

# Een ultrakleine, zuinige en goedkope radar dankzij chiptechnologie

Integreer een radar in een auto of ander object en je kan aanwezigheid, bewegingen en afstand van de objecten en personen rondom bepalen. Onderzoekers van imec ontwikkelden een volledig geïntegreerde radar-op-chip op basis van 28nm CMOS-chiptechnologie. De radar is uiterst compact (8mm<sup>2</sup>) en energiezuinig (1W) en presteert heel goed (10m dieptebereik, 7,5cm dieptesolutie en 5° hoeknauwkeurigheid). Dit laatste dankzij het gebruik van fasemodulatie (i.p.v. de veel gebruikte frequentiemodulatie) en de integratie van MIMO-antennes. Jan Craninckx, Distinguished Member of Technical Staff bij imec, geeft meer details over deze unieke radarchip.

## Mini-radars for a smart environment

Mini-radars voor een slimme omgeving

Millimetergolf-radars zijn sensoren die radiogolven gebruiken met een zeer kleine golflengte (1 tot 10mm; frequentieband 30 tot 300 GHz) om objecten te detecteren. Ze worden vandaag gebruikt in duurdere auto's als parkeerhulp, voor detectie van voetgangers en andere voertuigen en ter preventie van botsingen. Het aantal radars in auto's zal de komende jaren enorm toenemen met de evolutie naar zelfrijdende auto's. Het grote voordeel van radars t.o.v. camera's is dat ze ook werken in slechte (weers)omstandigheden zoals mist, stof, sneeuw, tegenlicht enz.

Radars voor auto's gebruiken de 79GHz-frequentieband, maar ook andere frequentiebanden zijn bruikbaar en maken nieuwe toepassingen mogelijk (bv. 60 en 140GHz). Denk bijvoorbeeld aan aanwezigheidsdetectie in gebouwen (voor licht- en klimaatsturing). Radars zijn in dit geval nauwkeuriger dan huidige bewegingssensoren en 'discreter' dan camera's. Het voordeel van een hogere signaalfrequentie – zoals 140GHz – is dat de radar dan nog kleiner en gevoeliger kan worden.

Het inbouwen van radars in auto's en muren is nog vrij voor de hand liggend, maar in principe kunnen ze in elk object ingebouwd worden: in een babybedje om de ademhaling op te volgen, in een wielerspide om snelheid, positie enz. van de renners te meten, in een haardroger om de afstand tot het hoofd te registreren en automatisch de warmte aan te passen, in drones voor een betere navigatie, in tv-schermen en computers voor gebarenherkenning enz.

Om bovenstaande scenario's waar te maken, moeten de radars van vandaag wel veranderen: ze moeten veel kleiner, zuiniger en goedkoper worden. En – niet onbelangrijk – de resolutie moet beter: hoe goed de radar twee objecten kan onderscheiden van elkaar. Uiteindelijk moeten radars zo goed worden dat ze wandelende personen van fietsers kunnen onderscheiden, en misschien zelfs individuele personen kunnen herkennen. Dit laatste is bv. interessant om domotica aan te sturen in woningen en kantoren.



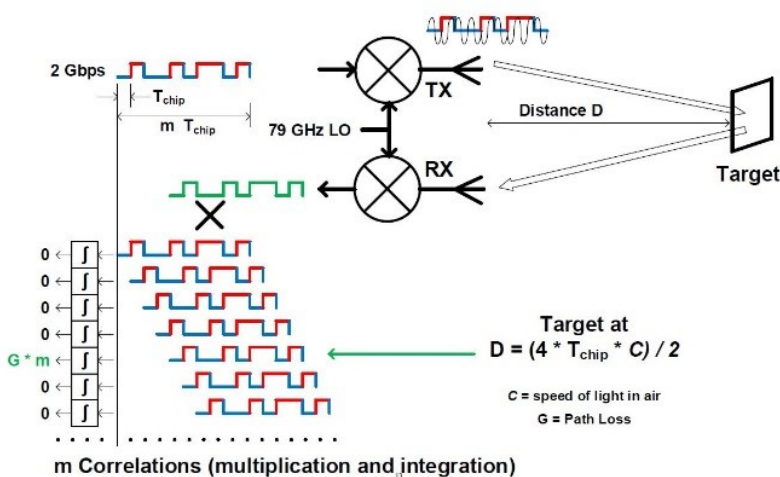
*Radars evolueren naar ultrakleine systemen die overal kunnen ingebouwd worden.*

## Dankzij deze 3 ingrediënten is de eerste radar-op-chip < 1cm<sup>2</sup> een feit

**1. CMOS (standaard chiptechnologie).** De huidige radars worden meestal gemaakt op basis van SiGe-technologie. Een overschakeling naar CMOS-technologie – de standaard chiptechnologie – zou wel eens de sleutel kunnen zijn tot compacte, zuinige en goedkopere radarmodules. De digitale CMOS functionaliteit laat enerzijds toe de performantie van de analoge blokken te verhogen door doorgedreven kalibratie en controle, en anderzijds kan de nodige signaalverwerking en algoritmes mee geïntegreerd worden in een enkel systeem-op-chip (SoC). Imec startte in 2012 met de ontwikkeling van zulke radartechnologie, meer bepaald op basis van 28nm CMOS-technologie. Na de ontwikkeling van een zender (2013) en een zender-ontvanger (2014), werd nu een compleet SoC gerealiseerd, met geïntegreerde antennes in de verpakking. Het SoC bevat twee 79GHz zenders, twee ontvangers, een PLL, ADCs, en digitale signaalverwerking in de vorm van correlatoren en accumulatoren.,

**2. PMCW (fasemodulatie ipv frekwentiemodulatie).** Eenvoudige radars zijn gebaseerd op korte hoogvermogen pulsen die worden uitgestuurd. Met CMOS-technologie kan je zo iets niet efficiënt implementeren en wordt er beter gekozen voor een 'continuous wave' technologie. De meeste radars vandaag zijn FMCW radars (frequency modulated continuous wave). Daarbij wordt een frequentie sweep uitgestuurd van bv. 100MHz bandbreedte. Die botst tegen het doel, komt terug en op basis van de offset van de frequentie kan de afstand van het doel tot de radar gemeten worden. Het nadeel van deze techniek is dat je voor een hoge resolutie ook een grote bandbreedte nodig hebt, en dat een lineaire sweep over die grote bandbreedte moeilijk te realiseren is.

Imec koos voor een andere techniek: de PMCW of phase modulated continuous wave (aangevuld met spillover cancellation). Hierbij wordt een binair signaal uitgestuurd. Het signaal dat terugkomt wordt gecorreleerd met offset signalen, vergelijkbaar met de werking van een GPS. Het belangrijkste voordeel van deze techniek is dat het door de efficiëntere coderingstechniek mogelijk is om vele antennes tegelijkertijd te gebruiken, en op die manier dus radars te maken met hogere resolutie.



Principe van phase modulated continuous wave (PCMCW) radar

**3. MIMO (gebruik van meerdere antennes).** Een hogere hoekresolutie realiseren bij een radar kan door meer antennes te implementeren. Net zoals camera's beter worden naargelang de hoeveelheid pixels, kan ook een radar beter en beter objecten van elkaar onderscheiden indien er meerdere antennes gebruikt kunnen worden. In radartermen wordt hierover gesproken als MIMO (multiple input multiple output) performantie.

Het gebruik van de PMCW-techniek is hiervoor essentieel op systeemniveau, omdat die toelaat de antennes verschillend te coderen. Op deze manier kan met een beperkt aantal zenders en ontvangers toch een grote virtuele antenne array geconstrueerd worden, met een hoge hoekresolutie. Qua implementatie biedt de CMOS-technologie het ideale platform om dit enerzijds te realiseren, maar anderzijds ervoor te zorgen dat de totale oppervlakte, kost en het vermogenverbruik beperkt blijven.

### **Slimmere radar dankzij beeldverwerkings-algoritmes en sensor fusion**

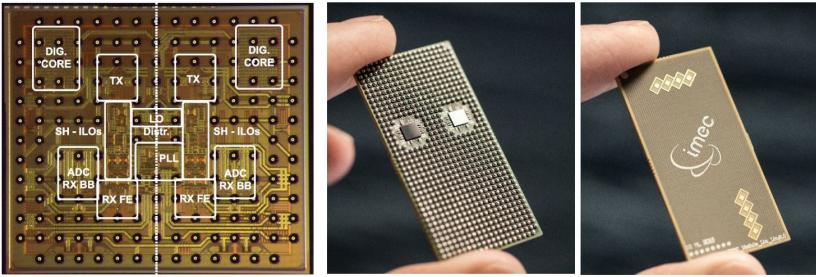
Ook essentieel voor toekomstige radars is een doorgedreven, slimme signaalverwerking. Zo zit in het signaal dat de radar teruggekaatst krijgt niet alleen informatie over de posities van de objecten in de omgeving, maar ook over hun bewegingen. Die zogenaamde micro-Doppler informatie maakt het mogelijk om bv. wandelaars te onderscheiden van lopers, fietsers of huisdieren. Uiteindelijk zou het misschien zelfs kunnen gebruikt worden om mensen van elkaar te onderscheiden. Zo zou een auto zijn bestuurder kunnen identificeren en toegang geven op basis van de radarinformatie.

Om die micro-Doppler informatie toegankelijk te maken, worden algoritmes gebruikt voor patroonherkenning en automatisch leren; algoritmes die nu vooral toegepast worden in beeldverwerking. Zo zal de radar de micro-Doppler signatuur van individuele objecten leren herkennen en onderscheiden. In een tweede stap zullen dan de signalen van meerdere radars gecombineerd worden, om zo bv. een volledig 360 graden-beeld te krijgen van wat er zich rond een auto afspeelt.

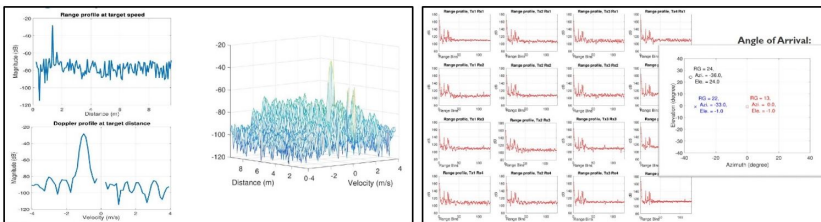
En tenslotte, om het beeld nog vollediger en slimmer te maken, zal de informatie gecombineerd worden met gegevens van bv. camera's of ultrasone sensoren. Elk type sensor heeft immers een toepassingsgebied waarop het unieke informatie aanlevert. Zo zijn beeldsensoren typisch beter voor het herkennen van markeringen op de weg of op verkeersborden. Die sensor fusion is waar we uiteindelijk toe willen komen.

### **28nm CMOS 79GHz radar-op-chip**

Imec-onderzoekers slaagden er dus in om met deze 3 principes een volledig geïntegreerde radar-op-chip te maken, gebruik makende van fasemodulatie en MIMO-antennes. De radarchip bestaat uit twee zenders, twee ontvangers en een millimetergolf-generator. De output van de ontvangers wordt gedigitaliseerd door op-chip ADC's en verwerkt door een speciaal daarvoor ontwikkelde digitale core. De radarchip verbruikt 1 Watt om 7,5cm dieptesresolutie te realiseren. Een module met 1 IC en 2x2 antennes in MIMO modus zorgt voor een hoekresolutie van 5° met ffl 60° bereik in zowel horizontale als verticale richting. Een 4x4 MIMO-systeem met een 2x betere resolutie werd ook gedemonstreerd door twee systemen-op-chip te combineren tot één module.



*Van links naar rechts: chip met aanduiding van bouwblokken, achterkant van radar module met twee systemen-op-chip, voorkant van radar module met geïntegreerde 4x4 antennes.*



*Demonstratie van 28nm CMOS 79GHz radar-op-chip met metingen van bereik en snelheid (links) en MIMO-antennes (rechts).*

## Biografie Jan Craninckx

**Jan Craninckx** obtained his MSc and PhD degree in microelectronics from the Katholieke Universiteit Leuven in 1992 and 1997, respectively. From 1997 to 2002, he worked with Alcatel Microelectronics as a senior RF engineer on the integration of RF transceivers for GSM, DECT, Bluetooth and WLAN. In 2002 he joined Imec (Leuven, Belgium), where he currently is distinguished member of technical staff for RF, analog and mixed-signal circuit design. His research focuses on the design of CMOS RF transceiver front ends, covering all aspects of RF, analog and data converter design. He is an IEEE Fellow and editor-in-chief of the IEEE Journal of Solid-State Circuits.

