JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

Komparativ studie av rörelsedetektorer i ett övervakningssystem

HUVUDOMRÅDE: *Datateknik*
FÖRFATTARE: *Antonio Sürer & Makail Ismail*
HANDLEDARE: *Andreas Axelsson*
JÖNKÖPING: 2020 03

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom [se huvudområde på föregående sida]. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser och resultat.
Examinator: Ragnar Nohre
Handledare: Andreas Axelsson
Omfattning: 15 hp (grundnivå)
Datum: 2020-03-09

Postadress:	Besöksadress:	Telefon:
Box 1026	Gjuterigatan 5	036-10 10 00 (vx)
551 11 Jönköping		

Abstract

False alarms in home surveillance systems are an annoyance for customers and it has become a much-debated topic. There are several previous studies where the purpose is to reduce the number of false alarms in home surveillance systems, but not about combining different types of sensors in different sensitivities that complement each other.

The purpose of the thesis is to combine three motion detectors; two passive infrared (PIR) sensors and a microwave sensor coupled to an Arduino Uno with different sensitivities and compare it with each individual motion detector with different sensitivities, to determine what gives the best results in detecting people for an indoor monitoring system. An experiment with these sensors has been carried out and the data from the sensors is trained in a machine learning function which then plotted a ROC graph with a curve summarizing the result.

PIR-sensors are triggered by heat and detect human thermal energy. Combined with a microwave sensor that senses human movements, the number of false alarms was reduced with an area under curve (AUC) of up to 97% with the lowest sensitivity of the sensors.

The method that has been used can be reused for further studies for tests with other sensors and combinations. The method selection with machine learning function that trains data from the sensors and draws out a ROC graph gave a very clear picture of how well that particular combination of sensors and sensitivity works. By interpreting the ROC curve, combining several sensors has shown to give better results. The PIR-sensor has shown to give a low false positive rate by reducing the number of false alarms when no person passes, the microwave sensor has shown to give a high true positive rate, by reducing the number of misses when a person passes. The combination of the sensors has led to the sensors complementing each other which reduced the number of false alarms.

Keyword

Arduino Uno, PIR sensor, microwave sensor, machine learning, ROC Graph, area under curve (AUC), False positive rate, True positive rate, PLX-DAQ

Sammanfattning

Falsklarm på övervakningssystem i hemmet är ett irritationsmoment för kunder vilket har blivit ett omdebatterat ämne. Tidigare studier har gjorts i syfte att utveckla och finna metoder/verktyg för att reducera antalet falsklarm. Endast fåtal av studierna kombinerar olika typer av sensorer i olika känslighetsnivåer vilka kompletterar varandra.

Syftet med examensarbetet är identifiera en kombinationsuppsättning av rörelsedetektorer som ger bäst resultat vid detektering av människor för ett övervakningssystem inomhus. För att uppnå syftet kommer tre rörelsedetektorer att användas; två passiva infraröda (PIR) sensorer och en mikrovågssensor som alla kopplas till en Arduino Uno som sedan testas med olika känslighetsnivåer. Resultat från respektive känslighetsnivå i samband med användning av rörelsedetektorerna jämförs med enskilt resultat från tidigare användning av rörelsedetektorer. Detta används som underlag för beslutsfattande av bästa resultat vid detektering av människor för ett övervakningssystem. Data från sensorerna har sedan tränats in i en maskininlärningsfunktion vilken ritar ut en ROC-graf med en kurva som sammanfattar resultatet.

PIR-sensorer som triggas igång av värme och detekterar människans värmeenergi kombinerat med en mikrovågssensor som känner av människans rörelse, gav ett bra resultat. Resultatet visade att den lyckades reducera antal falska larm med en area under kurva (AUC) på upp till 97% med den lägsta känsligheten på sensorerna.

Metoden som har använts kan återanvändas för vidare studier till tester med andra sensorer och kombinationer. Metodvalet av maskininlärningsfunktion som tränar data från sensorerna och ritar ut en ROC-graf gav en väldigt tydlig bild på hur bra den kombinationen av sensorerna och känsligheten fungerar. ROC-kurvan visar att en kombination av flera sensorer ger ett bättre resultat. Användandet av en PIR-sensor har reducerat antalet falska larm när ingen människa passerar. Även mikrovågssensorn har reducerat antalet missar när en person passerar. Kombinationen av sensorerna har lett till att sensorerna kompletterade varandra vilket minskade antalet falska larm.

Nyckelord
Arduino Uno, PIR-sensor, mikrovågssensor, maskininlärning, ROC-Graf, area under curve (AUC), Falsk positiv, Sann positiv, PLX-DAQ

Innehållsförteckning

Abstract i

Sammanfattning ii

Innehållsförteckning iii

1 Introduktion 1

1.1 BAKGRUND 1

1.2 PROBLEMBESKRIVNING 1

1.3 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR 2

1.4 OMFÅNG OCH AVGRÄNSNINGAR 3

1.5 DISPOSITION 3

2 Metod och genomförande 4

2.1 KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH METOD 4

2.1.1 Experiment 4

2.1.2 Litteraturstudier 5

2.2 ARBETSPROCESSEN 5

2.3 ANSATS 6

2.4 DESIGN 6

2.4.1 PIR-Sensor 6

2.4.2 Mikrovågssensorn 6

2.4.3 Mikroprocessor 7

2.4.4 Design för experiment 7

2.5 DATAINSAMLING 8

2.6 DATAANALYS 9

2.7 TROVÄRDIGHET 9

3 Teoretiskt ramverk 11

3.1 KOPPLING MELLAN FRÅGESTÄLLNINGAR OCH TEORI 11

3.2 TEORI 1: TOLKA EN ROC-KURVA 11

3.3 TEORI 2: TIDIGARE STUDIER OM SENSORERNA 13

4 Empiri 15

4.1 ROC-GRAFER (PIR1 – PIR2 – MIKROVÅGSSENSOR) 15

4.1.1 ROC-kurvor med känslighet på 5-5-7 meter och 5-5-5 meter 15

4.1.2 ROC-kurvor med känslighet på 3-5-5 meter och 3-5-7 meter 15

4.1.3 ROC-kurvor med känslighet på 3-3-5 meter och 3-3-7 meter 16
4.1.4 ROC-graf för mikrovågssensorns känslighet vid 5 meter och 7 meter. 17
4.1.5 ROC-graf för PIR-sensorns känslighet vid 3 meter och 5 meter. 17
4.1.6 ROC-kurvor för PIR-sensorns känslighet på 3–3 meter, 3–5 meter och 5–5 meter. 17
4.1.7 ROC-graf för känslighets kombinationen 3-3-5 meter (PIR1-PIR2-Mikrovågssensor) 18
5 Analys 19
5.1 FRÅGESTÄLLNING 1 19
5.1.1 Skillnad mellan olika känsligheter i en mikrovågssensor 19
5.1.2 Skillnad mellan olika känsligheter på en PIR-sensor 19
5.1.3 Skillnad mellan olika kombinationer av känsligheter på två PIR-sensorer 19
5.2 FRÅGESTÄLLNING 2 20
5.2.1 Kombinationen som gav bäst resultat enligt ROC-graf 20
6 Diskussion och slutsatser 21
6.1 RESULTAT 21
6.1.1 Första frågeställningen 21
6.1.2 Andra frågeställningen 21
6.2 IMPLIKATIONER 22
6.3 BEGRÄNSNINGAR 22
6.4 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER 22
6.5 VIDARE FORSKNING 23
Referenser 24
Bilagor 25

1 Introduktion

Kapitlet inleds med bakgrund till studiens problemområde följt av en problembeskrivning. Därefter presenteras studiens syfte och frågeställningar. Dessutom beskrivs omfattningen och avgränsningar. Kapitlet avslutas med rapportens disposition.

1.1 Bakgrund

Trådlösa sensornätverk överför en video- och ljudsignal till en trådlös mottagare via ett radioband. De är mycket omtalande på grund av deras låga installationskostnader och flexibla monteringsalternativ. Trådlösa sensornätverk används inom flera områden, exempelvis inom miljö- och strukturövervakning, instrument och mätningar, militär övervakning, precisionslantbruk och intelligenta transportsystem. Av dessa fokuserar övervakningstjänster på att upptäcka en okänd kropp i rörelse med hjälp av flera sensorer genom signalbehandlingstekniker (Wang, 2008).

För att ge tillförlitlighet i ett system är det viktigt att välja optimala sensorer för systemoperationer och utveckla algoritmer för trådlöst nätverk och signalbehandling. Det finns emellertid vissa problem med att övervaka flera sensorer i en utomhusmiljö, till exempel falska larm. En passiv infraröd eller pyro-elektriska infraröd (PIR) sensor används huvudsakligen för att känna av förekomsten av rörliga föremål i en inomhusmiljö (Hong, Kim & Kim, 2013). Enligt recensioner från Kjell & Company (2019) tenderar övervakningssystem med PIR-sensor att ge upphov till många falsklarm.

1.2 Problembeskrivning

Om ett rörligt objekt ställs framför en PIR-sensor, mäter sensorn skillnaden i temperatur mellan objektet och bakgrundsmiljön med pyro-elektriska celler och genererar detektionssignaler. Som en sensor för att mäta infraröd strålning från ett rörligt mål inom sitt synfält, appliceras i allmänhet en PIR-sensor på rörelsedetektering applikationer. Medan en PIR-sensor enkelt kan användas i olika applikationer, är den känslig för sporadisk upptäckt av förändringar i miljön. De främsta orsakerna till falska larm inkluderar direkt exponering för solljus, strålkastare och andra ljuskällor i utomhusmiljö. Anledningen till falska larm kan även vara plötsliga infraröda rörelser / värmeförändringar med tanke på detektorn. Det kan till exempel vara insekter som rör sig mycket nära sensorn som leder till snabba temperaturförändringar. Dessutom är en plötslig förändring av temperaturen i detektering-fältet från en tillströmning av varm eller kall luft från en värmeventilations- eller luftkonditioneringssystem också en möjlig orsak till falska larm (Hong, Kim, & Kim, 2013).

Även om ett PIR-avkänningselement kombinerat med olika linsformer används för att minimera falska larm, förbättra detekteringsprestanda och ge olika typer av

detekteringsmönster, finns det fortfarande vissa begränsningar när det gäller att minska falska larm (Hong, Kim & Kim, 2013). Särskilt är appliceringen av en PIR-sensor utomhus svår på grund av förändringar i omgivningstemperatur och miljöförhållanden. Således är det nödvändigt att utveckla en signalbehandlingsalgoritm som är anpassningsbar till miljöförändringar. Ett exempel på en sådan sensor är en mikrovågsrörelsesensor på övervakningssystem. En mikrovågsrörelsesensor använder elektromagnetisk strålning. Detta uppnås genom att sända mikrovågsignaler och mäta den tid det tar för signalen att återgå till rörelsedetektorn. Detta kallas för 'ekotid'. Ekotid är beräkningen av avstånd från alla stationära objekt inom detektionszonen och fastställer en baslinje för rörelsedetektorn att arbeta från. En rörelsedetektor kommer att använda en baslinjeanalys för att detektera strömavståndet från stationära objekt inom dess detekteringsområde, varefter den kommer tillbaka till ett "normalt" tillstånd (Genewsky et al., 2017). Mikrovågsensorer fungerar i temperaturer så låga som -20°C och så höga som 45°C. Det innebär att mikrovågsensorn kan användas i utomhusmiljöer där temperaturen förändras frekvent. Genom att kombinera dessa sensorer kan det leda till en reducering av falska alarm.

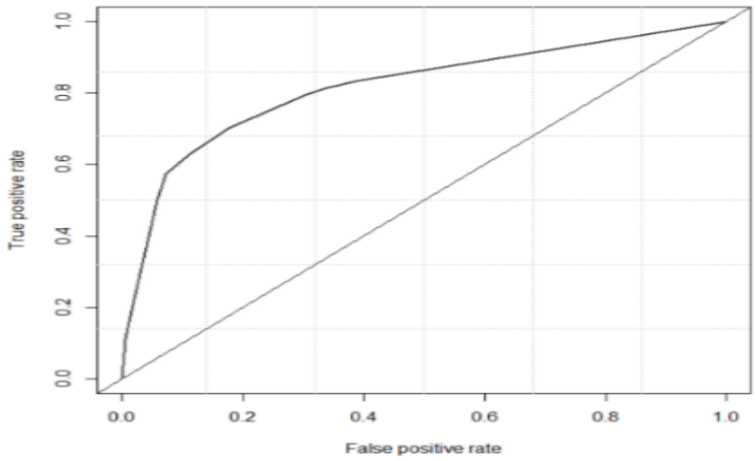
1.3 Syfte och frågeställningar

Syftet med examensarbetet är att kombinera tre rörelsedetektorer; två passiva infraröda (PIR) sensorer och en mikrovågssensor med olika känsligheter och jämföra det med varje enskild rörelsedetektor med olika känsligheter, för att bestämma vad som ger bäst resultat vid detektering av människor för ett övervakningssystem. För att uppnå studiens syfte har två frågeställningar tagits fram vilka besvaras under projektets gång.

1. Vad är det för skillnad på ROC-graferna mellan varje sensor och kombination av sensorer i olika känslighet vid detektering av människor?

2. Vilken känslighet på den enskilde sensorn eller känsligheterna på kombinationen av sensorerna gav bäst resultat vid detektering av människor och varför?

Samlade data från experimenten kommer i denna studie att redovisas med hjälp av en ROC-kurva, se Figur 1. ROC-kurvan bidrar till djupare förståelse för hur vardera sensorn och kombinationen av sensorer med olika känslighet förhåller sig till varandra.



Figur1: Exempel på en ROC-kurva

1.4 Omfång och avgränsningar

Sensorerna som används till studien är PIR-sensorn (HC-SR501) och mikrovågssensorn (RCWL-0516). Mikroprocessorn som används är Arduino. Experimentet utförs endast under ett scenario och utförs inomhus. Resultat som redovisas kan inte användas inom ramen för en utomhusmiljö. Forskningen utförs för att kunna ta med relevanta argument för att svara på frågeställningarna.

1.5 Disposition

Kapitel 2 – Metod och genomförande beskriver hur experimentet ska utföras, samt vilka aspekter som beaktas vid utförandet av testerna.

Kapitel 3 – Teoretiskt ramverk redovisar fakta om sensorerna och ROC-graf.

Kapitel 4 – Empiri presenterar den insamlade data som tagits fram genom testerna som beskrivits i kapitel 2 med hjälp av ROC-graf.

Kapitel 5 – Analys behandlar insamlade data som använts under studiens gång och de givna frågeställningarna besvaras.

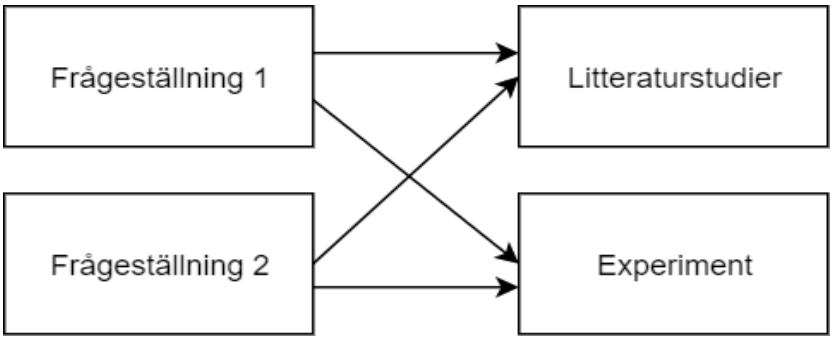
Kapitel 6 – Diskussion och slutsatser redovisar en sammanfattande diskussion och slutsats av studien.

2 Metod och genomförande

Detta kapitel inleds med kopplingen mellan frågeställningarna och metoden följt av arbetsprocessen. Därefter beskrivs studiens ansats och design. Dessutom beskrivs studiens datainsamling samt dataanalys. Kapitlet avslutas med studiens trovärdighet.

2.1 Koppling mellan frågeställningar och metod

I följande kapitel beskrivs metoder för datainsamling och dataanalys som används för att besvara studiens frågeställningar. I Figur 2 förklaras kopplingen mellan studiens frågeställningar och metoden.



Figur 2. Koppling mellan frågeställningar och metod

2.1.1 Experiment

För att kunna besvara frågeställningarna måste ett experiment utföras. Första frågeställningen handlar om vad skillnaden är i ROC-graferna mellan enskilda sensorer och kombinationer av sensorerna. Experimenten genomförs med hjälp av en PIR-sensor (HC- SR501) och Mikrovågssensor (RCWL-0516) som ska kopplas till en Arduino (UNO REV). I studien används sex olika kombinationer av sensorerna. Se Figur 3 vilken visar kombinationer som kommer undersökas. Den andra frågeställningen behandlar vilken kombination av sensorer som ger bäst resultat beträffande detektering av människor. Datainsamlingen från experimentet tillsammans med litteraturstudier kommer besvara studiens frågeställningar.

5m-5m-5m	5m-5m-7m	3m-5m-5m	3m-5m-7m	3m-3m-5m	3m-3m-7m
Värde	Värde	Värde	Värde	Värde	Värde
Värde	Värde	Värde	Värde	Värde	Värde
Värde	Värde	Value	Värde	Värde	Värde
Värde	Värde	Värde	Värde	Värde	Värde

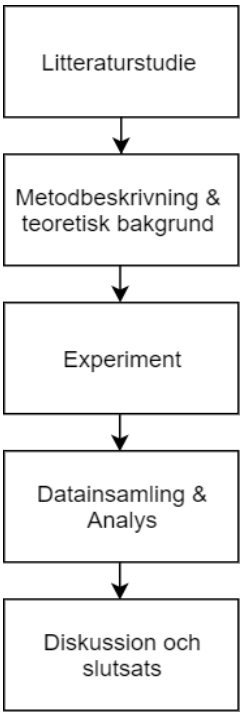
Figur 3. De fem olika kombinationerna som ska studeras. Tabellen visar kombinationer på tre rörelsedetektorer (PIR1 – PIR2 - Mikrovågssensor) med olika känsligheter (m=meter).

2.1.2 Litteraturstudier

Litteraturstudie görs för att kunna besvara frågeställningarna och för djupare förståelse av ämnet vilket ligger till grund för genomförande av studien. Relevant litteratur på området används för att identifiera luckor i den nuvarande kunskapen. Litteraturstudier används också för att få en inblick i hur PIR-sensorer och Mikrovågssensorer fungerar. En tydlig förståelse för hur dessa sensorer fungerar kommer att bidra till en tydligare förklaring till varför kombinationer skiljer på datainsamlingen. Det kommer även genomföras en litteraturstudie på signaldetekteringsteori, eftersom datainsamlingen från experimenten kommer presenteras på ROC-graf. I kapitel 3 *Teoretiskt ramverk* beskrivs det mer i detalj.

2.2 Arbetsprocessen

Arbetet påbörjas genom att läsa olika litteraturstudier för att få en bakgrund och kunskap om ämnet. Sedan implementeras metodbeskrivningen för att beskriva experimenten. Samtidigt som metodbeskrivningen skrevs genomfördes dessutom en litteraturstudie för att beskriva det teoretiska ramverket. Därefter utfördes experimentet för att samla information. Information från experimentet tillsammans med det teoretiska ramverket analyserades för att besvara frågeställningarna. Arbetet avslutas med slutsatser och diskussion. Figur 4 beskriver tillvägagångsättet för skrivande av rapporten.



Figur 4. Studiens arbetsprocess

2.3 Ansats

En tillämpning av deduktiva metoder gjordes eftersom tidigare studier har poängterat kritiska punkter i rörelsesensorer som främst används i övervakningssystem. Det har utförts experiment genom att jämföra sensorer enskilt med olika kombinationer av dessa sensorer. Datainsamlingen från experimenten har analyserats och jämförts med tidigare studier för att finna tydlig förklaring till resultatet för att kunna besvara frågeställningarna.

2.4 Design

I detta delkapitel beskrivs specifikationer för sensorerna. Experimentets utformning och hur experimentet ska genomföras beskrivs också.

2.4.1 PIR-Sensor

Se figur 5 För PIR-Sensorns specifikation som används i experimenten:

Modell	Känslighet	Triggar igång på
HC-SR501	3 - 7m	Värme energi

Figur 5. PIR-sensorns specifikation

2.4.2 Mikrovågssensorn

Se figur 6 för mikrovågssensorns specifikation som används i experimenten:

Modell	Känslighet	Triggar igång på
RCWL-0516	5 - 9m	Ljus, ljud, radio och vatten vågor

Figur 6. Mikrovågssensorns specifikation

2.4.3 Mikroprocessor

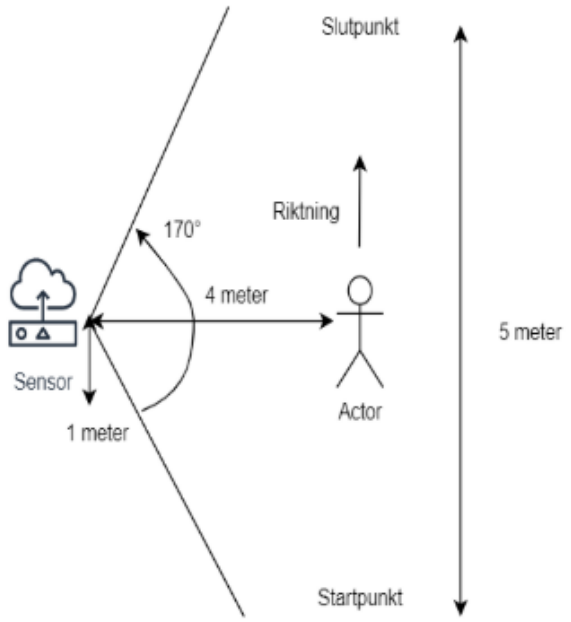
Se figur 7 för Arduino (UNO REV) specifikation som sensorerna kopplades till i studien:

Modell	Max CPU	Microarchitecture
Arduino Uno	16 MHz	Atmega 328

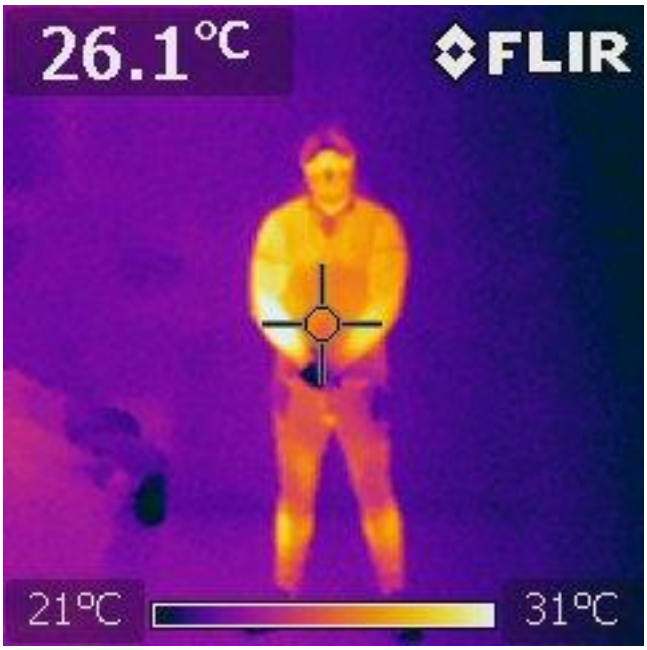
Figur 7. Mikroprocessorns specifikation

2.4.4 Design för experiment

I tidigare avsnitt presenteras information där experiment ska utföras på PIR PIR-sensor och mikrovågssensor och kombinationer av dem. Sensorerna kopplas till Arduino och uppkopplingen kommer ligga på ett bord på 1 meters höjd. En knapp är också kopplad till Arduino och trycks ner när en person går framför sensorn (se bilaga 1 för Arduino koden). I samband med att sensorerna är igång kommer en individ passera sensorerna med ett av stånd på 4 meter. Då datan som samlats in från experimenten kan påverkas av olika faktorer kommer experimenten ske på samma sätt i samma miljöer men skillnaden ligger i vilka kombinationer på sensorer som används. Se figur 8 och 9 för hur scenariot ser ut för alla experiment.



Figur 8. Scenario för experimentet.

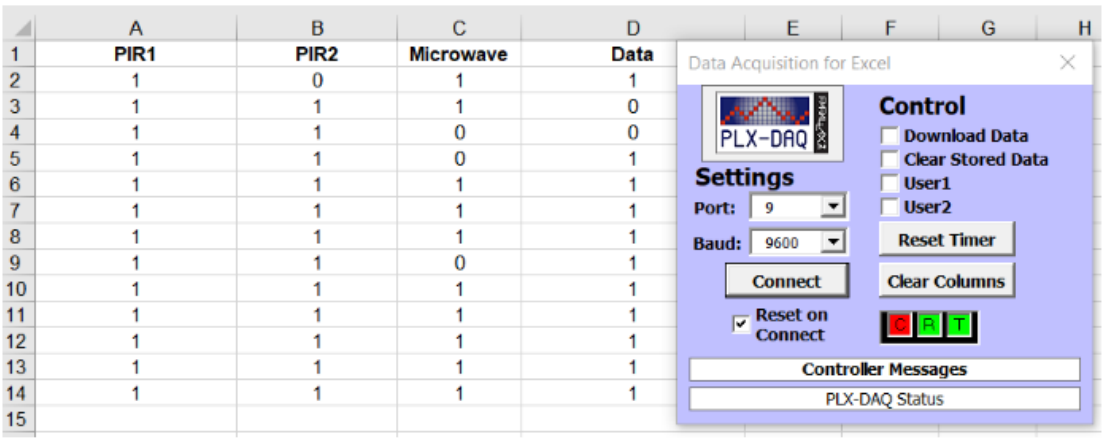


Figur 9. Värmekamera riktad mot en människa inomhus.

2.5 Datainsamling

Data som samlas i studien kommer vara från experiment. Experimenten är uppdelade i två olika sensorer där de först ska testas enskilt och sedan testas i sex olika kombinationer. Se figur 3 på punkt 2.1.1 för att få en bild på alla kombinationer som utföras.

Ett test påbörjas när testpersonen står vid startpunkten och när testpersonen har gått ungefär en meter trycks knappen ner. Knappen hålls nere tills testpersonen är framme vid slutpunkten. Den data som knappen ger oss ska då jämföras med sensorernas för att till exempel få svar på om sensorerna detekterar människan som passerar. Varje test tar ungefär fem sekunder. Varje kombination genomförs med totalt 360 datapunkter. Målet med ovanstående experiment är att skapa en lång tabell med s.k. "träningsdata". Tabellen ska innehålla en binär kolumn "y" som anger ”1” när en människa går förbi och ”0” när ingen människa passerar. Kolumn “Data” avgörs om knappen är aktiv eller inte. Digitala mätvärden från sensorerna har även sin egen kolumn (Se Figur 10). Varje test samlas in i en Excel-fil. Det genomförs i ett program som heter Parallax Data Acquisition Tool (PLX-DAQ). PLX-DAQ är ett tilläggsverktyg för datainsamling av mikrokontroller som skickar data till Microsoft Excel. Arduinon är ansluten till en seriell port på en PC som skickar data direkt till Excel. PLX-DAQ ger också enkel kalkylark-analys av sensorer och realtidsövervakning av utrustning (Parallax.com, 2014). Se figur 10 för hur PLX-DAQ användes i studien:



Figur 10. PLX-DAQ och Excel

Därefter implementeras Excelfilen i ett program som skriver ut en ROC-kurva med hjälp av maskininlärning. Kortfattat om vad maskininlärnings funktionen gör med Excelfilen är att först dela den i mitten och använder 180 datapunkter som träningsdata och 180 datapunkter som testdata. Träningsdata tränas upp och jämförs med testdata för att sedan rita ut en ROC-kurva över resultatet (se bilaga 2).

2.6 Dataanalys

I denna studie kommer data att analyseras kvantitativt. Den data som har samlats in kommer göras till en ROC-graf för varje kombination för att få en tydlig sammansatt graf på varje sensor och kombinationer av sensorerna. Varje kombination är uppdelad i olika känsligheter. ROC-grafen kommer visa en tydlig sammanfattning på kombinationen genom att sätta in punkter i grafen, varje punkt för varje känslighet och senare bilda en kurva som man senare tolkar och jämför med de andra kombinationerna.

2.7 Trovärdighet

För att öka studiens trovärdighet har tidigare forskning inhämtats från databasen Diva. I Diva finns det studier som är lika denna studie. Det har även samlats litteratur från Google Scholar och Högskolan i Jönköpings biblioteket. Metoden som används i denna studie är även grundläggande forskning som främst används inom medicinska forskningsområden (Zweig & Campbell, 1993).

För att utföra detta experiment krävs det också en uppskattning av en tillräcklig provstorlek för att upptäcka effekterna som antagits i studien. Studier fungerar väl med uppskattningar av provstorlek, eftersom det kan spara mycket på resurser. Det görs genom att dimensionera en studie så att den är tillräckligt stor för att upptäcka en effekt av vetenskaplig betydelse. Det innebär att varje effektstorlek kan vara statistiskt signifikant med ett tillräckligt stort prov. Genom att göra standardberäkningen som

beskrivs i figur 11 blev provstorlek 360. Det innebär att experimentet ska samla in 360 datapunkter för varje kombination för att erhålla den minsta effektstorleken av vetenskapligt intresse (Stamatopoulos, C, 2019).

$$\frac{\frac{z^2 \times p\,(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p\,(1-p)}{e^2 N}\right)}$$

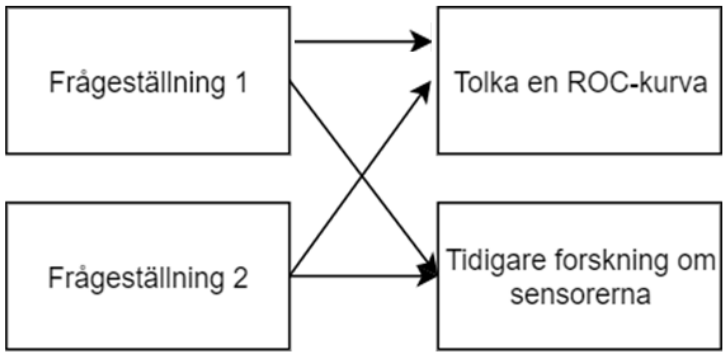
Figur 11. N = Storlek(Standardvärde) = 100 000, e = Felmarginal = 0.05, z = Konfidensnivån = 1.95, p = standardvärde 0.5

3 Teoretiskt ramverk

Kapitlet ger en teoretisk grund och förklaringsansats till studien och det syfte och frågeställningar som formulerats.

3.1 Koppling mellan frågeställningar och teori

I följande kapitel beskrivs den teori som ger en teoretisk grund för att besvara studiens frågeställningar. Figur 12 beskriver kopplingen mellan studiens frågeställningar och använd teori.



Figur 12. Koppling mellan frågeställningar och teori

3.2 Teori 1: Tolka en ROC-Kurva

En ROC-kurva är en graf som visar prestandan för en klassificeringsmodell vid alla klassificeringsgränser. Denna kurva visar två parametrar:

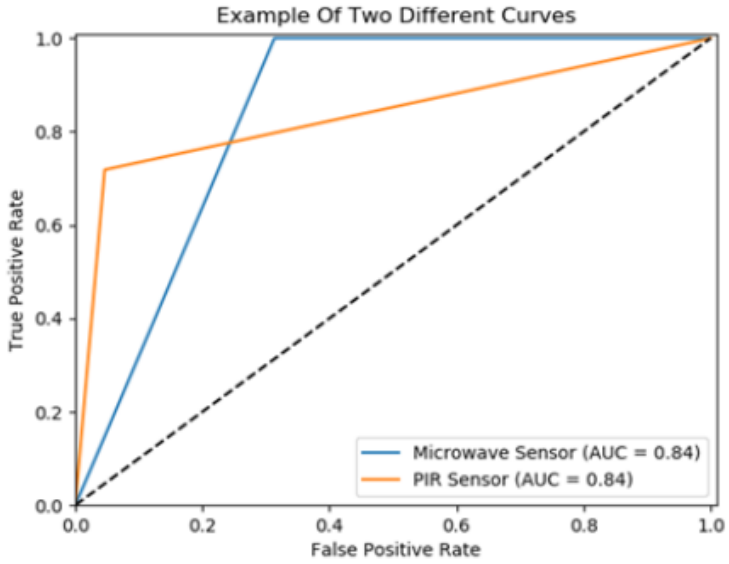
- True Positive Rate (TPR)
- False Positive Rate (FPR)

En ROC-kurva planerar TPR mot FPR vid olika klassificeringsgränser. Genom att sänka klassificeringsgränsen klassificeras fler poster som positiva, vilket ökar både False Positives och True Positives. Se Figur 13 som visar en typisk ROC-kurva (Zweig & Campbell, 1993).

För att beräkna punkterna i en ROC-kurva skulle man kunna utvärdera en logistisk regressionsmodell många gånger med olika klassificeringsgränser. Men i studien används det en effektiv sorteringsbaserad algoritm som räknar ut information, som kallas AUC (Area under ROC Curve). AUC mäter hela det tvådimensionella området under hela ROC-kurvan. AUC ger ett sammanlagt mått på prestanda över alla möjliga klassificeringsgränser.

I studien används ROC-graf för att med en kurva kunna redovisa resultatet av varje experiment. För att förstå kunna förstå resultatet så ska man kunna tolka grafen på rätt sätt. För att på ett enklare sätt kunna förklara hur man tolkar en ROC-graf kan man jämföra kurvorna med två olika sensorer, i detta fall en PIR-sensor och en mikrovågssensor, se Figur 13. Detta exempel i figuren ger en tydlig jämförelse då enligt grafen så har de exakt lika stor area under kurva (AUC) men samtidigt ser kurvorna väldigt olika ut i bilden.

Figur 13 visar att mikrovågssensorn har väldigt hög sann positiv och hög falsk positiv. Mikrovågssensorn är väldigt känslig och har väldigt lågt antal falska larm, den har dock en del antal falska larm när ingen människa passerar. En anledning till att mikrovågssensorn har fler antal falska larm när ingen människa passera kan vara exempelvis på grund av störningar. Om man jämför PIR-sensorn med mikrovågssensorn kan man se att den är tvärtom, den har låg falsk positiv och låg sant positiv. Det innebär att PIR-sensorn är mindre känslig, den har låg antal falska larm när ingen människa passerar men har högre antal missar när en människa passerar sensorn. Sensorerna har lika stor area under kurvan som ska kännetecknа resultatet av sensorn men är bra på olika saker. (Zweig & Campbell, 1993).



Figur 13. Exempel på två olika kurvor i en ROC-graf

3.3 Teori 2: Tidigare studier om sensorerna

En passiv infraröd sensor (PIR-sensor) är en elektronisk sensor som mäter infrarött ljus (IR) som strålar från objekt i sitt synfält. Alla föremål med en temperatur över absolut noll emitterar värmeenergi i form av strålning. (Hong, Kim, & Kim, 2013).

En mikrovågsensor är väldigt lik RADAR-system. Den använder denna ekotid för att beräkna dess avstånd från stationära objekt. Rörelsedetektorn utför en baslinjerumsanalys för att detektera sitt nuvarande avstånd från stationära objekt och återgår sedan till sitt "normala" tillstånd. När en person kommer in i rörelsedetektorns synfält orsakar detta ett avbrott i den utsända mikrovågsstrålen, vilket ändrar den mottagna ekotiden, vilket rörelsedetektorn uppfattar som en förändring i avståndet från ett objekt. Denna åtgärd får rörelsedetektorn att utlösa larmet (Genewsky et al., 2017).

PIR-detektorer kan upptäcka kroppsvärme och är idealiskt lämpligt där ett definierat detekteringsmönster krävs. Dock krävs det rörelse över de infraröda strålarna, vilket innebär att de måste installeras i rätt position för att ge effektiv täckning. En mikrovågsensor har detekteringsnivåer som en PIR inte kan, till exempel ett husdjur i trädgården eller en bil som drar in i en uppfart. Dessa detektorer känner rörelse i form av hastighet och storlek, i motsats till en PIR-sensor som avkänner i termer av värme och ljus. Mikrovågsensorer kan falska utlösa på grund av saker som träd som blåser i vinden. Även om de har en minskad känslighetsnivå, kan de också se igenom plast, glas och tunna väggar (Genewsky et al., 2017).

Hong, Kim & Kim (2013) beskriver att den största anledning till falsklarm är relaterat till temperatur och vid bländning av solljus, strålkastare eller annat starkt lysande. De är varken utformade eller avsedda att upptäcka en förändring (antingen ökning eller minskning) i systemkänsligheten för att signalera en förändring i detekteringsområdet för systemet. Till exempel kommer en oväntad ökning i systemkänslighet, som kan inträffa med en förändring och ge upphov till ett ökat detekteringsområde och åtföljande falska larm.

På grund av den höga känsligheten hos PIR-sensor, rekommenderas det inte att använda vissa tillstånd som snabba miljöförändringar. En minskning i känslighet på PIR-sensorn kan även vara en nedbrytande sensor, resulterar i en minskad detektion räckvidd och motsvarande förlust av detektion. Ofta är det önskvärt att producera en "problem" - signal när känsligheten har förändrats med en förutbestämd mängd i förhållande till en nominell nivå. Med en potentiometer bestäms inställningen för "intervall" känsligheten på PIR-sensor. En ökad känslighet kan vara fördelaktig när du använder en PIR för lång räckvidd, säger upp till sju meter. Detta kan emellertid också orsaka falska larm i mindre utrymmen, dvs PIR kan utlösa när den inte borde göra det. En minskad

känslighet är bra för en kort räckvidd, säger hälften av det maximala intervallet eller upp till 3 meter. Vilket i sin tur kunde missa rörelse på längre sikt. Objekt längre bort kan behöva mer rörelse för att upptäckas (William, 1995).

För att få en förbättrad sensor för att upptäcka mål behövs en mikrovågssensor, då enligt Infineon Technologies AG(2016) får en utökad detekteringsområde, snabbare detektion och bättre noggrannhet. Mikrovågsradarsensor är inte lika känslig när det gäller plötsliga temperaturskillnader men kan dock vara för känslig mot rörelser och det finns då risk att det kan ge falsklarm mot rörelser som exempel fallande löv, insekter osv.

Tidigare forskning har varit mer fokuserade på att lösa problemet genom användning av en rörelsedetektor eller fokusera mer på att förbättra sensorn istället för att hitta en annan lösning med att kombinera flera rörelsedetektorer för att reducera risken för falsklarm eller att sensorn missar ett rörande mål.

En annan forskning sätter fokus på att förbättra övervakningskameror med att kombinera objektdetektering med en PIR-sensor (Surantha & Wicaksono, 2018). PIR-sensorn i detta fall är den viktigaste delen då hela systemet väntar tills PIR-sensorn har triggat för att senare kunna ta en bild och identifiera rörande mål. Det tar i genomsnitt två sekunder för systemet att upptäcka rörliga mål med en noggrannhet på 89%.

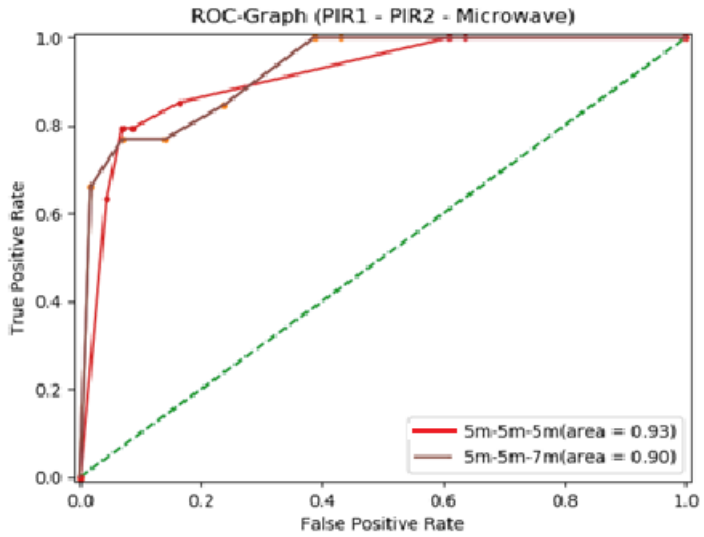
4 Empiri

Kapitlet ger en översiktlig beskrivning av den empiriska domän som ligger till grund för denna studie. Empirin består av sex olika mätningar med tre rörelsedetektorer med olika känsligheter, varje mätning utgörs av 360 experiment och samlas in direkt i en Excel-fil, därefter skickas filen till ett program som skriver ut en ROC-kurva med hjälp av maskininlärning.

4.1 ROC-grafer (PIR1 – PIR2 – Mikrovågssensor)

4.1.1 ROC-kurvor med känslighet på 5-5-7 meter och 5-5-5 meter

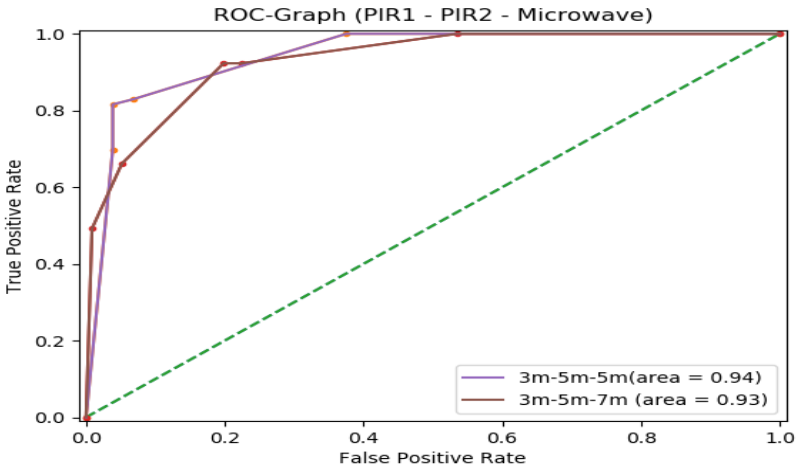
I figur 14 visar ROC-kurvan när man kombinerar tre olika rörelsedetektorer i en känslighet på 5m–5m–5m och 5m–5m–7m (PIR1 – PIR2 - Mikrovågssensor).



Figur 14. ROC-kurva för 5-5-5m och 5-5-7m (PIR-PIR-Mikrovågssensor)

4.1.2 ROC-kurvor med känslighet på 3-5-5 meter och 3-5-7 meter

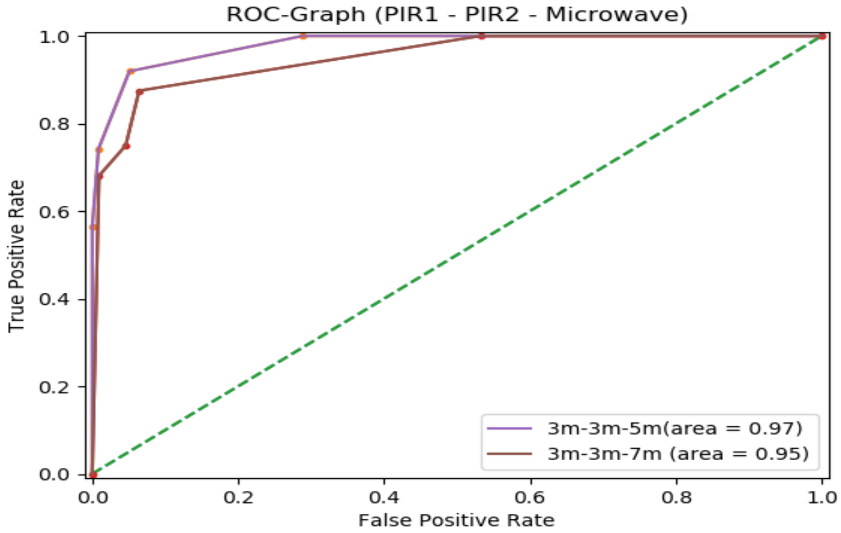
I figur 15 visar ROC-kurvan när man kombinerar tre olika rörelsedetektorer i en känslighet på 3m – 5m – 5m och 3m – 5m – 7m (PIR1 – PIR2 - Mikrovågssensor).



Figur 15. ROC-kurva för 3-5-5m och 3-5-7m (PIR-PIR-Mikrovågssensor)

4.1.3 ROC-kurvor med känslighet på 3-3-5 meter och 3-3-7 meter

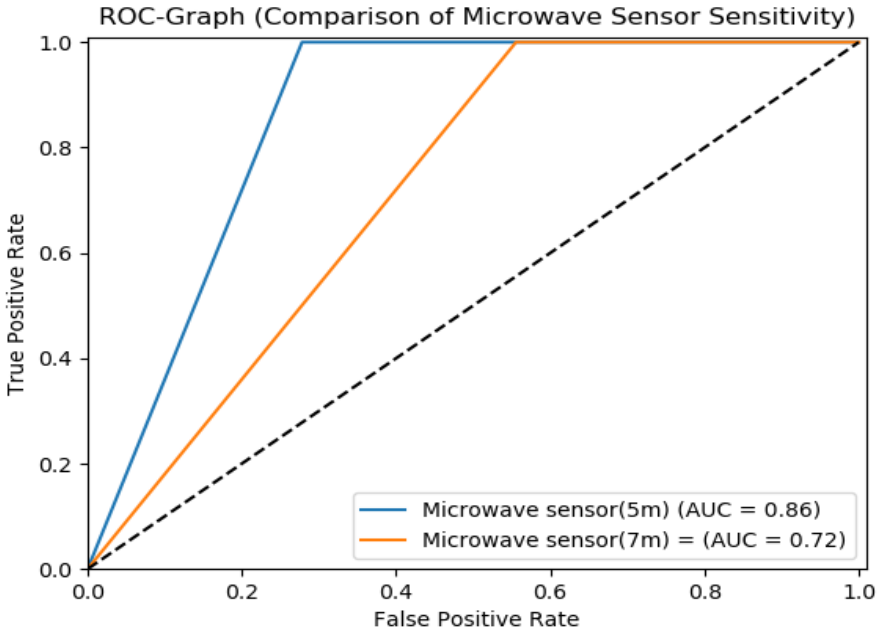
I figur 16 visar ROC-kurvan när man kombinerar tre olika rörelsedetektorer i en känslighet på 3m – 3m – 5m och 3m – 3m – 7m (PIR1 – PIR2 - Mikrovågssensor).



Figur 16. ROC-kurva för 3-3-5m och 3-3-7m (PIR-PIR-Mikrovågssensor)

4.1.4 ROC-graf för mikrovågssensorns känslighet vid 5 meter och 7 meter.

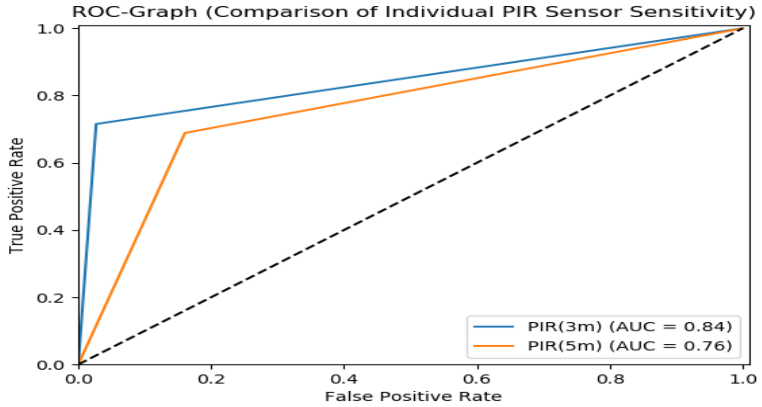
I Figur 17 visar två ROC-kurvor för mikrovågssensorns känsligheter på fem meter och sju meter.



Figur 17 ROC-graf för mikrovågssensorns känslighet vid 5m och 7m.

4.1.5 ROC-graf för PIR-sensorns känslighet vid 3 meter och 5 meter.

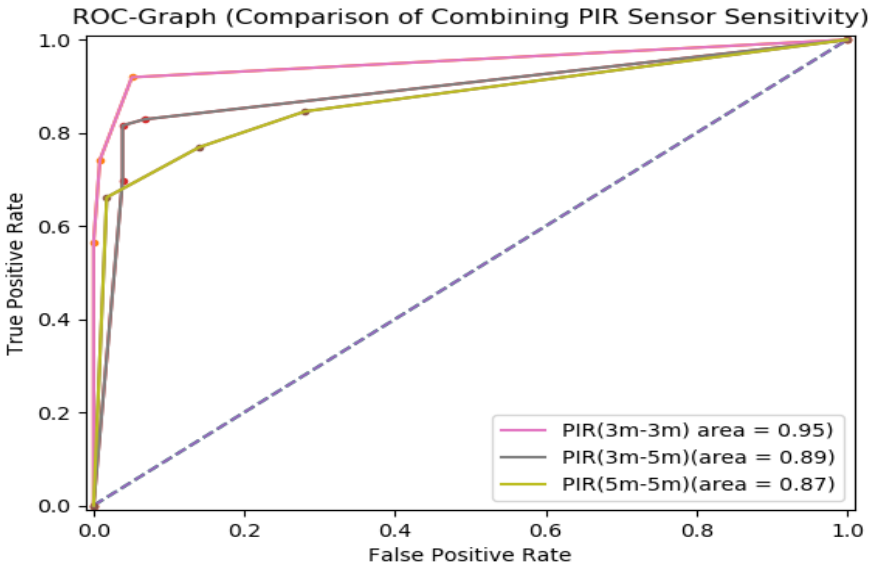
I Figur 18 visar två ROC-kurvor för PIR-sensorns känsligheter på tre meter och fem meter.



Figur 18. ROC-graf för PIR-sensorns känslighet vid 3m och 5m.

4.1.6 ROC-kurvor för PIR-sensorns känslighet på 3–3 meter, 3–5 meter och 5–5 meter.

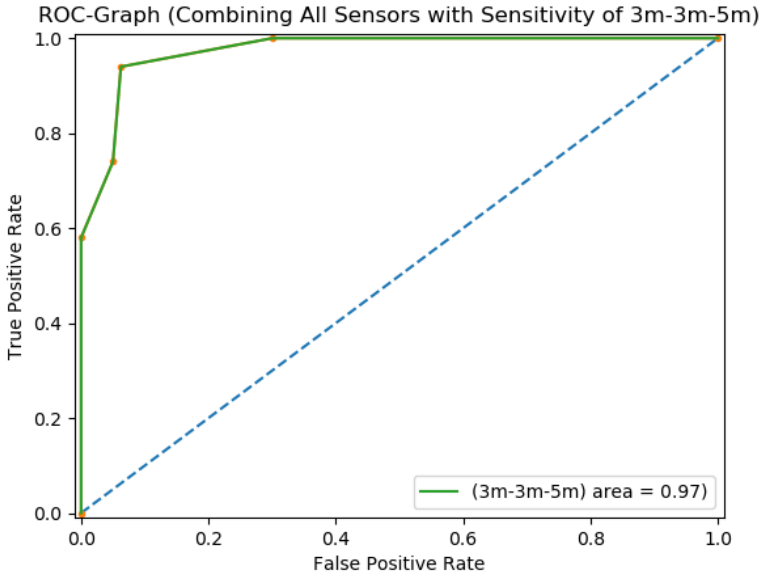
I Figur 19 visar ROC-kurvan när man kombinerar två PIR-sensorer i olika känsligheter på 3m – 3m, 3m – 5m och 5m-5m.



Figur 19. ROC-kurvor för PIR-sensorns känslighet på 3m-3m, 3m-5m och 5m-5m.

4.1.7 ROC-graf för känslighets kombinationen 3-3-5 meter (PIR1-PIR2-Mikrovågssensor)

I Figur 20 visar ROC-kurvan när man kombinerar alla tre sensorer med en känslighet på 3m-3m-5m.



Figur 20. ROC-graf för känslighets kombinationen 3m-3m-5m (PIR1-PIR2-Mikrovågssensor)

5 Analys

Kapitlet besvarar studiens frågeställningar genom att behandla insamlad empiri och teoretiskt ramverk.

5.1 Frågeställning 1

5.1.1 Skillnad mellan olika känsligheter i en mikrovågssensor

I Figur 17 visas skillnaden mellan en känslighet på fem meter och sju meter av en mikrovågssensor. Grafen visar tydligt att en känslighet på fem meter ger lägre falsk positiv än känslighet på sju meter. Enligt figur 17 är arean under grafen 14 procentenheter större med känslighet på fem meter, grafen visar även tydligt att den ger mindre falska larm när ingen människa passerar. Grafen visar även att mikrovågssensorer är väldigt känsliga och lätt kan detektera förbipasserande människa, då båda ligger på 100% i TPR.

5.1.2 Skillnad mellan olika känsligheter på en PIR-sensor

I Figur 18 visar grafen att en enskild PIR-sensor med känslighet på tre meter gav bättre resultat än känslighet på fem meter. Arean under grafen är 8% större vid känslighet på tre meter, grafen visar även att den har mindre falska larm när ingen människa passerar men ligger på samma nivå vid antal misar när en människa passerar.

5.1.3 Skillnad mellan olika kombinationer av känsligheter på två PIR-sensorer

I figur 19 visar den tre olika kurvor med olika kombinationer av känsligheter. Grafen visar tydligt att alla kombinationer ligger på samma nivå i antal falska larm när ingen människa passerar. Den som gav bäst resultat av dessa tre kombinationer är när båda PIR-sensorerna har en känslighet på tre meter, då arean under grafen gav ett stabilt värde på 95%. Kombinationen 3–3 meter gav 6% större area jämfört med 3–5 meter och 8% större area jämfört med 5–5 meter. Det som fick 3–3 meters kombinationen att ge bäst resultat är att enligt grafen så hade den mycket bättre resultat i sant positiv till skillnad från de andra kombinationerna, d.v.s. den hade fler antal rätta detektioner.

5.2 Frågeställning 2

5.2.1 Kombinationen som gav bäst resultat enligt ROC-graf

I figur 20 nedan visar ROC-grafen 3m-3m-5m kombinationen som gav bäst resultat. En area under grafen med hela 97% och med en kurva som ligger närmast (0,1) punkten svarar tydligt på frågan om flera kombinationer av olika sensorer ger bättre resultat än en enskild sensor, då kombinationen av tre olika sensorer gav bättre resultat än en kombination mellan två sensorer och en enskild sensor. Vid jämförelse med en enskild PIR-sensor med en känslighet på tre meter, gav den kombinationen minst antal falska larm 13 procentenheter större area under graf och 11 procentenheter större area än en enskild mikrovågssensor med en känslighet på 5m och även 2 procentenheter större area än en kombination av två PIR-sensorer med en känslighet på tre meter på båda sensorerna.

Varje sensor i den kombinationen som gav minst antal falska larm har den lägsta känsligheten d.v.s. tre meter för båda PIR-sensorerna och fem meter för mikrovågssensorn. Att de lägsta känsligheterna på sensorerna gav ett så bra resultat kan ha att göra med att som enligt Dipoala et al. (1995) menar att ju lägre känslighet desto mindre är risken för falsklarm, då vid högre känslighet får rörelsedetektorn en ökad detekterings områden som leder till att den löper större risk för störningar.

6 Diskussion och slutsatser

Kapitlet ger en sammanfattande beskrivning av studiens resultat. Vidare beskrivs studiens implikationer och begränsningar. Dessutom beskrivs studiens slutsatser och rekommendationer. Kapitlet avslutas med förslag på vidare forskning.

6.1 Resultat

6.1.1 Första frågeställningen

Den största skillnaden mellan varje sensor och kombination av sensorer på ROC-graferna är att varje kombination som testades gav alltid ett bättre resultat än en enskild sensor. Om man ser tillbaka till ROC-grafen i Figur 13 där mikrovågssensorer jämförs med PIR-sensorn, framgår det att mikrovågssensorer är mycket känsligare än PIR-sensorn. Om man jämför PIR-sensorn med mikrovågssensorer framgår det att PIR-sensorn har en omvänd roll, eftersom den får mindre antal falska larm när ingen människa är i närheten, men det har uppstått fler missar när en människa som passerar sensorn. Därför gav det ett bättre resultat vid en kombination av dessa sensorer, eftersom sensorerna kompletterar varandra väldigt bra genom att kompensera för respektive sensors nackdelar.

6.1.2 Andra frågeställningen

Den känslighet och kombination som gav bäst resultat är kombinationen där alla sensorer sattes ihop med den lägsta känsligheten, d.v.s. en kombination med två PIR-sensorer med en känslighet på tre meter tillsammans med en mikrovågssensor med känsligheten på fem meter. Ser man tillbaka till kombinationen framgår det att en enskild PIR-sensor inte är överkänslig för störningar. Den typen av fel som uppstod mest vid användandet av en enskild PIR-sensor var att den ibland missar att en människa passerar. När man sätter ihop två PIR-sensorer ser man ett mycket bättre resultat eftersom det gav upp till 11 procentenheter större area under grafen och även reducerade både antal missar när en människa passerar och antal falska larm. Det enda som kunde förbättras ytterligare med den kombinationen var att reducera missar när en människa passerar. Det som hjälpte att reducera den typen av falsklarm var att kombinera det med ytterligare en sensor; en mikrovågssensor som är känsligare och gav ett mycket bättre resultat i att inte missa en människa som passerar. Dock gav mikrovågssensorn en hel del falska larm när ingen människa passerar, eftersom sensorn fick störningar som ledde till att den triggade igång larmet.

Vid en kombination av dessa sensorer som kompletterar varandra bra uppnåddes ett bra resultat motsvarande upp till 97% i AUC. Det som sensorerna har gemensamt i den kombinationen är att alla har den lägsta känsligheten. Anledningen till att det gav ett bättre resultat sett till tidigare studier är för att sensorer med lägre känslighetsgrad leder till ett mindre detekteringsområde som minskar chansen för falska larm som kan uppstå från till exempel störningar. Det ska heller inte vara för låg känslighet, eftersom det

riskerar att förorsaka att räckvidden för önskat detektionsområde inte räcker till. Det ska med andra ord finnas en balans beträffande känslighetsgraden.

6.2 Implikationer

Övervakningssystem i hemmet idag har problem när det gäller falska larm. Falska larm i ett övervakningssystem har fått kunder att bli irriterade och frustrerade och det märks tydligt på recensionerna för olika övervakningssystem. I denna studie ligger fokus på att beslå en metod som testar kombinera olika sensorer med olika känsligheter för att ge en tydlig graf på resultatet på en ROC-graf. Metoden i studien kan användas till att jämföra andra sensorer och studien kan även leda till ett bättre övervakningssystem genom att kombinera flera sensorer då studien har bevisat att det ger bättre resultat.

6.3 Begränsningar

Med mer tid hade studien kunnat vara mer omfattande då man har kunnat inkludera fler än människor i experimenten som till exempel husdjur och möss. Med mer tid skulle det även vara mer omfattande om man experimenterade med en utökad avstånd på sensorerna, då i denna studie testades endast känsligheterna från tre och fem meter på PIR-sensorerna och fem och sju meter på mikrovågs-sensorerna.
Ekonomin påverkade och begränsade valet av utrustning och sensorer i studien. Analoga sensorer, bättre mikroprocessor och bättre testmiljö skulle leda till mer noggrannare och bättre resultat.

6.4 Slutsatser och rekommendationer

Syftet med studien var att kombinera tre rörelsedetektorer; två passiva infraröda (PIR) sensorer och en mikrovågssensor med olika känsligheter. Med en kombination av dessa sensorer ska det även jämföras med varje enskild rörelsedetektor med olika känsligheter. Detta för att besvara vad som ger bäst resultat vid detektering av människor för ett övervakningssystem inomhus.

Det som gav bäst resultat var kombinationen av de tre sensorerna vilka var justerade till känslighet på tre meter på PIR-sensorerna och fem meter på mikrovågs-sensorerna. Vid testning av alla enskilda sensorer och i olika kombinationer så dras slutsatsen att kombinera sensorer gav alltid bättre resultat än en enskild sensor. Vid kombination av olika sensorer gav det minst antal falska larm när alla sensorer hade en lägre känslighet. Vid ökad känslighet leder det till en utökad detekteringsområde som ledde till fler antal falska larm när ingen människa passerar (falsk positiv).

En rekommendation är att använda samma metodval som denna studie fast med bättre analoga sensorer istället för digitala, då maskininlärning som användes som metod för

att få fram data från experimenten kommer ge ett mer noggrannare värde med analoga sensorer. Genom att använda analoga sensorer kan mäta hur länge sensorerna är aktiva höga och om sensorerna är till exempel aktiva höga i 2 sekunder blir det larm. Sålunda kan det reducera falska larm.

6.5 Vidare forskning

Denna studie ger möjligheten att kunna använda samma metodval till vidare forskning för att kunna jämföra andra typer av sensorer och kombinationer som kan leda till en reducerad risk för antal falska larm utomhus istället. En vidare forskning kan även vara att göra experiment på husdjur eller annat levande som kan röra sig i hemmet för att hitta den bästa sensorn eller kombination av sensorer till ett övervakningssystem för att reducera risken för antal falska larm för dessa.

Referenser

Company, K. (2019). Hur Funkar Det? - Övervakningskameror. [online] Kjell.com. Available at: https://www.kjell.com/se/kunskap/hur-funkar-det/smarta-hem/kameraovervakning/overvakningskameror [Accessed 5 Feb. 2020].

Genewsky, A., Heinz, D., Kaplick, P., Kilonzo, K. and Wotjak, C. (2017). A simplified microwave-based motion detector for home cage activity monitoring in mice. *Journal of Biological Engineering*, 11(1).

Hong, S., Kim, N. and Kim, W. (2013). Reduction of False Alarm Signals for PIR Sensor in Realistic Outdoor Surveillance. *ETRI Journal*, 35(1), pp.80-88.

Infineon.com. (2016). *Radar vs PIR: selecting the right solution*. [online] Available at: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Radar+vs+PIR+BGT24LTR11-PI-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462576f34750157d2b1d6d27370&fbclid=IwAR2ffpo_OJj4qRBLmJPdu9NHO6cWinscHLJX8-PkJnAT4EiQvSI-uZD5UG0 [Accessed 22 Aug. 2019].

Surantha, N. and Wicaksono, W. (2018). Design of Smart Home Security System using Object Recognition and PIR Sensor. *Procedia Computer Science*, 135, pp.465-472.

Wang, X. (2008). Wireless mesh networks. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 14(8), pp.401-403.

William S, Dipoala & New York University 1995, Detection Systems, Inc, 5382944

Zweig MH, Campbell G (1993) Receiver – operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. Clinical Chemistry 39:561-577.

Bilagor

Bilaga 1. Arduino kod för att läsa och printa värden som sedan sparades i Excel (PLX-DAQ)

sketch_nov26a §

```
int Micro = 0;
int Pir1 = 0;
int Pir2 = 0;
float voltage1 = 0;
float voltage2 = 0;
int buttonState = 0;
const int buttonPin = 13;
const int PIR1 = 12;
const int PIR2 = 7;
const int mSensor = 8;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(PIR1, INPUT);
  pinMode(PIR2, INPUT);
  pinMode(mSensor, INPUT);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Computer Time,Starter Time, PIR:1 , PIR:2 ,MicSensor, Y");
  Serial.println("RESETTIMER");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  Pir1 = digitalRead(PIR1);
  Pir2 = digitalRead(PIR2);
  Micro = digitalRead(mSensor);
  buttonState = !digitalRead(buttonPin);


 /* voltage1 = Micro1 * (5.0 / 1023.0);
  voltage2 = Micro2 * (5.0 / 1023.0);
  */
    Serial.print("DATA,TIME,TIMER,");
   Serial.println( (String) Pir1 + "," + Pir2 + "," + Micro + "," + buttonState);

}
```

Bilaga 2. Python- maskininlärnings funktion som läser av Excel fil med data, delar upp och tränar data och till slut ritar ut en kurva i en ROC-graf och skriver ut arean under kurvan.

```
from sklearn.datasets import make_classification
import pandas as pd
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import roc_curve
from sklearn.metrics import roc_auc_score
from matplotlib import pyplot
import numpy as np

# generate 2 class dataset
#X, y = make_classification(n_samples=1000, n_classes=2, random_state=1)
df = pd.read_csv('Data_3_3_5.csv');
df1 = pd.read_csv('Data_3_5_5.csv');
df2 = pd.read_csv('Data_5_5_5.csv')
# split into train/test sets
#curve 1
y = np.array(df)[:,3]
X = np.array(df)[:,0:3]
print(X)
print(y)
trainX, testX, trainy, testy = train_test_split(X, y, test_size=0.5, random_state=2)

#curve 2
y1 = np.array(df1)[:,3]
X1 = np.array(df1)[:,0:2]
print(X)
trainX1, testX1, trainy1, testy1 = train_test_split(X1, y1, test_size=0.5, random_state=2)

#curve 3
y2 = np.array(df2)[:,3]
X2 = np.array(df2)[:,0:2]
print(X)
trainX2, testX2, trainy2, testy2 = train_test_split(X2, y2, test_size=0.5, random_state=2)

# generate a no skill prediction (majority class)
ns_probs = [0 for _ in range(len(testy))]
ns_probs1 = [0 for _ in range(len(testy1))]
ns_probs2 = [0 for _ in range(len(testy2))]

# fit a model
model = LogisticRegression(solver='lbfgs')
model.fit(trainX, trainy)
model.fit(trainX1, trainy1)
model.fit(trainX2, trainy2)
# predict probabilities

lr_probs = model.predict_proba(testX)
lr_probs1 = model.predict_proba(testX1)
lr_probs2 = model.predict_proba(testX2)

# keep probabilities for the positive outcome only
lr_probs = lr_probs[:, 1]
lr_probs1 = lr_probs1[:, 1]
lr_probs2 = lr_probs2[:, 1]
# calculate scores
```

```
# calculate scores

ns_auc = roc_auc_score(testy, ns_probs)
lr_auc = roc_auc_score(testy, lr_probs)

ns_auc1 = roc_auc_score(testy1, ns_probs1)
lr_auc1 = roc_auc_score(testy1, lr_probs1)

ns_auc2 = roc_auc_score(testy2, ns_probs2)
lr_auc2 = roc_auc_score(testy2, lr_probs2)

# summarize scores
print('Logistic: ROC AUC=%.3f' % (lr_auc))
print('Logistic: ROC AUC=%.3f' % (lr_auc1))
print('Logistic: ROC AUC=%.3f' % (lr_auc2))

# calculate roc curves
ns_fpr, ns_tpr, _ = roc_curve(testy, ns_probs)
lr_fpr, lr_tpr, _ = roc_curve(testy, lr_probs)

ns_fpr1, ns_tpr1, _ = roc_curve(testy1, ns_probs1)
lr_fpr1, lr_tpr1, _ = roc_curve(testy1, lr_probs1)

ns_fpr2, ns_tpr2, _ = roc_curve(testy2, ns_probs2)
lr_fpr2, lr_tpr2, _ = roc_curve(testy2, lr_probs2)

# plot the roc curve for the model
#curve 1
pyplot.plot(ns_fpr, ns_tpr, linestyle='--')
pyplot.plot(lr_fpr, lr_tpr, marker='.')

#curve 2
pyplot.plot(ns_fpr1, ns_tpr1, linestyle='--')
pyplot.plot(lr_fpr1, lr_tpr1, marker='.')

#curve 3
pyplot.plot(ns_fpr2, ns_tpr2, linestyle='--')
pyplot.plot(lr_fpr2, lr_tpr2, marker='.')

pyplot.xlim([-0.01, 1.01]);
pyplot.ylim([-0.01, 1.01]);

pyplot.plot(lr_fpr, lr_tpr, label='(3m-3m-5m) area = %0.2f)' % lr_auc);
pyplot.plot(lr_fpr1, lr_tpr1, label='PIR(3m-5m)(area = %0.2f)' % lr_auc1);
pyplot.plot(lr_fpr2, lr_tpr2, label='PIR(5m-5m)(area = %0.2f)' % lr_auc2);

# axis labels
pyplot.xlabel('False Positive Rate')
pyplot.ylabel('True Positive Rate')
pyplot.title('ROC-Graph (Combining All Sensors with Sensitivity of 3m-3m-5m)')
# show the legend
pyplot.legend()
# show the plot
pyplot.show()

```