Kwaliteit en relevantie

De visitatiecommissie die de vakgroep IC-design van de Universiteit Twente in 2012 bezocht, roemt in haar rapport de kwaliteit van het onderzoek en de medewerkers. Op alle vijf beoordelingscriteria scoort de groep van Nauta excellent. Het hoogste aantal van vijf punten werd uitgedeeld voor kwaliteit, productiviteit, wetenschappelijke relevantie en levensvatbaarheid.

Technologie

INTERVIEW BRAM NAUTA, CHIPSONTWERPER

Wat niet sterk is, moet analoog zijn

De digitale techniek loopt tegen zijn grenzen aan. Willen we nog zuiniger mobieltjes, dan moet de oude, analoge techniek worden afgestoft.

Door **Bard van de Weijer** Foto **Mike Roelofs**

Toen Bram Nauta een tijdje terug een nieuw televisietoestel nodig had, adviseerde de verkoper van de MediaMarkt in Hengelo een toestel van een Japans merk. Toen Nauta hem vroeg waarom juist dit merk, zei de verkoper dat het beeld erg goed was vanwege de mooie tuner. Grappig dat je dat zegt, zei Nauta, want ik heb die schakeling helpen ontwerpen. 'Die man was stomverbaasd, natuurlijk. Hij wilde weten wie ik was en hoe ik in dat televisietoestel terecht was gekomen.'

Nauta is hoogleraar elektrotechniek aan de Universiteit Twente, een vakgebied dat is omgeven door misverstanden. Iedereen denkt aan soldeerbouten en tin, en printplaten – en op zijn best aan de micro-elektronica van Chriet Titulair. 'Zeggen ze op feestjes: leuk wat jij doet, maar nano wordt het helemaal. Dat is pas hip.' Nauta moet daar inwendig om grinniken. Want hij mag dan elektrotechnicus zijn, de soldeerbout hangt al jaren in de wilgen. De Twentse hoogleraar ontwerpt chips, de chips die in onze laptops zitten, en in onze mobiele telefoons. En dus in onze tv's. En alles aan die chips is al nano, zegt Nauta. 'Transistors zijn nog maar 14 nanometer groot, als we er nog een paar afsnoepen, kan het haast niet meer kleiner.' Hoeveel nano wil je het hebben, wil hij maar zeggen.

Jarenlang leunde de Wet van Moore, die stelt dat de rekenkracht van computers ongeveer elke twee jaar verdubbelt, op deze miniaturisering. Hoe meer transistors per vierkante millimeter, hoe sneller de processor. Dus werden manieren gezocht om transistors steeds kleiner te maken. Binnenkort zijn we op een punt aanbeland waarop het echt niet kleiner kan.

De andere manier om processors sneller te maken, was tien jaar geleden al uitgewerkt: het opvoeren van de klokfrequentie. Vergelijk het met het toerental van een motor: hoe meer toeren, hoe sneller je gaat. Maar op een zeker moment bereikt de meter het rode gebied. 'Tien jaar geleden was duidelijk dat 3 gigahertz het praktische maximum was. Nog sneller betekende vooral meer warmte.' En warmte betekent energieverbruik en dat is wat je vooral niet wilt, zeker niet in een tablet of smartphone. Nauta: 'De heilige graal is een chip die supersnel is en nauwelijks energie verbruikt.'

Als kleiner niet meer kan, en sneller ook niet, stokt de Wet van Moore. Och, het einde van de wet is al zo vaak aangekondigd, zegt Nauta. 'En telkens schoof hij weer een paar jaar op. Gewoon, door slimme dingen te bedenken.' Een van de ontwikkelingen om Moore te stutten is deze: digitaal wordt analoog, zegt Nauta in zijn werkkamer aan de TU. Alles wat we tot nu toe met digitale techniek bereikten, wordt weer analoog. Met technieken uit de ouderwetse elektrotechniek. En in Twente zijn ze daar toevallig heel goed in.

Een van de problemen waar de chipindustrie tegenaan loopt, is haar eigen verleden. De architectuur van bijvoorbeeld een Pentiumchip ligt min of meer vast. 'Intel zegt: de architectuur is goed. Dat is begrijpelijk, want iedereen werkt ermee. Heel veel software, zoals Windows, draait erop.' Je kunt die architectuur dus niet ineens radicaal omgooien. 'Maar de plattegrond van de Pentiumprocessor stamt uit de jaren tachtig. Die is daarmee als een middeleeuwse stad', zegt Nauta. 'Niet ideaal voor vrachtverkeer, bijvoorbeeld.' Intel weet de Wet van Moore in stand te houden door steeds meer *cores* op een processor te zetten. Die verdelen het werk, en kunnen daardoor sneller rekenen. Wet van Moore gered. Maar wel een beetje met dommekracht.

Dommekracht werkt niet in mobiele telefoons, die een hele dag op een kleine batterij moeten werken. Toen ze begin vorig decennium aan hun opmars begonnen, was er vooral behoefte aan zuiniger chips. Bij het ontwerp van de chips voor mobieltjes was zuinigheid daarom het uitgangspunt. Toen later de smartphone kwam, werd ook rekenkracht belangrijk. De nieuwste iPhone 5S rekent net zo snel als een dikke desktop van drie jaar oud, stelt Nauta. 'Drie jaar!' Terwijl die pc 200 watt verbruikt en een smartphone hooguit een paar.

Deze zuinigheid is onder meer bereikt door af te stappen van het idee een chip plankgas te laten draaien. Pak er gewoon twee en halveer het voltage. Krijg je hetzelfde werk voor minder energie. Dat kost extra oppervlakte en is daardoor duur (het oppervlakte van een chip bepaalt nog altijd de prijs, en de prijs per oppervlakte is de afgelopen decennia ongeveer gelijk gebleven), een van de redenen waarom een smartphone 600 euro kost, net als een desktop.

Hogere prestaties bij minder stroom, dat is het spel dat nu gespeeld wordt, zegt Nauta. En bij dit spel komt zijn vakgebied om de hoek kijken, waar analoge schakelingen worden bedacht. Waarom zijn analoge schakelingen nodig in chips? Digitaal betekent één of nul – iets anders kan niet. Dat heeft een enorm voordeel, zegt de hoogleraar: 'Stel dat er een kleine storing optreedt, en dat de 0 daardoor een 0,1 wordt. Dan weet je: het moet een nul zijn. Corrigeer maar. Storing opgelost.' Sterker: alles beneden de 0,5 maak je nul, alles erboven wordt één. 'Hierdoor is digitaal heel robuust.'

Dat is prettig. Maar als je, bijvoorbeeld om nog zuiniger chips te maken, het voltage verlaagt, worden ook de foutmarges kleiner. 'Bij 0,1 volt is de foutmarge nog maar 0,05 volt. Als je een digitale schakeling zo ver uitknijpt dat hij het nog maar net doet, dan stuit je op analoge problemen', zegt Nauta. 'Je ziet dat het kleinste ruisje het palletje in de chip dan de verkeerde kant op kan laten vallen. En dan werkt het niet meer.' Of er lekt onderweg stroom weg, waardoor het signaal aan de andere kant niet aan komt. Ook zo'n analoog probleem.

HEILIGE GRAAL TERUG BIJ AF

Wat maakt een chip snel? Snelheid wordt bepaald door wat parasitaire capaciteiten wordt genoemd. Bram Nauta geeft een minicollege: Een draadje op een chip kun je vergelijken met een condensator. Die loopt vol met stroom, zoals een bakje volloopt met water. Dat vullen kost enige tijd. Gebruik je een dikkere slang, dan gaat het sneller. In chiptermen is dat: de stromen verhogen. Bij een hogere stroom laden de draadjes sneller op met stroom. Hoe sneller ze opladen en ontladen, hoe sneller de computer kan rekenen. Maar ook: hoe meer stroom en dus energie nodig is.
In een moderne processor, die zo groot is als een duimnagel, zit twintig kilometer draad. 'Dat is vanaf hier, de campus, tot Almelo. Ongelooflijk lang.' Hoe die draadjes worden neergelegd, hoe ze met elkaar verbonden worden, hoe groot de afstand tussen de verschillende draadjes is, bepaalt uiteindelijk óók de snelheid van de chip.
De heilige graal is het vinden van een chip die heel snel rekent en weinig stroom verbruikt. Daarbij komen steeds meer analoge technieken kijken, aldus Nauta. Digitaal wordt analoog. Daarmee zijn we min of meer terug bij af.

Touw

Vergelijk het met een touw, zegt Nauta terwijl hij met zijn armen begint te zwaaien. 'Als ik daar een slinger aan geef, zie je de golf erdoor lopen tot hij aan de andere kant is.' Maar als je zachter gaat slingeren, komt de golf misschien niet meer aan. 'Dan moet je aan het eind een heel gevoelig ontvangertje maken, dat het signaal uitleest en versterkt.'

Zo'n ontvangertje is analoog. We komen die ouderwetse analoge problemen nu dus gewoon weer keihard tegen, zegt Nauta. 'daarom moet je op een analoge manier gaan denken. Als je onder de motorkap kijkt, zie je dat informatica weer meer natuurkunde wordt.'

Inmiddels heeft degene die het beste versterkertje maakt, ook de beste chip. Eigenlijk net als vroeger, toen Nauta op 11-jarige leeftijd met een zakje onderdelen van de elektronicaboer een illegale FM-zender had gebouwd. Pielde hij net zo lang aan de schakeling tot het bereik zo groot mogelijk was. Draaide de jonge Bram plaatjes voor de buurt. 'Mijn eigen illegale radiostation.'

Ik doe in feite nog steeds hetzelfde, zegt hij. Signalen uitzenden, het bestrijden van ruis. Zwakke signalen ontvangen en storingen wegfilteren. Dergelijke filters bestaan al decennia, maar om ze op chips te kunnen toepassen, moeten ze kleiner. Nu nemen filters voor bijvoorbeeld wifi, Bluetooth en het telefoonsignaal relatief veel ruimte in in smartphones. Een ander probleem is dat dit soort ruisfilters vaak maar op één frequentie goed werken en dat je voor elke draadloze standaard een andere nodig hebt.

De hoogleraar vergelijkt filters met een schommel. Een klein, maar regelmatig zetje geeft de schommel een grote zwaaibeweging. Zo kun je zwakke signalen van een bepaalde frequentie versterken. Voordeel is dat dan al veel ruis wegvalt, omdat die een andere frequentie heeft. 'Prima concept. Maar als je een andere frequentie wilt gebruiken, moet je de schommel inkorten of langer maken.' Of een tweede neerzetten. Nauta wilde een versterker die alle frequenties aankan. Dan moet de schommel weg. En dan blijkt dat de signalen niet meer zo mooi versterkt worden en dat de ruis van de versterker een probleem wordt. 'Ruis die het zwakke signaal overstemt. Weg is je ontvangst.'

Het antwoord bleek de ruisuitdovingsschakeling. Een schakeling die tegenovergestelde ruis maakt, waardoor deze verdwijnt – een beetje zoals bij antigeluid. 'Probleem is: ruis is puur willekeurig, dus hoe doof je die uit?' Het was zo'n vraag waarvan iedereen zei: kan niet. Radio's bestaan sinds de 19de eeuw. Iedereen worstelt met ruis. Ruis is een gegeven. Niets aan te doen. Totdat iemand in Twente iets geks bedacht.

'We hebben hier een technicus, Eric Klumperink. Die had zichzelf een opdracht gegeven: ik heb twee transistors en elke transistor heeft drie pennetjes. Hoeveel combinaties kan ik maken?' Vonden we een beetje gek toen, zegt Nauta. Maar Klumperink ging aan de slag. Bleek dat er 145 combinaties mogelijk waren. 'Wow, zeiden we hier, wat veel.'

Minteken

Klumperink schreef al die schakelingen helemaal uit, vellen vol. Ze vroegen een aio te kijken welke van de schakelingen zich gedroegen als een breedbandversterker, zo'n versterker zonder schommel die alle frequenties aankan. De aio vond er vier. Twee waren al bekend, twee waren nieuw. 'Een beetje alsof je een nieuwe diersoort ontdekt', zegt Nauta. 'Alleen hadden we niet veel vertrouwen in de kwaliteit van die schakelingen. We zeiden tegen die aio: kerel, reken die nieuwe eens helemaal door. Wat doen ze?'

Iedereen dacht: niets aan te doen. Totdat iemand in Twente iets geks bedacht

De aio ging aan het rekenen. 'Kwam er uit een van die schakelingen een ruisvergelijking met een minteken', zegt Nauta. 'Dat was raar.' Normaal gesproken is het zo dat als je ruis bij ruis optelt, je meer ruis krijgt. 'Als er twee JSF's komen overvliegen, heb je meer lawaai dan als het er één is.' Maar het werd stiller. Dat kon eigenlijk niet. Ruis is *random*, dacht Nauta, dus die aio zal wel een foutje hebben gemaakt. Hij moest opnieuw aan de slag. Wéér dat minteken.

'Er was sprake van uitdoving, al was het maar een heel klein beetje. Het ging van 12 naar 11, zeg maar.'

Zou je met nog een transistor erbij, de ruis misschien helemaal kunnen uitdoven? Nauta en zijn team vonden in de schakeling twee punten waar het signaal in tegenfase zit en de ruis precies hetzelfde is. Weliswaar de ene vijf keer groter dan de andere, maar als je die twee met een bepaalde gewichtsfactor van elkaar aftrekt, kun je de ruis uitdoven en het signaal overhouden. Het werkte. 'We stonden opnieuw perplex. En we geloofden er eigenlijk nog steeds geen barst van.' Maar het werkte wel degelijk. Het was Nauta's groep gelukt ruis uit te doven zonder een schommel te gebruiken.

Dit was tien jaar geleden. Twente was als universiteit nog helemaal niet bekend op het gebied van chipsontwerpen, een provincie-universiteit uit een klein landje. 'Een stel boeren in een weiland waren we.' En zo dacht de rest van de wereld er misschien ook over. De vinding werd genegeerd. 'We hebben geprobeerd het idee te verkopen aan Philips. Hadden ze kunnen gebruiken voor hun tv-ontvanger. Ze bedankten vriendelijk.' Wat moest je destijds ook met een apparaat dat alle frequenties kon versterken? Je had toch die schommel, die werkte ook prima. Desnoods gebruikte je er vijf – ruimte zat.

Maar in Azië zagen ze het nut van de vinding wel, en het idee werd massaal gekopieerd. 'Die studenten gingen natuurlijk na hun studie aan de slag bij de grote concerns, en ineens zag je dat hun televisies veel betere ontvangers kregen.' Uit Twente. Vervolgens ging de mobieltjesindustrie de schakeling toepassen, omdat je nu met minder en veel kleinere filters al die signalen kon gaan doorgeven.

De schakeling heeft Nauta's vakgroep beroemd gemaakt. 'Vijftien jaar geleden werd er smalend over gesproken. Nu zitten we in de topvijf van de wereld. Vergelijkbaar met MIT en Berkeley.'

De hoogleraar werkt aan een verdere miniaturisering van zijn ruisonderdrukkingsschakelingen, die kunnen helpen draadloze communicatie zuiniger te maken. Eigenlijk doet hij nog altijd hetzelfde als toen hij 11 was: prutsen met schakelingen. 'Mijn eerste zender had één transistor. Deze schakeling heeft er drie. Zo veel ben ik dus eigenlijk niet opgeschoten.'

Bram Nauta in zijn laboratorium voor chipsontwerp: 'We geloofden er aanvankelijk geen barst van.'