

High-resolution D-band radar sensor for Automotive and Autonomous System



Författare: Duncan Platt
Datum: 10th Sep. 2022
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	7
7 Spridning och publicering	9
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	9
7.2 Publikationer.....	9
8 Slutsatser och fortsatt forskning	10
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	10

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Projektets huvudmål var att utveckla en första prototyp av en kompakt, lågeffekts, högupplöst radarsensor för frekvensbandet 110 - 170 GHz (D-band). Framtida möjliga användningsområden för en sådan radarprodukt kan vara autonoma fordon (markbaserade, luftburna och maritima), fordonssensorer, autonoma system (t.ex. autonomt jordbruk och gruvsdrift), detektering av livstecken, ytanalys och gestigenkänning. Radarsensorer kommer att vara särskilt användbara i situationer och applikationer där det är dålig sikt (t.ex. höga nivåer av damm, starkt solsken eller kraftigt regn), där optiska och IR-sensorer är mindre tillförlitliga och för applikationer där hög upplösning krävs.

D-bandradarns konstruktion baserades på en dubbelchips 110 till 170 GHz (D-band) direktkonvertering i fas/kvadraturfas (I/Q) sändare (TX) och mottagare (RX) monolitisk mikrovågsintegrerad krets (MMIC), realiserad i en 250-nm indium fosfid (InP) dubbel heterojunction bipolär transistor (DHBT) teknologi som tidigare konstruerades och utvecklades av Chalmers University Microwave Electronics Laboratory.

Radarchipset ger möjlighet till ultrabred frekvensbandsprestanda vid D-bandets frekvensområde som potentiellt förbättrar radaravståndsupplösningsprestanda. Det fanns ett mål att implementera en kommunikationskanal i radarsystemets arkitektur så att direkta trådlösa kommunikationslänkar med andra radarsensorer skulle vara möjliga.

Projektet genomfördes av fyra utmärkta och kompletterande projektpartners, Veoneer, SafeRadar, Chalmers och RISE. Veoneer, ett globalt världsledande svenskt fordonsföretag som konstruerar, kompilarar och säljer toppmodern mjukvara, hårdvara och system för aktiv säkerhet, autonom körning, passagerarskydd och bromskontroll, ledde WP1 - Requirements and Architecture och WP5 - D-band radar prototyp test och utvärdering. SafeRadar, ett SMF som tillhandahåller expertis inom design av radarsystem för både militära och kommersiella radarsensorer, ledde utvecklingen av WP3 - D-band radar hårdvaruprototyputveckling och WP4 - D-band radar signalbehandling och mjukvaruutveckling. Chalmers Microwave Electronics Laboratory, ett världsledande forskningslaboratorium som arbetar i framkant av högfrekvent teknologiutveckling, ledde WP2 - Integration & Packaging av D-Band radar- och kommunikationschip. RISE, Sveriges oberoende, statliga forskningsinstitut och innovationspartner, ledde WP6 Project Management och den övergripande projektledningen.

Projektets framsteg hindrades av COVID-läget och av den allmänna bristen på elektronikkomponenter på världsmarknaden. Det senare i synnerhet skapade betydande förseningar i utvecklingen av WP3 - D-band radar hårdvara prototyputveckling. De mycket långa ledtiderna för att ta emot viktiga elektroniska komponenter som är nödvändiga för tillverkning och montering av PCB-designerna för radarprototypen skapade betydande förseningar för WP3 som i sin tur påverkade de efterföljande arbetspaketen. COVID orsakade också allmänna störningar för projektpartnererna, även om de inte var särskilt betydande. Men för leverantörerna, såsom PCB-monteringsföretaget och komponentleverantörer, var COVID en faktor som återigen skapade långa ledtider och betydande förseningar. För att kompensera för dessa förseningar upprätthölls fokus på att skapa en första fungerande D-bands radarprototyp som framgångsrikt kunde användas för att samla in data för de användardefinierade scenarierna i WP5 och tas bort från att designa och testa en kommunikationsprogramvara i WP4.

Projektet uppnådde intressanta och användbara resultat som kan användas för att följa mycket högfrekventa radarforsknings- och utvecklingsprojekt. Fältförsök på

Veoneers Vårgårda testplats visade en fullt fungerande D-band radarprototyp. Olika användarscenarier testades och detektering av stora objekt gjordes framgångsrikt upp till ett avstånd av 80 m. D-band radarprototypen monterade på ett testfordon visas på bilden under testning vid Veoneers Vårgårda testbana på första sidan av denna rapport.

2 Executive summary in English

The project's main aim was to develop a first prototype of a compact, low-power, high-resolution radar sensor for the 110 - 170 GHz frequency band (D-band). Future possible application areas for such a radar product could be autonomous vehicles (ground-based, airborne and maritime), automotive sensors, autonomous systems, (e.g. autonomous farming and mining), vital life sign detection, surface analysis, and gesture recognition. Radar sensors will be particularly useful in situations and applications where there is poor visibility, (e.g. high dust levels, bright sunshine, or heavy rain), where optical and IR sensors are less reliable and for applications where high resolution is required.

The D-band radar design was based on a dual-chip 110 to 170 GHz (D-band) direct conversion in-phase/quadrature-phase (I/Q) transmitter (TX) and receiver (RX) monolithic microwave integrated circuit (MMIC), realized in a 250-nm indium phosphide (InP) double heterojunction bipolar transistor (DHBT) technology that was previously designed and developed by Chalmers University Microwave Electronics Laboratory.

The radar chipset provides the possibility for ultra-wide frequency band performance at the D-band frequency range that potentially improves radar range resolution performance. There was a goal to implement a communication channel into the radar system architecture so that direct wireless communication links with other radar sensors might be possible.

The project was performed by four excellent and complementary project partners, Veoneer, SafeRadar, Chalmers and RISE. Veoneer, a global world-leading Swedish automotive company that designs, compiles and sells state-of-the-art software, hardware and systems for active safety, autonomous driving, occupant protection and brake control, led WP1 - Requirements and Architecture and WP5 - D-band radar prototype test and evaluation. SafeRadar, a SME providing expertise in radar system design for both military and commercial radar sensor, led WP3 - D-band radar hardware prototype development and WP4 - D-band radar signal processing and software development. Chalmers Microwave Electronics Laboratory, a world-leading research laboratory working at the forefront of high-frequency technology development, led WP2 - Integration & Packaging of D-Band radar- and communication chip. RISE, Sweden's independent, state-owned research institute and innovation partner, led WP6 Project Management and the overall project management.

The project progress was hampered by COVID and by the general shortage of electronics components on the world market. The latter in particular created significant delays in WP3 - D-band radar hardware prototype development. The very long lead times to receive vital electronic components necessary for the manufacture and assembly of the PCB designs for the radar prototype created significant delays to WP3 that in turn affected the subsequent work packages. COVID also caused general disruption to the project partners, even if not particularly significant. However, for the suppliers, such as the PCB assembly company and component vendors, COVID was a factor in again creating long lead times and significant delays.

In order to compensate for these delays, focus was maintained on creating a first working D-band radar prototype that could successfully be utilised for gathering data for the user defined scenarios in WP5 and removed from designing and testing a communication software in WP4.

The project achieved interesting and helpful results that can be used for input into following very high frequency radar research and development projects. Field testing at Veoneers Vårgårda test site demonstrated a fully functional D-band radar prototype. Different user scenarios were tested and large object detections were successfully made up to a distance of 80 m. The D-band radar prototype, assembled on a test vehicle at the Veoneer test track in Vårgårda, is shown in the photograph on the first page of this report.

3 Bakgrund

Radarsensorer är en livsviktig komponent inom fordonselektronik och blir väsentliga för autonoma fordon och system. Radarsensormarknaden har utvecklats snabbt de senaste åren och radarsensorer är en vanlig, nästan standard, komponent i fordon som säljs idag - en viktig drivkraft och lösning för förbättrad fordonssäkerhetsfunktionslitet. För närvarande görs stora ansträngningar för att tillhandahålla mycket tillförlitliga och billiga fordonsradar

Det finns många utmaningar men om sådana radarsensorer fungerar på ännu högre frekvenser än dagens lösningar öppnas nya möjligheter att använda radar för tillämpningar inom fordon och autonoma system. Den kortare våglängden gör det möjligt att förverkliga antenner med bra aperturer och riktningskänslighet samt kompakt storlek. Dessa på sikt gör det möjligt att konstruera radar som blir mindre och lättare. Dessutom kan högre upplysning uppnås med den potentiella större bandbredden som underlättas vid högre frekvenser.

Detta innebär att projektet behövdes för att undersöka arkitektur och utmaningar när radarfrekvensen höjs från dagens mm-våg frekvenser (77- 81 GHz) till D-band frekvenser (110 - 170 GHz). Projektets övergripande mål var att realisera en radarsystemarkitekturen i en teknikdemonstrator (D-band radarprototyp) baserad på en InP DHBT bredbandig D-band MMIC som har redan konstruerats och testats av Chalmers. Det förverkligandet av en sådan teknikdemonstrator vid D-band behövdes för att ge projektpartnerna en värdefull plattform för att utvärdera potentiell prestanda och fördelar av hög bandbreddsradar på högre frekvenser samt ge värdefulla insikter om de utmaningarna som måste lösas när man går vidare mot vidareutveckling av sådana avancerade radarsystem.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet är mycket relevant för FFI-programmet för elektronik, mjukvara och kommunikation samt Trafiksäkerhet och automatiserade fordon. Slutresultatet av projektet tillhandahåller en D-band radarprototyp som är relevant för områden elektromobilitet, aktiv säkerhet, autonoma fordon och uppkopplade fordon.

Kunskapen och produktpotentialen som har utvecklats under projektet bidrar till att stärka de inblandade parter konkurrenskraft inom fordonsteknologi och har även relevans för tre av de fem sektorer som identifierats i FFI:s strategiska färdplan, dvs arkitektur, intelligenta och pålitliga system, samt elektronik för "Gröna, säkra, autonoma och uppkopplade funktioner". Projektresultaten bidrar även i synnerhet till skapande av ny sensordata som kan användas för offline dataanalys på sikt för maskininlärning och funktionell säkerhet,

D-band radarsensorprototypen och dess eventuella produktutveckling kommer i första hand att vara för aktiv säkerhetsfunktionalitet och autonoma fordon. Projektiden är generellt förenlig med de utmaningar som beskrivs i Sveriges Nationella Agenda för IKT Elektroniska Komponenter och System inom nyckelteknikområdena: mikro-nanoelektronik, antenn-mikrovåg- och terahertzsystem, inbyggda system och sensorer, och kan till och med anses relevant för de strategiska svenska tillämpningsområdena för Internet of Things.

Projektet har bemött tydligt de utmaningarna som specificeras för denna ursprungliga utlysningen på grund av dess tydliga betoning på innovativ utveckling av en UWB D-band mm-våg radarsensorprototyp med kommunikationspotentialen som på sikt kan vara attraktiv för många olika tillämpningsområde både inom och utanför fordonssektorn.

Projektet utfördes av fyra kompletterande projektpartners, Veoneer, SafeRadar, Chalmers och RISE. Projektgenomförandet organiserades i sex arbetspaket:

- WP1 – Krav och arkitektur
- WP2 – Integration och byggsätt av D-Band radar- och kommunikationschip
- WP3 – D-band radarprototyp hårdvaruutveckling
- WP4 – D-band radarprototyp signalbehandling och mjukvaruutveckling
- WP5 – Test och utvärdering av D-band radarprototyp
- WP6 – Projektledning

Projektparterna har kompetensen, resurser och meritlista att vidareutveckla projektprototypen från den uppnådda TRL5-nivån mot en marknadsprodukt på sikt även om inte det är det omedelbara målet efter projektet. Genomförandet av projektet har förbättrat och stärkt kompetens inom området mm-våg elektroniska komponenter och system och avancerade millimetervågsradarsystem, hos projektparterna vilket har betydelse för Sverige.

5 Mål

Mål för projektet vid slutet var att uppnå de förväntade projektsresultaten som var:

- a) Konstruktionen av en D-band radarsensor arkitektur
- b) Framgångsrik integration, byggsättning och test av en D-band MMIC
- c) Konstruktion, tillverkning och test av en D-band antenn
- d) Konstruktion, tillverkning och test av en D-band radarsensor prototyp
- e) Konstruktionen av en radar testmjukvara
- f) Datainsamling och dataanalys för olika partnerdefinierade slutanvändarscenarier
- g) Konstruktion av en radar kommunikationsmjukvara
- h) Slutrapport

6 Resultat och måluppfyllelse

Alla mål som beskrivs i sektion 5 uppnåddes på ett rimligt och framgångsrikt sätt med undantag av punkt g. angående radarkommunikationsmjukvara. Projektets leverabler och milstolpar som uppnåddes, och när de uppnåddes, visas i tabellen nedan.

Milstolpe/ Lereabel	Beskrivning	Förväntad	Avslutad
M1.1	D-band radar architecture and design specification	M3	M3
M2.1	D-band radar MMIC integration and design	M16	M16
M3.1	D-band antenna design and test	M17	M16
M3.2	D-band radar PCBs	M18	M19
M3.3	D-band radar prototype	M19	M21
M4.1	D-band radar test and configuration software	M21	M21
M4.2	Communication test software	M22	Not completed
M5.1	Data collection and analysis for different partner defined scenarios	M24	M23
M6.1	Project consortium agreement	M3	M3
M6.2	Periodic reports	M6, M12, M18	M6, M12, M18
M6.3	Final report	M25	M26

Utöver de ovanstående resultaten har projektet även resulterat i väsentlig kompetensutveckling hos samtliga parter i projektet inom mm-våg högfrekvensradar vid D-bandfrekvensområdet. Lärdomar och erfarenhet från projektet ger bra förutsättningar för ett eventuellt vidareutvecklingsprojekt. Själva prototypen ska användas i ett redan påbörjat fortsättnings FFI-projekt "RadCom2".

Mätresultaten på slutet av projektet skapades utifrån datainsamling från D-band radarprototypen som genomfördes på Veoners tesbana i Vårgårda. Banan gav ett strukturerat, kontrollerat område för att bedöma kvaliteten på radarprototypen utan någon extern störning såsom andra fordon eller annan miljö som kan störa eller skapa falska signaler för systemet. Figur 1 visar installationen av D-band radarprototypsystemet på testfordonet. Radarantennerna monterades på en höjd på 76 cm över marken. Figur 2 visar miljön där data samlades in, med hjälp av en radarhörnreflektor som skapar ett mål. Olika mål skapades och testades:

- 0,3 m² hörnreflektor som motsvarar en fotgängare
- 3 m² hörnreflektor som motsvarar en motorcykel
- 10 m² hörnreflekto som motsvarar en bil
- 30 m² hörnreflektor som motsvarar en lastbil
- En Volvo V60
- En mänsklig fotgängare



Figure 1 D-Radar ego vehicle setup. The box on the left-hand side containing the radar antennas and the right-hand side containing the digital system.



Figure 2 Target corner reflector in boresight of the radar. measuring tape on the ground to measure the distance to the target.

Data som skulle analyseras samlades in från totalt 47 olika scenarier som representerar statistiska mätningar av de typer av mål som nämns i föregående avsnitt. De olika måltyperna mätts på avstånd 20, 40, 60 och 80 m. Mätningar gjordes med en bandbredd på 600MHz för större delen av datainsamlingen och en handfull mätningar gjordes med en bandbredd på 1200MHz.

Resultaten visade att D-bandradarprototypen fungerade på ett någorlunda tillfredställande sätt. De relativa signalbrusförhållanden stämde överens med simulerade värden. Dock var räckvidden eller detekteringsavståndet mindre än de teoretiska förväntningarna. Undersökningar visade att det fanns ett synkroniseringsproblem som påverkade prestanda. Oavsett kunde t ex Volvobilen detekteras på 80m avstånd vilket är ett positivt resultat.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Resultaten (D-bandradarprototypen) kommer att användas i FFI-projektet "RadCom2?"
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		På sikt kan vidareutveckling ske baserad på D-band radarprototypen som togs fram i projektet. Resultaten från projektet ger värdefull data för framtida produktutvecklingsprojekt.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		Ej ett mål för projektet

7.2 Publikationer

Inga publikationer har gjorts utifrån projektresultaten. Publicering var inte ett mål för projektet. Dock vill projektteamet presentera projektet på t ex ett VINNOVA-seminarium.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Datainsamlingen vid fälttesterna på testbanan och de olika slutanvändarscenarier från D-bandradarprototypen var lyckad. Dataanalysen visade att, för alla tester, det maximala detekteringsavståndet är mindre än det teoretiska värdet. Detta beror på den ökade brusnivån som orsakades av ett synkroniseringsproblem. Dock är det relativa SNR för de olika mättyperna i enlighet med simulerade data.

Den antagna radar korssnittet (RCS) på 10 kvm för ett fordon överensstämmer med måttet på en Volvo V60. Trots det visade testerna att Volvon hade bättre upptäcktssannolikhet vid 60 m än den lika stora hörnreflektorn. Det maximala detekteringsavståndet för den stora hörnreflektorn (som motsvarar en lastbil) var 60 m. För själva Volvon var upptäckter på 80 m möjliga. För alla mätningar var det tydligt att noggrannheten i räckvidden blev lidande på grund av synkroniseringsproblemet i hårdvaran som ökade systemets brusnivå.

Lab- och testspårsmätningarna verifierade beteendet och signaturerna för D-bandradarn. På grund av hårdvarusynkroniseringsproblemet och därmed den ökade brusnivån nådde vi inte upp till full prestanda (även om resultaten är relativt bra) men vi identifierade huvudproblemet. För att förbättra systemet skulle viss omkonfigurering av hårdvaran behöva göras.

FFI-projektet "RadCom 2" har redan påbörjats och involverar några av projektets parter (Veoneer och Chalmers). Det projektet kommer att göra en mer grundlig undersökning av effektiva kommunikationsvågformer. Projektteamet kommer att invänta resultat från det projektet och använda D-band radarprototypen som en del av vågformsutvärderingen för "RadCom2".

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Veoneer: Olof Eriksson, **Hans Herbertsson**, Oliver Brunnegard, John Harrison

SafeRadar: **Olav Skjølingstad**, Lars Pettersson, Henric Broström

Chalmers: **Vessen Vassilev**

RISE Research Institutes of Sweden: **Duncan Platt**
duncan.platt@ri.se, +46 70 455 9964