

Tijdschrift van het NERG

Correspondentie adres: postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Internet: www.nerg.nl
Gironummer 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

DE VERENIGING NERG

Het NERG is een wetenschappelijke vereniging die zich ten doel stelt de kennis en het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica, signaalbewerking, communicatie- en informatietechnologie te bevorderen en de verbreiding en toepassing van die kennis te stimuleren.

BESTUUR

prof.dr.ir. W.C. van Etten, voorzitter
prof.dr.ir. A.P.M. Zwamborn, vice-voorzitter
dr. M.J.C. van den Homberg, secretaris
ir. A.A. Dogterom, penningmeester
dr.ir. T.J. Tjalkens, programma-manager
G. van der Schouw, voorzitter onderwijscommissie
dr.ir. A.B. Smolders, tijdschrift-manager
ir. R.J. Kopmeiners, web-site beheerder
dr.ir. W.M.C. Dolmans
ing. J.S.A. van Proosdij

LIDMAATSCHAP

Voor het lidmaatschap wende men zich via het correspondentie-adres tot de secretaris of via de NERG website: <http://www.nerg.nl>. Het lidmaatschap van het NERG staat open voor hen, die aan een universiteit of hogeschool zijn afgestudeerd en die door hun kennis en ervaring bij kunnen dragen aan het NERG. De contributie wordt gegeven per kalenderjaar en is inclusief abonnement op het Tijdschrift van het NERG en deelname aan vergaderingen, lezingen en excursies.

De jaarlijkse contributie bedraagt voor gewone leden f 75,- (vanaf 1 jan. 2001 f 95,-) en voor studentleden f 39,- (vanaf 1 jan. 2001 f 50,-). Bij automatische incasso wordt f 3,- korting verleend. Gevorderde studenten aan een universiteit of hogeschool komen in aanmerking voor het studentlidmaatschap. In bepaalde gevallen kunnen ook andere leden, na overleg met de penningmeester voor een gereduceerde contributie in aanmerking komen.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt vijf maal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica, signaalbewerking, communicatie- en informatietechnologie. Auteurs, die publicatie van hun onderzoek in het tijdschrift overwegen, wordt verzocht vroegtijdig contact op te nemen met de hoofdredacteur of een lid van de Tijdschriftcommissie.

Toestemming tot overnemen van artikelen of delen daarvan kan uitsluitend worden gegeven door de redactiecommissie. Alle rechten worden voorbehouden.

TIJDSCHRIFTCOMMISSIE

dr. ir. A.B. Smolders, voorzitter.
ASTRON, Postbus 2, 7990 AA Dwingeloo,
E-mail: smolders@nfra.nl
ir. H.J. Visser, hoofdredacteur.
TNO-FEL, Postbus 96864, 2509 JG Den Haag,
E-mail: visser@fel.tno.nl
ir. G.W. Kant, redactielid.
ASTRON Dwingeloo,
E-mail: kant@nfra.nl

Deze uitgave van het NERG wordt verzorgd door:



ISSN 03743853



INHOUD

Van de redactie	96
<i>Huib Visser</i>	
Angle-of-arrival measurements for improved mobile channel modelling.	97
<i>ir. Y. de Jong and dr. ir. M. Herben</i>	
Het onderzoek van het IRCTR	106
<i>prof. ir. P. van Genderen en prof. dr. ir. L.P.Ligthart</i>	
Radaraardobservatie, de Gebruiker en het Overzicht	119
<i>prof. ir. P. Hoogeboom</i>	
Radar en schaduwwerking veroorzaakt door grote windturbines	129
<i>ir. L.J. van Ewijk</i>	
Ledenmutaties NERG. . .	136
Aankondigingen & Oproepen.	137
Conferenties en symposia .	140

Uitgever: ing. D.J. Wassink
Advertenties: M. de Boer
tel: (0570) 648718
E-mail: MdeBoer@kluwer.nl
fax.: (0570) 619904
Opmaak: Henk Visscher, Zutphen

Van de redactie

Huib Visser
hoofdredacteur
visser@fel.tno.nl



Voor u ligt alweer het derde nummer van het Tijdschrift – nieuwe stijl. Wij (de redactie) en kennelijk u ook, gezien de positieve reacties die wij hebben ontvangen, zijn tevreden over de nieuwe opzet, maar dit betekent niet dat het niet beter kan.

Eén van de frustrerende aspecten van het redactielid zijn is om geconfronteerd te worden met tikfouten. Kennelijk maakt het niet uit hoe vaak en met hoeveel personen een tekst wordt gecontroleerd; het lukt (tot op heden) niet om een geheel nummer 'tikfoutvrij' te krijgen. We blijven echter ons best doen! Iets anders wordt het wanneer schrijffouten aan onze aandacht ontsnappen, zoals in het artikel over de verzameling van ing. C.S. Caspers waarin in een fotobovenschrift het woord 'pijlinstallatie' werd gebruikt in plaats van peilinstallatie. Terecht was dan ook de vraag van een lezer of het hier ging om een van de hand- of kruisboog afgeleid apparaat! Ook hier zou ik willen zeggen: 'Wij blijven ons best doen.'

Door diverse lezers werden wij erop gewezen dat er een standaard schrijfwijze is voor eenheden, welke wij in de voorgaande twee nummers niet altijd even nauwgezet hebben gevolgd. De eerlijkheid gebied mij te zeggen dat wij niet op de

hoogte waren van deze standaard schrijfwijze. Deze lacune in onze kennis is nu echter opgevuld, zodat wij in het vervolg eenheden op de correcte wijze kunnen weergeven.

Hoewel ik in het redactioneel voorwoord van Nr.2, 2000 schreef dat de 'condensator-impedantie discussie' gesloten werd, zie ik mij toch genoodzaakt er in dit voorwoord op terug te komen. Als redactie juichen wij een discussie van harte toe, ook als de discussie wat heftiger wordt. En dat was wat er gebeurde met bovengenoemde discussie, want naast de in het Tijdschrift gepubliceerde polemiek ontstond er ook een privé briefwisseling tussen de diverse auteurs. Naar aanleiding van deze privé briefwisseling werd een artikel van ir. P. van der Wurf door hem teruggetrokken en herzien. In de hectiek van stijl- en redactieovergang aan het begin van het jaar hebben wij als redactie deze herziene versie gemist en het oorspronkelijke artikel van ir. van der Wurf gepubliceerd alsmede de reacties hierop van dr. ir. F.L. Neerhof en prof. dr. ir. van Etten et al.

Als redactie betreuren wij deze gang van zaken en uiteraard zal ir. van der Wurf in de gelegen-

heid worden gesteld om zijn herziene artikel en zijn reactie te plaatsen in het Tijdschrift.

Dit zal in het volgende nummer (Nr. 4) van het Tijdschrift gebeuren, want toen wij geattendeerd werden op deze situatie was de samenstelling van dit nummer reeds voltooid.

Wat in Nr. 5 van het Tijdschrift aan de orde zal komen is de uitreiking van de Vederprijs in juni jongstleden. Wij verkeren namelijk nog steeds in de luxe situatie dat wij ruim voldoende materiaal ter publicatie krijgen aangeboden. Blijft u hier vooral mee doorgaan.

Het thema van dit nummer (NR. 3 betreft 'propagatie en reflectie van elektromagnetische golven'. Naast artikelen in dit kader vindt u in dit nummer ook weer de nodige aankondigingen en mededelingen waarmee nog eens onderstreept wordt dat het Tijdschrift van het NERG ook een verenigingsorgaan is.

Namens de tijdschriftcommissie van het Tijdschrift van het NERG wens ik u veel leesplezier toe.

Angle-of-arrival measurements for improved mobile channel modelling

Yvo de Jong and Matti Herben

Eindhoven University of Technology, Faculty of Electrical Engineering

P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven

E-mail: y.l.c.d.jong@tue.nl.



Introduction

As a result of today's rapidly growing mobile telecommunications market, mobile network operators are considering various methods to increase the capacity of their networks. Probably the most promising development in this respect is the deployment of microcells in urban areas where very high traffic intensities are expected. As is well known, ultrahigh frequency (UHF) radio wave propagation in urban environments is typically a multipath phenomenon, i.e., signals travel between the transmitter and the receiver following discrete paths. In microcells, the base station (BS) antennas are usually mounted below the rooftop level in order to confine the radiated power within a small coverage area, such that the same frequency channels can be re-used at short distances (several hundreds of meters) without introducing an unacceptable degree of interference between cells. As the line-of-sight propagation path is often blocked, propagation via reflection, diffraction and scattering from various objects in the environment becomes significant in urban microcells.

For the planning of conventional large cells, or macrocells, network planners have traditionally been relying on the characterisation of the mobile radio channel in terms of a number of global, statistical parameters obtained from extensive field strength measurements. In microcellular areas, however, the propagation strongly depends on local features of the environment (such as locations, shapes and dielectric properties of the buildings) and important channel parameters such as path loss and delay spread become very location-specific. Deterministic propagation prediction models, capable of providing location-specific field predictions on the basis of an accurate building

database and physical models of the occurring propagation phenomena are, therefore, receiving increased attention. Result of this development is a growing need for a more fundamental understanding of the dominant propagation mechanisms in the mobile radio channel. For this purpose, a number of groups have been active in the measurement of channel characteristics at the level of the individual multipath components, in particular by separating the multipath waves on the basis of their different propagation delay times and angles-of-arrival [1-4].

In the framework of a cooperation between Eindhoven University of Technology (EUT), KPN Research, Leidschendam, The Netherlands, and Swisscom, Bern, Switzerland, high-resolution angle-of-arrival measurements were carried out in several urban and suburban environments in The Netherlands and Switzerland, aim of which was to verify and possibly improve on existing deterministic propagation prediction models. In this paper the results of a number of these measurements are presented and compared with predictions generated with the μ FiPre propagation prediction model, which is discussed in the next section. Section 3 gives a description of the measurement equipment, and section 4 deals with the algorithm used for the high-resolution estimation of angles-of-arrival. Experimental results and comparisons with predictions are given in section 5. Finally, conclusions are drawn in section 6.

The μ FiPre propagation prediction tool

The μ FiPre tool used in this paper for the prediction of path loss and channel impulse responses is partly based on the fully three-dimensional FiPre ("Field Prediction") software, which was originally

developed for satellite applications [5]. Like FiPre, μ FiPre is a ray-tracing model based on geometrical optics (GO) to model free-space propagation and reflections, and the uniform theory of diffraction (UTD) to describe diffraction effects. Unlike FiPre however, the μ FiPre tool is a two-dimensional model and therefore capable of handling very large building databases without consuming excessive computation time. It models the buildings as cylindrical, lossy dielectric objects with arbitrary cross sections and plane, smooth faces. Two-dimensional ray-tracing models such as μ FiPre have been applied successfully for field prediction when transmitting and receiving heights are well below the average rooftop level, so that propagation over rooftops is insignificant. This is normally the case for urban microcells.

In the μ FiPre model reflected field amplitudes are computed using the reflection coefficient for plane constant-impedance interfaces [6], and the waves diffracted from the vertical building edges are evaluated using the UTD diffraction coefficient proposed by Tiberio *et al.* in [7]. Unlike the often used "heuristic" diffraction coefficient for dielectric wedges [8], this diffraction coefficient was derived from the asymptotic evaluation of the exact solution for the field diffracted from a wedge with impedance faces.

The multipath contributions taken into account for the predictions presented in this paper are the direct wave and all reflected and/or diffracted waves up to order three. A relative permittivity of $\epsilon_r = 5.3$ and zero conductivity, corresponding to dry brick, were selected for the buildings. Ground reflections, scattering by vegetation and transmission through buildings are not included in the model.

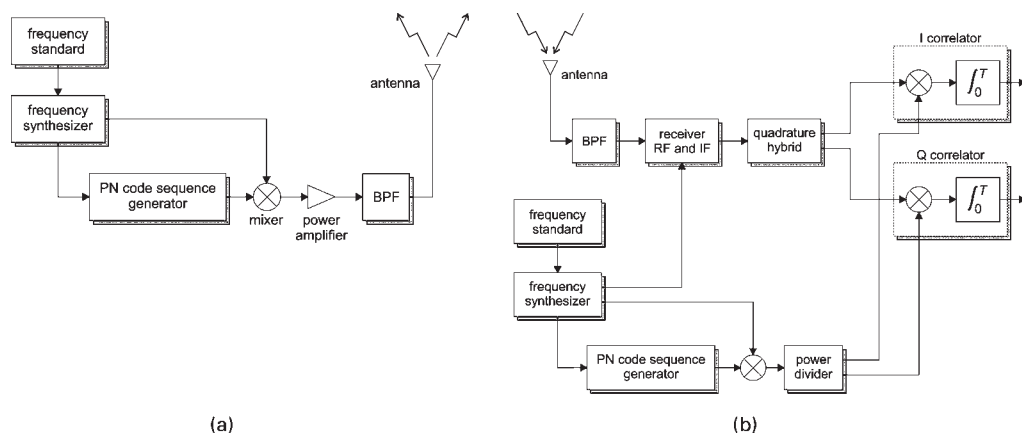
Measurement system

Channel sounder

The system used for the measurement of angles-of-arrival is built up around a stepping-correlator radio channel sounder, which is based on the popular pseudonoise (PN) correlation method [9]. This technique utilises a periodic PN binary sequence and exploits its autocorrelation properties to provide an estimate of the complex impulse response (CIR) of the channel under measurement. A schematic diagram of the channel sounder is given in Fig. 1. At the channel sounder transmitter, a 1900 MHz carrier is phase-reversal modulated by a 50 Mbit/s maximum-length PN sequence with a period of 511 bits. The modulator output is amplified to a power of +30 dBm, bandpass filtered to 100 MHz, and subsequently radiated from a suitable antenna.

At the channel sounder receiver, which is installed in a measurement vehicle, the CIR of the radio channel is estimated by demodulating and correlating the received signal with a locally generated replica PN sequence, which is time-shifted relative to the received signal in discrete steps by means of the clock slip circuit. The resulting data samples are digitised, transferred to a personal computer and stored on a hard disk. The resulting measurement files contain CIR's of 10.22 μ s duration with an instantaneous dynamic range of approximately 40 dB. For quasi-coherent measurements, the frequency synthesizers at both the transmitter and the receiver are locked to highly stable rubidium clocks (short-term stability better than 5×10^{-11}). To ensure accurate power density measurements, the channel sounder is calibrated prior to the measurements by connecting a fixed, known attenuation between the transmitter and the receiver.

Fig. 1. Wideband radio channel sounder. (a) Transmitter. (b) Receiver.



Antenna array

The channel sounder receiver is equipped with a single omnidirectional antenna on a rotating arm which is placed on top of the measurement vehicle and positioned by a motor, under control of the personal computer used for data acquisition (view Fig. 2). Microwave absorbing material is used to minimise the effects of the vehicle roof. While the channel sounder is acquiring a pre-specified number of impulse responses, the antenna is rotated at constant speed along a horizontal circle with radius $r = 30$ cm. Under the assumption that the channel remains stationary during the measurement, this procedure is effectively identical to the simultaneous measurement of the channel CIR at the elements of a uniform circular array (UCA) of antennas.



Fig. 2. Rotating antenna on top of the measurement vehicle.

In real mobile environments, complete channel stability is impossible to achieve, which is principally due to movements of vegetation such as trees caused by wind, and passing vehicles. In our deterministic approach toward the characterisation of the mobile radio channel we are interested in the influence of constant features of the built-up environment rather than in the effects of moving objects which cannot be modelled by any database. Effects of moving vegetation can be largely avoided if measurements are conducted at days with little or no wind. As for moving vehicles, it is believed that the statistical averaging of many measurements taken over several minutes of time will strongly reduce their interference, which typically lasts for several seconds. This averaging over many measurements ("snapshots") is inherent to so-called subspace based angular superresolution methods such as the UCA-MUSIC algorithm, which is discussed in the next section.

Although the oscillators at the transmitter and receiver are locked to very precise frequency standards, due to small frequency differences there is an inevitable drift of the measured phase, which must be corrected in post-processing. To this end, the channel response is measured during two consecutive cycles of the rotating antenna, and the phase drift is estimated from the average phase difference between the second and the first cycle [4].

Panorama camera

For accurate comparisons between the measured AOA's and the actual building positions around the mobile station, 360-degree panorama photographs are made at every measurement position. To this end a dedicated camera with rotating lens is employed. When used, this camera replaces the motor positioning the rotating antenna, so that the photographs are taken exactly from the perspective of the antenna array.

Angular superresolution

Data model

For each propagation delay instant τ_i in the measured CIR's, the complex signal at the output of the m th array element (with azimuth $\gamma_m = 2\pi m/M$, $m = 0, 1, \dots, M-1$, M being the number of array elements) can be expressed as

$$y_m(\tau_i) = \sum_{n=1}^N c_n g(\zeta_n) e^{j\zeta_n \cos(\varphi_n - \gamma_m)} x(\tau_i - T_n) + \eta_m(\tau_i),$$

where the summation is over the N multipath signals contributing to the considered delay bin of the impulse response, c_n and T_n are the complex amplitude and the propagation delay of the n th multipath wave, respectively, φ_n is its azimuth angle, and $\zeta_n = 2\pi r \cos(\vartheta_n)/\lambda$ represents the elevation dependence. Here, ϑ_n is the elevation angle of the n th wave, r is the radius of the synthetic UCA and λ is the wavelength. Further, $g(\zeta)$ is the elevation voltage pattern of the rotating antenna, $x(\tau)$ is the autocorrelation function of the applied maximum length bit sequences and η_m is an additive noise signal.

As the applied bit sequences have noise-like properties, their autocorrelation function $x(\tau)$ resembles the autocorrelation function of white noise, which is the Dirac function. However, due to the limited bandwidth of the channel sounding system $x(\tau)$ has a non-zero width, in the present case

approximately equal to 40 ns. This forms a limitation to the time resolution capability of the measurement system.

The UCA-MUSIC algorithm

In conventional, non-adaptive beamforming, the output signals of the array elements are phase-shifted and combined in such a way that they add up coherently for a given direction. This offers the possibility to estimate the angles-of-arrival (AOA's) of the incident multipath signals for each delay time of the measured power delay profile. It can be shown however that beamforming with UCA's leads to high sidelobe levels and a relatively poor angular resolution. These problems can be overcome by using the so-called superresolution algorithm UCA-MUSIC [4]. Angular superresolution techniques such as MUSIC are well known to offer a significantly better resolution performance than conventional beamformers of which the resolution is generally limited by the array beamwidth.

Like other subspace based superresolution algorithms, the UCA-MUSIC algorithm operates on the covariance matrix \mathbf{R} of the vector $\mathbf{y} = [y_0(\tau), y_1(\tau), \dots, y_M(\tau)]^T$. Based on an estimate of N , the number of incident signals, it provides a high-resolution estimate of the signals' angles-of-arrival (AOA's), both in azimuth and elevation. In practical measurements, \mathbf{R} is estimated from a finite number of measurements of \mathbf{y} , also referred to as "snapshots". The resolution performance of UCA-MUSIC decreases

when two or more signals are strongly correlated, which in the present situation occurs when their mutual propagation delay differences become much smaller than 20 ns. In order to improve the performance of UCA-MUSIC for this case, the array output vectors \mathbf{y} are first transformed to the spatial frequency domain ("beamspace"), and the covariance matrix \mathbf{R} is forward/backward averaged [4].

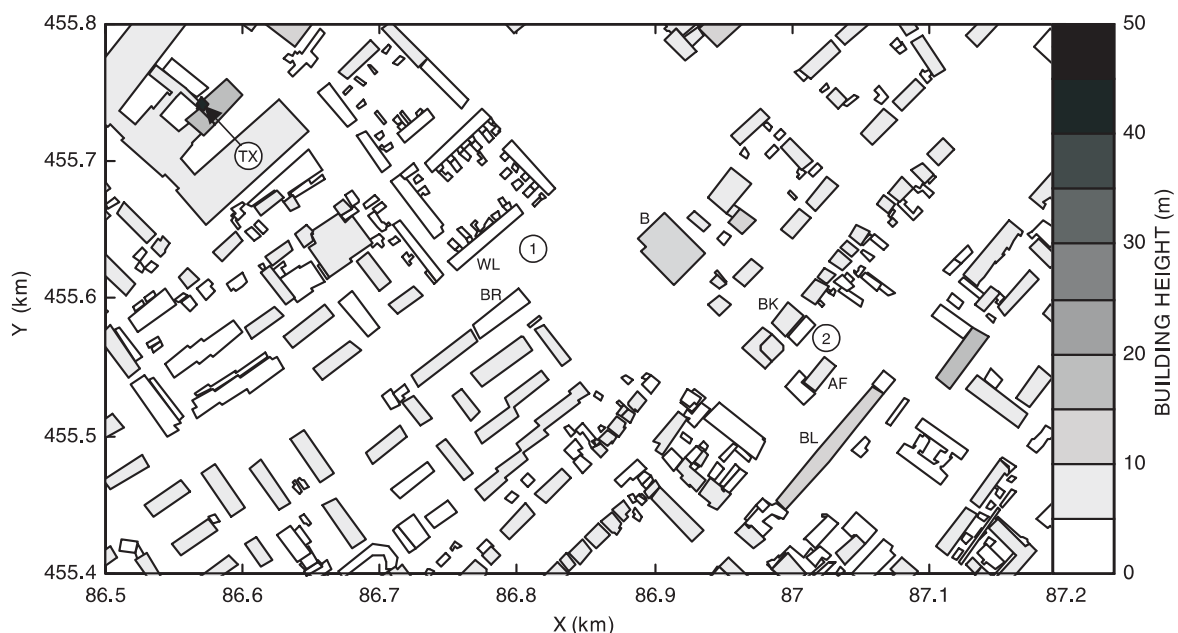
Experimental results

In this section, results of four high-resolution angle-of-arrival measurements are discussed, two of which were carried out in a residential area in Leidschendam, The Netherlands, with a high BS antenna. The other two measurements were taken in typical urban microcell environments in Bern and Freiburg, Switzerland, with the BS antenna under the rooftop level.

Residential environment, Leidschendam, The Netherlands

This area is characterised by 5-15-m-high buildings, scattered vegetation, and low traffic density (view Fig. 3). During the measurements, the transmitting BS antenna (a vertically polarised pyramidal horn antenna with an azimuthal 3-dB beamwidth of 53°, located at 46 m above ground level) was pointed south-east. The BS position is marked as "TX" in Fig. 3. The Figs. 4 and 5 show the temporal and angular multipath distributions measured at the two mobile station (MS) locations, together with 360-degree panorama photographs

Fig. 3. Map of the measurement site in Leidschendam. Grey levels indicate the building height in meters.



taken from the perspective of the receiving antenna. In these figures, the marker size indicates the amplitude of each resolved multipath wave relative to the total power (which is obtained by

integration of the measured power delay profile), elevation angles are represented through $\zeta_n = 2\pi r \cos(\vartheta_n)/\lambda$, and the BS antenna position is indicated by a dashed vertical line.

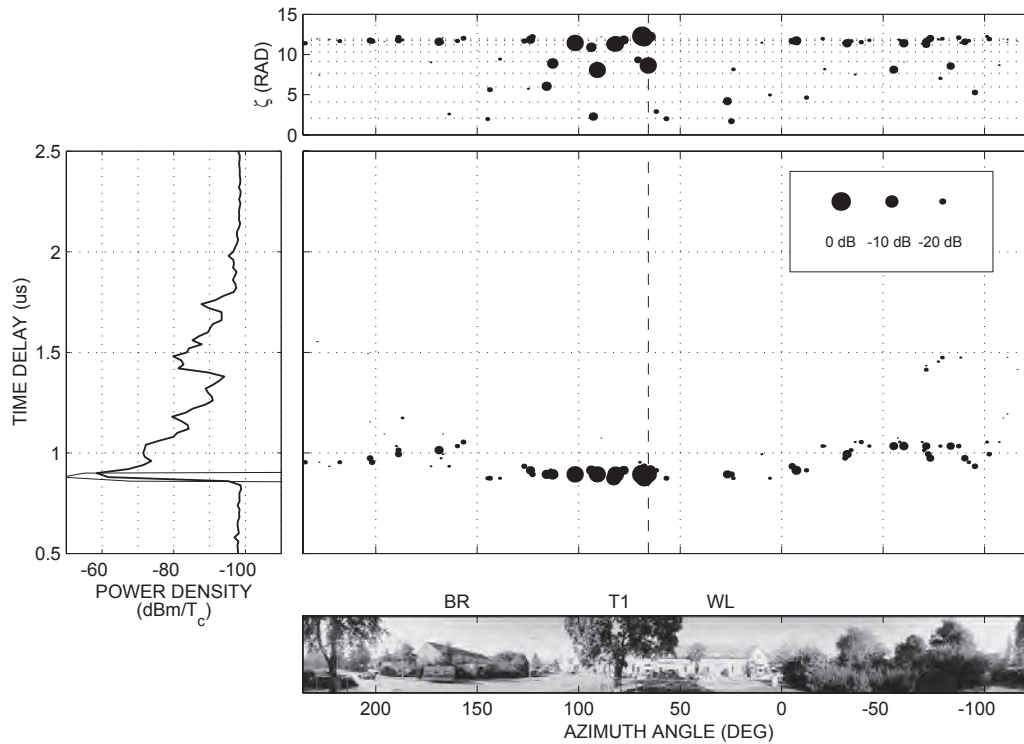


Fig. 4. Temporal and angular multipath distribution for MS location 1 in Leidschendam. Marker size indicates multipath wave amplitude relative to total power (down to -30 dB). Thin power delay profile represents μ FIPre prediction. Elevation angles are represented through $\zeta_n = 2\pi r \cos(\vartheta_n)/\lambda$. BS antenna position is indicated by vertical dashed line.

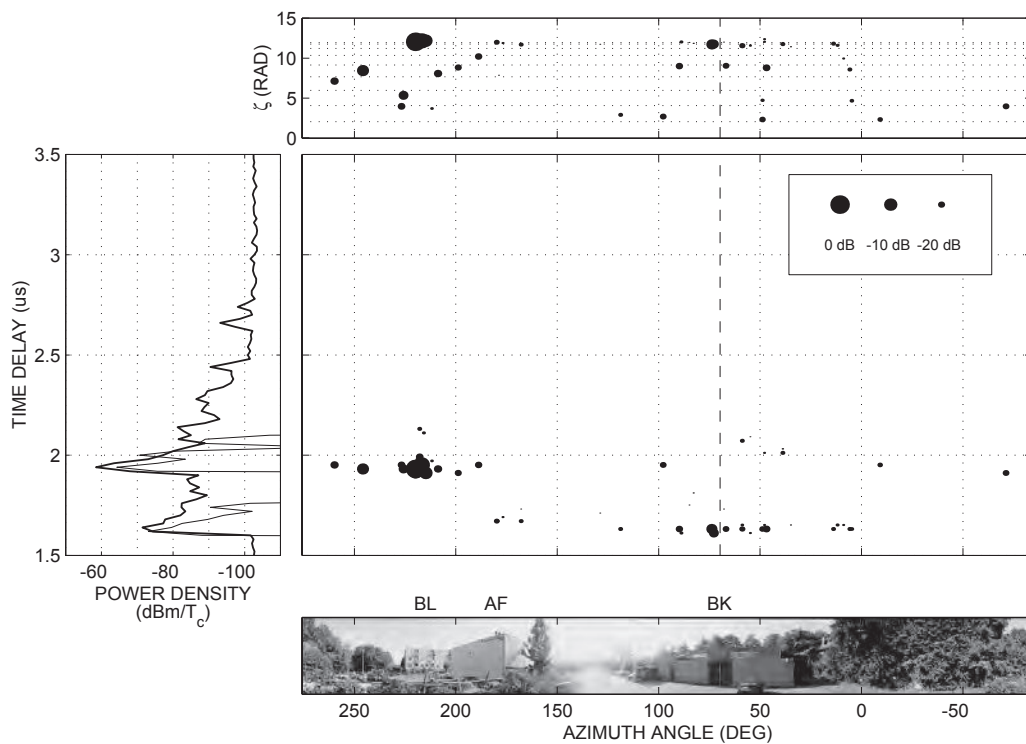


Fig. 5. Temporal and angular multipath distribution for MS location 2 in Leidschendam. Graph specifics as in fig. 4.

For the first measurement the MS location (marked as "1" in Fig. 3) was chosen such that the direct wave was obstructed by a tree (T1 in Fig. 4). Scattering and absorption of the wave incident on the tree's canopy result in an attenuation of about 13 dB with respect to the predicted intensity of the direct path, and a considerable angular spread. The second peak in the measured power delay profile is due to the energy scattered from vegetation surrounding the MS ($-160^\circ < \varphi < 0^\circ$), which was directly illuminated by the BS antenna. The relatively weak contribution with delay $\tau \approx 1.5 \mu\text{s}$ is the result of reflection and diffraction from the building B which is behind the vegetation.

In the second measurement the MS was situated at a car park behind a 6 m high building (location "2" in Fig. 3). Again, the first multipath contributions have a considerable angular spread, which is probably due to the row of trees between the transmitting antenna and the building BK. The diffraction contribution over the rooftop of BK is observed approximately at the expected azimuth angle of 70° . The reflected contribution (via BL, at 213°) is accurately predicted with respect to both delay and intensity.

Urban microcell environments, Bern and Freiburg, Switzerland

The first measurement shown here was taken in an urban microcell environment in Bern, Switzerland (view Fig. 6), which is characterised by 3- to 4-storey concrete buildings, scattered vegetation and moderate traffic density. Fig. 7 shows the measured path loss along the trajectory in Rodtmatt Street shown in Fig. 6, together with the path loss predicted by the μFiPre model. It is seen that the field strength behind building BR3 is considerably and consistently underestimated.

Fig. 6. Plan of the measurement environment in Bern

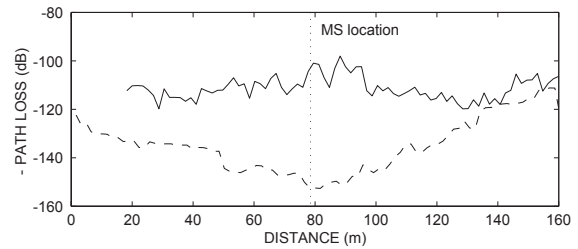
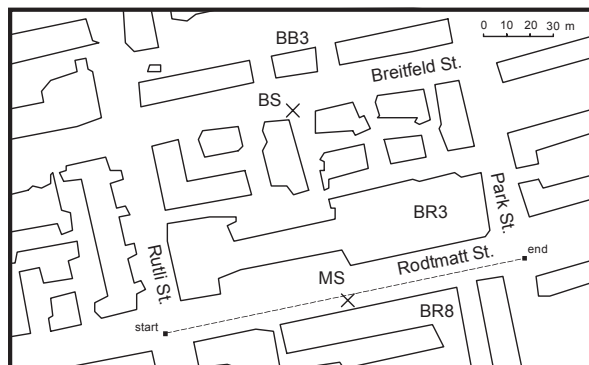


Fig. 7. Measured (solid line) and predicted (dashed line) field strength along Rodtmatt Street.

The impulse response measured at the MS location indicated in Fig. 6, which is shown in Fig. 8, is dominated by two peaks, which were determined to be 28 and 35 dB below the free-space level. From this figure it is clear that the propagation in the considered configuration is dominated by a series of contributions arriving from the direction of building BR3. The corresponding values of ζ show that these waves are not the result of over-rooftop propagation (for which the elevation angle ϑ should be greater than 25° , or $\zeta < 11.4$), but of transmission through BR3. The time delay difference between the two clusters of points seen in Fig. 8 suggests that the second contribution is due to reflection from building BB3 and subsequent transmission through BR3.

The purpose of the second measurement, which was performed in Freiburg, Switzerland (view Fig. 9), was to study the propagation of radio waves around street corners. For the MS location indicated in Fig. 9, the five strongest multipaths according to the μFiPre model are shown. Trees are present on both sides of Perolles Street and in the park surrounding the buildings BP9 to BP13. As an illustration, the latter trees are drawn in Fig. 9, but their positions are not accurately represented.

Fig. 9. Plan of the measurement environment in Freiburg.



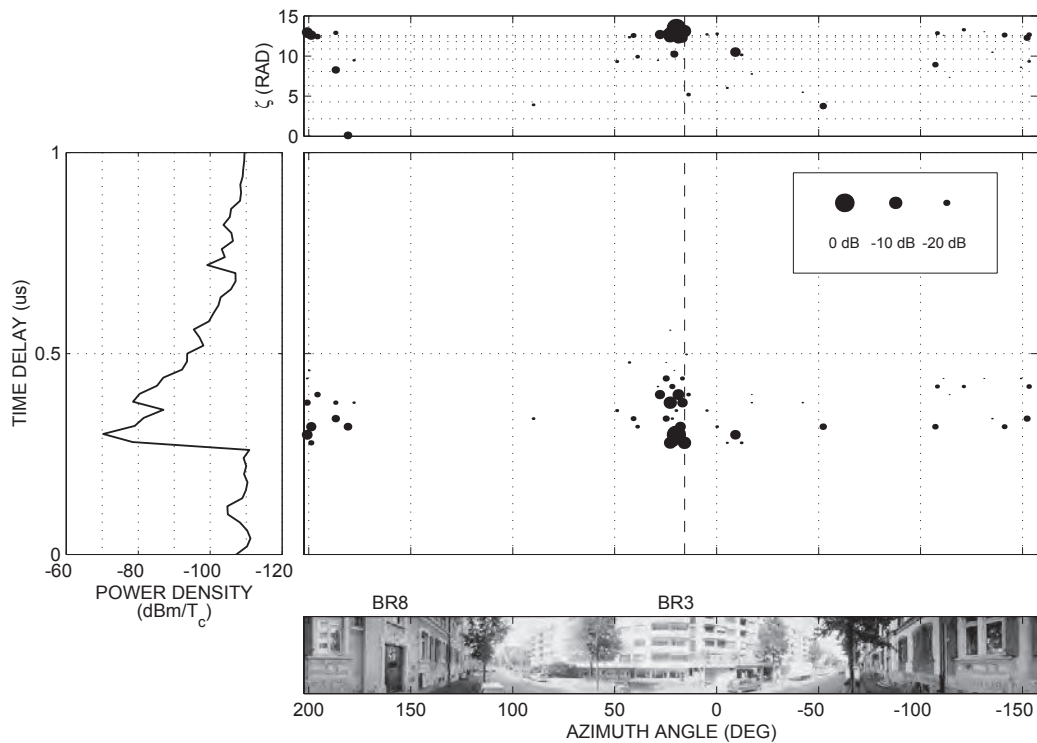
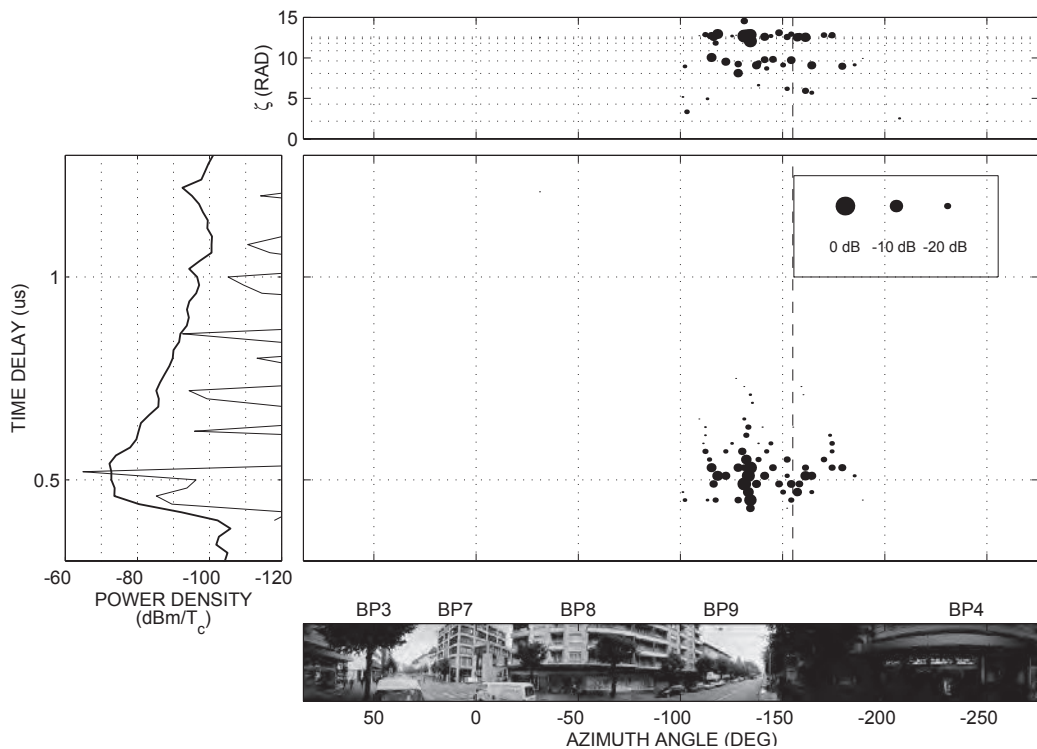


Fig. 8. Temporal and angular multipath distribution for MS location in Bern. Graph specifics as in fig. 4.

The strongest waves predicted by μ FiPre are all reflected from building BP9. Contributions reflected from this building are indeed visible in the measurement results of Fig. 10, but they are dominated by a series of waves arriving from

approximately -130° , which corresponds to the direction of the park opposite to the BS antenna. The contributions arriving from this direction have a considerable delay spread, which is an indication that they are indeed the result of scattering from a

Fig. 10. Temporal and angular multipath distribution for MS location in Freiburg. Graph specifics as in fig. 4.



large number of spatially distributed scatterers, such as the trees in the park.

Conclusions

In this paper, a number of typical wideband angle-of-arrival measurement results, obtained in residential and urban environments, have been presented and compared with predictions generated by the μ FiPre propagation prediction model. In general, the experimental results agree reasonably well with the model. Yet, it was shown that transmission through buildings and scattering by vegetation, propagation mechanisms that have so far received little or no attention, can be dominant propagation mechanisms in actual multipath environments. Taking into account the effects of transmission through buildings is of special importance for the planning of microcells, as the shielding of the BS antenna from adjacent cells is essential in the microcellular concept.

Additional, more in-depth studies of transmission through buildings and the scattering of UHF radio waves by trees are required to obtain accurate models of these propagation mechanisms, and are part of ongoing research at EUT [10, 11]. Inclusion of these models into propagation prediction tools such as μ FiPre is an important step toward more efficient planning of urban microcells.

Acknowledgments

The authors wish to thank Dr.ir. A. Mawira (KPN Research) and Dr. J.F. Wagen (Swisscom CIT) for valuable discussion and suggestions. Mr. P. Rijdsdijk (KPN Research) and Mr. E. Zimmermann (Swisscom CIT) are gratefully acknowledged for their assistance with the measurements. This work was supported by KPN Research, Leidschendam, The Netherlands.

References

- [1] F. Ikegami and S. Yoshida, "Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-28, pp. 531-537, July 1980.
- [2] J. Fuhl, J.-P. Rossi, and E. Bonek, "High-resolution 3-D direction-of-arrival determination for urban mobile radio", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, pp. 672-682, Apr. 1997.
- [3] J.-P. Rossi, J.-P. Barbot, and A.J. Levy, "Theory and measurement of the angle of arrival and time delay of UHF radiowaves using a ring array", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, pp. 876-884, May 1997.
- [4] Y.L.C. de Jong and M.H.A.J. Herben, "High-resolution angle-of-arrival measurement of the mobile radio channel", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, pp. 1677-1687, Nov. 1999.
- [5] G.A.J. van Dooren and S. Buonomo, "Field strength prediction in land mobile satellite communication systems using analytical models", *Tijdschrift van het NERG*, vol. 60, no. 1, pp. 11-18, 1995.
- [6] L.B. Felsen, *Radiation and scattering of waves*, Prentice-Hall, New Jersey, 1973.
- [7] R. Tiberio, G. Pelosi, and G. Manara, "A uniform GTD formulation for the diffraction by a wedge with impedance faces", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 33, pp. 867-873, Aug. 1985.R.J.
- [8] Luebbers, "Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 32, pp. 70-76, Jan. 1984.
- [9] D.C. Cox, "Delay Doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-20, pp. 625-635, Sept. 1972.
- [10] Y.L.C. de Jong, M.H.J.L. Koelen, and M.H.A.J. Herben, "Measurement of building transmission loss using wideband radio channel sounding", *Electr. Lett.*, vol. 36, pp. 1067-1069, June 2000.
- [11] Y.L.C. de Jong and M.H.A.J. Herben, "Modelling the scattering from trees for propagation prediction in urban microcells", in *proceedings of Millennium Conf. on Antennas Propagat. (AP2000)*, Davos, Switzerland, Apr. 2000.

CV

Yvo de Jong received the M.Sc. degree (cum laude) in electrical engineering from Eindhoven University of Technology, The Netherlands, in 1996. He is currently working toward the Ph.D. degree at the same institute. In the framework of his Ph.D. project, he was with KPN Research, Leidschendam, The Netherlands, from January 1997 to May 1998, and with Swisscom Corporate Information and Technology, Bern, Switzerland, from June to October 1998. His research interests include propagation modelling for wireless communications. Mr. de Jong is a member of the Royal Institute of Engineers (KIV) in The Netherlands and the Netherlands Electronics and Radio Society (NERG), and a student member of the IEEE.



Matti Herben received the M.Sc. degree (cum laude) in electrical engineering in 1978 and the Ph.D. degree in technical sciences in 1984, both from Eindhoven University of Technology (EUT), The Netherlands. Since 1978 he has been with the Radiocommunications Group of EUT, currently as an Associate Professor. His research interests and publications are in the areas of design and numerical analysis of reflector and lens antenna systems, radio interference reduction, electromagnetic wave propagation on terrestrial and satellite links, remote sensing of the turbulent troposphere, and microwave radiometry. Dr. Herben is a member of the Royal Institute of Engineers (KIV) in the Netherlands, the Netherlands Electronics and Radio Society (NERG) and the Dutch URSI committee, and a senior member of the IEEE.



Stelling

"Het gedeelte van een tekst dat de conclusies bevat, markeert vaak het punt waarop de auteur moe werd van het denken"

proefschrift van J.H.G. Correia, OPTICAL MICROSYSTEMS IN SILICON
BASED ON A FABRY-PEROT RESONANCE CAVITY, Application for spectral analysis of visible light,
Delft, 11 mei 1999

Het onderzoek van het IRCTR

International Research Centre for Telecommunications-transmission

P.van Genderen en L.P.Ligthart

Faculteit Informatietechnologie en Systemen, Technische Universiteit Delft
Mekelweg 4, Postbus 5031, 2600 GA Delft

E-mail: P.vanGenderen@ITS.TUdelft.NL en L.P.Ligthart@ITS.TUdelft.NL

Historie en werkwijze van het IRCTR

In 1992 werden de eerste initiatieven ondernomen om een internationaal instituut op te richten voor onderzoek in de telecommunicatietransmissie en radar. Met steun van een aantal industrieën en instituten werd een concept van samenwerking opgezet waarin ruimte was voor grensverleggend onderzoek met actieve deelname van top onderzoekers uit binnen- en buitenland. In 1994 werd het instituut erkend door het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen. Om het instituut snel tot ontwikkeling te brengen verleende het ministerie in 1996 een subsidie van ruim acht miljoen gulden te besteden in 4 jaar. De bedoeling van het ministerie was daarmee projecten te financieren om onderzoek te stimuleren door middel van samenwerking met buitenlandse universiteiten en instituten. De deelname van industrieën en onderzoeksinstituten werd op tweeërlei wijze vorm gegeven. Met instituten worden overeenkomsten afgesloten rond projecten. Momenteel bestaan er ruim 40 van deze overeenkomsten. Anderzijds is voor de industrie de zogenaamde Raad van Advies gecreëerd. Deze raad geeft zijn mening over het onderzoeksprogramma van het IRCTR en bepaalt zo mede welke accenten er in het programma gelegd moeten worden. Momenteel nemen zeven bedrijven deel aan het beraad van deze Raad van Advies. Het instituut als zodanig is een instituut van de faculteit InformatieTechnologie en Systemen (ITS) van de Technische Universiteit Delft. Er is een bestuurscollege met hoogleraren vanuit de faculteit. De dagelijkse leiding is in handen van de Wetenschappelijk Directeur, bijgestaan door de leiders van de vier sectoren waarin onderzoek wordt verricht. De activiteiten betreffende de draadloze persoonsgebonden communicatie zijn gebundeld in het Centre for Wireless

Personal Communications (CEWPC) binnen de sector Transmissie van het IRCTR.

In 2001 zal het functioneren van het IRCTR getoetst worden.



Fig. 1: Gemeenschappelijke technologieën in radar- en telecomsystemen

Het onderzoeksprogramma

Het onderzoeksprogramma is gebaseerd op het uitgangspunt dat veel van het technologie- (zoals antennes) en transmissie- onderzoek (zoals propagatie en reflectie) voor telecommunicatie, gemeenschappelijk is met de thema's uit het onderzoek naar nieuwe radarconcepten, zie figuur 1. Deze synergie is voor technologie meer voor de hand liggend dan voor innovatieve concepten op systeemniveau. In het IRCTR bestaan weliswaar vier sectoren, maar de grenzen tussen deze sectoren zijn vaag vanwege deze synergie en vanwege de wederkerige uitdaging die tussen de sectoren gesteld wordt. De genoemde vier sectoren zijn: 1) radar; 2) transmissie; 3) remote sensing en 4) antennes en propagatie. Met deze vier sectoren zijn niet alle technologieën die nodig zijn voor realisatie

van systemen beschikbaar. Op een aantal belangrijke gebieden is samenwerking met andere laboratoria van binnen of buiten de eigen faculteit of zelfs universiteit nodig. Genoemd moeten worden de domeinen van signaal- en beeldbewerking, elektromagnetische modellering, telecommunicatienetten en -diensten en hoogfrequente technologie. Onderzoekers van het IRCTR werken in voorkomende gevallen samen met onderzoekers die de betreffende expertise kunnen leveren vanuit andere laboratoria. De volgende paragrafen geven per sector de hoofdlijnen van het onderzoek. In hoofdstuk drie is van een aantal projecten meer detail gepresenteerd.

Radar

In de sector Radar is in de loop van de tijd een viertal gebieden belangrijk geworden voor onderzoek:

Radaronwerpen (gebaseerd op grote bandbreedte en multi-parameter Doppler polarimetrie).

Sinds het begin van de negentiger jaren is onderzoek uitgevoerd naar de bruikbaarheid van de gelijktijdige meting van de Dopplerkenmerken en de polarimetrische kenmerken van radarverstrooiing. Aanvankelijk was de vraagstelling vooral op het onderzoek van de atmosfeer gericht. De laatste jaren echter is er veel theoretisch en experimenteel werk verricht gericht op de karakterisering van andere objecten. Met name door inzet van onderzoekers uit Rusland groeit een benadering waarbij Dopplerpolarimetrische beschrijvingen van samengestelde verstrooiers tot nuttig gebruik in toepassingen kan leiden. Deze toepassingen zouden zowel op het vlak van de classificatie van (bewegende) objecten kunnen liggen als in de atmosferische remote sensing. De bandbreedte van radarsignalen kan instantaan groot zijn, zoals in de toepassing van radar voor landmijndetectie. Daar wordt nu gewerkt met ongemoduleerde radarpulsen met een lengte korter dan 1 nanoseconde. Er wordt echter ook gewerkt met signalen die langs synthetische weg tot een brede band zijn samengesteld, uitgaande van een groot aantal aparte smalbandige signalen (de zogenaamde Stepped Frequency golfvorm). Het onderzoek aan Ground Penetrating Radar voor detectie van anti-personeellandmijnen is momenteel één van de belangrijkste projecten van het IRCTR.

Radarnetwerken

In radarnetwerken worden de gemeten resultaten van individuele radars bij elkaar gevoegd. Moderne radars hebben de mogelijkheid tot keuze van gebruiksmodi, waarbij elke modus optimaal is voor een specifieke taak. De radar verliest dan weliswaar niet de gehele functionaliteit voor andere modi, maar presteert er wel minder goed door. In een netwerk van radars zou elke radar in een eigen modus gezet kunnen worden zodanig dat door samenvoeging van de resultaten van alle radars het geheel van een betere kwaliteit is dan met elk van de radars afzonderlijk te halen zou zijn. Een onderzoeksvraag is hoe de besturing van radars zou kunnen worden opgezet in een dergelijke omgeving.

Radarnavigatie

Anti-botsingsradars voor de automobielenindustrie maken een stormachtige ontwikkeling door. Het IRCTR onderzoekt niet zozeer deze applicatie als wel de mogelijkheid tot beeldvorming ten behoeve van de besturing van robotvoertuigen. (Zie figuur 2). Met "beeldvorming" wordt hier bedoeld dat met behulp van radar een driedimensionaal beeld wordt opgebouwd van het gebied dat door de antennes wordt gezien. Het unieke van de ontwikkeling bij het IRCTR is de toepassing van een zeer open antennestelsel in combinatie met een hoge resolutie frequentie-gemoduleerde golfvorm. De afstandsresolutie bedraagt enkele centimeters. Door de signalen die met de antennes worden ontvangen te combineren (multilateratie), kan het gebied in het blikveld van de antennes nauwkeurig worden bemeaten.

Fig. 2: De antibotsingsradar COLARADO staat op de voorkant van een transportvoertuig. De geminiaturiseerde radarantennes zijn gemonteerd in het gespijlde frame.



Radar geïntegreerd met communicatie

In de civiele luchtvaart wordt met radarbakens gewerkt. Een zogenaamde Secondary Surveillance Radar (SSR) zendt vanaf een grondstation een ondervraging uit, waarop de transponders aan boord van vliegtuigen antwoorden met een door de vlieger ingestelde code. Moderne concepten gaan een stap verder door gerichte ondervraging en door de code in het signaal, zowel vanuit het grondstation als vanuit het vliegtuig, uit te breiden met ruimte voor berichten. Omdat de frequenties waarop deze systemen werken over de gehele wereld hetzelfde zijn en er langzamerhand vele grondstations en nog veel meer vliegtuigen tegelijkertijd in de lucht zijn, is het potentieel van het systeem om een datalink te vormen ondergraven. In het IRCTR wordt een concept uitgewerkt waarmee zowel een datalink als plaatsbepaling mogelijk zijn.

Onderzoek in de sector Transmissie

De ambitie van het onderzoek in de sector Transmissie, meer specifiek die van het CEWPC, is bij te dragen aan het tot stand komen van de "Global Communication Village". Daarin kan ieder individu communiceren met ieder ander individu waar deze zich ook bevindt, op elk tijdstip, en door middel van vele media (spraak, geluid, beeld) gebruik makend van draagbare toestellen van zakformaat. Deze ambitie kan het IRCTR niet geheel zelf realiseren. Het is het uitzicht dat gecreëerd wordt door het huidige ontwikkelingstempo van de draadloze telecommunicatie, waaraan door vele industrieën met grote inzet wordt gewerkt. Met name in dit vakgebied dragen vele buitenlandse gastonderzoekers bij die tijdelijk bij het IRCTR werkzaam zijn geweest. Te noemen onderzoeksgebieden zijn hier:

- Transmissietechnieken. In het bijzonder wordt gewerkt aan Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Wordt bij de conventionele techniek in slechts een enkele frequentie tegelijkertijd gezonden, bij de OFDM techniek wordt in een aantal frequenties tegelijkertijd uitgezonden, zodat de datastroom aanzienlijk wordt uitgebreid;
- Toegangsprotocollen tot radiocommunicatienetwerken. Het Delftse onderzoek richt zich op de radio interface in combinatie met mengvormen van toegangstechnieken. Een deel van het onderzoek vindt plaats in Europees kader;
- Modelvorming van de propagatie. De propagatie vormt een belangrijke basis voor het tot stand brengen van een verbinding. Het radiopad tussen twee antennes loopt vrijwel nooit door de vrije ruimte. Het gaat door de atmosfeer, waar wolken of neerslagcomplexen in zitten, door muren, via "gekokerde" ruimtes zoals straten met aan weerszijden bebouwing, via inwendige structuren van gebouwen, etc. Goed begrip van propagatie leidt tot goed ontwerp van antennesystemen en gebruik van frequenties. Meetcampagnes vormen een belangrijk onderdeel van de verificatie van de theoretische modellen;
- "Software radio". De ontwikkeling van de snelle omzetting van analoge naar digitale signalen en de rekensnelheid van processoren maken dat onderzoek plaatsvindt naar radiosystemen waarbij de ontvangers en de omzetting naar voor de mens bruikbare signalen gerealiseerd zijn in programmeerbare radiosysteemdelen.

Remote sensing

Het onderzoek in de remote sensing is in een fase van expansie. In het onderzoeksprogramma van het IRCTR wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds het microgolfonderzoek van de atmosfeer en anderzijds de radaraardobservatie.

Met name de laatste activiteit heeft enige tijd stil gelegen na de beëindiging van het PHARUS project dat samen met TNO en het NLR uitgevoerd is. Het PHARUS systeem is een polarimetrische radar aan boord van een vliegtuig met synthetische apertuur. Met de recente benoeming van een hoogleraar Radaraardobservatie is dit vakgebied echter weer nieuw leven ingeblazen. Het onderzoeksprogramma voor aardobservatie zal zich focuseren op technieken die tot nu toe niet gebruikt zijn voor deze toepassing, maar die door hun inherente eenvoud goedkoop kunnen worden.

De atmosferische remote sensing richt zich op twee vragen:

- Welke fysische parameters zijn dominant in het verstrooiingsproces van radiogolven?
- Hoe kunnen deze parameters worden afgeleid uit radarwaarnemingen?

De toepassingsgebieden liggen in de velden van hydrologie, meteorologie en vliegveiligheid. Rond deze toepassingen wordt intensief samen gewerkt met instituten zoals het KNMI, het RIVM,

ESA-ESTEC en andere universiteiten in ons land (TU Eindhoven, Landbouw Universiteit Wageningen) en daarbuiten.

Antennes en propagatie

De antenne vormt de overgang tussen golfgeleiders en de ruimte. De antenne is een van de meest wezenlijke onderdelen van radarsystemen. Ook in de radiotelecommunicatie vormen de antennes een cruciale component. Het onderzoek aangaande antennes focusteert zich op de volgende thema's:

- Antennestelsels (d.w.z. antennes die uit een stelsel van stralers zijn opgebouwd);
- Ultra-breedband antennes, met name voor grondradar ten behoeve van landmijndetectie;
- Meettechnieken waarmee antennes gekarakteriseerd kunnen worden. Het betreft hier zowel de min of meer klassieke metingen in het frequentiedomein als de nog in ontwikkeling zijnde techniek in het tijddomein.

Het onderzoek naar propagatie behelst:

- Fysische modelvorming van de propagatie door vrije atmosfeer en door neerslag-complexen;
- Modelvorming van propagatie van millimeter golven door neerslag complexen en gasabsorptie;
- Technieken voor het reduceren van effecten van fading;
- Propagatie binnenshuis.

Uit deze beschrijving moge blijken dat er duidelijke relaties zijn met zowel de radartoepassingen als de draadloze telecommunicatie.

Een aantal onderzoeksprojecten in meer detail

Radar

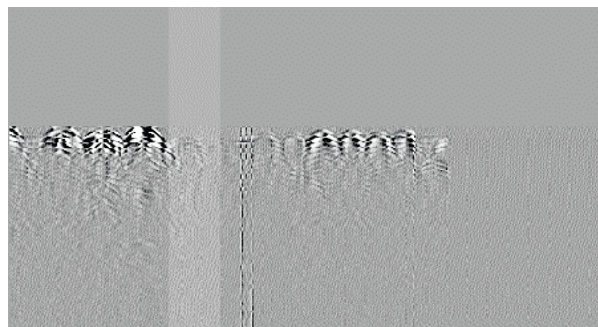
Radars zijn voor het Delftse onderzoek belangrijk, omdat ze het platform vormen waarop vele vakgebieden die met tele-observatie en telecommunicatie te maken hebben onderzocht kunnen worden. Door de jaren heen balanceren radarapplicaties op de rand van de verworven kennis en technologie. Er is sprake van een sterke "technology push". Uitwisselingen met andere onderzoeksinstellingen en bedrijven zijn daarom van belang om de "state-of-the-art" bij te houden. Voor het goede

begrip van de mogelijkheden op het gebied van de tele-observatie is een sterke interactie tussen fysisch-mathematische modellering en experimentele verificatie een vereiste. Onderzoek dat op radarwaarnemingen gebaseerd is, draagt een sterk experimenteel karakter. Ook technologieën buiten de directe onderzoeksdoelstelling van het IRCTR hebben hun invloed op wat binnen de onderzoekskaders aan experimenteel werk haalbaar is. Een brede technologische basiskennis is daarom een vereiste.

Grondradar

Radar wordt voor steeds meer verschillende doeleinden gebruikt. Bekend zijn de toepassingen voor luchtverkeersleiding, snelheidsmeting, onderzoek van de atmosfeer, navigatie, hoogtemeting, aardobservatie (Remote Sensing) etc. Minder bekend is dat radar ook gebruikt kan worden om onder het oppervlak van de grond waarnemingen te doen. Toepassingen zijn het vinden van leidingen resp. lekken daarin, geofysisch bodemonderzoek, archeologisch bodemonderzoek, en sinds kort ook in de detectie van landmijnen (zie figuur 3). Niet dat een grondradar een voldoende oplossing vormt: in de tot nu toe op papier bedachte systemen blijkt het altijd nodig een aantal verschillende typen sensoren te gebruiken. Dat komt door de grote diversiteit van mijnen en terreingesteldheden. Naast het werk binnen het IRCTR vinden binnen de universiteit activiteiten plaats vanuit het Centre for Technical Geosciences (CTG). Daarin nemen deel de faculteiten voor Toegepaste Aardwetenschappen en InformatieTechnologie en Systemen (subfaculteit Elektrotechniek, Laboratorium voor onderzoek van Elektromagnetisme). Is het CTG vooral bezig met het onderzoek naar de propagatie van elektromagnetische velden in de bodem en de beeldvorming van de opbouw van de bodem met alles wat daarin zit, het IRCTR onderzoekt met name de

Fig. 3: Radarsignalen afgebeeld in een verticale doorsnijing van de grond. Links drie anti-tankmijnen, rechts zes anti-personeelsmijnen.



mogelijkheden om het elektromagnetische veld de bodem in te krijgen –en ook het vanuit het ondergrondse gereflecteerde veld- vanuit een antenne-stelsel dat vlak boven het terrein hangt.

Een belangrijk probleem bij de grondradar is dat de aanpassing tussen de antenne en de bodem slecht is, waardoor van het uitgezonden vermogen slechts een klein deel de bodem in dringt en de rest dus weerkaatst op het oppervlak. In dit detectie-probleem (detectie van kleine objecten die qua kenmerken soms veel gemeen hebben met natuurlijke objecten zoals stenen) is het de uitdaging om te voldoen aan op het eerste gezicht tegenstrijdige eisen. Enerzijds is de indringdiepte van elektromagnetische velden beter naarmate de frequentie lager is. Anderzijds zijn anti-personeelsmijnen dermate klein (de diameter is slechts enkele centimeters), dat de frequentie zo hoog mogelijk moet zijn. Zo zou men komen tot een frequentieband van 100 MHz (vanwege indringdiepte) tot 5 GHz (vanwege het oplossend vermogen). Gevoegd bij eisen aan de draagbaarheid of verplaatsbaarheid van de radar, komt men al snel tot de conclusie dat de klassen van antennes die in aanmerking komen beperkt zijn. Toch moet men eisen stellen aan de bandbreedte, de lage tijdjijlussen, en aan de isolatie van het zend- en het ontvangstpad. De keuze wordt verder gecompliceerd doordat de grond zich in het reactieve nabije veld van de antenne kan bevinden. In het algemeen zal de grond een verliesrijk diëlektricum zijn. De kenmerken variëren met de bodemsoort en het vochtgehalte. De kenmerken van de antenne zouden daarom moeten kunnen adapteren aan die van de grond.

Het onderzoek aan grondradar binnen het IRCTR concentreert zich op de bovenbeschreven twee thema's:

- Aanpassing van de antenne aan de kenmerken van de grond, opdat optimale inkoppeling van vermogen in de grond ontstaat;
- Radars die een brede frequentieband kunnen bedekken. Dat zou enerzijds door toepassing van impulsradarsystemen kunnen en anderzijds door Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radars met aanvullende signaalverwerking om een hoge resolutie afstandsprofiel te genereren.

Op antenne- en impulsradargebied vindt intensieve samenwerking met firma's uit Rusland en Litauen plaats. Het probleem van de aanpassing van de antenne sluit goed aan bij andere activiteiten op dit gebied, namelijk die betreffende materialen waarvan de diëlektrische constante kan worden veranderd door er een spanning overheen te zetten. Langs die weg of door segmentsgewijze in-/uitschakeling van delen van de wand van een TEM feedhorn kan een snelle verandering van de impedantie van de antenne gerealiseerd worden. De instantaan brede frequentieband is gerealiseerd in een zogenaamde impulsradar of videoradar: Daar waar in de traditionele radar een draaggolf-frequentie gemoduleerd wordt met een informatie-sigitaal, wordt nu een ongemoduleerde impuls uitgezonden. De fractionele bandbreedte daarvan is erg groot. Door een gehele radarketen op te bouwen met goed doorgemeten en aanpasbare subsystemen denkt het IRCTR een mogelijkheid te hebben meer inzicht te verkrijgen in technieken waarmee zowel de resolutie van grondradar-beelden als de detecteerbaarheid van objecten (indringdiepte) verbeterd kunnen worden.

In 1999 zijn het CTG, het laboratorium voor Regeltechniek en het IRCTR met een groot onderzoek begonnen op het gebied van detectie van landmijnen met behulp van grondradars. Daarin wordt naast de radartechnische onderwerpen veel aandacht besteed aan de propagatie en verstrooiing van het elektromagnetische veld in een niet-homogeen medium (zie figuur 4 voor een voorbeeld van een radarbeeld na signaalbewerking door onderzoekers van het CTG). Verder maken niet alleen een impulsradar, maar ook een Stepped Frequency Continuous Wave radar deel uit van het experimentele deel van het onderzoek. Met verschillende algoritmes voor signaalbewerking, gebaseerd op de fysische modellering van de propagatie en verstrooiing, worden diverse aspecten van de ontvangen radar-echosignalen geanalyseerd en gefuseerd. Uiteraard is het de bedoeling te komen tot detectie, classificatie ("is het gedetecteerde object een mijn?") en lokalisatie.

Multifrequentie radar

Onder het acronym PANDORA ontwikkelt het IRCTR radars die een aantal frequenties tegelijkertijd uitzenden. Een tweetal concepten is tot nu toe beschreven (zie figuur 5). Aan zowel zend- als ontvangstzijde bestaan PANDORA radars in feite uit een rij parallelle ketens, elk voor een aparte fre-

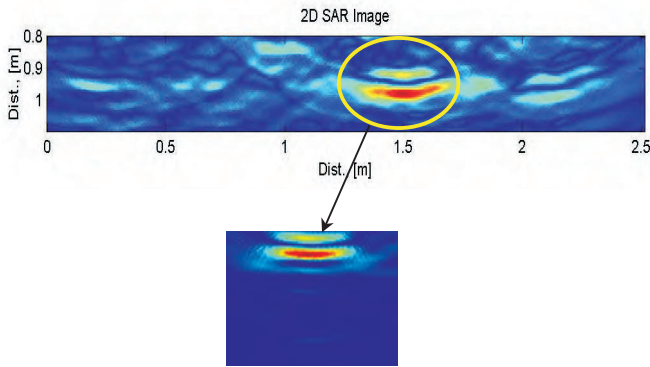


Fig.4: Voorbeelden van grondradarbeelden na signaalbewerking (hier: SAR-processing). De bovenste figuur toont anti-tankmijnen op 50 cm onder het oppervlak; de onderste een zelfde mijn, echter bij een positie op het aardoppervlak. De overeenkomst in de vorm maakt het denkbaar mijnen daarop te herkennen.

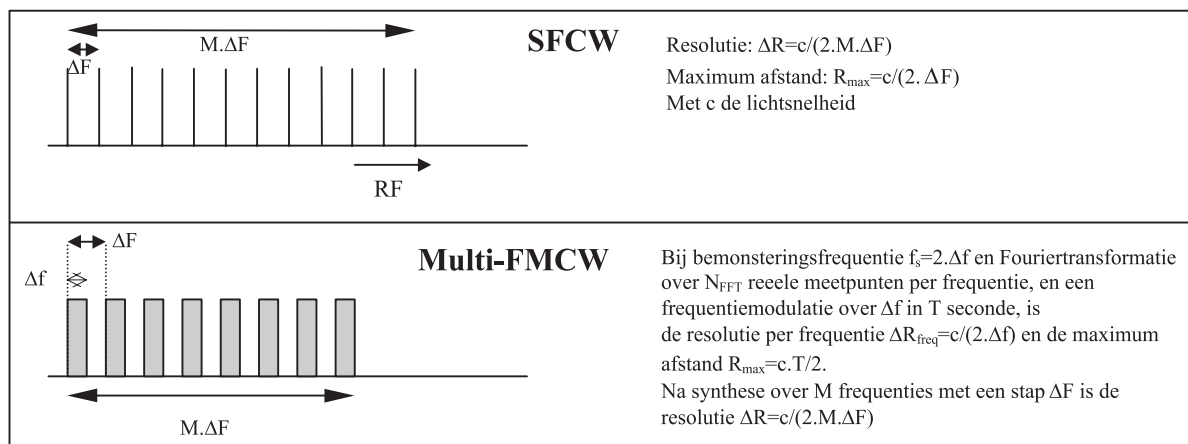
quentie. De grote voordelen van het concept liggen in de zeer grote frequentieband die kan worden bedekt, terwijl de onderscheiden kanalen elk op zich smalbandig zijn. Een van de concepten bouwt een (synthetisch) spectrum op uit een achttal FMCW golfvormen. Dat wil zeggen dat een achttal draaggolffrequenties tegelijkertijd en met dezelfde frequentiemodulatie wordt uitgezonden en ontvangen. In het gerealiseerde prototype van één van de acht frequentiekanalen was de frequentiezwaai 50 MHz en de frequentiestap tussen twee naburige draaggolven 100 MHz. Aldus werd een bandbreedte bereikt van ca 800 MHz met een enkele uitzending (van acht gelijktijdige frequenties). Het tweede concept is gebaseerd op het SFCW radar-principe in het kader van het landmijndetectieprobleem. Deze radar genereert in een tijdsinterval van ca. 1,5 milliseconde een 128-tal frequenties, dat wil zeggen 16 groepen van acht tegelijkertijd uitgezonden ongemoduleerde frequenties. De frequenties liggen op een onderlinge afstand van 35 MHz en de totaal bedekte frequentieband is daardoor

4445 MHz. Deze extreem grote bandbreedte is voor de detectie van een landmijn nodig om een afstandsresolutie van enkele centimeters te behalen, overeenkomend met de afmeting van de mijn.

Een aantal onderzoeksthema's bij gebruik van dit type radar is:

- Het opbouwen van hoge resolutie afstandsprofielen;
- Het met een enkele uitzending meten van zowel de afstand als de ondubbelzinnige radiale snelheid;
- Matched illumination. In dit concept wordt niet een "rechthoekige puls amplitudemodulatie" toegepast, maar wordt een pulsform gesynthetiseerd die past bij het profiel van de radardoorsnede van het object dat wordt belicht;
- Langdurige integratie, waarbij bewegende objecten in de ruimte worden gevolgd, en waarbij langs het pad van de beweging het ontvangen vermogen wordt geaccumuleerd en vervolgens wordt getoets om tot een detectie te besluiten (zogenaamde "track before detect");
- Variabele decorrelatie, waarbij de kenmerken van de correlatie van de radardoorsnede in de tijd gelijktijdig worden geanalyseerd per frequentie;
- Mogelijkheden voor toepassing van orthogonale codes in plaats van de lineaire frequentie-modulatie.

Fig.5: Enkele kenmerken van multi-FMCW en van SFCW golfvormen



Transmissie

Smart antennas voor WCDMA

Code Division Multiple Access is een systeem voor draadloze communicatie waarbij het smalbandige signaal over een grote bandbreedte wordt verspreid. Het is een zogenoemde derde generatie techniek. (De toegangsmethodiek van de huidige GSM is Time Division Multiple Access; dat is in dezelfde naamgeving een tweede generatie techniek). WCDMA is een breedbandige variant van CDMA. Het IRCTR onderzoekt de propagatie van signalen van deze signatuur in een stadsomgeving, met een aantal gelijktijdig zendende en een ander aantal gelijktijdig ontvangende antennes. Met name worden hier de zogenaamde "blinde technieken" gebruikt, waarbij het niet nodig is eerst een trainingssignaal uit te zenden. De aanwezigheid van stuurkanalen in WCDMA bewerkstelligen een hogere robuustheid. Dat wil zeggen dat wanneer de blinde technieken het laten afweten er een mogelijkheid is om op basis van de ontvangen symbolen het propagatiepad te schatten. In feite is er voor een dergelijke benadering een antenne-stelsel nodig bestaande uit een aantal elementen, waarbij via speciale signaalbewerking een optimalisatie van de antennebundeling wordt verkregen.

OFDM

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing; zie figuur 6) is een vrij nieuwe technologie voor toepassing in draadloze multimedia communicatie. In de IRCTR studies is de bitstream in een OFDM kanaal maximaal 155 Mbit/seconde. De meeste toepassingen die in ontwikkeling zijn, richten zich op een beperkte mobiliteit. OFDM wordt door twee principes gekarakteriseerd:

- De seriële bitstream wordt opgesplitst in een aantal parallelle stromen. De duur van de elementaire symbolen in de seriële stroom is kort ten opzichte van de spreiding die in de vele radiopaden tussen een bron en de ontvangers optreden. De parallelle stroom is

opgedeeld in symbolen die groot zijn ten opzichte van de vertraging van het propagatiekanaal. Elke van de parallelle stromen is op zijn eigen draaggolf gemoduleerd. Een aldus samengesteld OFDM symbool draagt een aantal datasymbolen. Belangrijk voordeel van OFDM is, dat het de beschikbare ruimte in het frequentiedomein efficiënt gebruikt. De afstand tussen draaggolven is de reciproke waarde van de duur van een OFDM symbool;

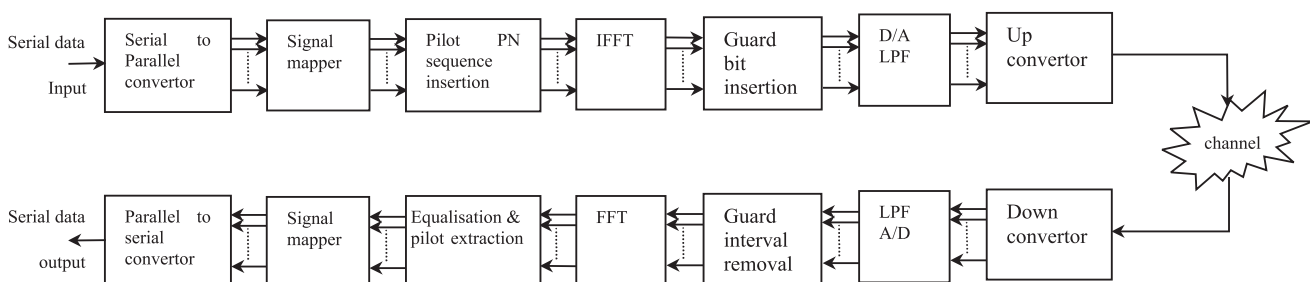
- Elk OFDM symbool wordt verlengd met een zogenaamde "guard interval", die langer is dan de excess delay van het radiopad. Dit "guard interval" bevat slechts redundante informatie. Door deze maatregel wordt intersymboolinterferentie voorkomen.

In OFDM wordt aldus een aantal frequenties tegelijkertijd gebruikt, waarbij er echter door de codering en de afstand tussen de frequenties voor is gewaakt dat er geen overspraak plaats vindt. In figuur 6 is een vereenvoudigd blokschema van een simplex OFDM systeem aangegeven.

Het IRCTR onderzoekt verscheidene aspecten van OFDM, zoals:

- Beschrijving van het radiokanaal, inclusief zijn statistische eigenschappen;
- Analyse van interferentie;
- Ontwerp van de golfvorm;
- Reductie van de verhouding tussen het piekvermogen en het gemiddelde vermogen (PAR; deze verhouding is van belang, omdat door de gelijktijdige uitzending op een aantal frequenties het risico bestaat dat het samengestelde signaal kortstondig erg groot is en het lineaire bereik van de analoge elektronica te boven gaat).

Fig.6: Blokschema van processtappen in een simplex OFDM systeem



Remote sensing

“Clouds And Radiation” (CLARA)

In 1996 is door een samenwerkingsverband van onderzoeksinstituten, waaronder het KNMI, het RIVM, het ECN en het IRCTR een meetcampagne opgezet onder de naam CLARA (Clouds and Radiation). Klimaatmodellen zijn belangrijk voor beleidsvoorbereiding ten aanzien van factoren die met klimaatbeheersing te maken hebben. Het meest urgente probleem bij het onderzoek naar het tempo en de omvang van de klimaatwijziging en de stijging van het niveau van de zee is de vraag wat de factoren zijn die de samenstelling en de stralingseigenschappen van wolken beïnvloeden. In Nederland heeft het KNMI een systeem ontwikkeld waarmee de macroscopische eigenschappen van wolken en straling gemeten kunnen worden. De microfysische eigenschappen komen in beperkte mate aan de orde. Om de meetmethode te testen waren uitgebreide en gedetailleerde veld-

testen nodig. CLARA was hierop gericht. De doelstellingen van CLARA waren dus:

- Het creëren van een gevalideerde dataset over wolken en hun stralingsgedrag;
- Calibratie van remote sensing toestellen;
- Validatie van wolkenmodellen en hun stralingsoverdracht en parametrisering;
- Analyse en modellering van propagatie van radiogolven in wolken.

Belangrijk kenmerk van het CLARA project is dat vele gelijktijdige metingen werden uitgevoerd met een breed scala aan sensoren; zie onderstaande tabel.

Door combinatie van de resultaten van de diverse sensoren (voor een voorbeeld van radarwaarnemingen zie figuur 7) kunnen eventuele tekortkomingen van een sensor gecompenseerd worden door andere sensoren. Aan de uitwerking van

1. Grondgebonden sensoren	Waargenomen/afgeleide parameters
Lidars: 1064, 532, 906 nm	Hoogte van de wolkenbasis; optische diepte; hoogte van de top van de wolken
Radars: 3 GHz	Hoogte van de basis en de top van de wolken; verticale snelheid in de wolk
Microgolf radiometer: 20, 30, 50 GHz	Hoeveelheid dampvormig en vloeibaar water in een kolom
Infrarood stralingsmeter: 9.6-11.5 .m	Temperatuur van de wolkenbasis
Radiosondes	Temperatuur, waterdamp en windprofielen
GPS ontvanger	Waterdamp, geïntegreerd over een kolom
Daglicht en Infrarood camera's	Visuele referentie
Wolkendetectiesysteem	Hoogte en temperatuur van de wolkenbasis; oppervlaktestraling over een gebied van 120x120 km ² .
2. Vliegtuigsysteem	
FSSP	Spectrum van druppelgroottes in wolken
3. Satellietsystemen	
AVHRR	Wolkenbedekking; temperatuur van de top van de wolken
Meteosat	Wolkenbedekking; temperatuur van de top van de wolken
ATSR	Wolkenbedekking; temperatuur van de top van de wolken
GOME	Spectrum van gereflecteerd licht.

diverse methodes voor het meten van de waterinhoud van wolken wordt momenteel door een aantal deelnemende instituten gewerkt.

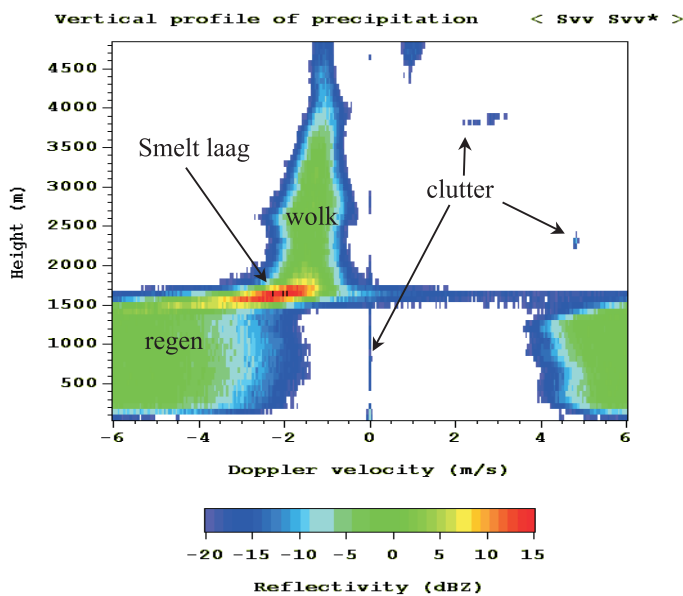


Fig. 7: Voorbeeld van waarneming met radar van een wolk. De radar 'kijkt' omhoog. Langs de horizontale as staat de Dopplersnelheid, langs de verticale as de hoogte boven de radar, de kleurcode geeft de reflectiviteit weer.

Doppler polarimetrie

Het IRCTR werkt reeds geruime tijd aan de beschrijving van objecten in termen van hun (gelijktijdig ontwikkelde) Dopplerspectrum en (polarisatie-)verstrooiingsmatrix per Dopplercomponent. Vele aspecten spelen daarbij een rol, variërend van de opbouw van objecten in basiselementen, de decorrelatie van de waarnemingen met de tijd, de radartechniek die nodig is voor een goede meting tot de calibratie van deze apparatuur. De ontwikkeling van de theorie, met name voor complexe verstrooiers, heeft nog ver te gaan. Zeker wanneer men de noodzaak tot experimentele validatie van de opgebouwde theorie erkent en dus apparatuur ontwikkelt, meetcampagnes opzet en uitvoert en de gemeten data analyseert. De insteek van het IRCTR is dat een combinatie van theorie en validerende metingen tot beter begrepen en onderbouwde concepten van radar en waarnemingen daarmee leiden. Enkele voorbeelden van de diverse benaderingen staan hier onder vermeld.

De polarimetrische eigenschappen van complexe objecten worden veelal beschreven door matrices zoals de Mueller matrix, of een coherentiematrix. Fluctuerende objecten en golven worden gewoonlijk beschreven door tweede-orde momenten. Deze

beschrijving geeft de eigenschappen van objecten gemiddeld over de tijd, en toont daardoor niet het gehele gedrag. Stochastische processen kunnen beschreven worden door hun (auto-)correlatiefunctie resp. vermogensdichtheidsverdeling, of door kruiscorrelatiefuncties, resp. kruisvermogensdichtheidsverdeling.

Samen met onderzoekers van de Moskouse universiteit MSTUCA wordt gewerkt aan een beschrijving van de oppervlakte van verstrooiers. De vergelijking van spanningen en fases van signalen in orthogonaal gepolariseerde ontvangerkanalen maakt het mogelijk de diëlektrische permittiviteit van gelaagde media te meten.

Antennes en propagatie

Tijddomein antennemetingen

De traditionele werkwijze bij het doormeten van antennes kan men zich als volgt indenken. Antennes worden belicht met een veld in een gekozen frequentie. Bij elke combinatie van aspecthoeken tussen belichter en antenne wordt vervolgens voor een reeks frequenties het signaal aan de aansluitingen van de antenne gemeten. Deze werkwijze kost veel (meet-)tijd. Het voordeel om antennes niet via het frequentiedomein maar via meting in het tijddomein te karakteriseren is tweërlei:

Allereerst maakt men gebruik van zeer korte pulsen. Zie figuur 8 voor een voorbeeld. De pulslengte in lucht is in de orde van een tiental centimeters. Eén van de factoren die meting in het frequentiedomein kostbaar maken, is dat speciale meetruimtes vereist zijn, die het mogelijk maken dat de antenne die wordt getest, slechts belicht wordt via een rechtstreeks radiopad. Reflecties via de wanden van de ruimte zijn dermate zwak dat ze de meting niet verstoren. Een bekende meettechniek voor het geval de indirecte paden toch geëlimineerd moeten worden is om eerst over een ruim aantal frequenties het ontvangen signaal te meten, er vervolgens een Fouriertransformatie op toe te passen en daarmee synthetisch een impulsresponsie te maken. Doordat het indirecte pad langer is en de impulsresponsie navenant later start, kan men zo een meetvenster toepassen en dit late signaal negeren. Door tenslotte het geschoonde tijdsignaal weer naar het frequentiedomein te transformeren, verkrijgt men de overdrachtsfunctie van de antenne. Het moge duidelijk zijn dat deze methode omslachtig en daarmee tijdrovend is. De meettechniek in het tijddomein begint bij het

equivalent van wat in het vorige recept het resultaat was van de Fouriertransformatie naar het tijd-domein. Er behoeven dus niet vele frequenties afzonderlijk te worden gemeten: de impulsresponsie wordt direct verkregen. De methode, gelijk aan de procedure voor het frequentiedomein, werkt alleen wanneer de impulsresponsie van de antenne afgelopen is op het moment dat de impulsresponsie via de indirecte paden begint. Figuur 9 toont een gemeten voorbeeld van de impulsresponsie van een antenne, na excitatie met de testpuls uit figuur 8.

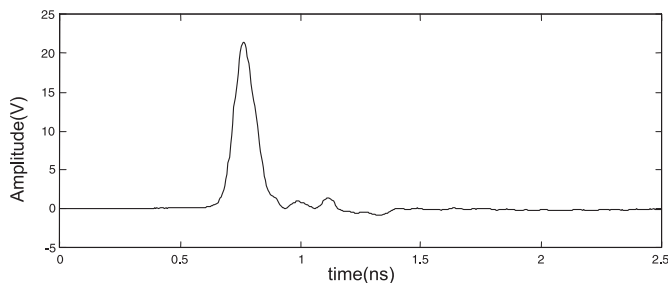


Fig. 8: Testpuls met een lengte van 85 ps. Met deze puls wordt een antenne geëxciteerd; figuur 9 toont het resultaat.

Door de inherente kenmerken van de methode is het mogelijk zonder de kosten van speciale meetkamers antennemetingen te doen. IRCTR heeft een aantal testen uitgevoerd waarin dezelfde antenne op een aantal verschillende wijzen werd gekarakteriseerd.

Een promotieonderzoek is in zijn afrondende fase waarin via tijddomein holografische methodes antennestelsels werden geanalyseerd. Daarbij is het mogelijk gebleken via de tijddomein-techniek defecte stralers in het stelsel op te sporen en ultra-breedband antennekarakterisatie te doen in een Compact Antenna Test Range. De methode

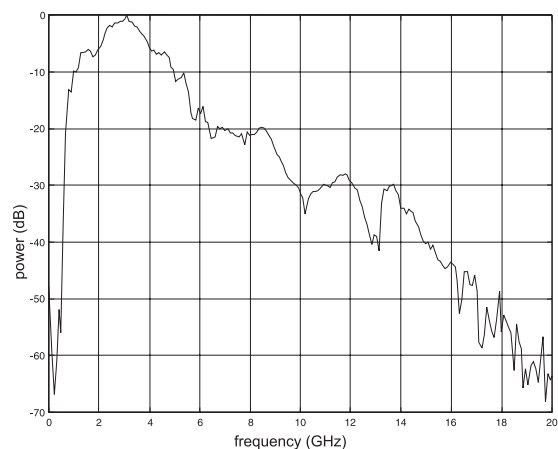
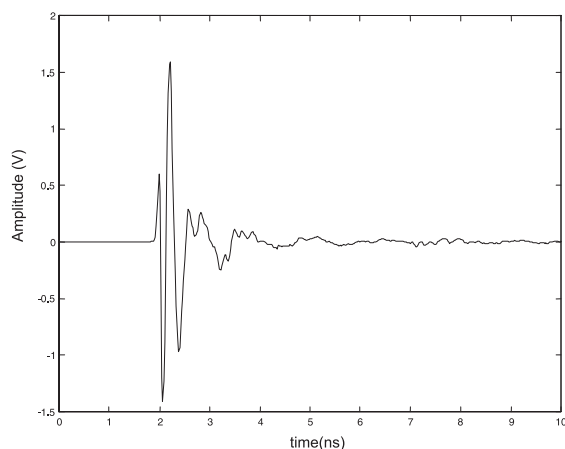
opent verder de mogelijkheid bepaalde meetfouten die ontstaan door de eigenschappen van de meetkamer te corrigeren.

De korte-puls meetmethode is voorts met succes toegepast bij de bepaling van de radardoorsnede van objecten.

De TARA antenne

Ten behoeve van atmosfeeronderzoek is een transporteerbaar radarsysteem (TARA) ontwikkeld en gebouwd. Deze radar is wat zijn radartechnische kenmerken betreft vergelijkbaar met de radar die op het dak van het gebouw voor elektrotechniek staat (DARR). Aan de antenne zijn bijzondere eisen gesteld, onder andere aan de onderlinge isolatie en de zijlusniveaus. Verder is hij duopolarimetrisch. DARR staat op een hoogte van ca 100m, op het hoogste punt van het gebouw en ver boven de omgeving uitstekend (zie figuur 13). De radar is van het FMCW type, dat wil zeggen dat hij gelijktijdig zendt en ontvangt. Om te voorkomen dat het zendsignaal het ontvangersignaal “verblindt”, moet er een sterke isolatie zijn tussen de zender en de bijbehorende antenne en de ontvanger met zijn antenne. Nabije gebouwen kunnen al dermate sterke reflecties via de zijlussen van de antenne oproepen dat zwakke doelen gemaskeerd raken. Bij DARR is dat risico nihil vanwege zijn comfortabele opstelling. Bij de transporteerbare radar daarentegen is het probleem des te groter. Bij TARA zijn daarom de beide reflectoren voorzien van grote schermen aan de rand van de parabolen. Deze zijn gedemonteerd tijdens het transport. Ze worden gemonteerd wanneer de radar op de plaats van de metingen is aangekomen. Figuur 10 toont een constructieschets van de container met daarin opgesteld de beide antennes voorzien van de schermen. Figuur 11 laat een foto van de radar zien.

Fig. 9: Links: impulsresponsie van een antenne na excitatie met de puls van figuur 8. Rechts: bijbehorende overdrachtsfunctie, met een frequentiebereik van ca. 1 GHz tot ca. 14 GHz op het -30 dB niveau.



Een tweede bijzonderheid van TARA is dat de antennebundels in een vlak elektronisch versteld kunnen worden in een andere richting. Door het effect van defocussing dat ontstaat wanneer een veld niet evenwijdig aan de hoofdas van de parabool invalt, kan voor de verstelde bundel niet volstaan worden met een enkele puntvormige belichter, maar moet een stelsel van belichters die tezamen een (brand-)vlak vullen opgesteld worden. Een dergelijk stelsel zou echter omvangrijk kunnen zijn en vormt dan echter een blokkade in het elektromagnetisch veld. Daarom zijn voor TARA geminiaturiseerde belichters ontworpen, die bovendien minder dan een halve golflengte uit elkaar staan. De miniaturisatie is bereikt door een golfgeleider te vullen met een diëlektricum. Om de aanpassing aan de vrije ruimte te verzorgen is in het diëlektricum loodrecht op de voortplantingsrichting een onderbreking aangebracht en is de uitmonding ook speciaal gevormd. Door de geringe

afstand tussen de elementen van deze samengestelde belichter moest bij het ontwerp van het bundelvormende netwerk rekening gehouden worden met een sterke mutuele koppeling. Figuur 12 toont het tweetal belichterelementen die er voor zorgdragen dat de bundelrichting 15 graden afwijkt van de hoofdas van de antenne. De polarisatie-richting van de bundel langs de hoofdas kan worden gekozen in twee lineaire richtingen. Die van de verstelde bundels is lineair in een enkele richting.

Uiteraard moeten de gegevens die met de radar worden verzameld verwerkt worden. Daartoe is TARA uitgerust met diverse mogelijkheden, variërend van opslag van het onbewerkte radarsignaal (de tijdsduur waarover opslag kan plaatsvinden is dan beperkt) tot realtime datareductie. In het laatste geval kan de radar continu werken en ook de (gereduceerde) gegevens opslaan.

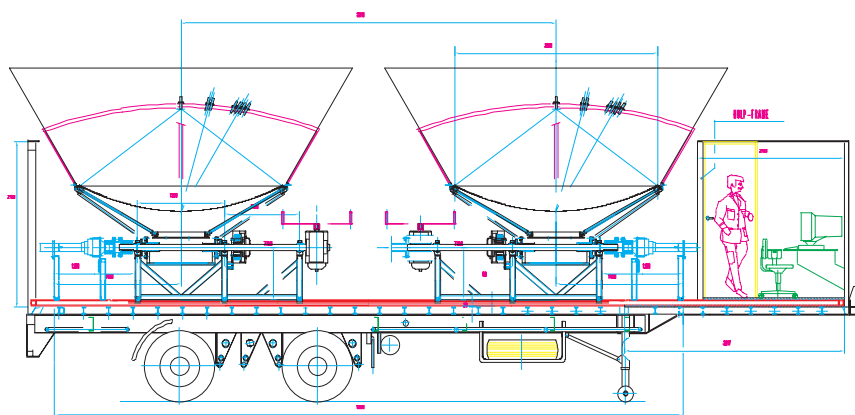


Fig. 10: Schets van de oplegger met daarop (opengewerkt) de container met de reflectoren en gemonteerde schermen van TARA. De opbouw aan de rechter zijkant van de oplegger bevat alle elektronica voor databewerking en voor besturing.

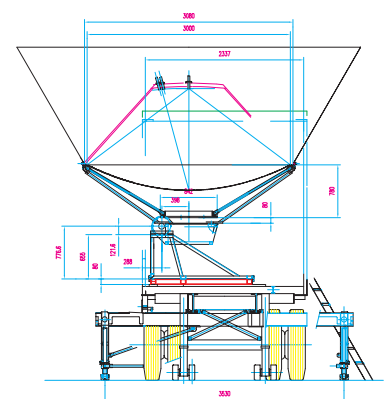


Fig. 12: De belichter van de TARA antenne voor de verstelde bundel. Let op de twee diëlektrische staven, waarvan de uitgangen via een bundelvormend netwerk met elkaar verbonden zijn.

Fig. 11: De TARA radar met gekantelde antennes. De schermen aan de rand van beide parabolen springen in het oog. Te zien is dat in elk der antennes een draagstructuur met drie belichters is gemonteerd. Het bedieningscompartiment is verscholen achter de rechter parabool.

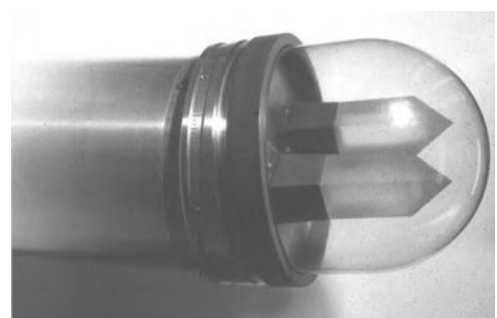




Fig. 13: DARR (voorgond) en SOLIDAR (achtergrond).

Slotwoord

Dit artikel heeft beoogd een breed overzicht te geven van het onderzoek dat in het IRCTR plaats vindt. Vele onderzoekers in binnen- en buitenland spelen hierbij een belangrijke rol. Het aantal personen dat op één of andere wijze met het IRCTR samenwerkte was in 1999 meer dan 140. Het is duidelijk dat een compleet overzicht ervan de omvang van dit artikel ruim te boven gaat. Het moge ook duidelijk zijn dat het IRCTR zich opstelt als "spin in een kennis netwerk".

CV

Prof. ir. P.van Genderen

Piet van Genderen werd in 1947 geboren te Spijkenisse. Hij voltooide in 1971 zijn universitaire opleiding aan de tegenwoordige Universiteit Twente, waar hij afstudeerde in de informatietheorie. Van 1971 tot 1974 werkte hij bij het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) te Amsterdam in de groep voor geluidhinder door vliegtuigen. Van 1974 tot 1979 was hij bij het NLR lid van de luchtverkeersleidingsgroep, waar hij zich vooral met het functioneren en het gebruik van radars bezig hield. Vanaf 1979 werkt hij bij Hollandse Signaalapparaten BV (Signaal) te Hengelo. Daar heeft hij diverse functies gehad, aanvankelijk in de onderzoeksafdeling, later in de ontwerpafdeling voor Radar en in de Kennis- en Technologie Organisatie. Hij heeft mede gewerkt aan een aantal van de moderne radars die de firma Signaal momenteel kan leveren. Hij was lid van de Raad voor Wetenschap en Techniek van Thomson-CSF, het moederconcern van Signaal. Hij is secretaris van de wetenschappelijke raad van het Virtual Radar Laboratory, een Virtueel Laboratorium, waarin enkele radarfirma's binnen Thomson gemeenschappelijk onderzoek uitvoeren. P. van Genderen heeft een aantal patenten op zijn naam. Hij ontving een eerste prijs binnen het Thomson concern voor één ervan. Verder heeft hij een zestigtal technisch/wetenschappelijke rapporten en een dertigtal publikaties geschreven. Sinds 1994 is hij deeltijdhoogleraar aan de Technische Universiteit Delft, met een leerstoel voor Radarontwerptechniek. Binnen het IRCTR is hij leider van de sector voor onderzoek aan Radar.



CV

Prof. dr. ir. L.P. Ligthart, Ceng, FIEE, SMIEEE

L.P. Ligthart, in 1946 geboren te Rotterdam, studeerde in 1969 met lof af aan de Technische Universiteit Delft. Tot 1976 was hij werkzaam als wetenschappelijk medewerker bij het laboratorium voor Microgolfttechniek van de faculteit der Elektrotechniek. In 1978 werd hij wetenschappelijk hoofdmedewerker en projectleider van het "Dakproject", de antenne en radar onderzoek activiteiten, die plaatsvinden op en rondom het dak van de hoogbouw van de Faculteit Informatie Technologie en Systemen. In de jaren 1976/1977 was hij als gast-onderzoeker betrokken bij het antenne-onderzoek op de Chalmers Universiteit van Goteborg in Zweden. In 1985 promoveerde hij op het onderwerp "Antenna Design and Characterization based on the Elementary Antenna Concept" met als promotor Prof. ir. L. Krul. Van 1988 tot 1992 was hij deeltijdhoogleraar in de leerstoel "Elektronische systemen voor plaatsbepaling en navigatie" met als deelgebied Radar. L. P. Ligthart is sinds 1994 directeur van het International Research Centre for Telecommunications-transmission and Radar (IRCTR) en is sinds 1992 professor in "Microgolfttransmissie, Radar en Tele-observatie" aan de Technische Universiteit Delft. Tevens is hij voorzitter van de vakgroep Telecommunicatie en Tele-observatie Technologie (TTT). Zijn belangrijkste specialisaties zijn antennes & propagatie, radar en remote sensing.

Hij is voorzitter van het in 1997 door STW opgerichte Nationale Platform Telecommunication Transmission and Radar. Hij heeft zitting in vele nationale en internationale wetenschappelijke commissies en organisaties.

In 1998 was hij voorzitter van de 1e European Microwave Week, de grootste microwave conferentie in Europa.

Hij heeft meer dan 180 wetenschappelijke publicaties geschreven. Voor zijn wetenschappelijk werk ontving hij in 1981 de NERG Vederprijs, in 1982 de IEE Blumlein-Brown Willans Premium Award en in 1999 een Ere Doctoraat aan de Moscow State Technical University of Civil Aviation.



Kleur-merk

Een schone stroom
van groene kleur
kent wet van Ohm
en Kema-keur

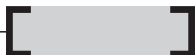
WALTER SCHONGS
WERKGROEP GESCHIEDENIS DER ELEKTROTECHNIEK TUD

Radaraardobservatie, de Gebruiker en het Overzicht*

Prof. ir. P. Hoogeboom

Faculteit Informatie Technologie en Systemen, Technische Universiteit Delft

E-mail: P.Hoogeboom@its.tudelft.nl



Inleiding

De mogelijkheden van de techniek die wij vandaag de dag kennen onder de naam Radar zijn ver uitgegroeid boven de oorspronkelijke betekenis van het acronym. De vijf letters van het woord Radar staan voor **R**ADIO **D**ETECTION **A**ND **R**ANGING, oftewel detectie en afstandbepaling met behulp van elektromagnetische of "radio" golven. Daarmee worden duidelijk de twee basisfuncties aangegeven die wetenschappers wisten te bereiken al voor de tweede wereldoorlog. Al spoedig bleek radar een effectief hulpmiddel te zijn bij het vroegtijdig opsporen van vijandelijke vliegtuigen.

Met de term Remote Sensing wordt in het algemeen het waarnemen op afstand aangegeven. Als de waarneming zich richt op het aardoppervlak, zoals bij de luchtfotografie, is meestal sprake van aardobservatie. Net als dat bij de term radar het geval is, dekt ook hier de vlag de lading niet meer. In de moderne aardobservatie worden de gegevens ook gebruikt om bijv. op land gedetailleerde objecten kaartgegevens te verzamelen of van het zeoppervlak fysische parameters zoals windsnelheid en golfhoogte te bepalen. Daarmee is aan de aanvankelijk louter kwalitatieve waarneming toegevoegd de kwantitatieve, resultaatgerichte meettechniek.

Het vakgebied Radaraardobservatie omvat dan ook veel meer dan strikt genomen uit de naamgeving kan worden afgeleid. De introductie aan de hand van een modern radarbeeld is verhelderend en tegelijkertijd een dankbare taak. Dat laatste dan vooral omdat een beeld van een bekende omgeving uitnodigt tot het herkennen van objecten die we al uit eigen waarneming kennen. Dat onderdrukt in

eerste instantie kritische vragen over het hoe en waarom. Zeker als het eigen huis of een ander referentiepunt is gevonden, wordt de waarde van het beeld erkend. Pas in tweede instantie rijst de vraag welke kwantitatieve informatie uit het beeld kan worden afgeleid. Hoewel dus de herkenning van een bekende omgeving een sterk verkoopargument is voor remote sensing, wordt de waarde pas echt duidelijk wanneer in een onbekende omgeving vitale informatie kan worden afgeleid uit het beeld. Dit is het zogenaamde inverse probleem, dat

Fig. 1: PHARUS (*Phased Array Universal SAR*) radarbeeld van de TUD wijk, opgenomen vanaf 10 km afstand, op een hoogte van 4 km, met een resolutie van 4 meter. PHARUS is een experimentele phased array vliegtuig Synthetische Apertuur Radar, werkend op C-band (5.3 GHz).



* Verkorte weergave van P. Hoogeboom, 'Radaraardobservatie, de Gebruiker en het Overzicht', inaugurele rede, uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Radaraardobservatie aan de faculteit Informatie Technologie en Systemen van de Technische Universiteit Delft op 9 juni 2000.

een belangrijke rol speelt in het vakgebied van de aardobservatie. De waarde van een remote sensing product ontstaat pas op het moment dat het inverse probleem is opgelost. Hier staat het vakgebied echter in feite nog in de kinderschoenen, reden waarom betalende gebruikers voor remote sensing informatie nog schaars zijn.

Het vakgebied

Radaraardobservatie past de radartechniek toe voor het waarnemen van het aardoppervlak. Daarmee wordt meteen duidelijk dat het hier om een multidisciplinair vakgebied gaat. Radartechniek en signaalverwerking spelen een belangrijke rol bij het tot stand brengen van de waarneming. Maar wat er waargenomen wordt en hoe dat het beste kan gebeuren vereist fysische kennis van het waarneemproces en kennis van het toepassingsgebied. Een aardobservatiesysteem voor het meten vanuit de ruimte van windvelden op de oceanen kon alleen tot stand komen dankzij de samenwerking van o.a. radartechnici, signaalverwerkers, oceanografen en meteorologen.

Toepassingen van aardobservatie zijn te vinden op velerlei gebied. Tot het zojuist genoemde combinatiegebied van oceanografie en meteorologie, behoren ook golfverwachtingen, stromingsmetingen en de grootschalige oceaancirculaties. Op het terrein van landtoepassingen vindt men combinaties van radar met vakdisciplines op het gebied van landbouw, bosbouw, hydrologie, stedelijke bebouwing en ruimtelijke planning.

Een apart disciplinegebied is dat van Defensie. Daarbij zijn onder andere bewegingsdetectie, hoge resolutie en classificatie en identificatie van objecten van belang, hetgeen o.a. de patroonherkenningstak van de signaalverwerking van groot belang maakt.

Van het scala aan aardobservatie instrumenten spreekt de Synthetische Apertuur Radar (SAR) wel bijzonder tot de verbeelding. Dit komt met name door de goede, bijna fotografische beeldkwaliteit die hiermee onder alle omstandigheden is te bereiken. Dit geschiedt door een slimme combinatie van de mogelijkheden van het radarsysteem en van de signaalverwerking. Het principe werd al aan het eind van de jaren veertig bedacht en korte tijd later aangetoond. De technische ontwikkelingen op diverse gebieden hebben pas veel later tot een

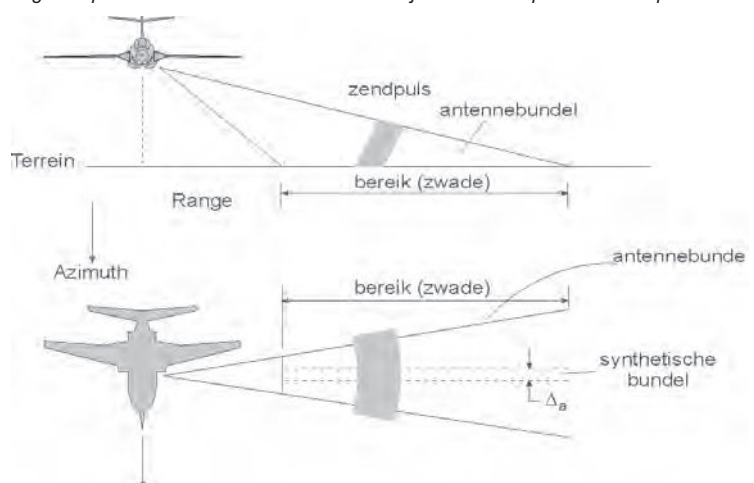
bruikbare applicatie geleid. De huidige hoge beeldkwaliteit werd nog niet zo lang geleden mogelijk na de introductie van digitale en breedband technieken.

Om een beeld in 2 dimensies (zie figuur 1), zoals een foto, te realiseren moet het opnamesysteem in twee richtingen over een scheidend vermogen beschikken, zoals aangegeven in figuur 2. Dit gebeurt door een antenne een gerichte bundel te laten uitzenden die door de voortbeweging van het vliegtuig wordt verplaatst. Binnen deze bundel wordt door het uitzenden van korte pulsen de omgeving met de lichtsnelheid afgetast.

Reflecties van die omgeving worden door een ontvangantenne opgevangen. De tijd die verloopt tussen uitzenden en ontvangen is afhankelijk van de afstand waarop de reflecterende objecten zich bevinden. De korte puls is vooral van belang om nog onderscheid te kunnen maken tussen reflecties van ongeveer gelijke sterkte afkomstig van objecten die dicht bij elkaar liggen. Het elektronische weergavesysteem zorgt ervoor dat de reflecties op de juiste positie langs een lijn worden afgebeeld.

De antennes die voor het uitzenden en ontvangen worden gebruikt hebben een richtwerking, dat wil zeggen zij bestrijken een zekere ruimtehoek, die afhankelijk is van de afmeting van de antenne. Deze antenne-afmeting wordt ook wel apertuur genoemd. Door de apertuur langer te maken wordt de ruimtehoek kleiner, en dus de resolutie beter. Maar op grotere afstanden van de antenne wordt de resolutie steeds slechter als gevolg van de toenemende doorsnede van de bundel. Een constante resolutie wordt bereikt door de apertuur lengte

Fig. 2: De scanconfiguratie voor een vliegtuigradarsysteem in vooraanzicht en van boven gezien. Bij een SAR wordt de divergerende antennebundel elektronisch gecompenseerd door een afstandafhankelijke antenne-apertuur toe te passen.



afhankelijk te maken van de waarneemafstand. Dit is echter niet praktisch uitvoerbaar voor een antenne, maar kan door signaalbewerking wel gesimuleerd worden.

Stel, de antenne beweegt langs een lijn en alle reflecties worden in een computergeheugen bewaard. De computer kan naderhand voor iedere meetafstand door combinatie van voldoende reflecties een apertuur van dusdanige afmeting realiseren, dat de beeldresolutie constant is.

Dit principe wordt apertuursynthese genoemd. Het radarsysteem dat volgens dit principe werkt heet een Synthetische Apertuur Radar. Een beeld dat met een dergelijk systeem is gemaakt heeft dus de eigenschap dat de resolutie constant is en onafhankelijk van de afstand. De mogelijkheid om op grote afstanden zonder verlies van beeldscherpte te kunnen waarnemen maakt de SAR tot een uniek instrument. Bovendien is de radar in staat om door wolken heen en onafhankelijk van zonlicht, dus dag en nacht waar te nemen. Om deze redenen is radar uitermate geschikt voor aardobservatie vanuit de lucht en vanuit de ruimte.

Een radarbeeld zal in het algemeen als een zwart/wit foto gepresenteerd worden, maar de grijstinten hebben een heel andere betekenis dan wat men normalerwijs van een optische foto gewend is. De gebruiker moet in feite opnieuw leren kijken. Dit proces is vergelijkbaar met de wijze waarop wij in onze jeugd hebben leren omgaan met de betekenis van de beelden die onze ogen ons verschaffen: door het verkennen van de omgeving werd langzamerhand een begrip opgebouwd van hetgeen onze ogen ons laten zien. Maar, onze ogen herkennen kleur en dat voegt veel informatie toe. Omdat radar in een geheel ander golflengtegebied werkt dan het oog, is kleur niet van dezelfde betekenis, maar dat de toevoeging van betekenisvolle kleuren tot meer beeldinformatie leidt, is evident. Het verschil in golflengte tussen zichtbaar licht en radar is meer dan een factor 1000. De fysische processen die aan reflectie en verstrooiing ten grondslag liggen zijn geheel verschillend in dit golflengtegebied. Deze processen worden nog lang niet begrepen. De vertaling naar voor de gebruiker belangrijke gegevens is daarom dikwijls nog niet te maken, of om het in zijn of haar woorden te zeggen: "ik snap niet wat ik zie(t)". Er is nog veel onderzoek nodig op het gebied van stralingsinteractie en modelvorming. Niettemin zijn er wel mogelijkheden om op zin-

volle wijze kleur toe te voegen aan radarbeelden. Een veelbelovende techniek is polarimetrie.

Polarimetrie

Polarisatieverschijnselen treden bij alle elektromagnetische golven op, en zijn dus zowel bij licht als bij radargolven bekend. Met polarisatie wordt hier bedoeld de stand die de elektrische veldvector van de elektromagnetische golf aanneemt: Staat deze verticaal, dan spreken we van verticaal (V) gepolariseerd. Bij een horizontale positie is het horizontaal (H) gepolariseerd. De zend- en ontvangantenne van een radar kunnen dezelfde of verschillende polarisaties benutten. De basiscombinaties zijn VV, HH, HV en VH. Op deze wijze zijn 4 afzonderlijke beelden op te nemen. Dit gebeurt bij een SAR in de praktijk quasi-simultaan, door afwisselend V en H gepolariseerde signalen uit te zenden en 2 ontvangkanalen, V en H gepolariseerd, toe te passen (zie figuur 3).

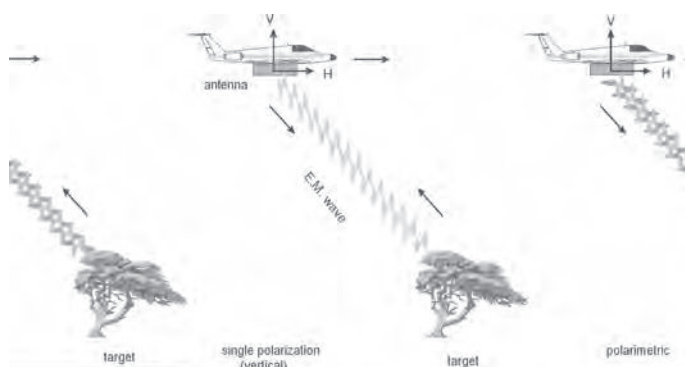


Fig. 3: De toepassing van polarimetrie bij een vliegtuigradar leidt tot een complete meting van de scattering matrix S , waardoor de 4 polarisatiecombinaties VV, HH, VH en HV, alsmede hun onderlinge faseverschillen worden bepaald. Daarmee ontstaat een complete beschrijving van het scattergedrag van het aangemeten object.

Het menselijk oog is niet gevoelig voor de polarisatietoestand van het licht, maar met hulpmiddelen als de polaroid zonnebril is het verschijnsel wel duidelijk te maken. Of denkt u aan de natuurkundeproeven met links- en rechtsdraaiend melkzuur.

Terugkomend op de polaroid zonnebril: deze neemt de zonreflecties van het water weg, maar draait u de bril eens een kwart slag...

De objecten op het aardoppervlak reflecteren net als bij zichtbaar licht de radarstraling niet voor iedere polarisatie even sterk. Belangrijke informatie die uit polarimetrische metingen wordt verkregen betreft de aard van de reflectie, zie figuur 4: was het een enkelvoudige reflectie of was het een tweevoudige reflectie, of eigenlijk: was het aantal reflecties die de elektromagnetische golf op zijn

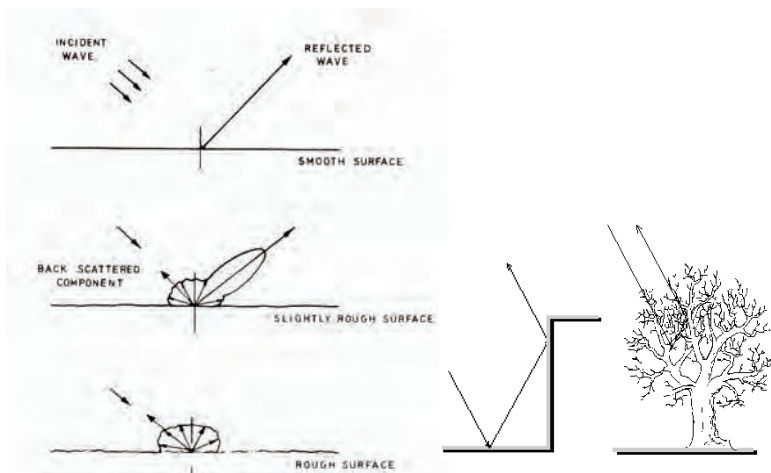


Fig. 4: In tegenstelling tot gladde oppervlakken geven ruwe oppervlakken behalve een voorwaartse reflectie ook terugverstrooiing ("single bounce"). Hoekstructuren geven dikwijls aanleiding tot een "double bounce" reflectie. Vegetatie kenmerkt zich door "volume scattering". Met polarimetrie is een goed onderscheid te maken tussen deze 3 verschillende reflectiemechanismen.

weg ondervond even of oneven? Daarmee ontstaat een duidelijk onderscheid tussen directe reflecties van een oppervlak (enkele reflecties, dus oneven) en reflecties van hoekstructuren (dubbele reflecties, dus even). Bijvoorbeeld bij een gebouw in een stad: de golf komt van bovenaf, reflecteert op straat, vervolgens tegen de muur van het gebouw en terug naar de radar. Met polarimetrie is dus

direct onderscheid te maken tussen de afbeelding van het dak van een gebouw en de reflectie van de muur ervan en de straat ervoor.

Andere belangrijke informatie uit polarimetrie betreft de diffuse reflectie: als er geen sprake is van een harde reflectie, maar van een verstrooiing door een volume (bijv. door de blaadjes van een boom) dan zullen de VH en HV kanalen (de zogenaamde kruispolarisaties) sterk in amplitude toenemen. Door de kruispolarisatiekanalen in een radarbeeld met een groene kleur weer te geven, ontstaat een natuurlijke indruk: De groene delen van het beeld bevatten dan inderdaad veel vegetatie.

Helaas is de interpretatie van polarimetrie nog niet geweldig ver gevorderd. Op dit moment is het onderscheiden van verschillende klassen van objecten en achtergronden al wel goed mogelijk. Ook kan nu al met eenvoudige wiskundige bewerkingen het contrast in de beelden tussen vooraf geselecteerde doelen geoptimaliseerd worden. Een voorbeeld hiervan wordt getoond in figuur 5.

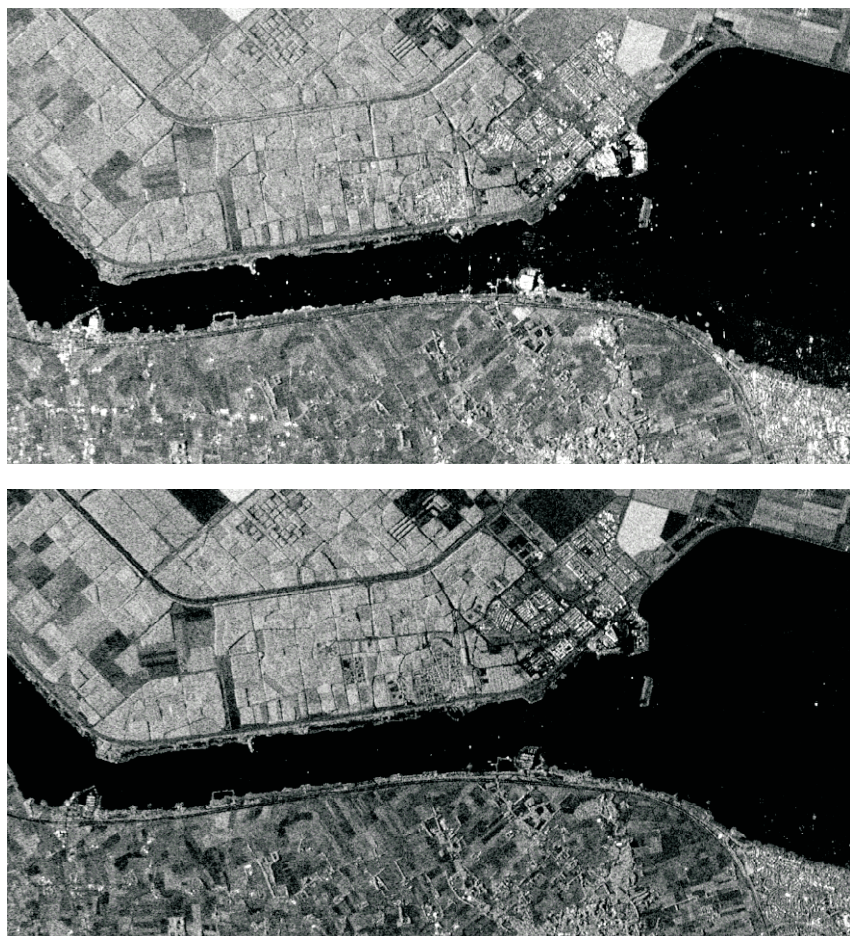


Fig. 5: AIRSAR opname (courtesy Jet Propulsion Laboratory, Pasadena) van het Veluwe-meer, met zodanige polarisatie-instellingen dat resp. maximaal (boven) en minimaal (onder) contrast ontstaat tussen man-made objecten en de achtergronden. Let op de zichtbaarheid van zelfs kleine plezierjachten en betonneningen in het Veluwemeer.

Het op een eenduidige wijze decomposities uitvoeren is echter nog niet mogelijk. Daarmee wordt bedoeld dat de eerder omschreven basisbegrippen van oneven en even reflecties en van volumescattering veelal nog niet terugvertaald kunnen worden naar fysisch begrijpbare eigenschappen van het afgebeelde object. Het inverse probleem, waaraan op de TU Delft jaren geleden door Dr. J.R. Huynen al werd gewerkt, is dus nog niet opgelost, wat betekent dat voor de gebruiker geen pasklaar antwoord op zijn vragen uit de opgenomen beelden is af te leiden. Verder onderzoek zal moeten leiden tot de ontwikkeling van modellen en methoden die uiteindelijk de door de gebruiker gestelde vragen kunnen beantwoorden.

Interferometrie

Een aardobservatieproduct waarbij het inverse probleem veel minder speelt, is de interferometrie. Waarmee ik overigens niet wil zeggen, dat op dit terrein alle vraagstukken zijn opgelost. De meest bekende interferometrische configuratie maakt gebruik van een tweede ontvangstantenne voor een soort stereo opname. Nu ontstaat een 3 dimensionaal beeld, waarbij de derde dimensie de terreinhoogte is. Dit is direct interpreteerbare informatie die vooral in de cartografie zeer waardevol is gebleken. Dit is dan ook de reden dat interferometrie hoewel jonger dan polarimetrie zeer snel tot ontwikkeling en tot commerciële exploitatie is gekomen.

Een bijzonder fraai voorbeeld toont figuur 6, afkomstig van de spaceshuttlemissie die eerder dit jaar is uitgevoerd. Met een 60 meter lange mast is een tweede antenne aan de radar in de spaceshuttle bevestigd. Van vrijwel de gehele aarde zijn stereoparen opgenomen, die momenteel worden ver-

Fig. 6: Interferometrische SAR opname vanuit de ruimte van Nieuw Mexico, gemaakt met de SIR-C (Shuttle Imaging Radar) aan boord van de Space shuttle.

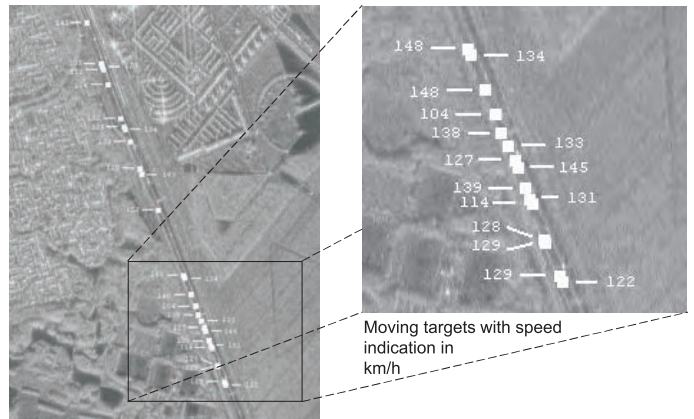
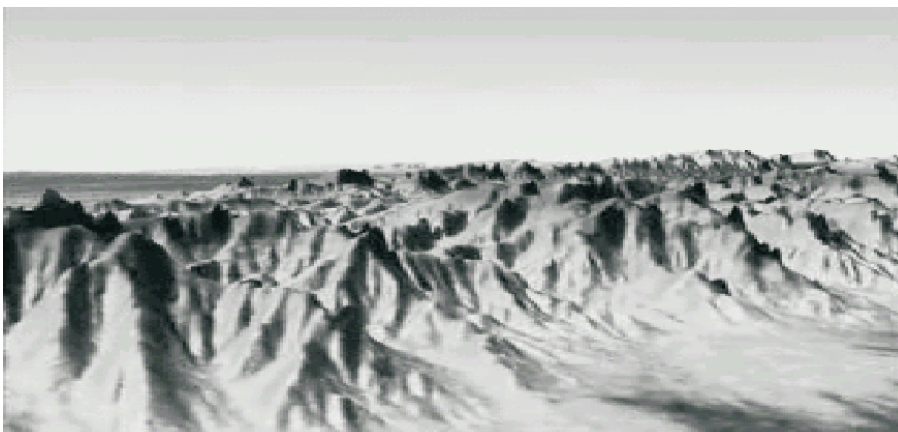


Fig. 7: PHARUS SAR+MTI beeld, opgenomen van de snelweg A-12 ter hoogte van Zoetermeer.

werkt tot een compleet en nauwkeurig 3-D model van onze aarde. Dit nieuwe model is met ca. 5 – 10 meter hoogtenauwkeurigheid veel nauwkeuriger dan de tot nu toe bestaande modellen.

Een andere minder bekende configuratie voor interferometrie is die waarbij de 2 antennes niet naast elkaar maar achter elkaar worden opgesteld. Nu ontstaat de mogelijkheid om snelheden te meten. Deze methode staat momenteel zeer in de belangstelling en wordt dikwijls aangeduid met de benaming grondwaarneming. Een belangrijke mogelijke toepassing is die van grensbewaking, bijvoorbeeld in vredes- en crisisbeheersingsoperaties. Met een grondwaarneemsysteem is in het SAR beeld een overzicht te verkrijgen van het terrein en alle aanwezige infrastructuur en stilstaande voertuigen, terwijl het Moving Target Indicator (MTI) kanaal daar de bewegende voertuigen aan toevoegt. Deze laatste zijn in het normale SAR beeld niet zichtbaar.

Een voorbeeld van een simultaan gemeten SAR en MTI beeld, wederom opgenomen met de Nederlandse experimentele PHARUS radar is weergegeven in figuur 7. De opname toont de snelweg A-12 nabij Zoetermeer. Een aantal voertuigen is met behulp van de MTI mode weergegeven in het radarbeeld. De door de radar gemeten snelheid is voor ieder voertuig vermeld. Deze meting is dus geschied

vanuit een vliegtuig op grote afstand in slechts enkele seconden voor alle voertuigen tegelijkertijd. De maximum snelheid ter plekke is 120 km per uur. Een voor de hand liggende toepassing zou kunnen ontstaan, als de radar in staat zou zijn nummerborden uit te lezen. Voor de hardrijders onder u geldt de geruststelling dat dit met de huidige stand van de techniek niet mogelijk is en voorlopig ook niet waarschijnlijk lijkt.

Naar verwachting zal grondwaarneming nog voor het einde van deze decade op grote schaal worden toegepast door o.a. de NAVO in haar vredesoperaties. Voor de ontwikkeling van deze methode is een groot Europees project opgezet, dat SOSTAR heet. Dit is een afkorting voor Stand Off Surveillance and Target Acquisition Radar. De beperkingen van grondwaarneming worden opgelegd door diverse factoren. Ik noem:

- de beperkte doorlaatbaarheid van bomen en struiken voor de gebruikte radarstraling,
- de marginaal voldoende resolutie van de beschikbare radarsystemen, alsmede de complexiteit en omvang daarvan,
- de nog beperkte doelvolgmogelijkheden in de zogenaamde track-while-scan MTI mode en
- de beperkte classificatie en identificatiemogelijkheden.

Dit alles maakt dat er nog veel werk aan de winkel is. Het onderzoek zal zich zowel op radarsystemen en de componenten daarvan moeten richten als op de algoritmen voor de signaalverwerking. De

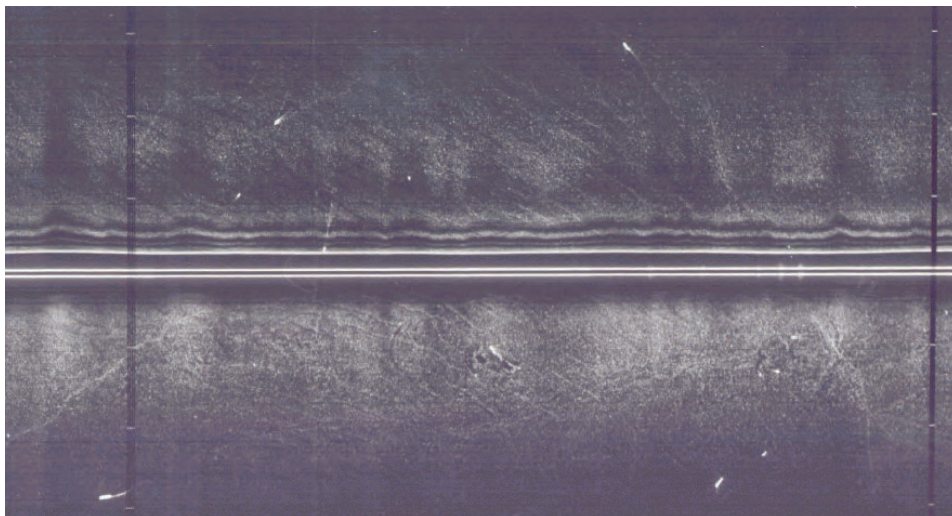
gebruiker van het toekomstige systeem, dat thans nog ontwikkeld moet worden, zou liefst nu al de daaropvolgende, beter presterende generatie tot zijn beschikking hebben.

Ik heb u een aantal voorbeelden van huidige toepassingen en ontwikkelingen op het vakgebied van radaraardobservatie laten zien. Maar het zal duidelijk zijn dat de ontwikkeling van toepassingen hand in hand gaat met de ontwikkeling van de radarsystemen en de signaalverwerking. En daarbij speelt de algemene stand van ontwikkeling der techniek een belangrijke rol. Ik wil daarom eerst even kort terugblikken in de geschiedenis alvorens de huidige stand van zaken en de mogelijke toekomstige ontwikkelingen aan te geven.

Geschiedenis

In mijn inleiding heb ik u al gemeld dat de radar kort voor de tweede wereldoorlog is uitgevonden. Daarbij is gewezen op de toepassing van het op grote afstand vroegtijdig detecteren van vliegtuigen, d.w.z. ruim op tijd om tegenmaatregelen te kunnen nemen. Echter al spoedig werden ook andere toepassingen ontwikkeld. Technologische doorbraken maakten het magnetron mogelijk, de hoogvermogen oscillatorbuis die vandaag de dag vooral in het huishouden wordt toegepast. Deze buis die voldoende vermogen kon opwekken op hoge frequenties, maakte het mogelijk om met kleine ronddraaiende antennes de omgeving af te tasten. Dit principe vond z'n weg naar de huidige scheepsradar en havenradarsystemen, maar werd ook toegepast in vliegtuigen om bij nacht en boven

Fig. 8: Q-band (8 mm) SLAR beeld van de Noordzee nabij Hoek van Holland, opgenomen in 1969. Met dit aan beide vliegtuigzijden simultaan opgenomen beeld werd de weergave van zeebodemtopografie met radar ontdekt door Dr. G.P. de Loor van het toenmalige Fysisch Laboratorium RVO-TNO. De zandgolven zijn zichtbaar als donkere en lichte schuine strepen in het bovenste deel, die naar veel later bleek, overeenkomen met de onderwater duintoppen.



de wolken vliegend een beeld van de grond onder en rondom het vliegtuig te maken. Hoewel de resolutie zeer grof was, bleek dit toch een praktisch hulpmiddel bij de navigatie. Het gaf de gebruiker het gewenste overzicht. Hiermee was de eerste stap gezet op weg naar de radaraardobservatie.

Niet veel later werd in een poging om de resolutie te verbeteren de draaiende antenne weer vervangen door één of twee vast aan het vliegtuig gemonteerde antennes. Deze antennes waren tamelijk lang en werden zijwaarts gericht. Het resultaat, de Side Looking Airborne Radar (SLAR) is in de daaropvolgende jaren verder ontwikkeld. Na de jaren tachtig nam het gebruik door de opkomst van de SAR af, met uitzondering van de toepassingen die geen hoge resolutie vereisen. De SLAR beelden die werden vervaardigd waren van zeer goede kwaliteit. De beelden werden vastgelegd op fotogevoelige film, die soms direct in het vliegtuig ontwikkeld en weergegeven werd, zodat bijna real-time weergave mogelijk was. In het begin van het digitale tijdperk werd real-time verwerking op beeldschermen al vrij snel mogelijk, omdat het voordeel van SLAR is, dat er weinig rekenwerk voor de beeldvorming nodig is. In Nederland is er met dit type radar veel ervaring opgedaan voor diverse toepassingen, voornamelijk voor civiele remote sensing (zie figuur 8). Heden ten dage wordt door Rijkswaterstaat een SLAR operationeel ingezet voor kustbewaking en voor het opsporen van olievlekken op de Noordzee. Een ontwikkeling die een direct gevolg is geweest van het in Nederland verrichtte onderzoek.

Zoals reeds eerder aangegeven kan het SAR principe gebruikt worden om het nadeel van de met de afstand verslechterende resolutie te overkomen. Het SAR principe stamt van de beginjaren vijftig. De coherente, dus fase-synchrone opwekking, verwerking en opslag van hoogfrequente signalen was in die tijd erg hoog gegrepen en vertoonde dientengevolge ook vele onvolkomenheden. Ook de verwerking tot radarbeelden was geen eenvoudige opgave. Dit alles gebeurde langs optische weg met coherente data opslag op fotogevoelige film en optische apertuursynthese met lenzenstelsels. De opkomst van digitale data opslag en -verwerking in de jaren

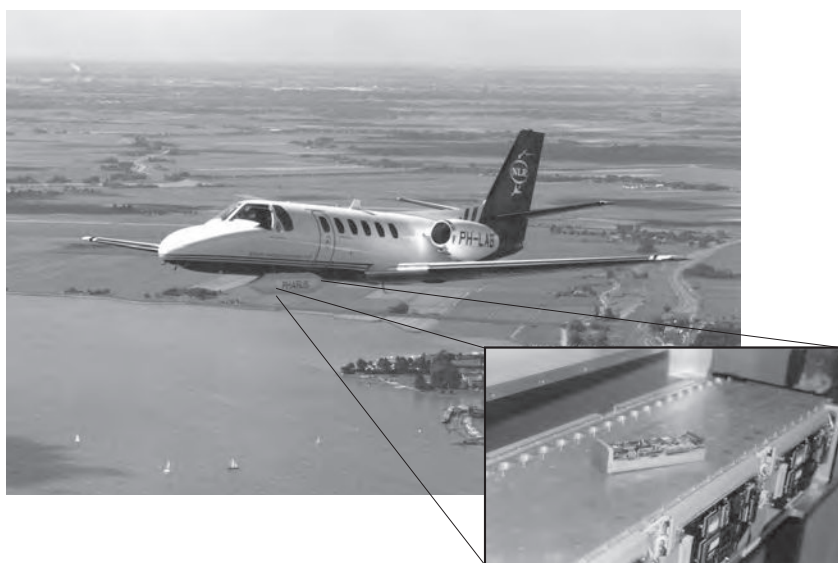
zestig en zeventig en de verfijning daarvan in de jaren tachtig en negentig hebben geleid tot het huidige hoge kwaliteitsniveau van de beelden. De gedegen aanpak van de signaalverwerking, waarbij ieder bekend effect gecorrigeerd wordt en desondanks snelle soms zelfs real-time gegevensverwerking mogelijk is, heeft in hoge mate bijgedragen aan het thans bereikte kwaliteitsniveau.

Huidige situatie

De ontwikkelingsfase waarin de radaraardobservatie thans is beland wordt grotendeels gekenmerkt door toenemende complexiteit en ook flexibiliteit van het radarsysteem. De digitale aansturing en de digitale gegevensverwerking bepalen in belangrijke mate de mogelijkheden van hedendaagse systemen. Merkwaardig genoeg is daarbij langzamerhand een situatie bereikt waarin de vernieuwingen in de radarsystemen niet altijd tot voor de gebruiker duidelijke prestatieverbeteringen leiden. Wel zal naar verwachting de prijs van radarsystemen kunnen dalen door de steeds verder oprukkende integratie door de toepassing van o.a. microgolf geïntegreerde circuits. Deze ontwikkelingen worden vooral gedreven vanuit de telecommunicatie. Dit is een vakgebied met een veel grotere omvang en een veel groter marktbelang. Door gebruik te maken van de daar optredende trends kan toch geprofiteerd worden van de nieuwste technologische ontwikkelingen.

Een voorbeeld van een modern radarsysteem, dat gebruik maakt van MMIC's in de actieve phased array antenne, is de Nederlandse PHARUS SAR.

Fig. 9: Het Nederlandse PHARUS C-band polarimetrische phased array SAR systeem.



Dit experimentele systeem voor onderzoekdoel-einden is al weer 5 jaar geleden tot stand gekomen door intensieve samenwerking van het Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO (TNO-FEL), het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart laboratorium (NLR) en de Technische Universiteit Delft (TUD). Het is in figuur 9 te zien onder de Cessna Citation van de TUD en het NLR. Als inzet is de phased array antenne en een Transmit/Receive (T/R) module weergegeven.

In dit systeem zijn destijds de nieuwste ideeën over SAR verwerkt, zoals polarimetrie en phased array antenne technologie voor MTI toepassingen. Alvo-rens het te bouwen is een SAR testbed gebouwd, teneinde de benodigde kennis en ervaring op te doen voor de realisatie van een zo complex systeem. De ideeën hiervoor zijn al in 1985 – 1986 ontwikkeld en gepubliceerd in een rapport dat werd geschreven voor de Beleids Commissie Remote Sensing (BCRS).

Echter in de afgelopen jaren zijn de techniek en het onderzoek niet stil blijven staan. Het wordt derhalve tijd voor een stap naar de volgende generatie SAR in Nederland. Immers indien het onderzoek niet gebruik kan maken van de modernste inzichten en ontwikkelingen, zal het achterop raken. Dat zou jammer zijn van de voorsprong en van het aanzien dat met het PHARUS programma is opgebouwd.

Toekomst

Belangrijke ingrediënten voor toekomstige radar-systemen worden aangeleverd door de technologische ontwikkelingen. Daarbij valt te denken aan miniaturisatie van componenten, verder opruk-kende digitalisering in de radar, waarmee zij bedoeld dat de omzetting van het analoge radar-signaal in digitale, voor computerverwerking geschikte informatie in het radarsysteem steeds dichterbij de antenne komt te liggen. Miniaturisatie kan leiden tot kleine goedkope, volledig geïntegreerde SAR systemen, zo ongeveer als een moderne digitale videocamera, ik noem dat wel de "handheld SAR camcorder". Dergelijke ontwikkelingen zijn van belang voor allerlei toepassingen in het low-cost segment van de markt en voor toepas-sing op kleine, onbemande vliegtuigjes.

De toepassing van microgolf geïntegreerde schake-lingen noodzaakt tot een zekere standaardisatie in radarsystemen, bijvoorbeeld bij de T/R modules. Door uit te gaan van een basisbouwsteen voor

radarantennestelsels ontstaat een schaalbare antennetechnologie, een nog verder te ontwikkelen ontwerpmethodologie waarbij systemen van verschil-lende afmetingen en voor verschillende toepas-singen gebaseerd kunnen worden op dezelfde bouwstenen.

Daarmee komen prijsverlagingen opnieuw in zicht. Voor de gebruiker is dit zeer belangrijk, omdat vele ontluikende toepassingen op dit moment in de kiem gesmoord worden vanwege de te hoge kosten van radarsystemen.

Onderzoek

Het onderzoek dat in het kader van de nieuwe leer-stoel Radaraardobservatie zal worden verricht dient aan te sluiten op de hiervoor gesignaleerde trends. De inzet van beschikbare en nog te ontwik-kelen flexibele, programmeerbare radarsystemen is hierbij noodzakelijk. Het ligt niet in de bedoeling om binnen het bestek van de leerstoel complete systemen voor SAR, MTI en andere technieken te ontwikkelen, maar wel is het zinvol om bij het vernieuwende onderzoek naar onderdelen van zulke systemen gebruik te maken van de sterktegebieden van het International Research Centre for Telecom-munications-transmission and Radar (IRCTR) op het gebied van radar.

Met name Frequency Modulated Continuous Wave (FM-CW) systemen lijken daarbij veelbelo-vende kandidaten te zijn. Door hun eenvoud zijn FM-CW systemen in principe goedkoop te reali-seren, maar de toepassing als vliegtuigradar is nog nauwelijks onderzocht. Met het oog op de gewenste miniaturisatie en verhoging van reso-lutie in toekomstige SAR systemen is onderzoek naar de toepassing van het FM-CW principe van groot belang. Daarbij is niet alleen het systeemont-werp aan de orde, maar dient ook aandacht geschonken te worden aan de signaalverwerking, die principieel anders verloopt bij dit type radar-systemen.

De reeds aangeduide schaalbare antennetechno-logie en miniaturisatie zijn onderwerpen voor onderzoek, dat sterk verband houdt met techno-logie onderzoek en systeemontwikkeling. De kennis van Monolithic Microwave Integrated Cir-cuits (MMIC) ontwerp en ontwikkeling bij TNO en bij de TUD komen hier goed van pas en dienen in de activiteiten van de leerstoel te worden betrokken, evenals de samenwerking met andere universiteiten en Delft Institute for Micro Electro-nics and Submicron technology (DIMES).

Ontwerpen voor nieuwe SAR systemen zullen steeds meer gebruik maken van dergelijke geïntegreerde bouwstenen.

Een element dat nog veel aandacht dient te krijgen is de efficiency van de MMIC's. Het zendvermogen moet bij radarsystemen dikwijls hoger zijn dan in de meeste communicatietoepassingen wordt vereist en dat stelt hoge eisen aan de efficiency van de schakelingen. Immers de stroomopname en warmte afgifte moeten tot een minimum beperkt blijven. De thans nog noodzakelijke vloeistofkoeling moet het liefst verdwijnen.

Goed op de toepassing afgestemde bouwstenen die nu nog fl 40.000,- per stuk kosten zullen in de toekomst in prijs dalen tot minder dan fl 1000,-. In die situatie zijn zeer kosteneffectieve hoogwaardige radarsystemen te bouwen. Deze zullen de gevestigde techniek van een mechanisch beweegbare antenne en een centrale elektronenbuis voor de vermogensopwekking doen verdwijnen.

Ontwikkelingen op het gebied van de telecommunicatie zijn in principe bepalend voor de mogelijkheden, gelet op de enorme marktomvang daarvan. Een goed voorbeeld hiervan is te vinden in figuur 10. De reeds ontworpen onderdelen van de hier getoonde, voor communicatiedoeleinden bedoelde Ka-band T/R module zijn herbruikbaar voor bijvoorbeeld een miniatuur vliegtuig radarsysteem. Hiermee kan een kleine, compacte mm-golflengte SAR-MTI radar voor een Unmanned Air Vehicle (UAV) ontwikkeld worden. Dit zou goed aansluiten bij de behoeften van Defensie, waar de Landmacht over een kleine UAV, de Sperwer beschikt.

Fig. 10: Onderdelen van een Ka-band T/R module voor communicatiedoeleinden. Verscheidene functies zijn reeds ontworpen in MMIC technologie. Deze kunnen worden hergebruikt voor radartoepassingen.

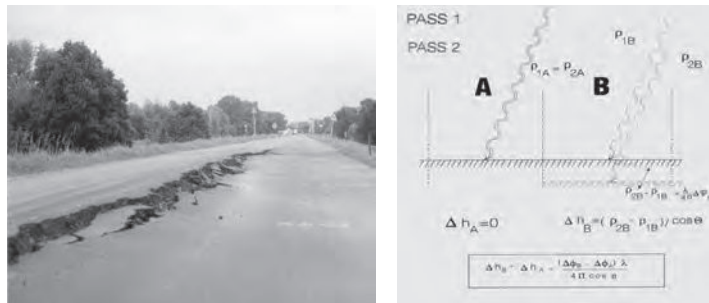
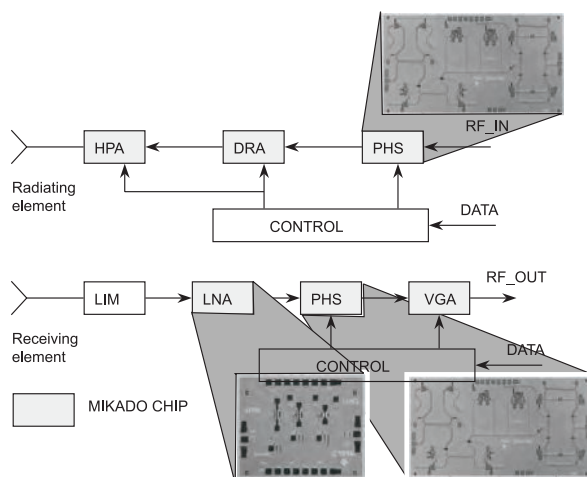


Fig. 11: Dijkafschuiving, hier getoond in 1997 bij Heukelum, kan nauwkeurig in omvang bepaald worden, indien de daarvoor geschikte multipass interferometrie methode verder wordt ontwikkeld.

Een derde element dat zeker niet onvermeld mag blijven in een visie op het onderzoekprogramma voor de toekomst is de toepassingskant van het vakgebied. Polarimetrie en interferometrie zijn reeds uitgebreid aan de orde gekomen en daarbij is duidelijk gemaakt dat voor polarimetrie nieuwe impulsen voor modelvorming en signaalbewerking ten behoeve van de aanpak van het inverse probleem van belang zijn. In het geval van interferometrie is nog zeer veel werk vereist om tot goed gedefinieerde resultaten te komen. De opnamemogelijkheden met twee antennes en multipass waarneming zijn talrijk en behoeven verdere exploratie om tot de gewenste producten te komen op het gebied van bodemdaling en detectie van veranderingen. De reeds bestaande samenwerking tussen TNO en DEOS (Delft institute for Earth-Oriented Space research) mag hier niet onvermeld blijven. Modelvorming rondom extreem hoge resolutie afbeeldingen van objecten (bedoeld wordt resoluties van decimeters of centimeters) is noodzakelijk om tot betere classificatie en identificatiemogelijkheden met radar te komen. Dit is in tegenstelling tot detectie een gebied waar radar nog niet goed scoort.

Een gek kan meer vragen stellen dan tien wijzen kunnen beantwoorden. En hoewel de gebruiker niet gek is en dikwijls eenvoudige vragen stelt, kan de beantwoording daarvan toch zeer complex zijn. Een radarsysteem, hoe goed ook, heeft slechts een beperkt aantal parameters die het kan meten en om daarmee allerlei vragen te kunnen beantwoorden blijft een moeilijke zaak. Dikwijls dienen daarom extra metingen te hulp geroepen worden, bijvoorbeeld in een ander frequentiegebied, of onder een andere invalshoek, op een ander tijdstip of met een andere antenneconfiguratie. Om deze reden is het van belang om voor het onderzoek over een flexibel configureerbaar, modern radarsysteem te beschikken, dat modulair van opbouw is. Voor de

leerstoel en voor het SAR onderzoek in Nederland dient de realisatie van een radartestbed daarom hoge prioriteit te krijgen.

Referenties

- Boerner, W. M. et al., 1992, *Direct and Inverse Methods in Radar Polarimetry*, NATO ASI Series, Kluwer Academic Services.
- Broek, A.C. van den, P. Hoogeboom and M. van Persie, 1998, "Multi-sensor remote sensing for military cartography", in *Proc. IGARSS*, Seattle, USA.
- Greidanus, H., C. Calkoen, I. Hennings, R. Romeiser, J. Vogelzang, G.J. Wensink, 1997, "Intercomparison and validation of bathymetry radar imaging models", in *Proc. IGARSS '97*, 3-8 August 1997, Singapore, Vol. III, p. 1320-1322.
- Groot, J.S., 1991, *Introduction to Radar Polarimetry*, TNO, FEL-91-B122.
- Hoogeboom, P., D. van Halsema, E. Herpfer, F. Martin, P. Fournet, D. Perthuis, 2000, "SOSTAR-X, a high performance Radar Demonstrator for Airborne Ground Surveillance", in *Proc. EUSAR 2000*, 23-25 May 2000, Munich, Germany, in the press.
- Huynen, J.R., 1970, *Phenomenological Theory of Radar Targets*, Ph.D. Thesis Technical University Delft.
- Koomen, P.J., M.P.G. Otten, H. Pouwels, P. Snoeijen en B.C.B. Vermeulen, 1996, *PHARUS Executive Report*, BCRS 96-28, Delft.
- Krul, L., P. Hoogeboom, G.P. de Loor e.a., 1986, *Voorstudie Coherente Radar*, BCRS rapport 86-03, BCRS, Delft.
- Loor, G.P. de, 1981, "The observation of tidal patterns, currents and bathymetry with SLAR imagery over the sea", *IEEE J. Oceanic Engineering*, OE6, pp. 124-129.
- Melief, H.W., H. Greidanus, P. van Genderen, P. Hoogeboom, 2000: "Low grazing angle sea clutter modeled by ray tracing and physical optics", in *Proc. NATO-RTO-SET Symposium "Low grazing angle clutter: Its characterization, measurement and application"*, 25-27 April 2000, Laurel, MD, USA, in the press.
- Oliver, C. and S. Quegan, 1998, *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, Artech House.
- Otten, M.P.G., 1998, "Review of SAR processing techniques", in *Proc. 28th European Microwave Conference*, Oct. 1998, Amsterdam, p. 43-50.
- Rijckenberg, G.J., A.J.E. Smith, A.C. van den Broek, H. Greidanus, R.J. Dekker, J. Kogels, M.P.G. Otten, H. Landa, G.H.F.M. Hesselmanns, O. Pietersen, H.W.G. Booltink, D.H. Hoekman, M.A.M. Vissers, 1998, *The PHARUS familiarization programme*, NRSP report 98-18, ISBN 90 5411 258 1
- Ulaby, F.T., R.K. Moore and A.K. Fung, 1986, *Microwave Remote Sensing Active and Passive*, Volume I – III, Addison-Wesley Publishing Company.

CV

Peter Hoogeboom has been working in radar and Earth Observation for over 20 years at TNO Physics and Electronics Laboratory in The Hague, The Netherlands. He and his colleagues developed systems, algorithms and applications for both civil and military needs. He headed TNO-FEL's research groups on Remote Sensing and on Radar concepts and Signal processing. He managed among other projects the PHARUS experimental polarimetric phased array Synthetic Aperture Radar that was developed and extensively tested in The Netherlands. It was the first SAR to combine phased array technology with polarimetric capability. He is a part time professor in Radar Earth Observation at the Delft University of Technology. He is a member of the international SOSTAR management team.



Radars en schaduwwerking veroorzaakt door grote windturbines

Lucas J. van Ewijk
TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
Postbus 96864 2509 JG 's-Gravenhage
e-mail: vanewijk@fel.tno.nl



Inleiding

Het toenemend maatschappelijk milieubewustzijn van de afgelopen decennia heeft geleid tot een toenemende vraag naar milieuvriendelijke energiebronnen. Met name de aanwending van windenergie – een in het windrijke Nederland een voor de hand liggende keuze – heeft een enorme vlucht genomen. Op vele locaties worden windturbines geplaatst die per turbine 500 kW tot 700 kW elektrische energie opwekken. Deze turbines worden op hoge, conische masten geplaatst, een mashoogte van 60 m is een typische waarde.

Windrijke gebieden worden in het algemeen gevonden op grote open vlakten en langs de kust. Vooral deze laatste locatie is in Nederland ruim voorhanden. Als een windrijk gebied is voorbestemd voor het opwekken van windenergie worden de windturbines meestal in groepen geplaatst. Een windturbinepark bevat tussen de 4 en 20 windturbines.

Hoewel een windturbine er imposant uitziet voor een menselijke waarnemer die aan de voet van de mast staat, is deze zelfde windturbine slechts een



fragiel en klein voorwerp voor een waarnemer die er op niet al te grote hoogte overheen vliegt. Een radar neemt echter niet op een dergelijke subjectieve wijze waar. Voor een op aarde geplaatste radar heeft een windturbine altijd dezelfde invloed.

Een deel van de door een radar uitgestraalde energie kan door de windturbine(mast) worden tegengehouden, waardoor er een schaduw achter de windturbine ontstaat. De plaatsing van parken van windturbines

in de nabijheid van een radar kan daarom een negatieve invloed hebben op de werking van de radar.

Buiten deze schaduwwerking heeft de mast van de windturbine nog meer invloed op de werking van een radar, zoals het veroorzaken van schijndoelen, maar deze beïnvloeding kan in de regel door het radarsysteem zelf worden ondervangen.

Om de invloed van windturbines op een radar te kwantificeren, liefst vóór plaatsing van de windturbines, zijn rekenmodellen ontwikkeld die als resultaat de reductie in afstands bereik van de radar geven ten gevolge van de schaduwwerking.

Het onderzoek dat heeft geleid tot de nu bestaande rekenmodellen is in drie stappen uitgevoerd:

- Globale methode:
De berekening van de reductie in afstandsbereik is verricht aan de hand van een equivalente geleidende cilinder als obstakel;
- Nauwkeurige methode:
De berekening van de reductie in afstandsbereik is verricht aan de hand van een obstakel met het silhouet van een windturbine;
- Schaalmodelmetingen:
Metingen aan een schaalmodel (zowel in afmetingen als frequentie) zijn verricht in een elektromagnetisch afgeschermd (dode) ruimte of anechoïsche kamer om de schaduwwerking van een metalen cilinder te bepalen onder gecontroleerde omstandigheden;
- Veldmetingen:
Om de rekenmodellen te toetsen zijn metingen verricht met een bestaande radar aan een reeds gebouwd windturbinepark.

Met de laatste drie stappen is aangetoond dat de eerste methode voldoende nauwkeurig is om de reductie in afstandsbereik van een radar, ten gevolge van het plaatsen van een windturbine, te kunnen analyseren. In deze eerste methode wordt de invloed van gondel en wieken verwaarloosd. Deze aanname blijkt gerechtvaardigd te zijn. Slechts wanneer metalen in plaats van de tot nu toe gebruikelijke kunststof wieken worden toegepast zal het model sterk gaan afwijken van de werkelijkheid.

Schaduwwerking, zichtbaar licht

Een elektromagnetisch veld kan door een obstakel worden tegengehouden. De meest eenvoudige vorm hiervan is een ieder wel bekend, dat is namelijk de schaduw die ontstaat als zichtbaar licht wordt tegengehouden door een niet-transparant object. In het dagelijkse leven verbaast niemand zich hierover.

Als met een zaklantaarn op een object wordt geschoten kunnen we zien dat achter dat object minder licht invalt dan in de situatie waarin het object niet is geplaatst, zie figuur 1. (We beschouwen hierbij, gemakshalve, de zaklantaarn als een puntbron). De schaduw is dus aanwezig achter het obstakel, gezien vanuit de lichtbron. Wat ook iedereen weet is dat de schaduw niet oneindig diep is, hetgeen inhoudt dat er altijd wel wat licht

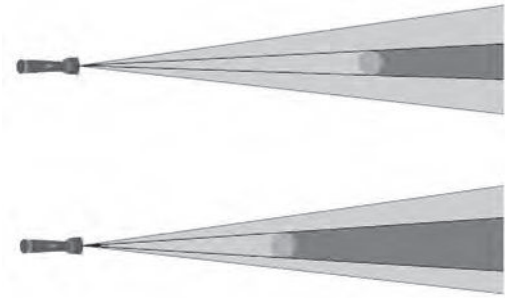


Fig. 1: Het optreden van schaduw achter een object

aanwezig is achter het object. Dit heeft meerdere oorzaken, de belangrijkste hiervan is dat er vrijwel altijd meer dan één lichtbron aanwezig is in het dagelijkse leven. De breedte van de schaduw is ook afhankelijk van de afstand tussen lichtbron en obstakel, zoals ook in de figuur is te zien.

Schaduwwerking, radarstraling

In de vorige paragraaf is de schaduwwerking voor licht besproken. Radarstraling en licht zijn beide elektromagnetisch van aard, alleen de golflengte is zeer verschillend. Alvorens hier verder op in te gaan is het noodzakelijk in het kort weer te geven hoe een radar objecten, ook wel doelen genoemd, kan detecteren.

Om een object, zoals een vliegtuig, schip of een gebouw, te kunnen waarnemen zendt een radar elektromagnetische energie uit, gebundeld in een nauwkeurig bepaalde richting. In het vervolg gaan we er van uit dat we te maken hebben met een radar welke vliegtuigen detecteert. Als de elektromagnetische straling invalt op het vliegtuig wordt een deel van de invallende straling gereflecteerd. Een deel van deze gereflecteerde straling kan dan ontvangen worden door de radar waardoor het betreffende vliegtuig kan worden gedetecteerd. Deze detectie vindt plaats als de ontvangen energie boven een ingesteld drempelniveau komt. De sterkte van de ontvangen weerkaatste signalen, de echo's, is van cruciaal belang omdat deze in competitie is met een onvermijdelijke achtergrondruis. Wordt de echo te zwak, dan is die niet meer te onderscheiden van de ruis.

Afstand en richting van het vliegtuig worden afgeleid uit respectievelijk looptijd van het heen en weergaande signaal en de stand van de antenne op het moment van de uitzending. Om een groot gebied af te zoeken op de aanwezigheid van vliegtuigen is een radar meestal uitgerust met een ronddraaiende antenne die de bundel in elke gewenste richting kan sturen.

We keren nu terug naar het probleem van de vliegtuigdetectie waarbij zich een obstakel (windturbine) tussen radar en vliegtuig bevindt. Als we de vergelijking met (zichtbaar) licht weer ter hand nemen dan is het ontstaan van een schaduw ten gevolge van een obstakel tussen de radar en het te detecteren doel niet moeilijk in te zien. Net als in het geval van de zaklantaarn zal er achter het obstakel minder energie zijn dan in de ongestoorde situatie. Hiermee houdt echter de vergelijking bijna op. Hoewel, fysisch gezien, hetzelfde effect optreedt als in de situatie van het zichtbaar licht, dienen we goed rekening te houden met de verhoudingen van obstakelafmetingen en golflengten. We zullen dit trachten te verduidelijken aan de hand van een rekenvoorbeeld:

De golflengte van zichtbaar licht ligt tussen 400 nm en 700 nm. De golflengte van een typische radar voor vliegtuigdetectie ligt tussen de 3 cm en 10 cm. Een typische windturbine heeft een conische mast van 60 m hoog, aan de voet een diameter van 3 m en aan de top een diameter van 1,8 m. Als we de gondel en de wieken achterwege laten en dit obstakel willen schalen naar het geval van zichtbaar licht komen we uit op een lengte van 0,3 mm en een diameter tussen 9 μm en 15 μm . Het is moeilijk voor te stellen dat een dergelijk obstakel nog een schaduw oplevert. Echter, de breedte van de bundel van de invallende radarstraling is ook beperkt, deze bedraagt enkele tientallen meters (stel voor de vergelijking een breedte van 100 m). Terug naar de schaal van licht hebben we het dan over een lichtbundel van 0,5 mm breed. Het aanstralen van een object als een windturbine met radar of met licht heeft dus nogal wat consequenties.

Bovenstaande vergelijking naar de schaal van lichtgolven draagt niet bij aan de verduidelijking van de berekening van het schaduwprobleem, maar geeft wel de verhoudingen weer waar het hierbij om gaat.

In het vervolg wordt nader ingegaan op de wijze waarop deze beïnvloeding kan worden gekwantificeerd.

Als zich tussen de radar en het waar te nemen vliegtuig een obstakel bevindt, bijvoorbeeld een windturbine, dan kan ter plaatste van het vliegtuig aangenomen worden dat er twee elektrische velden bestaan. Behalve

het veld dat heerst in afwezigheid van het obstakel zal er een tweede bestaan dat in tegenfase is met het eerste veld.

De sterkte van dit secundaire veld is, in vermogen uitgedrukt, evenredig met het kwadraat van het onderscheppend oppervlak van het obstakel en is maximaal gelijk aan het oorspronkelijke veld. Het totale, resulterende veld is de coherente optelling van deze twee velden en kan zodoende aanzienlijk zwakker zijn dan het oorspronkelijke veld. Deze wijze van beschrijving volgt uit de EM rekenwijze en is in feite de beschrijving van het ontstaan van schaduw.

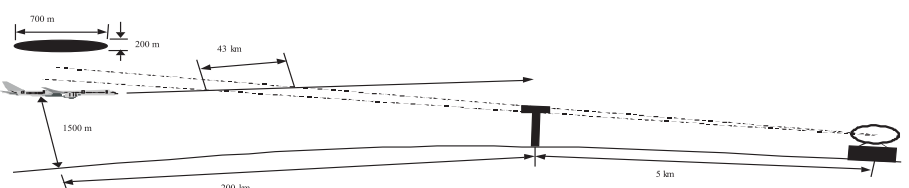
Het globale effect is dat er achter een obstakel een schaduwkegel ontstaat waarin het vermogen van de radar verzwakt doordringt. Het vliegtuig wordt daardoor met minder energie aangestraald door de radar. De reflectie van het vliegtuig zal op de terugweg naar de radarantenne opnieuw een verzwakking ondergaan, volgens dezelfde redenering als geldt voor het heengaande signaal: Het obstakel veroorzaakt namelijk ook een schaduwkegel voor energie die oorspronkelijk ongehinderd het traject van doel naar antenne kon afleggen.

Het effect van de verzwakking op de heen- en terugweg over het pad tussen radar en vliegtuig kan vertaald worden in een reductie van het detectiebereik van de radar. Een doel dat tot 200 km detecteerbaar is in onbelemmerde omstandigheden, is in de schaduwkegel nog maar detecteerbaar tot bijvoorbeeld 150 km; een reductie van 25 %.

Gelukkig is de schaduwkegel in het algemeen in omvang beperkt waardoor de kans dat een willekeurig vliegtuig zich erin zal bevinden klein is. Een schaduwkegel van een 50 m hoge metalen cilinder geplaatst op 5 km van een representatieve radar, heeft op 200 km vanaf de radar een ellipsvormige doorsnede van 700 m bij 200 m (zie figuur 2).

Toch is het operationele effect van windturbines een punt van grote zorg en wel om de volgende redenen:

Fig. 2: Schematische weergave van de schaduwkegel voor een radar die een vliegtuig aanstraalt.



Niet alle radarvolgsystemen zijn bestand tegen het verlies van een doel gedurende enkele ogenblikken en gelet op het drukke vliegverkeer is een goede werking van volgsystemen van groot belang.

Bij het radiaal vliegen naar een radar, dat wil zeggen dat de vliegrichting naar de radar toe is in plaats van er langs, zal een vliegtuig dat een route heeft langs de lijn radar-windturbine gedurende langere tijd in de schaduwkegel belanden, aangezien de as van de schaduwkegel slechts een geringe elevatie heeft;

Bij een groot aantal windturbines, zoals in een windturbinepark, zijn er ook veel schaduwkegels.

De globale berekening van het schaduw effect veroorzaakt door een equivalente geleidende cilinder is in de appendix van dit artikel gegeven.

Enkele resultaten

In deze paragraaf worden enkele voorbeelden getoond die berekend zijn met gebruikmaking van typische waarden voor alle parameters. We veronderstellen tevens dat de windturbines alleen bestaan uit een mast. De gondel en de wieken worden hierbij dus buiten beschouwing gelaten. Als rekenvoorbeeld is gekozen voor een radar die werkt op 3 GHz of 10 GHz, overeenkomend met een golflengte van respectievelijk 10 cm en 3 cm, en met azimut- en elevatiebundelbreedtes van, respectievelijk $\text{az} = 0,5^\circ$ en $\text{el} = 1,5^\circ$. In het eerste voorbeeld plaatsen we een conische mast van 60 m hoog, met een diameter van 3 m aan de voet en 1,8 m aan de top op 3 km van de radar. Het resul-

taat van deze berekening is getoond in figuur 3 voor de beide frequenties.

In figuur 4 is een zelfde berekening gedaan, nu echter met de windturbine op 2 km afstand van de radar.

In figuur 3 en 4 staat op de horizontale as de afstand tussen radar en doel weergegeven en op de verticale as wat de procentuele afstandsreductie is voor dat doel. Uit deze resultaten zijn al direct een aantal conclusies duidelijk:

- Naarmate de afstand tussen de radar en het obstakel kleiner wordt zal de reductie in detectieafstand groter worden;
- Als de golflengte van de radarstraling kleiner wordt zal de reductie in detectieafstand groter worden.

Beide conclusies zijn ook uit fysische overwegingen te verklaren. Als een windturbine dicht bij de radar geplaatst wordt zal het onderschepte deel van de bundel groter zijn, waardoor ook een grotere reductie in detectieafstand wordt veroorzaakt.

Voor een kleinere golflengte is de windturbine groter, in termen van de golflengte, hetgeen ook resulteert in een grotere reductie. In deze beide conclusies helpt overigens de vergelijking met een lichtbron weer.

Als derde voorbeeld wordt gekeken hoe de reductie in detectieafstand verandert als functie van de hoek β welke de lijn radar-vliegtuig maakt

Fig. 3: Reductie in het bereik voor een doel op de as van de schaduwkegel van een windturbine als functie van de afstand tussen radar en doel (zie tekst voor parameters).

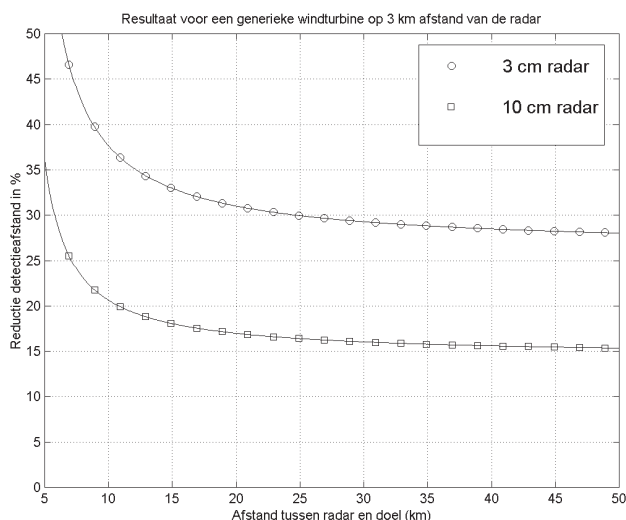
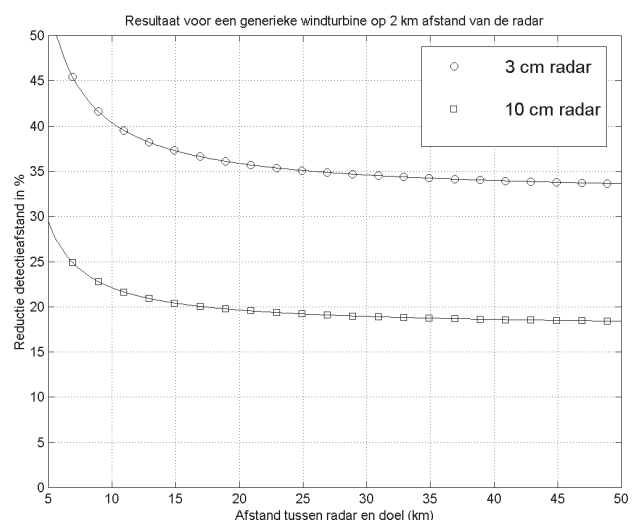


Fig. 4: Een zelfde resultaat als in figuur 3, nu echter met de windturbine op 2 km afstand van de radar.



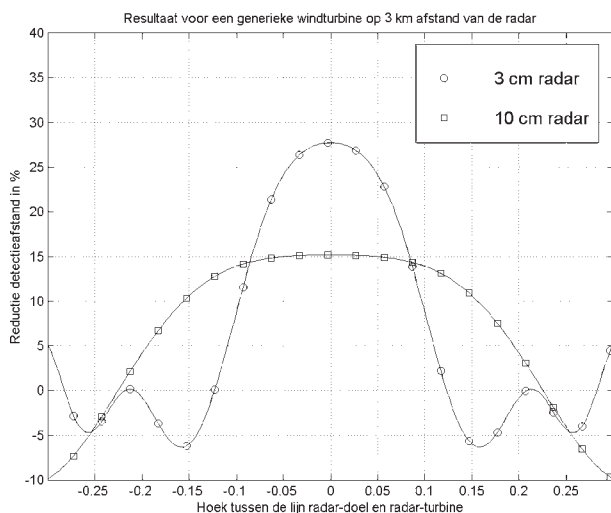


Fig. 5: Reductie in het bereik voor een doel op 100 km afstand van de radar als functie van de afstand tot de schaduwkegel in graden (zie tekst voor parameters).

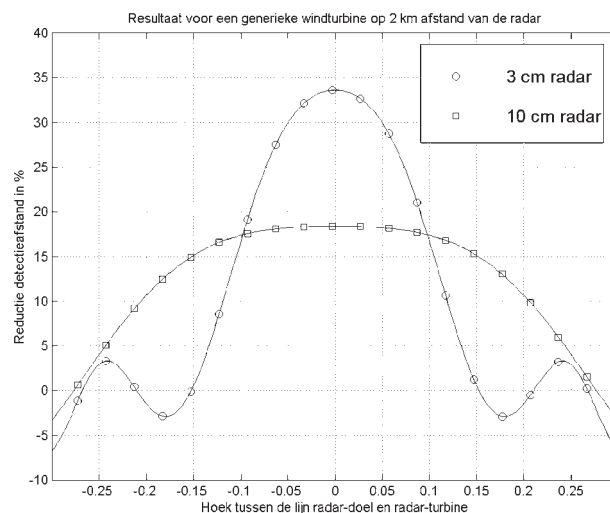


Fig. 6: Een zelfde resultaat als in figuur 5, nu echter met de windturbine op 2 km afstand van de radar.

met de lijn radar-obstakel. Het resultaat van een dergelijke berekening wordt getoond in figuur 5.

Figuur 5 laat zien hoe het verlies in detectieafstand afneemt als een doel dat zich bevindt op 100 km van de radar, andere posities inneemt. De situatie $\beta=0$ stemt overeen met een positie op de as van de schaduwkegel (het verlengde van de lijn die loopt van het hart van de radarantenne naar de turbinekop). De situatie $\beta=0,3$ correspondeert met een richting met dezelfde elevatie als de as en een zijdelingse afwijking van $0,3^\circ$, wat op 100 km overeenkomt met een verplaatsing over ongeveer 520 m. In figuur 6 is nogmaals een zelfde soort berekening getoond, nu echter met de turbine op 2 km afstand van de radar.

Ook uit de resultaten van figuur 5 en figuur 6 zijn een aantal conclusies te trekken:

- Voor bepaalde hoeken treedt in plaats van een reductie een vermeerdering in detectieafstand op;
- Voor een kleinere golflengte fluctueert de reductie in detectieafstand sneller.

Nadere beschouwingen

In het voorgaande zijn enkele voorbeelden getoond van de berekening van de reductie in detectieafstand van een radar in de schaduw van een windturbine. Hoewel in deze voorbeelden de windturbine slechts is voorgesteld als een conische mast zonder gondel en wieken doet dit niets af aan het optreden van dit verschijnsel. In het door

TNO-FEL uitgevoerde onderzoek naar de schaduwwerking door windturbines wordt de gondel tevens in de analyses meegenomen. De wieken blijven echter buiten beschouwing. Uit metingen en berekeningen is gebleken dat deze wieken volledig transparant verondersteld mogen worden voor de tot nu toe geanalyseerde radarsystemen. Deze aanname blijft gelden mits de wieken van kunststof zijn. Metalen wieken zullen naar verwachting de hier getoonde schaduwwerking zeer nadelig beïnvloeden.

Voor de resultaten die hier zijn gegeven is gebruik gemaakt van de globale rekenmethode. In het voorafgaande onderzoek is deze methode vergeleken met een meer nauwkeurige rekenmethode en tevens met metingen in de anechoïsche ruimte en met veldmetingen. Hieruit volgde dat voor de situaties die hier gebruikt zijn de globale rekenmethode voldoende nauwkeurige resultaten oplevert.

Conclusies

Uit onderzoek naar de schaduwwerking door windturbines, dat door TNO-FEL is uitgevoerd, is gebleken dat grote obstakels, zoals windturbines hinder kunnen veroorzaken voor radars omdat zij een schaduw opwekken, waardoor een radar doelen minder goed kan detecteren. Algemene termen voor de beïnvloeding zijn niet te geven omdat te veel parameters een rol spelen in dit proces.

Bij het plaatsen van windturbines in de nabijheid van een radar dienen de volgende overwegingen in beschouwing te worden genomen:

1. De nadelige invloed van een windturbine neemt af bij het vergroten van de afstand tot de radar.
2. De nadelige invloed van een windturbine neemt af met de oppervlakte van het silhouet, dus met de hoogte en breedte van de draagkolom en met de afmetingen van de generatorgondel.

Appendix: Globale berekening van het schaduweffect

Als de afstand tussen radar en obstakel groot genoeg is (in de orde van enkele kilometers), kan het verstrooide veld op de as radar-obstakel aan de schaduwkant van het obstakel en op voldoende afstand van het obstakel worden berekend uit de voorwaartse radardoorsnede (Radar Cross Section, RCS) van het obstakel, σ_π . Dit verstrooide veld is in tegenfase met het oorspronkelijke veld.

Voor de vermogensdichtheid in het verstrooide veld en in het oorspronkelijke veld vinden we, respectievelijk:

$$P_I = \frac{PG \sigma_\pi}{(4\pi)^2 d^2 r^2 L_{ot}} \quad (1)$$

en

$$P_D = \frac{PG}{4\pi R^2 L_{ot}} \quad (2)$$

met

- P(W) vermogen van de uitgezonden puls
- G antenne vermogensversterking in de hoofddrus
- σ_π (m²) voorwaartse RCS van de cilinder
- d(m) afstand radar – obstakel
- r(m) afstand punt in schaduwgebied tot obstakel
- R(m) afstand punt in schaduwgebied tot radar
- L_o totaal van de verliezen in zender, golfpijpen en koppelingen, antenne en ontvanger, te splitsen in een zend- en een ontvangdeel, respectievelijk L_{ot} en L_{or}.

In het hart van de schaduwkegel zijn de velden behorend bij P_I en P_D in tegenfase. De resulterende vermogensdichtheid zal dus zijn:

$$P_R = (\sqrt{P_D} - \sqrt{P_I})^2 = P_D \left[1 - \sqrt{\frac{P_I}{P_D}} \right]^2 \quad (3)$$

De verhouding tussen de vermogensdichtheden met en zonder obstakel op een afstand R van de radar in het centrum van de schaduwkegel wordt dus:

$$\frac{P_R}{P_D} = \left[1 - \sqrt{\frac{\sigma_\pi}{4\pi} \frac{R}{d(R-d)}} \right]^2 \quad (4)$$

In deze uitdrukking is r vervangen door $(R-d)$ omdat er van uit wordt gegaan dat antenne, obstakel en het beschouwde punt zich op één lijn bevinden.

Als er zich op de afstand R een reflecterend object bevindt zal een analoge redenering gelden voor het gereflecteerde vermogen dat in de radarontvanger beschikbaar komt: Na reflectie treedt op de terugweg dezelfde vermogensreductie dus nogmaals op en de verhouding tussen de door de radar ontvangen echovermogens met en zonder obstakel wordt:

$$\frac{P_R}{P_D} = \left[1 - \sqrt{\frac{\sigma_\pi}{4\pi} \frac{R}{d(R-d)}} \right]^4 \quad (5)$$

Vertaald naar een reductie in afstandsbereik betekent dit een verlies van :

$$red = 100 \frac{R}{d(R-d)} \left[\frac{\sigma_\pi}{4\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

op de as van de schaduwkegel, uitgedrukt in procenten.

De voorwaartse RCS van de cilinder kan worden geschreven als:

$$\sigma_\pi = G(\delta, \mu) A_0 = \frac{4\pi A_0^2}{\lambda^2} \text{sinc} \left[\frac{\pi l_e \sin(\delta)}{\lambda} \right] \text{sinc} \left[\frac{2\pi a \sin(\mu)}{\lambda} \right] \quad (7)$$

waarin l_e de effectieve lengte en a de straal van de cilinder met lengte l die als model dient voor het obstakel, de windturbine, en δ en μ de hoeken die respectievelijk de verticale en horizontale afwijkingen aangeven tussen de as van de schaduwkegel en de lijn uit het centrum van de cilinder naar het te detecteren object. Dit is de eerste stap om ook de verzwakking in de schaduwkegel, maar buiten de as ervan, uit te rekenen.

De effectieve lengte van de cilinder hangt af van de belichting door het elevatiepatroon van de radarantenne. Voor een antenne met een bundelbreedte el , geplaatst op een hoogte h , en een bundelas die een opwaartse hoek van ε rad maakt met het horizontale vlak wordt deze benaderd met:

$$l_e = l + d \frac{el}{2} - \left[\varepsilon d + \frac{d^2}{\frac{4}{3}D} + h \right] \quad (8)$$

Hierin is D de diameter van de aarde die met $4/3$ wordt vermenigvuldigd om rekening te houden met een standaardatmosfeer.

Deze benadering gaat ervan uit dat wordt voldaan aan de verre veldconditie, zodat het faseverloop over l_e beperkt is. Als $(d\lambda)^{1/2} < l_e$ dan gaat dit niet meer op en wordt l_e vervangen door $(d\lambda)^{1/2}$.

De tweede stap om de afstandsreductie naast de kegelas te bepalen is het in rekening brengen van het verschil in fase looptijd tussen het rechtstreekse

pad en het pad via de cilinder, en van het antennepatroon van de radar. Het faseverschil bepaalt immers in welke mate er sprake is van destructieve dan wel constructieve interferentie van de twee velden en ook het verschil in belichting door de antenne van cilinder en object in de schaduwkegel is daarop van invloed. Het antennepatroon wordt daartoe benaderd met:

$$G = G_{\max} \operatorname{sinc} \left[1 - 2 \left[\frac{\text{azimut}}{az} \right] \right] \operatorname{sinc} \left[1 - 2 \left[\frac{\text{elevatie}}{el} \right] \right] \quad (9)$$

waarin az en el de bundelbreedtes in azimut en elevatie voortellen.

CV

Lucas J. van Ewijk is in 1960 geboren te Amsterdam. Na het doorlopen van Gymnasium B heeft hij Technische Natuurkunde gestudeerd aan de toenmalige Technische Hogeschool Delft. De afstudeerrichting was Technische Optica en het afstudeerwerk had betrekking op het berekenen van de voortplanting van licht door geïntegreerde optische structuren. Na het afstuderen en het vervullen van de diensttijd bij de Koninklijke Marine is hij in dienst getreden bij het Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO te Den Haag, waar hij in de groep "Radar Technologie" werkzaam is. De kern van zijn werkzaamheden heeft te maken met het berekenen van de verstrooiing van elektromagnetische velden aan complexe structuren. De praktische toepassing hiervan is het berekenen van de reflectie van radargolven aan o.a. schepen en vliegtuigen. Zijn professionele interesses gaan uit naar methoden van elektromagnetische berekeningen, met name in vergelijking met metingen.



Stelling

"Niet alle kinderen van de melkboer zijn buitenechtelijk"

proefschrift van Mw. A. A. Bellekom, ORIGINS OF OFFSET IN CONVENTIONAL AND SPINNING-CURRENT HALL PLATES, Delft, 5 oktober 1998

Ledenmutaties NERG



Nieuwe Leden:

ir. R.J. Bolt
Weissenbruchstraat 68
2596 GK 'S-GRAVENHAGE

ir. J.B. Buchner
Javalaan 23
1217 HD HILVERSUM

ir. L.J. van Ewijk
Westvest 159
3111 BT SCHIEDAM

E. van Maanen
Witte de Withlaan 29
2253 XS VOORSCHOTEN

ing. J.T.W. Peters
Mahatma Gandhieweg 89
6836 LK ARNHEM

dr. D. Reefman
Frans Halsstraat 40
5684 AN BEST

ing. R.A.M.J. Snijders
Bernard Zweerslaan 8
5654 GD EINDHOVEN

dr. ir. F.E. van Vliet
Timorstraat 21
2103 TT HEEMSTEDEN

ir. D.S. Winklaar
van Groenewegenstraat 22
2614 BG DELFT

Nieuwe adressen van leden:

prof. ir. L. Krul
Saffierhorst 73
2592 GK 'S-GRAVENHAGE

ing. A. Kuhn
Fijnjekade 118
2521 DS 'S-GRAVENHAGE

dr. ir. R.J. Niemeijer
Wingerd 80
2633 JB NOOTDORP

M.L. Nienhuis
Rodezand 31
3421 BA OUDEWATER

ir. G.A. van der Spek
Patrijzenlaan 20
3951 AG MAARN

X Integrated Circuits BV
Boezemsingel 10
3034 EA ROTTERDAM



Kleur-bekennen

Een pater uit Veere
wou Ohm celebreren
nadat bij de preek
het lichtnet bezweek
ging-ie weer snel bekeren

WALTER SCHONGS
WERKGROEP GESCHIEDENIS DER ELEKTROTECHNIEK TUD

Aankondigingen & Oproepen



Deze vooraankondigingen hebben het doel u vroegtijdig te informeren over de komende themabijeenkomsten. Deze geplande bijeenkomsten zijn vaak nog niet definitief en kunnen zelfs soms vervallen of van onderwerp veranderen. Wij hopen dat u door deze wijze van sneller informeren meer mogelijkheden heeft de themabijeenkomsten bij te wonen.

Mocht u suggesties of concretere voorstellen aangaande de themabijeenkomsten willen doen dan kunt u altijd contact opnemen met

dr. ir. Tjalling Tjalkens
programmamanager NERG
Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Elektrotechniek, kamer EH 11.27
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven
tel: 040 247 36 90
fax: 040 244 83 75
e-mail: t.j.tjalkens@tue.nl

Bijeenkomst 2000/05: De nieuwe frequentietoewijzingen

Datum: September 2000
Locatie: Midden Nederland
Status: In ontwikkeling

Gedurende de laatste WRC (World Radiocommunication

Conference) zijn de behoeften aan en mogelijkheden voor nieuwe radiofrequenties besproken, zoals die actueel zullen worden over enkele jaren. We benaderen enkele Nederlandse deelnemers aan deze conferentie om de ontwikkelingen toe te komen lichten.

Bijeenkomst 2000/06: Uitreiking Erelidmaatschap aan prof. dr. ir. Kees Schouhamer Immink

Datum: Oktober 2000
Locatie: Onbekend
Status: Voorlopig voorstel

Rond het werk van prof. Schouhamer Immink zullen enkele sprekers een beeld schetsen van de codes die o.a. toegepast zijn in de CD (Compact Disc) en de DVD (Digital Versatile Dis).

Bijeenkomst 2000/07: Bijeenkomst van de Wetenschappelijke Attache's

Datum: November 2000
Locatie: Onbekend
Status: Voorlopig voorstel

De wetenschappelijke attache is aan een Nederlandse ambassade verbonden en volgt de wetenschappelijke ontwikkelingen in het betreffende land. In

november komen deze attache's in Nederland bijeen voor overleg. Wij proberen u via enkele sprekers een overzicht van deze ontwikkelingen te geven.

Bijeenkomst 2000/08: Bezoek aan een meetinstituut

Datum: December 2000
Locatie: Onbekend
Status: Voorlopig voorstel

Nog geen gegevens bekend.

Bijeenkomst 2001/01: Cryptologie

Datum: Begin 2001
Locatie: Onbekend
Status: Schets

Wij proberen een beeld te geven van de ontwikkeling van de gegevensbeveiliging bij banken, op het internet e.d. Ook de invloed van de "politiek" hierop zal de aandacht krijgen, zoals de beperkingen van de toepassing en/of export van krachtige cryptografische systemen, de eis dat een overheid decodeersleutels kan opeisen enz.



Hogeschool van Utrecht / PT Opleidingen

PT Opleidingen verzorgt al jaren post HBO-cursussen voor de Faculteit Natuur en Techniek van de Hogeschool van Utrecht. Op het vakgebied Telecommunicatie wordt de opleidingen-cyclus "TOEGEPASTE TELECOMMUNICATIE" gegeven. De ontwikkelingen op het vakgebied Telecommunicatie verlopen stormachtig. Daarom wordt de telecommunicatieopleiding voortdurend geëvalueerd en aangepast aan de laatste ontwikkelingen. De opleiding "TOEGEPASTE TELECOMMUNICATIE" 2000-2001 bestaat uit een cyclus van een viertal onderdelen.

1. Techniek in Telecommunicatie
2. Communicatie-architectuur modellen, Standaards en Protocollen.
3. Netwerkbeheer
4. Prestatieanalyse

De cyclus is bestemd voor:

- Ontwikkelaars van draadgebonden- en draadloze communicatie systemen
- Technisch commerciële medewerkers betrokken bij de specificatie van telecommunicatie projecten
- Communicatiespecialisten betrokken bij de realisatie van telecommunicatieprojecten.

De cyclus start op maandag 18 september 2000 met het deel Techniek in Telecommunicatie, De delen 2, 3 en 4 worden in het voorjaar 2000 gehouden.

Een beknopte omschrijving van de inhoud van de delen:

Techniek in Telecommunicatie: omvang ca. 58 uur, start 18 september 2000

- Transmissiemiddelen
- Schakelmiddelen
- Antennes en Propagatie
- Digitale signaalbewerking en Encryptie
- Zend- en ontvangsttechniek

Communicatie-architectuurmodellen, standaards en protocollen: omvang ca 50 uur, start 22 januari 2001.

- TCP/IP en OSI referentiemodel.
- Communicatie gerichte lagen: Datalink protocollen, adres-resolutie, netwerkprotocollen, routingsprincipes, end to end besturing.
- Applicatie gerichte lagen: Diensten, toepassingen, protocollen, berichtencodering, management.
- Mobiele systemen: Protocol-architectuur, GSM diensten, identiteiten, besturingsfuncties, DECT, ERMES en TETRA.

Netwerkbeheer: omvang ca. 30 uur, start 9 april 2001.

- Strategisch / tactisch beheer. Beheermodellen, beheerdiensten, beheerdomeinen, toepassings-specifieke aspecten.
- Operationeel beheer. Beheer randapparatuur, bekabelingbeheer, beheertools, frequentiebeheer, prestatiebeheer, calamiteitenplan.

Prestatieanalyse: omvang ca. 15 uur, start 31 januari 2001.

- Kansberekening, systeemmodellen.
- Analyse pakketgeschakelde en circuitgeschakelde systemen.
- Beschikbaar- en betrouwbaarheid.

Algemene informatie:

Cursusleiding ir. Maarten J. Veen. E-mail M.Veen@ptgroep.nl
Telefoon 030-238 88 88
Telefax 030-238 88 89.

De delen van de opleiding kunnen afzonderlijk worden gevolgd en geven na een met goed resultaat afgelegd tentamen recht op een certificaat. Behaalde certificaten en 100 met succes gevolgde lessen leiden tot een erkend Post HBO diploma.

Lesplaats: Zalencentrum HvU Tiberdreef 8, tegenover het NS station Utrecht-Overvecht.
Lestijden 16.00-21.15 uur

Informatie over aanmelding:

Secretariaat PTOpleidingen:
Telefoon 030-238 88 88
Telefax 030-238 88 89
E-mail: info@ptgroep.nl

Opleiden is vakwerk; docenten gezocht

De Hogeschool van Utrecht verzorgt bij de afdeling Informatie Communicatie en Industrieel Management (ICIM) van de Hogeschool van Utrecht onderwijs in uiteenlopende vormen op het gebied van de Informatica, Elektrotechniek en Technische Bedrijfskunde. Binnen deze disciplines is gekozen voor een aantal specifieke aandachtsgebieden, zoals onder andere, Telecommunicatie, Embedded Systems, ERP, Mediatechnologie en Information Engineering.

De opleidingen worden verzorgd in verschillende uitvoeringsvormen variërend van voltijd onderwijs, avond-onderwijs, duale leerweg (een combinatie van overdag studeren en werken) met zowel korter als langer lopende cursussen. Bovendien is er een uitgebreid programma van Post HBO cursussen zoals de cursus Toegepaste Telecommunicatie.

De disciplines waar de Hogeschool zich op richt zijn, conform de traditie volop in ontwikkeling.

Het is niet eenvoudig in de snelle wereld van de telecommunicatie om ingenieurs te interesseren voor een volledige functie als docent bij een Hogeschool.

Daarom zijn wij op zoek naar vakgenoten die naast of na hun functie in het bedrijfsleven het aantrekkelijk vinden om jonge mensen wegwijs te maken in de vakgebieden waar zij zo thuis in zijn. Bij het universitair onderwijs is het heel gebruikelijk om deeltijdhoogleraren in te schakelen bij het onderwijs. Ongetwijfeld is u de enorme behoefte van het bedrijfsleven aan ICT HBO ingenieurs bekend.

Graag voeren we een oriënterend gesprek met u! Stuur een e-mail, de jongeren verwachten wat van u!

De omvang en duur en uitvoering van uw inzet zal onderwerp van overleg zijn met de betrokken opleidingscoördinator. Er zijn diverse mogelijkheden! We hopen met uw medewerking sneller te kunnen reageren op ontwikkeling van het vak, de markt en de daarbij behorende opleidingsvraag. Het NERG draagt het onderwijs een warm hart toe en uw medewerking wordt zeer gewaardeerd. Heeft u hart voor de scholing van jonge mensen, neem dan contact op met ir. Maarten Veen van de Hogeschool van Utrecht, tel: 030-238 88 79 of E-mail:

m.veen@ptgroep.nl , hij zal graag met u spreken over de mogelijkheden.

Stelling

"Wat randvoorwaarden zijn voor een systeem, zijn beslissingen voor het leven"

proefschrift van B.G. Arsintescu,
CONSTRAINT MANAGEMENT AND TRANSFORMATIONS,
Delft, 30 november 1998

Conferenties en symposia



“Aspecten van precisie metingen”

De meetdag(en) wordt door de Stichting Centrum voor Duitse Verbindings- en aanverwante Technologieën 1920-1945 (Stg. C.D.V. & T. '20-'45) in samenwerking met de Studieverzameling van de Faculteit Informatietechnologie en Systemen van de TU Delft georganiseerd.

Voor deze bijzondere gelegenheid mogen wij gebruikmaken van de “grote zenderzaal” van het voormalige zendstation Radio Kootwijk. Dit monumentale gebouw is, normaliter, niet toegankelijk voor het publiek. Afgezien van onze expositie zullen er, voorzover het zich laat aanzien, nog enige historische zenders te bezichtigen zijn. Dit is echter ook de allerlaatste gelegenheid om de nog overgebleven historische installaties te kunnen bekijken, daar het bijna zeker is dat de meeste ervan enkele maanden later, wegens gebrek aan belangstelling van de Nederlandse instanties, gesloopt zullen moeten worden!

Zaterdag 25 november 2000

De open dag is, voor het publiek, gepland op zaterdag 25 november 2000. Echter, voor educatieve doeleinden kunnen er ook afspraken op werkdagen gemaakt worden gedurende een drietal weken.

De toegang is gratis

Wij verwachten echter van de bezoekers dat zij zich rustig en beschaafd zullen gedragen, daar wij te gast zijn in een bedrijfsgebouw.

Ter introductie

Onze doelstellingen zijn: om technologische en historische aspecten van precisie metingen op het gebied van zwakstroom en elektronica te tonen. Wij streven ernaar, indien mogelijk, om zaken ook te demonstreren. Het spreekt vanzelf dat daarbij ook de modernere meettechnieken niet verwaarloosd mogen worden. Het ligt in de bedoeling

zoveel mogelijk displays te tonen waarop heel duidelijk de basisprincipes van de technieken worden getoond.

- Het demonstreren hoe, tot in de zestiger jaren, het ijken van de “volt”, met behulp van zgn. westoncellen en bijbehorende compensatoren, gedaan werd.
- Een vrij uitgebreide verzameling van spiegelgalvanometers. Enkele spiegelgalvanometers zullen ook in combinatie met compensatoren gedemonstreerd worden.
- Een vrij uitgebreide selectie van elektrostatische voltmeters (20 V - 30 kV). Precisie draaispoelmeters waarvan enkele met 0,1 % nauwkeurigheid (Klasse 0,1)

Lichtvlek lusoscillografen

- Vier kanalen luchtvaartlusoscillograaf (S&H type LO 1, uit de dertiger jaren). Dit toestel kan als een analoge (optische) datarecorder beschouwd worden. General Electric (USA) tweestraals lichtvlekoscillograaf (een spanning- en een stroomlus, gebouwd rond 1926)

Op het gebied van kwartstechnologie

- Diverse zgn. “Leuchtquarze” (luminous quartz). Zo’n kwartsstaafje (longitudinaal triller) bevindt zich in een glazen omhulling welke gevuld is met een lage druk gasmengsel van Ne en He. Indien het kristal in resonantie gebracht wordt zal het gas op sommige plaatsen rond de glasstaaf geïoniseerd worden. Dit fenomeen wordt dan zichtbaar door een soort “aura” (krans) rondom het kristal. De bezoekers mogen zelf proberen om de betreffende resonantiefrequenties te bepalen.
- We laten zien hoe, door middel van de IEC norm 444/1-4 (1980-1988), de kristalparameters L_v , C_v , R_i en Q , volgens de zgn.

“vector-voltmeter methode”, bepaald kunnen worden. Met behulp van een smalbandwobbler laten wij ook de impedantie- en het faseverloop en, tevens, de invloed van C_0 op het verschil tussen f_s en f_p zien.

- Wij kunnen aantonen dat een kwartskristal dat in resonantie is ook daadwerkelijk mechanische bewegingen uitvoert. Voor dit doel heeft de vroegere “educatieve dienst” van het Dr. Neher Lab., in de vijftiger jaren, een ringkwartsgenerator gebouwd.

Op het gebied van hoge frequenties plannen wij de volgende zaken:

- Met behulp van een “time-domain-reflector meter” laten wij allerlei aanpassingsfouten in kabels en connectors zien, waarmee zelfs kleine impedantiesprongen in connectoren kunnen worden aangetoond.
- Het aantonen van grote meetfouten welke door misaanpassingen kunnen ontstaan.

- Het meten met behulp van “slotted lines” op (zeer) hoge frequenties.

Zeer speciale meettoestellen

- Een gepensioneerd arts heeft ons toegezegd om zijn Einthoven cardiograaf te komen demonstreren (Parijs 1926). Tevens wordt er nog een ander type Einthoven (Cambridge) snaargalvanometer getoond.
- Het ligt ook in de bedoeling om het meten m.b.v. rekstrookjes te tonen.
- Hoewel wij er nog niet zeker van zijn, proberen wij de beschikking te krijgen over een elektrolytische trog, waarmee het mogelijk is om het (ruimtelijke) verloop van veldpotentialen te tonen.



Kleur-code

KLEUR-CODE

Het aantal Ohm is polychroom
De regenboog vertelt hoe hoog
Maar ‘ongeveer’ blinkt evenzeer
Zo is de fout zilver of goud.

WALTER SCHONGS

WERKGROEP GESCHIEDENIS DER ELEKTROTECHNIEK TUD



Aankondiging PATO-cursussen

De stichting PATO organiseert een aantal cursussen die mogelijk interessant zijn voor NERG leden. Meer informatie over de hieronder vermelde cursussen leest u op: www.pato.nl

Internet Security

Ontwerpen, beoordelen, evalueren en implementeren van veilige internet-toepassingen

Data/plaats: 13-14-15 september 2000 in Enschede

Cursusleiding: dr. J.H. Hoepman (Universiteit Twente)

Digitale Video

Coderingstechnieken en toepassingen van visuele communicatie

Data/plaats: 25-26-27 september en 2-3 oktober 2000 in Delft

Cursusleiding: prof. dr. ir. J. Biemond (TU Delft)

Digitale Modulatie

Theorie en toepassing van digitale modulatie en demodulatie

Data/plaats: 2, 9, 16, 23 en 30 oktober 2000 in Eindhoven

Cursusleiding: ir. C.R. de Graaf (Philips Semiconductors)

N.B.: facultatieve instructiebijeenkomst basis-kennis op 25 september 2000 van 17.00 tot 20.00 uur.

Optische Communicatienetwerken

Technologie en gebruik van optische glasvezel in hedendaagse communicatienetwerken

Data/plaats: 18-19-20 oktober 2000 in Enschede

Cursusleiding: prof. dr. ir. van Etten (Universiteit Twente)

Beeldvorming met Grondradar

Data/plaats: 6-7 en 13-14 november 2000 in Delft

Cursusleiding: prof. dr. ir. J.T. Fokkema (TU Delft)

Digitale Signaalbewerking

Theorie en toepassingen van de digitale signaalbewerking

Data/plaats: 13-14, 20-21 en 27-28 november 2000 in Eindhoven

Cursusleiding: ing. A.C.P. van Meer (TU Eindhoven)

Elektro-Magnetische Compatibiliteit

Het voorkomen en oplossen van EMI-problemen en het voldoen aan wettelijke EMC eisen

Data/plaats: 16-17, 23-24, 30 november en 1 december 2000 in Eindhoven

Cursusleiding: dr. ir. P.A. Beeckman (Philips Research)

Hardware Specificatie en Ontwerpen m.b.v. VHDL

Mogelijkheden en toepassingen van VHDL voor specificatie, modellering, simulatie en synthese van digitale hardware

Data/plaats: 20-21 en 27-28 november 2000 in Enschede

Cursusleiding: ir. E. Molenkamp (Universiteit Twente)

Antennetechniek

Data/plaats: 6 dagen in november/december 2000 in Eindhoven

Cursusleiding: prof. dr. ir. A.P.M. Zwamborn (TU Eindhoven / TNO-FEL)

HF Schakelingen

Data/plaats: 2,5 dagen in het najaar van 2000 in Eindhoven

Cursusleiding: dr. ir. E. Stikvoort (Philips Research)

Remote Sensing and GEO Information Systems

Applications of model based image analysis and parameter estimation

Data/plaats: najaar 2000 in Enschede (onder voorbehoud)

Cursusleiding: prof. ir. N.J. Mulder (Universiteit Twente)