

IJ. Boxma

Informatie, theorie en praktijk

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Elektrotechniek

1988154

TRES Red. 1987

**Informatie,
theorie en praktijk.**

Rede
gehouden bij het afscheid als hoogleraar in de
theorie van de informatie en de communicatie
aan de Faculteit der Elektrotechniek van de
Technische Universiteit Delft
op donderdag 26 maart 1987
door ir. IJ. Boxma.



Boxma_
red_
1987

Zeer gewaardeerde toehoorders.

Toen ik op één januari van dit jaar met emeritaat ging, was ik precies veertig jaar als ingenieur werkzaam. U zult kunnen billijken, dat ik vandaag op die veertig jaren terugkijk.

Op 1 januari 1947 trad ik in dienst bij het Fysisch Laboratorium RVO-TNO, waar de directeur, ir. J.L. van Soest, mij de opdracht gaf elektronische schakelingen te ontwerpen waarmee berekeningen konden worden uitgevoerd. De toen gebruikelijke analoge rekenmethoden boden te weinig nauwkeurigheid, zodat ik eind 1947, toen literatuur verscheen over een decimaal werkende digitale elektronische rekenmachine, deze techniek ging bestuderen. Typerend voor de gedachtengang veertig jaren geleden, was het advies dat ik in Engeland tijdens een studiereis kreeg. Dat advies luidde: "Laat Nederland geen onderzoek aan rekenmachines starten, want wij bouwen een grote computer, die zo snel rekt, dat hij gemakkelijk al het rekenwerk in Engeland in enkele weken kan uitvoeren. Daarna kan Nederland hem wel een week gebruiken. Maar meer dan één computer in Europa is niet nodig."

Al spoedig kwam bij mij de gedachte op, dat binair rekenen wel eens prettiger zou kunnen werken dan decimaal rekenen. Deze gedachte sloot aan bij de introductie van de binaire eenheid van informatie, de bit, door dr. Claude E. Shannon in zijn beroemd geworden publikatie, "A Mathematical Theory of Communication", die in 1948 verscheen in de Bell System Technical Journal. Van Soest attendeerde mij op deze publikatie, die als eerste de hoeveelheid informatie in een boodschap verbond aan de kans van optreden; met de logische relatie, dat een boodschap die een kleine kans van optreden heeft, en dus als het ware een grote verrassing is, veel informatie bevat. Toen Van Soest in 1949 werd benoemd tot buitengewoon hoogleraar in de Afdeling der Elektrotechniek, gaf hij een college dat op deze publikatie was gebaseerd. Delft werd daarmee de eerste universiteit ter wereld met een hoogleraar in de theorie van de informatie en de communicatie, een vakgebied dat volgens velen zijn nut nog moest bewijzen.

Deze informatietheorie, zoals het vakgebied kortweg werd genoemd, had de elektrotechniek en de wiskunde als basiswetenschappen, wat mij bijzonder aantrok. Mijn belangstelling werd nog versterkt door het verschijnen, ook in 1948, van het boek "Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine" van prof.dr. Norbert Wiener, een boek dat in veel opzichten de publikatie van Shannon aanvulde. In het voorwoord gaf Wiener aan, dat zijn boek van belang was voor psychologen, fysiologen, elektrotechnici, sociologen, neurologen, wiskundigen, anthropologen en economen. Deze opsomming werd niet door iedereen even serieus genomen, maar gaf wel aan, dat de informatietheorie en de cybernetica niet alleen toepassingen buiten de techniek konden vinden, maar ook dat de informatietheorie als bindend element tussen verschillende vakgebieden zou kunnen fungeren, iets dat hij nastreefde en mij bijzonder aansprak.

In 1951 woonde ik op een symposium in Parijs van Wiener een briljante en voor iedereen begrijpelijke voordracht bij. Op dat symposium kwam hij naar mij toe, vroeg waar ik vandaan kwam, en begon een gesprek over Nederland in het Nederlands, een van de twaalf talen die hij sprak. Hij bleek ons land goed te kennen en maakte het grapje mij te vragen: "Jullie hebben toch een Zuiderzee?" Toen ik dat beaamde, zei hij: "Nee, het is het IJsselmeer". Vervolgens stelde hij voor samen "Zie de blanke top der duinen" te zingen, wat hij dan ook uit volle borst deed, ik vrees groten-deels alleen.

In 1957 volgde ik Van Soest op als directeur van het Fysisch Laboratorium, waarna mijn directe bemoeienis met het ontwerpen van elektronische rekenmachines eindigde en ik mij, wat mijn wetenschappelijke werk betreft, uitsluitend kon richten op de informatietheorie. In 1965 mocht ik Van Soest in dit vakgebied opvolgen als buitengewoon hoogleraar in de Afdeling der Elektrotechniek, een benoeming die in 1970 werd omgezet in een gewoon hoogleraarschap.

In 1965 werd bij de studie van de informatietheorie internationaal nog de nadruk gelegd op het geven van een algemene theoretische basis voor alles wat te maken heeft met het transport en het bewerken van informatie. Op deze wijze gaf de informatie-

theorie, zoals vele theorieën, een bevestiging van de juistheid van keuzen die men reeds lang tevoren gemaakt had. De vraag drong zich daarom op, of de informatietheorie nog iets nieuws te bieden had. Het leek voor de hand te liggen een voortgezette studie van de informatietheorie te verrichten, met als doel het inzicht te verdiepen en daarmee beter de grenzen aan te kunnen geven van het technisch bereikbare; maar daarnaast ook toepassingsgebieden te betreden waar we van de informatietheorie een duidelijke bijdrage konden verwachten. Beide benaderingen zult u ongetwijfeld herkennen in de beschrijving die ik zal geven van het werk in de vakgroep Informatietheorie in de periode van twee-en-twintig jaren die ik erin heb doorgebracht; en daarom heb ik deze rede de titel gegeven: Informatie, theorie en praktijk.

Bij mijn komst in 1965 trof ik een groep aan die in zijn beperkte omvang paste bij een buitengewone leerstoel. Het onderzoek betrof stochastische signalen, signalen waarvan de waarde op elk moment min of meer op het toeval berust. Een spraaksignaal is zo'n stochastisch signaal, tenminste voor de luisteraar die niet weet wat er gezegd gaat worden. Een statistisch onderzoek, met het doel de hoeveelheid informatie te bepalen die een spraaksignaal bevat, werd uitgevoerd door Cees Kamminga. Het onderzoek was theoretisch van aard, maar er was veel apparatuur voor nodig, die zelf werd gemaakt. Kamminga was gefascineerd door de vraag hoe dicht de natuur de grens benadert die wordt aangegeven door de onzekerheidsrelatie voor tijd en frequentie, zoals deze door dr. Dennis Gabor in de communicatietheorie werd geïntroduceerd; terwijl ik een toepassing zag bij het invoeren van een gesproken tekst in een vertaalmachine, waarvoor ik een zeker idealisme koesterde. Het spraaksignaal bleek voor beide problemen erg gecompliceerd. Onderzoek aan vertaalmachines leek niet haalbaar en werd korte tijd later overal ter wereld gestopt. Overigens heeft vrij recent de vertaalmachine binnen de Europese Gemeenschap weer aandacht gekregen, nu krachtiger computers beschikbaar komen. Voor het onderzoek aan de onzekerheidsrelatie koos Kamminga een ander biologisch signaal, namelijk het signaal dat dolfijnen maken om hun positie te bepalen en om hun prooi op te

sporen. Deze intelligente en speelse dieren bleken tot veel proefnemingen bereid. Uit de analyse van deze dolfijnsignalen konden enkele interessante conclusies worden getrokken. Zo bleken de massale strandingen van sommige soorten walvissen geen vorm van zelfdoding te zijn, maar in verband te staan met de structuur van het signaal waarmee zij hun positie bepalen.

Ook aan een ander biologisch stochastisch signaal, namelijk het elektrocardiogram, werd onderzoek uitgevoerd, en wel naar de informatieinhoud van verschillende delen van het cardiogram. Daardoor waren wij in staat aan te geven, hoe grote aantallen cardiogrammen op een zuinige wijze konden worden opgeslagen in het geheugen van een computer. Toen Otto Rompelman in 1977 van de groep Medische Elektrotechniek overkwam naar onze vakgroep, zette hij het onderzoek aan elektrocardiogrammen voort in samenwerking met de Medische Faculteit van de Vrije Universiteit te Amsterdam. Hierbij is hij in het bijzonder aandacht gaan geven aan de variabiliteit die optreedt in de hartfrequentie. Na berekeningen aan vele cardiogrammen kon worden aangegeven hoe nauwkeurig deze variaties in de hartfrequentie kunnen worden gemeten. Hij ontwikkelde een meetmethode die de medicus nieuwe diagnosemogelijkheden biedt, in het bijzonder op neurologisch terrein, zoals bij onderzoek naar diabetische neuropathie.

In 1969 werd Eric Backer lid van de wetenschappelijke staf. Hij startte een onderzoek naar de mogelijkheid van het herkennen van patronen, een probleem dat naar mijn gevoel een groot aantal praktische toepassingen zou kunnen vinden en waarbij de informatietheorie een bijdrage zou kunnen leveren. Immers, bij alle kenmerken die gezamenlijk leiden tot een herkennen, dient men zich steeds af te vragen hoeveel informatie elk kenmerk bijdraagt. Twee jaar eerder, in 1967, woonde ik de eerste voordracht bij waarin dr. Lotfi A. Zadeh de zogenaamde fuzzy set theory introduceerde. Tot grote voldoening van Zadeh betrok Backer deze theorie van de vage verzamelingen bij de patroonherkenning en wist deze aan de informatietheorie te koppelen. Hij promoveerde op dit onderzoek tot doctor in de technische wetenschappen. Daarna zette hij zijn studie van de clusteranalyse voort, waarmee

hij opmerkelijke resultaten in de patroonherkenning wist te bereiken. Hiernaast startte Backer een onderzoek naar kunstmatige intelligentie en de toepassingsmogelijkheden hiervan in de patroonherkenning en de robottechnologie.

Bij het herkennen van patronen is het nodig deze eerst een bewerking te laten ondergaan. Deze bewerking van patronen is ook zelfstandig van groot belang. Jan Gerbrands, die in 1974 de vakgroep kwam versterken, besteedt in een nauwe samenwerking met Backer hieraan aandacht, en wel in het bijzonder aan het analyseren van beelden. Dit vindt toepassing in de zogenaamde remote sensing vanuit vliegtuigen en satellieten bij de classificatie van landbouwgewassen. Ook vindt het toepassing in de medische diagnostiek bij de analyse van röntgenfoto's van het hart. Vele studenten zijn na een plaatsing bij het Thoraxcentrum van de Erasmus Universiteit afgestudeerd op het ontwerpen van methoden voor het analyseren van deze medische beelden.

Eveneens in 1974 voegde Jan Biemond zich bij de vakgroep. Hij begon met een theoretische studie van het scheiden van informatiedragende signalen en ruis met behulp van een Kalmanfilter en ging dit toepassen op beelden. Biemond ontwierp hiervoor een methode, die hij vastlegde in een proefschrift. Bij deze methode wordt de foto mathematisch geanalyseerd en vervolgens met behulp van een computer bewerkt. Daarbij kunnen onscherpe foto's worden verscherpt en kan ruis uit korrelige foto's worden weggefilterd. Hierbij moeten we denken aan foto's die onder ongunstige omstandigheden zijn opgenomen, bijvoorbeeld vanuit de ruimte; en ook aan historische foto's.

Op enkele toepassingen van de patroonherkenning en de beeldverwerking kom ik straks terug. Maar eerst wil ik aandacht geven aan een ander onderzoek dat zich min of meer parallel hieraan ontwikkelde, nadat Dick Boekee in 1970 lid werd van de wetenschappelijke staf. Boekee zag vanaf het begin scherp het belang van een goede theoretische basis voor al het onderzoek in de vakgroep. Hij zette daarom eerst de studie voort van de informatietheorie in engere zin en promoveerde op de informatiemaat van Fisher, een in de elektrotechniek weinig bekende maat voor de hoeveelheid informatie. Hij toonde daarbij aan, dat deze maat bij

communicatiesystemen interessante mogelijkheden biedt. Daarna is hij zich, samen met Biemond, gaan verdiepen in diverse aspecten van de coderingstheorie, waarbij zij op verzoek van het Dr. Neher Laboratorium van de PTT aandacht besteden aan het zodanig coderen van beelden dat deze ten behoeve van vergadertelevisie via een telefoonlijn kunnen worden overgeseind. Tot deze coderingstheorie behoort ook de cryptografie, die bij moderne communicatiemiddelen, zoals satellieten, moet voorkomen, dat boodschappen of beelden door onbevoegden kunnen worden ontvangen.

Ik bleef overtuigd van het belang van onderzoek aan het meten van de hoeveelheid informatie. Een promovendus, Jan van der Lubbe, startte daarom een onderzoek, met Boeke als mentor. Van der Lubbe promoveerde in 1981 op een proefschrift over de generalisatie van vele bekende zekerheids- en informatiematen. Hij wist deze maten logisch te koppelen en gaf daarbij terreinen in en buiten de elektrotechniek aan waar ze van nut kunnen zijn. Dat hij na een afwezigheid van vijf jaar in 1986 weer lid werd van de vakgroep, heeft mij bijzonder verheugd.

De leden van de wetenschappelijke staf zijn niet solistisch werkzaam. Vrijwel alle resultaten komen tot stand in een intensieve samenwerking. De leden van de technische staf, Ben van den Boom, Ad de Ridder en Hans Verschuur, leveren hierbij een wezenlijke bijdrage. De techniek waarmee zij in aanraking komen, en daarmee ook de daarbij vereiste filosofie, is in de laatste vijftien jaar ingrijpend gewijzigd. Ontwierpen zij in het begin van de jaren zeventig nog zelf elektronische hulpmiddelen, thans moeten zij geheel thuis zijn in de mogelijkheden van alle computerfaciliteiten van de vakgroep, zodat zij deze kunnen aanpassen aan vaak zeer gespecialiseerde onderzoekprojecten.

Enkele aspecten van het onderzoek wil ik aan de hand van foto's nader toelichten. Zoals u weet wordt muziek gedigitaliseerd om deze op een compact disc te kunnen vastleggen. Zo moeten ook beelden worden gedigitaliseerd om ze te kunnen bewerken in een computer. We zullen ze daarvoor gaan bemonsteren, dat is in discrete punten opdelen. U ziet hier een foto (Foto 1) die in 16 bij

16 vlakjes is verdeeld. De foto is nog onherkenbaar. Nu (Foto 2) is hij verdeeld in 32 bij 32 beeldpunten. U ziet al dat het een portret is. Bij 64 bij 64 (Foto 3) zullen enkelen van u mijn kleindochter Lonneke herkennen en met 512 bij 512 beeldpunten (Foto 4) is de foto uitstekend. Bij het digitaliseren wordt tevens de helderheid per beeldpunt gekwantiseerd, dus in een getal uitgedrukt. Bij deze foto is er per beeldpunt een keuze uit 256 grijsstinten, in computertaal 8 bit. Verminderen we dit, dan wordt de foto minder mooi. Deze foto (Foto 5) heeft 16 helderheidsniveaus of 4 bit, deze (Foto 6) 3 bit, deze (Foto 7) 2 bit en deze (Foto 8) 1 bit informa-

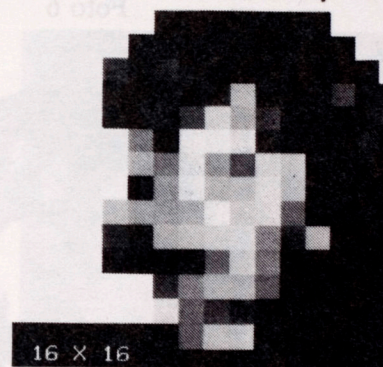


Foto 1

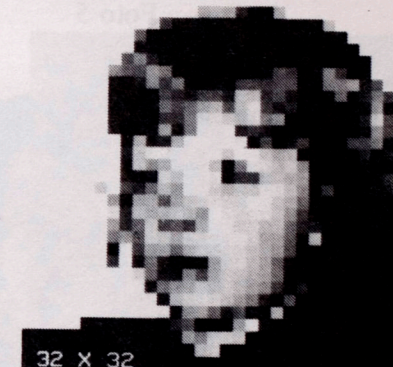


Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9

tie per beeldpunt. Dit is dus in feite een binaire foto, dat wil zeggen een foto met twee niveaus, zwart of wit. U ziet dat één bit per beeldpunt niet zonder meer acceptabel is.

We gaan daarom terug naar 8 bit per beeldpunt (Foto 4). Maar bij het overseinen van beelden, zoals bij televisie, of bij het opbergen in het geheugen van een computer, vergt dit veel bandbreedte of geheugenruimte. Als we nu bedenken, dat tussen de beeldpunten in een foto een zekere correlatie bestaat, de achtergrond heeft hier bijvoorbeeld overal dezelfde helderheid, dan kunnen we proberen de helderheid van de beeldpunten te voorspellen. In feite verwijderen we daarbij de redundantie uit de foto.

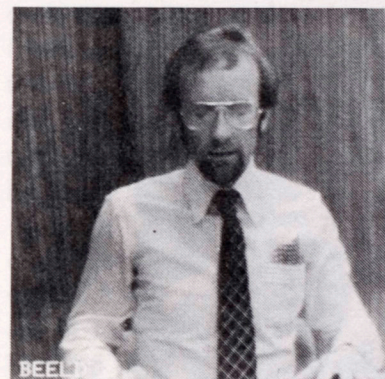


Foto 10

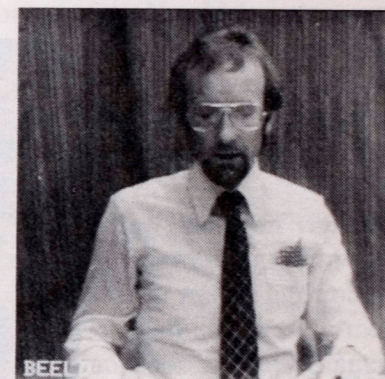


Foto 11



Foto 12

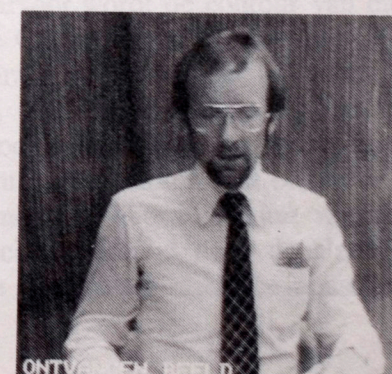


Foto 13

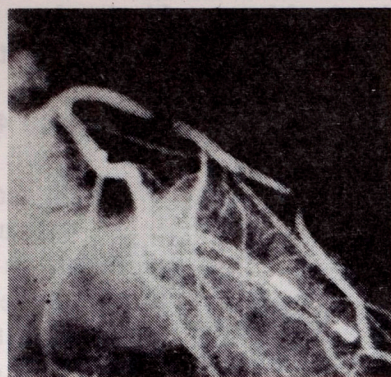


Foto 14

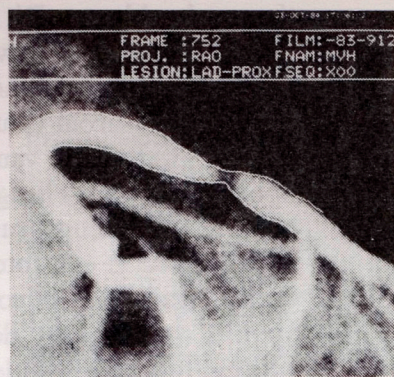


Foto 15

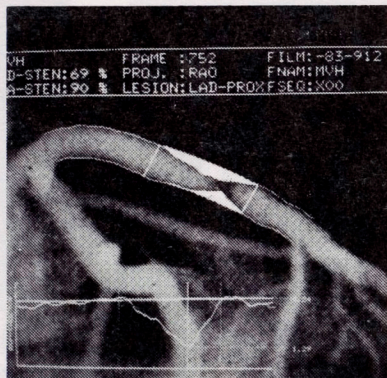


Foto 16

We zullen daarvoor een ingewikkeld coderingssysteem moeten toepassen. Deze foto (Foto 9) is bewerkt met de zogenaamde subbandcodering, gecombineerd met vectorkwantisering, waardoor we zelfs met nog minder dan 1 bit per beeldpunt kunnen volstaan, hier namelijk gemiddeld 0,6 bit per beeldpunt. Toch is de foto nu voor veel doeleinden acceptabel.

Maar we kunnen nog verder gaan als we opeenvolgende beelden hebben, zoals bij de televisie. Deze verschillen meestal weinig, zodat we het volgende beeld redelijk goed kunnen voorspellen. U ziet hier twee na elkaar komende televisiebeelden (Foto 10 en Foto 11). Verschil ziet u pas, als we de beelden van elkaar aftrekken (Foto 12). We kunnen volstaan met alleen dit verschil over te seinen naar de ontvanger om een goed beeld te ontvangen (Foto 13). Hiermee bezuinigen we ten opzichte van de normale televisie meer dan een factor 100 in de hoeveelheid over te zenden informatie. Vergadertelevisie en beeldtelefonie, waarbij we elkaar tijdens het telefoneren kunnen zien, zullen hiermee binnen afzienbare tijd kunnen worden gerealiseerd.

Als we een foto na het digitaliseren in het geheugen van een computer hebben opgeslagen, kunnen we er bewerkingen op uitvoeren, bijvoorbeeld het automatisch analyseren van de informatie die in het beeld vastligt. Soms hebben we daarbij te maken met beelden die weinig contrast bezitten en daardoor moeilijk kunnen worden geanalyseerd. Zo zijn we bij deze röntgenfoto van het hart (Foto 14) geïnteresseerd in de mate waarin de kransslagader bovenin de foto is vernauwd. Daarvoor wordt de contour van dit bloedvat gezocht met de methode van het dynamisch programmeren (Foto 15), waarna de vernauwing in procenten wordt berekend (Foto 16). Dit heeft grote diagnostische waarde voor de vraag of een open-hartoperatie noodzakelijk is of dat een andere behandeling mogelijk is, zoals een ballondilatatie. Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met het Thoraxcentrum van de Erasmus Universiteit en is financieel gesteund door de Nederlandse Hartstichting. De methode wordt nu klinisch toegepast.

Een andere toepassing waarbij de informatie die in het beeld vastligt, automatisch wordt geanalyseerd, vinden we bij de robotica. U ziet hier een beeld (Foto 17) zoals een robot dat via een televisiecamera ontvangt. Nadat het beeld binair gemaakt is (Foto 18), worden aan de verschillende voorwerpen metingen gedaan (Foto 19). De resultaten worden vergeleken met bekende in het geheugen opgeslagen gegevens van voorwerpen, waarna de computer aan de robot het commando geeft welk voorwerp moet worden opgepakt. Dit onderzoek wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met de vakgroep Regeltechniek.

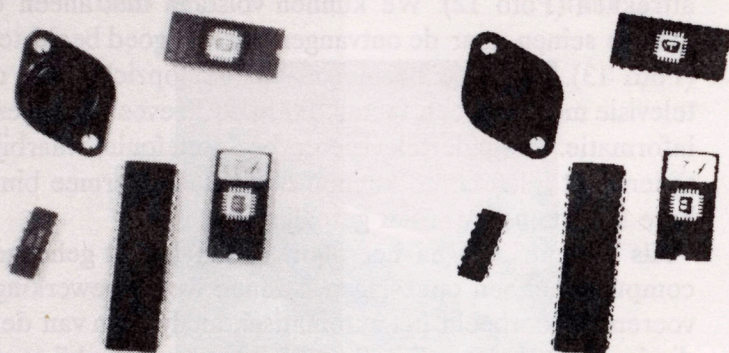


Foto 17

Foto 18

OPP = 15297
 OMTREK = 458
 RONDHEID = 0.92

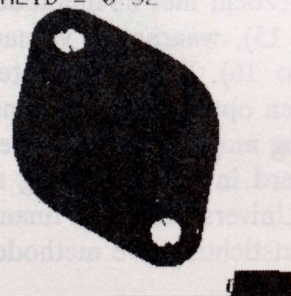


Foto 19

In veel gevallen is een eerste stap bij de automatische beeldanalyse een segmentatie van het beeld, een opdelen in gebieden. U ziet hier een beeld (Foto 20), dat verkregen is met behulp van een side-looking airborne radar. De contouren van de agrarische percelen in dit beeld worden bepaald (Foto 21), waarna voor elk perceel de gemiddelde helderheid wordt berekend (Foto 22). Met behulp van technieken uit de patroonherkenning worden de gewassen vervolgens geclassificeerd (Foto 23). Op deze foto geven de letters A de aardappelvelden aan en de letters T de tarwe. Dit onderzoek vindt plaats in een nationaal project, waaraan binnen onze faculteit ook de vakgroep Telecommunicatie- en teleobservatietechnologie deelneemt.

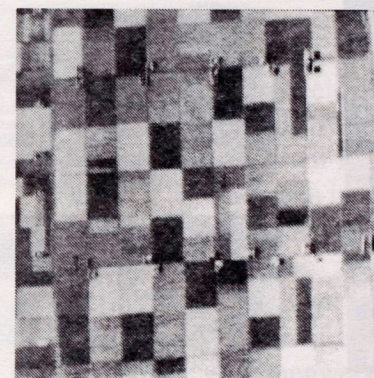


Foto 20

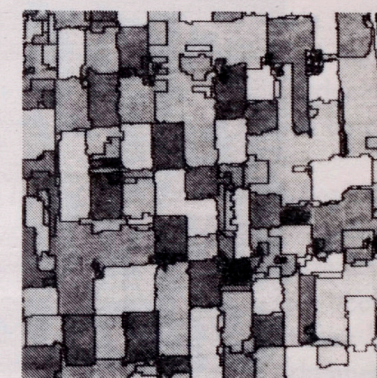


Foto 21

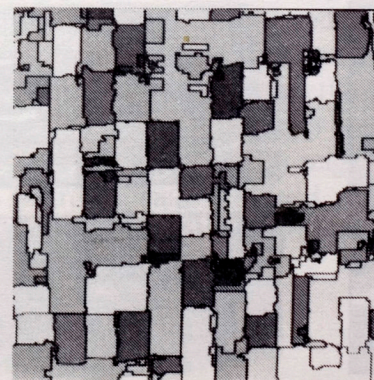


Foto 22

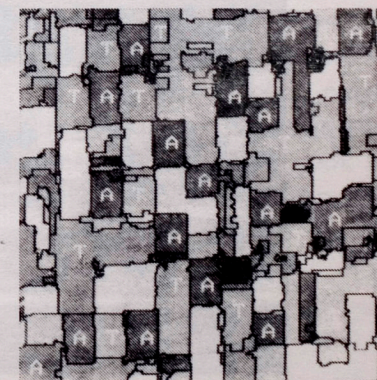


Foto 23



Foto 24

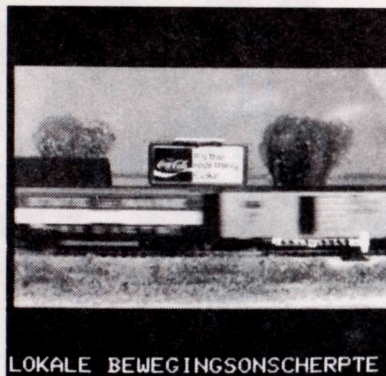


Foto 26



Foto 28



Foto 25

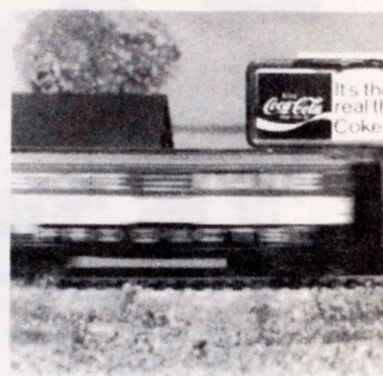


Foto 27

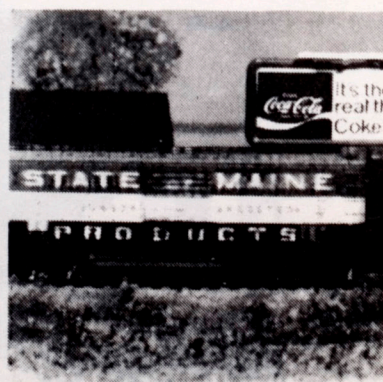


Foto 29

Een andere bewerking op beelden betreft het restaureren van foto's die niet scherp zijn. Hier ziet u de foto van Lonneke terug (Foto 24), waarbij met de computer is nagebootst dat de camera tijdens de opname is bewogen. Bovendien is de foto enigszins gespikkeld geraakt door ruis. Als we de statistische eigenschappen van zo'n foto en van de ruis kennen en een idee hebben over de wijze waarop de vervorming is ontstaan, kunnen we de ruis wegfilteren en de foto restaureren (Foto 25). Dit kost wel ongeveer een half uur rekentijd op een normale computer, maar het resultaat is een duidelijke verbetering. Met een speciale computer, de zogenaamde array-processor, waarover de vakgroep beschikt, is voor het restaureren van zo'n foto de rekentijd ongeveer zes seconden. Kodak was enthousiast over dit resultaat en gaf ons een foto waarop alleen een deel onscherp is, namelijk de bewegende trein (Foto 26). De letters op de wagon zijn onleesbaar (Foto 27). Het in de vakgroep ontwikkelde Kalmanfilter verbeterde dit gedeelte van de foto en liet de rest ongewijzigd, waarna de letters beter leesbaar zijn (Foto 28 en Foto 29).

Ik hoop u hiermee een indruk te hebben gegeven van de veelzijdigheid van het werk in de vakgroep Informatietheorie, waaraan ik met zoveel genoegen zal terugdenken. Ik heb enkele malen gewezen op contacten met andere groepen. De vakgroep heeft daar steeds naar gestreefd. Binnen de eigen universiteit noem ik nog de intensieve samenwerking met de Sectie Patroonherkennen van de Faculteit der Technische Natuurkunde, een samenwerking die geleid heeft tot het oprichten van het Centrum voor Beeldbewerking Delft. Enkele leden van de vakgroep hebben een gastdoctorschap vervuld aan buitenlandse universiteiten en vele beoefenaars van de informatietheorie uit andere landen hebben enige maanden in de vakgroep doorgebracht, waardoor een samenwerking is ontstaan met enige Amerikaanse universiteiten. Ook is gestreefd naar een goed contact met een aantal industrieën, dat wederzijds bevruchtend blijkt te werken.

Waarde toehoorders,

In de veertig jaren die ik als ingenieur werkzaam ben geweest, heeft de informatietechniek gezorgd voor grote veranderingen in onze maatschappij. Nieuwe systemen verschenen voor het transporteren en bewaren van informatie. Zo deden in de jaren vijftig de mono-FM-radio en de zwart-witte televisie hun intrede in ons land en kwam de bandrecorder op de markt. In de jaren zestig kregen we stereo-FM-radio en kleurentelevisie en verscheen de cassetterecorder. Dit alles werd in hoog tempo gevolgd door satelliettelevisie, teletekst, videorecorder, compact disc, digitale recorder, enzovoort. Een enorme ontwikkeling, want pas zestig jaar geleden zei de uitvinder van de radiobuis, Lee DeForest, dat televisie technisch wel uitvoerbaar was, maar commercieel niet haalbaar zou zijn, zodat aan onderzoek hiernaar geen tijd verspild moest worden.

Op het gebied van de informatieverwerking is de ontwikkeling eveneens zeer spectaculair. In de jaren vijftig werkte ik mee aan het bouwen van een computer met veel radiobuizen; computers waren nog niet te koop. Daarna bouwden we een computer met transistoren, waarvan de betrouwbaarheid niet groot was. Hij weigerde elke morgen na de koffiepauze; uiteindelijk bleek, dat het niet door de koffie kwam, maar door de zon die dan op de computer ging schijnen waardoor de transistoren, die erg lichtgevoelig waren, verder de dienst weigerden. In de jaren zeventig verschenen computers die gebruikmaakten van geïntegreerde circuits. Onze vakgroep kon toen haar eerste computer aanschaffen, die naar huidige maatstaven nog erg primitief en groot was. Daarna vergrootte de komst van de chip het aantal mogelijkheden en de betrouwbaarheid, terwijl de omvang aanzienlijk kon worden verkleind. Zelfs zakrekenmachines konden worden gemaakt, waarvan de eerste in 1970 nog duizend gulden kostte. De personal computers drongen in alle vakgebieden door; in ons land staan er nu bijna een half miljoen. Daarnaast ontstonden over de hele wereld computercentra, die via een netwerk met elkaar communiceren.

De ontwikkelingen verlopen zo snel, dat we maatschappelijke

gevolgen moeten verwachten die vergelijkbaar zijn met die van de industriële revolutie aan het eind van de negentiende eeuw. Zoals het fotokopieerapparaat de universitaire democratisering mogelijk gemaakt heeft, zo zullen moderne middelen voor informatietransport en voor informatieverwerking de democratisering van de samenleving kunnen bevorderen, mits deze middelen op de juiste wijze worden toegepast. Maar hun invloed reikt verder en strekt zich uit tot onze manier van leven, werken, leren en denken, kortom tot de structuur van de maatschappij. Vrijwel alle universitaire studierichtingen zullen ermee in aanraking komen, wat een ingrijpende omschakeling nodig maakt, zowel op het gebied van het onderwijs als van het onderzoek. Contact tussen universiteiten en het bedrijfsleven wordt voor beide meer dan ooit een dwingende noodzaak. Vooral voor de faculteiten der Elektrotechniek is hierbij een belangrijke rol weggelegd, omdat zij zowel een bijdrage kunnen leveren aan de ontwikkeling van deze informatietechniek, als aan de toepassing ervan in de maatschappij.

In beginsel moeten we gelukkig zijn met meer informatieoverdracht, omdat de bindingen in de menselijke samenleving van informatorische aard zijn. Aristoteles merkte reeds op, dat spraak de grondslag is van de samenleving, dat deze leidt tot een zekere orde, en dat daarmee de beschaving mogelijk wordt. Behalve in een persoonlijk gesprek brengen wij informatie over aan onze medemens via de telefoon, de krant, radio, televisie, computernetwerk, gebaren, spandoeken, enzovoort. Deze informatie zal het gedrag van de leden van de samenleving ten opzichte van elkaar beïnvloeden. Maar onze taal geeft nooit precies de gedachten van de spreker weer, bij een eventuele vertaling wordt niet exact de bedoeling overgebracht, het bericht kan door storing verminkt zijn en het kan moeilijk worden gevonden ontvangen informatie in de plaats van eerder verkregen, en misschien ermee strijdige informatie te accepteren. De ontvangen informatie kan daardoor een ander effect hebben dan bedoeld was. Goedwillende gesprekspartners benutten daarbij terugontvangen informatie om zonodig een correctie aan te brengen, waardoor de vervorming van de boodschap kan afnemen. Dit proces, dat ik informatorische terugkoppeling noem, is van groot belang in de samenleving. Immers,

met een goede informatorische terugkoppeling kan een onjuiste reactie op verkeerd begrepen informatie worden voorkomen. In de oost-westverhouding dient hiervoor een directe verbinding tussen Washington en Moskou; maar ook in een kleinere samenleving kan een goede informatorische terugkoppeling bijdragen aan het beter begrijpen van de ontvangen informatie en daardoor aan de stabiliteit. We kunnen dit vergelijken met het besturen van een auto. Wanneer we als bestuurder van een auto onze ogen gesloten houden, zal deze de eenmaal aangenomen koers blijven volgen. Geven we een ruk aan het stuur, dan zal hij een nieuwe koers volgen. Als we de ogen open houden, kunnen we zien in hoeverre de auto de weg volgt, waarna we zonnodig met het stuur correcties kunnen aanbrengen. Op deze wijze bevordert terugkoppeling de stabiliteit.

Eenzijdig gericht informatietransport past in een dictatoriaal geregeerde samenleving en zorgt in zijn meest extreme vorm voor een complete orde, zoals door George Orwell is beschreven in zijn boek "1984". Een tweezijdig gericht informatietransport, dus met een informatorische terugkoppeling, past in een democratisch geregeerde samenleving, maar levert in zijn meest extreme vorm een complete wanorde. U kunt opmerken, dat ik lichtvaardig semantische en selectieve informatie vermeng, als ik in dit verband de informatietheoretische begrippen "informatie" en "entropie" vergelijk met de begrippen "orde" en "wanorde". Maar ik durf te stellen dat de grootte van de informatorische terugkoppeling de stabiliteit in een samenleving bepaalt, waarbij dan enerzijds de mate van orde en anderzijds de invloed van elk individu vastligt.

Als voorbeeld van een samenleving waaraan informatie wordt toegevoerd zonder dat er sprake is van een duidelijke informatorische terugkoppeling, noem ik de effectenbeurs. Sommige deskundigen zien de steeds groter wordende koersschommelingen op de beurs van New York als een gevolg van het gebruik van personal computers door de professionele handelaren. Aan al deze computers wordt dezelfde informatie toegezonden. Deze computers berekenen dan voor de termijn- en optiemarkten het gunstigste moment voor kopen of verkopen. Doordat alle computers vrijwel tegelijk tot dezelfde conclusie komen, worden dan vele

duizenden aandelen in een bepaald fonds verhandeld, wat het plotseling sterk stijgen of dalen van de koers verklaart.

Ook een teveel aan informatorische terugkoppeling kan verkeerd zijn. In het voorbeeld van de auto zou dit betekenen, dat de bestuurder bij een afwijking van de juiste weg direct sterk aan het stuur gaat draaien, waardoor een slingerkoers ontstaat. Met de Wet Universitaire Bestuurshervorming 1970 is aan de universiteiten in ruime mate de gelegenheid geboden zelf te bepalen hoeveel informatorische terugkoppeling gewenst geacht wordt. Ik heb om deze reden het invoeren van die wet toegejuicht. Van de universitaire wereld mag immers worden verwacht, dat zij op een verstandige wijze gebruik maakt van deze mogelijkheid. Ik heb echter de indruk, dat op enkele plaatsen het bereikte evenwicht tussen orde en wanorde, en daarmee de stabiliteit, niet optimaal is. Ik prijs mij gelukkig te hebben mogen werken in een vakgroep en een faculteit waar naar mijn mening wel het goede evenwicht is bereikt en hoop daaraan een bijdrage te hebben kunnen geven.

Dames en Heren,

Ik kijk met genoegen terug op de tijd die ik heb doorgebracht aan deze technische hogeschool, die nog juist voor mijn vertrek een technische universiteit is geworden. Het contact met veel collega's van andere faculteiten, onder andere in het College van Dekanen, heb ik als nuttig ervaren. Binnen de Faculteit der Elektrotechniek heb ik de contacten met de collega's en alle andere medewerkers erg gewaardeerd. In de vakgroep Informatietheorie was het prettig werken. Ook op de beide dekanaatsperiodes kijk ik niet terug met spijt. Alle leden van de vakgroep hielpen mij door gezamenlijk mijn taken binnen de vakgroep op zich te nemen. Zonder de anderen daarbij te kort te doen, noem ik in het bijzonder mijn collega's Backer en Boekee, die alle afstudeerders en derde-jaarscolleges overnamen naast hun eigen al zo zwaar belaste programma. Veel steun kreeg ik van Annett Bosch, die alle secretariaatswerkzaamheden, zowel voor de vakgroep als voor mij, geruisloos en efficiënt afhandelde, bijgestaan door Mirella van Velzen.

Van alle werkzaamheden heb ik toch het meeste genoeg beleefd aan het onderwijs en onderzoek in de vakgroep. Dat ik in deze afscheidsrede vrijwel uitsluitend over het onderzoek heb gesproken, wordt veroorzaakt door het feit dat onderwijsactiviteiten zich minder goed lenen voor een uitgebreide beschrijving. Maar het geven van onderwijs heb ik altijd als een eerste taak gezien voor een docent. Het geven van college heeft mij ook steeds veel voldoening gegeven. Van het contact met veel afstudeerders heb ik genoten, vooral als het studenten waren met frisse ideeën. Zij hebben een grotere bijdrage gegeven aan de voortgang van het onderzoek in de vakgroep dan zij vaak zelf beseften. Ook noem ik het contact met de promovendi. Ik heb veel geleerd in de gesprekken over het promotieonderzoek. Het is erg prettig, dat ik dit contact met enkele promovendi nog kan voortzetten tot na hun promotie.

In een feestelijke afsluiting van deze twee-en-twintig jaren heeft de vakgroep Informatietheorie onlangs in een symposium getuigenis afgelegd van het vele goede werk dat in de vakgroep wordt verricht. Daarbij was een groot aantal van de ruim 200 ingenieurs aanwezig die in deze periode in de vakgroep zijn afgestudeerd. Ik ben de vakgroep bijzonder dankbaar voor het organiseren van dit symposium. Ook op dit symposium is weer gebleken, dat een goede theoretische basis voor de praktische problemen onontbeerlijk is. De vraag van jaren geleden of de informatietheorie nut heeft, hoeft dan ook zeker niet meer te worden gesteld. Maar eerder of de informatietheorie in staat is de stormachtige ontwikkelingen in de informatiemaatschappij bij te houden. Dat is waar toe de maatschappij ons uitdaagt. Ik geloof, dat de vakgroep heeft getoond deze uitdaging aan te kunnen en ik wens haar medewerkers daarbij voor de toekomst veel succes.

Ik dank u voor uw aandacht.