

Radiotelescoop zwemt uit rond de maan

Voor radioastronomie op lage frequenties is een telescoop buiten de dampkring nodig, maar een enkele satelliet is veel te klein voor die toepassing. De draadloze sensornetwerkenaanpak kan hier uitkomst bieden. Dit idee wordt uitgewerkt binnen het Olfar-project.

Mark Bentum Chris Verhoeven Steven Engelen Raj Thilak Rajan Alex Budianu David Smith

Het vakgebied van de astronomie is continu op zoek naar mogelijkheden om het grote heelal in kaart te brengen en het daarmee beter te begrijpen. Daarvoor zijn sensoren ontwikkeld voor elektromagnetische signalen uiteenlopend van lage frequenties tot het zichtbare licht. Het gebied beneden de 30 MHz is echter nog een grote onbekende binnen de astronomie. Wetenschappelijk gezien, is dit een zeer interessant frequentiegebied, onder meer voor het ontdekken van planeten en zonnuitbarstingen in andere zonnestelsels, het bestuderen van ruimteweer en het onderzoeken van roodverschoven radiogolven afkomstig van waterstof uit het vroege heelal, de zogeheten *dark ages*.

Helaas is dit frequentiegebied onbereikbaar vanaf de aarde door de invloeden van de ionosfeer. Die geeft scintillaties (vergelijkbaar met het fonkelen van sterren) beneden de 30 MHz. Beneden de 15 MHz is de ionosfeer meestal zelfs helemaal ondoorzichtig. Bovendien wordt dit frequentiegebied veel gebruikt voor communicatiedoelinden op aarde. Het verschil tussen de zwakke astronomische bronnen en de *man-made noise* is zo groot dat het praktisch onmogelijk is om ontvangers voor deze toepassing te maken.

De enige oplossing is om een groot sensornetwerk te realiseren in de ruimte. Hoe groter de telescoop, hoe hoger het detail. Voor deze lage frequenties is een telescoop van zo'n honderd kilometer in diameter nodig om met voldoende detail te kunnen waarnemen.

Voor een dergelijke applicatie kunnen we putten uit de kennis over draadloze sensor-

netwerken. Ruimtelijk verspreide sensoren vormen hierbij autonoom en ad hoc een onderlinge verbinding. Soms varen, rijden of vliegen ze zichzelf naar de gewenste positie als er onevenredig veel menskracht nodig is voor de installatie, of als de locatie erg onbereikbaar of onherbergzaam is. Deze zelfredzaamheid is bij uitstek een eigenschap die in de ruimte goed van pas komt.

Bij een sensornetwerk in de ruimte hebben we het over complete satellieten als sensornodes. En wanneer het over grote aantallen nodes gaat, spreken we over een zwerm, een speciaal soort formatie of constellatie waarbij voor de buitenwereld alleen de positie van het geheel belangrijk is. De satellieten zorgen zelf autonoom voor een nette verdeling over het volume van de constellatie.

Deze benadering maakt dat de satellieten relatief weinig hulpbronnen zoals brandstof nodig hebben om hun diensten te kunnen bewijzen. En dat maakt op zijn beurt dat nanosatellieten, die wat hulpbronnen betreft heel beperkt zijn, erg goed in een zwerm kunnen functioneren. Hun lage kosten maken het dan weer mogelijk om met grote aantallen te werken. Een zwerm van nanosatellieten kan in de ruimte dus heel effectief als zelf-uitrolend draadloos sensornetwerk fungeren.

Standaard meetlint

Dat is exact wat we doen binnen het Olfar-project, een samenwerkingsverband tussen Astron, de Universiteit Twente (Short Range Radio), de TU Delft (Circuits & Systems en Space System Engineering) en de bedrijven Aemics, Axiom IC, Dutch Space,

Isis, National Semiconductor en Systematic. Hierin wordt de komende jaren gewerkt aan de nieuwe technologieën die het mogelijk moeten maken om een gedistribueerde radiotelescoop te bouwen met een zwerm van tientallen nanosatellieten die bijvoorbeeld in een baan om de maan met lange antennes het niet eerder waargenomen frequentiegebied in kaart brengen.

De belangrijkste sensor is het antennesysteem. De benodigde ontvangstelektronica is eenvoudig te ontwerpen en een nanosatelliet biedt ruim voldoende plaats en energie om die mee te kunnen nemen. Voor de antenne zelf ligt dit iets ingewikkelder. De waarneemfrequentie is erg laag, zodat een standaard dipoolantenne erg lang zou moeten worden. Als we een astronomische meting willen uitvoeren op 1 MHz, betekent dit een antennelengte van ongeveer honderdvijftig meter. Aangezien de satelliet zelf ongeveer tien bij tien bij dertig centimeter meet, is dit niet realiseerbaar.

Er zijn wel concessies mogelijk. Door de antenne sterk in te korten en de versterker daarop aan te passen, is nog steeds een goede meting mogelijk. Dit wordt dan een actieve antenne die niet in staat is om energie uit het radioveld te halen of op deze frequenties te zenden, maar dat is toch niet nodig. Actieve antennes zijn voor aardse toepassingen al decennia met groot succes in gebruik. Ze meten alleen het elektrische veld van de radiogolven, maar dat bevat alle benodigde informatie.

De lengte van de antenne heeft een directe relatie met de ruisvloer van de ontvanger. Die lengte moet zodanig worden gekozen dat de

ruis uit de ruimte hoger is dan die van de ontvanger, waardoor we het signaal uit de ruimte kunnen detecteren. Bij Olfar lijkt het erop dat een antenne van tussen de vijf en tien meter voldoende is en dat lijkt mechanisch weer goed haalbaar voor een nanosatelliet.

Een andere uitdaging is hoe de antennes in drie richtingen te plaatsen zijn. Een eerste ingeving is om ze precies in het midden van elke kant van de satelliet te plaatsen. Maar daarmee komen verschillende problemen naar voren. Dan moeten er immers op zes plekken in de satelliet een ontvanger en een uitvouwmecanisme voor deze antenne komen. Dat neemt veel ruimte in beslag en beperkt het plaatsen van zonnecellen en antennes voor de satelliet-naar-satelliet-communicatie.

Omdat de satelliet toch al niet symmetrisch is, onderzoeken we op dit moment een geheel andere aanpak. Uit twee hoeken van de satelliet worden drie monopolen ontvouwen. Daarmee zijn er slechts twee plekken in de satelliet nodig voor aansluitingen. Een consequentie van deze uitvoering is dat de dipolen niet meer symmetrisch ten opzichte van elkaar staan. Dit zal een kalibratieslag vereisen.

In uitgevouwen toestand moet de antenne enkele meters lang zijn en ook een zekere stijfheid bezitten. Voor de lancering moet het geheel echter juist heel klein zijn. In de Delfi-C3-satelliet van de TU Delft is een standaard meetlint gebruikt. Opgerold neemt dat een beperkte ruimte in, uitgerold is de antenne stijf. De Olfar-antennes zouden hier te lang voor kunnen zijn. Hoewel dit vooralsnog onduidelijk is en er misschien een *zero-g*-vlucht aan te pas moet

komen om echt uitsluitel te krijgen, is er als voorzorg een onderzoek gestart naar een alternatieve antenne met metaal in een V-vorm. Op dit moment maken we een eerste prototype dat we gaan onderzoeken op mechanische en elektrische eigenschappen.

Exotisch alternatief

Een ander project binnen Olfar richt zich op de sensoren om de positie van de satellieten vast te stellen. Hierbij gaat het om twee dingen: de onderlinge plek en de absolute positie voor navigatiedoelinden. De relatieve positie kan de intersatellietcommunicatie gebruiken: door tijdvertraging en het faseverschil hiervan te meten, is de onderlinge afstand te bepalen.

Voor de absolute positie in het heelal zijn verschillende technieken denkbaar. GPS werkt ver van de aarde niet. Wel kunnen we kijken naar andere objecten. Traditioneel zijn dat sterren aan de hemel. Een camera met beeldverwerkingsalgoritmes kan hiermee een schatting maken van de locatie en de oriëntatie.

Binnen Olfar richten we ons op een exotisch alternatief. Het lijkt namelijk mogelijk om objecten in het heelal te gebruiken die zich gedragen als een soort natuurlijke GPS-satellieten: pulsars. Dit zijn overblijfselen van supernova's die zeer snel om hun as draaien. Ze zenden daarbij over een heel breed spectrum een uniek herkenbaar elektromagnetisch signaal uit met een timing nauwkeuriger dan die van een atoomklok, van enkele megahertzen tot aan röntgenstraling. Door een set bekende pulsars te meten op (ook weer) lage radiofrequenties, moet het voor

De Olfar-radiotelescoop moet worden opgebouwd uit een zwerm nanosatellieten.

een satelliet mogelijk zijn om de positie te bepalen. Dit idee zal binnenkort verder worden uitgewerkt binnen een EU-project.

Het aardige is dat pulsarnavigatie, als het werkend te krijgen is, ook gewoon op aarde functioneert. Dan krijgt het Olfar-project ineens een heel interessante spin-off die in het dagelijks leven als betrouwbare back-up kan dienen voor de satellietnavigatiesystemen waar op dit moment veel van afhangt en die gevoelig zijn voor de grillen van onze zon.

Het lijkt erop dat er voor nanosatellieten in ieder geval één nuttige wetenschappelijke toepassing bestaat. Dat is, uitstekend passend in de Nederlandse traditie, een radiotelescoop die een tot nu toe ongezien frequentiegebied ontsluit. Er is op dit moment geen ander systeem bekend dat eerder tot resultaten zou kunnen leiden dan Olfar. Nederland laat hiermee wederom zien hoe je een krachtige radiotelescoop bouwt. En wanneer het eerste kleinste denkbare satellietje de maan bereikt, zullen we misschien terugdenken aan wat wij vroeger met kleine scheepjes deden. Winnen!

Wetenschappers Mark Bentum (UT/Astron) en Chris Verhoeven (TU Delft) leiden het Olfar-project. Steven Engelen, Raj Thilak Rajan en Alex Budianu doen hun promotieonderzoek en David Smith is postdoc binnen het project.

Redactie Pieter Edelman