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
prof.dr.ir. P. Regtien, vice-voorzitter
ir. E. Bottelier, secretaris
P.F. Maartense, penningmeester
dr.ir. A.B. Smolders, tijdschrift-manager
ir. B. Dunnebier, programma-manager
ir. R.J. Kopmeiners, web-beheer
ir. F. Speelman, onderwijs-commissaris
vacature, ledenwervings-manager

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

TIJDSCHRIFTCOMMISSIE

dr. ir. A.B. Smolders, voorzitter.
Philips Semiconductors, BL RF-modules, Nijmegen, E-mail: Smolders@ieee.org
ir. H.J. Visser, hoofdredacteur.
TNO-IND, Postbus 6235, 5600 HE Eindhoven, E-mail: Visser@ieee.org
ir. G.W. Kant, redactielid.
ASTRON, Dwingeloo, E-mail: kant@astron.nl
dr. ir. C.J.M. Verhoeven, redactielid
ITS, TU Delft, Mekelweg 4, 2628 CD Delft, E-mail: C.J.M.Verhoeven@et.tudelft.nl
ir. M. Arts, redactielid
ASTRON, Dwingeloo
E-mail: Arts@astron.nl

INHOUD

Van de ex-voorzitter 2
Wim van Etten
Van de voorzitter 3
Nico Baken
Uitreiking erelidmaatschap prof. dr. ir. Jaap Haartsen . . 5
Bart Smolders
Innovatie in de vrije band Groei of wildgroei? 7
Jaap Haartsen
On the exploitation of the 60 GHz oxygen absorption band 17
P.F.M. Smulders
Commentaar op "Building services on heterogeneous networks". 26
Wim van Etten
Commentaar op "Dr.ir. H.C.A. van Duuren (1903-1981) en foutvrije digitale radiocommunicatie" 27
Wim van Etten
Persbericht: TNO-FEL and WIN semiconductors strategic alliance . . 28
Ledenmutaties NERG 29
Proefschriften 30

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

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

Van de ex-voorzitter

Wim van Etten

Graag ben ik op de uitnodiging ingegaan van de hoofdredacteur om een stukje te schrijven bij mijn aftreden als voorzitter. In de afgelopen zeseneenhalf jaar heb ik mij via dit soort stukjes aan de leden gepresenteerd. Ik maakte mijn zorgen omtrent het NERG kenbaar, ik sprak mijn vreugde uit over wat prima liep, lichtte de plannen van het bestuur toe, kortom het was behalve een soort "hart uitstorten" ook een vorm van verantwoording afleggen; hoewel dat laatste natuurlijk formeel geschiedt op de Algemene Ledenvergadering.

Na ruim zes jaar is het mooi geweest. Gedurende de jaren als voorzitter maak je een proces door. Direct na aantreden begin je een oriëntatie op wat er speelt: wat loopt goed, wat niet, welke initiatieven zijn er genomen door de voorganger, zet ik dat zo voort of moet ik het bijstellen, etc. Wat dat betreft ben ik mijn voorganger Joop Geels erg erkentelijk. Bij zijn aftreden verkeerde het NERG in een behoorlijk goede positie en er waren zaken opgestart, die zo konden worden gecontinueerd. Ook heeft Joop mij in de loop der jaren voortdurend, gevraagd en soms ook ongevraagd, van advies gediend. Ik ben hem daar nog steeds erg dankbaar voor. Na ongeveer een jaartje in zo'n functie weet je van de hoed en de rand en begin je zaken aan te pakken, om het geheel nog beter te laten lopen. Onder mijn voorganger was juist een ledenenquête gehouden en de resultaten daarvan kwamen op tafel. Naar aanleiding van mijn eigen plannen en de enquête-uitslag hebben we met het bestuur toen een hele dag uitgetrokken om met elkaar te "brain stormen" over de koers van het NERG en plannen om die koers opnieuw richting te geven. Een aantal conclusies van die bijeenkomst hebben we in de loop der jaren kunnen realiseren, enkele andere zaken hadden we willen realiseren, maar is niet gelukt. Wat is succesvol geweest? Ik noem:

1 invoering van een compleet nieuwe huisstijl, inclusief een nieuw logo en nieuw pr-materiaal;
2 een "upgrade" van het Tijdschrift, zowel qua uitvoering als inhoudelijk;
3 invoering van een vernieuwde, interactieve WEB-site en aanstelling van een bestuurslid WEB-beheerder;
4 volledig nieuwe Statuten en Huishoudelijk Reglement, o.a. inhoudende ruimere toegang tot het lidmaatschap en verbreding van het aandachtsgebied;
5 afronding van de samenwerkingsovereenkomst met IEEE (reeds in gang gezet door Joop Geels);
6 een zogenaamd NERG-memorandum, zijnde een document, waarin een aantal procedures, bestuursbesluiten en afspraken zijn vastgelegd (reeds in gang gezet door Joop Geels).

Dit laatste punt lijkt niet zo van belang voor het gemiddelde NERG-lid, maar is cruciaal voor de informatie van nieuwe bestuursleden en de continuïteit van het bestuur. In die zin is het dus toch van belang voor iedereen, want ik kom nu tot mijn volgende punt. Ik heb me tijdens mijn voorzitterschap mogen verheugen in het feit, dat ik omringd werd door enthousiaste medebestuursleden, maar het was vaak wel moeilijk om die te vinden. Soms zijn bestuursposities te lang onbezet geweest, waardoor de daaraan gekoppelde activiteiten stagneerden. Ik heb hier al vaker gezegd, het NERG moet van ons allemaal zijn en het reilen en zeilen moet niet alleen bepaald worden door het bestuur, maar door alle leden, die daarom ook bereid zouden moeten zijn om ook eens een bestuursfunctie te aanvaarden. Dat is in al die jaren mijn grootste zorg geweest en heeft ook veel inspanning en tijd gekost.

Ik draag nu het stokje over aan Nico Baken, nadat ik de statutair maximale periode als voorzitter heb gediend. Ik ben blij dat ik een jonge, en enthousiaste opvolger heb. Hij heeft ongetwijfeld een hoop nieuwe ideeën om het NERG verder te leiden, een tijdperk in waar de bedrijvigheid weer aantrekt, nadat de economische neergang de activiteiten

op ons vakgebied, maar ongetwijfeld ook een aantal van onze leden persoonlijk, een stap terug heeft gezet. Zo'n nieuw tijdperk, met een andere mentaliteit en andere kijk op de zaken, vraagt ook om nieuw leiderschap. Ik denk dat dit bij Nico in goede handen is en ik wens hem alle succes toe bij de verwezenlijking van zijn plannen.

Tot de leden zeg ik niet adieu, maar tot ziens, want ik hoop u allen nog vaak te zien bij de themabijeenkomsten.
Gegroet.

Van de voorzitter

Nico Baken

Reeds weer een half jaar geleden heb ik de voorzittershamer van Wim van Etten mogen overnemen. In dit schrijven wil ik u een eerste indruk geven wat u van mij en het NERG bestuur kunt verwachten. Ik deel dit stuk in in twee delen. Allereerst de "Going Concern" van het NERG, de dagelijkse gang van zaken en ten tweede een aanzet voor de Visie van het NERG, en de weg daar naar toe.

Het moet me van het hart dat ik verheugd ben recent met het bestuur een goede algemene leden vergadering te hebben meegemaakt. Stiekem komt er best nog wat bij kijken om er voor te zorgen dat de zaken voor het NERG goed blijven lopen. Er moet voor u een aantrekkelijk programma worden verzorgd en mijnsinziens is dat in 2003 dankzij de inzet van de leden van de programmacommissie uitstekend gelukt! Hulde voor Bas Dunnebier, Cees van der Panne en de andere leden van de programmacommissie. Ook voor 2004 heb ik goede verwachtingen in dezen. Op financieel gebied is het mogelijk minder rooskleurig gesteld, maar dankzij onze penningmeester Peter Maartense hebben we een helder beeld van de inkomsten en uitgaven en waar de pijn zit. Ik schat in dat we met de ideeën van het bestuur daar iets structureels aan kunnen doen. Ik refereer dan aan het organiseren van Masterclasses en Expert Opinions waarbij een beroep gaat worden gedaan op uw collectieve kennis. Zonder nu alle commissies af te lopen of de intensieve job van onze secretaris Edwin Bottelier te vermelden, wil ik slechts aangeven dat het niet verkeerd is te beseffen dat een aantal mensen zich voor u als NERG lid belangeloos inspannen! Gegeven de vacatures die ontstonden in de programmacommissie, dat onze penningmeester zal moeten worden opgevolgd als mede dat de tijdschriftencommissie een nieuwe kracht behoeft en dat we nog steeds zoeken naar een enthousiaste trekker die zich in kan zetten voor de ledenwerving, vraag ik ook van u als lid om ons hierin te helpen door of zelf daar iets in te willen gaan doen of derden "op te sporen en te enthousiasmeren". In die zin is het lidmaatschap van het NERG geen "free lunch"! Laten we dit dan ook samen oppakken om het NERG te maken tot een genootschap dat herkenbaar is en respect afdwingt door haar technische inhoudelijkheid alsmede haar inspraak bij belangwekkende gerelateerde issues die spelen in Nederland BV en dit niet volledig overlaten aan de kleine groep van bestuursleden die zich nu reeds met verve inzetten om hun taken waar te maken. Voor de korte termijn zal het invullen van de vacatures een aandachtspunt zijn met zware prioriteit. Daarnaast speelt de profilering en visie van onze vereniging waarbij we recht trachten te doen aan de roep zoals geuit bij de ALV in 2003 door de "bende van vier". De voorzitter neemt het op om met het bestuur een aparte vergadering te beleggen om te kijken hoe het imago van het NERG te versterken door een heldere visie te formuleren en te effectueren.

Wat mij heeft bewogen om voorzitter te worden is het volgende. In het huidige tijdsgewricht waarin we toch een recessie doormaken, zien we dat bedrijven en vele van hun werknemers aan het "overleven" zijn. Dat de "going concern" vóór de innovatie gaat en dit het gevaar mee brengt dat bedrijven zich in de wat ik noem "Corporate Anorexia" zone gaan begeven. We zien dat er wordt opgeschoven van een Rijnland model naar het Angelsaksische economisch model, waar aandeelhouderswaarde hoog in het vaandel staat en tradities juist minder in aanzien zijn. Sterker nog, tradities worden soms eenvoudig over boord gezet en daarmee verdwijnt een collectief stuk geheugen van een bedrijf, organisatie, vereniging of enig ander deel van onze maat-

schappij. Ook een "rijk bos als het NERG is eenvoudiger gekapt dan opnieuw geplant en gegroeid". En dan, volledig in lijn met het tijdsgewricht, zie ik veel van mijn collegae druk, druk, druk zijn en wanneer het gaat om nieuwe kennis op te doen, bijvoorbeeld op het gebied van het onderwerp "Convergentie Vast en Mobiel", dan zie ik ze met grote moeite kennis vergaren. U dacht het al .., op één lezingmiddag van het NERG wordt een belangrijk stuk van die kennis op een presenteerblaadje aangeboden en lopen vakbroeders vrij rond. Ik refereer hier natuurlijk aan de uitstekende sessie waarbij Prof. Dr. Ir. Jaap Haartsen tot erelid werd gelauwerd en we een aantal zeer goede presentaties genoten. De primaire functie van het NERG kan dus ook en juist nu haar werk doen en moet onverkort blijven voortbestaan. Voor mij al voldoende reden voor een stuk inzet om het NERG te behoeden voor "verenigings-anorexia" en de vernieuwing geleidelijk te gaan oppakken. Dat brengt mij tot het tweede deel van het verhaal.

Ik begin met een quote van Rüdiger Safranski (zie NRC Magazine, januari 2004, pp 6 - 10) in een interview met Bas Heijne:

"We worden geconfronteerd met een probleem dat zich in de geschiedenis niet eerder heeft voorgedaan. Omdat wereldwijde processen steeds nauwer met elkaar verstrengeld raken, worden de dingen alsmaar complexer, zo complex dat je ze intellectueel niet meer doorgronden kan. Je hebt geen overzicht, en toch word je gedwongen een standpunt in te nemen. Dat is het probleem met de globalisering: je ziet heel de wereld, dag in dag uit, maar je *ervaart* hem niet. Je moet bedenken dat het tot laat in de negentiende eeuw, vóór de komst van de *telecommunicatie*, onmogelijk was om verschillende dingen in één ruimte te plaatsen."

Natuurlijk is daarbij Globalisering op haar beurt eveneens positief gecorreleerd met Telecommunicatie. Het lijkt wel alsof wij technici mogelijkheden hebben geschapen die niet geheel meer onder controle zijn door de gevolgen die ze oproepen, alsof er een nieuwe doos van Pandora is opengemaakt. Echter, het is mijn stellige overtuiging dat juist in de nieuwe mogelijkheden die onze vakgebied en met name Telecommunicatie bieden, weer de kernen van oplossingen rusten en verborgen zijn. Hier liggen nieuwe kansen en een verantwoordelijkheid voor onze vereniging. Het NERG zal zo tevens een meer maatschappelijk engagement kunnen ontplooien. De inzichten die daarbij horen, ook al overschrijden ze de techniek, raken de te definiëren Visie van het toekomstige NERG. Laat me wat duidelijker uitdrukken. Of het nu gaat om onze nationale problemen in de transport-, de energie-, de onderwijs-, de zorg- of ICT-sector zelf, het lijkt alsof we vastlopen, nationaal en internationaal, inderdaad u raadt het al: sector-anorexia. Hetzelfde geldt voor wezenlijke (inter)nationale sociale en maatschappelijke vraagstukken. Dat heeft met de genoemde complexiteit en verlies aan overzicht te maken en het dogmatisch blijven zoeken naar vergroten van intra-sectorale efficiëntie. Niet dat we de genoemde problemen en vraagstukken als vereniging wel even zullen tackelen, laat ons vooral bescheiden blijven! Wat ons collectief echter wel sterk maakt, zijn de inzichten in de inhoudelijke materie van ons vakgebied, het analytisch vermogen om belangrijke vraagstukken te door- gronden en de mogelijkheid een brug kunnen slaan naar stukken van de oplossingen. Juist de globalisering en telecommunicatie maken dat sectoren en naties zich niet langer kunnen isoleren. Denk ook aan ons eigen Europa dat per 1 mei weer een forse transitie is ondergaan. Oplossingen voor nieuwe uitdagingen komen uitsluitend tot stand door samenwerking over grenzen van naties en binnen één economie over sectoren heen, ik noem dat trans-sectoraal. Dit vergt the art of communication als vaardigheid en, onder andere, the art of telecommunication als techniek.

Hopelijk geeft bovenstaande food for thought. Ik wil dit met het bestuur en u, de leden, helder en pragmatisch maken, verwoorden in een Visie voor het NERG, waarbij we impliciet de vraag beantwoorden "wat willen we zijn[1]"? Vanuit de visie volgen concrete uitdagingen en een strategie zonder de haalbaarheid daarvan uit het oog te verliezen en dat er met andere partijen of forums kan, zelfs moet worden samengewerkt. Zo we versterken het NERG gevoel[2], worden we aantrekkelijk voor onze omgeving en zullen we ongetwijfeld nieuwe leden aantrekken. Ik en uw bestuur, wij staan open voor uw commentaar en ideeën.

Uw voorzitter
Nico Baken

---

1 Ook deze wezens vraag geldt juist nu voor het NERG en tal van verschillende aggregatie niveaus naast en boven onze vereniging. Zie bijvoorbeeld de uitspraak van Paul Scheffer (NRC, 2 maart 2002, De Verloren Jaren van Kok): "Wat op het spel staat is het vermogen om - met verwerking van invloeden van buitenaf - de samenleving naar eigen goeddunken vorm te geven. De zorg daarvoor kan aan niemand worden gedelegeerd."

2 Dank ook aan `de bende van vier´ voor hun inspiratie!

Uitreiking erelidmaatschap prof. dr. ir. Jaap Haartsen

Bart Smolders

Op dinsdag 28 Oktober 2003 werd een speciale NERG themabijeenkomst gehouden rondom de uitreiking van het erelidmaatschap aan Jaap Haartsen. De themabijeenkomst stond in het teken van Bluetooth, waarvan Jaap Haartsen één van de grondleggers is geweest. Het mag duidelijk zijn dat het NERG bestuur zeer verheugd is met het "jeugdige" erelid. Het erelidmaatschap werd ditmaal uitgereikt door de kersverse voorzitter van het NERG, Nico Baken. U vindt in het vervolg van dit nummer een aantal artikelen die tijdens deze themabijeenkomst zijn gepresenteerd.

Hieronder volgt de considerans zoals uitgesproken tijdens de NERG themabijeenkomst van 28 Oktober jl.

Considerans om prof.dr.ir. Jaap Haartsen te benoemen tot ERELID van het NERG

Jaap Haartsen behaalde het ingenieursdiploma aan de Faculteit Elektrotechniek van de Technische Universiteit Delft in 1986. Aan dezelfde universiteit behaalde hij de doctorstitel in 1990. Aan beide diploma's was het predikaat "met lof" verbonden. Na het behalen van de dr.-graad trad hij in dienst van Ericsson. Voor dit bedrijf werkte hij achtereenvolgens twee jaar in de US en vier jaar in Zweden. In 1997 keerde hij terug naar Nederland, maar bleef in dienst van Ericsson. In juni 2000 werd hij benoemd tot deeltijdhoogleraar aan de Universiteit Twente, met leeropdracht "Mobiele Radiocommunicatiesystemen".

Figuur 1: Uitreiking van de het erelidmaatschap aan prof. dr.ir. Jaap Haartsen door NERG voorzitter prof.dr.ir. Nico Baken

De statuten van het NERG kent twee hoedanigheden op grond waarvan men tot erelid kan worden benoemd, te weten buitengewone verdiensten voor de vereniging, of buitengewone verdiensten voor de doelstellingen van de vereniging. De overwegingen op basis waarvan dit erelidmaatschap wordt toegekend, zijn de volgende.

Bij 'Bluetooth' denken we niet alleen aan de Deense koning die van 940 tot 981 met harde hand over Denemarken en Noorwegen regeerde, maar ook aan Jaap Haartsen. Jaap heeft in opdracht van de firma Ericsson een draadloze communicatiemethode gerealiseerd met zeer flexibele maar ook robuuste eigenschappen. Een methode die voldoet aan die eigenschappen die nodig zijn om wereldwijd gebruikt te kunnen worden voor een ondenkbaar aantal toepassingen. Ten eerste is de radio-interface ontworpen. De communicatie vindt plaats in een wereldwijd beschikbare frequentieband waarvan een groot aantal andere toepassingen ook gebruik maken, nl. de ongelicentieerde ISM-band rond 2,45 GHz. Er is een zeer robuuste transmissiemethodiek gekozen om betrouwbare communicatie mogelijk te maken in een omgeving met zeer hoge interferentie. Dit laatste moge duidelijk zijn als u bedenkt dat de magnetronoven met ongeveer een kilowatt aan vermogen in dezelfde band opereert. Weliswaar zijn die magnetrons afgeschermd, maar er lekt toch een aanzienlijk deel van het vermogen naar buiten.

Op dit radiokanaal is een zelfontworpen protocol geïmplementeerd, dat onder meer voorziet in een communicatiemogelijkheid voor zowel tijdkriti-

sche, de zogenaamde 'real time'-informatie, als de minder tijdkritische toepassingen. Bovendien is er een zeer dynamisch netwerkprotocol ontworpen, dat flexibel en automatisch netwerken kan configureren op basis van de apparaten die op dat moment binnen de werkingssfeer van het betrokken 'device' aanwezig zijn. Ongemerkt worden 'master'- en 'slave'-rollen bepaald op zodanige wijze, dat een vloeiende onderlinge communicatie tussen apparaten wordt gerealiseerd. Dit alles is op één enkele chip ondergebracht.

Het is niet verbazingwekkend, dat een dergelijke ontwikkeling veel navolging krijgt. Meer dan 1500 bedrijven over de gehele wereld hebben zich achter deze techniek geschaard. Voor een belangrijk deel komt dat, omdat Ericsson besloten had de standaard van 'Bluetooth' vrijelijk ter beschikking te stellen aan iedereen. Dit veroorzaakte een ware explosie van belangstelling voor het systeem. In 2002 werden 30-35 miljoen 'Bluetooth-devices' verkocht; de verwachtingen voor 2003 lopen op tot 85 miljoen stuks. Voorwaar geen gering succes voor ons NERG-lid Jaap Haartsen.
Diverse onderscheidingen vielen hem ten deel, zoals die van 'Ericsson inventor of the year 1997' en de Vederprijs in 1999. Het NERG bevindt zich dan ook in goed gezelschap. Wij verheugen ons er op iemand van een dergelijke statuur in de geleding van ereleden van onze vereniging te mogen opnemen.

Innovatie in de vrije band
Groei of wildgroei?

Jaap Haartsen

Deze publicatie werd geschreven naar aanleiding van een gelijknamig presentatie, gehouden tijdens de inauguratie van Jaap Haartsen als erelid van het NERG op 28 Oktober 2003.

Abstract

When a few decades ago, spectrum regulations were changed to allow commercial radio applications in unlicensed bands, interest was marginal. But this interest has changed radically in the last few years. After the worldwide success of mobile telephony in licensed bands, capacity limitations and huge license fees have spurred the interest of radio applications in the unlicensed bands. Since a few years, systems like WLAN IEEE 802.11 and Bluetoothtm are increasingly deployed in the 2.4 GHz band. But also new systems are being worked on like ZigBee and those resulting from the WPAN activity IEEE 802.15.

Spectrum, even unlicensed, is limited and yet ubiquitous communications using several different standards is foreseen in the near future. Coexistence is not trivial as different standards follow different protocols. Moreover, regulations, initially intended to provide fair sharing, are constantly changing to allow for higher data rates, yet moving away from robustness requirements.

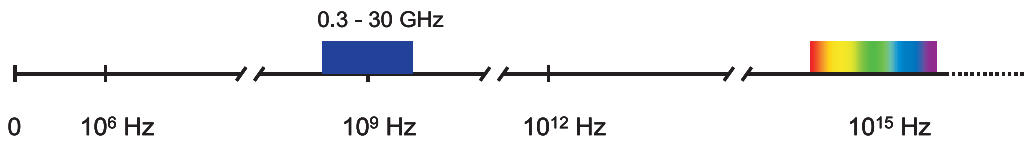
Introductie

Nauwelijks tien jaar geleden werden de eerste stappen gezet voor de ontwikkeling van de Bluetooth radio interface in de 2.4 GHz band. Destijds was deze band nagenoeg leeg. Er waren slechts weinig producten op de markt die op 2.4 GHz werkten. Problemen met magnetrons, babyfoons en andere "verstoorders" waren bekend, maar waren controleerbaar. Anno 2004 is de toestand totaal veranderd. Vorig jaar werden er ongeveer 60 miljoen Bluetooth radio's en zo'n 30 miljoen WLAN radio's in producten geïntegreerd. Dit jaar wordt een verdubbeling verwacht.

Frequentiespectrum is een schaars medium. Een aantal jaren geleden werden er miljarden euro's geïnvesteerd in UMTS spectrum voor publieke diensten. Ondanks claims van onbeperkte capaciteit door het verkleinen van de cellen, daarbij vertrouwend op frequentiehergebruik [1] en geavanceerde signaalbewerking [2], is er een limiet aan het aantal radiogebruikers in een bepaald geografisch gebied. Met de toename van het aantal mobiele telefoongebruikers, het aantal WiFi hotspots en het groeiend gebruik van draadloze connectiviteit via Bluetooth [3] wordt radio communicatie zo langzamerhand inderdaad "ubiquitous" of alomvattend. En er staat ons nog meer te wachten. Wanneer we de ambities voor Ambient Intelligence [4] bezien: honderden apparaatjes uitgevoerd met een radio verborgen in ons huis, op kantoor, in de auto, en zelfs op ons lichaam vormen een uitgebreid netwerk met hoge datasnelheden en korte reactie tijden.

Het radio frequentiespectrum

Tot dusverre bestaat het segment van het elektromagnetisch spectrum, dat het meest voor radiocommunicatie gebruikt wordt uit een beperkt gebied tussen de 300 MHz en 30GHz (zie Figuur 1). Er wordt onderzoek verricht in hogere frequentiebanden zoals rond de 60 GHz [5], maar voorlopig worden deze banden niet op grote schaal aangewend. Radiogolven op lage frequenties vertonen goede propagatie-eigenschappen, en vereisen zendontvangers die weinig vermogen verbruiken en goedkoop geproduceerd kunnen worden. Echter, een benedengrens wordt gevormd door de antenne. Hoge antenne efficiency vereist antennedimensies die van dezelfde orde van grootte zijn als de golflengte van de radiogolf. Voor lage frequenties vormt de antenne een probleem. Dit geldt speciaal voor draagbare apparatuur met een kleine vormfactor. Aan de hoge zijde van het frequentiespectrum worden de radiogolven extreem richtingsgevoelig. De radiogolven zullen meer hinder



Figuur 1: Slechts een klein deel van het EM spectrum is geschikt voor radio communicatie.

ondervinden van obstructies en vertonen in het algemeen een groter verlies. Daarbij komen de uitdagingen in het zendontvanger-ontwerp, in het bijzonder volledige integratie in gangbare siliciumprocessen zoals RF-CMOS.

De tweejaarlijkse World Radio Communications Conference (WRC) dient als forum voor het nemen van beslissingen betreffende de draadloze diensten en de toewijzing van frequentiebanden. Dit als een poging om enige wereldwijde harmonisatie te verkrijgen. Lokale instanties zoals de Federal Communications Commission (FCC) in de VS, de European Conference of Postal and Telecommunications Administration (CEPT) in Europa, en de Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) in Japan nemen echter de uiteindelijke beslissingen over toewijzing en implementatie van frequenties en diensten. Grofweg zijn er voor radiocommunicatie diensten drie categorieën frequentiebanden te onderscheiden en wel:

Gelicentieerde banden

Om in dit spectrum diensten aan te mogen bieden hebben de gebruikers een vergunning nodig. De vergunningen werden vroeger hoofdzakelijk toegewezen aan oude institutionele organisaties zoals de PTTs, maar met de liberalisering van de telecommarkt hebben nieuwe spelers een vergunning kunnen bemachtigen. Het verkrijgen van een vergunning kan gaan via een veiling waarbij grote bedragen neergelegd worden of via een schoonheidswedstrijd waarbij het beste voorstel wint. Gelicentieerd spectrum wordt voornamelijk gebruikt voor publieke diensten zoals bijvoorbeeld telefoonverkeer via GSM en UMTS.

Licentievrijgestelde banden

Dit spectrum is gereserveerd voor specifieke toepassingen. Men heeft echter geen vergunning nodig om in deze banden te mogen zenden. Dit type spectrum is niet bekend in de VS (daar is licentievrijgestelde spectrum equivalent aan vrij spectrum, zie de volgende categorie). Een voorbeeld van licentievrijgestelde spectrum is de DECT band van 1880 MHz tot 1900 MHz. Deze band mag in Europa alleen gebruikt worden voor DECT telefonie. Draadloze apparatuur, die geen DECT protocol ondersteunt, mag hierin niet gebruikt worden. Ook de 5 GHz band in Europa wordt gezien als een gereserveerde band die uitsluitend bedoeld is voor HIPERLAN systemen.

Ongelicentieerde of vrije banden

Dit spectrum is niet gereserveerd en een vergunning is ook niet nodig voor het gebruik. Een willekeurig zendontvang-systeem kan gebouwd en gebruikt worden in dit spectrum.

Vrije radiobanden

Omdat vrije banden vrij te gebruiken zijn en niet gehinderd worden door vergunningen of de eis voor specifieke toepassingen, zijn deze banden erg populair geworden om allerlei nieuwe draadloze systemen en toepassingen te introduceren. Hoewel vrij te gebruiken moeten toch enige regels gevolgd worden, wanneer draadloze systemen voor deze banden ontwikkeld worden. In ieder geval is het toegestane uitgangsvermogen beperkt. In de CEPT worden deze vrije banden daarom ook wel aangeduid met "specifiek voor het gebruik van korte afstand communicatie"[6], en in ARIB met "Laag vermogen communicatie" [7]. De vrije band toewijzing in Europa is samengevat in de ERC Recommendation 70-03 [6]. Voor communicatie toepassingen zijn de zes banden, die het meest interessant zijn samengevat in Tabel 1.

In feite kunnen alle banden genoemd in Tabel 1 gebruikt worden voor niet-specifieke korte afstand communicatie. Echter moeten audio-toepassingen vermeden worden in de 433 MHz band en video-toepassingen moeten de banden vanaf

Tabel I

Band	Gebruik
433 MHz	Niet-specifieke korte afstand communicatie
868 MHz	Alarmsystemen
2.4 GHz	Radio LANs / RF-ID
5 GHz	Radio LANs
17 GHz	Radio LANs
24 GHz	Bewegingsdetectie

Tabel II

Band	Type
902 MHz	ISM
1.9 GHz	UTAM restricties
2.4 GHz	ISM
5 GHz	ISM / U-NII
24 GHz	ISM

2.4 GHz en hoger gebruiken. De details en specifieke toewijzing kan per land nog wezenlijk verschillen. In de VS behoren de Industrial, Scientific, Medical (ISM) banden en de Unlicensed, National Information Infrastructure (U-NII) banden tot de categorie vrije banden. De bandenallocatie in de VS worden beschreven in het document FCC Part 15 - Radio Frequency Devices [8]. In feite zijn hier vijf banden gedefinieerd, zie Tabel II.

In de VS is de 902-928 ISM band erg populair voor draadloze huistelefoons. De 1910-1930 MHz band is in principe vrij, maar wordt op dit moment bezet door Fixed Microwave Services die verschoven moeten worden. Het gebruik van systemen in de 1.9 GHz band vereist coördinatie met de UTAM Inc. instantie en is daardoor niet erg aantrekkelijk voor persoonlijke, draadloze communicatie. Onlangs is er in de VS een nieuwe band van 5470 MHz tot 5725 MHz toegevoegd tot de U-NII band door de FCC om zo een harmonisatie met de 5 GHz band in Europa te bewerkstelligen en een grotere capaciteit voor RLANs te verkrijgen [9]. In Figuur 2 zijn de gegevens van de tabellen I en II gevisualiseerd. Het is duidelijk dat van een wereldwijde harmonisatie nog geen sprake is, alhoewel verbeteringen in zowel de 2.4 GHz band en de 5 GHz band recentelijk doorgevoerd zijn.

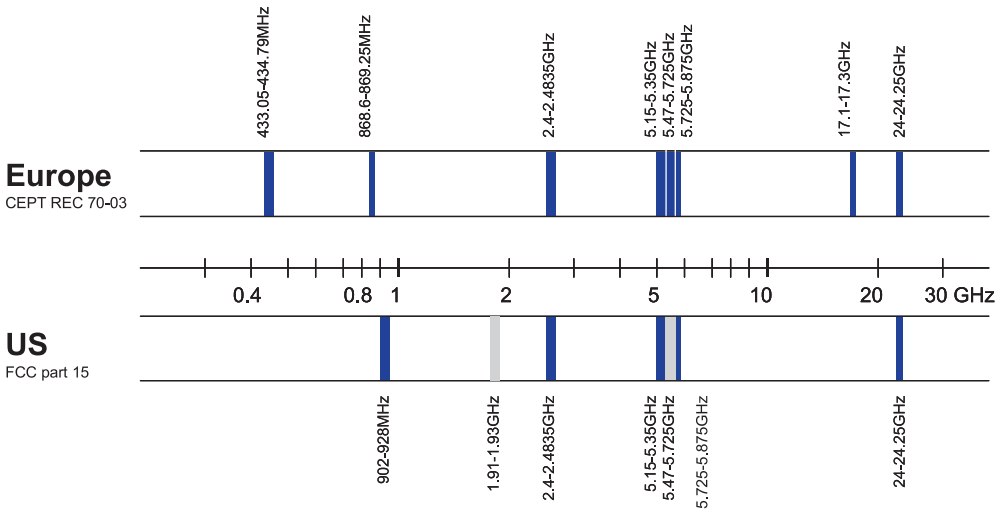
Spectrum regelgeving

Hoewel vrije banden onbeperkt gebruikt kunnen worden, zijn ze wel eniger mate gereguleerd. Restricties of regels zijn opgesteld om iedere gebruiker een eerlijke kans te geven gebruik te maken van het vrije spectrum. Bij voorkeur zouden de regels een etiquette moeten beschrijven, maar omdat de verschillende systemen over het algemeen niet met elkaar kunnen communiceren (denk bijvoorbeeld aan een magnetronoven en een WLAN basisstation) bestaat zo'n etiquette niet. Beperkingen zijn geplaatst op:

- Uitgangsvermogen: deze regel beperkt het absolute zendvermogen. Dit vermogen wordt uitgedrukt in het maximale EIRP niveau of elektrische veldsterkte op een bepaalde afstand van de zender. Daarbij is de antennewinst gelimiteerd.
- Signaalspreiding: deze regel limiteert de maximale vermogensdichtheid (in W/Hz). Conventionele spreidingstechnieken zijn direct-sequence spread spectrum (DSSS) and frequency-hop spread spectrum (FHSS).
- Duty cycle: deze regel plaatst een limiet op het gebruik van het spectrum in het tijddomein.

Het uitgangsvermogen is van belang voor het bereik van het draadloze systeem. Enerzijds wordt er door restricties op het zendvermogen voorkomen dat diensten kunnen worden aangeboden die landelijk dekkend zijn. Deze diensten horen eigenlijk in de categorie gelicentieerde banden thuis. Anderzijds wordt de storing die een zender creëert voor andere systemen beperkt. Sterke zenders zouden het verkeer in een heel frequentiegebied kunnen blokkeren door niet-lineaire effecten

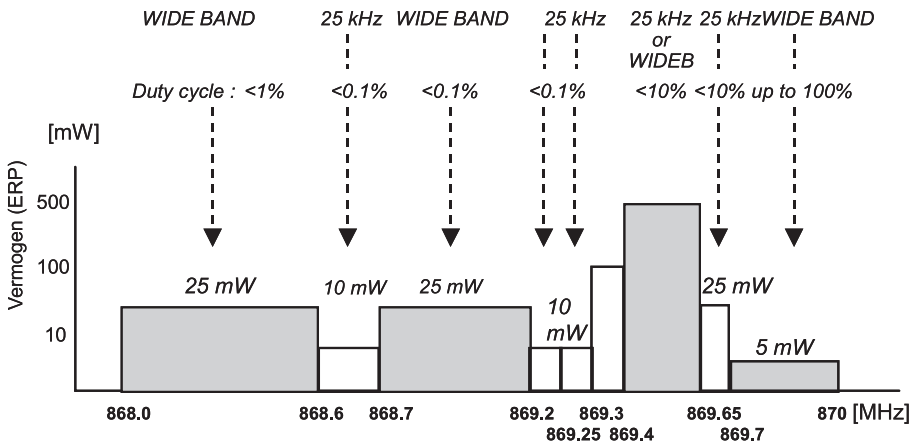
Figuur 2: Allocatie van vrije banden in het spectrum segment 0.3-30 GHz.



in de ontvanger. Door het vermogen van het signaal over een groter frequentiebereik te verspreiden, daalt het vermogen per MHz. Zenders die verder af staan, zullen zo eerder in de ruisvloer van ontvangers verdwijnen en geen negatieve storende effecten hebben. Door duty cycle regels toe te passen wordt de verkeersintensiteit op het medium verminderd. Hiermee kan men systemen dwingen van Time Division Multiplexing gebruik te maken: meerdere gebruikers kunnen gebruik maken van hetzelfde medium maar ieder op zijn beurt. In de 868 MHz band zijn bijvoorbeeld bepaalde frequenties aan zeer lage duty cycles gebonden. In Figuur 3 zijn banden te zien waarvan de duty cycle kleiner moet zijn dan 0.1%. Het zal duidelijk zijn, dat alleen specifieke toepassingen hiervan gebruik kunnen maken. Alarmsystemen zijn typisch systemen, die een zeer laag verkeersaanbod hebben en daardoor gebruik kunnen maken van deze banden.

De regels die betrekking hebben op het gebruik van de 2.4 GHz band in de VS zijn samengevat in paragraaf 15.247 en 15.249 van het FCC Part 15 document [8], voor Europa in het ETSI document ETS 300-328 [10], en voor Japan in het ARIB document RCR-STD33 [7]. De regels zijn echter niet bevroren! Aanvragen voor veranderingen door bedrijven, Special Interest Groepen (SIG) en andere lobbyisten kunnen regelgevende organen zoals de FCC overhalen de regels te wijzigen of aan te passen. In de laatste tien jaar zijn er bijvoorbeeld een redelijk aantal wijzigingen in het FCC Part 15 document aangebracht. Een goed voorbeeld is de eis voor processing gain in paragraaf 15.247 voor direct-sequence spreiding. Volgens de regels in 1993 moest een ontvanger tenminste een processing gain (PG) van 10dB kunnen realiseren. De PG moest gemeten worden als het verschil in signaal-ruis verhouding met de spreiding aan en uit. De oorspronkelijke WLAN IEEE 802.11DSSS systemen met datasnelheden van 1 en 2 Mb/s voldeden aan deze eis. De opvolger, de WLAN IEEE 802.11b standaard, bereikt een datasnelheid van 11 Mb/s en maakt gebruik van CCK (Complementary Code Keying) modulatie. Maar bij deze techniek benadert de informatiebandbreedte de transmissiebandbreedte. Als gevolg hiervan werden de FCC regels in 1999 aangepast door de PG te laten meten door middel van een CW jamming methode. Met de komst van WLAN IEEE 802.11g, die helemaal geen PG heeft en gebruik maakt van een OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) techniek, werd de eis voor PG in het geheel afgeschaft in 2002. Ook voor de frequentiehoppers veranderden de regels over de jaren. In de oorspronkelijke FCC regels moest een hopper over tenminste 75 verschillende frequenties springen. In 2002 werd deze eis danig verzwakt door slechts 15 verschillende frequenties te eisen. Omdat voor hoppers de processing gain verband houdt met het aantal hopfrequenties, werd ook hier PG ingeleverd. Het verzwakken van de hoppereisen werd gedreven door de HomeRF Special Interest Group die breedbandige kanalen (5 MHz breed) wilde realiseren die over minder frequenties sprongen. Maar de verandering werd later door de Bluetooth SIG aangegrepen om adaptieve frequentie hopping (AFH) te specificeren [11] om op deze manier andere systemen, zoals WLAN zenders, te kunnen ontwijken. Wijzigingen in de regels worden gemotiveerd door innovaties, verbeterde diensten en voortschrijdende technologie. Toch moet toegegeven worden dat deze verzwakking van de regels,

Figuur 3: Duty cycle restricties in de 868 MHz band [6].



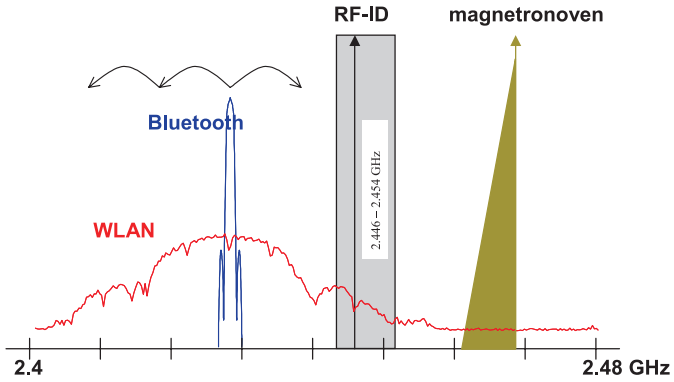
de robuustheid niet ten goede gekomen is. Spreiding werd in eerste instantie gezien als vermindering van interferentie (verlaging van de vermogensdichtheid), maar vooral ook om interferentie en verstoorders te kunnen weerstaan. Dit laatste argument is duidelijk naar de tweede plaats verdreven.

Het interferentieprobleem

Wanneer de wereldwijde frequentietoewijzingen nader aanschouwd worden, zal duidelijk worden dat tot nu toe slechts één frequentieband overal ter wereld als vrij bestempeld kan worden. Dit is de 2.4 GHz band die loopt van 2400 MHz tot 2483.5 MHz. De vraag is wanneer men bij voorkeur een wereldwijd beschikbare, vrije band gebruikt. Hiervoor zijn drie argumenten aan te voeren:

- Ad-hoc communicatie: ad-hoc systemen zetten een verbinding op zonder de tussenkomst van een kabel- of glasvezelinfrastructuur. Als gevolg hiervan is het gebruik niet gebonden aan een geografisch locatie (zoals in het geval van een infrastructuur met vaste basisstations). Het ad-hoc netwerk "zweeft" als het ware en verplaatst zich met de gebruiker. De gebruiker kan zich wereldwijd verplaatsen zonder dat het radiosysteem zich bewust hoeft te zijn van de geografische condities. De gebruiker zou zich niet bezig moeten houden met lokale regelgeving of vergunningen voor het gebruiken van een radioverbinding tussen bijvoorbeeld zijn laptop en zijn PDA.
- Wereldwijde afzetmarkt: wanneer de markt groeit, gaan de aantallen omhoog en de kostprijs naar beneden. Het maakt ook de distributie van producten makkelijker wanneer geen rekening gehouden behoeft te worden met allerlei verschillende invoer- en keuringseisen. Een enkel product goedgekeurd voor elk land is te prefereren boven een product, dat voor elke regio aangepast moet worden.
- Consumenten elektronica: In het algemeen geldt, dat voor communicatie tussen persoonlijke consumenten artikelen een vrije, wereldwijde band de voorkeur heeft.

Maar men dient zich terdege te realiseren dat het gebruik van vrije banden een uitdaging vormt met betrekking tot coëxistentie. Reeds gedurende de ontwerpfase van een nieuw communicatiesysteem moet de ontwerper rekening houden dat hij het spectrum moet delen met:



Figuur 4: Coëxistentie van 4 verschillende systemen die allen gebruik maken van de 2.4 GHz band.

- Bestaande, niet-communicatie apparaten: vermogen dat onbedoeld wordt uitgestraald door hoogfrequent apparaten zoals magnetronovens. Deze vormen een bron van verstoring.
- Bestaande radiocommunicatie systemen: vermogen dat verzonden wordt door zenders, die van hetzelfde of van een ander protocol/techniek gebruik maken Dit kunnen bijvoorbeeld WLAN, Bluetooth, of RF-ID systemen zijn.
- Toekomstige radiosystemen: systemen, die nog niet bestaan, maar in de toekomst gebouwd gaan worden. De enige bekende factoren zijn de regels in de vrije band waaraan deze nieuwe systemen zullen moeten voldoen. Echter, zoals aangegeven in sectie 4, maken veranderingen in regelgeving voorspellingen meer en meer onbetrouwbaar.

Een realistisch voorbeeld van een coëxistentie probleem in de 2.4 GHz band wordt getoond in Figuur 4. In één en dezelfde ruimte zijn vier zenders tegelijkertijd actief: een magnetronoven, een WLAN basisstation, een Bluetooth radio, en een RF-ID zender. Deze situatie is goed denkbaar in een toekomstige keuken waarbij via een laptop recepten van een centrale database (PC) worden opgehaald, muziek via een Bluetooth MP3 speler wordt beluisterd, de magnetronoven het eten opwarmt, en een RF-ID radio binnenkomende personen traceert. Tabel III vat de verschillende eigenschappen van de verschillende radio's samen, die van belang zijn voor de coëxistentie.

Tabel III

systeem	Bandbreedte (MHz)	Zendvermogen (W)	Duty cycle (%)
WLAN	22	0.1	100
Bluetooth	1	0.1	100
RF-ID	0.35	4	15
Magnetron	CW	0.1	40

Het WLAN kanaalspectrum bestrijkt een vrij breed frequentiegebied. De positie binnen de 2.4 GHz band kan variëren. Er zijn voor de VS 11 en voor Europa 13 verschillende kanaalposities gedefinieerd. Bluetooth heeft een vrij smalbandig kanaal (1 MHz) maar het kanaal hopt tussen 79 verschillende draaggolf-frequenties die in de 80 MHz van de 2.4 GHz band gedefinieerd zijn. De RF-ID zendt een smalbandig signaal uit (bijna een toon), maar bevindt zich ergens in het frequentiegebied tussen 2446 en 2454 MHz. Voor de magnetronoven is een normale consumentenoven aangenomen met een duty cycle die overeen komt met de halve periode in het 50 Hz spanningsnet. Hoewel de magnetron een toonsignaal (CW Continuous Wave) uitzendt als hij actief is, is het smalbandige signaal instabiel gedurende de overgangsperioden van non-actief naar actief en omgekeerd. Gedurende een korte tijdsperiode van een aantal milliseconden kan het signaal over verscheidene MHz bewegen. De precieze positie van de zwiep en het toonsignaal hangen af van het fabrikaat oven en van het soort en de hoeveelheid voedsel dat wordt opgewarmd [12]. Het vermogen uitgezonden door de magnetronoven is het vermogen dat lekt door de deur en de zijkanten. De vier systemen met verschillende eigenschappen kunnen niet met elkaar communiceren. Toch heeft elk van hen (behalve de oven) een deel van het 2.4 GHz spectrum nodig voor een goed functioneren.

In het algemeen is de kwaliteit (bijvoorbeeld uitgedrukt in de foutkans per pakket of Packet-Error-Rate PER) van een radioverbinding een functie $\boldsymbol{H}$ van een groot aantal variabelen. Om het probleem enigszins overzichtelijk te houden zijn in formule 1 slechts 7 parameters opgenomen.

$$\mathrm{PER} = \boldsymbol{H}(P_u, B_u, R_u, d_u, P_j, B_j, d_j) \qquad (1)$$

In deze formule zijn P_u, P_j de zendvermogens van de gebruiker en de verstoorder, zijn B_u, B_j de transmissie bandbreedten en zijn d_u, d_j de duty cycles. R_u is de informatiesnelheid van de gebruiker. De ontvangstkwaliteit is verder een functie van omgevingsfactoren die uiteindelijk het ontvangstniveau bepalen van zowel het gewenste signaal als het verstorende signaal. Hierbij zijn van belang de afstanden tussen gewenste zender en ontvanger, en tussen storende zender en ontvanger, alsmede omgevingsfactoren zoals obstructies, golfgeleidingseffecten, reflecties etc. Als beide zenders op hetzelfde moment en op dezelfde frequentie zenden, dan zal de foutkans afhangen van de verhouding tussen gewenst en stoorvermogen bij de ontvanger, of te wel tussen ontvangen signaalsterkte en ontvangen interferentie, S/I. Grotere vermogens P_u van de gewenste zender geven een grotere protectie tegen verstoorders mits de afstanden tussen de ontvanger en de gewenste zender niet te groot worden. Omgekeerd garanderen kortere afstanden een sterker ontvangen gewenst signaal. De huidige trend om steeds gevoeligere ontvangers te maken met het doel óf het bereik te vergroten óf het vereiste zendvermogen te verlagen, heeft geen positieve uitwerking op de robuustheid van het systeem.

Hoe beïnvloeden de andere parameters de kwaliteit van de verbinding? De verhouding B_u/R_u is een mate voor de processing gain of coding gain: hoe lager de informatiesnelheid, hoe meer overhead er beschikbaar is om interferentie tegen te gaan door middel van spreiding of codering. Hoe breder de bandbreedtes B_u, B_j zijn, hoe groter de kans is dat de gewenste en storende signalen elkaar in het frequentiedomein overlappen. Ook wordt de mogelijkheid tot het ontwijken van een verstoorder verkleind met de vergroting van de transmissie bandbreedten. Voor Ultra-Wideband (UWB) systemen zijn technieken om verstoringen te onderdrukken dus van cruciaal belang [13]. Hoe groter de duty cycles d_u, d_j zijn, hoe groter de kans is dat de gewenste en storende signalen elkaar in het tijddomein overlappen. Duty cycles worden in het bijzonder bepaald door de intensiteit van het verkeersaanbod. Diensten, die continue grote capaciteit vereisen, zoals bijvoorbeeld video streaming, zullen dus een groter interferentieprobleem vormen dan best-effort diensten zoals web-browsing, waarbij slechts af en toe een bericht uitgewisseld wordt.

Zowel direct-sequence spreiding als foutcorrigerende codering kunnen nuttig zijn om storing te verminderen door de interferentie te onderdrukken, maar zijn meestal niet voldoende bij zogenaamde "near-far" situaties die in sectie 6 nader besproken worden. Volgens één van de pioniers van IEEE 802.11 werd de direct-sequence spreiding techniek in WLAN slechts toegepast om te voldoen aan de FCC regels en niet omdat het een bescherming tegen interferentie zou geven [14]. Het verdient echter de voorkeur om het gewenste signaal en de verstoring niet te laten overlappen, noch in tijd noch in frequentie. Ontwijken is dus een andere

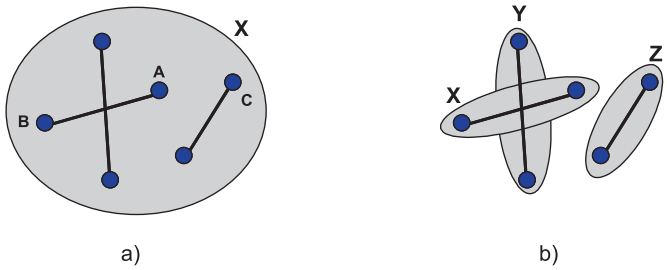
optie. Ontwijken in tijd kan toegepast worden door naar het medium te luisteren alvorens te zenden (listen-before-talk). Deze methode wordt wel aangeduid als CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidence) en wordt standaard toegepast in WLAN systemen zoals IEEE 802.11. Deze methode geeft echter suboptimale prestaties omdat de meeting met absolute signaalniveaus werkt, terwijl voor de ontvangstkwaliteit de verhouding tussen signaalniveaus van belang is (S/I). Ontwijken in het frequentiedomein kan toegepast worden door middel van snelle synthesizers en adaptieve methodes zoals Dynamische Frequentie Selectie (DFS). Hierbij wordt gemeten in welk frequentiegebied een ander systeem werkzaam is en vervolgens wordt dit frequentiegebied gemeden. Deze methode werkt acceptabel zolang potentiële verstoorders continue of met grote regelmaat een signaal uitzenden dat gemeten kan worden. Dit kan bijvoorbeeld een controle kanaal zijn of een beacon. Het meten op datakanalen, waar signalen met een lage duty cycle op verzonden worden, leidt tot onnauwkeurige resultaten. Hoppen is een betere methode om met coëxistentie om te gaan. In hoppers kan een vrij grote isolatie gerealiseerd worden tussen het gewenste signaal en de verstoorder, wat een goede robuustheid geeft. Echter, *frequentie*hoppers werken alleen optimaal wanneer de verstoorder smalbandig is. Overeenkomstig geldt voor *tijd*hoppers dat deze alleen optimaal werken wanneer de verstoorder een kleine duty cycle heeft (korte pulsen). Bestaande verstoorders in de vrije banden zijn over het algemeen beperkt in bandbreedte maar zelden in duty cycle. Frequentiehoppers zoals toegepast in Bluetooth zijn daarom een betere keuze dan tijdhoppers zoals die worden toegepast in Impulse Radio [13].

Ad-hoc radio systemen

Ad-hoc radiocommunicatie karakteriseert zich door het leggen van spontane verbindingen tussen twee of meerdere mobiele apparaten. De communicatie wordt niet ondersteund door een kabel- of glasvezelinfrastructuur. Er zijn geen basisstations of access punten: er kan dus geen sprake zijn van vaste cellen en structureel kanaalhergebruik, zoals dit wordt toegepast in cellulaire systemen. Er is geen centrale controle eenheid om bijvoorbeeld het verkeer te regelen of om kanalen toe te wijzen zodat interferentie en botsingen voorkomen kunnen worden. Tenslotte zijn er geen controle kanalen die gebruikt kunnen worden om andere apparaten te "vinden" en om laag-vermogen, standby modes te realiseren (het continue uitzenden van een beacon zelfs als er geen verbinding is, is zowel uit het oogpunt van interferentie als uit het oogpunt van stroomverbruik niet aan te bevelen).

In principe bestaan er twee typen ad-hoc topologieën: de enkel-kanaal topologie zoals weergegeven in Figuur 5a, en de multi-kanaal topologie zoals weergegeven in Figuur 5b. In de enkel-kanaal topologie delen alle apparaten hetzelfde kanaal X. Hoewel ze verbonden zijn aan hetzelfde kanaal, hoeft niet elk apparaat met elk ander verbonden apparaat kunnen communiceren, omdat "hidden nodes" aanwezig kunnen zijn. Bijvoorbeeld in Figuur 5a kan unit A communiceren met B en met C via hetzelfde kanaal X; B en C kunnen echter niet met elkaar communiceren, omdat ze buiten elkaars bereik liggen. Wanneer een nieuwe unit het gebied nadert, zal het naar een kanaal op zoek gaan. Zodra het kanaal gevonden is, zal de nieuwe unit een verbinding maken en over het kanaal op zoek gaan naar andere units die van dit kanaal gebruik maken. De ad-hoc modes binnen WLAN IEEE 802.11 en WPAN IEEE 802.15 maken gebruik van dit enkel-kanaalsmodel. Dit past binnen de toepassingen waar informatie gedeeld moet worden tussen alle deelnemers, zoals bijvoorbeeld bij het verspreiden van een powerpoint presentatie tussen laptops tijdens een vergadering. In het multi-kanaal concept worden alleen de apparaten, die daadwerkelijk informatie willen uitwisselen op hetzelfde kanaal gezet. Figuur 5a laat dezelfde units en verbindingen zien als Figuur 5b. In Figuur 5b is echter voor elke verbinding een nieuw kanaal opgezet. Omdat C geen informatie hoeft uit te wisselen met A of B, is het niet verbonden met kanaal X maar heeft het een eigen kanaal Z. Wanneer een nieuwe unit het gebied nadert, zal hij niet op zoek gaan naar een kanaal, maar naar een unit waarmee hij wil communiceren. Hij kan dan een nieuw kanaal opzetten, of zich tot een reeds bestaand

Figuur 5: Enkel-kanaal topologie (a) en multi-kanaal topologie (b) in ad-hoc scenario's.



kanaal voegen. Dit laatste hangt af van de gewenste toepassing. Het multi-kanaal concept wordt gebruikt in Bluetooth, en past goed bij persoonlijke toepassingen, zoals het verbinden van een mobiele telefoon met een hoofdtelefoon, of met een PDA of een laptop. Het zal duidelijk zijn, dat de behoefte aan bandbreedte in het enkel-kanaalsmodel groter zal zijn dan in het multi-kanaalsmodel. In het enkel-kanaalsmodel maakt een grote groep gebruikers gebruik van een enkel kanaal waarvan de capaciteit gedeeld moet worden. In het multi-kanaalsmodel maken verschillende kleine groepjes elk gebruik van hun eigen kanaal. Omdat de groepen kleiner zijn, zijn de eisen voor de capaciteit van het kanaal lager.

Uit het voorgaande valt ook op te maken dat interferentie in het multi-kanaal concept een groter probleem vormt dan voor het enkel-kanaalsmodel als gevolg van andere, ongecoördineerde groepen. Het leidt tot meer "Co-user interference" of te wel interferentie van een identiek systeem dat niet hetzelfde netwerk deelt. Een ander probleem vormen de "near-far" situaties. Omdat in ad-hoc systemen de onderlinge posities tussen zenders en ontvangers niet controleerbaar zijn, kunnen storende zenders zeer dichtbij de ontvanger komen. Zelfs als de verstoorder op een ander frequentie zendt dan het gewenste signaal, kan de ontvanger als gevolg van niet-lineaire effecten geblokkeerd worden. Door de grote signaalsterkte van de verstoorder wordt de ingangstrap van de ontvanger in verzadiging gestuurd waardoor de effectieve versterking afneemt (desensitization). In dit soort gevallen helpen zelfs frequentie-ontwijkingmethoden zoals AFH niet meer. Een duidelijk geval van een near-far situatie treedt op als in een apparaat twee radio's aanwezig zijn die allebei actief zijn. Een voorbeeld is een laptop met zowel een WLAN IEEE 802.11b kaart voor een verbinding met het kantoornetwerk als een Bluetooth radio voor een verbinding naar het toetsenbord en de muis. Ontwijken in het tijddomein is de enige oplossing in dit soort situaties.

Nieuwe standaarden

Aan het eind van de tachtiger jaren en gedurende de negentiger jaren richtten onderzoek en ontwikkeling op het gebied van draadloze communicatie zich geheel op de gelicentieerde banden. Cellulaire systemen zoals GSM, IS-95, en later UMTS waren sterk in opkomst. Rond de eeuwwisseling kreeg draadloze access door middel van WLAN IEEE 802.11 en draadloze connectiviteit door middel van Bluetooth meer aandacht. Nieuwe paden werden uitgezet voor nieuw onderzoek, nu gericht op vrije banden. Er volgde een explosie van nieuwe ideeën en concepten voor draadloze systemen gebruikmakend van de ISM band. Veel van deze standaardisatie activiteiten zijn ondergebracht bij de IEEE organisatie, terwijl speciale allianties zijn opgericht voor het promoten en op de markt brengen van de draadloze producten. Tabel IV geeft een indicatie van bestaande en mogelijk nieuwe standaarden die in de toekomst voor capaciteit moeten vechten in de 2.4 GHz ISM band.

Tabel IV

jaar	standaard	alliantie
1997	IEEE 802.11	
1999	Bluetooth HomeRF PWT IEEE 802.11b	BSIG HomeRF DECT forum WECA
2001	IEEE 802.11g	Wi-Fi
2002	IEEE 802.15.3	
2003	IEEE 802.15.4 IEEE 802.16a	ZigBee WiMax
2004	IEEE 802.15.3a	WiMedia

De meeste nieuwere standaarden (met als uitzondering de IEEE 802.15.4 standaard [15,16]) concentreren zich op hogere datasnelheden (snelheden hoger dan 10 Mb/s). Tegelijkertijd wordt "Quality of Service" (QoS) steeds belangrijker omdat men real-time diensten wil gaan ondersteunen zoals de distributie van streaming video door het gehele huis. De systemen gaan uit van een kanaal vrij van interferentie om de hoge capaciteit en QoS te kunnen behalen. Met het groeiend aantal zenders in de 2.4 GHz band zullen coëxistentieproblemen zonder twijfel een rol gaan spelen. De cocktail bestaande uit een vrije band én een hoge datasnelheid én Quality of Service is een twijfelachtige mix. Als daarbij ook nog een redelijk bereik gehaald moet worden, wordt de kans zeer klein, dat foutloze transmissie met de gewenste eigenschappen haalbaar is. Voor dit soort toepassingen kan een licentievrijgestelde band, waarin de coëxistentie in enige mate beheerst kan worden, een beter alternatief zijn.

Vandaag de dag zijn er twee standaarden die wijdverbreid worden toegepast in de 2.4 GHz ISM band: WLAN IEEE 802.11 voor draadloze access en Bluetooth voor draadloze connectiviteit. In 2003 werden er in totaal zo'n 25-30 miljoen WLAN

radio's verkocht en 60-70 miljoen Bluetooth radio's. Dit betekent, dat voor beide technologieën een sterke gevestigde basis bestaat. Coëxistentiemechanismen zijn ontwikkeld om Bluetooth en WLAN IEEE 802.11 zonder interferentie naast elkaar in de 2.4 GHz ISM band te laten werken. Bluetooth ontwijkt de WLAN door middel van Adaptieve Frequentie Hopping, hetgeen sinds de laatste FCC veranderingen in 2002 is toegestaan. Op dit moment wordt hard gewerkt aan collocatiemechanismen zodat WLAN 802.11 en Bluetooth radio's ook op zeer korte afstand van elkaar kunnen werken. Zoals opgemerkt werd, werkt AFH niet in extreme "near-far" situaties vanwege verzadiging van de ontvangers. WLAN 802.11 en Bluetooth complementeren elkaars toepassingen en zijn goed uitgerust voor verdere groei in de toekomst.

Men kan op deze bestaande technologieën voortbouwen door middel van afgeleiden die terugwaarts-compatibel zijn met de oorspronkelijke standaard. Op deze manier kunnen nieuwe toepassingen ondersteund en nieuwe markten aangeboord worden. Dit lijkt een betere weg te bieden dan de creatie van geheel nieuwe standaarden. Coëxistentie- en interferentieproblemen kunnen beter voorspeld worden, en enige coördinatie tussen systemen kan verkregen worden wanneer deze zijn afgeleid van dezelfde standaard. WLAN IEEE 802.11 heeft dit pad reeds gevolgd door 802.11b en 802.11g versies. Bluetooth kan ook zo'n pad volgen met medium datasnelheden en hoge datasnelheden [17] versies. Ook lage-snelheid versies gebaseerd op Bluetooth zijn een optie [18].

Conclusies

Na het enorme succes van draadloze technologieën voor mobiele telefonie in de gelicentieerde banden, concentreren veel nieuwe draadloze ontwikkelingen zich op radio communicatie in vrije banden. Interferentie en coëxistentie spelen een cruciale rol wanneer het gaat om de prestatie van de systemen, en de zorgen hieromtrent zullen alleen maar toenemen vanwege de groei in aantallen gebruikers en toepassingen in deze vrije banden. Hoewel regelgevende instanties het gebruik van de banden in zekere mate proberen te controleren, zijn de regels de laatste jaren alleen maar afgezwakt om systemen met hogere datasnelheden toe te kunnen laten. Dit gaat echter ten koste van de robuustheid van de systemen. Het ontwikkelen van technieken voor het onderdrukken van interferentie wordt moeilijker als de regels blijven veranderen en ontwerpers niet in staat zijn om te voorspellen hoe toekomstige stoorsignalen er uit zullen zien.

Bij de combinatie van een vrije band / hoge datasnelheid / quaility-of-service kan men vraagtekens zetten vanwege de interferentiesituatie. Het telkens introduceren van nieuwe standaarden in plaats van het maken van afgeleiden van bestaande standaarden zou niet de voorkeur moeten hebben in verband met coëxistentie- en compatibiteitsproblemen. WLAN IEEE 802.11 en Bluetooth zijn gevestigde standaarden in de 2.4 GHz band. Coëxistentie en collocatie mechanismen voor deze twee standaarden zijn uitgewerkt en geïmplementeerd. Om het coëxistentieprobleem handelbaar te houden, kunnen er maar een beperkt aantal systemen tegelijkertijd in de band opereren. Twee of drie verschillende technologieën die hetzelfde spectrum delen lijkt voldoende te zijn.

Referenties

[1] M. Cooper, “The Myth, the Law, and the Spectrum,” *IEEE Spectrum*, Jan. 2001.

[2] R.W. Lucky, “The Precious Radio Spectrum,” *IEEE Spectrum*, Sept. 2001.

[3] J.C. Haartsen, “The Bluetooth Radio System”, *IEEE Personal Communications*, Vol. 7, No.1, Feb 2000, pp. 28-36.

[4] F. Boekhorst, “Ambient intelligence, the next paradigm for consumer electronics: how will it affect silicon?” *IEEE International Solid-State Circuits Conference*, San Francisco, February 2002. Digest of Technical Papers, Vol. 1, pp. 28-31.

[5] P. Smulders, “On the exploitation of the 60 GHz oxygen absorption band” *Tijdschrift van het NERG deel 69-nr.1-2004,* pp 15-23.

[6] CEPT, ERC Recommendations 70-03, October 2003.

[7] ARIB, Low Power Data Communication / Wireless LAN System, RCR-STD33A.

[8] FCC, Part 15 – Radio Frequency Devices (http://www.fcc.gov)

[9] FCC 03-011, ET Docket No. 03-122, RM 10371, June 2003.

[10] ETSI, “Radio Equipment and Systems (RES); Wideband transmission systems; Technical characteristics and test conditions for data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using spread spectrum modulation techniques,” ETS 300-328.

[11] Specification of the Bluetooth system, Core package version 1.2, November 2003.
[12] A. Kamerman and N. Erkoçevic, "Microwave oven interference on wireless LANs operating in the 2.4 GHz ISM band," *Proc. IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC),* (Helsinki), September 1997, pp. 1221-1225.
[13] M.Z. Win and R.A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 48, No. 4, April 2000, pp. 679-691.
[14] B. Tuch, "An Engineering story of WaveLAN," *Proc. of WPC Symposium*, Virginia Tech, 1991, pp. 11.1-11.12.
[15] C. Evans-Pughe, "BZZZ, is the ZigBee wireless standard, promoted by an alliance of 25 firms, a big threat to Bluetooth?," IEE Review, March 2003, pp. 28-31.
[16] E. Callaway et al, "Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networking," IEEE Communications Magazine, August 2002, pp. 70-77.
[17] J.C. Haartsen and R. Taori, "Bluetooth High Rate: enhancing Bluetooth functionality," *Bluetooth Developers' Conference*, Amsterdam, June 2003.
[18] J.C. Haartsen, "ZigBee or Bluetooth, or ZigBee and Bluetooth," *Bluetooth Developers' Conference*, Amsterdam, June 2003.

On the exploitation of the 60 GHz oxygen absorption band

P.F.M. Smulders
Eindhoven University of Technology
e-mail: p.f.m.smulders@tue.nl

Abstract

This paper addresses the basic issues regarding the design and develop-ment of wireless systems that will operate in the 60 GHz band. The 60 GHz band is of much interest since this is the band in which a massive amount of spectral space (5 to 7 GHz) has been allocated for dense wireless local communications.

Keywords – 60 GHz band, millimetre waves, oxygen absorption band

I. Introduction

There exists an ever increasing supply of, and demand for, broadband multimedia applications calling for an ever increasing capacity of wireless networks. Finally, this will cause a demand for wireless transfer capacity far in excess of what can be accommodated in the currently used bands at 2.4-2.5 and 5.2-5.8 GHz [1]. An obvious solution to this problem is to resort to the 60 GHz band, where bandwidth is abundantly available. In particular, for dense local communications, the 60 GHz band is of special interest because of the specific attenuation characteristic due to atmospheric oxygen of 10 to 15 dB/km. The 10-15 dB/km regime makes the 60 GHz band unsuitable for long-range (> 2 km) communications so that it can be dedicated entirely to short-range (< 1 km) communications. For the small distances to be bridged in an indoor environment (<50 m) the 10 to 15 dB/km attenuation has no significant impact. The specific attenuation in excess of 10 dB/km occurs in a bandwidth of about 8 GHz centred around 60 GHz. Thus, from physical point of view, there is about 8 GHz bandwidth available for dense wireless local communications. This makes the 60 GHz band of utmost interest for all kinds of short-range wireless communications.

II. Regulation

In the United States, the Federal Communications Commission (FCC) set aside the 59-64 GHz frequency band for general *unlicensed* applications [2]. This was the largest contiguous block of radio spectrum ever allocated. FCC rules allow 10 Watts of equivalent isotropic radiated power in this band, which complies with a maximum power density of 9 μW/cm^2 at 3 meters distance. This means that 20 dBm transmit power would be the legal power limit with an antenna having 20 dBi gain. Commercial power amplifier GaAs MMICs are now available that can produce 16 dBm of transmit power with good linearity. In Japan, there was a new regulation in August 2000 for high speed data communication. The frequency range is 54.25-59 GHz for licensed use with a maximum output power of 100 mW and a minimum antenna gain of 20 dBi and 59 – 66 GHz for *unlicensed* use with a maximum output power of 10 mW and a maximum antenna gain of 47 dBi. In Europe, frequency is allocated for mobile in general in the 59-66 GHz band. No specific recommendation or decision has been issued yet in this mobile frequency band. However, the 54 – 66 GHz band is considered by CEPT as a main priority issue; in a recommend-dation document [3] CEPT considers: "the high-frequency re-use achievable in the oxygenabsorption band reduces the requirement for sophisticated frequency planning techniques and offers the possibility of a pan-European deregulated telecommunications environment for various lowpower, low cost, short-range applications" and "there is an urgent need to identify and harmonize civil requirements in the frequency range 54 – 66 GHz". An important statement that has to be made here is that Europe should follow the US and Japan by opening a significant part of this band for *unlicensed* use, because license free is an important condition for promoting 60 GHz systems towards the market!

III. Standardization

Currently, there is only one standard addressing the 60 GHz band and that is the IEEE 802.16 standard for Wireless MAN which covers 10 to 66 GHz [4]. It concerns a last-mile broadband wireless connectivity alternative to fiber-based DSL. In the design of the physical layer, line-of-sight (LOS) propagation was deemed a practical necessity. Therefore, the standard specifies a single carrier interface which is designated "WirelessMan-SC". This opens the door for the creation of fixed Broadband Wireless Access, which could provide license-free network access support to buildings with speeds that approach those offered by high-speed fiber optic networks, which saves tremendous initial investments in the deployment of last-mile networking technology.

Recently a paradigm shift from "60 GHz is strictly for LOS operation" to "60 GHz may also be suitable for non-LOS situations under certain circumstances" has gained considerable support. As a first step in the creation of a standard, the IEEE has formed an interest group to explore the use of the 60 GHz band for wireless personal area networks (WPANs), which typically have to support non-LOS operation with a range of 10 meters. The IEEE 802.15.3(TM) Millimetre Wave Interest Group (mmWIG) was formed in July 2003 as part of an effort to develop a millimetre-wave-based alternative physical layer for the IEEE high-rate WPAN standard, IEEE 802.15.3TM 2003.

IV. Choice of RF technology

Cost efficient RF solutions for high data rate transmission at 60 GHz still have to be determined. In this respect, some important choices have to be made which might by crucial for commercial success:

- choice of the 60 GH radio front-end architecture,
- choice of technology in which the radio front-end should be implemented: GaAs, InP, Si, or SiGe.

Front-end architecture

With respect to the choice of the architecture of the 60 GHz front-end radio there are, in principle, three options:

- employing subsampling,
- employing direct conversion (i.e., "zero RF"),
- employing superheterodyning.

Employing analog-to-digital conversion (ADC) and digital-to-analog conversion (DAC) directly at the antennas would make the complete RF and IF part obsolete. However, this option can be ruled out immediately because this would require ADC and DAC devices having 60 GHz bandwidth. Low-cost implementation of this in the medium term will be unfeasible. Apart from this approach, the subsampling receiver represents the "ultimate" solution for simple low power down conversion, which essentially consists of a sampling switch, clocked at a much lower frequency, and an A/D converter. The limitations of the subsampling approach, however, demonstrate some of the inherent problems in lowpower receiver implementations. In a subsampling receiver, image frequencies exist at integral multiples of the sampling rate and can alias into the band of interest. As a result, careful filtering prior to downconversion is required. For example, downconversion of an RF signal having a bandwidth of 500 MHz, would require a sample rate of at least 1 GHz, assuming a "brick wall filter". In practice, the sample rate will have to be much higher, at least 2 GHz, in order to minimise the finite bandwidth effects of the filter. It is questionable whether 2 GHz A/D conversion, with let-us-say 10 bit quantization, will become feasible in the medium term. This might be examined, in addition to the problem that the resulting signal-to-noise ratio of the down-sampled signal will inevitably be poorer than that of an equivalent system employing a mixer for downconversion, due to the noise aliased from the bands between DC and the passband [5].

The advantages of direct conversion are that it is uniquely well suited to monolithic integration, due to the lack of image filtering, and its intrinsically simple architecture, see [6,7]. FSK modulated signals are especially well-suited to direct conversion, due to their low-signal energy at DC. However, the direct conversion receiver has not gained widespread acceptance to date, especially in high performance wireless transceivers, due to its intrinsic sensitivity to DC offset problems, even harmonics of the input signal, and local oscillator leakage problems back to the antenna. The latter problem may be considered as the most serious problem. Offset arises from three sources [8]:

- transistor mismatch in the signal path,
- LO signal leaking to the antenna because of poor reverse isolation through the mixer and RF

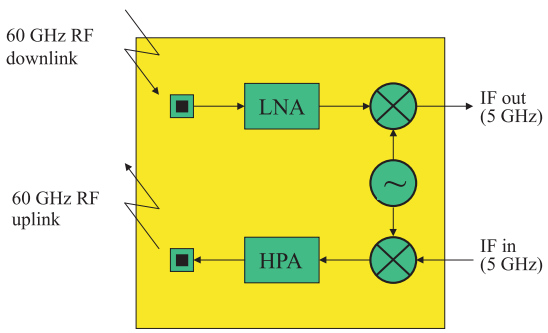
amplifier, then reflecting off the antenna and selfdownconverting to DC through the mixer,
- a large near-channel interferer leaking into the LO part of the mixer, then self-down-converting to DC.

Good circuit design may reduce these effects to a certain extend, but cannot be eliminated completely, particularly not if quadrature phase shift keying (QPSK) or gaussian minimum shift keying is used since the spectra of these schemes exhibit a peak at DC. But when Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) is applied there may be a solution and that is to avoid the use of those subcarriers that, after conversion, correspond with, or will be close to, the DC component. This is just an example of a possible solution but there might also be other solutions that exploit the particularities of the 60 GHz physical layer.

As regards the superheterodyning option, let us consider the simple architecture as depicted in Fig. 1. This figure shows a basic 60 GHz RF front-end architecture for application at the portable station (PS) end. Ideally it should be an integrated on-chip solution consisting of a receive branch, a transmit branch and a frequency generation function. The receive branch consists of the receive antenna, a low noise amplifier (LNA) and a mixer which downconverts to IF. The transmit branch consists of a mixer, a power amplifier (PA) and the transmit antenna. The antennas are (integrated) patch antennas. The mixers are image rejecting mixers. They need not to be IQ mixers. The IF is taken at 5 GHz with the idea that, with appropriate modifications, IEEE 802.11a RF can serve as IF here to allow dual mode operation and interoperability.

The oscillator circuit could be a voltage controlled oscillator (VCO) controlled by an (off-chip) frequency synthesizer. In traditional designs the VCO is mostly implemented off-chip because it takes too much space on the chip for providing sufficient performance. At frequencies as high as 60 GHz it may become, however, feasible to implement the VCO directly on chip because the minimum dimensions to achieve a certain performance become much smaller. The advantage of this approach is a reduction of components that have to be mounted on the PCB and the avoidance of on-chip frequency multiplication circuits, saving space on the chip and saving VCO performance degradation due to phase noise and frequency offset. Important: An on-chip VCO that directly generates a reference frequency close to 60 GHz may have a relatively relaxed performance when compared with the requirements of a VCO that operates on a much lower frequency in combination with a couple of frequency multipliers.

Figure 1: Simple 60 GHz RF architecture



Front-end technology

Clearly, the traditional discrete front-end technology based on waveguide cannot be used for our purposes because of weight, volume and cost. The only viable alternative is the use of Microwave Monolitically Integrated Circuits (MMICs). From cost point of view it is mandatory to reduce the number of components on the PCB board as much as possible. This reduction of the number of RF chips to a minimum is also important for minimising losses in chip intercomnection which can become easily significant at high frequencies. So, the level of integration should be as high as possible.

As regards the choice of semiconductor technology, the most important performance parameters are the transit frequency f_T, i.e. the frequency at which the current gain is one, and the maximum frequency of oscillation fmax. It is commonly agreed that for 60 GHz RF and f_T and f_{max} of at least 120 GHz are required. The cheapest semiconductor technology is based on silicon CMOS. Fig. 2 shows the performance increase of CMOS. It shows that for CMOS the minimum f_T requirement has already been reached but not much more than that. Silicon will always have a natural disadvantage, when compared to its competitors, as regards electron mobility, which frustrates the further increase of f_T and f_{max}.

A strong competitor of silicon is Gallium Arsenide (GaAs) which is known to have the following merits:

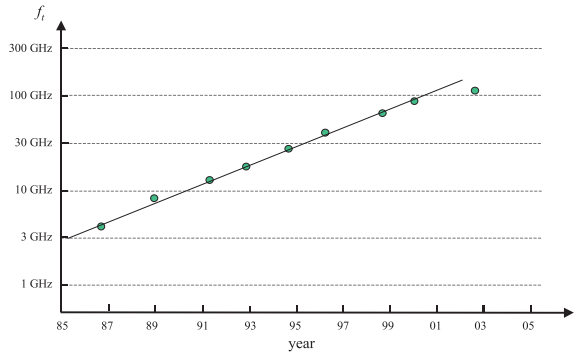


Figure 2: Development of CMOS technology

Item	GaAs		SiGe		Units
	FET	HBT	HBT	BiCMOS	
Feature Size	0.5	2.0	0.5	0.5	µm
Starting Material	200	600	200	200	$
Mask steps	12	14	28	32	
Photo cost	1200	1400	2800	3200	$
Raw cost	1400	2000	3000	3400	$
Wafer Diameter	100	100	200	200	mm
Yield	80	70	95	95	%
Cost/mm^2	0.22	0.36	0.10	0.11	$/mm^2

Table I: GaAs and SiGe cost estimates

- high f_T and f_{max} (>120 GHz), driven to still higher
- values by future gigabit applications,
- low noise factor (4 dB),
- excellent power added efficiency (> 60%),
- good linearity,
- commercial 60 GHz front-end MMIC's available (thus proven technology for 60 GHz radio).

a good impression of the state-of-the-art performance of 60 GHz GaAs-based MMIC chips that are currently commercially available is given by [9] – [11]. From these data we learn that, in principle, an RF frond-end can be composed having considerable performance: 16 dBm transmit power, 5 dB noise factor and –100 dBc/Hz @ 100 kHz phase noise. GaAs-based 60 GHz devices such as low-noise amplifiers, high power amplifiers, multipliers and switches can nowadays be ordered in large quantities in die form at prices in the order of 15 € a piece [12].

According to IBM [13] silicon germanium (SiGe) technology can compete with III-V semiconductor performance, while simultaneously maintaining the multitude of advantage of silicon materials:

- applying wafers of defect-free silicon material with large diameter (200 mm),
- low substrate and processing costs,
- high process uniformity,
- high yield (low defect densities),
- high reliability,
- high design robustness,
- high integration level.

To this list we can add a favourable property and that is a better heath removal due to a higher substrate conductivity which may become of crucial importance since we have to cope with considerable heath generation by the power amplifier at a very small spot.

The current generation SiGe technology features f_T and f_{max} values of ~120 GHz. It can be anticipated that f_T and f_{max} will remain to increase up to around 200 – 250 GHz. Increase of f_T and f_{max} is coupled with a decrease in break-down voltage which may limit the peak power output.

Table I lists GaAs and SiGe cost estimates according to [14]. For heterojunction bipolar transistor technology we can conclude that the cost of GaAs is about 4 times the cost of SiGe on a $/mm2 basis. This conclusion is confirmed by the cost estimation made in [15], which reads: 0.12 $/mm2 for 6″ SiGe, 0.5 $/mm2 for 4″ GaAs and 1.2 $/mm2 for 3″ Indium phosfide (InP).

In the short term GaAs as well as InP technology will be applied since these are already mature technologies providing excellent performance. Because of the cost advantage, however, it is likely that SiGe technology will become the ultimate solution for low-cost highvolume 60 GHz front-end MMIC chips.

V. Antennas

60 GHz antennas should feature the following properties:

- low fabrication cost, readily amenable to mass production,
- light weight, low volume,
- high efficiency which implies low-loss feed,
- easily integratable with MMIC RF front-end circuitry,
- covering the 59 – 66 GHz frequency band,
- eventually, circular polarisation.

The requirements of low cost, low weight and low volume rule out many antenna structures: Obviously, the classical microwave aperture antennas of the type "heavy metal" are unsuitable. Also lens antennas cannot be used because a lens is typically an expensive part and is not readily amenable to mass production. The well-known whip antenna with coaxial feed may be considered as too lossy and too expensive, in case it is applied at 60 GHz. A relatively new development is the application of micro-electromechanical systems (MEMS) in antenna structures, i.e., the use of small (chip-level) electromechanical parts that can be actuated by supplying a certain actuator voltage. Such antenna structures have the potential to become cheap and small. The current state-of-the-art is, however, that MEMS antennas cannot be used for our purposes, because of the high (25-100 volts) actuator voltage that is required to establish a significant movement. A related problem is that very thin hinges are required to achieve some flexibility of the moving part, which gives rise to ageing. Nevertheless, for the longer term when these problems are solved, MEMS may become of significance. In this respect, it should be noted that MEMS may also become significant for voltage controlled phase shifters to steer adaptive arrays.

For the shorter term, the only viable solution that remains is the use of microstrip antennas. Microstrip patch antennas feature all of the properties listed in the aforementioned list of required properties. Linear polarisations are possible with a straight forward feed structure. Patch antennas can also have circular polarisation. The application of circular polarisation is considered because there are strong indications that channel delay spread is substantially lower in case circular polarisation is used instead of linear polarisation, see [16]. Feed lines and matching networks can be fabricated simultaneously with the antenna structure. Finally, dual-frequency and dualpolarisation antennas can be easily made. However, in general it can be said that microstrip antennas also have some limitations:

a) most microstrip antennas radiate into half-space, low power handling capability (~100 W),
b) narrow bandwidth and associated tolerance problems,
c) radiation from feeds and junctions,

For our application, a) has little significance; An access point antenna should have high gain, whereas a portable station antenna should radiate in horizontal direction or slightly upwards, but not downwards. Limitation b) is of no significance at all because radiated power will never exceed 100 mW or so. The other limitations can be circumvented by taking suitable choices for, in particular, the dielectric constant ε_r and the thickness of the substrate. For 60 GHz, a substrate tickness of 100 µm is quite acceptable which is the typical thickness of GaAs and SiGe chip substrate. ε_r for GaAs and SiGe is about 12 which yield a bandwidth of 2% and a radiation efficiency of 80% [17]. Hence, a 60 GHz patch antenna integrated with the 60 GHz RF front-end might be a good option.

VI. Channel properties

At 60 GHz there is much more free space loss than at 2 or 5 GHz since free space loss increases quadratically with frequency. In principle this higher free space loss can be compensated by the use of antennas with more pattern directivity while maintaining small antenna dimensions. When such antennas are used, however, antenna obstruction, e.g. by a human body, and mispointing may easily cause a substantial drop of received power which may nullify the gain provided by the antennas. This effect is typical for millimetre waves because the diffraction of millimetre waves (i.e., the ability to bend around edges of obstacles) is only weak. As regards blocking effects omnidirectional antennas have an advantage in a reflective (e.g. indoor) environment since there they have the ability to still collect contributions of reflected power at the event of line-of-sight (LOS) obstruction.

walls may considerably attenuate millimetre waves. The transmissivity strongly depends on material properties and thickness. At 60 GHz transmissivity of glass may range from 3 to 7 dB whereas transmission through a 15 cm thick concrete wall can be as high as 36 dB [18]. We may therefore expect that concrete floors between stocks of a building act as reliable cell boundaries. This helps to create small indoor cells for hot spot communications.
Measured data for wall transmission loss at 60 GHz have been reported in [19], see Table II. This table also includes corresponding figures measured at 2.5 GHz in order to give an impression of the difference with a well known reference.

	Thickness (cm)	60 GHz	2.5 GHz
drywall	2.5	6.0	5.4
Office whiteboard	1.9	9.6	0.5
Clear glass	0.3	3.6	6.4
Mesh glass	0.3	10.2	7.7
Clutter	-	1.2	2.5

Table II: Transmission loss at 60 and 2.5 GHz (dB)

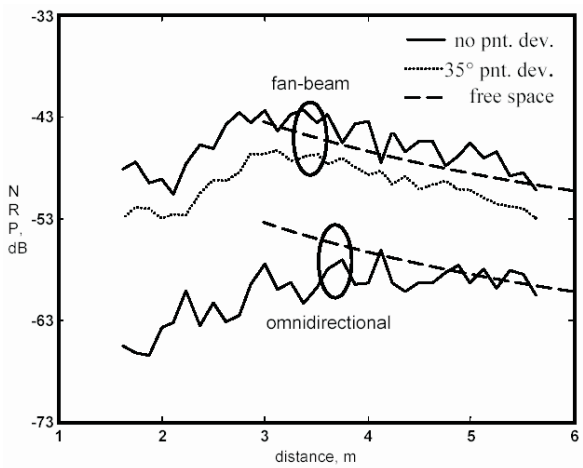
The figures in the table confirm the presumption that the transmission loss at 60 GHz is relatively high, which implies a more favourable frequency reuse distance. A typical/moderate inner wall consisting of multiple partitions of different materials (e.g., windows and doors), on the other hand, may neither be considered as a reliable cell boundary nor as a transparent medium. Owing to the possible significant attenuation of inner walls it will be generally necessary to have at least one access point per indoor environment (room, hall, corridor etc.) to create a reliable shared medium.

A consequence of the confinement to smaller cells is that channel dispersion is smaller when compared with values encountered at lower frequencies because echo paths are shorter on average. Rms delay spread may range from a few to 100 ns. It is expected to be highest if omnidirectional antennas are used in large reflective indoor environments [18,20]. When, instead, high gain antennas are used, rms delay spread may be limited to a few ns only [18,21].
Movements of the portable station as well as movements of objects in the environment cause Doppler effects as frequency shift and spectrum broadening of the received signal. These Doppler effects are relatively severe at 60 GHz because they are proportional with frequency. If persons move at a speed of 1.5 m/s (walking speed) then the Doppler spread that results at 60 GHz is 1200 Hz [18].

VII. Feasible link performance

A consequence of the low wall penetration of millimetre waves is that, in many cases, at least one access point per indoor environment is required. From a coverage point of view the best place for the access point antenna would be somewhere near the centre of the room at a high position near the ceiling. From a network deployment viewpoint, however, the need to mount antennas in the ceiling in each and every room is tiresome and cables would probably have to run over the ceiling, which would be unaesthetical.
An attractive alternative option would be the possibility of placing a small sized access point in each room, with its small sized antenna(s) mounted on a wall where it can be readily connected to the existing LAN cabling that is already installed – just as is the case with today's WLAN access points.
In order to allow flexible terminal use, the low position of the access point (antenna) necessitates measures to cope with the drop in received power due to line-of-sight (LOS) obstruction by a person or object. One measure is to apply macro diversity by switching to another access point as soon as the received signal drops below a certain threshold. However, this requires the use of more than one access point per room which may increase the costs significantly, particularly when many small rooms have to be covered. A more attractive solution may be found in other direction namely that of applying particular antenna patterns, which may be adaptive to some extent, e.g., by applying beam switching. Lowor medium-gain antennas may be preferred to highgain antennas in order to avoid stringent antenna pointing and tracking requirements. Experimental work on 60 GHz antenna pattern optimisation has been carried out by the Radiocommunication Group at the Eindhoven University of Technology. Measurements have been conducted in many indoor environments. Fig. 3 shows the received power normalised on the transmitted power (NRP) in dB measured in the 58-59 GHz band as function of the separation distance between transmitter and receiver. These measurements have been performed in a room with dimensions 7.2*6*3.1 m^3. The sides of the room con-

Figure 3: Normalized received power under LOS conditions



sist of glass window and smoothly plastered concrete walls whereas the floor is linoleum on concrete. The ceiling consists of aluminium plates and light holders. The transmitting antenna was located in a corner of the room at a height of 2.5 m. This antenna has an antenna gain of 16.5 dBi and produces a fan-beam that is wide in azimuth and narrow in elevation. Its beam was aiming towards the middle of the room. A similar fan-beam antenna was applied at the receiving station which was positioned at various places in the room at 1.4 m above the ground. The upper solid curve in Fig. 3 shows the NRP in case the beam of the receiving antenna is pointing exactly towards the transmitting antenna.

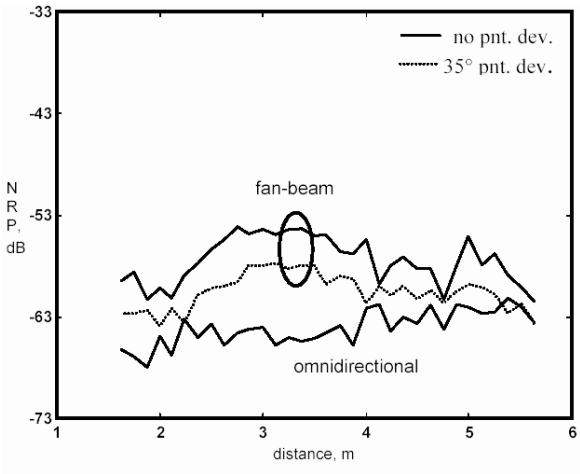


Figure 4: Normalized received power under NON-LOS conditions

The dotted curve represents the situation in which the fan beam at the receiver has an azimuth pointing deviation of 35°. The lower solid curve represents the situation in which the fan-beam antenna at the receiver is replaced by an antenna that has an antenna gain of 6.5 dBi and that radiates omnidirectional in the horizontal plane. As a reference, the dashed curves are added which represent the respective theoretical results according to the free-space law of Friss, i.e., a 6 dB decrease per doubling of distance. The curvature of both solid NRP curves is typical for indoor situations in which antenna patterns are not well pointed towards each other at short distances. In that area, the NRP increases with distance. This is because the increased free space loss is more than compensated by antenna gain since the antennas are better directed towards each other. If the separation distance is increased further these curves tend to become higher than the free-space curves because the reflections from walls etc. contribute effectively to the received power. The dotted curve remains lower because of the fixed 35° antenna mispointing at all distances.

All curves in Fig. 3 refer to the situation of a LOS path between transmitter and receiver. Fig. 4 shows the curves for non-LOS (NLOS) conditions. On applying the fan-beam antenna the average drop of NRP due to LOS path obstruction is about 11 dB for 0° as well as 35° pointing deviation. With the omnidirectional antenna this drop is about 4 dB. The results in Fig. 3 are representative for other indoor environments in the sense that the free-space law can be considered as a reliable lower bound of NRP at relatively large distances. Hence, we can estimate the feasible link performance on the basis of the free space loss. Let us, for instance, consider the antenna setup as described but in a larger room with an antenna separation distance of 10 m. The transmitted power is 10 dBm (10 mW), which is well feasible with todays 60 GHz MMIC amplifiers operating in their linear region. According to the Friss formula, the received power is –55 dBm. If only thermal noise is encountered, the noise power at the receiver is $10\log kTBF$ with k is Boltzmann's constant ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T is equivalent noise temperature of the receiver (room temperature = 290 K), B is noise bandwidth and F is receiver noise figure. With a receiver noise figure of 10 dB and a noise bandwidth of 500 MHz the received noise power amounts to –77 dBm. This yields a signal-to-noise ratio (SNR) of 22 dB. Within 500 MHz bandwidth, a data rate of 500 Mbit/s can be accommodated by using OFDM in combination with QPSK and ¾ rate convolutional coding. For sufficient performance in terms of bit error ratio ($< 10^{-6}$) a SNR of about 10 dB is required. This implies that 12 dB margin is left to cope with shadowing and performance degrading factors occurring in the transceiver such as phase noise and frequency shift. As shown by Fig. 3 and Fig. 4. this margin can be improved 16.5-6.5-11+4=3 dB by applying fan beam antennas instead of omni-directional antennas. In order to avoid cumbersome pointing, a fan beam antenna can be used in the form of a sector antenna as presented in [22].

Now let us compare the SNR performance at 60 GHz with what we may expect at a much lower frequency, say 5 GHz. Since, according to the Friss formula, the free-space path loss is proportional to the square of the frequency, the link budget at 60 GHz is 21 dB less when compared with the link-

budget at 5 GHz under equal conditions (same antenna patterns, separation distances etc.). So, at first sight, there seems to be a substantial disadvantage of 60 GHz transmission. It should be realised, however, that any successful commercial system is essentially limited by cochannel interference, which will also be 21 dB lower at 60 GHz, as far as it concerns free-space loss. As a matter of fact, the signal-to-interference ratio of an interference-limited system is commonly modelled as being independent of the operating frequency, see e.g. [23]. If we also take into account the attenuation due to oxygen absorption as well as the extra severe wall attenuation at 60 GHz, we may even expect better signal-to-interference figures.

IIX. Feasible network performance

A good figure of merit for network capacity is the obtainable information transfer density per square meter. As already stated in the previous section it should be readily possible to obtain a spectral efficiency of 1 bps/Hz with OFDM as transmission scheme. In that case the availability of 5 GHz spectral space implies an aggregate capacity of 5 Gbps per cell. With a cell radius of 10 m the information density is then 16 Mbps/m^2. Table III provides a comparison with corresponding figures obtainable with 802.11b, Bluetooth, 802.11a/g, and Ultra Wide Band (UWB) based on similar calculations. It reveals that

60 GHz radio has the potential to provide an information transfer density that is not only far in excess of what can be obtained with current systems but is also more than one order of magnitude higher than what UWB can offer. Further capacity enhancements can be relatively easily obtained by application of Multiple-Input Multiple-Output techniques since, at 60 GHz, antenna dimensions and mutual distances can be relatively small.

Table III: Information density comparison

	802.11b	Bluetooth	802.11a	UWB	60 GHz
Cell radius (m)	100	10	50	10	10
Inform. rate per channel (Mbps)	11	1	54	50	500
Number of channels	3	10	12	6	10
Capacity (Mbps/m^2)	0.001	0.03	0.1	1	16

IX. Conclusions

The principal reason for focussing on the oxygen absorption band around 60 GHz band is the huge amount of allocated bandwidth, which can be used to accommodate all kind of short-range (<1 km) wireless communication. In addition, 60 GHz front-end technology is emerging rapidly. In principle, VCO's as well as antennas can be implemented so small that they can be integrated with the RF MMIC yielding a considerable cost saving. When compared with the well-known 2.4-2.5 GHz band the channel dispersion appears to be relatively small. In addition, it is confirmed that the frequency reuse distance is relatively small.

In the United States as well as in Japan a large contiguous block of radio spectrum has been allocated for unlicensed use. Up to now Europe did not follow although it is recognized by CEPT that "the highfrequency re-use achievable in the oxygen-absorption band reduces the requirement for sophisticated frequency planning techniques and offers the possibility of a pan-European deregulated telecommunications environment for various low-power, lowcost, short-range applications". The message herewith posed to CEPT is that it would be wise to follow the US and Japan by opening a large part of the 60 GHz band for unlicensed use. The resulting world-wide license-free band would be a clear incentive for the industry to develop standards and 60 GHz radio technology with the prospective of a new mass market.

References

[1] P. Smulders, "Exploiting the 60 GHz Band for Local Wireless Multimedia Access: Prospects and Future directions", IEEE Commun. Mag., Vol. 2, No. 1, pp. 140-147, Jan. 2002.

[2] Federal Communications Commission, "Amendment of Parts 2, 15 and 97 of the Commission's Rules to Permit Use of Radio Frequencies Above 40 GHz for New Radio Applications", FCC 95-499, ET Docket No. 94-124, RM-8308, Dec. 15, 1995. Available via: ftp://ftp.fcc.gov./pub/Bureaus/Engineering_Techology/Orders/1995/fcc95499.txt

[3] Recommendation T/R 22-03, "Provisional recommended use of the frequency range 54.2566 GHz by terrestrial fixed and mobile systems", CEPT, Athens, 1990.

[4] IEEE Standard 802.16 2001,,"IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 16 - Air Interface for Fixed Broad-

band Wireless Access Systems", IEEE, 2001 (available at)
[5] R.G. Vaughan, N. Scott and D. White, "The theory of bandpass sampling", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 39, No. 9, pp. 19731984, Sept. 1991.
[6] A. Abidi, "Direct Conversion Radio Transceivers for Digital Communications", IEEE JSSSC, Vol. 30, No. 12, pp. 1399-1410, 1995.
[7] F. Aschwanden, "Direct Conversion – how to make it work in TV tuners", IEEE Trans. on Consumer Electronics. Vol. 42, No. 3, pp. 729-751, Aug. 1996.
[8] J. Wenin, "Ics for Digital Cellular Communication", European Solid State Circuits conf., Ulm, Germany, pp. 1-10, 1994.
[9] http://www.ums-gaas.com/products
[10] http://www.lucasvarity.com/mmics
[11] http://www.tlcprecision.com/data/mmiclist .html
[12] H. Daembkes et. Al. "GaAs MMIC based components and frontends for millimetrewave communication and sensor systems", 1995 Microwave Systems conference, pp. 83-86. (See also: http://www.ums-gaas.com
[13] http:/www.chips.ibm.com/bluelogic/ showcase/ sige/
[14] .Nuechter, "Silicon based Monolithic Integrated Microwave Systems –Present Limitations and Future Aspects", IEEE, Silicon monolithic Integrated Circuits in RF Systems, 2000, Digest of Papers, pp. 19-22, 2000.
[15] J.M. Moniz, "Is SiGe the Future of GaAs for RF Applications", IEEE, 19th Annual GaAs IC Symp. 1997, Technical Digest, pp. 229-231, 1997.
[16] A. Kajiwara, "Effects of Polarization, Antenna Directivity, and Room Size on Delay Spread in LOS Indoor Radio Channel", IEEE Trans. on Veh. techn., Vol. 46, No. 1, Febr. 1997.
[17] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook", ISBN 0-89006-513-6, Artech House, Inc., London, 2000.
[18] P.F.M. Smulders, "Broadband wireless LANs: a feasibility study", PhD Thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, ISBN 90-386-0100-X, 1995. Available via: http://alexandria.tue.nl/extra3/proefschrift /PRF11 B/9505571.pdf
[19] C.R. Anderson, "In-Building Wideband Multipath Characteristics at 2.5 & 60 GHz", Proc. of IEEE Veh. Techn. Conf. 2002, Vol. 2, 24-28 Sept. 2002, pp 97-101.
[20] P.F.M. Smulders and A.G. Wagemans, "Wideband indoor radio propagation measurements at 58 GHz", IEE, Electronic Letters, Vol. 28, No. 13, pp. 1270-1271, 1992.
[21] P.F.M. Smulders and G.J.A.P. Vervuurt, "Influence of Antenna Radiation Patterns on Mm-wave Indoor Radio Channels", Int. Conf. On Universal, Person. Commun. '93, Ottawa, pp. 631-635, Oct. 1993.
[22] T. Ihara, T. Manabe, K. Iigusa, T. Kijima, Y. Murakami and H. Iwasaki, "Switched Four-Sector Beam Antenna for Indoor Wireless Systems in the 60 GHz Band", IEEE Topical Symp. on Millimetre Waves, 1998, pp. 115-118.
[23] Th.S. Rappaport, "Wireless Communications, Principles & Practice", Prentice Hall, Inc., ISBN 0-13-375536-3, 1996.

P.F.M. Smulders
Eindhoven University of Technology, Department of Electrical Engineering,
P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands, e-mail: p.f.m.smulders@tue.nl

Commentaar op "Building services on heterogeneous networks"

Wim van Etten
Telecommunication Engineering Group, University of Twente
email: etten@ieee.org

Met veel belangstelling heb ik bovengenoemd artikel gelezen, dat verscheen in "Tijdschrift van het NERG", Jaargang 68, nr. 3, 2003.
De schrijver begint zijn verhaal met te constateren, dat de netwerkgebruiker op een gegeven moment behoefte heeft aan een bepaalde service. Vervolgens wordt aangegeven welke criteria de gebruiker hanteert om een verbinding te selecteren. Als derde criterium noemt hij de "Bandwidth", die hij definieert als "number of bits or bytes per unit of time". Als je kijkt naar de definities van "bandwidth" die de internationale telecommunicatieorganisaties geven, dan vinden we het volgende.

ETST
The range of frequencies, expresled in Hertz (Hz), that can pass over a given transmission channel.

US Federal Standard 1037C
The difference between the limiting frequencies withm which performance of a device, in respect to some characteristic, falls withm specified limits.

ITU
The width of the band of frequencies occupied by one signal, or a number of multiplexed signals, which is intended to be conveyed by a live of a radio transmission system.

A device or transmission circuit
The range of frequency within which performance with respect to some characteristic falls within specific limits.

Uit deze definities blijkt nergens, dat er sprake zou zijn van een aantal bits of bytes per seconde. De schrijver sluit zich kennelijk aan bij een groeiende categorie vakgenoten die niet voortkomen uit de elektrotechniek en kennelijk niet op de hoogte zijn van deze klassieke definities. Immers elke elektrotechnicus zal zich kunnen vinden in de definities van bandbreedte zoals de genoemde organisaties die geven. Het valt mij op, dat steeds meer mensen in het vak de term "bandbreedte" gebruiken als ze het hebben over de data-snelheid in bit/s of byte/s, want dat is wat de schrijver waarschijnlijk bedoeld heeft. Ik wil er voor pleiten om de oorspronkelijke, internationaal aanvaarde terminologie te handhaven, en geen (basis)definities door elkaar te gaan gebruiken. Dat kan gemakkelijk aanleiding geven tot verwarring en verkeerd begrip.

Commentaar op "Dr.ir. H.C.A. van Duuren (1903-1981) en foutvrije digitale radiocommunicatie"

Wim van Etten
Telecommunication Engineering Group, University of Twente
email: etten@ieee.org

Met veel belangstelling heb ik bovengenoemd artikel gelezen, dat verscheen in \Tijdschrift van het NERG", Jaargang 68, nr. 3, 2003.
Onder de paragraaf met als titel "De beginjaren van de telegrafie" geeft de auteur een kort historisch overzicht van de telegrafie. In die paragraaf schrijft hij onder meer: "De eerste telegraafverbinding over een *flinke afstand* werd in gebruik genomen in 1787 tussen Madrid en Aranjuez." De cursivering hierbij is van de auteur van bovengenoemd artikel.

Deze zinsnede verbaast mij. De geschiedenisboekjes leren mij, dat de magnetische telegraaf omstreeks 1830 werd ontwikkeld door Gauss, Henry en enkele anderen. Wel werden er vanaf 1753 experimenten gedaan met elektrostatische telegraafsystemen, maar die waren verre van succesvol en faalden met name op het punt van de afstand. Dit is ook begrijpelijk, naarmate de afstand groter wordt verdeelt de lading zich over een groter oppervlak en is bij gevolg de elektrostatische krachtwerking steeds geringer.

Die telegraafverbinding in Spanje moet, gezien het vermelde jaartal, een elektrostatische telegraaf zijn geweest. Maar ik merkte op, dat die geen succes was, zeker niet over *flinke afstand*. Overigens wordt geen indicatie gegeven van die afstand.
Ik vraag mij dus af of de auteur zich wellicht heeft vergist in het jaartal, dan wel of hij kan aangeven over welke afstand die (elektrostatische?) telegraaf werkte.

Persbericht: TNO-FEL and WIN semiconductors strategic alliance

TNO-FEL and WIN Semiconductors announce their co-operation in design services towards third party customers.

In a recently a signed Memorandum of Understanding both companies set forth their intentions to co-operate in providing design services to third party customers products using WIN's processes.

"We have already designed several circuits in WIN's technology. The agreement between simulation and measurement is really impressive." said Mr. F.L.M. van den Bogaart, Head of the Integrated Front-end Solutions Group of TNO-FEL. "The state of the art GaAs technologies, the fast turn around time and the ability to produce in very high volumes is what our industrial customers need to keep ahead of the competition. Together with WIN we can offer this to our clients", he continued.

"Continuing our successful relationship in the past, WIN is very pleased to extend our cooperation with TNO-FEL. Coupling WIN's state-of-the-art leading-edge process technologies with TNO-FEL's expertise in MMIC designs will create un-precedent opportunities for their customers in designing advanced products and systems." said Mr. Simon Yu, General Manager and Associate Vice President of Worldwide Sales at WIN. "Through this co-operation, both companies are enabling many levels of customers (IDM, fables, module and system) to turn around their products within a short period of time. We are together to make designers' dream come true", continued Simon Yu.

About TNO FEL

TNO is the Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO). TNO Physics and Electronics Laboratory (TNO-FEL) with over 500 highly qualified employees, provides research, development, engineering and consultancy services to government and industry, to assist in solving complex and challenging technical problems and technical innovation.

TNO-FEL has extensive experience in integrated front-end technology, firmly rooted in traditions that date back to the 1930's. The Integrated Front End Solutions department (approx. 30 persons) has a core knowledge in the design of miniaturized microwave and RF front-ends, MMICs and (phased array) antennas and. All development activities are covered, from system specification to product engineering, from test design to evaluation. The work is performed in accordance to the (military or civil) quality standard requested by the customer.

Experience in the field of MMIC design has been obtained over the last 15 years. From the beginning of GaAs MMIC design, the department has been involved in the design of numerous MMICs, such as LNAs, vector modulators, power amplifiers and core chips. To that end TNO-FEL is equipped with linear and non-linear design software, parameter extraction software and 2.5 and 3D electromagnetic analysis software.

Wim Smith / Public Relations
TNO-FEL
Tel: +31 70 374 0062
E-mail: W.L.Smith@fel.tno.nl
Website: www.tno.nl

About WIN Semiconductors Corporation

WIN Semiconductors Corporation (WIN) is a leading pure-play and dedicated GaAs RFIC/MMIC wafer foundry services provider with an advanced

6-inch wafer fab. The facility is ISO9001/QS9000/ISO14001/ OHSAS18001 certified.

WIN offers a wide spectrum of technologies for applications from 800 MHz to 100 GHz, including HBT, pHEMT, pHEMT Switch and mHEMT.

WIN has been established more than three years with proven track record of producing high performance RFICs and MMICs for its customers, to various industries from handset (PA and switch) and WLAN (PA and switch) to satellite communications and automotive radar MMICs. WIN customers include major IDM, fabless design and module/system companies. WIN is headquartered at No. 69, Technology 7th Road, Hwaya Technology Park, Kuei Shan Hsiang, Tao Yuan Shien, Taiwan, Republic of China. Visit the WIN website http://www.win-foundry .com for more information.

Annie Yu / Public Relations
WIN Semiconductors Corp.
Tel: 886-3-3975999 ext. 1018
Fax: 886-3-3975668
E-mail:Annieyu@win-foundry.com

Ledenmutaties NERG

Nieuwe leden:

Goedhart, ir. C.S.W.
Elzenlaan 12,
1722 ZX ZUID-SCHARWOUDE

Roeloffzen, dr. Ir. C.G.H.
Bijenlaan 5,
7595 BE WEERSELO

Roer, dr.ir. Th.G. van de
Hool 7,
5674 PA NUENEN

Smeets, ir. R.C.A.J.
Willem de Zwijgerlaan 52-I,
2582 ER 'S-GRAVENHAGE

Nieuwe adressen:

Dito, ir. J.C.
Arenastraat 33,
2492 WV 'S-GRAVENHAGE

Halsema, S.J.
Rembrandtlaan 370,
7543 ZV ENSCHEDE

Hoekstra, ir. G.J.
Eelerberg 14,
3825 BE AMERSFOORT

Kahlmann, ir. H.C.
Enkeerdhamel 3,
9403 XJ ASSEN

Kegel, ing. J.A.
De Tellinghorst 11,
7909 CG HOOGEVEEN

Kollenbrander, ing. J.B.M.
Wentholtweg 45,
7214 EG EPSE

Nebbeling, A.W.
Brugakker 65-04,
3704 RL ZEIST

Ossewaarde, ir. G.
Alcide-de-Gasperistr. 18,
41812 ERKELENZ,
Germany

Otten, ir. A.A.J.
Mercuriusstraat 30,
5694 TB SON EN BREUGEL

Oude Velthuis, ir. R.G.J.
Pelikaanstraat 31,
7574 BL OLDENZAAL

Schenk, Ir. T.C.W.
Frans Halsstraat 26b,
3583 BR UTRECHT

Sluijs, ir. F.J.
Hillekensacker 1005,
6546 KA NIJMEGEN

Snijders, ing. W.A.M.
Het Fort 6,
4251 LZ WERKENDAM

Sonneveldt, ir. A.C.
Jagerslaan Noord 29,
2242 SX WASSENAAR

Steffen, W.
Noordermeent 89-2,
1218 CC HILVERSUM

Tan, ir. G.H.
Eichenstrasse 1,
85598 BALDHAM,
Germany

Thomassen, P.T.J.
Meester Bierensweg 16,
4841 AK PRINSENBEEK

Wolbers, prof.ir. D.H.
Oostercluft 222,
8332 DL STEENWIJK

Zanten, ir. A.T. van
Waalseweg 29,
5711 BM SOMEREN

Zeijl, dr.ir. P.T.M. van
Voortjeshei 52,
5508 WG VELDHOVEN

Proefschriften

Voorwoord van de redactie

In het 'proefschriftennummer' van 2003 konden wij helaas niet de proefschriften van de Technische Universiteit Delft opnemen. Inmiddels is deze informatie tot onze beschikking gekomen en verstrekken wij u alsnog dit ontbrekende deel van het proefschriftenoverzicht.

Technische Universiteit Delft

FORMATION OF CRYSTALLINE-SILICON ISLANDS FOR THIN-FILM TRANSISTORS BY EXCIMER-LASER-INDUCED LATERAL GROWTH

P.C. van der Wilt
6 januari 2003
Promotor Beenakker

CIRCUIT DESIGN WITH METALLIC SINGLE-ELECTRON TUNNEL JUNCTIONS

R.H. Klunder
13-januari 2003
Promotors De Wilde/Hoekstra

LOW-POWER DEEP SUB-MICRON CMOS LOGIC

P.R. van der Meer
14-januari 2003
Promotor Van Roermund

MODELING AND CHARACTERIZATION OF RF POWER BIPOLAR TRANSISTORS

R. Tinti
17 februari 2003
Promotors Slotboom/Tauritz/H.C. de Graaf

INTEGRITY PREDICTION AND MONITORING OF NAVIGATION SYSTEMS

P.B. Ober
17 februari 2003
Promotor Van Willigen

CONDUCTIVITY DETECTION FOR APPLICATION IN CAPILLARY ELECTROPHORESIS MICROCHIPS

F. Laugere
17 maart 2003
Promotors French/Vellekoop/Bossche

A STUDY PF THE TIME-VARYING EIGENVALUES AND THEIR APPLICATION IN CIRCUIT DESIGN

M.A. Gutierrez de Anda
18 maart 2003
Promotors Van Roermund/van Staveren

MICROMACHINING TECHNIQUES FOR FABRICATION OF LIGHT MODULATING

S. Sakarya
31 maart 2003
Promotors French/Huijsing/Vdovin

OPTIMAL DESIGN OF ANALOGUE LOW-POWER SYSTEM

D.P.Wiese Meneses Rocha
8 april 2003
Promotors Van Roermund

SILICON MICROMACHINING FOR RF TECHNOLOGY

P.N. Pham
6 mei 2003
Promotors Burghartz/Sarro

TEST POINT INSERTION TO IMPROVE BIST PERFORMANCE, AND TO REDUCE ATPG TEST TIME AND DATA VOLUME.

M.J. Geuzebroek
19 mei 2003
Promotor v.d. Goor

SIMULATION BASED ANALYSIS OF ELECTRIC POWER CONVERSION SYSTEMS

P.J. van Duijsen
2 juni2003
Promotors Ferreira/v.d.Bosch

DATA-DRIVEN DISCOVERY OF GENETIC NETWORK MODELS

E.P. van Someren
3 juni 2003
Promotors Backer/Reinders

MAGNETIC-BASED NAVIGATION SYSTEM FOR ENDOVASCULAR INTERVENTIONS

D. Tanase
5 juni 2003
Promotors French/Reekers

ANTENNAS FOR IMPROVED GROUND PENETRATING RADAR MODELING TOOLS, ANALYSIS AND DESIGN

A.A. Lestari
6 juni 2003
Promotors Ligthart/Yarovyi

A WAVELENGTH CONVERTER INTEGRATED WITH A DISCRETELY LASER FOR WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING NETWORKS

R.G. Broeke
2 september 2003
Promotors Blok/Smit

LATERAL ON-CHIP INTEGRATED PELTIER ELEMENTS

D.D.L. Wijngaards
8 september 2003
Promotors Huijsing/Meijer/Wolffenbuttel

A VIEUWPOINT ADAPTIVE SYSTEM FOR 3-D TELEPRESENCE

B. Lei
9 september 2003
Promotors Biemond/Hendriks

DESIGN OF NONLINEAR CIRCUITS (THE LINEAR TIME-VARYING APPROACH)

F.C.M. Kuijstermans
9 september 2003
Promotors v.Roermund/v.Staveren

SYSTEMATIC DESIGN OF SIGMA-DELTA ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS

O. Bajdechi
15 september 2003
Promotor Huijsing

ELECTRODYNAMICS IN DEFORMABLE SOLIDS FOR ELECTROMAGNETIC FORMING

T.E. Motoaşcă
6 oktober 2003
Promotors Blok/v.d.Berg/Verweij

INERTIAL MEMS DEVICES MODELING, DESIGN AND APPLICATIONS

E. Cretu
7 oktober 2003
Promotors Huijsing/Wolffenbuttel

INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM EUROFIX

G.W.A. Offermans
13 oktober 2003
Promotors v.Willigen/Weber

VISION, CONCEPT, DESIGN, IMPLEMENTATION & TEST

A.W.S. Helwig
13 oktober 2003
Promotors v.Willigen/Weber

LOCATION CONTROLLED LARGE SI ISLAND

A. Burtsev
20 oktober 2003
Promotor Beenakker

DRIJVENDE EN STURENDE KRACHTEN ACHTER DE ONTWIKKELING VAN CONSUMENTEN ARTEFACTEN. (STRUCTURERING EN MODELVORMING AAN DE HAND VAN DE ONTWIKKELING VAN ELEKTRISCHE HUISHOUDELIJKE APPARATEN

H.K. Makkink
10 november 2003
Promotor v.d. Sluis

UWB NEAR-RANGE GPR PHASE-BASED TECHNIQUES FOR PROFILING ROUGH SURFACES AND DETECTING SMALL LOW-CONTRAST SHALLOW SUBSURFACE OBJECTS

B. Sai
11 november 2003
Promotor Ligthart

MODELLING AND OPTIMIZATION OF A PERMANENT MAGNET MACHINE IN A FLYWHEEL

S.R. Holm
20 november 2003
Promotors Ferreira/Polinder

WIND POWER MODELLING AND IMPACT ON POWER SYSTEM DYNAMICS

J.G. Slootweg
9 december 2003
Promotor Kling

FUSED SILICON DEVICES

S.M. van den Berg
10 december 2003
Promotors Blok/Kooij

WIRELESS LANS PROTOCOLS, SECRURITY AND DEPLOYMENT

A.R. Prasad
15 december 2003
Promotor Niemegeers