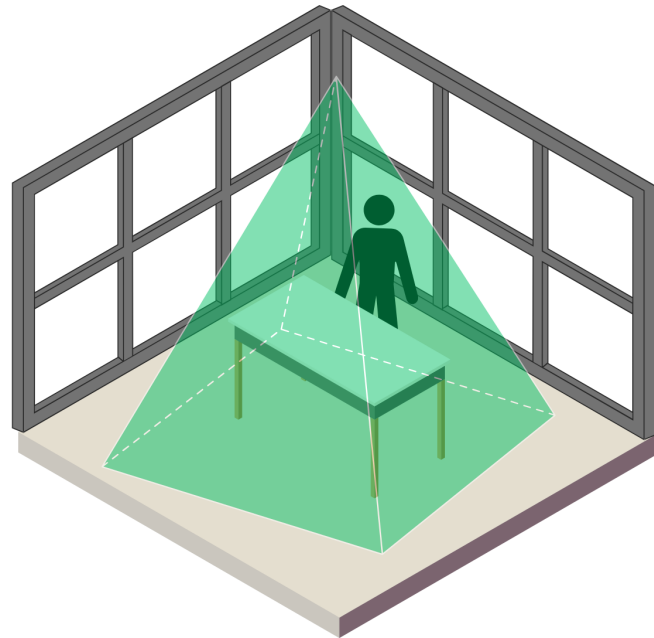




CHALMERS



Radarbaserad närvarodetektion i grupprum

Radar-based occupancy detection in study rooms

Konfigurering och programmering av en frekvensmodulerad radarmodul
för att detektera närvaro

Kandidatarbete inom mikroteknologi och nanovetenskap

Karin Bernhardt, Alexander Bogavac, Alex Helander,
Amanda Larking, Elias Rangert, Ayaan Shaikh

INSTITUTIONEN FÖR MIKROTEKNOLOGI OCH NANOVIETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se

KANDIDATUPPSATS 2025

Radarbaserad närvarodetektion i grupprum

Konfigurering och programmering av en frekvensmodulerad radarmodul för att detektera närvaro

Karin Bernhardt, Alexander Bogavac, Alex Helander,
Amanda Larking, Elias Rangert, Ayaan Shaikh



CHALMERS

Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap

MCCX11-VT25-03

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

Radarbaserad närvarodetektion i grupprum
Konfigurering och programmering av en frekvensmodulerad radarmodul för att de-
tektera närvaro
Karin Bernhardt, Alexander Bogavac, Alex Helander, Amanda Larking,
Elias Rangert, Ayaan Shaikh

© KARIN BERNHARDT, ALEXANDER BOGAVAC, ALEX HELANDER,
AMANDA LARKING, ELIAS RANGERT, AYAAN SHAIKH, 2025.

Handledare: Vessen Vassilev, Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap
Examinator: Per Lundgren, Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap

Kandidatarbete 2025
Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap
MCCX11-VT25-03
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Framsida: Illustration av närvarodetektion med en takmonterad radar.

Skriven i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2025

Abstract

Improving the efficiency of shared space usage, such as study rooms at universities, is important for both resource management and user accessibility. Traditional booking systems fail to show correct occupancy, leading to unused resources. This project explores the use of a frequency-modulated continuous wave-radar for detecting human presence in study rooms.

The radar module used was the Texas Instruments *AWR1843BOOST* which operates in the 76 - 81 GHz frequency band. An initial analysis of the module's output showed that both the location and velocity of detected points could be extracted from the data. A program was developed to classify a room as either free or occupied based on information extracted from the detected points. A room was considered empty if no points showed velocity during a defined period of time. On the other hand, if two points with movement were within a specified radius and timespan of each other, the room was considered occupied.

Final testing showed that the system correctly classified empty and occupied rooms in both short- and long-duration tests. When investigating ten special case scenarios, only one scenario failed in two out of three tests. These results demonstrate the possibility of radar-based presence detection in group rooms and going forward, this work could be integrated into a system covering entire campus sites.

Keywords: FMCW, indoor occupancy, presence detection, radar, resource management, study room.

Sammandrag

Effektiv användning av gemensamma utrymmen, såsom grupprum på universitet, är viktigt för både resursoptimering och förbättrad tillgänglighet. Traditionella bokningssystem saknar stöd för att visa faktisk närvaro, vilket ofta leder till att resurser förblir outnyttjade. Detta projekt undersöker användandet av en *frequency-modulated continuous wave*-radar för att detektera närvaro i grupprum.

Den använda radarmodulen, Texas Instruments *AWR1843BOOST*, arbetar i 76-81 GHz-bandet. En initial analys av radarns utdata visade att både position och hastighet hos detekterade objekt kunde extraheras. Ett program utvecklades för att klassificera ett rum som ledigt eller upptaget baserat på information om de detekterade punkterna. Ett rum betraktades som ledigt om inga punkter uppvisade hastighet under en definierad tidsperiod. Däremot, om två punkter med hastighet var belägna inom både ett visst avstånd och tidsintervall från varandra, klassificerades rummet som upptaget.

Slutgiltiga tester visade att systemet korrekt klassificerade tomma och upptagna rum under både korta och långa testperioder. Vid test av tio specialfall misslyckades endast ett fall, vid två av tre försök. Resultaten visar att radarbaserad närvarodetektion i grupprum är möjlig, och att detta system framöver skulle kunna integreras i en lösning som täcker hela campusområden.

Nyckelord: FMCW, inomhusnärvaro, närvarodetektion, radar, resurshantering, grupprum.

Förord

Vi vill rikta ett tack till vår handledare Vessen Vassilev för ett stort förtroende och stöd. Du skapade en miljö och trygghet där vi fick friheten och hjälpen som behövdes att lyckas med detta projekt.

Karin Bernhardt, Alexander Bogavac, Alex Helander, Amanda Larking,

Elias Rangert, Ayaan Shaikh, Göteborg, Juni, 2025

Lista av förkortningar

Nedan presenteras en lista med förkortningar som används genom denna rapport, i alfabetisk ordning:

CFAR	Constant False Alarm Rate
CLI	Command Line Interface
FFT	Fast Fourier Transform
FMCW	Frequency-Modulated Continuous Wave
MIMO	Multiple Input Multiple Output
SIMO	Single Input Multiple Output
TI	Texas Instruments
TLV	Type-Length-Value
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Radarmätningar	3
2.2	Radarmätningar	4
2.2.1	Avståndsmätning	4
2.2.2	Hastighetsmätning	5
2.3	Gruppantennor	6
2.4	Hantering av brus	6
3	Metod	7
3.1	Projektets radarmodul	8
3.2	Konfiguration av radarmodul	8
3.2.1	Kommunikation mellan dator och radar	8
3.2.2	Konfiguration för närvaromätning	9
3.3	Radardata	9
3.4	Program	9
3.5	Testmetodik	11
3.5.1	Testuppställning	11
3.5.2	Optimering av testparametrar	12
3.5.3	Verifikationsstester	12
4	Resultat	15
4.1	20-minuterstest	15
4.2	Tre-timmarstest	15
4.3	Testning av specialfall	16
5	Diskussion	17
5.1	Val av konfigurationsinställningar	17

5.2	Resultatanalys	18
5.2.1	20-minuterstest	18
5.2.2	Tre-timmarstest	18
5.2.3	Specialfall	18
5.3	Pålitlighet	19
5.4	Ekonomisk bedömning	19
5.5	Utvecklingspotential	20
5.6	Etik	21
5.7	AI i arbetsprocessen	21
6	Slutsats	22
	Bibliografi	23
A	Bilagor	II
A.1	Djupare beskrivning av mjukvara	II
A.2	Konfigurationsfil	IV

Figurer

2.1	Chirp i form av sågtandsvåg, dess reflektion samt chirpparametrar B , T_c , f_{beat} och t_d	3
3.1	Blockdiagram över projektets arbetsprocess.	7
3.2	Projektets radarmodul med gruppantennen markerad med en gul ruta.	8
3.3	Flödesschema över programmets uppbyggnad.	10
3.4	Bilder på radaruppställningen under testning.	11

Tabeller

3.1	Parametrar som undersöks från koden	12
3.2	Genomförda tester för specialfall och dess förväntade utfall.	13
4.1	Förvirringsmatris över resultat från mätningar av tomt rum eller rum med en student.	15
4.2	Genomförda tester samt deras förväntade resultat. En bock innebär att det förväntade resultatet var givet och ett kryss innebär att resultatet avvek från det förväntade utfallet.	16

1

Introduktion

Närvaromätning används idag på många platser, där flera olika metoder tillämpas för att detektera närvaro [1]. Flera högskolor i Sverige har köpt in system för att mäta närvaro, som bland annat nyttjas i grupprum [2]. Intresset för just denna tillämpning har väckts på Chalmers tekniska högskola, men istället för att köpa in ett färdigt system undersöks möjligheten att utveckla ett eget system. Detta projekt har därför som mål att använda en radarmodul för att avgöra närvaron i grupprum på Chalmers tekniska högskola.

1.1 Bakgrund

Studier på universitet innebär en stor frihet, och därmed mycket eget ansvar [3]. Det är färre schemalagda lektioner än gymnasiet, vilket gör att en stor del av inläringen sker genom självstudier. Många studenter vänder sig till varandra för att studera tillsammans, både för obligatoriska moment såsom grupparbeten, men även på eget initiativ för att hjälpas åt inför inlämningar, förståelse av kursmaterial samt inläring till tentamen. Universitetens mindre studierum kallade grupprum blir därför en naturlig samlingsplats - något som idag följs av problematik.

En undersökning från 2024 på Chalmers tekniska högskola visar att en majoritet av studenterna upplever det svårt att hitta lediga grupprum [4]. Detta kräver att en förändring sker för att inte drabba studenternas lärande. På högskolan finns två typer av grupprum: bokningsbara och de som går efter principen "först till kvarn" [5]. I dagsläget finns det system tillgängliga för studenter som visar information om ett grupprum är bokat eller inte, men inte huruvida någon faktiskt är där [6]. Detta kan resultera i att grupprum står tomma trots att de betraktas som upptagna. Problemet med att studenter spenderar tid på att leta efter lediga grupprum hade lösts av ett närvaromätningssystem.

Idag finns flera system som används för just effektivisering av lokaler [7], [2]. Density använder sig av ett systemet byggt på radarsensorer som är utvecklat för kontorsmiljöer [7]. Nimway från Sony utnyttjar istället positionering av mobiltelefoner, som utöver kontor även har implementerats på flera lärosäten i Sverige [2]. Ett kandidatarbete som undersökte detta system fastslog att det inte var tillräckligt bra efter

testning på Chalmers tekniska högskola [8]. Studenter rapporterade dessutom att de kände sig obekväma med systemet ur ett integritetsperspektiv, då det använder data från privata mobiltelefoner. Ett annat kandidatarbete jämförde nio olika metoder för närvaromätning, däribland kamera, radar, LiDAR och IR-kamera, där radar visades vara en av de bättre alternativen när det kom till studenters bekvämlighetsnivå [4]. Detta i kombination med radarns låga kostnad och lättillgängliga teknik, gör den till ett attraktivt val för närvaromätningssystem [9].

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla ett system som kan identifiera närvaro med hjälp av en Frequency-Modulated Continuous Wave-radar (FMCW). Systemet ska konfigurera radarn, bearbeta insamlad data och på ett effektivt och tillförlitligt sätt avgöra om ett grupprum är upptaget.

1.3 Avgränsningar

Tydliga avgränsningar är nödvändiga för att uppnå projektets syfte inom den givna tidsramen och med de tillgängliga resurserna. Följande aspekter har därför valts bort från projektets omfattning:

- Antalet personer undersöks inte, vilket innebär att rummen anses antingen lediga eller upptagna. Denna avgränsning görs, då mätning av antalet personer hade krävt en mer omfattande hantering av mätdata.
- Mätningar begränsas till grupprum anpassat till maximalt åtta personer. Ett större rum hade ökat komplexiteten i dataanalysen på grund av reflektioner och ökad mätvolym.
- För att implementera närvaromätning i grupprum på Chalmers hade ytterligare en modul behövts, som både kan koppla upp till Wi-Fi och köra koden. Detta hade ökat projektets omfång och anses mindre viktigt än att färdigställa en prototyp. Av samma anledning genomförs ingen implementering i bokningssystemet TimeEdit.

2

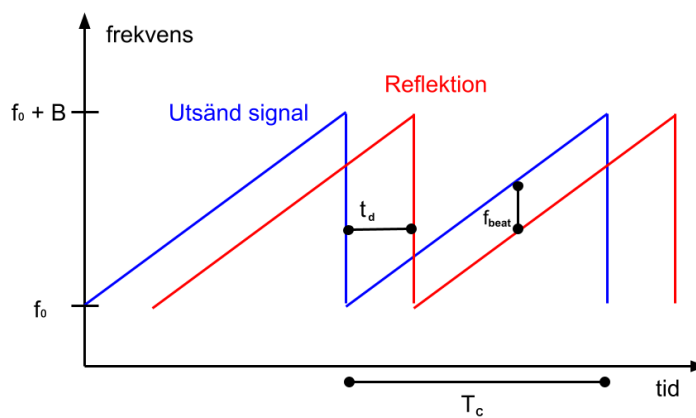
Teori

I följande kapitel presenteras teorin som ligger till grund för projektet. Fokuset ligger på den radarteknik och teori som är nödvändig för att förstå radarmodulen som används i projektet.

2.1 Radar och FMCW-radar

Radar, vilket står för Radio Detection And Ranging, är en teknik som används för att upptäcka objekt genom att sända ut radiovågor och analysera deras reflektioner [10]. När dessa vågor träffar ett objekt, reflekteras en del av energin tillbaka till radarn, där signalen kan tolkas för att bestämma parametrar som avstånd och rörelse. Det finns flera olika radartekniker, där den mest använda är pulsradar som skickar ut korta radiosignaler. I detta projekt används istället en FMCW-radar, som lämpar sig väl för närvarodetektion.

FMCW är en radarteknik som sänder ut en kontinuerlig signal vars frekvens sveps linjärt över tid i ett återkommande mönster [11]. Varje sådan frekvenssvepning kallas en chirp [12]. Projektets radarmodul skickar ut en signal i form av en sågtandsvåg [13], illustrerat i figur 2.1.



Figur 2.1: Chirp i form av sågtandsvåg, dess reflektion samt chirpparametrar B , T_c , f_{beat} och t_d .

Figuren visar en utsänd signal, reflektionen från ett objekt och parametrar: startfrekvens f_0 , bandbredd B , längd på chirp T_c , frekvensskillnad f_{beat} samt tidsförskjutning t_d mellan de två signalerna. Denna vågform gör det möjligt att inte bara bestämma ett objekts avstånd från sändaren, utan även avgöra dess hastighet [12]. Fördelen med denna typ av våg till skillnad från pulsradar, är att den utskickade signalens amplitud kan vara mycket lägre för att uppnå samma genomsnittliga effekt över tid [9]. FMCW-radarmoduler är också relativt billiga samt okomplicerade att tillverka, och används därför för att mäta avstånd och hastigheter i tillämpningar där dess relativt låga kostnad och enkla struktur är eftertraktad [14], [9].

2.2 Radarmätningar

Till följande avsnitt kan figur 2.1 användas som stöd för att visualisera ekvationer och samband.

Utseendet på radarns chirp spelar en viktig roll för noggrannheten och upplösningen i mätningar, och därmed krävs förståelse för hur vågen är uppbyggd. En chirp kan beskrivas i termer av signalens frekvens som funktion av tid [12]. För sågtandsmodulering fås en linjär funktion enligt

$$f_t(t) = f_0 + \frac{B}{T_c}t, \quad (2.1)$$

där T_c är längden av en chirp, f_0 startfrekvensen och B bandbredden [15]. Det sveps alltså över ett frekvensintervall mellan f_0 och $f_0 + B$ under en tid T_c . Reflekteras signalen på ett föremål, kommer denna reflektion ha samma form men med en viss tidsfördröjning t_d jämfört med den utskickade signalen.

2.2.1 Avståndsmätning

Tidsfördröjningen t_d mellan den utsända- och reflekterade signalen hänger ihop med avståndet till det träffade objektet, och beskriver tiden det tog för signalen att färdas till föremålet och sedan tillbaka till sändaren [16]. Signalen färdas med ljusets hastighet c vilket resulterar i ekvationen

$$r = c \cdot \frac{t_d}{2} \quad (2.2)$$

där r står för det radiella avståndet till objektet. Tiden divideras med två då signalen färdas både till och från målet. Med denna metod finns dock ett maximalt avstånd r_{max} som kan mätas på ett entydigt sätt (eng. *maximum unambiguous range*) [16]. Detta är på grund av samplingsfrekvensen f_s , som måste vara större eller lika med beatfrekvensen f_{beat} för att kunna ge en entydig mätning. Beatfrekvensen kan beräknas med

$$f_{beat} = t_d \cdot \frac{B}{T_c} = \frac{2r}{c} \cdot \frac{B}{T_c}. \quad (2.3)$$

Maximala avståndet sker då $f_s = f_{beat}$, vilket utifrån ekvation 2.3 ger

$$r_{max} = f_s \cdot \frac{c}{2} \cdot \frac{T_c}{B}. \quad (2.4)$$

En hög r_{max} uppnås alltså genom att öka samplingsfrekvensen f_s eller chirplängden T_c , alternativt sänka bandbredden B .

En annan viktig parameter är avståndsupplösning δ_r (eng. *range resolution*), vilket är det minsta avstånd mellan två objekt som radarn kan särskilja [16]. Ekvationen för denna är

$$\delta_r = \frac{c}{2B}, \quad (2.5)$$

En låg δ_r är önskvärt, och därmed behövs en hög bandbredd B .

2.2.2 Hastighetsmätning

Med en FMCW-radar är det möjligt att avgöra den radiella hastigheten av ett mål, vilket är hastigheten i riktning mot radarn [16]. Detta görs genom att mäta fasskiftet mellan successiva chirps. Mätningar över flera chirps i rad visar hur fasen förändras. Genom detta kan hastigheten v beräknas enligt

$$v = \frac{\Delta\Phi\lambda}{4\pi T_c}, \quad (2.6)$$

där λ är våglängden som motsvarar en chirps centrala frekvens och $\Delta\Phi$ är den uppmätta fasskillnaden [17].

Eftersom hastigheten beräknas genom sampling av mottagarsignalen, krävs en tillräckligt hög samplingsfrekvens för att fasskiftet ska mätas korrekt, det finns därmed en övre gräns för den hastighet som kan detekteras [16]. Denna har sin grund i Nyquists samplingsteorem och resulterar i den maximala hastigheten (eng. *maximum unambiguous velocity*)

$$v_{max} = \frac{\lambda}{4T_c}. \quad (2.7)$$

Som ekvationen visar är den maximala hastigheten omvänt proportionell mot chirpens längd T_c , en högre v_{max} innebär därmed lägre r_{max} . En längre våglängd, och därmed lägre frekvens ger också en högre v_{max} .

För att urskilja två separata rörelser som har minimal hastighetsskillnad krävs en bra hastighetsupplösningen δ_v (eng. *velocity resolution*) [16]. Denna beräknas enligt

$$\delta_v = \frac{\lambda}{2N_{chirps}T_c}, \quad (2.8)$$

där N_{chirps} är antalet pulser som används till mätningen. För att uppnå hög hastighetsupplösning, det vill säga en liten δ_v , krävs en hög signalfrekvens $\frac{1}{\lambda}$, långa chirps T_c och många pulser per mätning N_{chirp} . Konsekvensen av hög frekvens och lång T_c är lägre maximal hastighet, och fler pulser per mätning resulterar i långsammare uppdateringshastighet.

2.3 Gruppantennor

I projektet kommer en radarmodul med en gruppantenn användas. Till skillnad från en enskild antenn, består gruppantennor av flera enheter som samarbetar för att rikta radarstrålen samt öka signalstyrkan [10]. Det finns olika tekniker när det kommer till antalet sändare och mottagare i en gruppantenn. Single Input, Multiple Output (SIMO), har en sändare och flera mottagare [18]. Med minst en sändare och två mottagare kan vinkeln till ett objekt avgöras. Fler mottagare förbättrar vinkelupplösningen, vilket innebär att radarn kan urskilja mindre vinkelskillnader mellan objekt. Detta innebär att radarn lättare kan bestämma varifrån en reflekterad signal kommer och därmed var i rummet ett mål befinner sig. Ett mer kostnadseffektivt sätt att öka vinkelupplösningen är istället tekniken Multiple Input, Multiple Output (MIMO), som även har flera sändare. Genom att öka antalet sändare istället för mottagare går det att uppnå samma vinkelupplösning med färre enheter totalt.

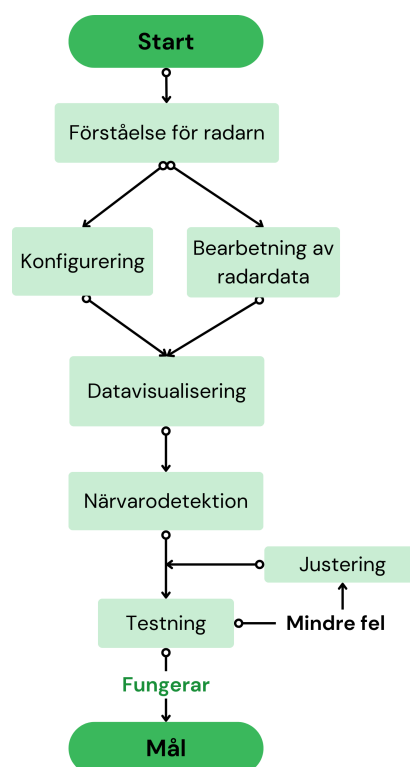
2.4 Hantering av brus

Radarmätningar resulterar i data som delvis består av brus, vilket är oönskade bakgrundssignaler som kan dölja signaler från detekterade mål [19]. För att kunna särskilja relevant data från bruset används en snabb fouriertransform, FFT, (eng. *Fast Fourier Transform*). En FFT visar signaler i frekvensdomänen och görs i detta fallet på beat-frekvensen f_b . Detekterade mål resulterar i amplitudtoppar, medan brusets amplitudnivå, kallat brusgolv, är jämnare över alla frekvenser. Gränsen för brusgolvet beräknas kontinuerligt genom en algoritm kallad Constant False Alarm Rate (CFAR), som bygger på medelvärdet av amplituden i omgivande datapunkter [20]. En skalningsfaktor läggs sedan till och allt som överstiger den resulterande detektionströskeln räknas som detekterade mål. På så sätt kan amplitudtopparna detekteras, och bruset filtreras bort. Det finns en risk att amplitudtoppar från mål med för svag reflektion är belägna under gränsen, och därmed filtreras bort, vilket kan begränsa detektionen av svaga mål.

3

Metod

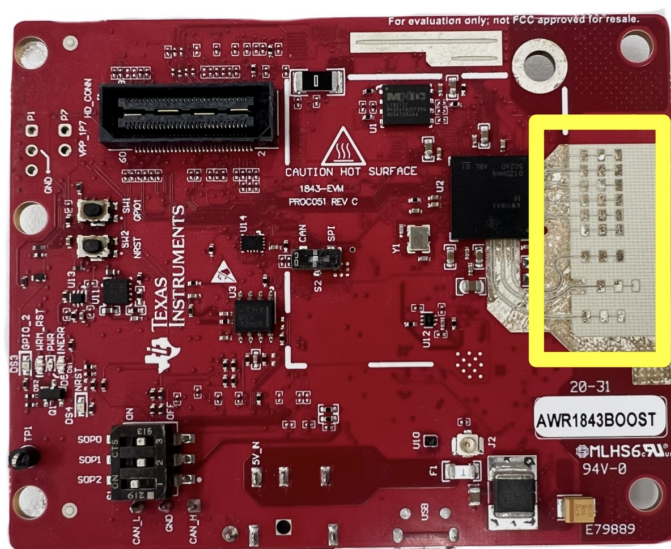
Detta kapitel beskriver projektets arbetsprocess, vilken även illustreras i figur 3.1 till höger. Till att börja med behövdes förståelse för hur radarn fungerade, vilket införskaffades genom att testa radarn med Texas Instruments (TI) visualiseringsprogram *mmWave Demo Visualizer* [21], samt genom forskning. Därefter skrevs ett program för styrning av konfigurationsparametrarna samt extrahering och bearbetning av data från radarn utan att gå via TI:s visualiseringsverktyg. Detta gjorde det möjligt att i realtid ta emot data, och samtidigt visualisera denna i olika former av grafer. Vidare utvecklades programmet för den slutgiltiga närvarodetekteringen, med filtrering och mekanismer för att förebygga eventuella feldetektioner. Slutligen utfördes olika tester för att undersöka om närvarodetektionen fungerade som förväntat, eller om det krävdes korrigeringar i programmet, vilka genomfördes löpande tills en lösning uppnåddes.



Figur 3.1: Blockdiagram över projektets arbetsprocess.

3.1 Projektets radarmodul

I projektet användes radarmodulen *AWR1843BOOST* från TI, en MIMO-radar som arbetar i frekvensbandet 76-81 GHz och är utrustad med tre sändare samt fyra mottagare. I figur 3.2 visas radarmodulen med dess gruppantenn markerad i den gula rutan.



Figur 3.2: Projektets radarmodul med gruppantennen markerad med en gul ruta.

3.2 Konfiguration av radarmodul

En anpassad konfiguration av radarn krävdes för att dess närvaromätningar skulle bli noggranna. Konfigurationen styr hur radarn sänder, tolkar och bearbetar data genom olika inställningar. I detta avsnitt beskrivs både hur kommunikationen mellan dator och radar såg ut, samt den konfigurationen som användes.

3.2.1 Kommunikation mellan dator och radar

Konfigurationen bestod av kommandon skrivna i Command Line Interface (CLI), vilka instruerar radarn om hur den ska operera. Med hjälp av teckenkodningen UTF-8 konverterades kommandona i konfigurationsfilen till bitform och skickades till radarn via en Universal Asynchronous Receiver/Transmitter-port (UART). Detta gjordes med en viss baud rate, vilket är antalet symboler per sekund som hanteras (Bd/s). För en UART-port behöver sändare och mottagare ha samma baud rate, annars kan data misstolkas. Därför behövde programmet konstrueras så att datorn skickade data med samma baud rate som radarmodulens användarport, och även tog emot data med samma baud rate som dataporten. Användarporten för projektets radarmodul hade en avsevärt lägre baud rate jämfört med dataporten, nämligen

115 200 Bd/s respektive 921 600 Bd/s. Detta beror på att användarporten används för att skicka instruktioner, där kvalitet och stabilitet är viktiga, medan dataporten skickar ut stora mängder rådata och därför kräver en högre baud rate för att kunna hanteras i realtid [22].

3.2.2 Konfiguration för närvaromätning

Konfigurationsfilen som användes genererades av TI:s visualiseringsprogram [21], där förinställningen *best velocity resolution* valdes. Denna justerades för att förbättra precisionen på närvaromätningarna och för att anpassa radarn till de specifika behoven för projektet. Den slutgiltiga konfigurationsfilen finns i bilaga A.2. Det som justerades var CFAR-inställningar och mottagaramplifikationen. Mottagaramplifikationen höjdes till maxvärdet, eftersom detta ökar systemets känslighet, det vill säga förmågan att detektera svaga reflektioner. I CFAR-inställningarna ändrades skalningsfaktorn på detektionströskeln, med målet att antalet detekterade mål i en radarmätning ska motsvara antalet mål som finns i verkligheten. Den nivå som ansågs bra var 7 dB.

Utöver dessa ändringar infördes en kompensation för radarbias, där radarbias är små skillnader från förväntade mätvärden som kan uppstå på grund av variationer mellan radarmoduler. Genom att göra mätningar på ett starkt reflekterande objekt på ett känt avstånd från radarn, kunde en justeringsterm tas fram med hjälp av visualiseringsprogrammet. Denna term lades sedan till i konfigurationsfilen för att motverka biasen.

3.3 Radardata

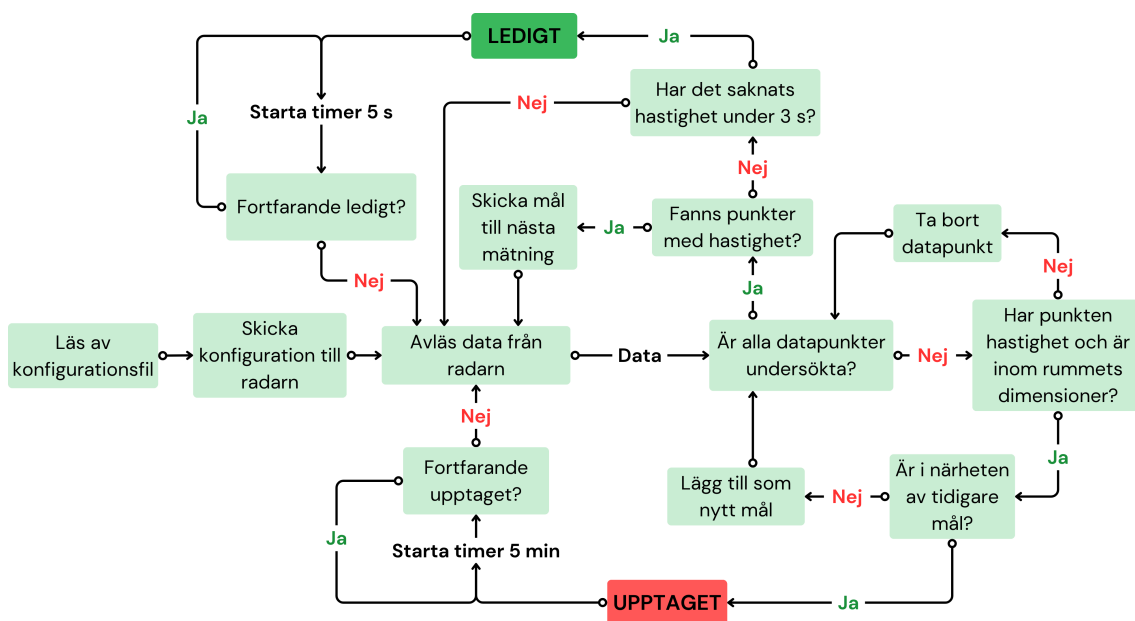
Den data som radarmodulen exporterade var i binärt format, vilket innebar att den behövde behandlas innan användning. Datan omvandlades till en ordnad struktur, i detta fall till formen Type-Length-Value (TLV), för att göra datahanteringen enklare och mer effektiv. TLV står för typ av data, dess längd och sist själva mätdatan. Genom att läsa av typdeklarationen i början av ett TLV-paket, kunde överflödiga data filtreras bort. De datapunkter som klassificerades som "upptäckta" innehöll 3D-koordinater och hastighet.

3.4 Program

Hanteringen av radarkonfiguration och data kunde göras genom ett MATLAB demo-program skrivet av TI. Eftersom implementationen genomfördes i Python, krävdes en översättning till detta programmeringsspråk. En sådan översättning hittades på

GitHub och var baserad på demoprogrammet från TI [23]. Programmet kunde delas upp i två huvudsakliga delar, konfigurering och datahantering. Konfigureringen skedde genom att en konfigurationsfil skickades till radarn. Filen förbehandlades genom att all text som inte utgjorde kommandon, exempelvis inledande kommentarer, togs bort innan den skickades till radarn. Radarn utförde sedan mätningar enligt konfigurationsfilen och skickade tillbaka data specificerat till “upptäckta punkter”.

För att analysera denna data skrevs ett program som avgjorde om rummet som mätningarna gjordes i stod ledigt eller upptaget. En överblick av detta program tillsammans med de två första stegen beskrivna ovan, visualiseras i form av ett blockdiagram i figur 3.3 och beskrivs i nästkommande stycke.



Figur 3.3: Flödesschema över programmets uppbyggnad.

Vid varje mätning loopar programmet igenom alla detekterade punkter och kontrollerar om de hade en hastighet samt var belägna inom rummets dimensioner. Uppfylldes inte dessa krav var det antingen ett objekt som stod stilla eller stod utanför rummet och dessa filtrerades bort. De punkter som uppfyllde kriterierna klassades som “mål”, och en funktion undersökte sedan om dessa var belägna inom en viss radie från ett tidigare mål, om inte lades de till som ett nytt mål. Hade en punkt med rörelse däremot befunnit sig inom samma radie två gånger inom en sekund ansågs det som upptaget. Var det istället helt fritt från rörelse under tre sekunder ansågs rummet vara ledigt.

För att undvika att programmet växlade fram och tillbaka mellan ledigt och upptaget infördes en tidsfördröjning, under vilken programmet inte kunde byta klassificeringen från ledigt till upptaget eller tvärt om. När rummet hade klassificerats som

ledigt väntade programmet i fem sekunder, och när det klassificerades som upptaget väntade det i fem minuter. Mätningarna fortsatte dock under tidsperioden, och om den detekterade ett ledigt respektive upptaget tillstånd startades väntetiden om. Dessa tidsgränser valdes utifrån testning som beskrivs vidare i avsnitt 3.5.2.

Med en frekvens på tio mätningar per sekund detekterade radarn nya punkter för analys, och programmet fortsatte tills det stängdes av manuellt. En djupare beskrivning av programmets struktur samt hur den används hittas i bilaga A.1.

3.5 Testmetodik

För att genomföra projektet krävdes tester i olika skeden av arbetet, vilket innefattade tester för att finjustera kodparametrarna samt tester för att verifiera programmets funktion och identifiera potentiella brister.

3.5.1 Testuppställning

För att få likvärdiga resultat användes liknande testuppställningar i samtliga tester. Detta innebär att radarmodulen placerades i en bit papper med ett utskuret hål för att inte blockera antennerna. Modulen tejpades sedan fast på ett ventilationsrör i taket, med antennerna riktade rakt nedåt. Denna uppställning kan ses i figur 3.4, där figur 3.4a visar en närbild av radarmodulen.



(a) Närbild av radarmodulen. (b) Hela radaruppställningen.

Figur 3.4: Bilder på radaruppställningen under testning.

3.5.2 Optimering av testparametrar

Den kod som användes för att avgöra om rummet är upptaget eller inte innehöll ett antal parametrar. Vissa av dessa parametrar behövde testas experimentellt för att fastställa de mest optimala värdena för projektets syfte.

Tabell 3.1 visar en översikt över alla parametrar som behövde testas för att kunna hitta de optimala värdena. Den första parametern `wait_occ` bestämde hur lång tid programmet skulle vänta innan det kördes igen efter att rummet hade klassificerats som upptaget. På motsvarande sätt avgjorde parametern `wait_free` hur lång tid programmet väntade innan det började söka efter nya datapunkter igen.

Värdet på dessa utvärderades genom att analysera när radarn detekterade närvaro. För `wait_occ` söktes en period som var större än den maximala tiden mellan att programmet detekterade närvaro. Samtidigt skulle tiden hållas kort nog för att programmet skulle kunna klassificeras som realtidsuppdaterat. Perioden för `wait_free` skulle istället väljas till ett värde som inte tillät en felaktig datapunkt med rörelse att orsaka närvaro. Samtidigt skulle en student som satte sig i rummet få systemet att uppdateras från ledigt till upptaget.

Tabell 3.1: Parametrar som undersöks från koden

<code>wait_occ</code>
<code>wait_free</code>
<code>x_min</code>
<code>x_max</code>
<code>y_min</code>
<code>y_max</code>
<code>z_min</code>
<code>z_max</code>

Parametrarna `x_min`, `x_max`, `y_min`, `y_max`, `z_min` och `z_max` baserades på dimensionerna av rummet radarn var placerad i. Dessa ställdes in genom att mäta avståndet radarn behövde mäta i alla led. `y_min` var på baksidan av radarn riktad upp mot taket, och var därför alltid noll. Anledningen till att rummets dimensioner sparades var för att filtrera bort punkter som detekterades utanför rummet.

3.5.3 Verifikationstester

För att verifiera radarsystemets funktionalitet genomfördes tre olika tester. Radarn monterades under dessa tester i taket, mitt i rummet, och var kopplad till en datorn nedanför. För att smidigt och effektivt kunna genomföra testerna styrdes den anslutna datorn på distans utanför rummet.

Det första testet undersökte systemets förmåga att avgöra ifall rummet var upptaget eller inte under 20 minuters intervall. Dessa tester genomfördes fem gånger då rummet stod tomt och fem gånger med en person i rummet. För att testa att programmet gav korrekta resultat för då rummet var ledigt startades det medan rummet var tomt, och därefter pågick mätningen i 20 minuter. Testerna med en person genomfördes genom att programmet startades innan personen gick in i rummet och

tidtagningen på 20 minuter startades först när programmet detekterat upptaget. Efter det satt studenten i rummet under 20 minuter och gick sedan ut, mätningen avslutades fem minuter efter att testpersonen kommit ut för att se till att systemet då skulle detektera rummet som ledigt.

Det andra testet undersökte radarns förmåga att mäta under en längre tidsperiod, tre timmar. Målet med detta test var att identifiera problem som kunde uppstå när programmet användes under längre perioder, där situationen skulle efterlikna hur ett grupprum används i verkligheten. Mätningen startades innan studenterna gick in i rummet och tiden på tre timmar mättes först efter att studenterna varit i rummet i fem sekunder och rummet klassificerades som upptaget. Under testet befann sig fyra studenter i ett grupprum under 1,5 timmars tid, sedan var det två studenter i ytterligare 1,5 timmar. Efter totalt tre timmar lämnades rummet i sex minuter för att kontrollera om programmet övergick till ledigt läge.

Slutligen testades tio utvalda specialfall presenterade i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Genomförda tester för specialfall och dess förväntade utfall.

Scenario	Förväntat utfall
Rummet är tomt, någon går längst fönstret	Ledigt
Person går in i rummet i 2 sekunder, går ut igen	Ledigt
Person står i dörröppningen till ett tomt rum	Ledigt
Rummet är tomt, lampan är av	Ledigt
Rummet är tomt, lampan är på	Ledigt
Person går in och sätter sig (10 minuter)	Upptaget
Personer anstränger sig för att sitta stilla	Upptaget
Person står i ett hörn	Upptaget
Person går in och lämnar ett objekt i ett tomt rum och går sedan ut	Ledigt; 5 sekunder efter personen gått in blir det Upptaget; 5 minuter efter personen gått ut blir det Ledigt
Personen sitter först i rummet, går ut i 5 minuter och går sedan tillbaka in	Upptaget; 5 minuter efter personen gått ut blir det Ledigt; 5 sekunder efter personen gått in blir det Upptaget

För att minska risken för partiskhet i testresultaten valdes både oinsatta och insatta personer till att genomföra dessa tester. Varje fall testades tre gånger av tre olika

3. Metod

testpersoner och kördes i fem minuter för att säkerställa att systemet inte bytte till det andra tillståndet under testet. Personerna utanför projektet informerades att de skulle arbeta som vanligt i ett grupprum som hade utrustats med radarn. Skärmen som visade om rummet var ledigt eller upptaget var inte synlig för testpersonerna för att inte påverka deras beteende, utan övervakades i stället utanför rummet av en testansvarig. De specialfall som valdes baserades på vad som ansågs vara typiska studentvanor och skulle kunna medföra problem för programmet.

4

Resultat

Detta kapitel beskriver resultaten från de tre typer av sluttester som genomfördes: 20 minuter, tre timmar samt specialfall.

4.1 20-minuterstest

Fem tester, 20 minuter vardera, genomfördes både när rummet stod tomt samt då det var upptaget av en student. Resultatet presenteras i tabell 4.1

Tabell 4.1: Förvirringsmatris över resultat från mätningar av tomt rum eller rum med en student.

		Förväntat resultat	
		Ledigt	Upptaget
Resultat	Ledigt	5	0
	Upptaget	0	5

I dessa tester uppvisade programmet en 100 % förmåga att identifiera både när grupprummet var ledigt och upptaget. Fem minuter efter att testpersonen lämnat rummet klassificerade systemet rummet som ledigt.

4.2 Tre-timmarstest

Det genomfördes också ett längre test på tre timmar, i två olika scenarier, när rummet var tomt samt när det var upptaget. När rummet stod tomt klassificerade systemet det som ledigt under hela testet. Under testet med flera studenter i rummet visade programmet att rummet var upptaget under hela tidsperioden. När studenterna lämnade rummet tog det fem minuter för rummet att klassificeras som ledigt, vilket stämmer överens med vad programmet är menat att göra. Efter avslutade mätningar var radarn märkbart varm vid nedmontering.

4.3 Testning av specialfall

Tio specialfall valdes ut och tester för varje specialfall utfördes för tre testpersoner. Resultatet av testerna visas i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Genomförda tester samt deras förväntade resultat. En bock innebär att det förväntade resultatet var givet och ett kryss innebär att resultatet avvek från det förväntade utfallet.

Genomförd rörelse	Förväntat utfall	Tester		
		1	2	3
Rummet är tomt, någon går längst fönstret	Ledigt	✓	✓	✓
Person går in i rummet i 2 sekunder, går ut igen	Ledigt	✓	✓	✓
Person står i dörröppningen till ett tomt rum	Ledigt	✓	✓	✓
Rummet är tomt, lampan är av	Ledigt	✓	✓	✓
Rummet är tomt, lampan är på	Ledigt	✓	✓	✓
Person går in och sätter sig (10 minuter)	Upptaget	✓	✓	✓
Personer anstränger sig för att sitta stilla	Upptaget	✓	✗	✗
Person står i ett hörn	Upptaget	✓	✓	✓
Person går in, lämnar ett objekt i ett tomt rum och går sedan ut	Ledigt; 5 sekunder efter personen gått in blir det Upptaget; 5 minuter efter personen gått ut blir det Ledigt	✓	✓	✓
Personen sitter först i rummet, ut i 5 minuter och går sedan tillbaka in	Upptaget; 5 minuter efter personen gått ut blir det Ledigt; 5 sekunder efter personen går in blir det Upptaget	✓	✓	✓

Resultaten från dessa test visar korrekt identifierat status för 28 av 30 tester. Vid de avvikande testerna där testpersonen skulle sitta väldigt still ansåg programmet att rummet var ledigt direkt efter `wait_occ` tiden passerat.

5

Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten från de genomförda mätningarna samt hur framtida arbeten skulle kunna använda sig av detta arbetet för att skapa ett fullt integrerbart system för närvaromätning. Vidare diskuteras även etiska aspekter kring ett radarbaserat system för närvaromätning samt hur AI verktyg har använts under arbetets gång.

5.1 Val av konfigurationsinställningar

Den hämtade konfigurationen “best velocity resolution” valdes eftersom det är viktigt att identifiera små rörelser vid närvaromätning. Denna konfigurationen bidrog till en försämrade avståndsupplösning, vilket gör det svårare att särskilja mätpunkter. Eftersom målet inte var att särskilja personer, utan att mäta närvaro ansågs detta obetydligt. Räckvidden begränsades till cirka elva meter vilket inte heller ansågs som ett problem då detta omfång passade grupprummen som testades. Mottagarförstärkningen ökades också för att hjälpa radarn upptäcka svaga signaler. Anledningen till detta var att förbättra radarns förmåga att detektera rörelser vars reflekterade signaler var svaga. I samband med mottagarförstärkningen sänktes också skalningsfaktorn för detektionströskeln, vilket resulterade i ökad känslighet men också större risk för att detektera bakgrundsbrus som mål. Tröskelvärdet justerades därmed för att försöka få maximalt antal relevanta mätpunkter samtidigt som uppmätt brus skulle hållas minimal.

För att garantera att radarn fungerade korrekt gjordes en mätning för att bestämma bias. En sådan mätning görs mot ett starkt reflekterande objekt, i detta fallet valdes en tvåsidig hörnreflektor gjord av aluminium.

5.2 Resultatanalys

Resultaten från testerna indikerar att systemet är mycket väl fungerande. Detta kan ses från att systemet klassificerar närvaron korrekt i en majoritet av fallen. Tre typer av tester genomfördes: 20-minuterstest, tre-timmarstest samt specialfallstester. Nedan diskuteras resultaten från dessa tre.

5.2.1 20-minuterstest

Tabell 4.1 visar resultatet från dessa tester, där systemet lyckats klassificera ett tomt grupprum som ledigt under fem testomgångar som var 20 minuter vardera. Detta visar på att systemet är robust nog att inte plocka upp eventuellt brus som närvaro. I förvirringsmatrisen går det också att utläsa att systemet klassificerat närvaro lika väl. Detta innebär att systemet inte har någon bias mot någon av klassificeringarna vilket är viktigt att undvika vid en implementation av systemet.

5.2.2 Tre-timmarstest

För att säkerställa att systemet beter sig som förväntat även under en längre tidsperiod genomfördes ett tre-timmarstest. Syftet var att kontrollera om en längre mätning skulle leda till ett mindre pålitligt resultat, till exempel genom att systemet fastnar i läget upptaget. Under testet simulerades en verklig grupprumssituation där mellan två och fyra studenter studerade under tre timmar. När de sedan lämnade grupprummet väntade systemet fem minuter enligt dess programmering och klassificerade sedan rummet som ledigt. Det uppstod inte heller någon ny problematik under den tre timmar långa mätningen i ett tomt rum. En sak som däremot är noterbart är att radarmodulen var märkbart varm efter testet, vilket väcker intresse för att genomföra värmetester vid kontinuerlig användning.

Detta resultat tyder på att systemet klarar av att ge korrekta resultat även under längre perioder. Eftersom det inte genomfördes några tester under en hel dag, går det däremot inte att utesluta risken för att radarn överhettas vid längre användning. För att minimera denna risk skulle ett nedkylningssystem kunna konstrueras vid verklig användning av radarmodulen. Exempel på detta kan vara någon typ av kylfläns.

5.2.3 Specialfall

Resultaten från testerna av specialfallen presenterades i tabell 4.2. Ur denna kan det utläsas att programmet gjorde en felaktig klassificering i två av de tre fall där testpersonen ansträngde sig för att sitta stilla. Ett sådant rörelsemönster är dock inte vanligt för en vaken person, men de kan spegla hur systemet skulle reagera på en person som sover i ett grupprum. Detta är dock inte syftet för grupprum, och

eftersom att det sällan sker påverkar det inte systemets pålitlighet.

När parametrarna som baseras på rummets dimension, beskrivna i avsnitt 3.5.2, är korrekt inställda detekteras ingenting utanför den volymen. Detta gör det omöjligt att få falska utslag av personer som passerar utanför rummet. Om dessa parametrar ställs in till felaktiga värden kan personer som befinner sig utanför rummet detekteras, eftersom radarvågorna i teorin kan mäta rörelser genom material i tjocklek med väggar.

Vidare visar tabell 4.2 att ljussättningen i rummet inte påverkade radarns förmåga att detektera ifall rummet var tomt. Detta är enligt förväntan då radar baserar sina mätningar på signaler som den själv skickar ut och inte mängden ljus i området. Det går också att utläsa att systemet klarar att byta från ledigt till upptaget när en person kommer in i rummet samt att systemet byter från upptaget till ledigt när det har varit tomt i fem minuter.

5.3 Pålitlighet

En viktig fråga när det gäller systemets mätningar är hur pålitligt det är. Det går inte att göra ett system som fungerar helt felritt, och detta är inget undantag. Det finns två sorters fel detta system kan ha, falska positiva, och falska negativa. Det vill säga att systemet antingen mäter närvaro trots att rummet är ledigt, eller frånvaro trots att rummet är upptaget. Dessa fel kan uppstå på olika sätt, exempelvis kan falska positiva uppstå av att radarn upptäcker rörelser när det inte finns några, eller så kan falska negativa uppstå om en person läser på en dator och sitter så stilla att ingen rörelse detekteras. Denna sortens fel motverkas av ändringar i inställningarna som diskuterades i avsnitt 3.2.2, och tillför inte en större problematik.

Sannolikheten att systemets mätning är korrekt behöver utvärderas genom storskaliga tester, över längre perioder och med större variation av personer innan andra sorters fel med säkerhet kan upptäckas. En sådan större undersökning hade också kunnat avslöja både hur vanliga samt problematiska felen är, och på så vis dra slutsatser kring om de behöver hanteras.

5.4 Ekonomisk bedömning

En viktig aspekt inom utvärdering av tekniska system är kostnaden i jämförelse med funktionen. För radar generellt och även detta projekt innebär det en startkostnad som är relativt hög då bara radarmodulen kostar drygt 3000 kr [24]. En annan viktig aspekt gällande kostnaden är huruvida lösningen är applicerbar. För grupper som inte är bokningsbara är det utvecklade systemet väldigt bra då det går att se

ledigheten. Många grupprum är dock bokningsbara, och här är närvaromätningen bara användbar om personer inte hedrar sin bokning, eftersom det går att se vilka tider ett rum är bokat.

5.5 Utvecklingspotential

Detta projekt resulterade i en grundläggande prototyp för närvaromätning med radar, inklusive mjukvara för datainsamling och detektion. För att implementera denna prototyp i praktiken krävs vidare utveckling, särskilt gällande en hårdvarulösning som gör systemet självgående. I nuläget kräver radarmodulen en dator som kör koden och behandlar data via en fysisk koppling, detta är både opraktiskt och dyrt för en större skala. En vidareutveckling hade varit att implementera en lokal lösning för exekvering av kod som exempelvis en mikrocontroller. Ett relaterat område är behovet av trådlös kommunikation med ett centralt system som samlar och presenterar data. Trådlös datakommunikation och gränssnittsdesign har inte behandlats då det låg utanför projektets fokus. Ytterligare en utvecklingspunkt är mätningen av antalet personer i ett rum. Denna data är intressant för lokalansvariga på Chalmers att veta, då det visar vilken sorts grupprum är mest eftertraktade och till vilken grad grupprum över- eller underfylls. Ytterligare kunskap gällande konfigurering av radarmodulen hade behövts för att vidare implementera detta.

För att implementera systemet med Chalmers tekniska högskolas redan existerande infrastruktur hade ytterligare en aspekt behövas ha i åtanke, nämligen hur bokningssystemet ska samspela med närvaromätningar. Om ett grupprum är bokat, men ingen är närvarande, ska bokningen ligga kvar? I nuläget kan den som bokar ett grupprum på Chalmers anlända till rummet som senast 30 minuter efter bokningens början för att få behålla det, annars är det först till kvarn för att ta över bokningen. För att undvika att en bokning försvinner på grund av en falsk positiv mätning bör inte närvaromätningen användas för att automatiskt uppdatera bokningar. Däremot samspelar närvaromätningen ändå bra med de bokningsregler som finns nu, då den kan användas för att veta vilka bokade grupprum sannolikt är tomma, så att studenten själv kan kolla.

Innan systemet implementeras hade en större undersökning behövt göras, då projektets tester varit begränsade. Detta hade kunnat hitta eventuella fel och visa om systemet faktiskt uppnår den önskade förbättringen i praktiken. Projektets arbete är avgränsat till Chalmers tekniska högskola, vilket innebär att möjligheten att implementera detta på andra lärosäten inte undersöktes. Det är rimligt att anta att liknande problematik förekommer, och att dessa potentiellt hade kunnat gynnas av ett liknande system. En utvecklingspotential hade därmed varit att ta kontakt med andra lärosäten för att undersöka möjligheten att implementera ett liknande system.

5.6 Etik

Under projektets gång har de etiska aspekterna av arbetet spelat en roll i de val som gjorts, och det har hållits i åtanke vid flera beslut, bland annat vid valet av inställningar. Om systemet registrerar avslutad närvaro direkt när en person lämnar rummet, skulle detta kunna användas för att förfölja en person. För att använda systemet till detta hade förföljaren behövt se dem gå in i ett grupprum och sedan gå in på närvarosystemet för att övervaka grupprummet. Eftersom en förföljare måste befinna sig på plats för att kunna utnyttja systemet för stalkning, och eftersom systemet dessutom dröjer något innan det byter rumsklassificering, bedöms systemet inte öka risken jämfört med dagens situation.

En annan etisk frågeställning är vem som får tillgång till själva närvaroinformationen. Medans denna information är givande för studenter för att hitta lediga rum, kan den också användas av någon med illasinnade avsikter för att identifiera var i en skola många befinner sig. Vid en eventuell implementation av detta system bör denna information begränsas till personer med ett inlogg till grupprummens bokningssystem, då detta begränsar vilka som kan få denna information till studenterna på skolan.

I dagsläget finns information om vilka salar är upptagna för föreläsningar och övningar tillgängligt via schemavisningssystem. Det tenderar att vara fler personer närvarande vid en föreläsning än i ett grupprum, vilket innebär att en förövare sannolikt skulle välja en föreläsningssal för ett attentat, om målet är att skada så många som möjligt. Att studenter på tillhörande universitet kan se vilka grupprum som är upptagna anses därför inte utsätta dem för större risk än den information som idag finns tillgänglig via bokningssystemet. Däremot skulle systemet kunna användas i positivt syfte ifall en byggnad skulle behöva evakueras. I dessa fall kan systemet användas för att se ifall någon fortfarande befinner sig i ett grupprum. I detta avseende blir det dock problematiskt att det finns en fördröjning mellan att rummet blir ledigt och att systemet klassificerar det som sådant. Under den tid rummet felaktigt ser ut att vara upptaget kan personen ha hunnit evakuera, vilket riskerar att evakueringsinsatser skickas dit i onödan.

5.7 AI i arbetsprocessen

AI-verktyg har använts för att effektivisera arbetsprocessen. Användningen begränsades till att översätta kod mellan olika programmeringsspråk, generera korta kodsekvenser, felsöka kod samt korrekturläsa texten. Ett AI-verktyg har använts för att hitta källor med information, detta var Scopus AI. Ingen information eller fakta i rapporten är direkt tagen från ett AI-verktyg, eftersom denna information inte alltid är pålitlig.

6

Slutsats

Syftet med detta projektet var att utveckla ett system som identifierar närvaro i ett grupprum med hjälp av en FMCW-radar. Fokus låg på att skapa ett program i Python för att konfigurera en radar modul, bearbeta insamlad data och på ett effektivt och tillförlitligt sätt avgöra närvaro. Radarmodulen som användes var Texas Instruments *AWR1843BOOST*.

Projektet resulterade i ett fungerande program som klarade av att med radarmätningar identifiera närvaro med hög precision. För ett fullt fungerande och smidigt system återstår fortfarande utveckling inom trådlöshet och lokal körning av programvara. Denna utvecklingen är nödvändig eftersom den nuvarande prototypen kräver fysisk anslutning till en dator. Vidare arbete bör fokusera på en självständig implementering samt att utvärdera funktionaliteten i en verklig miljö. Sammanfattningsvis visar resultaten att närvaro i grupprum kan identifieras med hög träffsäkerhet, vilket visar på att FMCW-radar är väl lämpat till närvarodetektion.

Litteratur

- [1] J. Weib, R. Perez och E. Biebl, "Improved People Counting Algorithm for Indoor Environments using 60 GHz FMCW Radar," *IEEE National Radar Conference - Proceedings*, årg. 2020-September, sept. 2020. DOI: [10.1109/RADARCONF2043947.2020.9266607](https://doi.org/10.1109/RADARCONF2043947.2020.9266607).
- [2] A. Trana, *Future by Lund | Projekt | LOSC/FLOW, delprojekt: Sonys smarta kontorssystem blir till living lab på IKDC*, 2025. URL: <https://www.futurebylund.se/projekt/sonys-smarta-kontorssystem-blir-till-living-lab-pa-ikdc>.
- [3] Skolverket AB, *Om universitet och högskola - Utbildningsguiden*. URL: <https://utbildningsguiden.skolverket.se/utbildning-for-vuxna/om-utbildningar-for-vuxna/om-universitet-och-hogskola>.
- [4] G. Asplund, E. Dahlström, O. Eriksson, L. Hakeskog, I. Nordin och H. Olsson, "Effektiv närvarodetektering och närvaroräkning för optimerad lokalanvändning," Svenska, diss., Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige, 2024.
- [5] Chalmers tekniska högskola AB, *Boka lokaler, gemensamma ytor och grupprum*, april 2025. URL: <https://www.chalmers.se/utbildning/dina-studier/planera-och-genomfora-studier/boka-lokaler-och-grupprum/>.
- [6] Timeedit AB, *Chalmers*, 2025. URL: <https://cloud.timeedit.net/chalmers/web/b1/>.
- [7] Density, *Occupancy sensors that just work, beautifully - Density*, 2024. URL: <https://www.density.io/?ref=joshhorne.com>.
- [8] A. B. Nylén, J. Färenmark, J. Sandberg, A. Svedberg, H. Thörn och A. Wickman, "A Comparative Study of People Counting Technologies Evaluating the Applicability and Effectiveness of Systems in Different Facilities," English, diss., Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, maj 2023. URL: <https://chalmers.instructure.com/courses/22323/files/2764447?wrap=1>.
- [9] A. Meta, P. Hoogeboom och L. P. Ligthart, "Signal processing for FMCW SAR," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, årg. 45, nr 11, s. 3519–3532, nov. 2007, ISSN: 01962892. DOI: [10.1109/TGRS.2007.906140](https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.906140). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4373378>.

- [10] M. A. Richards, J. Scheer och W. A. Holm, *Principles of modern radar. Volume I, Basic principles*, Illustrated. SciTech Pub., jan. 2010, vol. 1, s. 924.
- [11] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques," *IEE Proceedings, Part F: Radar and Signal Processing*, årg. 139, nr 5, s. 343–350, okt. 1992, ISSN: 0956375X. DOI: [10.1049/IP-F-2.1992.0048](https://doi.org/10.1049/IP-F-2.1992.0048). URL: <https://digital-library.theiet.org/doi/epdf/10.1049/ip-f-2.1992.0048>.
- [12] G. Yu, T. C. Yang och S. Piao, "Estimating the delay-Doppler of target echo in a high clutter underwater environment using wideband linear chirp signals: Evaluation of performance with experimental data," *Journal of the Acoustical Society of America*, årg. 142, nr 4, s. 2047–2057, okt. 2017. DOI: [10.1121/1.5005888](https://doi.org/10.1121/1.5005888). URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85031670710&origin=scopusAI>.
- [13] Texas Instruments, *mmWaveSensingEstimator*, maj 2017. URL: <https://dev.ti.com/gallery/view/mmwave/mmWaveSensingEstimator/ver/2.4.0/>.
- [14] A. Stove, "Modern FMCW radar - techniques and applications," i *First European Radar Conference, 2004. EURAD*, Amsterdam, Netherlands, okt. 2004, s. 149–152, ISBN: 1-58053-993-9. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1396506>.
- [15] M. Jankiraman, *FMCW Radar Design*. Norwood, MA: Artech, 2018. URL: https://books.google.se/books?hl=en&lr=&id=cfF5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=fmcw+radar+applications&ots=sWtLsWXtlw&sig=4S1T20pPz6DhOKHGt1oXLLmk6Ag&redir_esc=y#v=onepage&q=fmcw%20radar%20applications&f=false.
- [16] A. Monteith, *FMCW Radar [PowerPoint slides]*, 2025. URL: https://chalmers.instructure.com/courses/34303/files/4032311?module_item_id=573163.
- [17] C. Iovescu och S. Rao, *Fundamentals of FMCW Radar*, 2020. URL: https://dev.ti.com/tirex/explore/node?node=A__AXNV8Pc8F7j2TwsB7QnTDw__RADAR-ACADEMY__GwxShWe__2.10.00.2.
- [18] S. Rao, "MIMO Radar," juli 2018. URL: https://www.ti.com/lit/an/swra554a/swra554a.pdf?ts=1747073365387&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
- [19] K. Ramasubramanian, "Using a complex-baseband architecture in FMCW radar systems," Texas Instruments, Dallas, Texas, tekn. rapport, maj 2017.
- [20] Texas Instruments, "Radar Hardware Accelerator-Part 2," Texas Instruments, Dallas, Texas, tekn. rapport, mars 2018. URL: www.ti.com.
- [21] Texas Instruments, *mmWave Demo Visualizer*, juli 2022. URL: https://dev.ti.com/gallery/view/mmwave/mmWave_Demo_Visualizer/ver/3.6.0/.

- [22] R. Plsicik och M. Danko, "Introduction to using mmWave Radar development board AWR1843," i *14th International Conference ELEKTRO, ELEKTRO 2022 - Proceedings*, vol. 1, Krakow, Poland: Institute of Electrical och Electronics Engineers Inc., maj 2022. DOI: [10.1109/ELEKTRO53996.2022.9803793](https://doi.org/10.1109/ELEKTRO53996.2022.9803793).
- [23] Gorodo Ibai, *AWR1843-Read-Data-Python-MMWAVE-SDK-3*, Japan, 2019. URL: https://github.com/ibaiGorordo/AWR1843-Read-Data-Python-MMWAVE-SDK-3/blob/master/range-dopplerHeatmap_SDK3.py.
- [24] Digikey, *AWR1843 product site*, maj 2025. URL: <https://www.digikey.se/sv/products/detail/texas-instruments/AWR1843BOOST/10445300?srsltid=AfmBOomVuzwoqNzccOyKzvVM6MqMUKTXGTIScYsXbcn-J-L0uDjGmkM>.

A

Bilagor

A.1 Djupare beskrivning av mjukvara

Programmets funktioner

<code>serialConfig()</code>	Konfigurerar serieportarna, skickar data från konfigurationsfilen till radarn och tar emot respons. Datan som skickas konverteras från en binärsträng till bytes.
<code>readAndParseData18xx()</code>	Läser, identifierar och parsar inkommande data från radarn, funktionen behandlar data olika beroende på vilken typ av data det är. Använder sig av output från <code>serialConfig()</code> .
<code>targets()</code>	Jämför om två datapunkters koordinater ligger inom en viss radie från varandra.
<code>checkPoints()</code>	Tar in en lista av datapunkter och undersöker om de har hastighet och är inom rummets dimensioner, annars sorteras de bort. Därefter skickas punkterna in i <code>targets()</code> och är det en match skickar funktionen ut "Occupied", annars läggs punkten in som ett nytt mål. Har det saknats punkter med hastighet och som ligger inom rummets dimensioner, ökas en parameter <code>free</code> , och när denna 30 skickar funktionen istället ut "Free".

`main()` Detta är huvuddelen av programmet och bygger på en kontinuerlig loop som fortsätter så länge programmet körs och radarmodulen fungerar. Innan loopen kallas `serialConfig()`, sedan `readAndParseData18xx()` och `checkPoints()` vilket sker varje ny mätning med en frekvens på 10 Hz. Utifrån resultatet från `checkPoints()` skickas antingen “Occupied” eller “Free” ut tillsammans med tidsstämpel från `main()` med kommandot `yield` vilket hindrar funktionen från att stoppas. I denna funktionen sätts även en väntetid på fem sekunder eller fem minuter för när det varit ledigt respektive upptaget.

Initiering

Inställning av filväg för konfigurationsfiler och COM-portanslutningar till radarns CLI och dataport. Exempel på CLI respektive dataportar på Mac och Windows ges nedan. OBS: Detta är endast exempel och kan skilja sig från din lokala maskin.

```
# Windows
CLIport = 'COM9'
Dataport = 'COM10'

# Mac
CLIport = '/dev/tty.usbmodemR20910491'
Dataport = '/dev/tty.usbmodemR20910494'
```

Exekvering av koden

För att exekvera koden avslutas programmet med en loop som går igenom varje output från `main()`, som i detta fallet printas.

```
for status in main():
    print(status)
```

A.2 Konfiguraionsfil

```
% *****
% Created for SDK ver:03.05
% Created using Visualizer ver:3.6.0.0
% Frequency:77
% Platform:xWR18xx
% Scene Classifier:best_vel_res
% Azimuth Resolution(deg):15 + Elevation
% Range Resolution(m):0.214
% Maximum unambiguous Range(m):10.95
% Maximum Radial Velocity(m/s):2.56
% Radial velocity resolution(m/s):0.04
% Frame Duration(msec):100
% RF calibration data:None
% Range Detection Threshold (dB):15
% Doppler Detection Threshold (dB):15
% Range Peak Grouping:enabled
% Doppler Peak Grouping:enabled
% Static clutter removal:disabled
% Angle of Arrival FoV: Full FoV
% Range FoV: Full FoV
% Doppler FoV: Full FoV
% *****
sensorStop
flushCfg
dfeDataOutputMode 1
channelCfg 15 7 0
adcCfg 2 1
adcbufCfg -1 0 1 1 1
profileCfg 0 77 115 7 15 0 0 100 1 64 9142 0 0 52
chirpCfg 0 0 0 0 0 0 0 1
chirpCfg 1 1 0 0 0 0 0 4
chirpCfg 2 2 0 0 0 0 0 2
frameCfg 0 2 128 0 100 1 0
lowPower 0 0
guiMonitor -1 1 0 0 0 0 1
cfarCfg -1 0 2 8 4 3 0 7 1
cfarCfg -1 1 0 8 4 4 1 7 1
multiObjBeamForming -1 1 0.5
clutterRemoval -1 0
calibDcRangeSig -1 0 -5 8 256
```

```
extendedMaxVelocity -1 0
lvdsStreamCfg -1 0 0 0
compRangeBiasAndRxChanPhase 0.2023771 -0.38055 -0.40970 0.53656 0.09454
-0.62961 -0.14362 0.58408 -0.09811 -0.46423 -0.23599 0.55603 -0.15234 -0.52914
0.01743 0.39661 -0.25238 -0.46027 0.64343 -0.03036 -0.76498 -0.22726 0.91370
-0.19162 -0.98148
measureRangeBiasAndRxChanPhase 0 1.5 0.2
CQRxSatMonitor 0 3 4 19 0
CQSigImgMonitor 0 31 4
analogMonitor 0 0
aoaFovCfg -1 -90 90 -90 90
cfarFovCfg -1 0 0 10.97
cfarFovCfg -1 1 -2.49 2.49
calibData 0 0 0
sensorStart
```

INSTITUTIONEN FÖR MIKROTEKNOLOGI OCH NANOVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

www.chalmers.se



CHALMERS