

Tijdschrift van het NERG

Correspondentie-adres: postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Internet: www.nerg.nl, secretariaat@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. N.H.G. Baken, voorzitter
dr. H. Oubrahim, vice-voorzitte
vacature, secretaris
ir. J.G. van Hezewijk, penningmeester
ir. H.J. Visser, voorzitter tijdschrift-
commissie
dr. ir. T.C.W. Schenk, voorzitter pro-
grammacommissie
ir. ing. D. van Meeteren, webbeheerder
ing. J. Laarakkers, voorzitter onder-
wijscommissie en ledenwerving

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 geheven 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 € 43,- en voor studentleden € 21,50. Bij automatische incasso wordt € 2,- 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.

Voor toestemming tot overnemen van (delen van) artikelen dient men zich te wenden tot de tijdschriftcommissie. Alle rechten berusten bij de auteur tenzij anders vermeld.

TIJDSCHRIFTCOMMISSIE

ir. H.J. Visser, voorzitter.
TNO, Postbus 6235,
5600 HE Eindhoven,
E-mail: Visser@ieee.org
ir. M. Arts, hoofdredacteur.
ASTRON, Dwingeloo
E-mail: Arts@astron.nl
ir. P. van Wijk, redactielid.
E-mail: paul.vanwijk@tno.nl



INHOUD

Van de redactie	34
<i>Michel Arts</i>	
Zicht op onzichtbare antennes	35
<i>prof.dr.ir. Bart Smolders</i>	
Unravelling 21st Century Riddles – Universal Network Visions from a Human Perspective	48
<i>Nico Baken, Nico van Bellegem, Edgar van Boven and Annemieke de Korte</i>	
Hallo Bandoeng, een boek over nederlandse radiopioniers . 61	
<i>Recensie door Michel Arts</i>	
Proefschriftenoverzicht 2006-2007	64
PATO cursusaanbod 2009 . 68	



Deze uitgave van het NERG
wordt geheel verzorgd door:
Henk Visscher, Zutphen

Advertenties: Henk Visscher
tel: (0575) 542380
E-mail: henk.v@wx.nl
ISSN 03743853

Van de redactie

Michel Arts
E-mail: arts@astron.nl



Voor u ligt het tweede nummer van het Tijdschrift van het NERG voor dit jaar. Dit nummer bevat de intrede van professor Bart Smolders als Hoogleraar aan de Technische Universiteit Eindhoven. De meeste van ons kennen Bart als oud-redactielid van ons Tijdschrift en oud-bestuurslid van het NERG. De redactie van het Tijdschrift feliciteert langs deze weg Bart met zijn benoeming.

Verder bevat dit nummer een artikel van Nico Baken, Nico van Belleghem, Edgar van Boven en Annemieke de Korte dat eerder in TCN magazine gepubliceerd is.

Ook vindt u in dit nummer het proefschriftenoverzicht van het academisch jaar 2006-2007. Helaas ontbreekt de UT dit jaar in dat overzicht. Herhaalde verzoeken om informatie hebben helaas niets opgeleverd.

Tenslotte vind u in dit nummer een recensie van het boek "Hallo Bandoeng" van Hans Vles. Dit boek gaat voornamelijk over het werk en leven van Johan Numans die in 1927 de eerste kortegolf telefoniezender bij Philips bouwde. Met deze zender werd voor het eerst radiotelefonisch contact gelegd met Nederlands-Indië.



Zicht op onzichtbare antennes

prof.dr.ir. Bart Smolders



Intreerede van prof.dr.ir. Bart Smolders, uitgesproken op 5 september 2008 aan de Technische Universiteit Eindhoven

Inleiding

Graag wil ik u welkom heten bij mijn oratie als deeltijdhoogleraar in het vakgebied Elektromagnetisme in draadloze telecommunicatie. In dit zogenaamde eerste college dat ik als hoogleraar geef wil ik u in 45 minuten uitleggen wat mijn vakgebied precies inhoudt en wat de uitdagingen zijn waar ik de komende jaren aan wil werken. Ik zal dit zodanig proberen te doen dat u allen de rode draad van het verhaal kunt blijven volgen, ook al bent u geen specialist.

Het minisymposium en de intreerede van vandaag zijn de tweede in een serie van vier rondom de start van het Centrum for Wireless Technology Eindhoven (CWT/e) eerder dit jaar. Peter Baltus, hoogleraar aan onze faculteit en tevens directeur van het CWT/e heeft in mei 2008 hiervoor de aftrap gegeven.

In deze rede zal ik eerst vanuit een historisch perspectief het begrip draadloze telecommunicatie ofwel radiocommunicatie toelichten. Vervolgens zal ik mijn eigen vakgebied nader specificeren, waarbij ik ook de trends in dit gebied zal omschrijven. Hieruit volgen dan de belangrijkste onderzoeksuitdagingen waar ik me de komende jaren op wil gaan richten. Tenslotte wil ik nog even stilstaan bij het onderwijs aan onze faculteit.

Radio, een stukje historie

Het lijkt me verstandig om eerst het begrip radio nader toe te lichten. Als ik mijn dochter zou vragen wat een radio is, dan zal ze zeggen dat een radio een apparaat is waar leuke muziek uit komt. Als ik dezelfde vraag zou stellen aan een vakgenoot, dan zal blijken dat het begrip radio veel breder is. Met een radio bedoel ik hier het complete ontvangst- en

zendsysteem inclusief antennes ten behoeve van draadloze overdracht van elektromagnetische signalen. We spreken dan ook vaak van 'radiocommunicatie'.

Op de vraag wie nu de uitvinder is van radiocommunicatie is geen eenduidig antwoord te geven. In feite kunnen we radio zien als een van de toepassingen van elektromagnetisme, waarvan de inzichten zich in de negentiende eeuw ontwikkeld hebben. Onbedoeld is de radiocommunicatie voor het eerst in de wetenschap aan het licht gekomen in de achttiende eeuw. Het was nota bene een arts die hiermee voor de dag kwam. De Italiaan Luigi Galvani was geneesheer en was gefascineerd geraakt door de vraag of hij met behulp van elektriciteit ziektes kon genezen. In zijn boek 'De Viribus Electricitatis' [1] uit 1791 vertelt hij over de vele anatomische experimenten die hij verrichtte met dieren. Bij toeval ontdekte hij dat bij het prepareren van een dode kikker met een metalen scalpel de spieren samentrokken. Dit gebeurde juist op het moment dat zijn assistent aan het spelen was met een elektrische machine die zich in dezelfde kamer bevond. In figuur 1 ziet u de originele tekening van het laboratorium van Galvani.

Geïnspireerd door dit vreemde verschijnsel bedacht Galvani een experiment. Hij plaatste een tweetal draden op een afstand van elkaar, die beide in het midden waren onderbroken. De ene draad ('zender') werd verbonden met de elektrische machine die door middel van wrijving elektriciteit kon opwekken, de andere draad ('ontvanger') werd aangesloten tussen de zenuw van de achterpoten van een kikker in de wervelkolom en een spier uit een van de achterpoten van de kikker. Werd er nu aan de elektrische machine gedraaid dan ontstonden er vonken aan de zenddraad. Tot zijn grote verbazing ontdekte Galvani dat bij iedere vonk aan de zenzijde de achterpoot van de kikker bewoog aan de ontvangzijde, ook bij relatief



figuur 1: Impressie van Galvani's laboratorium [1].

grote afstanden. In feite bouwde Galvani zonder het zich te realiseren voor het eerst in het bestaan van de mensheid een radiosysteem met een draad als ontvangstantenne en een achterpoot van een kikker als detector. De publicatie van Galvani zorgde in de achttiende eeuw voor veel onrust in de wetenschappelijke wereld. Zijn experimenten werden dan ook wereldwijd door velen herhaald. Je kon in die tijd dan ook maar beter geen kikker zijn! Het effect van elektromagnetische velden op mens en dier is overigens nog steeds een actueel onderwerp, getuige de hedendaagse maatschappelijke onrust over gezondheidsrisico's bij UMTS-frequenties.

Rond 1918 heeft de Fransman Lefevre de experimenten van Galvani op grotere schaal herhaald. Hij plaatste de vonkzender op de Eiffeltoren terwijl de kikkerpoot zich in Rennes bevond op ruim 300 km afstand. Het lukte hem om op deze wijze een Morsecode over te zenden [2].

Het verschijnsel elektromagnetisme werd eigenlijk pas in de negentiende eeuw begrepen, toen in 1864 naar aanleiding van de experimenten van Faraday, James Clerck Maxwell de wiskundige onderbouwing van de tijds-dynamische relatie tussen het magnetische en elektrische veld samenvatte in de inmiddels beroemde 'Wetten van Maxwell'. Het was Heinrich Hertz die in 1887 experimenteel aantoonde dat de Wetten van Maxwell correct waren. Door het werk van Maxwell en Hertz werd het voor het eerst duidelijk dat elektromagnetische velden golven zijn die zich met de lichtsnelheid voortplanten. Hertz gebruikte in zijn experimenten onder meer een opstelling met bekende technieken uit de optica. Hij gebruikte als zendantenne een

cilindrische reflector waarin zich in het brandpunt een vonkzender met dipoolantenne bevond.

Door een hoge spanning over de vonkbrug aan te brengen ontstond door ionisatie van de lucht een kortsluiting (een vonk). Vergelijk dit met de werking van een bougie in een benzinemotor. Deze kortsluiting veroorzaakte kortstondig een elektrische stroom in de antenne, bij een frequentie die gelijk is aan de resonantiefrequentie van de antenne.

Hierdoor ontstonden er elektromagnetische velden die zich in de vrije ruimte konden voortplanten. Door het gebruik van een metalen reflector ('spiegels') werden deze golven versterkt in een bepaalde richting, analoog aan het gebruik van spiegels bij lichtsignalen. Hertz toonde aan dat deze golven zich konden voortplanten door op enige afstand een ontvangstantenne te plaatsen. Deze bestond weer uit een cilindrische reflector met in het brandpunt een metalen ring met instelbare vonkbrug. Door nu te meten bij welke schroefinstelling er een vonkje ontstond in de ontvanger kon hij de relatieve sterkte van het elektromagnetische veld bepalen. Op deze wijze heeft hij de wetten van Maxwell experimenteel geverifieerd en heeft hij voor het eerst laten zien dat draadloze communicatie mogelijk is. Hertz kon met zijn opstelling een afstand van meer dan 5 km overbruggen bij een frequentie van ongeveer 430 MHz [3,4]. Helaas is Hertz op zeer vroege leeftijd gestorven (36 jaar) waardoor hij zijn werk niet heeft kunnen voortzetten.

Een paar jaar later was het Marconi die wel brood zag in de ontdekkingen van Hertz en zijn voorgangers. Marconi was geen wetenschapper pur sang zoals Hertz en Maxwell, hij was een echte ingenieur die commerciële toepassingen zag voor het overbrengen van informatie door middel van radiogolven. Hij verbeterde de opstelling van Hertz grondig waardoor het hem in 1899 voor het eerst lukte om signalen van Engeland naar Frankrijk over te zenden. In 1901 realiseerde Marconi de eerste transatlantische radioverbinding tussen Poldhu in Engeland en Newfoundland. Ook Marconi gebruikte een vonkzender die door middel van een morsecode werd geschakeld. De antennes die Marconi hiervoor gebruikte waren enorm groot, tot wel 65 meter hoogte bij een frequentie in de buurt van 1 MHz. Deze antennes waren dus duidelijk niet onzichtbaar. De ingenieur Marconi ontving in 1909 de Nobelprijs voor zijn werk.

Alhoewel de zend- en ontvangstinstallaties van Marconi en Hertz erg primitief waren, kunnen we er mijns inziens toch nog steeds wat van leren. De antenne was integraal onderdeel van de werking van de zender en ontvanger en het geheel werd door één persoon integraal ontworpen. Tegenwoordig is dit wel anders. Tegenwoordig zit er vrijwel altijd een 50 Ohm-transmissielijn of connector tussen de antenne en de zender of ontvanger. Indien we antennes onzichtbaar willen maken, zullen we van dit 50 Ohm-dogma af moeten stappen. Ik zal hier later in mijn betoog op terugkomen.

Na Marconi's eerste experimenten is het allemaal erg snel gegaan, mede door technische innovaties zoals de uitvinding van radiobuizen en later door de uitvinding van de transistor en geïntegreerde circuits. Er ontstonden vanaf de jaren twintig van de vorige eeuw talloze nieuwe toepassingen die onze maatschappij dramatisch veranderd hebben. Denk hierbij aan de start van radio- en later tv-uitzendingen, de ontwikkeling van radar rond de Tweede Wereldoorlog en later de opkomst van satellietcommunicatie (tv, GPS).

De radiotechnologie heeft ook in de fundamentele wetenschapwereld voor belangrijke doorbraken gezorgd. In 1965 ontdekten Arno Penzias en Robert Wilson, beide werkzaam bij Bell Labs, tijdens het calibreren van een ontvangststelsel voor satellietcommunicatie dat er altijd een bepaalde onverklaarbare achtergrondruis aanwezig was van 3.5 K die niet door de ontvanger of door de antenne zelf veroorzaakt kon zijn. Deze ruis bleek kosmische achtergrondstraling te zijn die een van de belangrijkste aanwijzingen vormde van de oerknal-theorie in de astronomie [6]. Later hebben Penzias en Wilson hiervoor de Nobelprijs ontvangen. Ook is met radio-astronomie de bekende 21 cm-waterstoflijn ontdekt met de bijbehorende Dopplerverschuiving, zoals voorspeld door H.C. van der Hulst, student van de bekende Nederlandse astronoom Jan Oort. De 21 cm-waarnemingen van externe sterrenstelsels hebben onder andere het bestaan van donkere materie aangetoond. In Nederland hebben we nog steeds een vooraanstaande positie op het gebied van de radio-astronomie, onder andere met de Westerborkradiotelescoop en met de nieuw te bouwen LOFAR- en SKA-telescoop.

Recenter is de radiotechnologie in een stroomversnelling geraakt door de opkomst van draadloos internet en, last but not least, de ontwikkeling van mobiele telefonie in de jaren negentig. Ruim honderd jaar na de ontdekking van radiocommunicatie is vrijwel iedereen altijd en overal bereikbaar. Wie kent er nog een puber zonder een mobieltje?

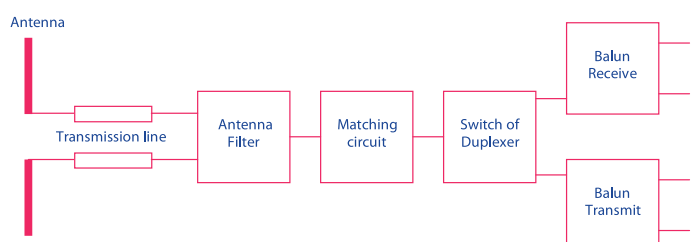
De halfgeleiderindustrie heeft hieraan een belangrijke bijdrage geleverd. Door de complete elektronica van de radiozenders en -ontvangers te integreren in zogenaamde geïntegreerde circuits (IC's ofwel 'chips') is het mogelijk geworden om tegen extreem lage kosten een compleet systeem te bouwen. Een compleet ontvanger IC die FM/AM-radio kan ontvangen en omzetten in een audiosignaal kost tegenwoordig nog minder dan een pak melk.

Ontwerp en modellering van front-endstructuren

Alvorens in te gaan op de onderzoeksuitdagingen waarop ik me de komende jaren wil gaan storten, is het noodzakelijk om mijn onderzoeksgebied nader te definiëren. Mijn onderzoeksdomein beperkt zich hoofdzakelijk tot wat men onder vakbroeders het 'front-end' van een draadloos systeem noemt. Een goede Nederlandse vertaling heb ik hiervoor helaas niet. Volgens van Dale betekent front-end 'initieel' ofwel 'start'. In de softwarewereld bedoelen we er 'gebruikersinterface' mee. Het front-end zoals ik dat in mijn betoog gebruik is dat deel van het totale radiosysteem dat zich tussen de actieve elektronica en de vrije ruimte bevindt, zoals schematisch weergegeven in figuur 2. Meestal zien we hierbij de volgende onderdelen terug.

- Antenne, die zowel een elektromagnetisch signaal kan ontvangen als kan uitzenden. Dit kan ook een stelsel (Engels: array) van antennes zijn.
- Transmissielijnen en andere verbindingen (Engels: 'interconnect'), die elektromagnetische signalen van het ene deel van het systeem naar het andere transporteren. Overigens vinden we transmissielijnen ook terug in de RF-elektronica.

figuur 2: Definitie van een frontend van een radiosysteem.



- Antennefilter, dat zorgt voor de onderdrukking van ongewenste stoorsignalen die buiten het gewenste frequentiegebied liggen.
- Aanpasnetwerk (Matching circuit), dat zorgt voor een optimale vermogensoverdracht van het ene blok naar het andere.
- Switch of duplexer, waarmee het ontvangst- en zendpad van elkaar gescheiden worden.
- Balun (Balanced-to-Unbalanced), welke zorgt voor het omzetten van een ongebalanceerd signaal (draad boven een grondvlak) naar een gebalanceerd signaal (twee parallelle draden zonder grondvlak).

Voor de leken onder u wil ik ter vergelijking graag de sproei-installatie uit de tuin erbij halen. Deze bestaat uit een actief gedeelte, namelijk de waterpomp, en een passief gedeelte, namelijk de PVC-pijpen ('transmissielijn'), diverse koppelstukken ('matching en filter'), kranen ('switch/duplexer') en de sproeikoppen ('antenne-array') die het water de vrije ruimte in spuiten. Dit passieve gedeelte kunnen we nu zien als het 'front-end', vergelijkbaar met het front-end in radio's. Het enige verschil is dat er in plaats van water, elektromagnetische golven doorheen gaan.

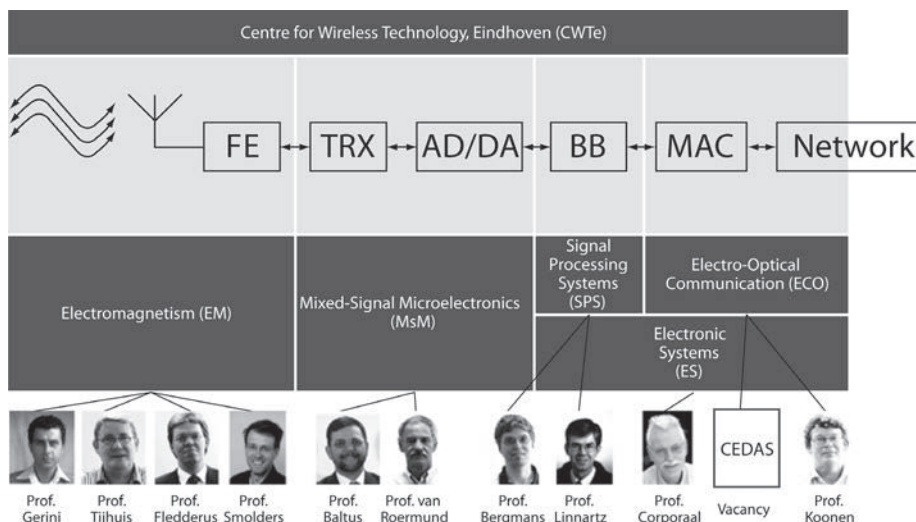
Zoals ik al aangaf is het front-end een onderdeel van een compleet radiosysteem. De andere onderdelen van het radiosysteem worden door collega's van andere vakgroepen aan deze universiteit onderzocht. Deze expertisegebieden worden samengebracht in het recent opgerichte onderzoekscentrum CWT/e (Centre for Wireless Technology Eindhoven) van de faculteit Elektrotechniek van de TU/e, zie figuur 3. Het

unieke van dit instituut is dat alle kennisgebieden van een compleet draadloos systeem hierin samenkomen. Ik ben dan ook erg verheugd hier onderdeel van uit te maken.

In het front-end is de antenne uiteraard het bekendste onderdeel, u bent er allen bekend mee. Sterker nog, de kans is groot dat u er een stuk of vijf in uw broekzak of tasje heeft zitten. Een moderne mobiele telefoon heeft namelijk een stuk of vijf antennes en dit aantal zal de komende jaren alleen maar toenemen. Met een recente mobiele telefoon, waarmee je uiteraard kunt bellen (GSM/UMTS), kun je ook gebruikmaken van andere diensten, zoals Bluetooth, WLAN, GPS en FM-radio. Deze draadloze functies gebruiken verschillende frequentiebanden, waardoor er meerdere antennes, en dus ook front-ends, nodig zijn. De technologieën die gebruikt worden om dergelijke front-ends te realiseren zijn divers, variërend van printplaat (PCB) tot IC-technologieën. De fysieke afmeting van het front-end hangt uiteraard af van de gebruikte golflengte, maar is in de regel vrij groot en dus ook relatief duur in vergelijking met de rest van het systeem. Vandaar ook een sterke wens voor miniaturisatie van het front-end, met als uiteindelijke doel om het zo klein mogelijk te maken; het liefst zelfs onzichtbaar. Ik zal hier later in mijn betoog in meer detail op terugkomen.

Het front-end speelt op het terrein van modellering een brugfunctie. Ontwerpers van actieve circuits zoals IC-ontwerpers gebruiken in de regel modellen die gebaseerd zijn op spanningen en stromen, zoals beschreven in de bekende spanning- en stroomwetten van Kirchhoff. Hierbij zijn de modellen gebaseerd op een aaneenschakeling

figuur 3: CWT/e.



van discrete componenten waaronder weerstanden, condensatoren, spoelen en spanning- en stroombronnen. In de vrije ruimte, waar de elektromagnetische signalen zich voortplanten, gebruiken we deze begrippen niet. In de vrije ruimte denken we in termen van elektromagnetische golven, die beschreven worden door de Wetten van Maxwell. Beide wetten met bijbehorende ontwerp tools komen bij elkaar in het front-end domein.

Een goed ontwerp van een front-end kan alleen gemaakt worden indien we accurate modellen hebben waarmee we een optimaal ontwerp kunnen realiseren. Hierbij willen ontwerpers ook nog eens een model hebben waarmee ze in een kort tijdsbestek een goed ontwerp kunnen maken. Hier zit dan ook de uitdaging. In de afgelopen 25 jaar is er in de vakgroep Elektromagnetisme onder leiding van prof.dr. Anton Tjihuis veel ervaring opgedaan op het gebied van 'Computational Electromagnetics', waarbij de Wetten van Maxwell met een numerieke methode opgelost worden. Een voorbeeld hiervan is de zogenaamde 'Momenten Methode' [8]. Deze methode is gebaseerd op een integraalrepresentatie van de Wetten van Maxwell. Het elektromagnetische veld in de vrije ruimte wordt hierbij uitgedrukt in integralen over elektrische en magnetische oppervlaktestromen op een bepaald oppervlak. Vervolgens wordt dit oppervlak onderverdeeld in een rooster van discrete segmenten, waarbij de stromen op ieder segment constant wordt verondersteld. Op deze manier vinden we dan een stelsel van lineaire vergelijkingen die we numeriek kunnen oplossen. Tijdens mijn promotieonderzoek begin jaren negentig heb ik deze methode toegepast voor het modelleren van microstripantennes en phased-array antennes, waarbij ik zowel eindige als ook oneindige configuraties heb onderzocht [10,11]. Momenteel zijn er diverse commerciële softwarepakketten verkrijgbaar die gebruikmaken van deze of een aanverwante methode. Voorbeelden hiervan zijn Momentum (Momenten Methode) [12] en HFSS (Eindige-elementen methode) [13]. Het nadeel van elektromagnetisch (EM) ontwerpen is dat het erg tijdrovend is. De simulatie van een complexe structuur met een afmeting van golflengte*golflengte (bijv. $5 \times 5 \text{ mm}^2 @ 60 \text{ GHz}$) kost al snel een hele dag op een moderne computer. Vandaar ook dat EM-tools vaak alleen ter verificatie worden gebruikt en niet zozeer voor het ontwerpen zelf. Overigens wordt aan het opvoeren van de snelheid van numerieke EM-tools in de vakgroep Elektro-

magnetisme aan deze universiteit hard gewerkt. In onze vakgroep zijn er een paar unieke concepten ontwikkeld, die specifiek binnen een ontwerp toepassing een aanzienlijke versnelling ('van uren naar minuten') gaat opleveren.

Een goed compromis tussen nauwkeurigheid en snelheid kan verkregen worden door een parametrisch equivalent model van de structuur te maken, gebruikmakend van spoelen, condensatoren en weerstanden. De waarden van de componenten zijn dan gebaseerd op eerder gedane EM-simulaties.

De optimale ontwerpmethodiek van een front-end kunnen we als volgt samenvatten [14]. Uitgaande van een specificatie wordt een keuze gemaakt voor een circuit topologie. Een optimaal circuit wordt dan bepaald met behulp van een parametrisch equivalent model (L,C,R). Daarna volgt het layout-ontwerp, waarop een complete EM-simulatie gedaan wordt, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de eerder genoemde Momenten Methode. Na een aantal iteraties volgt hieruit het definitieve layout-ontwerp dat geproduceerd kan worden in een PCB- of IC-fabriek. De meetresultaten kunnen daarna aanleiding zijn voor verdere iteraties in het ontwerp proces.

Trends in radiocommunicatie

Graag wil ik nu ingaan op de trends die we zien in draadloze systemen. Belangrijk is om te weten wat dit betekent voor de front-ends.

Kijken we allereerst naar de frequentiebanden waarin de signalen worden uitgezonden, dan zien we dat zowel de operationele frequentie zelf alsook de bijbehorende kanaalbandbreedte steeds verder toenemen. De bandbreedte bepaalt de hoeveelheid informatie die per seconde verzonden kan worden. Het begon vroeger allemaal bij zeer lage frequenties in het kHz-gebied, bij de minder jeugdigen onder u ook wel bekend als het lange-golf- of midden-golfbereik. Vanaf de jaren negentig tot nu toe zien we dat met name het frequentiebereik van 1-5 GHz in gebruik wordt genomen voor onder andere mobiele telefonie (onder andere GSM) en voor draadloos internet (WiFi). De trend naar hogere frequenties wordt enerzijds ingegeven door schaarste van beschikbare frequentiebanden onder de 1 GHz, maar uiteraard ook door de toenemende vraag naar datasnelheid en dus bandbreedte. Omdat hierbij de absolute en niet de relatieve

bandbreedte van belang is bieden hogere frequenties dus duidelijk voordelen. Momenteel is het zo dat de beschikbare bandbreedte voor draadloze toepassingen met ongeveer een factor twee per achttien maanden toeneemt. Deze wet staat bekend als de wet van Edholm, vergelijkbaar met de welbekende wet van Moore uit de halfgeleiderindustrie [15].

Mijn verwachting is dan ook dat we in de komende vijf tot tien jaar met name bij hogere frequenties nieuwe toepassingen zullen gaan zien. Bijvoorbeeld in de 60 GHz-band, waar een absolute bandbreedte tot wel 7 GHz beschikbaar is, wordt momenteel veel onderzoek gedaan. Met het beschikbaar komen van deze technologie zal het mogelijk zijn om in een paar seconden een complete DVD draadloos te downloaden.

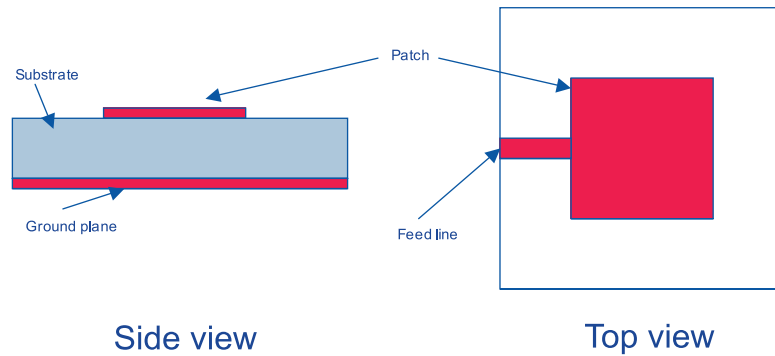
De toename van de frequentie heeft verregaande consequenties voor het frontend. De meest aantrekkelijke is wel dat de antenne zodanig klein wordt dat het mogelijk wordt om deze monolithisch te integreren met de rest van de radio in een geïntegreerd circuit (IC). Maar omdat het effectieve antenne-oppervlak nu zo klein is zal het voor een aantal toepassingen noodzakelijk zijn om meerdere antennes te gebruiken, in een zogenaamde phased-array configuratie. Ik zal op het phased-array concept en de integratie van de antenne in een IC later in mijn betoog uitgebreid terug komen.

Een andere trend, die gedeeltelijk gekoppeld is aan de toename in frequentie en bandbreedte, is de ontwikkeling van de communicatie-afstand tussen zender en ontvanger. Was het in 1923 mogelijk om vanuit Kootwijk rechtstreeks draadloos te communiceren met Nederlands-Oost-Indië, momenteel is het bereik van een draadloos communicatiesysteem zoals bijvoorbeeld WLAN niet groter dan 10-100 meter. In de mobiele telefonie zien we een soortgelijke trend. De beschikbare datasnelheid en dus bandbreedte neemt toe, terwijl de celgrootte die met een enkel basisstation te bedienen is steeds kleiner wordt. Deze ontwikkelingen hebben een aantal belangrijke consequenties. Doordat ieder basisstation in het algemeen verbonden is met een vaste verbinding met een grote bandbreedte, hebben we dus steeds meer vaste verbindingen nodig om al die kleine draadloze netwerken met elkaar te verbinden. Dus hoe meer draadloos, des te meer 'draden' we nodig hebben! Ten tweede zullen we een explosie zien van het aantal antennes per inwoner. Indien ik mezelf beschouw als een

representatieve gebruiker van draadloze applicaties, dan tel ik voor mijn gezin in 2008 een totaal van 26 antennes, waarbij ik mijn verzameling buizenradio's nog niet eens meegeteld heb. Uitgaande van de eerder genoemde trends in bandbreedte en celgrootte, zal een typisch Nederlands huishouden in 2018 meer dan 300 antennes in gebruik hebben. De informatiebits vliegen u dus letterlijk links en rechts om de oren. De sterke toename van het aantal basisstations heeft ook een keerzijde. Alleen al voor mobiele telefonie zijn er jaarlijks meer dan 850.000 nieuwe basisstations nodig [16], waarvan de helft voor macrocellen. Een basisstation voor een macrocel heeft een gemiddeld stroomverbruik van meer dan 5 kW. Dit betekent grofweg dat we per jaar een toename hebben van 2.5 GW aan elektriciteitsconsumptie, waarbij ik dan het stroomverbruik van de mobiele telefoons zelf buiten beschouwing laat. Dus alleen al voor de nieuwe basisstations zullen we de komende tien jaar wereldwijd meer dan vijftig nieuwe middelgrote kolencentrales nodig hebben. Het is dan ook extreem belangrijk dat de wetenschap aan nieuwe draadloze technologieën werkt die de efficiëntie, uitgedrukt in de hoeveelheid energie die het kost om 1 bit aan informatie te communiceren, sterk verbeteren.

Draadloze systemen moeten bij voorkeur niet zichtbaar zijn. Veel mensen vinden een antenne op het dak van een huis niet mooi. In Nederland hebben we ze dan ook bijna niet meer, afgezien van schotelantennes voor satelliet-tv-ontvangst. In diverse plaatsen in Nederland is er de afgelopen jaren onrust ontstaan door de plaatsing van UMTS-masten. Los van het feit of deze systemen gezondheidsproblemen kunnen veroorzaken, zijn ze momenteel wel erg zichtbaar. Vandaar ook de wens voor 'onzichtbare' antennesystemen die bij voorkeur ook nog eens minder elektromagnetische energie uitstralen.

Eenzelfde ontwikkeling hebben we gezien in het klein, bijvoorbeeld in een mobiele telefoon of in een navigatiesysteem met GPS. Hadden de eerste exemplaren uit de jaren negentig nog zichtbare antennes, momenteel zijn alle antennes ingebouwd en voor de consument niet meer zichtbaar. Een belangrijke innovatie die dit mogelijk maakt heeft zijn microstripantennes. Dit concept is ontwikkeld in de jaren tachtig en negentig en maakt het mogelijk om een antenne te integreren op dezelfde printplaat (PCB) waarop ook de elektroni-



figuur 4: Microstripantenne.

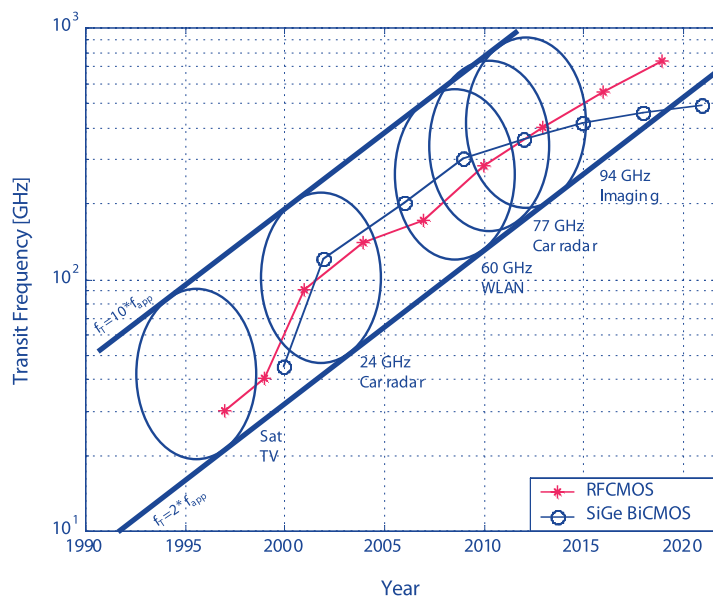
sche componenten zich bevinden. Ik heb hier tijdens mijn promotieonderzoek ook een bijdrage aan mogen leveren [9]. Figuur 4 laat een dwarsdoorsnede zien van een microstripantenne. De microstripantenne bestaat uit een metalen plaat, ook wel 'patch' genoemd, met een lengte van ongeveer een halve golflengte die boven een metalen grondvlak geplaatst is. Hiertussen bevindt zich een diëlektricum, hetgeen in het geval van een mobiele telefoon relatief goedkoop PCB-materiaal is. Een variant op de microstripantenne is de elektromagnetisch gekoppelde (EMC)-microstripantenne. Hierbij is de transmissielijn niet rechtstreeks verbonden met de metalen patch, waardoor zogenaamde 'connectorless' configuraties mogelijk zijn. Een andere bekende variant van de microstripantenne is de PIFA-antenna [17].

In de toekomst zal een verdere integratie van antenne en front-end noodzakelijk zijn zowel van

wege de toename van de operationele frequentie en bandbreedte, alsmede vanwege de noodzaak van verdergaande kostenreductie.

Een laatste belangrijke trend die ik met u wil bespreken betreft de ontwikkelingen in de analoge en digitale elektronica en dan in het bijzonder de stormachtige ontwikkeling van de halfgeleiderindustrie. Velen van u zullen bekend zijn met de wet van Moore voor Silicium IC-technologieën. Gordon Moore is een van de oprichters van Intel. Hij voorspelde in mijn geboortjaar 1965 dat iedere twee jaar het aantal transistors per vierkante millimeter IC-oppervlak verdubbelt. Tot nu toe is zijn wet akelig nauwkeurig gebleken. Behalve dat we steeds meer elektronica in een IC (chip) kunnen stoppen heeft Moore's law nog een andere consequentie die ook zeer relevant is voor radiocommunicatie. Doordat de transistoren steeds kleiner worden, kunnen ze ook bij steeds hogere frequen-

figuur 5: Ontwikkeling van de maximale frequentie van een Silicium ICtechnologie (f_T) en de applicatiefrequentie [18, 19].



ties schakelen. Enerzijds zijn we hierdoor in staat om steeds snellere digitale IC's te ontwikkelen, anderzijds kunnen we met dezelfde IC-technologie ook ontvangers en zenders maken voor draadloze radiocommunicatie bij steeds hogere frequenties. In figuur 5 ziet u de ontwikkeling van de transitiefrequentie f_T van IC-technologieën over de jaren voor standaard CMOS- en BiCMOS- C-technologieën [19]. In dezelfde figuur staan tevens verschillende draadloze applicaties aangeduid die de komende jaren ontwikkeld zullen gaan worden. Om daadwerkelijk elektronische circuits te kunnen bouwen in een bepaalde IC-technologie moet de transitiefrequentie f_T ergens tussen een factor 2 tot 10 boven de applicatiefrequentie liggen. Dus om een radio-ontvanger voor 60 GHz te maken hebben we een IC-technologie nodig met een f_T tussen de 120 en 600 GHz. Deze IC-technologieën zijn inmiddels beschikbaar voor massaproductie, voorbeelden hiervan zijn CMOS045 en Qubic4X.

We kunnen dus stellen dat de ontwikkeling van Silicium IC-technologie gelijke tred houdt met de behoefte om draadloze systemen met meer bandbreedte bij een hogere operationele frequentie te laten werken. Alleen hierdoor zal het mogelijk zijn om nieuwe en betaalbare draadloze systemen op de markt te brengen.

Uitdagingen voor de toekomst: onzichtbare antennes

Op basis van de trends die ik zojuist geschetst heb, kunnen we een aantal belangrijke uitdagingen voor het front-end van radiosystemen definiëren. Ik wil er hier een tweetal bespreken die beide te maken hebben met het minder zichtbaar, of zelfs onzichtbaar maken van antennesystemen.

Allereerst moeten we definiëren wat we precies met onzichtbaar bedoelen. Je kunt iets niet zichtbaar maken door het te bedekken, denk bijvoorbeeld aan de antennes die in diverse RFID-toepassingen (zoals de OV-chipkaart) gebruikt worden. Deze antennes zijn best groot, maar niet als zodanig zichtbaar. Een andere wijze van onzichtbaar zijn is wanneer het niet meer door het menselijk oog waarneembaar is. Laten we met dit laatste aspect beginnen.

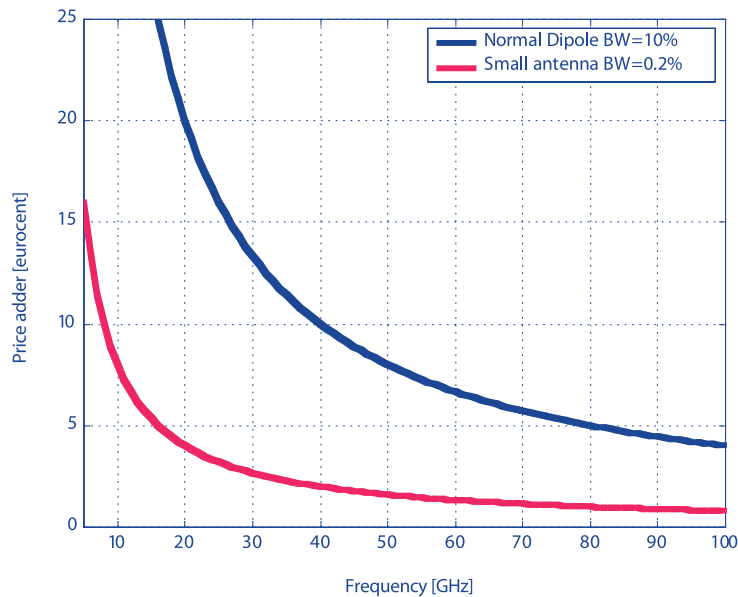
Antenne-on-Chip (AoC)

In de meeste draadloze systemen zoals we die momenteel kennen is de antenne veruit de grootste component van het radiosysteem. Met IC- en System-in-Package (SiP)-technologieën kunnen we een radiosysteem erg klein maken, maar de antenne blijft een probleem [20]. Hoe kunnen we deze nu kleiner maken? Het grote probleem is dat we signalen willen overbrengen van een transmissielijn op een IC of op een printplaat naar de vrije ruimte, waarbij de golflengte in de vrije ruimte bepaald wordt door de lichtsnelheid, die we nu eenmaal niet kunnen veranderen. Antennes zijn vaak resonante structuren wat betekent dat er minimaal een halve golflengte op moet passen. Hierdoor is de antenne-afmeting direct gekoppeld aan de frequentie, een verdubbeling van de frequentie betekent een halvering van de antenne-afmeting.

Het is uiteraard mogelijk om een elektrisch kleinere antenne te gebruiken, waarbij de afmeting significant kleiner is dan een halve golflengte. Over deze vraag is al vanaf de Tweede Wereldoorlog nagedacht. Dit heeft geresulteerd in de bekende 'Chu-Harrington'-limiet. Deze limiet zegt dat je een antenne niet ongestraft kleiner kunt maken. De prijs die men betaalt bij het gebruik van een elektrisch kleine antenne is dat de antenne extreem frequentieafhankelijk wordt, we zeggen dan dat de antenne een kleine bandbreedte heeft. Vergelijk dit met de ontvangst van FM-zenders in een autoradio. Indien de antenne een te kleine bandbreedte heeft, dan kun je bijvoorbeeld wel Radio 2 ontvangen, maar verder niets. Een elektrisch kleine antenne heeft een zeer sterk nabij reactief elektromagnetisch veld, equivalent aan een elektrisch circuit met een hoge kwaliteitsfactor Q , hetgeen resulteert in een kleine bandbreedte. Sommigen denken slim te zijn door een serieweerstand aan te sluiten op de antenne. Dit vergroot zeker de bandbreedte, maar het maakt de antenne niet beter, omdat de energie nu in de weerstand verdwijnt, en niet wordt uitgezonden door de antenne. De antenne heeft dan een slecht rendement, hetgeen niet gewenst is.

U zou nu dus kunnen denken dat antennes niet onzichtbaar gemaakt kunnen worden. Echter, niets is minder waar. Ik zal nu uitleggen hoe het toch kan.

De eenvoudigste manier om een antenne klein te maken is door de frequentie te verhogen. Laat dit



figuur 6: Schatting van de kosten van een geïntegreerde antenne op een IC uitgaande van 2 eurocent per mm² (2015).

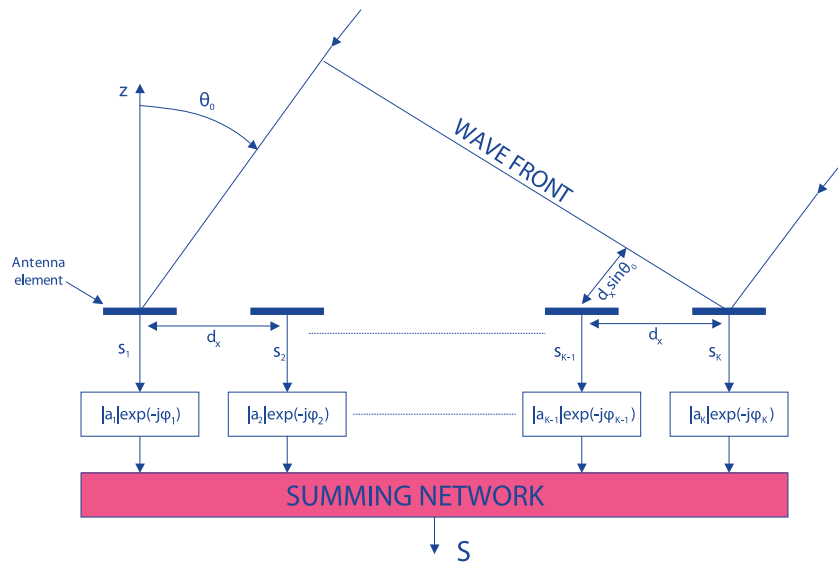
nu ook net de trend zijn in de draadloze communicatie, zoals ik dat eerder in mijn betoog heb laten zien. Gedreven door deze trend zullen we de komende jaren dan ook een verdergaande miniaturisatie zien met als ultieme oplossing een Antenne-on-Chip (AoC). Dan kunnen we met recht spreken over een onzichtbare antenne. Laten we eerst eens naar de economische kant van de zaak kijken. De prijzen van IC-processen dalen jaarlijks. In 2015 zal voor een IC-technologie die geschikt is voor hoge frequenties een prijs gevraagd worden ergens tussen de 1 en 3 eurocent per mm². Samen met de fundamentele limiet van antennes kunnen we dan uitrekenen wat de kosten zijn van het integreren van een antenne op een IC, zie figuur 6.

Bij 60 GHz ligt de kostprijs dus ergens tussen de 1.5 en 6.5 eurocent in 2015. Nu zult U denken dat dit erg goedkoop is, maar in de IC-wereld telt elke cent. De kostprijs van een radio-IC voor draadloze communicatie ligt ergens tussen de 0.30-2 euro, wat laat zien dat het economisch interessant wordt om de antenne mee te integreren bij frequenties boven pakweg 10 GHz.

Tel hierbij op dat het verpakken ('Packaging') van het IC veel eenvoudiger en dus goedkoper is wanneer de antenne geïntegreerd wordt op het IC, hetgeen met name bij hogere frequenties relevant is (f 10 GHz). We kunnen dan zelfs bij hoge frequenties gebruik blijven maken van goedkope draadbond-technologieën.

Afgezien van de economische haalbaarheid zie ik voor dit principe een aantal grote technische voordelen. Ten eerste hebben we geen RF-interconnectie meer van het IC naar de buitenwereld. Deze verbindingen tussen het IC en de applicatie er omheen zorgen bijvoorbeeld bij 60 GHz voor een verlies dat snel kan oplopen tot 3 dB of meer. Hierdoor zal de typische reikwijdte van het draadloze radiosysteem halveren. Door de antenne rechtstreeks op het IC te plaatsen hebben we deze verbindingen niet meer nodig.

Een ander voordeel is dat we eindelijk van het 50 Ohm-dogma verlost zijn. Op dit moment is het zo dat in vrijwel de gehele RF- of microgolfgemeenschap '50 Ohm' gebruikt wordt als interface tussen de verschillende subsystemen, inclusief de antennes. Het gebruik van 50 Ohm-interfaces is historisch in ons vakgebied gesloten. Vrijwel iedereen conformeert zich hieraan, maar niemand vraagt zich af waarom we dit eigenlijk gebruiken. Wanneer we het 50 Ohm-dogma loslaten ontstaat er een nieuwe wereld van mogelijkheden. Zo kunnen we bijvoorbeeld een optimale lage-ruis-versterker ontwerpen die rechtstreeks, dus zonder transmissielijn ertussen, verbonden is met een inductieve differentiële antenne. Hierdoor ontstaat een zeer compact ontwerp van een ontvanger met geïntegreerde antenne op een IC, die een veel betere gevoeligheid heeft dan traditionele ontwerpen tegen lagere kosten. Voorwaarde is wel dat ontwerpers uit de verschillende disciplines intensief met elkaar samenwerken. Het nieuwe instituut CWT/e kan hierbij een belangrijke rol spelen,



figuur 7: Lineaire phased-array met elektronische bundelsturing.

omdat alle noodzakelijke disciplines daarin op top-niveau aanwezig zijn.

Behalve voordelen kleven er ook nadelen, of liever gezegd wetenschappelijke uitdagingen, aan de integratie van antennes en front-ends op een IC. De belangrijkste uitdaging is wel om een goed antennerendement (Engels: efficiency) te realiseren bij gebruik van een standaard Silicium (Bi-) CMOS IC-proces. Initiële resultaten behaald aan de TU/e laten zien dat het zeker mogelijk is om een antennerendement boven de vijftig procent te realiseren met bestaande IC- en backendprocessen van NXP Semiconductors.

Phased-arrays

Een andere manier van iets onzichtbaar maken ontstaat wanneer de functionaliteit van een voorwerp niet opvalt. Denk bijvoorbeeld aan een designradiator in een badkamer, deze verwarmt de ruimte maar doet tevens dienst als handdoekenrekje. Voor een aantal draadloze toepassingen is het wenselijk om vanwege maatschappelijke redenen het antennesysteem ook minder opvallend te maken. Al eerder noemde ik de maatschappelijke ophef rondom UMTS-antennes. Door deze een prominente plaats te geven dichtbij of zelfs op bestaande woningen ontstaat er veel onrust bij de mensen over de invloed van UMTS-signalen op de volksgezondheid, terwijl wetenschappelijk bewijs hiervoor ontbreekt. Afgezien van terechte of onterechte bezorgdheid over de gezondheid zijn deze antennemasten vaak ook erg lelijk om te zien. Een ander voorbeeld vormen de welbekende satelliet-tv-

schotels die in bepaalde wijken van grote steden op vele huizen te vinden zijn. Vanuit welstand is hierop veel commentaar, waardoor er al diverse appartementencomplexen zijn waar het gebruik van schotelantennes niet is toegestaan. Ook hier is vanuit de consument en vanuit de satelliet-tv-exploitanten behoefte aan minder zichtbare, onopvallende, antennesystemen.

Een technologie die zich hiervoor leent zijn de zogenaamde phased-array antennes. In de afgelopen decennia is er veel onderzoek gedaan aan phased-arrays, ook in Nederland. We kunnen zelfs zeggen dat Nederland een vooraanstaande positie inneemt op dit gebied. De toepassing van phased-array technologie is tot nu toe vooral beperkt gebleven tot militaire en andere professionele toepassingen, zoals bijvoorbeeld radio-astronomie en satellietcommunicatie. Hieraan heb ik tijdens mijn promotiewerk en in de jaren daarna een bijdrage kunnen leveren.

Hoe werkt een phased-array systeem eigenlijk? In figuur 7 is het blokdiagram van een een-dimensionale (lineaire) phased-array antenne getekend. Het lineaire phased-array systeem bestaat uit een K -tal identieke antenne-elementen op onderlinge afstand d_x van elkaar. Voor het gemak veronderstellen we even dat de antenne-elementen isotrope stralers zijn, die in alle richtingen even gevoelig zijn. Achter ieder antenne element bevindt zich een bepaald elektronisch circuit dat zorgt voor een complexe weging van het ontvangen signaal s_k . De complexe weging bestaat uit een amplitude

weging (Engels: 'Taper') en een fase draaiing of tijdsvertraging. Stel nu dat er een elektromagnetische vlakke golf invalt op het array onder een hoek θ_0 met de z-as. Doordat de vlakke golf onder een hoek invalt zal deze eerder aankomen bij antenne-element K dan bij de andere elementen. Zo zit er dus een tijdsverschil ofwel een faseverschil tussen de ontvangen signalen van alle opeenvolgende antenne-elementen. Door deze faseverschillen te compenseren in het elektronische circuit kunnen we ervoor zorgen dat alle signalen weer in fase komen en daarna in fase kunnen worden opgeteld in het optelnetwerk. Uiteraard kunnen we dit doen voor iedere willekeurige hoek van inval, waardoor we als het ware de gevoeligheid van de antenne, ofwel de antennebundel elektronisch kunnen sturen. Een phased-array antenne is dus eigenlijk een soort platgeslagen schotelantenne, met als grote verschil dat de 'kijkrichting' niet mechanisch, maar elektronisch kan worden ingesteld, dus zonder de antenne te bewegen.

Het elektronisch compenseren van de fase en amplitude kan ook in het digitale domein worden uitgevoerd, we spreken dan over digitale bundelvorming. Het voordeel van digitale bundelvorming is dat het nu erg eenvoudig wordt om in meerdere richtingen tegelijkertijd te kijken.

Een voorbeeld van een tweedimensionale phased-array is het in Nederland ontwikkelde APAR-systeem (www.thalesgroup.com/netherlands). APAR (Advanced Phased Array Radar) is een supermodern radarsysteem met elektronische bundelsturing die momenteel gebruikt wordt op Nederlandse fregatten. Ik heb in de jaren negentig een bijdrage mogen leveren aan de ontwikkeling van dit systeem.

Zoals gezegd is het phased-array concept in de afgelopen dertig jaar tot volwassenheid gekomen met name vanuit professionele toepassingen. Ik verwacht echter dat er in de komende tien jaar een doorbraak zal komen van de phasedarraytechnologie in een aantal commerciële draadloze toepassingen. Ik wil er hier een tweetal met u bespreken.

Een van de eerste commerciële toepassingen zijn basisstations voor mobiele communicatie. U kent deze lelijke masten wel. De huidige basisstations bevatten een wirwar van antennesystemen. Het zou toch veel mooier zijn als we dit zouden kunnen vervangen door een 'design-basisstation', waarbij

gebruik wordt gemaakt van de phased-array technologie. Bijkomende voordelen zijn dat de capaciteit (aantal mobiele telefoons per basisstation cel) enorm toeneemt, doordat we nu meerdere gerichte antennebundels kunnen maken. Hierdoor is het ook mogelijk om in een cel dezelfde frequentieband meerdere keren te gebruiken. Voor operators betekent dit een enorm kostenvoordeel, omdat er veel minder basisstations nodig zijn. Tevens, niet onbelangrijk tegenwoordig, zal het energieverbruik per basisstation enorm afnemen. Op dit moment is het rendement van een basisstation voor mobiele communicatie niet meer dan een schamele twee procent. Dit betekent dat 98 procent van de energie verloren gaat als warmte. Ik had u al eerder verteld dat er de komende tien jaar minstens 12.500 nieuwe grote windmolens nodig zijn voor de energievoorziening van basisstations. Door gebruik te maken van phasedarrays kunnen we de radiogolven gericht naar de gewenste mobiele gebruiker sturen, hetgeen resulteert in een hogere antenne-winst. Een factor tien moet hier zeker haalbaar zijn. Hierdoor zal er door basisstations veel minder energie uitgestraald worden en dan ook nog alleen in de richting waar zich daadwerkelijk een gebruiker bevindt. Dit helpt de onrust over mogelijke gezondheidseffecten te verminderen.

Een andere gebied waarin phased-arrays in het komende decennium zullen gaan doorbreken betreft millimetergolftoepassingen, bijvoorbeeld 60 GHz-ultrabreedband draadloze communicatie, 77 GHz-autoradar en 94 GHz-imaging. Autoradar treft u nu reeds al aan in de Mercedes S-klasse. Deze systemen zijn nu nog vrij prijzig, voor een echte doorbraak is het dus nodig om met kosteneffectieve oplossingen te komen. Bij autoradar kunnen we elektronische bundelvorming met behulp van phased-array technologie gebruiken. Omdat het systeem bij 77 GHz werkt, zijn de individuele antenne-elementen nu echter zo klein dat het mogelijk moet zijn om een complete phased-array antenne met bijbehorende elektronica te integreren op een IC. We spreken in dat geval niet meer over een AoC maar over een 'Phased-Array-on-Chip'. Als alternatief of tussenstap kunnen de antennes ook geïntegreerd worden in de verpakking van het IC, we spreken dan over een Antenne-in-Package (AiP). IC-technologieën die antenne-integratie mogelijk maken zijn inmiddels ook beschikbaar. Ik noem hierbij als voorbeeld de SiGe:C technologie (Qubic4Xi) van NXP [22].

Wetenschappelijk onderwijs

Tot nu toe heb ik U laten zien waar de onderzoeksuitdagingen in mijn vakgebied liggen. Nu wil ik iets vertellen over het onderwijs. De belangrijkste taak van een universiteit is en blijft naar mijn mening het geven van onderwijs. Deze universiteit dient studenten klaar te stomen voor bijvoorbeeld een carrière in het bedrijfsleven, waar een schreeuwend tekort is aan ingenieurs. Het wetenschappelijk onderzoek is hierbij ondersteunend, waarbij studenten leren onderzoek te doen op topniveau.

Er zijn een paar zorgelijke ontwikkelingen. Ten eerste blijkt het al jaren moeilijk te zijn om Nederlandse jongeren te interesseren voor het vak elektrotechniek. De instroom van studenten Elektrotechniek op de drie technische universiteiten is laag. Waarom kiezen studenten niet massaal voor het vak elektrotechniek? Een paar mogelijke redenen wil ik noemen:

- Oubollig imago. Elektrotechniek klinkt niet erg hip. Studenten klagen ook over de zichtbaarheid van het vakgebied. Hier ligt ook een rol voor deeltijdhoogleraren uit het bedrijfsleven. Die kunnen meehelpen om de maatschappelijke relevantie duidelijker te maken.
- Hoog 'nerd'-gehalte. Ik durf dit te betwijfelen. Elektrotechnici staan in het algemeen met beide benen in de maatschappij en zijn na hun studie vaak erg breed inzetbaar.
- Bijna geen vrouwelijke studenten en dus later ook nagenoeg geen vrouwelijke collega's. Ik denk dat het met name voor vrouwen een drempel is.

Een andere mogelijk zorgelijke ontwikkeling waar op de universiteit veel over gesproken wordt is het onderwijsniveau, en dan met name het wiskunde-

niveau van VWO-scholieren en het niveau van de opleiding Elektrotechniek zelf. Toen ikzelf Elektrotechniek studeerde bestond het eerste studiejaar zeker voor de helft uit wiskundevakken. Tegenwoordig is dit anders, de hoeveelheid wiskundevakken is tot een minimum beperkt. De vraag is of dit erg is. Door mijn ervaring in het bedrijfsleven weet ik dat de gemiddelde ingenieur na zijn studie niet veel met zijn wiskundige kennis doet. Dit komt omdat je bijna niets meer met de hand hoeft uit te rekenen. Ontwerpers van IC's, bijvoorbeeld, gebruiken allerlei computerprogramma's die alle sommetjes doen. Vroeger bestonden deze 'ontwerptools' niet en moesten er vaak eenvoudige mathematische modellen worden gemaakt om een probleem op te lossen.

Anderzijds is het zo dat je wel moet blijven nadenken, ook al zijn er allerlei mooie ontwerptools. Voor het oplossen van elektromagnetische problemen zijn er diverse commerciële softwaretools beschikbaar. Uit eigen ervaring kan ik zeggen dat hier regelmatig onzin uitkomt. Het is belangrijk dat de ingenieur die deze ontwerptools gebruikt bij benadering weet wat voor antwoord er uit moet komen. Mijn inziens leer je de basis van je vak en dus ook van de wiskunde alleen tijdens je opleiding. Dan heb je er de tijd en rust voor. Later lukt dit niet meer.

Een ander belangrijk facet van onderwijs is de experimentele kant. De twee motto's van mijn vroegere mentor Dr. Martin Jeuken waren dan ook "Meten is Weten" en "Meten is Zweten". Beide motto's zijn nog altijd van toepassing. Het RF-vak leer je pas echt als je daadwerkelijk hardware maakt en meet. Vooral van de fouten leer je. Vandaar ook dat ik erg verheugd ben dat we hier in Eindhoven een groot aantal experimentele faciliteiten beschikbaar hebben, waaronder een antennemeetkamer, een propagatielaboratorium en een millimetergolf waferprobe-opstelling. Deze zaken maken de studie fascinerend voor jongeren.

Mijn eigen bijdrage aan het onderwijs als deeltijdhoogleraar zal zich beperken tot het begeleiden van studenten, het participeren in nationale en Europese projecten en het herzien van het college 'Elektromagnetische golven en antennes'.



Referenties

1. Liuigi Galvani, "Viribus electricitatis". Vertaling door M.G. Foley, Burndy Library 1953, Norwalk.
2. T. Sarkar c.s. "History of wireless". Hoboken: John Wiley & Sons, 2006
3. A.D. Olver, "Trends in antenna design over 100 years". IEE Conference 100 years of radio, 5-7 Sept. 1995.
4. J.H. Bryant, "The first century of microwaves – 1886 to 1986". IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 36, May 1988, pp. 830-858.
5. A. Huurdeman, "The worldwide history of telecommunications". Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.
6. A.A. Penzias and R.W. Wilson, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 MC/s", Journal of Astrophysics, vol. 142, pp.419-421, 1965.
7. TIA's 2004, Telecommunications market review and forecast. www.tiaonline.org .
8. R.F. Harrington, "Field computation by moment methods". New-York: IEEE Press, 1993.
9. A.B. Smolders, "Microstrip phased-array antennas". PhD. thesis, 1994.
10. A.B. Smolders, M.E.J. Jeuken and A.G. Tjihuis, "Improved computational efficiency in the analysis of finite arrays of thick microstrip antennas". Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 15, No.4, pp. 517-555, 2001.
11. Beurden, M.C. van, A.B. Smolders, M.E.J. Jeuken, G.J. Werkhoven and E.W. Kolk., "Analysis of wideband infinite phased arrays of printed folded dipoles embedded in metallic boxes". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 50, pp. 1266-1273, Sept. 2002.
12. Momentum, www.agilent.com.
13. HFSS, www.ansoft.com.
14. Straten, F. v., A.B. Smolders, A. van Zuijlen, R. Ooijman, "Multi-band cellular RF solutions". IEEE Journal on Solid State Circuits, Vol. 39, no 10, pp 15981604, Oct. 2004.
15. Steven Cherry, "Edholm's law of bandwidth". IEEE Spectrum, July 2004, pp. 58-59.
16. www.gardner.com .
17. C.R. Rowell, "A capacitively loaded PIFA for compact mobile telephone handsets". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 45, no10, pp. 837-842, May 1997.
18. International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) 2007 www.itrs.net .
19. R. Piesiewicz c.s. "Short-range ultra-broadband terahertz communications: concepts and perceptions". IEEE Antennas & Propagation magazine, Vol. 49, Dec. 2007, pp. 24-39.
20. A.B. Smolders, N.J. Pulsford, P. Philippe, F.E. van Straten. "RF SiP: The next wave for wireless system integration". Invited paper IEEE RFIC/MTT Symposium 2004, Forth-Worth USA, pp. 233-236, June 2004.
21. L.J. Chu, "Physical limitations of omnidirectional antennas". J. Applied Physics, Vol. 19, pp. 1163-1175, December 1948.
22. P. Deixler et al. "QUBiC4X: An ft/fmax = 130/140 GHz SiGe:C-BiCMOS manufacturing technology with elite passives for emerging microwave applications". Proceeding of the Bipolar/BiCMOS Circuits and Tech. meeting, pp. 233-236, Sept. 2004.

Curriculum Vitae

Prof.dr.ir. Bart Smolders is per 15 juni 2007 benoemd tot deeltijdhoogleraar op het gebied van Electromagnetics in Wireless Telecommunication aan de faculteit Elektrotechniek van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e).

Bart Smolders (1965) studeerde Elektrotechniek aan de TU/e, waar hij in 1989 afstudeerde. Zijn militaire dienstplicht vervulde hij als officier van de Luchtmacht bij FEL-TNO in Den Haag. Vervolgens keerde hij terug naar de TU/e en promoveerde in 1994 op het gebied van microstrip phased-array antennas. Aansluitend trad hij in dienst bij Hollandse Signaal Apparaten (thans Thales) in Hengelo. Hij specialiseerde zich hier verder in het gehele Radio Frequency (RF) front-end van radarsystemen. In 1997 aanvaardde hij een functie bij ASTRON in Dwingeloo en werd projectleider van een zeer ambitieus project op het gebied van de radioastronomie. In 2000 besloot hij terug te keren naar het bedrijfsleven en trad in dienst van Philips Semiconductors (thans NXP) in Nijmegen. Hier was hij actief op het gebied van diverse draadloze toepassingen, zoals Bluetooth en Zigbee. Sinds 2007 is hij innovatiemanager van de Business Line Analog-Mixed-Signal, waarin de belangrijkste RF-activiteiten van NXP ondergebracht zijn. In datzelfde jaar werd hij benoemd tot deeltijdhoogleraar aan de TU/e. Naast zijn werk is hij lange tijd actief geweest als bestuurslid en hoofdredacteur van het Nederlands Elektronica en Radio Genootschap (NERG).

Unravelling 21st Century Riddles – Universal Network Visions from a Human Perspective

Nico Baken, Nico van Belleghem,
Edgar van Boven and Annemieke de Korte



Networks are omnipresent and universal. Mankind, for example, forms a social network. Today, information and communications technology (ICT) exponentially accelerates the interaction between the human nodes of this global social network. In that way, ICT appears to evoke a phase transformation, similar to the physical phase transitions of a thermodynamic system which characterise the transformation of matter. Finding that networks are omnipresent and universal, gives a cause for optimism! Indeed, we can profit from the network knowledge in the ICT sector by translating this knowledge horizontally to, for example, other nodes in the sector network of our economy and society. Transferring the knowledge vertically to networks on other aggregation levels, such as the human network, could reward us with astounding insights into the developments for the next 100 years. In addition, awareness of the possible scenarios for the 21st century, and keys for the choice between and control of them, come within reach. In this article, we postulate these exciting visions by travelling through time and on different aggregation levels, discovering some maverick phenomena of transient networks that deepen our understanding of the relevant riddles of our existence. The relatively new ICT sector, enabling connections between all communicating entities, obviously plays a crucial multifold role in this game.

Development of Society from a Nodal Towards a Network Model

The past 11 000 years has moulded the design of today's society and economy, including the corresponding level of wellbeing and prosperity. About 11 000 years ago, a major transformation took place. Nomadic families started to settle like con-

densed spring droplets trickling down from the woods in the fruitful valleys during the aftermath of the last ice age and became colonists. The first villages emerged, hosting several families. During the tremendously long period before colonisation, nomadic tribes were entirely self-responsible, almost completely solitary clusters performing all necessary tasks in order to survive as a group. One can consider a tribe to have a collective nerve system, guarding and controlling the well-being and prosperity of this small group.

The early colonist era was characterised by the introduction of agriculture and cattle breeding. People were able to divide tasks between each other (trans-tribal). They started to specialise in specific skills and tasks, such as blacksmith, baker, farmer or soldier, after establishing a trust level in which other people could take over former vital tasks they used to perform themselves. This transformation initialised functional decomposition of tasks in society and the economy, enlarging efficiency and thereby the scale of the economy, growing from local all the way to global. Economic value started to gain importance and herewith the former tribal nerve system gradually started to disappear. On a macroscopic level, our society and economy have decomposed into a number of sectors that together provide the foundations for our daily lives. The sectors for example include healthcare, education, transport, construction, security and, recently, ICT. Together, they contribute to, on a national scale, the gross domestic product (GDP), a barometer of a nation's economic prosperity. At the same time, these sectors are partly responsible for our well-being, which we define as the 'gross domestic service' (GDS). GDS cannot be measured easily in hard figures, but is at

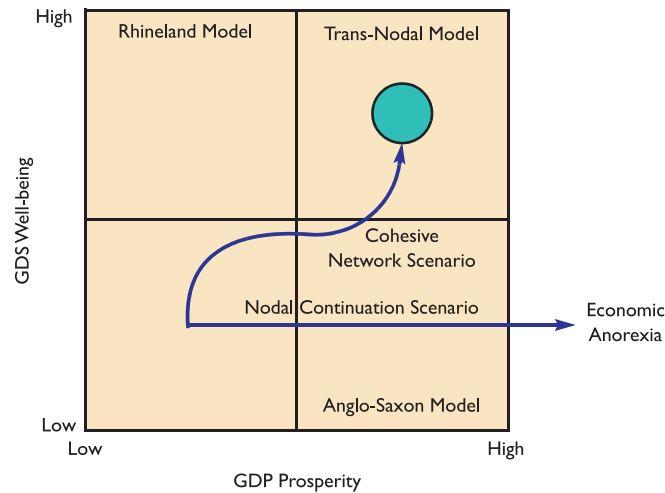


Figure 1: Economic and societal orthogonal dimensions.

least equally as important as GDP. For our (total) quality of life, GDP and GDS together constitute an integral measure as a quantitative economic and qualitative societal contribution, respectively, in two orthogonal dimensions (see Figure 1). Later, we introduce two scenarios – the nodal continuation scenario and the cohesive network scenario; the latter, we believe, will lead to a healthy balance of GDP and GDS.

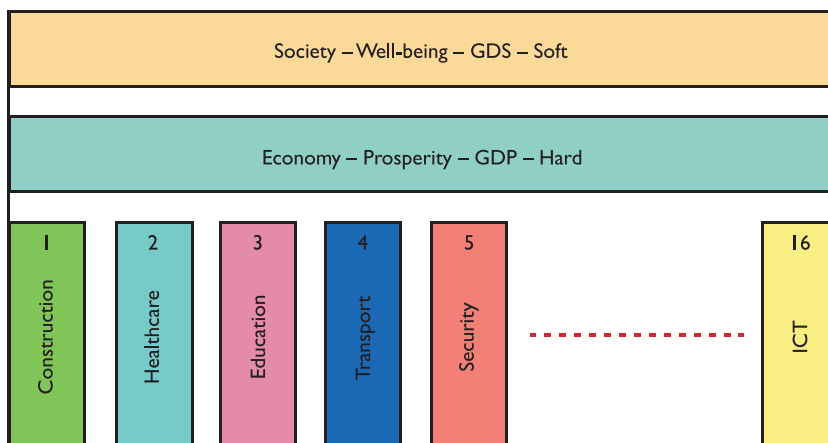
Some of the sectors are more GDP and some more GDS oriented – one could say product and service, hard and ‘soft’ sectors, respectively (although soft often proves to be harder than hard). The authorities have a special control function; they are responsible for the co-ordination across the sectors, similar to our brain that coordinates and supervises the organs in our body. The GDS is about the quality of offered services. For example, are we satisfied with our education system? Do we feel comfortable with the present healthcare delivered

by hospitals, nursing homes and residential care homes? Today, the prevailing opinion about quite a few sectors is not positive – they are not in good shape. Are we grinding to a halt in these sectors? Many people feel healthcare and education have been underperforming for years. The situation is not much better when it comes to the traffic and transport sector, with a daily grind of long traffic jams that inevitably cause nuisance, noise, environmental burden and economic damage. A trans-sectoral contemplation seems in place (Figure 2).

Similar observations can be made on different aggregation levels. We try to explain this in Table 1, which explores equivalents and parallels between processes such as:

- the development of people and their societies;
- evolution of ICT means;
- physical phases of a thermodynamic system.

Figure 2: Overview sectors, economy and society.



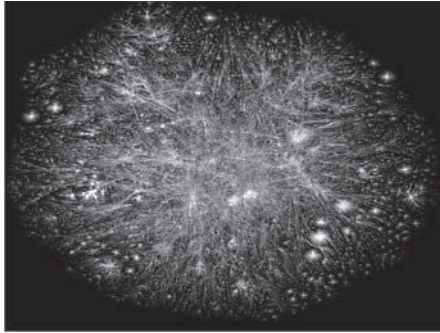


Figure 3: From a nodal model to a network model.

Looking back to evolution, we detect some interesting (horizontal) isomorphic and (vertical) congruent relations and developments on the same and different aggregation levels, respectively. If indeed we, *Homo sapiens*, evolved from primeval slime, then in this process there are some constant factors, two of which are differentiation and increasing network complexity. Unicellular creatures evolve from relatively simple amoebas towards complex creatures with a plethora of differentiated, specialised cells, such as the dedicated cells in our human

organs. On a higher aggregation level, we see exactly the same phenomenon. Analogous to the development of *Homo sapiens*, in the last millennia of our existence, specialisation of human knowledge and skills has led to a functional decomposition of growing societies and economies, fuelled by increasing scales of the latter two. We believe, however, that the 'collective nerve and brain system' on this level is lagging.

In this article, we hope to give the reader some new 'network' insights from a human perspective, some food for thought to open new windows in the coming century (Figure 3).

Signs of the Time – A Nodal Continuation Scenario

From a future studies point of view, we cannot opt for one possible future. Alternatives should be explored. First of all, in this section, we sketch the contours of a 'nodal continuation scenario' that is characterised by extrapolating current trends in our society and economy with a focus on GDP

Table 1: Parallels.

People	ICT means	Matter Phases	Remarks
Tribal Family < 11.000 yrs ago	Voice communication via air and messages via drawings, smoke signals	'Gas'	Isolated nomadic tribes, occasionally meeting other tribes. Strong social cohesion within a tribe. Elite: chief of tribe, medicine man. Focus on survival of the tribe itself.
Colonist society 11.000 yrs ago up to year 1900	Letters, books, art, music	'Liquid'	Families settling in villages. Living and working together. Start of society decomposition and specialisation among people. Elite: kings, church. Focus on interest of family / village.
Colonist networking society 1900 till today	ICT networks connecting groups of people by telephony, e-mail, data, public postal service. Rise of a 'tribalistic' virtual World	'Solid'	Anglo-Saxon economy. Survival of the fittest, rat race. Self-interest based, social fragmentation, conflicts about resources. Elite: prime ministers and captains of industries (managers). Focus on (personal) prosperity.
Linked society (still imaginary)	ICT networks linking virtually all people. Rise of a 'post-tribalistic' virtual world.	'Plasma'	Fusion of Anglo-Saxon and Rhineland economy. Post tribalism, solidarity, social cohesion. Trans-sectoral innovation leading to hyper innovation. Elite: trustworthy leaders. Focus on both well-being and prosperity of society and economy.

rather than GDS. Al Gore's recent film *An Inconvenient Truth* is an example of an initiative aiming for a fundamental change, away from a 'nodal continuation scenario'. Gathering awareness for such a trend breach requires a lot of energy, let alone the implementation of it.

What will our world look like in a hundred years time? In addition, what will be the major concerns? Before going into more detail, there are some generic certainties to be mentioned. For instance, technology will gradually be fully integrated into people's lives, in such a way that they will almost not be conscious of its existence any more. Looking at today's world, obvious trends and developments are:

- change of climate and its consequences for life on earth;
- growth of the world population and the ageing of the population in many societies;
- cost of a social safety-net will increase dramatically and therefore will diminish and become a responsibility of the people themselves;
- global pollution and (natural) disasters will have a higher impact, simply because there will be more people on earth that can be affected;
- real scarcities of fuel, water, energy (and mutual dependencies based on access to resources);
- corruption remains a tenacious blocking issue for a smooth innovation process in most developing countries;
- massive migration of people looking for a better place to live;
- increase of complex political, cultural and religious conflicts with worldwide impact, e.g. 'war on terrorism', shifting and countervailing powers;
- technolism: people's addiction and increasing dependency on technology –people will have to cope with and adopt more and more sophisticated ICT means.

Today's society originates from, and is due to, the individualisation process during the past decades. The individual freedom we acquired has also brought us a (sometimes extreme nodal) focus on 'me, myself and I'. Human behaviour is also strongly influenced by concerns and feelings of uncertainty and unsafety.

Extrapolating from today's trends, we notice a future world displaying diminishing solidarity and disappearing certainties because citizens are responsible for their own lives, work and income. Authorities seem to enforce rather than correct this trend, clinging conservatively to the old paradigm of economic growth, increasing the GDP, whereas the citizens, given a certain standard of the GDP, incline increasingly towards improvement of the GDS[†]. Maybe that is because they, the authorities, cannot repair the apparent lobotomy between the hard and soft sectors nor oversee the trans-sectoral relations of the sectors. They give the impression of being unable to proactively control and progress the sector network as a whole, confronted with the complexity and their political (election) motives. However, increasing complexity and changes in life seem inevitable. All activities seem to speed up and people will have to deal with it, balancing their own gross personal product and gross personal service. ICT applications can be developed such that they are supportive.

Some people might like to 'escape' from these changes. A new option is fleeing into a virtual world. This escape from real physical life could endanger the mental health of some who already struggle with their personality and their identity. 'Future multimedia masks' will be far more sophisticated compared to today's textbased instant messaging hide and seek. Using avatar masks and the possibility to submerge oneself into a parallel virtual world can impoverish or enrich the real physical life.

The above may be interpreted as a transformation from a high-trust society into a low-trust society. People will increasingly fall back on themselves or their next of kin. This family bond is not only the oldest trust structure, but a 'back-up' as well when other trust relationships do not function any more. Imagine a society consisting of a fragmented collection of individuals and families, collective innovation then seems impossible, no matter how hard it is needed.

People point at others, mentioning their responsibilities to solve visible urgent problems. Meanwhile time passes by and the need for short-term solutions increases, conflicts arise and mutual trust keeps on shrinking. Not much happens collectively

† Awareness of the situation seems to manifest itself worldwide – see, for example, www.wellbeingmanifesto.net/

any more and long-term issues are completely left untouched. The moment collective well-being and prosperity have reached an unacceptable low level, collective change is inevitable resulting either in chaos or (eventually after the chaos) in sustainable solutions showing the contours of a more cohesive network scenario.

A Cohesive Network Scenario

Today, no innovation seems to occur without a clear driver. Innovation only takes place when the outcome is beneficial for every involved individual participant or organisation, every node of the (sub-) network. Partial rationality and self-interest dominate, thus multi-actor (say multinodal), prisoners' dilemmas are blocking innovation. Novel trans-nodal and GDP-GDS balanced business models must arise that envisage the benefits for the network as a whole or even a new aggregation level. This holds true particularly for more complex challenges. Think, for example, of today's challenges we face on the aggregation level of the economical and societal sectors – traffic jams in the transport sector or the introduction of an electronic dossier for patients in the healthcare sector. These types of challenge are by definition transsectoral, i.e. they involve several sectors and actors. They cannot be solved intra-sectoral, i.e. in splendid isolation within one sector. Thus, we distinguish the nodal approach versus the network approach – the 'nodal continuation scenario' versus the 'cohesive network scenario'. The distinct features of these two scenarios remind us of the human brain network and its two sub-networks, the left and right hemisphere.

As counterparts of the GDP and GDS, we could introduce the 'gross personal product' and 'gross personal service' in the left and right column of Table 2 respectively. Making a vertical translation, we transcend to the aggregation level of human social networks. At present, the 'nodal continuation scenario' on this level seems dominated by the 'left side' features in the table and resembles an Anglo-Saxon inclined model. We believe the cohesive network scenario is strongly correlated to a balance of the 'right and left' features, overcoming the disadvantages of the AngloSaxon and the Rhineland model. To complete the metaphor, the brain as well functions optimally by interconnection of

Left hemisphere	Right hemisphere
Ratio, analysis	Emotion, intuition
IQ	EQ
Male	Female
Conservatism	Outside the comfort zone
Economic talents	Social talents
Quantity	Quality
Efficiency	Effectiveness
Short term thinking	Long-term thinking thinking

Table 2: Properties of the brain hemispheres¹.

the two hemispheres. We fully believe that a conscious choice between the two scenarios is vital because it is the choice between chaos and a new type of order. Transcending from a nodal model to a trans-nodal model, from an intra-sectoral to a trans-sectoral model, from a low trust society to a hightrust society, requires energy and empathy of the involved actors.

An interesting equivalent evolution in the ICT-sector can be observed with today's network transitions of incumbent network operators towards NGNs (next generation networks). Federated control platforms like the service-enabling IP multimedia subsystem (IMS) promise to bridge former monolithical autonomous networks such as PSTN, GSM, UMTS, Ethernet LANs, etc. Considering each former network to be a node, in this context also referred to as stove-pipes, we observe a trans-nodal migration to a federation. A nerve and control system co-ordinating all sessions and transactions will be an integral part of this next aggregation stage in telecommunications[†].

We believe our future society and economy require these as well. Such an information and control network is necessary across the sectors, just as our human body cannot function without a nerve system or brain. Although rudimentary, such a network exists, but it has not yet been designed in an integral and cohesive concept. Consequently, an integral trans-sectoral portfolio will arise of new services. In the current situation, there is no

† For the incumbents, the success of this huge migration is the difference between chaos and survival; the success of their action will be strongly correlated with their endeavour to balance reducing costs and generating new services.

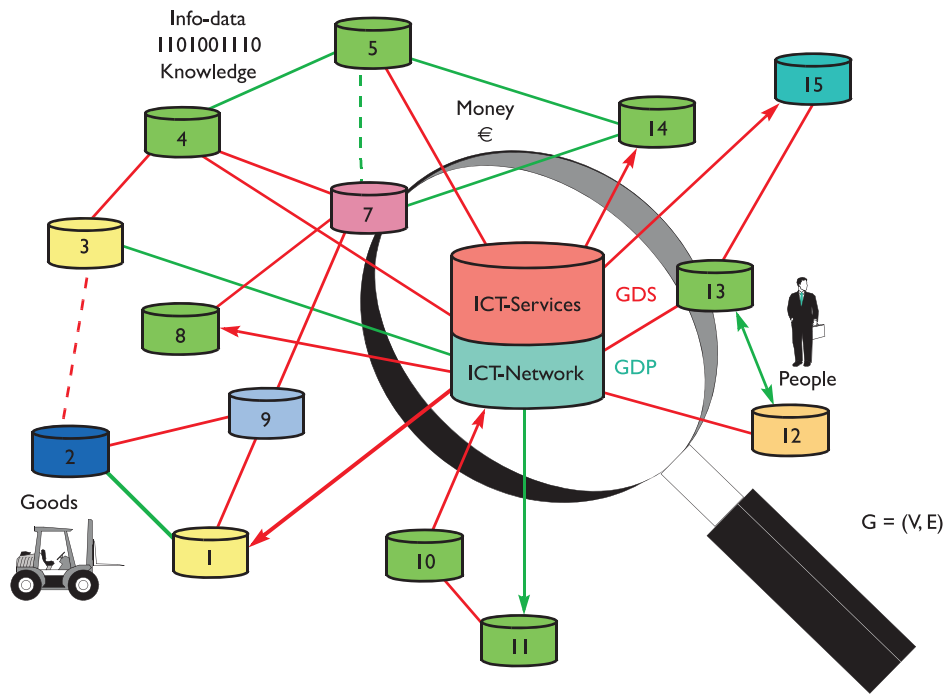


Figure 4: Network model.

trans-sectoral federate nerve or control system. Organisational organs do not even feel each other's pain directly when being destroyed. Maybe, that is why today AngloSaxon battles in a global economic war prevail, where it is allowed or even encouraged to outsmart and eliminate competitors.

The cause of current sub-optimal innovation processes can also be explained by the way sectors are organised today. They operate as large stand-alone monoliths, focused primarily on themselves. Each sector considers itself the heartbeat and thus feels it is logically entitled to a lot of attention (and a lot of capital) from political decision-makers. Older sectors have already embedded themselves in the political scene, younger ones have yet to gain a Darwinian foothold.

The political system perpetuates this situation – a functionally decomposed society and economy. This is entirely consistent with the system's nature, because our national authorities are a collection of ministries, each with one or more sectors as the demarcated domain for which they hold responsibility. Potential 'trans-connects' that could improve the functioning of the community at large are rarely established. The limits of this sector model are visible on the horizon and their symptoms are here today. Reality is increasingly undermining the idea that sectors have little to do with each other. The interdependence is actually far gre-

ater than can be incorporated into the traditional sector diagram (see Figure 2). Therefore, it makes sense to start thinking in terms of a different model – the network model, in this case the sector-network model (see Figure 4).

The network model reflects the mutual dependencies of sectors. The connecting links represent the exchange of goods, money, people, information and knowledge. They are the arteries and nerves of our society and economy. The stronger and more vital the 'traffic' is on those links, the more the community at large may benefit. Nodal material is exchanged as in fusion processes of genetic material of living species. The network is 'alive' with all kinds of sessions going on simultaneously; they enable fruitful transactions and transsectoral disruptive innovations rather than intra-sectoral incremental innovations. The vitality, robustness and performance of the network² is crucial and cannot be tuned or optimised by nodal considerations, but have to take into account the network as a whole, just as is the case with telecommunications networks.

Graph-theory can help us out here³, and not just on this aggregation level. Obviously, networks are everywhere on any aggregation level, and the networks on a given level form the basic building blocks for the next higher level. Therefore, it is quite curious that hardly any insight exists at pre-

sent into exactly what comes and goes along these links in the sector network. While we know that just about everything travels between the nodes, there is scant knowledge about its composition and volume.

The focus remains on what happens in the individual nodes, i.e. the sectors in the previous model, and enforces the continuation scenario. This is true both for policymakers (see above) and for economic leaders. For decades, they have clung to the same guiding principle when setting a course for business – increase the net profits within the sector as much as possible and bring in as much knowledge as possible to pursue this goal. However, this approach will not survive in the network structure now coming about. A wider view is necessary, of people who want to look at ways the society as a whole will move forward.

Knowing that the fruits of their actions will fall ahead in time and laterally in other sectors as well as in their own, they understand that it will benefit their sector as well; however, a trans-sectoral (business) model seems required. One could compare the network structure with a living organism.

The organs (nodes/sectors) appear to function independently, but, in fact, they are dependent on the ‘transport’ network of blood vessels that supplies them with energy and oxygen. The connecting nerve and control system allows the exchange of information and performs a co-ordinative managerial function for the network as a whole.

Vision

Recent estimations about the world population growth predict the volume will not exceed ten billion people, as forecast in earlier decades. Still, a growth from six to nine billion people is foreseen peaking in the period 2060 – 2080. Later on, the population volume will probably shrink, assuming better education and reduced poverty⁴.

Population growth combined with climate change will lead to water and oil scarcity, causing inevitable conflicts and higher prices. Some regions will on the other hand face water abundance. Here lies a driver to balance water shortage and abundance, on a geographical basis. Letting the water work while flowing in regions with significant altitude differences, will generate welcome hydroelectric energy on a larger scale. Creating an oasis in a

desert, growing trees offering shade, is better than building air-conditioning systems in developing countries. Tidal power is another means of electricity generation achieved by capturing the energy contained in moving water masses. As tidal power may not show convincing return on investment for years, it will be up to governments to initiate these trans-sectoral tidal projects.

Around 2050 – 2080 natural oil and gas resources will grow scarce. Physical mobility cost will increase. We believe that the transition away from fossil energy sources will drive the need for a virtual mobility concept from an economic perspective. Virtual mobility will offer the possibility to appear anywhere you want to be, regardless whether you are projected in real life or travel in virtual parallel worlds.

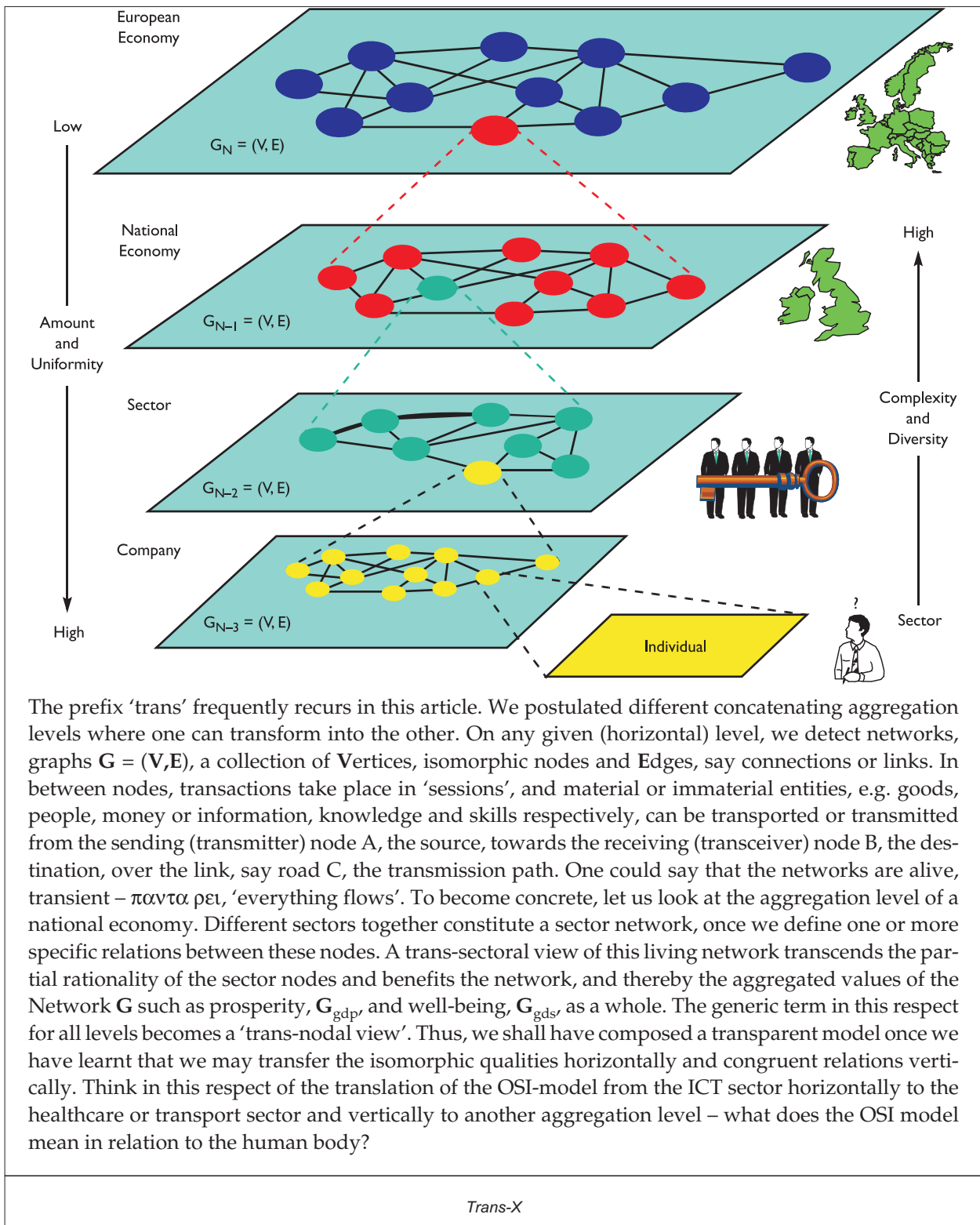
A few virtual worlds already exist, for instance Second Life⁵, a virtual meeting place for people and non-human entities. Anyway, more virtual parallel worlds will arise and co-exist. It can be assumed that in some of them detailed replications of the real physical world will arise. Within this world, people and organisations will present themselves in a way similar to the 20th century yellow pages. Furthermore, even variable items like the weather, traffic jams, and events like concerts, will be presented in near-real time. In this article, we use the terms ‘real physical world’ and ‘virtual parallel world’. Various expressions exist, referring to more or less the same. Table 3 presents most associated synonyms.

In general, three classes of worlds can be derived:

- the real physical world itself;
- virtual parallel worlds depicting the real physical world;
- virtual worlds where (enhanced) people and non-human entities can meet.

Table 3: Synonyms.

Real physical world	Virtual parallel world
Real world	Virtual world
Physical world	Cyberworld, cyberspace
Reality	Virtual reality
Real life	Artificial life
Off-line world	On-line world



Avatars

Today, artificial intelligence is deployed for specific tasks, for instance:

- data search;
- gaming;
- surveillance and security;
- tracking and tracing systems.

This century artificial intelligence will gradually mature from specific applications to semi-autonomous personal assistants/ avatars, bots, interactive Web site hostesses, etc. Avatars will develop into an enormous diversity, some acting on behalf of people as their personal agent, others as agents representing organisations, animals, flora, and precious objects. Avatars will com-

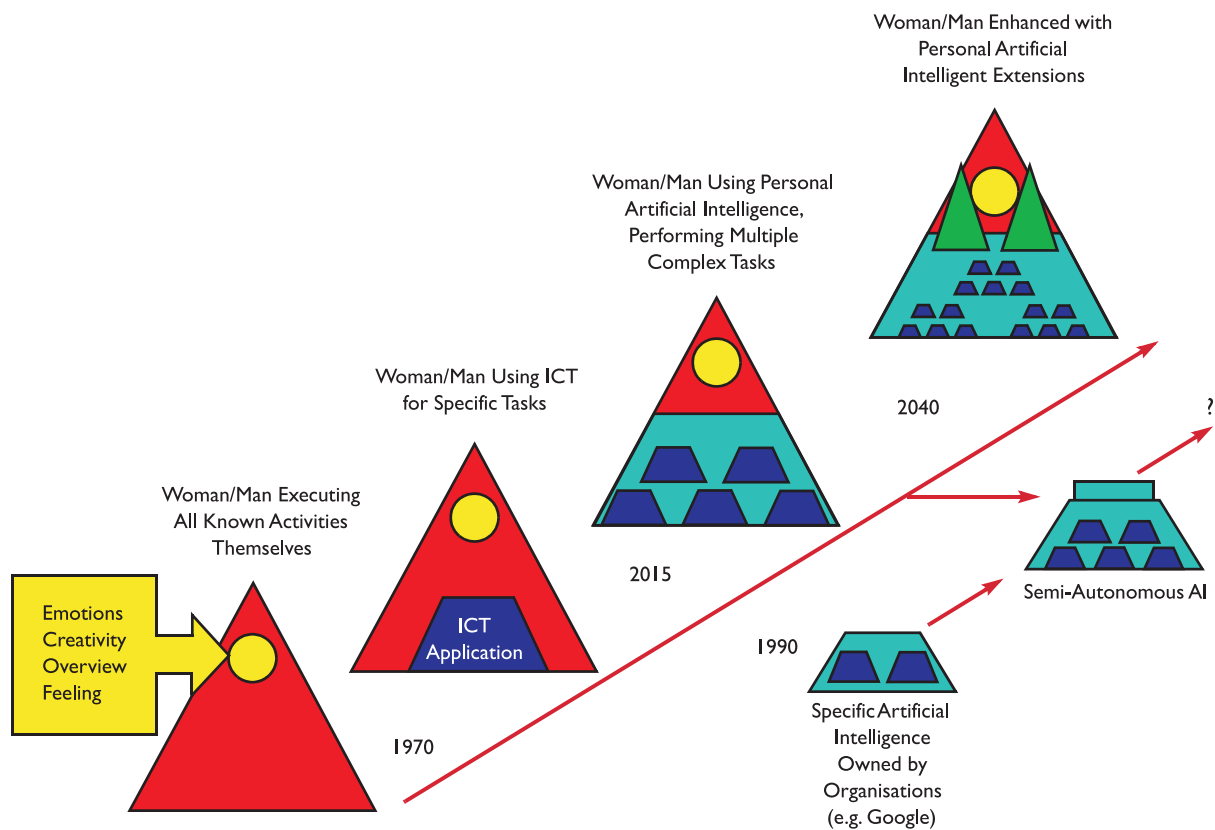


Figure 5: Maverick evolution

municate with people and each other and even enable multiple personalities.

Two long-term images about artificial intelligence exist:

- autonomous intelligent devices gaining importance, being smarter, faster and far more efficient than average people for specific tasks,
- people remaining in the lead, physically enhancing themselves with technological extensions and brain controlled user interfaces.

However, bear in mind that artificial intelligence/avatars will be human-like but never human[†]. Emotions, creativity, overview and feelings (intuition), are typically human properties. These are the most difficult capabilities to implement in artificial intelligence. All other 'functions' will be covered more and more via personal ICT means, thus making life easier (Figure 5).

The combination of virtual worlds, virtual mobility and artificial intelligence will introduce a new spectrum of possibilities⁶. We foresee some

moment in time that artificial intelligent entities can generate money autonomously. This may cause conflicts on ownership because within present law these kinds of entities do not have a juristic part. Whatever may be decided concerning lawful implications, the rise of avatars will lead to possible artificial life and after-life of deceased owners. As both people and non-human entities can easily interconnect via various virtual parallel worlds, a metaphor of a 'plasma state' arises. Comparing a plasma (characterised by a range of new industrial possibilities), to the still-imaginary transsectoral innovation stage, we expect hyperinnovation to occur.

ICT developments

The complexity of end-user services is increasing rapidly. This creates the need for more intelligence within the network in order to combine services and create new services. This same process is ongoing within the end-device leading to more powerful and intelligent end-user devices. Next to complexity, the bandwidth demand of these services is increasing as well. This creates new boundary conditions for the wireless access of

[†] Stated by Ludmila Menert, independent consultant.

communications networks, as most services will be enjoyed wirelessly in the future. This will result in shorter radio ranges, as higher bandwidth requires smaller radio cells⁷. A first intermediate step towards the smaller 'pico' cells, is made with the coming of the 'micro cells', e.g. wireless hot spots and the 'streetlight concept' (Figure 6). Joined together with the fixed network, an ICT ecosystem emerges.

As mentioned earlier previous networks become building blocks in a new transnodal network federation, e.g. existing networks transform into new nodes. As we have moved from circuit switched to packet switched, networks will develop back into optical circuit switched, switching wavelengths per session⁸. Architectures will flatten over time, for instance the optical layer will be enriched with more intelligent capabilities than are present today in ATM and Ethernet. IP and E.164-based technology will gradually be reduced to addressing schemes and service protocols.

Rules engines enable near-real-time rich presence:

- rules engine technology will change the way we do business today;
- service providers can offer propositions to customers which can be accepted via rules engines enabling near-real-time agreements, transactions;
- rules engines will evolve between wholesale parties such as network and service providers.

Rules are subject to ever changing context. Context awareness is the most difficult aspect to implement.

Governments and politics

Today, politicians present their plans but are not able to overview and correlate all relevant aspects any more due to increasing complexity. Future political decisions/plans may very well be based on expert systems, hosting forecast models. The surrounding experts that understand and operate the complex models will become more influential in political processes[†]. Nevertheless, there is definitely a role for a facilitating and actively stimulating (international) government to enforce transsectoral

† Stated By Ramin Hekmat, Technical University of Delft.

‡ Stated by Rangarao Venkatesha Prasad, Technical University of Delft.



Figure 6: Multimedia street furniture

innovation. Thus, hyper innovation cannot be reached without central nonprofit governance.

Basic free ICT access for almost everyone is inevitable because of cost and efficiency benefits. Access will be required for interaction between civilians and authorities. Richer and faster access must be paid for, so metaphorically speaking one could state: 'Bits will be free, bytes will not'[‡], like the analogy of roads. Walking and riding bicycles are free but driving a car requires tax to be paid.

ICT infrastructure will be capable of interconnecting the majority of billions of people becoming

nodes in a huge human linked network. ICT will offer efficient, fast and implementable solutions. In the traffic and transport world, too, ICT infrastructure can act as a catalyst. From the outside, ICT may appear to be one of the nodes in the network, but its capabilities are multifold and incredibly versatile. ICT is having a gigantic impact on our entire community, society and economy. Network visions will bring us major innovations and help us to implement and organise them. Understanding the facts and performance of the networks on one part of an aggregation level and transferring this knowledge through the isomorphic and congruent relations horizontally to other parts of the network on the same level and other networks on different levels, respectively, will bring our evolution into an acceleration such that Omega comes within sight.

This reminds us of Teilhard de Chardin[†], 'nous sommes amenés à concevoir un Centre premier et suprême, un oméga, en qui se relie toutes les fibres, les fils, les génératrices de l'Univers'⁹. (...we are brought to design a Centre first and supreme, an omega, in which connect all fibres, the wires, generators of the Universe).

The interaction and development of the networks on one level and at different levels will increase hugely, once discovered features and mechanisms can be transferred. For example, in the ICT sector complex sessions can be successfully set up worldwide. Could this benefit the healthcare sector to improve intricate sessions to heal patients worldwide? If so, and we succeed in the coming century to get these mechanisms transparent, the networks themselves will accelerate in their evolution, being only transient steps towards next phases with yet unknown macroscopic changes. First steps, though, may need to be very pragmatic in order to overcome the partial rationalities in many 'multi-actor prisoner dilemmas' that hamper us in solving today's compelling challenges – dilemmas that have to be overcome, if the vital networks on which we depend, and without which the development of the individual nodes grinds to a halt, are not to degenerate in their last phase into chaos. Instead, they should transform to survive to yet a higher aggregation level based on a new collection of more complex nodes. This can only succeed if true (trans-nodal) network interactions take

place and nodal material is shared and transmitted across the network to compose novel nodes with an increased intricacy. If this process accelerates time and again, transactions between the nodes speed up continuously and the plasma phase of the network is approaching.

Conclusions

Networks are omnipresent and universal. Mankind, for example, forms a social network and we believe that this network is approaching another aggregation phase in the coming century. Today, information and communications technology exponentially accelerates the interaction between the human nodes of this global social network and appears to introduce a phase transformation, similar to the physical phase transitions of a thermodynamic system that characterise the transformation of matter. On another level, networks are also present in our product and service sectors. Think, for example, of the transport or ICT sectors themselves; here we detect important developments in their transient networks. Virtual mobility and virtual reality are just two of the driving forces having both an economic and social impact.

Finding that networks are omnipresent and universal, gave us a realistic cause for optimism. Indeed, we can benefit from the network knowledge in the ICT sector by translating this knowledge horizontally to, for example, other nodes in the sector network of our economy and society. Transferring the knowledge vertically to networks on other aggregation levels, such as the human network, rewarded us with insights into some developments for the next 100 years and gave us food for thought. For example, balancing GPP and GPS, what does that mean for the co-operation and influence of man and woman in the future in our professional and personal lives? Then there is also an opportunity to balance the GDP and GDS. In addition, awareness of a nodal continuation and cohesive network scenario for the 21st century, and keys for the choice between and control of them, come within reach. Definitely, the relatively new ICT sector, enabling connections between all communicating entities, plays a crucial and multifold role in this vital game:

[†] Pierre Teilhard de Chardin (May 1, 1881 – April 10, 1955) was a French Jesuit priest trained as a palaeontologist and a philosopher. His life evolved around one mission: relating the theory of evolution with the Christian religion. Teilhard conceived such ideas as the Omega Point and the Noosphere.

'In the future, ICT will have a significant impact on society in areas such as care, security and education. There is a great deal of potential for ICT innovation in these sectors, which are not moving very fast at the moment. But it must be done – in some cases with pressure from the government – otherwise self-interest will prevail in these sectors'¹⁰.

Furthermore, the game seems to speed up and people will have to cope with and adopt more and more sophisticated technology, especially in the area of ICT. We believe that ICT will provide solutions to improve access to information and for convenient knowledge sharing and for the quality of collective (e.g. education) systems and last but not least for a more effective innovation process:

'The search for new realities and opportunities will drive organisations outside their comfort zone. It will require different skill sets but more difficult even, a different mindset. Opening up for those challenges requires leadership beyond what the industry has seen so far.'¹¹ In today's business environment, it is clear that no organisation can innovate by itself and that ease of connection is essential, like the connection of nodes in a communication network. Co-operation, trust and innovation are the key to success. This holds true not only in our professional world but also in our private world. Within a knowledge-driven economy, a new dichotomy in society will become related with the ability to utilise this knowledge: 'As people will have easier access to abundant information, organisation structure will become flatter. The future hotshots will be the people who are able to interpret, sort and use information.'¹²

However, the required, disruptive innovations, often involving ICT, come to a grinding halt if the solutions are sought from within one single domain. Actors from different sectors have to be involved to close the solution both in terms of contributing components (knowledge, skills, infra- and process-building blocks) as well as in a financial sense. In fact, we deal with a network and its performance as a whole. Through a cohesive network vision, both from an economic and human perspective, a new huge set of insights and modelling tools have become available.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the following for their contributions: Ramin Hekmat, TU Delft / EWI, Rangarao Venkatesha Prasad, TU Delft /

EWI, Ludmila Menert, independent consultant and artificial speech and communications expert.

References

- 1 Legato, M. J. Why men never remember and women never forget. Rodale Press, August 2005.
- 2 Mieghem, P. V. Performance Analysis of Communications Networks and Systems. Cambridge University Press, March 2006.
- 3 Barabási, A. L. Linked, The New Science of Networks. Perseus Books Group, May 2002.
- 4 The great trends of the 21st century – <http://www.2100.org/>
- 5 Second life: a 3D online digital world imagined, created and owned by its residents – <http://www.secondlife.com/>
- 6 Baken, N. et al. Virtual mobility enabling multi-dimensional life. 44th FITCE Congress, Vienna, August 2005.
- 7 Baken, N. et al. A Four-Tiered Hierarchy. 43rd FITCE Congress, Ghent, 2004.
- 8 Baken, N. et al. The new broadband world: back to circuits again. 45th FITCE Congress, Athens, August 2006.
- 9 Teilhard de Chardin, P. Science et Christ. Éditions du Seuil, Paris, 1965, Vol 9, pp 76.
- 10 Scheepbouwer, A. CEO KPN in the TNO booklet telecom.beyond.
- 11 Verwaayen, B. CEO BT in the TNO booklet telecom.beyond.
- 12 de Waal, L. Managing director of Humanitas in the TNO booklet telecom.beyond.

Biographies

Nico Baken

Delft University of Technology and KPN

Professor Nico Baken currently holds a parttime chair in the Telecommunications Department at Delft University of Technology alongside his primary position as Senior Consultant/Chief



Architect within the Department of Corporate Strategy and Innovation of Royal KPN, the Dutch incumbent Telecom operator in the Netherlands. His main interest concerns Broadband Networks and Services, dealing with a broad range of aspects such as Sensor (RFID), Vehicle, Home and Personal Networks, the first mile and metre, e.g. FTTH and other access infrastructures such as xDSL,

fixed-mobile convergence, operations, financial strategies, e.g. the real Option Analysis, managerial complexity and regulations. He is responsible for cooperation with research institutes such as TNO ICT and universities. Given this spectrum, he has been asked to advise the Dutch government on broadband in the national expert group on broadband and in the Andriessen committee (former minister of Economic Affairs) to deal with the feasibility of FTTH for The Hague. Recently, he introduced new concepts such as transsectoral innovation, City ICT Architects and 'streetlight' to enhance and accelerate ictapplications in and across sectors such as healthcare, transport and education.

nico.baken@kpn.com

Nico van Belleghem

KPN

Nico van Belleghem graduated from the chemical engineering department at Delft University of Technology in 1999. He started working at KPN in 2000 as a network designer and is now currently working as innovator within the Department of Wholesale and Operations Innovation Management. Today he is active in the area of fixed mobile convergence and service architecture and identity management.

nico.vanbelleghem@kpn.com



Edgar van Boven

Delft University of Technology and KPN

Edgar van Boven studied electronics and IT at HTS Vlissingen. Though tempted to start an adventurous life as a jazz pianist, he graduated in 1987. After military service as a sergeant in a telecommunications battalion, he joined KPN. Initially telep-



hony dominated his career from various viewpoints starting with hardware & software engineering, via operational network planning to architecture and program management. In the late 1990s he started to work on the evolution to voice over packet in the former Unisource Business Networks environment within KPN. In 2001, he entered the Delft University of Technology as a guest lecturer. Today he is active in the area of fixed mobile convergence and service architecture. Recently he started combining his work for KPN Innovation Management with a Transsectoral Innovation thesis at the Delft University of Technology.

edgar.vanboven@kpn.com

Annemieke de Korte

TNO

Annemieke de Korte graduated at the faculty of Social Sciences at Erasmus University Rotterdam, with a major in Sociology of Labour and Technology. Since 1999, she has been working as a futures researcher and consultant within the Future Scanning team of TNO's core area for Information and Communications Technology. Currently her work is oriented on social trends and their impact on the future use of information and communication technology. She has conducted several futures studies concerning sectors and themes such as telecommunications, care, education, energy, public administration, media, mobility and safety. These future visions are presented in publications containing images of the future in concrete communication contexts. They aim to be a source of inspiration, enabling organisations to visualise the future and translate visions into strategies or as a basis for developing new product and service concepts.

annemieke.dekorte@tno.nl



Hallo Bandoeng

Een boek over nederlandse radiopioniers

Recensie door Michel Arts



Onlangs is bij Uitgeversmaatschappij Walburg Pers het boek "Hallo Bandoeng" van Hans Vles verschenen. Ik heb het genoeg gehad om een drukproef te mogen lezen om deze recensie te kunnen schrijven. De ondertitel suggereert dat dit boek gaat over de nederlandse radiopioniers. Het grootste deel van het boek is echter gewijd aan de het leven en werk van Johan Numans. Daar is niets mis mee: over het leven van deze radiopionier is tot nu toe niet veel geschreven.

Het boek begint met een korte beschrijving van een aantal nederlandse radiopioniers. Daarna volgt een overzicht van de geschiedenis van de radiotechniek tot 1920. De nadruk ligt daarbij op ontwikkelingen in Nederland zoals de introductie van de Philips Ideeet radiolamp. Voordat het leven en werk van Johan Numans aan bod komt volgen twee hoofdstukken over de langegolf radiotelegrafie met Nederlands-Indië. Hier wordt het werk van de Groot en Koomans beschreven zoals de zendstations in Kootwijk en Malabar. Dit hoofdstuk is van belang om het werk van Numans te kunnen beoordelen. Tot halverwege de jaren '20 gingen de radioprofessionals er vanuit dat grote afstanden alleen overbrugd konden worden met lange golven. Dit kwam immers overeen met de ervaring dat de demping van de grondgolf toenam voor kortere golflengten. In de Verenigde Staten werden om die reden de golflengten kleiner dan 200 meter toegewezen aan radioamateurs: professionals konden hier immers toch niets nuttigs mee doen. Die radioamateurs (en hun Europese collega's) ontdekten echter dat je met korte golven ook grote afstanden kon overbruggen en dat ook nog eens met minder vermogen dan op de langegolf. Rond 1925 ging ook de PTT zich bezighouden met radiotelegrafie op de kortegolf. De Groot had echter moeite om afscheid te nemen van "zijn" langegolf.

Johan Numans werd in Nederlands-Indië geboren uit Nederlandse ouders. Al op jonge leeftijd wordt

hij besmet met het radiovirus. In 1921 vertrekt hij op 17-jarige leeftijd naar Nederland om elektrotechniek te gaan studeren aan de TH Delft. Hij besluit echter om in Den Haag te gaan wonen. Hier wonen immers ook de bekende radio-amateurs uit die tijd zoals Jan Corver, Hans Idzerda en Henk Jesse. Numans werd gegrepen door de kortegolf telefonie en droomde van een zender waarmee Nederlands-Indië bereikt kon worden. Hij schreef een sollicitatiebrief naar de directie van Philips voor een baan bij het NatLab. In het kader van zijn opleiding moest hij praktijk ervaring opdoen. Natuurlijk wilde hij werken aan kortegolf telefonie. Het hoofd radio-onderzoek van het NatLab prof. van der Pol had zich in de Verenigde Staten al geïnteresseerd op het gebied van kristalsturing. M.b.v. kristallen kon een veel grotere frequentiestabiliteit bereikt worden dan met LC-kringen. Numans werd aangenomen en hield zich bezig met de constructie van een kortegolf telefoniezender. Op vrijdag 11 maart 1927 was het dan zover. De historische woorden: "Dit is een proefuitzending van het Philips' laboratorium in Eindhoven, Nederland, op een golflengte van dertig komma twee meter. This is an experimental broadcast from the Philips' Laboratory in Eindhoven, Nederland, on a wavelength of thirty point two meter." werden tot in Nederlands-Indië ontvangen. De volgende dag kwam er bij Philips een telegram van een zekere de Groot uit Nederlands-Indië binnen. Dit bleek niet de de Groot van de Indische PTT te zijn maar een familielid van hem die ook radio-amateur is. Na dit succes werden koningin Wilhelmina en prinses Juliana uitgenodigd om via de Philips-zender de bevolking van Nederlands-Indië toe te spreken. Dat gebeurde op maandag 30 mei 1927. De periode van de eerste experimenten tot en met de toespraken van koningin en prinses worden gedetailleerd beschreven in het boek. De toespraken zijn integraal afgedrukt.

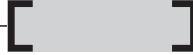
Een jaar later vertrok Numans bij het NatLab na een meningsverschil met Anton Philips. Hij begon samen met Jan Corver en Gerard Eschauzier het Nederlands Radio Instituut. Dit bedrijf hield zich vooral bezig met radiodistributie. De dood van Numans in 1944 wordt ook beschreven. Hij werd gedwongen om voor de Duitsers te werken en dook daarom onder. Toen zijn schuilplaats ontdekt werd werd hij gevangen gehouden in de Kolonel Palmkazerne in Bussum. Bij een aanval van de Britten op die kazerne komt hij om het leven.

Al het bovenstaande wordt in het boek uitgebreid beschreven. De auteur maakt daarbij een aantal uitstapjes naar verwante onderwerpen zoals de Nederlandsche Seintoestellen Fabriek, de Hilversumse Draadlooze Omroep en Radiodistributie.

Ook het begin van de Philips Omroep Holland Indië (PHOHI) wordt beschreven. Het werk van Numans heeft hiervoor immers de basis gelegd. Een artikel van Numans genaamd "Malabar-indrukken" uit Radio Nieuws van 1 februari 1922 en een artikel van prof. van der Pol over kristalzers uit het gedenkboek van de NVVR uit 1926 zijn integraal in een appendix opgenomen.

Al met al is het een boek dat zeker de moeite waard is voor iedereen die geïnteresseerd is in de geschiedenis van de radiotechniek in Nederland. Omdat in het boek niet de nadruk wordt gelegd op de techniek maar op de mensen is het ook prima te lezen voor mensen zonder (radio)technische achtergrond.

Proefschriftenoverzicht 2006-2007



Hieronder treft u, traditiegetrouw het overzicht aan van de proefschriften behorende bij de promoties in het academisch jaar 2006/2007 aan de Technische Universiteit Delft, de Technische Universiteit Eindhoven en de Universiteit Twente. Voor detailinformatie verwijzen wij u graag door naar de bibliotheek van de universiteit waar de promotie heeft plaatsgevonden. Onderstaand vindt u de adressen:

Bibliotheek TU Delft
Postbus 98
2600 MG Delft

Bibliotheek TU/e
Postbus 90159
5600 RM Eindhoven

Bibliotheek Universiteit Twente
Postbus 217
7500 AE Enschede

Technische Universiteit Delft

Electronic DC transformer with high power density

M. Pavlovsky

11 september 2006

Promotor: prof.dr. J.A. Ferreira

Copromotor: ir. S.W.H. de Haan

A combined BEM/FEM method for IC substrate modeling

E. Schrik

11 september 2006

Promotor: prof.dr.ir. P.M. Dewilde

Copromotor: dr.ir. N.P. van der Meijs

Singel grain TFTs and Circuits by μ -Czochralski Process

V. Rana

2 oktober 2006

Promotor: prof.dr. C.I.M. Beenakker

Signal processing of FMCW Synthetic Aperture Radar data

A. Meta

2 oktober 2006

Promotors: prof.dr.ir. L.P. Ligthart

prof.ir. P. Hoogeboom

The TM 3270 media processor

J.W. van de Waerdt

10 oktober 2006

Promotor: prof.dr. S. Vassiliadis

Wafer-Level Packaging Technology for RF applications based on a rigid Low-Loss Spacer Substrate

A. Poliakov

16 oktober 2006

Promotor: prof.dr. J.N. Burghartz

Grid support by power electronic converters of distributed generation units

J. Morren

13 november 2006

Promotor: prof.dr. J.A. Ferreira

Copromotor: ir. S.W.H. de Haan

Adaptive time-frequency decompositions for MDCT-based audio coding

O.A. Niamut

14 november 2006

Promotor: prof.dr.ir. R.L. Legendijk

Copromotor: dr.ir. R. Heusdens

Dynamic modelling of radar seaclutter

H.W. Melief

17 november 2006

Promotors: prof.ir. P. van Genderen

prof.ir. P. Hoogeboom

Measuring the Internet

X. Zhou

20 november 2006

Promotor: prof.dr.ir. P. Van Mieghem

Performance limits of LF radio navigation

W.J. Pelgrum

28 november 2006

Promotor: prof.dr.ir. L.P. Ligthart

Space charge accumulation in polymeric high voltage DC cable systems

R. Bodega

28 november 2006

Promotor: prof.dr. J.J. Smit

Synchronization and packet separation in wireless ad hoc networks

R. Djapic

5 december 2006

Promotor: prof.dr.ir. A.J. van der Veen

Advanced GPR Data Processing Algorithms for Detection of Anti-Personnel Landmines

V.O. Kovalenko

7 december 2006

Promotors: prof.dr.ir. L.P. Ligthart
prof.dr.sc.techn.A. Yarovoy

Ultra Low-Power biomedical Signal Processing. An analog Wavelet Filter Approach for Pacemakers

S.A. Pavlik Haddad

12 december 2006

Promotor: prof.dr. J.R. Long
Copromotor: dr. W.A. Serdijn

Stability analysis of transmission systems with high penetration of distributed generation

M. Reza

21 december 2006

Promotors: prof.ir. W.L. Kling
prof.ir. L. van der Sluis

Three-dimensional integration of power electronic converters on printed circuit board

E.C.W. de Jong

9 januari 2007

Promotor: prof.dr. J.A. Ferreira

Mark formation model for optical rewritable recording

J.H. Brusche

27 februari 2007

Promotors: prof.dr.ir. P. Wesseling
prof.dr. H.P. Urbach
Copromotor: ir. A. Segal

Quantization-Based Watermarking: Methods for Amplitude Scale Estimation, Security, and Linear Filtering Invariance

I.D. Shterev

12 maart 2007

Promotor: prof.dr.ir. R.L. Lagendijk

High resolution Continuous-Time $\epsilon\Delta$. Modulator for IF A/D Conversion

P.G. Raymundo Silva

17 april 2007

Promotor: prof.dr.ir. J.H. Huijsing

Random Sampling Methods for Two-View Geometry Estimation

R.J.M. den Hollander

10 mei 2007

Promotor: prof.dr.ir. R.L. Lagendijk
Copromotor: dr. A. Hanjalic

An architecture for Task Execution in Adverse Environments

F. Miletic

4 juni 2007

Promotor: prof.dr.ir. P.M. Dewilde

Integration of Stochastic Generation in Power Systems

G. Papaefthymiou

13 juni 2007

Promotor: prof.ir. L. van der Sluis

Multiple description lattice vector quantization

J. Østergaard

18 juni 2007

Promotor: prof.dr.ir. R.L. Lagendijk
Copromotor: dr.ir. R. Heusdens

Technische Universiteit Eindhoven

Model Predictive Control of Hybrid Systems: Stability and Robustness

M. Lazar

7 september 2006

Promotor: prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch
Copromotor: dr.ir. W.P.M.H. Heemels

Photonic Integrated True-Time-Delay Beamformers in InP Technology

F.M. Soares

12 september 2006

Promotors: prof.dr.ir. M.K. Smit
prof.dr.ir. R.G.F. Baets

Copromotors: dr. F. Karouta

High-accuracy switched-capacitor techniques applied to filter and ADC design

P.J. Quinn

13 september 2006

Promotor: prof.dr.ir. A.H.M. van Roermund

Copromotor: dr.ir. W.P.M.H. Heemels

Lightweight positioning: Design and optimization of an actuator with two controlled degrees of freedom

J. Makarovic

26 september 2006

Promotors: prof.dr.ir. A.J.A. Vandenput
prof.dr.ir. J.C. Compter

Copromotor: dr. E.A. Lomonova M.Sc

Applications of O-band semiconductor optical amplifiers in fibre optic telecommunication networks

J.P. Turkiewicz

2 oktober 2006

Promotors: prof.ir. G.D. Khoe
prof.ir. A.M.J. Koonen

Copromotor: dr.ir. H. de Waardt

Embedded face recognition using cascaded structures

F. Zuo

3 oktober 2006

Promotors: prof.dr.ir. P.H.N. de With
prof.dr.ir. J. Biemond

Optical Multi-stable Operations of Coupled Lasers

S. Zhang

5 oktober 2006

Promotors: prof.ir. G.D. Khoe
prof.dr. D. Lenstra

Copromotor: dr. H.J.S. Dorren

Gallium Nitride-based Microwave High-Power Heterostructure Field-Effect Transistors. design, technology, and characterization

M.C.J.C.M. Krämer

10 oktober 2006

Promotors: prof.Dr.-Ing. L.M.F. Kaufmann
prof.Dr.-Ing. E. Kohn

Copromotor: dr. F. Karouta

Label-Controlled Optical Switching Nodes

J.J.V. Olmos

23 oktober 2006

Promotor: prof.ir. A.M.J. Koonen

Copromotor: dr.ir. I. Tafur Monroy

Towards more efficient praseodymium doped fibre amplifiers for the O-band

R.C. Schimmel

7 november 2006

Promotors: prof.ir. G.D. Khoe
prof.dr.ir. R.G.C. Beerkens

Copromotor: dr.ir. H. de Waardt

RF impairments in multiple antenna OFDM : influence and mitigation

T.C.W. Schenk

20 november 2006

Promotors: prof.dr.ir. E.R. Fledderus
prof.dr.ir. H. Steendam

Optical Time Domain Add-Drop Multiplexing Employing Fiber Nonlinearities

E.J.M. Verdurmen

28 november 2006

Promotors: prof.ir. A.M.J. Koonen
prof.ir. G.D. Khoe

Copromotor: dr.ir. H. de Waardt

Event-driven control in theory and practice. Trade-offs in software and control performance

J.H. Sandee

19 december 2006

Promotor: prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch

Copromotor: dr.ir. P.F.M. Smulders

Flat panel display signal processing : analysis and algorithms for improved static and dynamic resolution

M.A. Klompenhouwer

20 december 2006

Promotors: prof.dr.ir. G. de Haan
prof.dr.ir. R.H.J.M. Otten

Copromotor: dr.ir. G.J. Hekstra

Multi-band RF front-ends with adaptive image rejection : a DECT/Bluetooth study case

V. Vidojkovic

9 januari 2007

Promotor: prof.dr.ir. A.H.M. van Roermund

Copromotor: dr.ir. J.D. van der Tang

Clustered VLIW Architectures: a Quantitative Approach

A.S. Terechko
6 februari 2007

Promotors: prof.dr. H. Corporaal
prof.dr.ir. R.H.J.M. Otten
Copromotor: dr.ir. P. Stravers

Energy Management for Automotive Power Nets

J.T.B.A. Kessels
14 februari 2007

Promotors: prof.dr.ir. P.P.J. van den Bosch
prof.dr.ir. M. Steinbuch

Contention Resolution in Optical Packet-Switched Cross-Connects

R. Geldenhuys
5 maart 2007

Promotors: prof.ir. G.D. Khoe
prof.ir. A.M.J. Koonen
Copromotor: dr. H.J.S. Dorren

Design and Analysis of Parity-Check-Code-Based Optical Recording Systems

K. Cai
12 maart 2007

Promotors: prof.dr.ir. J.W.M. Bergmans
prof.dr. T.C. Chong
Copromotor: dr. G. Mathew

Processor Architecture Design for Smart Cameras

H. Fatemi
21 maart 2007

Promotor: prof.dr. H. Corporaal
Copromotors: dr.ir. T. Basten
dr.ir. B. Mesman

1.55 μm Integrated Modelocked Semiconductor Lasers

Y. Barbarin
2 april 2007

Promotors: prof.dr.ir. M.K. Smit
prof.dr. D. Lenstra
Copromotor: dr. E.A.J.M. Bente

Advances in Perceptual Stereo Audio Coding using linear prediction techniques

A. Biswas
15 mei 2007

Promotors: prof.dr. R.J. Sluijter
prof.dr. A.G. Kohlrausch
Copromotor: dr.ir. A.C. den Brinker

Low power design of block-based video codecs

K.A.J. Denolf
7 juni 2007

Promotor: prof.dr. H. Cotporaal
Copromotor: dr.ir. D. Verkest

Power Quality. Implications at the Point of Connection

J.F.G. Cobben
12 juni 2007

Promotor: prof.ir. W.L. Kling
Copromotor: dr.ir. J.M.A. Myrzik

Ultrafast all-optical signal processing using semiconductor optical amplifiers

Z. Li
12 juni 2007

Promotors: prof.ir. G.D. Khoe
prof.dr. D. Lenstra
Copromotor: dr.ir. H.J.S. Dorren

Efficient streamer plasma generation

G.G.J. Winands
19 juni 2007

Promotors: prof.dr.ir. J.H. Blom
prof.dr.ir. G.M.W. Kroesen
Copromotor: dr.ir. E.J.M. van Heesch

Single- and Multi-Microphone Speech Dereverberation using Spectral Enhancement

E.A.P. Habets
25 juni 2007

Promotor: prof.dr.ir. J.W.M. Bergmans
Copromotors: dr.ir. P.C.W. Sommen
dr. S. Gannot

New Concepts for EMC Standards Applicable to Multimedia Products

N. van Dijk
27 juni 2007

Promotors: prof.dr. A.G. Tjhuis
prof.dr.ir. F.B.J. Leferink
Copromotor: dr.ir. P.A. Beeckman

Low-temperature fuel cells operating with contaminated feedstock

P.J.H. Wingelaar
29 augustus 2007

Promotor: prof.dr.ir. A.J.A. Vandenput
Copromotors: ir. M.A.M. Hendrix
dr. J.L. Duarte

PATO cursusaanbod 2009

Voor informatie over onderstaande cursussen kunt u contact opnemen met Stichting PATO, tel.: (071) 5282535, e-mail: info@pato.nl.

Radarontwerptechniek

Technisch ontwerp en gedrag van radars in hun gebruiksomgeving.

data/plaats: 7, 8, 21 en 22 januari, 4 en 5 februari 2009 in Hengelo.

Cursusleiding: Prof.ir. P. van Genderen (TU Delft/Thales)

VHDL als 'tool' voor hardware design

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

data/plaats: 3 dagen op nader te bepalen dagen en op een nader bekend te maken locatie.

Cursusleiding: Ir. E. Molenkamp (Universiteit Twente)

Telecommunicatie- en datanetwerken

Theorie, concepten en praktijk van netwerken voor multimedia.

data/plaats: De cursus wordt op een nader te bepalen datum gehouden aan de TU Delft.

Cursusleiding: Prof.dr.ir. P. Van Mieghem (TU Delft)

Meettechnieken voor industriële toepassingen

data/plaats: 3-daagse cursus in het voorjaar 2009 op de Universiteit Twente in Enschede.

Cursusleiding: Prof.dr.ir. P.P.L. Regtien (Universiteit Twente)

Hoogspanning II: Beproeving, meten en diagnostiek (college)

Verschillende aspecten van beproeving van hoogspanningsmaterieel en de waarde van de resultaten van deze testen.

data/plaats: Het college vindt plaats in het voorjaar 2009 aan de Technische Universiteit Delft.

Cursusleiding: Prof.dr. J.J. Smit (TU Delft)

Hoogspanning III: Hoge gelijkspanning (college)

Verschillende aspecten bij gebruik van hoge gelijkspanning.

data/plaats: 7 colleges van 2 uur in het voorjaar 2009 aan de Technische Universiteit Delft.

Cursusleiding: Prof.dr. J.J. Smit (TU Delft)

Schakelen in energienetten

Techniek, gevolgen en beheersaspecten.

data/plaats: De cursus wordt gehouden in het voorjaar 2009 in Arnhem.

Cursusleiding: Prof.dr.ir. R.P.P. Smeets

Vermogenselektronica - Advanced topics (college)

Moderne componenten van de vermogenselektronica en hun toepassingen.

data/plaats: 9 colleges in maart - juni 2009 aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Cursusleiding: Dr. J.L. Duarte (TU Eindhoven) en dr.ir. F. van Horck (Philips)

