog in uitvoering.

#### **5.5 Overzicht locatiebepalende technieken**

Thijs Dommerholt, Marcel Hidding, Thijs Snitslaar, studenten van de opleiding Technische Informatica/ ICT Beheer, hebben onderzocht hoe hulpdiensten tijdens een calamiteit door middel van locatiebepalende technieken, een ontruiming efficiënter en veiliger kunnen laten verlopen. Het doel van dit onderzoek was te komen tot inzicht in methoden en technologieën voor lokalisatie van mensen ter ondersteuning van ontruiming bij een calamiteit. Dit deelproject is in dezelfde periode uitgevoerd als dat van Niels Sondervan (5.1) maar had een andere focus. Hier ging het niet om indoor-lokalisatie, maar om het detecteren van de aanwezigheid van personen in een ruimte en daarbij vooral het kunnen inschatten hoeveel personen daar aanwezig zijn.



Overzicht positioneringssystemen

In dit deelproject is uitgegaan van de mogelijkheden van radiotechnologie (RF-technologie). Daarvan is veel bekend. Zie hiervoor ook het deelproject Indoor-lokalisatie van Niels Sondervan (paragraaf 5.1). Er bestaan ook producten gebaseerd op deze technologie.

Bij een inventarisatie waarbij gekeken is naar verschillende mogelijkheden is het opgevallen dat veel in de praktijk gebruikte systemen gebaseerd zijn op ultrasound geluid. Ultrasoundoplossing wordt in sommige ziekenhuissystemen gebruikt, bijvoorbeeld in het Sonitor RealTime Location System. Hierbij wordt gebruik gemaakt van tags die men bij zich draagt. Deze zenden een ultrasound geluid uit. In de infrastructuur zitten ontvangers, die locatie en tijd doorstu-

ren naar een centrale computer.

Ook het Cricket Location Support System is gebaseerd op ultrasound geluid. In dit systeem is tijdsynchronisatie cruciaal. Dit wordt gerealiseerd door een RF-sigitaal. Aan de muren of in het plafond hangen RF-bakens. Die zenden periodiek een signaal uit. Dit wordt waargenomen door de ultrasound tags. De tags reageren op het RF-sigitaal met een ultrasound pulse. De bakens ontvangen van diverse tags deze ultrasound reactie en berekenen op basis van verschil in aankomsttijden de positie van de tags.





Foto's van een laboratorium op MIT met Cricket boards in het plafond

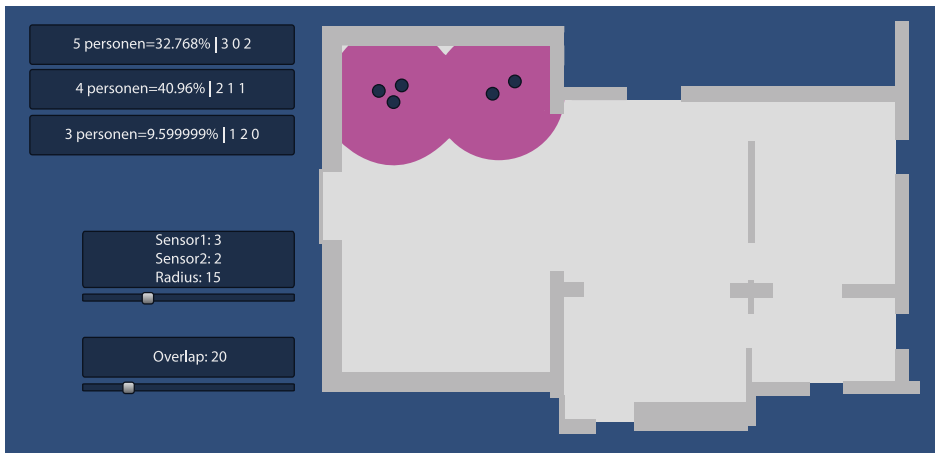


Cricket board

Er zijn nog meer systemen gebaseerd op het idee dat personen een tag bij zich dragen. De infrastructuur kan waarnemen waar de tag en dus de bijbehorende persoon zich bevindt. Afhankelijk van het type tag is de afstand tot componenten van de infrastructuur de bottleneck. Bij RFID-tags kan het bereik variëren van enkele centimeters tot enkele meters.

### Bouwen van een berekeningsmodel

Bij waarneming met sensoren in de infrastructuur is de kans groot dat twee verschillende sensoren dezelfde persoon waarnemen zonder dat dit door de sensoren onderkend wordt. In onderstaand plaatje zou in dat geval in het overlapgebied van het bereik van twee sensoren een persoon aanwezig zou zijn.



Schema aanwezigheidsdetectie, gegenereerd op basis van berekeningen van de studenten

Uitgaande van het bereik van het type sensor is een bereik bepaald. Op basis van kansberekening is een rekenmodel opgesteld door de studenten dat met grote waarschijnlijkheid het aantal mensen in een ruimte oplevert aan de hand van de sensordata. In dit deelproject is dit model onderzocht.

Het onderzoek heeft een inventarisatie opgeleverd van sensorsystemen voor het detecteren van aanwezige mensen aanwezig in een ruimte. Ook is een eerste aanzet gegeven voor een rekenmodel om het aantal mensen te bepalen. Het systeem is echter nog experimenteel; één of meer sensorsystemen moeten nog beproefd worden.

### **Bronnen**

Sonitor: <http://www.sonitor.com>

Cricket system: <http://cricket.csail.mit.edu/>

## **5.6 Personendetectie bij calamiteiten**

Wouter de Vries, Erik Hubers, Dennis Heuven en Jelle van Leeuwen, Informaticastudenten, hebben een geautomatiseerd sensorsysteem ontwikkeld dat de aanwezigheid van personen in een ruimte bijhoudt en de resultaten doorgeeft aan een centraal systeem dat de situatie inzichtelijk presenteert. Het advies van de partners in samenwerking met Vigilat en Van der Molen om zich te baseren op camerabeelden hebben de studenten niet opgevolgd. Het leek

hun gezien hun onbekendheid met beeldverwerking niet haalbaar in de beschikbare tijd. Dit project is een variant op het hiervoor beschreven project in 5.5. In het onderhavige deelproject is een systeem gebouwd en kon er op bescheiden schaal mee geëxperimenteerd worden. Er is gekozen voor een andere technologie en andere sensoren als in het voorgaande deelproject.

### **Probleemstelling**

In het geval van brand in een groot openbaar gebouw zal het aanwezige BHV-team of de brandweer het gebouw gedeeltelijk of geheel ontruimen. Dit doen zij door elke ruimte in het gebouw systematisch te controleren. In een worst-case scenario kan een ruimte met veel aanwezigen pas als een van de laatste ruimtes gecontroleerd worden. Snelheid is geboden, omdat de kans op slachtoffers toeneemt naarmate de tijd verstrijkt. De vraag is hoe met behulp van sensortechnologie het BHV-team en de brandweer betrouwbaar en snel ruimtes kan controleren zonder er fysiek langs te lopen. Als dat lukt, kan gericht actie worden ondernomen en wordt de kans op ongevallen verlaagd. De onderzoeksvraag luidde dan ook als volgt: Hoe kan, in een openbaar gebouw, gedetecteerd worden in welke ruimten zich personen bevinden?

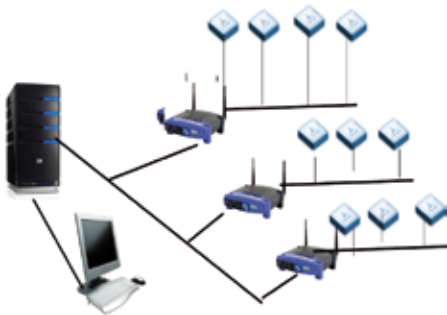
- Met welke sensoren kunnen personen gedetecteerd worden?
- Hoe kan de door de sensoren gegenereerde informatie verstuurd worden?

- Hoe kan de door de sensoren gegenereerde informatie inzichtelijk worden gemaakt voor de belanghebbenden?
- Wat is de betrouwbaarheid van de verkregen resultaten?

### **Uitgewerkte oplossing**

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is een verkennend onderzoek uitgevoerd naar geschikte sensoren. Vanwege de onzekerheid die de sensordata opleveren wat betreft het aantal gedetecteerde personen, hebben de studenten een berekeningsmodel opgesteld om de betrouwbaarheid te karakteriseren.

Voor het systeem als geheel hebben is een architectuur opgesteld voor de samenhang tussen het sensorsysteem, de server voor systeemlogica, het databeheer en de presentatie op een website en het communicatienetwerk. In het plaatje is een eerste indruk gegeven. Uit het onderzoek blijkt dat het wer-



*Systeem als geheel*

ken met de Kinect of een andere camera geen haalbare oplossing is. Ook RFID bleek geen praktische oplossing, omdat we er niet vanuit mogen gaan dat alle mensen in een gebouw een tag bij zich dragen. De twee sensortypen die positief uit het onderzoek kwamen – en die we gebruikt hebben in ons prototype – zijn de deursensor en bewegingssensor.



*Deursensor*

De server ontvangt de sensordata en bouwt een beeld op van de aanwezigheid van personen in een ruimte. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een stochastische redenering om uit de data van de verschillende typen sensoren af te leiden hoeveel mensen in een ruimte zijn. De server presenteert de verkregen informatie op een plattegrond. De data worden voor later gebruik opgeslagen in een database. De gegevens die gegenereerd worden door de sensoren worden via de nodes met behulp van een flooding-protocol

verstuurd naar de server. Daarvoor hebben we gebruik gemaakt van een draadloos mesh-netwerk, waarin Digi XBee S1 nodes worden gebruikt.



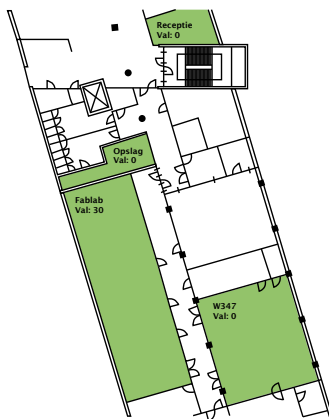
*Arduino XBee*

De communicatie naar de server gaat via geschikte gateways (de Sheevaplug).



*Sheevaplug*

De door de sensoren gegenereerde informatie wordt inzichtelijk gemaakt op de server voor de eindgebruiker door op de plattegrond aantallen te plaatsen in de verschillende ruimtes.



*Plattegrond van testruimte*

De betrouwbaarheid van de verkregen resultaten hebben we getest door middel van enkele kleine experimenten. De tijd liet het niet toe uitgebreidere en diepgaandere tests uit te voeren. Hier ligt dus nog verbeterwerk, maar potentieel is dit systeem interessant voor de hulpdiensten en de bedrijfs-hulpverlening.

Het systeem zoals het nu opgeleverd is, gaat niet verder dan een demonstrator. Om tot een product te komen zal een bedrijf ermee aan de slag moeten gaan. Een eerste aanbeveling is de demonstrator aan een groot aantal testen te onderwerpen, om de verbeterpunten helder in beeld te brengen. Daarbij zal opschaling naar een groter gebouw nodig zijn. Het routerings-protocol in het wireless netwerk is voor verbetering vatbaar. Het systeem werkt nu zonder beveiliging van de sensorcommunicatie.

## 5.7 Dynamisch ontruimingsysteem; sturen van zelfredzaamheid

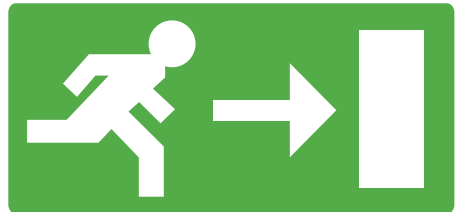
Docent onderzoeker Dirk Jan de Boer heeft samen met studenten van de minor Fysieke Veiligheid, Peter van der Linde, Elodie Oosterhof, Mathijs Schuijn en Kristie Slijkhuis,



*Projectteam zelfredzaamheid*

een project Dynamisch ontruimingsysteem; sturen van zelfredzaamheid uitgevoerd. Dit is gedaan in samenwerking met het Facilitair Bedrijf van Saxion, Use System Engineering B.V. uit Haaksbergen en de Brandweer Twente ( afdeling Brandveilig Leven). Het doel van dit project was het definiëren en beoordelen van technieken die de zelfredzaamheid van mensen bij een brand in een gebouw kunnen verhogen waardoor mensen sneller een veilige route kiezen. Dit onderzoek richtte zich op de optische (LED-verlichting, LED-schermen) en auditieve (gesproken woord, tonen) technieken die ingezet kunnen wor-

den bij het communiceren van een veilige vluchtroute. In Nederland is in het Bouwbesluit vastgelegd aan welke eisen, NEN 1838 en NEN 6088, een gebouw moet voldoen, als het gaat om vluchtrouteaanduiding. In de kern is de regelgeving gericht op het garanderen van de vluchtmogelijkheden bij een brandscenario voor de aanwezigen in het gebouw. Op basis van het bouwbesluit worden in gebouwen detectievoorzieningen, alarmeringsvoorzieningen en vluchtvoorzieningen ingericht. Het betreft vooral statische voorzieningen die ervoor moeten zorg dragen dat mensen de vast ingerichte vluchtroute nemen in geval van een calamiteit.



*Vluchtroutebordje*

De vluchtrouteaanduiding in gebouwen in Nederland bestaat over het algemeen uit groene borden met pictogrammen die op ongeveer plafondhoogte zijn geplaatst. Wanneer een noodverlichtingssysteem om veiligheidsredenen noodzakelijk is, zijn de pictogrammen verlicht. Dit zijn de zogeheten transparanten. Andere uitvoeringen van vluchtrouteaanduidingen komen in gebouwen in Nederland nauwelijks voor.

De vluchtrouteaanduiding is er vooral op gericht om mensen naar de dichtstbijzijnde uitgang te leiden. Uit een literatuuronderzoek (M. Kobes, 2008) naar menselijk gedrag bij brand is echter gebleken dat mensen doorgaans vluchten via de bekende weg en nauwelijks via de dichtstbijzijnde nooduitgang. Verder blijkt uit incidentanalyses dat het systeem met de hoog geplaatste transparanten maar een beperkte invloed heeft op het vinden van de nooduitgang, aangezien brandslachtoffers de transparanten vaak niet hadden opgemerkt of hadden genegeerd (Ouellette, M.J., 1993). Een onderzoek naar de effectiviteit van mogelijke alternatieve vormen van/systemen voor vluchtrouteaanduiding is daarom wenselijk. (M. Kobes & K. Groenewegen, 2010).

De probleemstelling in dit onderzoek luidde als volgt: welke bekende optische technieken hebben een aantoonbaar positief effect op de zelfredzaamheid van mensen bij een brandscenario in een gebouw? We hebben dit onderzoek opgedeeld in drie onderzoeksvragen:

1. Wat is de effectiviteit van de best beschikbare optische technieken voor het informeren van aanwezigen in een gebouw bij brand?
2. Welke nieuwe optische technieken zijn technisch beschikbaar voor het informeren van aanwezigen in een gebouw bij brand?
3. Wat is de effectiviteit van optische technieken op de vluchtsnelheid en vluchtroutekeuze?

Het onderzoek heeft ons inzicht gegeven in het vluchtgedrag van mensen in geval van een brand (met rookontwikkeling) in het gebouw. Daarnaast hebben we inzicht gekregen in de invloed van technische hulpmiddelen op het vluchtgedrag.

We hebben onderzoeksvraag 1 en 2 beantwoord door middel van een literatuurstudie. Hierbij hebben we vooral gekeken naar de resultaten van experimenten die al eerder uitgevoerd waren. Om een betrouwbaar beeld te krijgen zijn er meerdere experimenten met elkaar vergeleken. Tijdens de literatuurstudie hebben we voornamelijk gekeken naar de aspecten waarom de huidige vluchtrouteaanduiding niet gezien wordt. Daarnaast is onderzocht welke ontwikkelingen op het gebied van vluchtrouteaanduiding en way-finding in een gebouw plaatsvinden. Tijdens gesprekken met Smart Signs en Use Systems is gesproken over ontwikkelingen en mogelijkheden op het gebied van optische technieken. Het literatuuronderzoek, aangevuld met interviews, heeft inzicht gegeven in het vluchtgedrag van mensen bij brand. Daarnaast is voor enkele (bestaande) guidingstechnieken informatie gevonden over de invloed op het vluchtgedrag van mensen.

Aan de hand van het literatuuronderzoek en de interviews hebben we de opzet voor het rookexperiment bepaald.

Voor het beantwoorden van onderzoeksvraag 3 hebben we een rookex-

periment uitgevoerd. We hebben het experiment gebruikt om te achterhalen welke vluchtrouteaanduidingen een positief effect hebben op het ontvluchten uit een gebouw door personen. Om dit te kunnen achterhalen is het experiment in een gecontroleerde omgeving uitgevoerd en onder gecontroleerde omstandigheden. Tijdens het experiment bevonden de proefpersonen (individueel) zich in een met rook gevulde omgeving. De proefpersonen is gevraagd het pand (vanwege brand) te verlaten. De proefpersonen moesten op diverse momenten een routekeuze maken. Daarbij konden ze gebruik maken van de aanwezige vluchtrouteaanduiding. Het experiment is vier keer uitgevoerd, telkens met andere proefpersonen (totaal 90 proefpersonen) en een andere vluchtrouteaanduiding. Daarbij hebben we de volgende variabelen per proefpersoon geregistreerd: vluchttijd, routekeuze en de beleving van de vluchtrouteaanduiding. Door te achterhalen wat een persoon motiveert om een bepaalde route te volgen kunnen we meer zeggen over de werking van de vluchtrouteaanduiding. Met dit rookexperiment hebben we significante verschillen aangetoond tussen de gebruikte begeleidingstechnieken op de variabelen vluchtsnelheid en routekeuze. Met name de (LED)-schermpjes op ooghoogte leverden een snelle ontvluchting via de veilige vluchtroute op.



*Experimentruimte*

De volgende vluchtrouteaanduidingen zijn getest: de bekende groene bordjes, een lichtsnoer dat de looprichting aangeeft op de vloer, LED-schermen met verschillende dynamische pictogrammen op ooghoogte en ten slotte geen begeleiding. Camera's registreerden route en tijd en de beelden werden nauwlettend in de gaten gehouden in de 'control room'. Zowel het Facilitair Bedrijf van Saxion, als een aantal marktpartijen waarvan vluchtrouteaanduiding hun core-business is, hebben interesse voor de onderzoeksresultaten. Met het onderzoek hebben de Saxion Kenniscentra Design en Technologie en Leefomgeving nieuwe stappen gezet richting in de ontwikkeling van dynamische vluchtsystemen.



*LED-scherm in experimentruimte*

### **Advies voor vervolg**

In het rookexperiment is het dynamische karakter van het systeem nog niet getest. Bovendien is niet getest aan welke randvoorwaarden het systeem moet voldoen om ook effectief te zijn bij daglicht. Het is wenselijk om in een vervolgonderzoek, met een consortium aan bedrijven, te werken aan het verbeteren van het systeem tot een werkend prototype.

Zie ook [http://www.beveiligingnieuws.nl/nieuws/14033/Saxion\\_onderzoekt\\_nieuwe\\_ontruimingstechnieken\\_bij\\_brand.html](http://www.beveiligingnieuws.nl/nieuws/14033/Saxion_onderzoekt_nieuwe_ontruimingstechnieken_bij_brand.html)

### **Literatuur**

**Kobes, M. (2008).** *Zelfredzaamheid bij brand*. Den Haag: Boom Juridische uitgevers.

**Kobes, M., & Groenewegen, K. (2010).** *Alternatieve vluchtroute aanduiding (No. 431N9001)*. Arnhem: Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid.

**Ouellette, M. J. (1993, juli).** **Visibility of exit signs**. *Progressive Architecture*, 74(7), 39-42.



# 6. Werkpakket Communicatie

## 6.1 Sensorcommunicatie van sensordata via een Android-systeem

Leander Nijland, student Technische Informatica, heeft in samenwerking met Arie Huijgen van TI-WMC een prototype ontwikkeld voor sensorcommunicatie van sensordata via een Androidsysteem. In een aanvullende studie is bovendien kennis opgedaan over de wijze waarop sensordata via meshing van Androidsystemen naar het FIGO-systeem kunnen worden gestuurd.

De volgende situatie is exemplarisch. Een brandweercommandant zit in de brandweerauto en kan op zijn systeem gegevens zoals locatie, hartslag en lichaamstemperatuur van een brandweerman in actie realtime monitoren. Naast gegevens over personen zelf kan hij ook omgevingseigenschappen, zoals temperatuur in de gaten houden. Alle gegevens worden verkregen door middel van een netwerk van sensoren op het pak van de brandweerman.



*Overleg bij brandbestrijding*

Het probleem is duidelijk: er is behoefte aan een systeem dat door sensoren waargenomen informatie over een brandweerman in actie doorspeelt via een draadloos ad-hoc netwerk naar een bevelvoerder buiten het brandend gebouw. Tot het systeem behoren sensoren die metingen doen en die min of meer real-time gegevens doorspelen. Dat houdt in dat de brandweerman een personal device bij zich draagt, dat sensordata binnenkrijgen en communiceert en waarop sensoren zijn aangesloten. Omdat het bereik van de communicatie via een personal device in een brandend gebouw beperkte reikwijdte heeft, moet het in principe mogelijk zijn data via mobiele devices van collega's in het zelfde gebouw door te sturen. Het doorsturen via een device van een collega hebben we in eerste instantie buiten beschouwing gelaten. De volgende onderdelen waren van belang:

- Sensoren.
- Een sensorboard om de sensoren op aan te sluiten.
- Een mobiel device.
- Communicatie tussen het sensorboard en het mobiel device.
- Communicatie tussen het mobiel device en het device van de bevelvoerder buiten het gebouw.

Er is van uitgegaan dat de bevelvoerder gebruik maakt van een FIGO-node, zoals die door het bedrijf TI-WMC is ontwikkeld. De FIGO-node maakt gebruik van WiFi. Het FIGO-systeem is een draadloos mesh netwerk voor de ondersteuning van hulpverleningsoperaties bij nood- en rampscenario's. Het ontwerpen en de realisatie van een product dat de integratie van een wireless sensor netwerk in het FIGO-systeem mogelijk maakt, is daarmee de kern van het probleem. Voor het mobiele device was het gewenst dat onze oplossing gebaseerd was op een in de markt gangbaar systeem. Bovendien moest het resultaat een systeem zijn, dat open is in de zin van aanpasbaar en programmeerbaar op basis van open source licenties. Daarom is voor een Android-node gekozen.



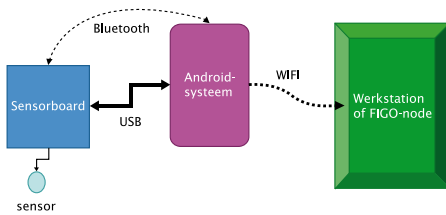
*Androidtoestel voor brandweer*

De vragen die moesten worden beantwoord luiden als volgt:

- Hoe kan een Android-systeem geschikt gemaakt worden voor communicatie met een FIGO via WiFi?
- Welk sensorboard is geschikt om bedraad of draadloos te communiceren met een sensorboard?
- Welke vorm van bedrade communicatie tussen een sensorboard en een Android device is geschikt?
- Welk vorm van draadloze communicatie tussen een sensorboard en een Android-device is geschikt?

Hierbij moet bij geschikt gedacht worden aan functioneel geschikt en bovendien snel te realiseren tot een prototype om mee te experimenteren. Door een prototype van een systeem te bouwen hebben we zicht gekregen op een mogelijke realisatie. Een bijeffect is actuele kennis van Android en de communicatie tussen Android en andere systemen. Voor de communicatie tussen het sensorboard en het Android systeem is in eerste instantie onderzocht of USB (bedraad) en Bluetooth (wireless) geschikt waren. Dit onderzoek is uitgevoerd door het bouwen van een prototype. De problematiek van communicatie van een mobiel device via ad-hoc een ander mobiel device is een vorm van een mesh netwerk.

De systeemarchitectuur die we hebben toegepast in is in het volgend schema globaal weergegeven.



Architectuur ad-hoc sensorcommunicatie

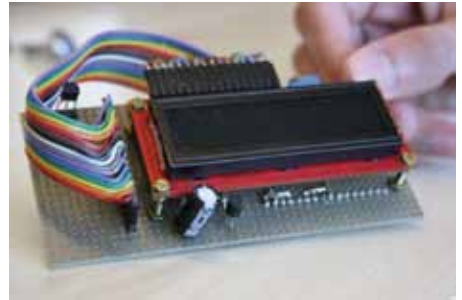
### WiFi

WiFi wordt veel gebruikt voor communicatie op een Android-systeem en maakt de toegang tot een netwerkinfrastructuur bij voorbeeld internet mogelijk. Dit gebeurt in de regel binnen een applicatie die via WiFi communiceert. In dit project wordt een specifieke applicatie gebruikt om eigen berichtjes (later gevuld met sensordata) te versturen. Het is daarvoor nodig een verbinding te maken en te kunnen verbreken met een WiFi-netwerk. Dat is gelukt en de volgende stap was het versturen en ontvangen van berichten. Door het werken met de geïmplementeerde WiFi-client-applicatie is gebleken dat het mogelijk is Android in de infrastructure mode te schakelen. Vervolgens hebben we berichten met ter plekke ingevulde informatie verstuurd. Een volgende stap in het onderzoek was het samenstellen van berichten met sensordata en die te versturen. Daarvoor beschrijven we eerst hoe we sensoren via een microcontroller op de Android node aansluiten.

### Arduino

Een arduino sensorboard bevat een microcontroller. Daar worden senso-

ren op aangesloten en een display om sensordata te kunnen monitoren.



Sensorboard met display

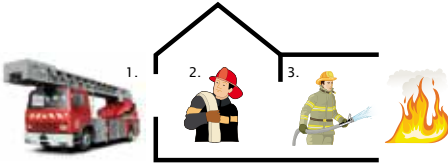
Voor de dataverbinding van een Arduino-board met de Android-node kan gebruik gemaakt worden van USB (bedraad) of van Bluetooth (draadloos). Voor elk type connectie is een ander Arduino-board vereist: Arduino Uno voor USB en Arduino BT voor Bluetooth. Om functioneel data-uitwisseling te laten plaatsvinden is voor beide zijden van de verbinding communicatiesoftware ontwikkeld. De student heeft op de Android-node een polling protocol ontworpen, die via Bluetooth het Arduino-systeem vraagt sensordata op te sturen.



Arduinoboard met USB-uitbreiding

Sensordata gaat niet rechtstreeks van de Arduino naar het WiFi-netwerk, maar via de Android-node.

## Onderzoek naar meshing



Overzicht communicatie via ad-hoc mesh

In een mesh netwerk is iedere node verbonden met één of meer andere nodes. Een netwerk is 'fully connected' als elke node met elkaar is verbonden dooreen netwerklink. De nodes fungeren als routers. Informatie kan van node tot node worden doorgespeeld (hoppen), totdat een bericht zijn bestemming heeft bereikt. Een mesh netwerk kan zichzelf aanpassen als er links wegvallen of als er nieuwe links bijkomen. Door deze eigenschap is een mesh netwerk erg geschikt voor een draadloze variant waarbij nodes mobiel zijn en geregeld via een andere node communiceren met een bestemming.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat het op een Android systeem technisch mogelijk is, maar dat daarvoor diep in het systeem en zelfs in het onderliggende Linux besturingssysteem moet worden ingegrepen. Dankzij deze technische ingreep ontstaat de mogelijkheid sensordata van een brandweerman in actie uit het brandend gebouw te communiceren met de bevelvoerder.

## Hoe verder?

Bedrijf TI-WMC heeft direct baat bij de opgedane kennis. Indirect is de kennis van belang om betere communicatievoorziening ter beschikking te hebben binnen de hulpverlening door first responders. In het kader van het beschreven werk is meshing onderzocht, maar dat heeft nog niet geleid tot een demonstrator. Dit zal worden gedaan in een afstudeerproject in het voorjaar van 2012. Een ander punt dat nog aandacht verdient, is de visualisatie van sensordata voor de bevelvoerder. Deze visualisatie is onderwerp van een stageopdracht waaraan in 2012 wordt gewerkt.

## Literatuur

Nuttige Android tutorials zijn te vinden op:

<http://developer.android.com/resources/browser.html?tag=tutorial> (Android).

<http://www.androidcompetencycenter.com/category/android-basics/> (voorbeelden).

<http://tech.chitgoks.com/2008/03/17/android-showing-systemout-messages-to-console/>

<http://www.droidnova.com/debugging-in-android-using-eclipse,541.html> (hoe te loggen).

## 6.2 User Interface Sensordata

Maarten Ezendam, student Informatica, heeft in samenwerking met TI-WMC een onderzoek gedaan naar user interface voor het presenteren van sensordata. Zijn project wordt in het begin van de zomer 2012 afgesloten.



*Het Figo systeem*

In het project Sensorcommunicatie van sensordata via een Androidsysteem (in paragraaf 6.1) hebben we beschreven hoe sensoren gekoppeld kunnen worden aan een Android-node. In dit project ging het om het beschikbaar stellen van sensorinformatie aan de commandant en aan de meldkamer. Hierbij mag er uiteraard geen informatie verloren gaan of te laat beschikbaar komen. De communicatie verloopt via een netwerk dat gekoppeld is aan de FIGO-node die ad-hoc en hybride netwerken mogelijk maakt.

Het gaat om vertrouwelijke informatie die niet bij willekeurige personen terecht mag komen. De communicatie moet daarom beveiligd zijn.

Een ander aandachtspunt in dit onderzoek is de presentatie en visualisatie van de informatie. Dat kan zijn zowel aan de kant van de brandweerman in actie, als aan de kant van de commandant. Aan de userinterface en de visualisatie worden strenge eisen gesteld qua bruikbaarheid. Er mag geen tijd verloren gaan aan misverstanden. Tijdverlies en misverstand kunnen rampzalige gevolgen hebben.

Op het moment van schrijven van dit boekje werkt de student nog volop aan dit onderzoek en bereidt hij een demonstrator voor. Daarbij zal ook aandacht worden besteed aan verdere opties, zoals het ontvangen en verwerken van data die door externe sensoren worden verzonden en aan het ophalen van informatie, bijvoorbeeld uit de meldkamer.

## 7. Kennisdeling

Alle onderzoeken en deelonderzoeken zijn beschreven in rapporten en verslagen. Deze zijn beschikbaar via de website van het project: [www.saxion.nl/wireless](http://www.saxion.nl/wireless). Daarop zijn ook de presentaties te vinden van de diverse bijeenkomsten die we in het kader van dit onderzoeksproject hebben georganiseerd.

### 7.1 Bijeenkomsten

#### Netwerkbijeenkomsten

#### Januari 2011

- Externe sprekers  
Henk Stijntjes (ministerie Veiligheid en Justitie): 'Technologie voor veilige zelfredzaamheid'  
Gerard Veldhuis (TNO Defensie en Veiligheid): 'Hulpverleners Informatie Management Systeem'
- Interne presentaties door studenten
- Locatie: Saxion, Enschede.

#### Mei 2011

- Externe sprekers Tim Oosterhuis (Hogeschool van Amsterdam/ Universiteit van Amsterdam/ Create-IT Research Digital Life Centre): 'Detectie van personen met behulp van computer vision' Presentatie Detectie van personen met behulp van computer vision ,
- Interne presentaties door studenten



Netwerkbijeenkomst juni 2011

- Interne presentatie door Marcel Oosterwijk: 'Optimale fusie van multi sensor data, conclusies literatuuronderzoek'
- Locatie: Brandweer Twente, Spaansland, Enschede.



Brandweerkazerne Enschede

## November 2011

- a. Externe sprekers Gerke Spaling (Brandweer Twente): 'Gebruik van de iPad bij de brandweer', Lodewijk van Hoesel (Ambient Systems): 'Wireless Sensortechnologie'
- b. Demo's: studentenprojecten
- c. Locatie: Saxion, Enschede.

## Mei 2012

- a. Externe spreker: Paul Havinga: 'Visie op ontwikkelingen en kansen Wireless Sensortechnologie'
- b. Interne sprekers: Ronald Tangelder en Henk van Leeuwen
- c. Workshop: 'Vanuit welke vragen willen we in de toekomst samenwerken?'
- d. Locatie: Saxion, Enschede.

## Januari 2012



*Netwerkbijeenkomst januari 2012*

- a. Externe sprekers  
Mike Balm (Thales): 1. 'Indoor Lokalisatie', 2. 'Crowd Management'  
Harald Aarnink (Brandweer Twente) 'Experimenten Branddetectie op Troned'
- b. Interne sprekers Dirk-Jan de Boer: 'Rookexperiment in kader ontruiming'
- c. Demo's
- d. Locatie: Thales, Hengelo.

## 8. Conclusies en aanbevelingen

Het project Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten kende een brede scope. Er kwamen veel verschillende onderwerpen aan de orde. De samenbindende elementen waren de technologie en de gerichtheid op diverse problemen die optreden bij calamiteiten waarbij de brandweer in actie komt. Met deze problemen heeft een beveiligingsbedrijf trouwens ook vaak te maken.

Op elke van de diverse onderwerpen is werk verricht dat op elk van de verkende gebieden veel inzicht opleverde. Voor de problemen zijn proofs of principle uitgewerkt in demonstrators. Deze hebben niet allemaal geleid tot een volwaardige aanzet tot een product. In een aantal gevallen werd duidelijk dat de gewenste nauwkeurigheid niet gehaald werd of de kosten van een volwaardige uitwerking te hoog zouden uitvallen.

Bij het onderwerp branddetectie bleek dat de CO<sub>2</sub>-sensoren zeer nuttig zijn om een brand te detecteren in een gebouw, maar in een natuurgebied ontstaan problemen met de metingen. Daar is de eis dat een brand binnen 15 minuten na het begin geconstateerd moet worden. Doordat in het begin nog te weinig CO<sub>2</sub> in de lucht te meten is, faalt de tijdige detectie. Ook tempe-

atuur en luchtvochtigheid geven geen uitsluitsel in een beginsituatie, al zijn het goede risicofactoren. Er moet gezocht worden naar een combinatie van verschillende sensordata en andere informatiebronnen om tot een gewenst resultaat te komen.

Erg behulpzaam kunnen meldingen zijn van mensen die als toerist of anderszins een brand waarnemen. Het idee is geopperd om een app voor een smart phone te ontwikkelen die de brandmelding doorgeeft met een nauwkeurige positie.

Indoor navigation bleek een dankbaar en interessant probleem. Het is ons niet gelukt om aan de eisen die de brandweer stelt te voldoen, namelijk een maximale afwijking in positie van 5 meter na 25 minuten lopen in een willekeurig en onbekend gebouw. Met extra inspanningen en verder onderzoek is meer te bereiken dan nu gerealiseerd is. Sensorfusie blijkt daarbij onmisbaar om de nauwkeurigheid te optimaliseren.

Een bijzonder aardige aanvulling op de technologische activiteiten was de ontruimingsproef. Het is waardevol te weten wat de effectiviteit is van diverse visuele signaleringmogelijkheden bij een ontruiming van een onder rook



staand gebouw. Hierbij zien we dat mensen verschillend gedrag vertonen. Een nadere analyse en herhaling van dit soort experimenten met andere technologieën is gewenst.

Ad-hoc communicatie in een gebouw zonder een werkende netwerkinfrastructuur was een onderwerp dat maar weinig aandacht heeft gekregen. Wel zijn de resultaten veelbelovend. Er is inderdaad met huidige standaard beschikbare apparaatjes eenvoudig een systeem op te zetten. Willen we echter andere dingen dan die standaard al geconfigureerd zijn, dan moet er diep onder de motorkap gekeken worden. Daar zit een uitdaging die opgepakt werd en goed uitgediept is.

Op alle deelgebieden van dit project kan verder onderzoek tot waardevolle resultaten leiden. We zullen in een bijeenkomst met het consortium en andere belangstellenden een mogelijke koers benoemen. Wel is duidelijk dat in een vervolg minder diversiteit van onderwerpen gewenst is om de diepgang te bereiken die gewenst is voor het opleveren van demonstrators die voldoen aan de eisen.

ISBN/EAN: 978-90-818424-6-4  
Titel: Wireless Sensortechnologie bij Calamiteiten  
Auteurs: Henk van Leeuwen en Ronald Tangelder  
Uitgever: Saxion, Kenniscentrum Design en Technologie  
Plaats van uitgave: Enschede  
Datum van uitgave: Mei 2012

Kom verder. Saxion.

[saxion.nl/wireless](http://saxion.nl/wireless)

