

# GISARE: GPS metingen voor de schatting van atmosferische parameters

Ramon Hanssen  
Faculteit der Geodesie  
Technische Universiteit Delft

## 1 Inleiding

Het Groningen Interferometric SAR Experiment (GISARE) is een onderdeel van het SAR onderzoek dat momenteel binnen de faculteit der Geodesie van de TU Delft plaatsvindt. *SAR Interferometrie* is de benaming van een speciaal gebruik van een radarsysteem aan boord van een satelliet of vliegtuig voor de meting van hetzij hoogten, hetzij kleine horizontale of verticale bewegingen van de aardkorst. In het kader van bovengenoemd experiment is in maart '96 een GPS campagne uitgevoerd in het testgebied Oost-Groningen/Noord-Drenthe, waarbij met acht ontvangers simultaan waarnemingen werden gedaan. Doel van deze campagne is het schatten van atmosferische parameters die van invloed kunnen zijn op de voortplanting van het radarsignaal. De campagne werd mogelijk gemaakt door een samenwerking tussen de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM), de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat, het Kadaster en de faculteit der Geodesie van de TU Delft.

In dit artikel wordt een korte achtergrond gegeven van de SAR interferometrie, gevolgd door

een beschrijving van het Groningen Interferometric SAR Experiment, de atmosferische effecten die hierbij een rol spelen en de in dit kader uitgevoerde GPS campagne.

## 2 SAR Interferometrie

SAR (Synthetic Aperture Radar) is de benaming voor de techniek om met een radar aan boord van een vliegtuig of satelliet beeldvormende waarnemingen te doen met een hoge resolutie. De hoge resolutie wordt bereikt door verschillende overlappende pulswaarnemingen te combineren waardoor het effect verkregen wordt van een antenne met een zeer grote, kunstmatige, lengte, de zogenaamde *Synthetic Aperture*. De beeldvormende eigenschappen die het instrument op deze manier krijgt, gecombineerd met de speciale eigenschappen van radar, geven het een unieke plaats in het grotere spectrum van remote sensing technieken. Een belangrijke kenmerk van radar, in vergelijking met bijvoorbeeld optische technieken is de *actieve* sensor: het instrument is zowel zender als ontvanger. Hierdoor is het mogelijk zowel overdag als 's nachts te meten, en dankzij de golflengte van de radarpuls vormt ook bewol-

king geen belemmering voor de intensiteit van het gereflecteerde signaal.

INSAR, ofwel SAR *interferometrie* is een bijzondere toepassing van SAR, waarbij door gebruik te maken van **twee** SAR beelden relatieve geometrische weglengteverschillen tussen de **twee** sensors en het terrein kunnen worden gemeten. Deze weglengteverschillen worden waargenomen door gebruik te maken van de gereflecteerde fase van het radarsignaal. De gemeten faseverschillen kunnen worden weergegeven in een faseverschilplot: het *interferogram*. In gunstige omstandigheden kan zo'n fasewaarneming voor iedere pixel plaatsvinden, en kunnen verschillende grootheden hiervan worden afgeleid. Belangrijke grootheden zijn bijvoorbeeld hoogteverschillen en temporele hoogteveranderingen. Met behulp van de hoogteverschillen kunnen digitale hoogtemodellen worden gemaakt (Zebker & Goldstein, 1986), terwijl met temporele hoogteveranderingen dynamische processen zoals seismische deformaties (Massonnet et al., 1993) of vulkaandeformaties (Massonnet et al., 1995) kunnen worden gevolgd. In Nederland wordt geprobeerd de Groningse bodemdaling met INSAR waar te nemen. Belangrijke eigenschappen van dit type waarnemingen voor het TU Delft onderzoek zijn:

- De hoge ruimtelijke *resolutie*. In gunstige gevallen wordt voor elke pixel een waarneming gedaan. Pixelafmetingen zijn na middelling ongeveer  $20 \times 20$  meter (voor ERS-1 en ERS-2).
- De *nauwkeurigheid*. Testen met hoekreflectoren hebben aangetoond dat kleine hoogteveranderingen binnen enkele millimeters detecteerbaar zijn (Hartl et al., 1993; Monti Guarnieri et al., 1993).

- De *repetitiegraad*. Bij satellietmethoden kan een bepaald gebied met een grote regelmaat worden waargenomen. Door vergelijking van data van een aantal jaar terug met huidige data is de techniek gevoelig voor zeer langzame processen.
- De korte *meetduur*. Een SAR beeld van ca.  $100 \times 100$  km wordt binnen 15 seconden waargenomen. Dit is bijvoorbeeld van belang bij snel optredende deformaties zoals getijdewerking op grote civiele constructies (Kooij et al., 1995).
- De *kosten*. Een interferometrisch product kan relatief gezien tegen een lage kostprijs worden vervaardigd. (Een SAR beeld kost circa 1 US\$ per vierkante kilometer (van Halsema & Hanssen, 1996)).

Hoewel de vooruitzichten voor INSAR toepassingen gunstig lijken te zijn, bevindt de techniek zich nog in een opstartfase. Verschillende foutenbronnen dienen nog verder te worden onderzocht voordat praktische implementatie op grote schaal plaats kan vinden. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de atmosferische invloeden, het 'unwrappen' van de fasewaarnemingen en de praktische combinatie van diverse meetmethoden. Een aantal van deze hindernissen worden specifiek onderzocht in het Groningen Interferometric SAR Experiment.

### 3 GISARE

Met het *Groningen Interferometric SAR Experiment* wordt geprobeerd de toepassingsmogelijkheden van SAR interferometrie voor de Nederlandse situatie verder te onderzoeken. Dit

onderzoek sluit aan op eerdere studies, gericht voor de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) door het Fysisch en Elektronisch Laboratorium van TNO (Kooij et al., 1995).

Speciale aandacht gaat bij GISARE uit naar:

- de rol van de atmosfeer—in het bijzonder de natte troposfeer en de ionosfeer—op de fasevertraging van het radarsignaal,
- geodetische validatie: de koppeling van de relatieve fasewaarnemingen aan geodetische hoogtesystemen, en
- het gebruik van zogenaamde coherente reflectoren.

Groningen bleek voor deze doelen een geschikte lokatie. Door de metingen in verband met de bodemdaling zijn voldoende nauwkeurige gegevens bekend over het gedrag van de bodem en door het vlakke landschap zal de invloed van de topografie beperkt zijn.

Bij GISARE zijn op een achttal locaties kunstmatige (hoek)reflectoren geplaatst die gericht staan op de satelliet, in dit geval ERS-1 en ERS-2. Om de twee weken wordt het testgebied waargenomen, eerst door ERS-1 en 24 uur later door ERS-2. Interferogrammen kunnen worden gemaakt van combinaties van ERS-1 met ERS-2, of met vroegere ERS-1 waarnemingen. De gemeten hoogte(verschillen) van de reflectoren worden vergeleken met de hoogteverschillen verkregen door waterpassing.

## 4 Atmosferische invloeden

Zoals in het bovenstaande beschreven worden hoogteverschillen bij INSAR gemeten door gebruik te maken van het weglengteverschil tussen een pixel en de twee respectievelijke

sensors. Dit weglengteverschil wordt echter beïnvloed door de refractieve werking van de atmosfeer. De voortplantingssnelheid van het signaal wordt verminderd en de afgelegde weg wordt gekromd. Kenmerkend aan deze atmosferische invloeden zijn de temporele en ruimtelijke variaties. Aangezien de gebruikte beeldfragmenten binnen tien seconden worden opgenomen kan de waarneming als instantaan worden beschouwd. Het tweede beeld, benodigd voor het vervaardigen van een interferogram, is echter opgenomen onder geheel andere atmosferische condities. Het spreekt voor zich dat de condities van beide opnametijdstippen zullen doorwerken in het eindproduct. Ruimtelijke variaties vormen hierbij een groot probleem. Vooral waterdampvariaties binnen het beeld zullen verkeerd kunnen worden geïnterpreteerd aangezien het verschil tussen faseveranderingen ten gevolge van bodemdaling en faseveranderingen door atmosferische effecten niet met voldoende zekerheid is op te maken.

Om de invloed van deze effecten te onderzoeken worden additionele meteorologische data verzameld. Dit gebeurt zowel door middel van grond- als satellietwaarnemingen, in nauwe samenwerking met het KNMI. De waarnemingen worden geanalyseerd en geklassificeerd, waarna een vergelijking tussen de meteorologische en de INSAR data plaats kan vinden. Uit deze vergelijking kan in eerste instantie een kwaliteitsoordeel van het interferogram worden gegeven, gebaseerd op de atmosferische variabiliteit. Hierna wordt geprobeerd een meer kwantitatieve beschrijving van de effecten te geven, in de vorm van locale fasevertragingen. Voor zowel de kwalitatieve, maar vooral de kwantitatieve benadering zal tevens gebruik worden gemaakt van de uit GPS waarnemingen afgeleide atmosferische parameters.

## 5 GPS campagne

Een andere mogelijkheid om de gewenste meteorologische parameters te bepalen is het Global Positioning System. Aangezien de dispersieve ionosferische effecten kunnen worden geëlimineerd door gebruik te maken van de twee draagfrequenties, zullen de met GPS gemeten temporele hoogtevariatiën voor een bekende, vaste positie voor een groot deel te wijten zijn aan variatiën in de troposferische signaalvertraging. De troposfeer is niet dispersief voor frequenties lager dan 30 GHz, waardoor de vertraging van het GPS signaal gelijk zal zijn aan de vertraging van het radarsignaal. Om deze parameters te kunnen vergelijken met de SAR fasewaarnemingen is in het GISARE testgebied tussen 14 en 18 maart 1996 een GPS campagne uitgevoerd waarbij met acht ontvangers (vier van het type *Ashtech MDL Z-12* en vier *Turbo-Rogue's SNR-12RM*) simultaan is waargenomen. Hierbij werden identieke antenne's van het type Dorne-Margolin gebruikt. Om een ongestoorde campagne te garanderen zijn alle ontvangers geplaatst op afgeschermd NAM locaties. Data-loggen gebeurde voor de Turbo-Rogues met behulp van flashcards, voor de Ashtechs werden de data direct naar labtops weggeschreven.

Verschillende auteurs (Dodson et al., 1996; Brunner & Welsch, 1993) hebben aangetoond dat er een significante correlatie bestaat tussen de variabiliteit van de natte troposfeer en de absolute waarde van de residuele fout in de hoogtebepaling van de GPS antenne. Aangezien de ontvangers gedurende lange tijd stabiel op dezelfde posities hebben gestaan mag worden aangenomen dat variatiën in de waargenomen  $z$ -coördinaat te wijten zijn aan de troposferische variabiliteit. Door nu de data van

alle acht ontvangers op een bepaald tijdstip met elkaar te vergelijken zal worden geprobeerd een schatting te geven van de troposferische vertragingen binnen de SAR beelden.

## 6 Conclusies

De in GISARE verrichte metingen vormen een basis voor het verdere INSAR onderzoek aan de TU Delft. Tevens zal worden bekeken in hoeverre GPS waarnemingen relevante kwantitatieve informatie kunnen geven over de troposferische (en eventueel ionosferische) invloeden op SAR interferometrie. In de toekomst wordt verwacht dat SAR interferometrie een belangrijke rol kan gaan spelen naast het complementaire GPS, waterpassen en andere geodetische meetmethoden.

## Referenties

- Brunner, F. K. & Welsch, W. M. (1993). Effect of the troposphere on GPS measurements. *GPS World*, (pp. 42–51).
- Dodson, A. H., Shardlow, P. J., Hubbard, L. C. M., Elgered, G., & Jarlemark, P. O. J. (1996). Wet tropospheric effects on precise relative gps height determination. *Journal of Geodesy*, 70, 188–202.
- Hartl, P., Reich, M., Thiel, K.-H., & Xia, Y. (1993). SAR interferometry applying ERS-1: some preliminary test results. In *Proceedings First ERS-1 Symposium — Space at the Service of our Environment, Cannes, France, 4–6 November 1992*, ESA SP-359 (pp. 219–222).
- Kooij, M., van Halsema, D., Groenewoud, W., Mets, G. J., Overgaauw, B., & Vis-

- ser, P. (1995). *SAR Land Subsidence Monitoring*. BCRS.
- Massonnet, D., Briole, P., & Arnaud, A. (1995). Deflation of mount etna monitored by spaceborne radar interferometry. *Nature*, 375, 567–570.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adagna, F., Peltzer, G., Feigl, K., & Rabaut, T. (1993). The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364(8), 138–142.
- Monti Guarnieri, A., Parizzi, F., Prati, C., & Rocca, F. (1993). SAR interferometry experiments with ERS-1. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Tokyo, Japan, 18–21 August 1993* (pp. 991–993).
- van Halsema, E. & Hanssen, R. (1996). Radar interferometry: A new tool for accurate height modelling. *Geomatics Info Magazine*, 10(1), 27–31.
- Zebker, H. A. & Goldstein, R. M. (1986). Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research*, 91(B5), 4993–4999.