

Draadloze SENSOREN voor GEDETAILEERDE teeltinformatie

Daan Goense

Agrotechnology and Food Innovations BV, daan.goense@wur.nl

Precisie landbouw optimaliseert landbouwkundige handelingen voor bodemeenheden op basis van hun specifieke eigenschappen. Dit systeem is afhankelijk van gedetailleerde geografische informatie over de toestand van de bodem en het gewas. De ruimtelijke resolutie van deze informatie hangt af van de technische mogelijkheden en daarmee gepaard gaande kosten. Bemonsteren van bodemprofielen is grover dan een opbrengstkaart en met remote sensing worden nog hoge resoluties gerealiseerd. Al deze waarnemingen hebben gemeen dat ze discreet zijn in het tijd domein, terwijl er voor de besturing van dynamische processen zoals bemesting, ziekte beheersing en bewaring behoefte is continue waarnemingen.

Draadloze sensornetwerken bieden de mogelijkheid om op een flexibele manier relevante variabelen voor het agrarische productieproces te monitoren. De technische mogelijkheden van wat zal leiden tot "Smart Dust" maken zulke sensoren in de toekomst betaalbaar. Dit opent de mogelijkheid om een hoge temporele resolutie te combineren met een hoge ruimtelijke resolutie, waardoor de kwaliteit van beslissing ondersteunende systemen zal verbeteren.

In het kader van het BSIK programma wordt in het Noord Oosten van Nederland een ICT infrastructuur ontwikkeld voor sensornetwerken, die rechte reeks gekoppeld kunnen worden aan een grote reken capaciteit. Deze infrastructuur is in de eerste plaats opgezet voor een nieuwe generatie Ra-

dio Telescope, de "Low Frequency Array Telescope" (LOFAR). Deze LOFAR wordt opgebouwd uit een groot aantal kleine antennes opgesteld in clusters met een totale diameter van die clusters van 350 km. Deze antennes zijn via een glasvezel met een capaciteit van 768 gigabit/s rechtstreeks gekoppeld aan de IBM Blue Gene super computer met een reken capaciteit van 43 TFlops.

Precisie landbouw is samen met Geofysica een van de niet astronomische disciplines die gebruik maken van deze infrastructuur. Draadloze sensornetwerken openen de mogelijkheid om de infrastructuur verder te "vertakken" tot binnen percelen, stallen, kassen en bewaarplaatsen.

Doel van LOFAR_Agro

Het doel van het landbouwkundige programma binnen LOFAR is om de mogelijkheden van draadloze sensornetwerken en een hoge capaciteit infrastructuur voor landbouwkundige toepassingen te inventariseren en verder uit te werken. Meten van het microklimaat met draadloze sensornetwerken voor een betere Phytophthora beheersing is een eerste pilot toepassing. Heel concreet hield dat in:

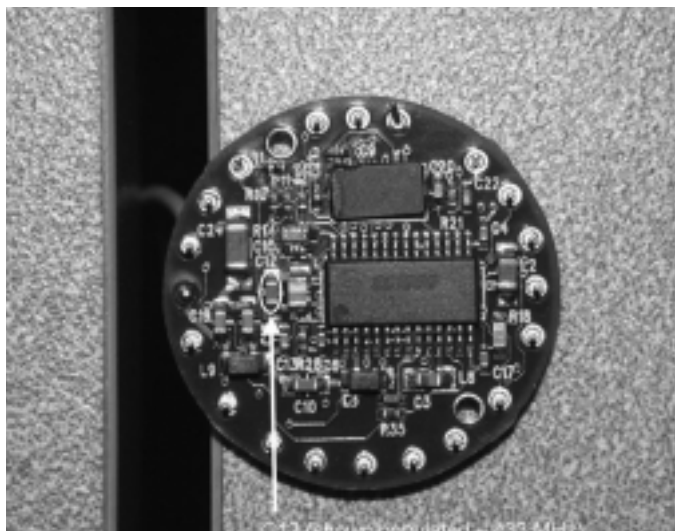
1. Onderzoek naar draadloze communicatie in een gewas.
2. Het ontwerp en de implementatie van een architectuur voor beslissing ondersteunend systeem, gebaseerd op draadloze sensor netwerken.

Draadloze sensoren

Een draadloze sensor bestaat uit een combinatie van microprocessor, radio en stroomvoorzorging, de node genoemd, en een sensor. In dit stadium van ontwikkeling van draadloze sensor systemen worden processors gebruikt die over behoorlijke reken capaciteit beschikken en vrij ruim van interfaces zijn voorzien. Dit geeft ontwikkelaars de ruimte om aan communicatie protocollen te werken, applicaties te ontwikkelen en verschillende typen sensoren aan te koppelen. De prijs van dergelijke nodes, zoals b.v. de Mica2dot van Crossbow, varieert van 117-140 €, maar door de verder gaande miniaturisering en het ontwikkelen van toepassings specifieke systemen, is de verwachting dat prijzen snel lager worden. Op basis van een variant van de wet van Moore mogen we verwachten dat rond 2012 de prijs onder de één Euro is gezakt.

Uitdagingen

Bij het ontwikkelen van draadloze sensor systemen zijn er



Figuur 1. Node: de Mica2dot van Crossbow

een aantal algemeen bekende uitdagingen, waar op basis van onze ervaring er nog een aantal aan worden toegevoegd.

Algemeen bekend zijn:

- reduceren van energieverbruik
- opbouw en onderhoud van een dynamisch netwerk
- positiebepaling
- gebruikersvriendelijkheid

Een aantal uitdagingen in onze landbouwkundige toepassingen zijn:

- Inbedden in de bestaande agrarische ICT infrastructuur.
- Een robuuste verpakking.
- Overbruggen van (langere) afstanden.
- Het kosten efficiënt plaatsen en verwijderen.
- Aanpassen aan veranderende functionaliteit.

Een aantal van deze aspecten zijn in het lopende LOFAR_Agro onderzoek opgepakt.

Draadloze communicatie

Toegelaten zendvermogen in de beschikbare frequentiebanden resulteren in overbrugbare afstanden van 50 - 100 m bij vrij zicht. In het groeiseizoen 2004 is een experiment opgezet om de voortplanting van radiogolven in een gewas aardappelen te meten. Voor dit onderzoek zijn Mica2dot's gebruikt die in de 433 MHz band werken met de standaard monopool antennes. De gebruikte CC1000 radio's hebben een ingebouwde functie om de signaalsterkte van het ontvangen radio signaal te meten. Het resultaat, de Received Signal Strength Indicator (RSSI) genoemd, kan omgerekend worden naar decibels volgens een in de manual gespecificeerde formule. (NN 2003).

Voor de metingen is gebruik gemaakt van programmatuur van Whitehouse (2002). Het programma voor het basissta-

tion roept iedere node in het veld om de beurt op om 30 berichten te versturen, waarvan de signaalsterkte door de andere nodes wordt gemeten. Wanneer alle nodes aan de beurt geweest zijn vraagt het basis station de resultaten op te sturen.

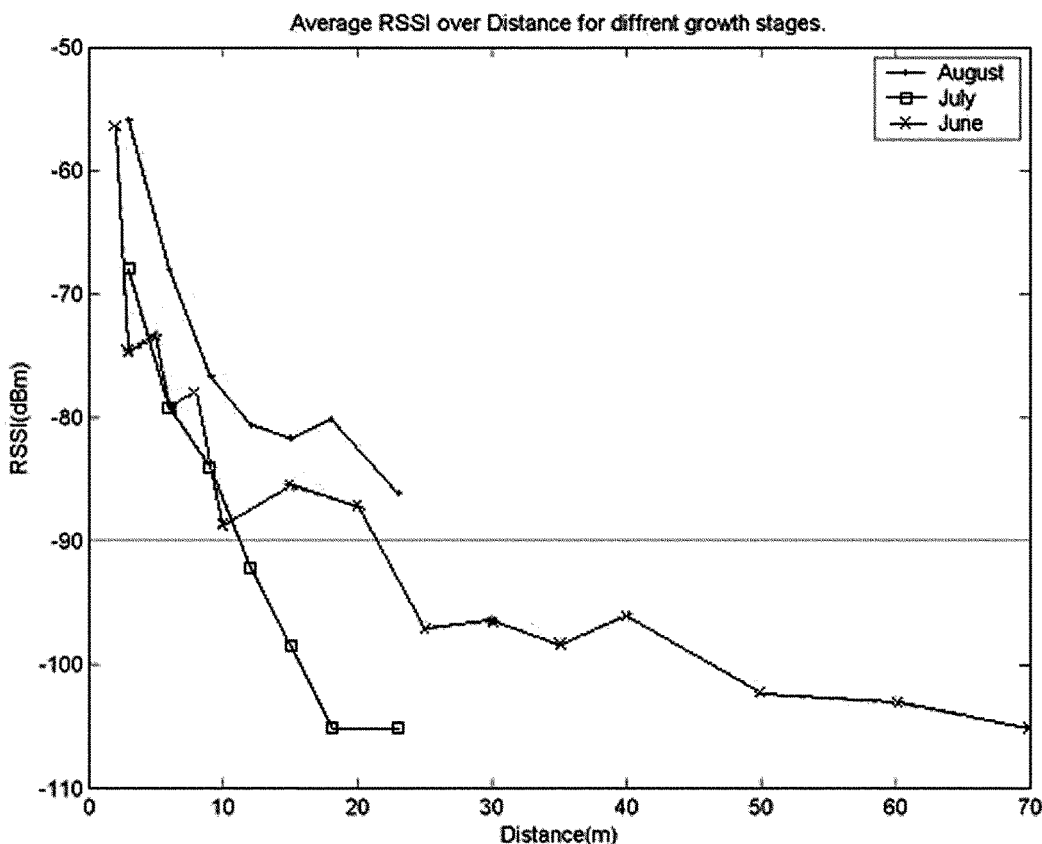
Dertien nodes zijn tussen de aardappelruggen om de drie meter uitgezet in twee rijen die 16.5 meter uit elkaar lagen. Na een indicatieve meting in juni zijn er twee tweewekelijkse meet sessies uitgevoerd in juli en augustus.

Uit de metingen bleek dat er bij -90 dBm nogal wat pakketten verloren gaan. Dit is iets slechter dan resultaten van Alippi and Vanini (2004), die -100 dBm als grens aanhielden. De onderstaande grafiek laat zien dat de reductie in signaalsterkte bij toenemende afstand de logaritmische trend volgt zoals in de theorie wordt omschreven. (Parsons, 2000). Afhankelijk van de ontwikkeling van het gewas wordt de signaalsterkte van -90 dBm bereikt op afstanden van 11 to 25 m, waarbij een duidelijke invloed van het gewas stadium zichtbaar is.

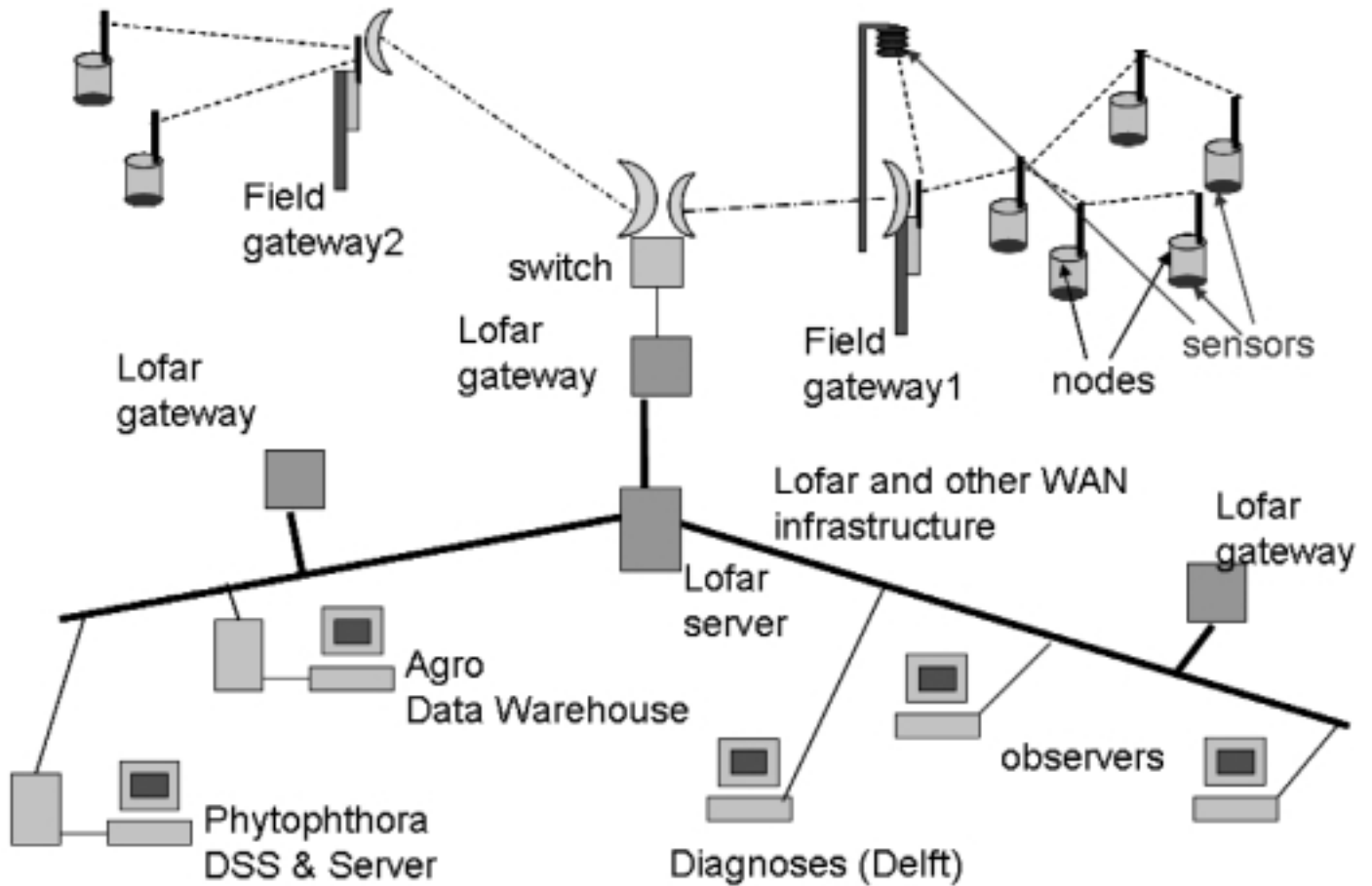
Een afstand van 11 meter zou voor een betrouwbare communicatie kosten met zich mee brengen die in veel gewassen niet zijn terug te verdienen. Daarom is er in het seizoen 2005 voor gekozen om de nodes zelf boven het gewas uit te laten steken. Een eerste analyse van dat seizoen laat zien dat ook dan de signaalsterkte behoorlijk afneemt als het gewas de hoogte van de nodes bereikt.

Architectuur

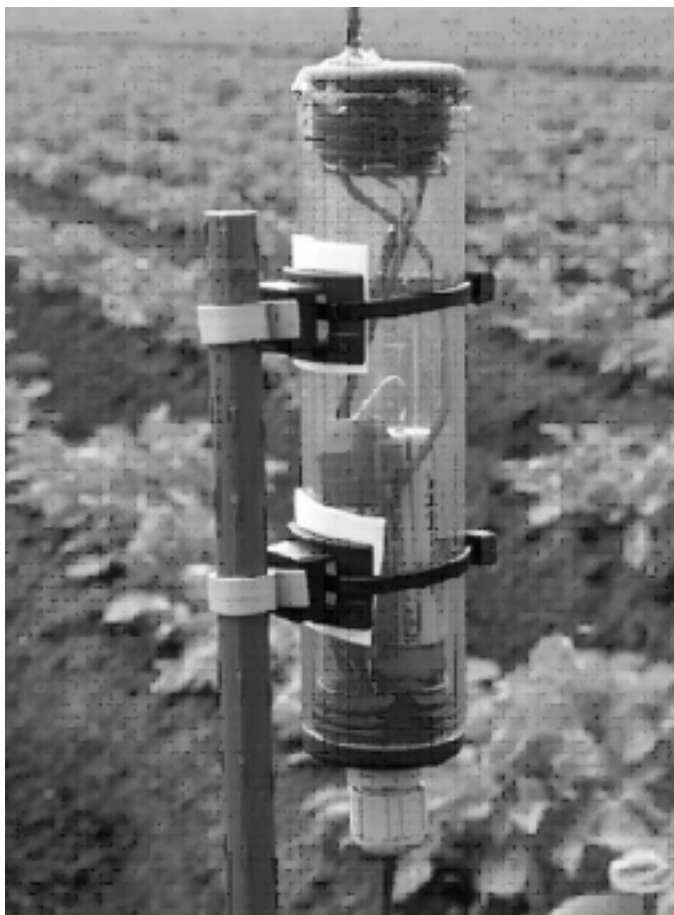
Na formulering van functionele eisen zijn de belangrijkste processen en de uitgewisselde data geïdentificeerd en beschreven. De verdeling van processen en gegevensopslag



Figuur 2. Gemeten signaalsterkte als functie van de zendafstand. Gemiddelde voor drie meet sessies.



Figuur 3. De belangrijkste componenten voor de LOFAR_Agro Phytophthora toepassing.



Figuur 4. De behuizing van een node.

over de verschillende systemen is beschreven in de architectuur en interfaces voor gegevens uitwisseling zijn omschreven. De Phytophthora toepassing is opgezet als een algemene architectuur voor landbouwkundige toepassing van draadloze sensornetwerken. De volgende componenten zoals afgebeeld in figuur 3 worden daarin onderscheiden; het veldgedeelte (Infield Part) met nodes en sensoren, de Field Gateway, de LOFAR Gateway, een Agro Data Warehouse (ADW) het Beslissing Ondersteunende Systeem (DSS) en de Waarnemers.

Behuizing van nodes

Het experiment van 2004 leerde dat de behuizing kritisch is. In 2005 werd met een goede kwaliteit afdichtingsmateriaal, kleinere toleranties en een niet helemaal afgesloten onderkant, een goede oplossing gevonden. In een ontwikkelingsstadium is het nog regelmatig nodig om nodes te resetten, batterijen te wisselen en nieuwe software te flashen. Een nieuw ontwerp dat weerbestendig is en in de gewenste flexibiliteit voor het onderzoek voorziet is daarom gewenst. Bij het ontwerpen van een definitieve behuizing zal er aandacht moeten zijn om in de toekomst nodes op een kosten effectieve manier te kunnen plaatsen en weer op te ruimen.

Sensor opstelling

In het groeiseizoen 2005 is in Exloo, vlak bij de astronomische proefopstelling van LOFAR een perceel aardappelen een gedeelte uitgezet voor gedetailleerde waarnemingen en toe-

passen van verschillende behandelingen. Hierin zijn 83 nodes uitgezet, met de bedoeling dit uit te breiden naar 150. Er zijn door TNO ontwikkelde TNOdes ingezet die veel gemeen hebben met de Mica2dot (NN, 2003) en gebruik maken van dezelfde TinyOs software. Deze nodes werken in de 868 MHz golflengteband and de nodes zelf zijn op een stok gemonteerd die 0.6 m boven de top van de aardappelrug uitsteekt. De temperatuur (T) en relatieve luchtvochtigheid (RH) wordt gemeten met een Sensirion SHT75 (NN2). De sensor is ook aan de stok bevestigd en op hoogtes variërend van 20 tot 40 cm boven de grond geplaatst.

Sensor waarden worden elke minuut gemeten en elke tien minuten verzonden. Voor identificatie van de gemeten variabelen zijn de Process Data Elements van ISO11783 deel 11 gebruikt.

Draadloos netwerk

De belangrijkste basis voor een energie efficiënt sensor netwerk is het communicatie protocol. Het principe achter deze protocollen is om de micro processor, de sensoren en de radio het grootste deel (liefst 99 procent) van de tijd te laten slapen. In het LOFAR_Agro project werkt de faculteit elektrotechniek, wiskunde en informatica van de TU-Delft aan een energie efficiënte Medium Access Control (MAC) laag, als onderdeel van de Data Link laag. Dit T-MAC protocol bepaart net zo als het bekende S-MAC protocol 98 procent energie t.o.v. een normaal CSMA protocol, maar onder variërende belasting in data presteert T-MAC in simulaties tot een factor 5 beter dan S-MAC door het slaappatroon aan de dataomvang aan te passen en het niet op piek belastingen te baseren zoals S_MAC (Van Dam en Langendoen, 2003).

Bovenop de datalink laag is ook een netwerklaag noodzakelijk om de verbinding via collega nodes naar de gateway te realiseren. Hiervoor is het MintRoute protocol gebruikt.

De opgezette proef in 2005 toonde aan dat T-MAC en MintRoute die het in simulaties en met een beperkt aantal nodes goed doen, bij opschaling naar een tachtig tal nodes problemen opleveren. Een aantal oorzaken hiervan zijn inmiddels achterhaald. Een nette scheiding tussen de diverse lagen in het zeven lagen OSI model voor communicatie lijkt moeilijk of niet te handhaven voor draadloze sensornetwerken. De interactie tussen netwerklaag en datalink laag is zodanig dat een andere benadering, in jargon "cross layer optimization" genoemd, noodzakelijk lijkt.

Fieldgateway

De Fieldgateway aan de rand van het veld wordt gevormd door een Stargate single board computer, uitgerust met een 400MHz X-Scale processor (NN, 2004). Deze gebruikt één TNOde als interface met het veldgedeelte en verzamelt alle gegevens. De gateway is verantwoordelijk voor omzetten van de timestamp naar UTC basis en voegt aanvullende informatie zoals de naam van het perceel toe.

De informatie van de Fieldgateway wordt met een bidirectionele Wifi verbinding doorgegeven naar de Lofar gateway, die de aankoppeling met het glasvezelnetwerk vormt.

De gegevens van de Fieldgateway werden in 2005 nog verza-

meld in Delft voor nadere analyse van informatie over het netwerk zelf. Diagnose zal ook in een definitieve opzet een belangrijke functionaliteit blijven om problemen liefst remote op te lossen.

De landbouwkundige informatie wordt daar omgezet in XML files volgens de ISO11783 standaard voor mobiele elektronica in de landbouw. Het bleek mogelijk de Fieldgateway te behandelen als een Taskcontroleur in ISO11783. De XML files worden naar de server van het Agro datawarehouse gestuurd.

Agro Datawarehouse

Het Agro Data Warehouse (ADW) dat is opgezet door Vertis BV, verwerkt de XML files van de Fieldgateway met een zelfde procedures om gegevens van een ISO11783 compatibele boordcomputer van een trekker uit te lezen. Betrouwbaarheid van de data wordt geverifieerd door vergelijking met de waarden van omliggende nodes en van de eigen sensor in de tijdreeks.

De ADW regelt de autorisatie voor gebruikers die de data vragen en stelt die beschikbaar in de vorm van XML files volgens eerder genoemde standaard.

DSS

Het beslissing ondersteunende systeem (DSS) dat wordt ontwikkeld door Opticrop, biedt de mogelijkheid om alle teeltgegevens van het perceel in te voeren, die dan weer kunnen worden opgeslagen in het DWH. Het DSS voor Phytophthora stelt een nieuw advies op zodra er een nieuwe weersverwachting binnen komt. Actuele informatie over het microklimaat uit het DWH wordt gebruikt om ruimtelijke verschillen mee te nemen in de advisering.

Website

Het is de bedoeling om actuele gegevens over het microklimaat in het veld en de gegenereerde adviezen voor Phytophthora preventie zichtbaar te maken op de website van LOFAR perohect. (www.lofar.org)

Toekomst

Er is behoefte aan een standaard voor draadloze communicatie in de landbouw. Verschillende fabrikanten, ook uit andere dan landbouw toepassingen, zullen in dezelfde golflengte producten aanbieden. Daarom zijn er gemeenschappelijke afspraken nodig voor de fysieke, de data-link en de netwerklaag. Zigbee of haar basis, IEEE802.15.4, is een voorbeeld van zo'n standaard, maar de functionele eisen vanuit diverse landbouwkundige toepassingen moeten worden opgesteld en dergelijke standaarden daaraan getoetst. De hogere communicatie lagen moeten de bestaande landbouwkundige standaards zoveel als mogelijk volgen, zodat het voor applicaties er niet toe doet of informatie van bedrade of draadloze sensoren afkomstig is.

"Smart Dust" of draadloze sensoren zullen een belangrijke rol spelen in het verzamelen van informatie voor precisie landbouw en precisie veehouderij en voor het volgen van

producten verder in de keten. Met het oog op kosten is het interessant om nodes de hele productieketen mee te laten "reizen". Dit vraagt naast de noodzaak om een netwerk in stand te houden in een dynamische situatie en de mogelijkheid de positie te bepalen, ook om aanpassing van het meetgedrag, afhankelijk van het stadium van de productie.

De belangrijkste bijdrage in de energie verzorging wordt geleverd door besparingen met "slimme" protocol's. Hiermee is tot 98 procent besparing mogelijk en zorgt er voor dat batterijen niet binnen een seizoen gewisseld moeten worden. Het inzetten van alternatieve energiebronnen wordt dan vooral een kostenafweging.

Acknowledgement

Dit werk is mogelijk gemaakt door het project LOFAR project, gefinancierd door de Nederlandse overheid uit het BSIK programma en door SNN.

Verwijzingen

Alippi, C. and Vanini, G. 2004. Wireless Sensor Networks and Radio Localization: A Metrological Analysis of the MICA2 Received Signal Strength Indicator. In proceedings of the First IEEE Workshop on embedded Networked Sensors, Tampa, USA, 16 November, 2004

NN 2003. MPR-Mote processor radio board MIB – Mote Interface / Programming Board User's Manual. December 2003. Crossbow Technology, Inc. San Jose CA USA.

NN 2004. Stargate Developers guide. Rev A February 2004. Crossbow Technology, Inc. San Jose CA USA.

NN2. SHT1x / SHT7x Humidity & Temperature Sensor. Sensirion.

http://www.sensirion.com/en/pdf/Datasheet_SHT1x_SHT7x.pdf

Parsons, J. D. 2000. The mobile radio propagation channel. John Wiley & Sons.

Van Dam, T. V. and Langendoen, K. 2003. An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys'03), Los Angeles, CA, USA. November, 2003.

Whitehouse, C. D. 2002. The design of calamari: an ad-hoc localization system for sensor networks. Master thesis, University of California, Berkeley, 2002.

<http://www.cs.berkeley.edu/~kamin/pubs/whitehouse02calamari.pdf>