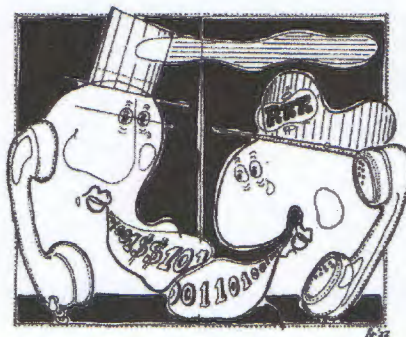


## Spraakcodering en de transmissie van gedigitaliseerde informatie Het onderzoek van F. de Jager

Leo E. Zegers  
October, 2015

*Het spraakonderzoek op het Natuurkundig Laboratorium heeft rond 1946 vorm gekregen als gevolg van de gezochte vernieuwing van de toen in gebruik zijnde draaggolfsystemen in de telefonie. Een uitgesproken rol heeft daarbij Frank de Jager gespeeld.*

*Deze bijdrage focust daarom in het bijzonder op het onderzoek door de Jager en zijn vaak unieke benadering van problemen in de Telecommunicatie. De beoogde vernieuwing van de draaggolftelefonie leidde via spraakbandcompressie naar de digitalisering van spraak en later naar digitale transmissie van data over telefoniekanalen en andere media.*



Referentie: 'Necrologie F. de Jager' door Leo Zegers,  
NERG blad, deel 77-nr 1 2012.

Tekeningen: H. Rapmund, (25 jarig jubileum F. de Jager)

### Voorgeschiedenis

Het Natuurkundig Laboratorium heeft van oudsher een bijdrage geleverd aan de ondersteuning (en de opbouw) van de professionele activiteiten van de N.V. Philips. Gerefereerd kan bijvoorbeeld worden aan het baanbrekende werk van Balthasar van der Pol en Henk Bremmer bij de ontwikkeling van de radiocommunicatie. In 1938 berekenden zij de beïnvloeding van radiofrequente propagatie door de kromming van het aardoppervlak. De genoemden waren in een breed gebied van wetenschap zeer actief. Van hun werk is o.m. de bijdrage aan het gebied van niet-lineaire oscillatoren niet onopgemerkt gebleven. Balthasar van der Pol was een van de oprichters van het Nederlands Radiogenootschap en lid van de 'Union Internationale Radio Diffusion' en de 'Union Radio Scientifique Internationale (URSI)'. Een van zijn eerste medewerkers was B.D.H. Tellegen, o.a. bekend door zijn vondst van de penthode en de gyrator.

J.F. Schouten, in 1937 aangenomen bij het Nat Lab, voerde er uiteenlopend onderzoek uit en gaf leiding aan een groep op het gebied van de draaggolftelefonie. Hij was een zeer onconventioneel denker. Later zou hij de oprichter, en de eerste directeur, worden van het Philips Perceptie Instituut (IPO) en tevens hoogleraar aan de TU-Eindhoven. Schouten stelde vast dat veel natuurlijke processen zich afwikkelen door de overdracht van impulsen. Met name intrigeerde hem de overdracht van informatie in de zenuwbanen van het menselijke gehoorsysteem, immers gebaseerd op impulsen. In die tijd werden ook de eerste publicaties over pulscodemodulatie zichtbaar in de literatuur. Schouten hechtte aan het integer gebruik van de grondprincipes en verwees de uitvoeringsvorm naar het tweede plan. Het werd geen doctrine maar bleef toch een uitgangspunt.

Frank de Jager studeerde in 1946 als ingenieur af bij professor L.H.M. Huydts aan de TU-Delft. Op het Natuurkundig Laboratorium werd hij aangenomen door J.F. Schouten. De Jager zou tot aan zijn pensionering blijf geven van een bijzonder creatieve inslag met name op het veld van de zich ontwikkelende telecommunicatie. Hij kan als de nestor beschouwd worden voor het onderzoek aan spraakcodering en data transmissie.

## **Vernieuwing van de draaggolftelefonie.....**

Het vroege werk van Frank de Jager was in lijn met de ideeën van Schouten over de perceptie van horen en verstaan van de menselijke stem. Natuurlijk was Schouten óók op zoek naar een vernieuwing van de klassieke draaggolftelefonie. Daarbij kwam het aan op het dicht naast elkaar plaatsen van spraakkanalen over radiowegen met intensieve storing van ruis en andere aard. De implementatie in buisschakelingen en met filters vereiste vooral diepgaand inzicht in het ontwerp van filters. Deze expertise werd met name gedragen door J.F. Klinkhamer en H. van de Weg, die er beiden over gepubliceerd hebben in het toenmalige 'Philips Technisch tijdschrift'. Het leidt nauwelijks twijfel dat ook Frank de Jager zich nog grondig verdiept heeft in het ontwerp en de verbetering van de bestaande draaggolftechnologie, getuige de vele (later door mij gevonden) handgeschreven persoonlijke tabellenboeken met betrekking tot filterontwerp. Uit zijn notities in (on)genummerde rapporten valt de door hem gevolgde route voor het vinden van mogelijke vernieuwingen deels te volgen.

Hij was geïnteresseerd geraakt in een bijzondere vorm van spraakcodering voor radiowegen met een zeer lage signaal-ruisverhouding. Uitgaande van een door J.C.R. Licklider gepubliceerde observatie dat spraak nog enigszins verstaanbaar blijft bij stringente amplitudebegrenzing, probeerde Frank een door hem opgeroepen vraag te beantwoorden:

'.....is het mogelijk een goed verstaanbaar gesprek over te zenden bij een signaal-ruisverhouding van één-op-één...?'

De beantwoording van die vraag leidde tot het FRENA systeem (FREquency and Amplitude), waarin bij enkelzijband modulatie de nuldoorgangen en de smalbandige amplitude informatie in gescheiden kanalen werden overgedragen. Dit met voor beide kanalen geoptimaliseerde condities voor ruisonderdrukking door volledige zender-uitsturing van het frequentiekanaal en verder door de aan hun respectievelijke bandbreedtes aangepaste filtering. Aan de ontvangzijde werd de amplitude informatie weer geënt op het opnieuw begrensde signaal van het frequentiekanaal. Verschillende varianten van dit systeem werden uitgewerkt en gerealiseerd, waarvoor in 1958 de prestigieuze Vederprijs werd uitgereikt.

### **Spraakbandcompressie**

In het domein van de draaggolftelefonie voor toepassing in transatlantische kabels, was schaarste ontstaan aan beschikbare kanalen en dus aan kostbare bandbreedte. Met zijn kennis van spraakeigenschappen heeft Frank de Jager zich daarom ook geruime tijd verdiept in systemen voor spraakband-compressie met uiteraard een maximaal behoud van vooreerst de verstaanbaarheid, maar liefst ook de natuurlijkheid.

Dit leidde tot een z.g. 'formant vocoder', waaraan vorm gegeven werd met P.J. van Gerwen. Aan het systeem bleven na de realisatie nog wat problemen kleven, enerzijds van praktische aard, anderzijds was het bereikte resultaat voor de kwaliteit van spraakoverdracht nog niet rijp voor toepassing.

De detectie van de grondtoon in de menselijke stem bleek tóen namelijk nog een van de belangrijkste struikelblokken. Later zou de, zorgvuldig bewaard gebleven, kennis aan spraakcodering o.m. leiden tot een samenwerking met het IPO in de realisatie van een goedwerkende grondtoondetector, die aangeduid werd als de 'harmonische zeef'. Het was R.J. Sluijter die het ontwerp en de implementatie voor zijn rekening nam.

Ook ontwierp Sluijter weer later een z.g. 'Full Rate GSM standard Vocoder' in samenwerking met de TUD. Voor dit systeem speelde het grondtoondetectie probleem niet meer. Bij vergelijkende luisterproeven kwam deze vocoder als beste voor de dag en werd daarmee

internationaal een uitgangspunt voor de GSM standaard. Hieruit bleek hoe een consequent gevolgde route uiteindelijk kon leiden tot een bevredigend eindstation.

### Digitaal gecodeerde spraak

Door de eerste publicaties over pulscodemodulatie aan het denken gezet, en gegeven de gedachtesgangen van J.F. Schouten, formuleerde Frank de Jager de volgende vraag:

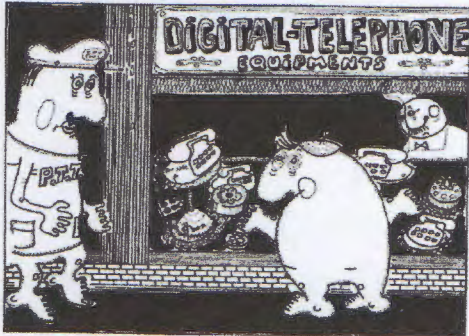
'.....wat is quantenmodulatie?'. Met als antwoord:

Door op de juiste vragen ja of nee te antwoorden is het mogelijk om alle kennis over te brengen. Door op het juiste moment aan de teugels te trekken kan men paard en wagen op alle wegen brengen. Door op het juiste moment positieve of negatieve impulsen aan een filter toe te voeren kan men alle informatie uit spraak en muziek overbrengen.'

Over de juiste keuze van het predictie filter schreef hij vervolgens:

.....'In een grote stad met veel tramlijnen komen we in de regel dicht bij ons doel met een overstapbiljet dan met een enkele reis. Nemen we een enkele reis dan moeten we een tram nemen die ongeveer in de goede richting gaat. Nemen we echter een overstapbiljet dan kan het gewenst zijn om eerst een andere richting uit te gaan om tenslotte zo dicht mogelijk bij het gewenste punt uit te komen.....'.

Deze gedachtegang voerde aan de zenzijde naar een regellus met daarin een in tijd en amplitude gekwantiseerde terugkoppeling ter bepaling van een impuls gecodeerd verschilsignaal, waaruit vervolgens aan de ontvangende kant, na regeneratie en integratie, het oorspronkelijke signaal weer benaderd kon worden. De Jager wist dit principe te optimaliseren en stabiel te maken onder toepassing van 'dubbele integratie' in de regellus. De eerste publicaties over deltamodulatie gelden nog steeds als klassiekers, waarbij ook een publicatie, samen met H. van de Weg, over een analyse van de kwantiseringsruis genoemd kan worden. Voor de bijdragen aan het concept van de deltamodulatie ontving de Jager, te samen met J.A. Greefkes, de 'IEEE Award in International Communication in honor of Hernand and Sosthènes Behn', een erkenning die was ingesteld door de ITT groep in 1966.



Aan het bovengenoemde baanbrekende werk van de Jager is in de loop der jaren door andere collega's en medewerkers vervolg gegeven met vaak belangrijke resultaten. Deltamodulatie vond toepassing in militaire systemen maar later ook bij muziekregistratie. Frank de Jager geloofde er verder sterk in dat de toenmalige omvangrijke implementaties voor praktische toepassing ooit 'zo klein als een dobbelsteen' zouden kunnen worden, waarbij hij met deze uitspraak een

voorproefje nam op de toepassing van, pas veel later beschikbare, hoog-geïntegreerde schakelingen.

Na mijn afstuderen aan de TU Delft in 1959 bij professor B.D.H Tellegen met een onderzoek voor RVO TNO, Waalsdorpervlakte in den Haag werd ik door Philips uitgenodigd om te solliciteren. Bij het daaruit resulterende plaatsingsgesprek in 1960 op het Natuurkundig Laboratorium wilde het toeval dat ik o.a. Frank de Jager ontmoette. Ik had voor mijn afstudeerwerk de studie van Balthasar van der Pol op het punt van niet-lineaire oscillatoren gezien. Daarnaast had ik ook de artikelen van de Jager over deltamodulatie grondig gelezen.

Mijn afstudeerwerk bij Tellegen, met mijn voorstel om kwantitatief gebruik te maken van de 'fasevlakmethode bij limietcycli' voor de stabilisering van een numeriek geregeld systeem, paste heel goed in het gesprek met de Jager. Het zou leiden tot een langjarige samenwerking, met als beider vertrekpunt de groep van H. van de Weg.

### **Digitale transmissie over telefoniekanalen**

Wie net als ik rond 1960 het gebouw WL binnenkwam zal getroffen zijn geweest door de specifieke sfeer die er heerste. De werkplekken van de 'Stirling groep' (R.J. Meyer) naast die van de 'Ferrietkernen' (S. Duinker) lagen aan het ene uiteinde van het gebouw. Aan het lange eind waren de zitruimtes en werkkamers van de 'Radiocommunicatie groep' (F.L. Stumpers) en de 'Meet-en Regel groep' (H. van Tol). Aan het andere eind van het gebouw was de 'Rekenmachine/Telecommunicatie groep' (H. van de Weg) gehuisvest. Dominerend in het middengedeelte was de werkruimte voor de (rest-)apparatuur van de 'PETER' rekenmachine onder de leiding van H. Heyn binnen de groep van H. van de Weg. Na verloop van korte tijd zouden Heyn en zijn directe medewerkers, met alle apparatuur, vertrekken naar de in opbouw zijnde computerindustrie PCI in Apeldoorn als onderdeel van de ondersteuning die het Nat Lab bood aan deze tak van de professionele sector.

Aan Frank de Jager was de vraag voorgelegd om de mogelijkheden voor 'snelle' data transmissie over telefoniekanalen te onderzoeken. Zowel de computerdivisie Data Systems (PCI) als wel Philips Telecommunicatie Industrie (PTI) interesseerden zich er in hoge mate voor. Zijn studie resulteerde in een, ver uitgewerkt, intern en informeel rapport gedateerd 24-8-1960. Hij schreef in zijn inleiding:

'Om 2f impulsen per seconde over te dragen heeft men theoretisch slechts een bandbreedte f nodig. Onderzoekt men dan ook in *praktische* systemen de relatieve transmissiesnelheid dan blijkt deze beduidend lager te liggen dan de 2B/Hz grens.....  
De enige ons bekende methode waarbij het spectrum zich netjes blijft gedragen bestaat uit tweekzijband modulatie, met respectievelijk sinwt en coswt als draaggolf.... Deze methode staat of valt met het synchronisatie systeem.....'

Hij noemde dit systeem complementaire orthogonale modulatie (CO-modulatie).

P.J. van Gerwen heeft aan dit, toen nog omvangrijke 'modem' vorm gegeven, weliswaar al onder gebruikmaking van transistoren, maar met alle Nyquist filters nog in een uitvoering met fysiek omvangrijke zelfinducties, gebruikmakend van specifiek gewikkelde spoelen. Er kon uiteindelijk een transportsnelheid van 9600 b/s gedemonstreerd worden.

De moeilijkheden die evenwel ondervonden werden en de problemen die opgelost moesten worden leidden tot een aantal vondsten en nieuwe aanzetten voor signaalcodering- en synchronisatie waarbij het laatste onderwerp op verzoek van de Jager mijn aandacht kreeg. Daarin volgde voor mij, in relatieve vrijheid, een constructieve periode ondersteund door J. Kuilman en W.A.M. Snijders.

Binnen de groep werd door P. van de Wurf, N.A.M. Verhoeckx en H. van den Elzen bijgedragen aan analytische ondersteuning en de onderbouwing van publicaties. Vanuit de groep werden er ook bruggen geslagen naar collega's in de groepen van N.C. de Troye en J.B.H. Peek, leidend tot samenwerking met A.Slob, T. Claasen en W. Mecklenbräuker. Van groot belang is daarbij de stap geweest naar de discipline van de digitale signaalbehandeling en de inherente mogelijkheden daarvan tot (V)LSI ontwerp. Opnieuw moet hier vooral de inventiviteit en bijdrage van P.J. van Gerwen genoemd worden die zorg droeg voor de uiteindelijk compacte en praktische ontwerpen.

Vermeldenswaard is nog dat als toenmalige uitloper van het programma, en als reactie op de vele publicaties van Bell Labs en nog volgens een basisconcept van Frank de Jager, een

gecompliceerde adaptieve frequentiedomein egalisator in groepsverband opnieuw leidde tot een uitvoerige analyse, implementatie en de daarop volgende IEEE publicatie.

### Digitale transmissie over andere media

In de 'Sector Telecommunicatie (H. Mooyweer)' ontstond' begin zeventiger jaren een vergrote uitwisseling met de buitenlandse Philips research groepen en de (voor-)ontwikkel groepen van TDS. Dit in het bijzonder door de instelling van werkgroepen voor programma-gericht overleg. Ook was er op het laboratorium een groep voor het onderwerp 'Switching' geformeerd onder leiding van E.A. Aagaard.

Voor onderzoek aan digitaal transport over coaxiale kabels was E. Roza al door de Jager aangenomen. E. Roza, met zijn medewerkers P. Millenaar, J. van Tuyl, en H. van Rumpst droegen zorg voor de.

theoretische onderbouwing en de implementatie van de hoogfrequente regeneratorschakelingen in hybride geïntegreerde vorm.

Onze interesse ging daarnaast hernieuwd uit naar radiokanalen, maar nu specifiek voor digitale transmissie. Frank de Jager begon, na een gezamenlijke inventarisatie van de in de praktijk ondervonden problemen, aan een grondig onderzoek. Uit die periode van onderzoek kunnen twee bijzondere onderwerpen vermeld worden.

Meestal begon de Jager in de inleiding van zijn desbetreffende rapporten als vanouds met een kenmerkende metafoor.

Hier volgt het eerste voorbeeld.

De probleemstelling van draaggolf synchronisatie bij coherente systemen voor radiowegen met hoge stoomniveaus, grote frequentieafwijkingen en grote niveauverschillen tussen de kanalen omschreef hij als volgt:

De gecombineerde werking van frequentie- en faseregeling kan wellicht worden geïllustreerd door het volgende analogon.

Stel dat een aantal schepen bij ruwe zee opkruist naar een haven en dat elk schip is voorzien van een sterk licht in de mast en een zwak licht op de boeg. Stel dat we de opdracht hebben de positie van het schip met het helderste licht zo nauwkeurig mogelijk te bepalen. Wegens de grote slingeringen van het licht in de mast leent dit zich niet voor een nauwkeurige positiebepaling, daartoe zullen we dus het zwakkere boeglicht moeten gebruiken. De slingeringen van het licht in de mast kunnen we als modulatiesignaal beschouwen, de positie van het boeglicht als de gemiddelde fase en de schepen met kleinere lichtsterkte als storende kanalen...'

De niet-gepubliceerde oplossing die hij vervolgens aangaf leidde tot het gebruik van twee kijkers met verschillende vergrotingen en gezichtshoeken en resulteerde daarmee in de specificaties van de door hem voorgestelde frequentieregeling en separate fasezoekschakeling. De uitvoering en demonstratie van de werking was in handen van J. Kuilman.

Ter afsluiting volgt hier nog een latere excursie van Frank de Jager op het betrokken terrein van digitaal informatietransport over radiokanalen. Er lag een praktische vraagstelling over de onderdrukking van zijbandstoring in straalzendersystemen (met 'Quaternary Phase Shift Keying') aan ten grondslag. Filtering was voor dit doel niet mogelijk.



Ontvangst bij het 25-jarig jubileum

In zijn uiteindelijk octrooivoorstel schrijft hij het volgende:

'..... het probleem dat we ons hier gesteld hebben en dat bij de voortschrijdende behoefte aan digitale transmissie over radioverbindingen steeds nijpender is geworden luidt: hoe kan men een FM zender zodanig dimensioneren dat een maximale hoeveelheid digitale informatie bij een minimale 'out-of-band radiation' kan worden overgebracht? ..... Als oplossing wordt hieronder een methode beschreven die we 'getemde FM' genoemd hebben.' Er volgen 32 pagina's tekst en 42 pagina's aan tekeningen. Het voorstel werd later op compacte wijze uitgevoerd en gepubliceerd. De uitwerking daarvan werd toevertrouwd aan C.B. Dekker, medeauteur van de publicatie, die er terecht de Vederprijs van 1979 voor ontving.

### Tenslotte.....

De wiskundige verantwoording van onderzoek door Frank de Jager was altijd adequaat en doorwrocht. Maar los hiervan hielden wiskundige problemen 'pur sang' hem ook bezig. Enkele jaren na zijn pensionering gaf hij mij in 1986 zijn geschriften in bewaring die bedoeld waren voor publicatie in het 'Philips Journal of Research'. Het betrof een afleiding van de Euler-Mascheroni constante in expliciete vorm. In de begeleidende brief schreef hij:

'In het eerste deel moeten nog enkele asymptotische ontwikkelingen berekend worden, maar daar zal een rechtgeaarde mathematicus geen enkele moeite mee hebben. Het verhaal is geschreven op basis van begrenzingsvlakken van een stromingsveld .....maar voor de afleiding van de constante van Euler, waar alles om draait, is alleen de ligging van de 'stagnation points' (om deze hydrodynamische term maar te gebruiken) op de Z-as van belang'. Frank heeft, om uiteenlopende redenen, geen tijd gevonden om dit werkstuk nog verder af te maken.



Frank de Jager

In de gesprekken met hem over het onderwerp research gaf Frank de Jager wel eens aan hoe hij technisch-wetenschappelijk onderzoek zag en welke eigenschappen hij aan een goed onderzoeker toekende. Misschien deels schertsend, vergeleek hij een research omgeving met een eikenbos en daarin een aantal eiken met, aan de voet er van en verborgen in de grond, de begeerlijke delicatessen van truffels. De boscijner houdt er een aantal truffelvarkens op na. Deze beesten zijn begiftigd met een fijne neus en ze vinden in de regel de plek waar de truffels verborgen zijn. De eigenaar van het bos moet wél voorkómen dat de truffelvarkens de oogst verorberen als hij ze uitlaat bij het oogsten.

Maar in een van zijn eerste rapporten kwam ik ook zijn, ietwat meer serieuze, gedachten tegen over processen die van belang zijn bij het oplossen van problemen.

'De fundamentele processen die van belang zijn bij het oplossen van problemen laten zich opdelen in de volgende vijf gebieden; logica, gevoel, fantasie, geheugen en realiteit. De logica behoort tot het terrein van de mathematicus die zich van de realiteit niets behoeft aan te trekken, het gevoel en de fantasie tot dat van de dichter die het met de logica niet zo nauw hoeft te nemen, het geheugen tot dat van de geleerde die geen fantasie hoeft te hebben en de realiteit tot dat van de ingenieur die geen gevoel hoeft te hebben maar moet zorgen dat hij de uitwendige invloeden de baas blijft....Natuurlijk is dit overdreven, er bestaat geen goed mathematicus zonder gevoel voor schoonheid en waarschijnlijk geen ingenieur zonder geheugen, maar men kan bij deze mensentypes wel aangeven waar het centrum van hun belangstelling moet liggen. Voor researchwerk zijn ze echter allemaal nodig zonder dat een type zich te veel op de voorgrond dringt'.