

# FÖRSTÄRKT VERKLIGHET & KROPPS DETEKTION

Projektkurs inom mjukvarukonstruktion

Examinatorer: Reine Bergström, Jonas Willén

Kungliga Tekniska Högskolan

Av:

Umar Ali

Jakob Alkass

George Moré

Rabi Sulaiman

2022

# Sammanfattning

Shared Augmentation är en form av förstärkt verklighet som uppnås med en projektion i samband med kameror eller andra visuella sensorer. En av utmaningarna med shared augmentation är implementering av ett kamera-projektor system för dynamiska rörelser vare sig människokroppen eller andra objekt.

Detta projekt presenterar en robust teknik för att åstadkomma projicering av digitalt genererade skelett som då överläggs på en användare. Projicering och identifiering av användare sker dynamiskt och i realtid.

Igenkänning av kroppens delar görs med hjälp av TensorFlows BodyPix som är en tränad modell gjort för segmentering och masking av användarens kroppsdelar. Med hjälp av modellen samt en kontrollerad miljö lyckades vi bilda en funktion med feleliminering för att ge en noggrann överläggning och spårning av kroppsdelar.

Våra resultat var ett system med relativt låg fördröjningstid där vi skapar övertygande projicering av kroppen i realtid.

## Nyckelord

AI = Artificiell Intelligens, ML = Machine Learning, Kamerakalibrering, Projicering, rörelsedetektion, TensorFlow, förstärkt verklighet.

# Abstract

Shared Augmentation is a form of augmented reality that is achieved with a projection associated with cameras or other visual sensors. One of the challenges of shared augmentation is the implementation of a camera-projector system for dynamic movements of either the human body or other objects.

This project presents a robust technique to achieve projection of digitally generated skeletons which are then superimposed on a user. Projection and identification of the user is done dynamically and in real time.

Recognition of body parts is done using Tensorflow's BodyPix, which is a trained model made for segmentation and masking of the user's body parts. Using the model as well as a controlled environment, we managed to form a feature with error elimination to provide an accurate overlay and tracking of body parts.

Our results were a system with relatively low latency where we create convincing real-time projections of the body.

## Keywords

Artificial intelligence, Machine Learning, TensorFlow, Camera Calibration, Projection Mapping, augmented reality, extended reality, virtual reality, Body Tracking.

# Förord

Denna rapport var en del av projektkursen inom mjukvaruutveckling som utfördes under vårterminen 2022 på högskoleingenjörsprogrammet med inriktning datorteknik vid Kungliga Tekniska högskolan. Detta arbete utfördes på heltid under andra halvan av vårterminen motsvarande 7,5 högskolepoäng av Umar Ali, Jakob Alkass, George Moré & Rabi Sulaiman.

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Förord</b>	<b>4</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>6</b>
1.1 Problemformulering	6
1.2 Målsättning	7
1.2.1 Förstudie	7
1.2.2 Implementering	7
1.3 Avgränsningar	7
<b>2. Teori och bakgrund</b>	<b>7</b>
2.1 Historia	7
2.2 Augmented Reality teknologier	8
2.3 Objekt detektering	8
2.4 Vald modell	8
2.5 Projicering	9
<b>3. Metoder och resultat</b>	<b>9</b>
3.1 Verktyg	10
3.2 Val av mjukvara	10
3.3 Markering av kroppsdelar	10
3.4 Kalibrering	11
3.5 Datainsamling	11
3.6 Filtrering	11
3.7 Påbörjat arbete	12
<b>4. Resultat</b>	<b>12</b>
<b>5. Analys och diskussion</b>	<b>13</b>
5.1 Lösningssmetoder	13
5.2 Sociala och ekonomiska aspekter	14
<b>6. Slutsatser</b>	<b>15</b>
<b>Appendix</b>	<b>16</b>
<b>Källförteckning</b>	<b>19</b>

# 1. Inledning

Datorgrafik är en del av datavetenskap som utforskar digital framställning och manipulering av virtuellt innehåll. Datorgrafik har, traditionellt sett, försökt att efterlikna den verkliga världen i en virtuell miljö. I takt med att datorgrafiken har utvecklats har man också utforskat det omvända, virtuella miljöer i den verkliga världen.

Med filmer som Tron och spel som Pokémon GO, har *extended reality* (XR) fångat många förundran. XR är ett samlingsnamn för tekniker som omfattar; virtual reality (VR), augmented reality (AR) och mixed reality (MR). Istället för att se virtuella data genom en 2-dimensionell skärm försöker man framställa datat visuellt i vår 3-dimensionella värld. Denna teknik ger användarna en fördjupad upplevelse genom att den fysiska och digitala världen smälter samman. Interaktionen mellan imaginära, eller digitalt skapade, objekt och fysiska objekt är möjligt tack vare datorgrafik och datorseende.

## 1.1 Problemformulering

Virtuell verklighet integrerar användare och virtuella objekt i samma virtuella värld. Denna processen kräver för närvarande ett headset som helt och hållet täcker användarens syn i för att få en uppslukande upplevelse in i den nya verkligheten, vilket gör att deras uppfattning avskärmas av den verkliga världen. Användarna behöver också särskilda handkontroller för att kunna interagera med den nya verkligheten och med de virtuella objekten i världen. En nackdel med denna teknik är att användaren kan uppleva biverkning i form av illamående och yrsel. Spel och tillämpningar för virtuell verklighet gör det möjligt för användarna att vara i en miljö i snabb rörelse, som i en berg- och dalbana eller när de kör bil. På samma gång, är deras fysiska kropp i ett statiskt tillstånd, vilket orsakar rörelsesjuka.

Därför finner man behovet att vända på systemet genom att lägga realistiska överlagringar av virtuell information på verkliga objekt, mest populärt genom användning av mobiltelefoner och genomsiktsutrustning som HoloLens. Användarna är fortfarande medvetna om sin omgivning och därmed råder inte yrsel eller illamående som konsekvenser.

I stället för att användaren möter en okänd virtuell värld, visar AR virtuell information på reklamtavlor över fysiska objekt. Eller genom att lägga den på ett sätt som omsluter de verkliga objekt som är bekanta för dem. Detta kan förstärka informationen från den omgivande världen för att ge en levande gränssnitt för tittarna. Två utmaningar för tillämpningar av förstärkt verklighet är följande visning på dynamiska objekt och fullständig uppslukning.

## 1.2 Målsättning

Målet med detta projekt var att undersöka hur man kan använda shared augmentation för att kunna bedöma och projicera kroppsliga rörelser. Arbetet inleddes med en förstudie och därefter, en implementering i form av objekt detektering, projicering och kamerakalibrering.

### 1.2.1 Förstudie

1. Undersöka hur TensorFlow fungerar.
2. Ta reda på vilken modell som passar projektets ändamål.
3. Lära sig använda datorns webbkamera med React Webcam biblioteket.
4. Förstå datat man får ut av TensorFlow och välja rätt kroppsdelar.
5. Skapa en HTML Canvas och rita ut data.

### 1.2.2 Implementering

1. Kalibrera kamera och projektorn med hjälp av homografi, så att det virtuella data som projiceras överlägger sig korrekt med verkligheten.
2. Använda sig utav två externa kameror istället för en webbkamera.

## 1.3 Avgränsningar

1. Maskininlärnings modellen var redan färdig tränad, projektets syfte var att implementera modellen rätt.
2. En kontrollerad miljö skapades, där kamerans placering i förhållande till projektorn och väggen förblev densamma under projektets gång.

# 2. Teori och bakgrund

## 2.1 Historia

I mitten av 1950-talet utvecklade filmfotografen Morton Heilig Sensorama, som var en teaterkabinett med syftet att stimulera alla sinnen, inte bara syn och ljud [1]. Sensorama innehöll stereohögtalare, en stereoskopisk 3D-skärm, fläktar, lukt avsändare och en vibrerande stol. Sensorama var tänkt att helt fördjupa tittaren i filmen. Heilig banade vägen för det som senare kom till att kallas Virtual Reality. 1968 uppfann Ivan Sutherland det första Augmented Reality systemet genom att använda en optisk display som monterades på användarens huvud [2].

Sedan Sutherland tog steget längre med Virtual Reality och utvecklade Augmented Reality, har det växt till att bli ett av dagens största och snabbast evolverande teknologier. AR, som det också kallas, överlägger en digital augmentation över den

verkliga världen. AR är dock begränsat då den digital augmentationen behöver ses genom en telefon, skärm eller liknande.

Shared augmented reality tar steget vidare och tar bort begränsningen. Istället för att se den digitala miljön genom en skärm så projicerar man istället den digitala miljön med hjälp av en projektor så att man inte behöver begränsa sig att se det genom en skärm.

## 2.2 Augmented Reality teknologier

Computer vision renderar virtuella 3D-objekt från samma synvinkel som bilderna av den verkliga scenen tas från med tracking kameror [3]. Registrering av augmented reality-bilder använder olika metoder för computer vision, gemensamt för metoderna är att de brukar ske i två steg. Första steget handlar om att samla in data med spårningstekniker, t.ex intressepunkter i bilderna, segmentering eller andra metoder inom bildhantering. Andra steget handlar om att konstruera om själva objektet i mjukvara, t.ex CAD modeller eller som pixlar. AR-system som är baserade på computer vision kräver en kraftfull CPU och avsevärd mängd RAM-minne för att kunna bearbeta kamerabilder, speciellt i realtid.

Utöver computer vision så kan man använda GPS, optiska sensorer och accelerometer för att utföra tracking. Vissa metoder är mer exakta än andra.

## 2.3 Objekt detektering

Objekt detektering är en datorteknik relaterad till computer vision och bildbehandling som handlar om att upptäcka förekomster av utvalda objekt i digitala bilder och videor. De utvalda objekten kan t.ex vara människor och bilar. Ett populärt område inom objekt-detektering är ansiktigenkänning. Objekt detektering blandas oftast ihop med image recognition. Image recognition kan avgöra ifall ett specifikt objekt finns med i en bild medan objekt detektering används för att kartlägga exakt vart i bilden som objektet befinner sig.

Objekt detektering går hand i hand med deep learning, en undergrupp inom maskininlärning som är baserad på neurala nätverk. Man kan antingen välja att träna sin egen maskininlärningsmodell för objekt detektering eller använda en färdigtränad modell.

## 2.4 Vald modell

BodyPix är en maskininlärningsmodell utvecklad av Google som möjliggör segmentering av person och kroppsdelar. Modellen är tränad för att kunna segmentera bilder till pixlar som inte är en del av en person, och till pixlar som tillhör



någon av de tjugofyra kroppsdelarna. Den är kompatibel med flera personer i samma bild.

Med hjälp av BodyPix segmentering är det möjligt att välja ut vilka kroppsdelar man vill projicera ut med hjälp av en projektor. Detta möjliggörs med hjälp av metoden "segmentPersonParts" som modellen erhåller. Metoden tar emot en bild i olika HTML format för att sedan segmentera de olika kroppsdelarna som returneras av metoden i form av ett "SemanticPersonSegmentation" objekt. Objektet innehåller en array med alla de tjugofyra olika kroppsdelar och tillhörande x och y koordinater. Med hjälp av koordinaterna kan man sedan välja vart applikationen vill rita ut punkter för att matcha med personen som står framför kameran, så att den markerar kroppsdelarna som ritas ut på personen.

## 2.5 Projicering

Projektorer skapar en bild genom att lysa ett ljus genom en liten genomskinlig böjd lins. En projektor kan därmed betraktas som en inversen av en kamera.

Projektions-kartläggning är en projektionsteknik som skapar "en optisk illusion genom att analysera tredimensionella objekt, projicera bilder och sedan noggrant anpassa dem"[4]. De flesta implementeringar projicerar på fasta objekt med en manuell anpassning mellan objekt och projektion. För vår implementation använder vi denna teknik för att projicera på ett rörligt objekt, som då befinner sig inom ramen av projektorn. Automatisk justering används när bilder projiceras på dynamiska objekt. Detta kan vara 3D-objekt som flyttas runt eller kropparna på den användare.

## 3. Metoder och resultat

Detta kapitel diskuterar tillvägagångssätt, metoder, resultat och verktyg som använts under projektets gång för att nå fram till målet. Valen är baserade på inledande förstudie som bestod av en djupdykning inom området och övervägande kring de olika tekniker tillgängliga för vårt ändamål. Implementation och testning av olika matematiska funktioner är även inkluderad i metoder som ett steg i kalibrerings processen av projektorn.

Kapitel 3.1 presenterar de olika verktyg som använts för att möjliggöra projektet. Kapitel 3.2 presenterar mjukvara, programmeringsspråk, ramverk och AI-modeller som använt i utvecklingen. Kapitel 3.3 presenterar hur vi valt att markera olika kroppsdelar. Kapitel 3.4 presenterar kalibrerings processen. Kapitel 3.5 presenterar hur insamling av data skedde och i vilket syfte detta gjordes. Kapitel 3.6 presenterar hur vi implementerade vald matematisk funktion för att filtrera våra värden till en korrekt projicering. Kapitel 3.7 tar upp påbörjat arbete där det finns möjligheter för vidareutveckling. Kapitel 3.8 sammanfattar resultaten och vad vi lyckats uppnå under detta projektarbete.

### 3.1 Verktyg

Utförandet av arbetet skedde i en kontrollerad miljö med samma uppsättning av hårdvara och förhållande mellan projektorn och väggen förblev densamma under projektets gång, samt förhållande mellan projektorn och kameran. Detta för att underlätta processen så att vi inte behövde anpassa vårt program efter miljön vi befann oss i på nytt varje gång vi arbetade. Verktügen som behövs för att möjliggöra arbetet är en vanlig RGB-kamera, dator, projektor, HDMI-kabel samt en tom vägg eller duk att projicera mot.

Vårt arbete utfördes i ett grupprum i skolan med en vanlig bärbar persondator och vi använde oss utav den inbyggda webbkameran samt en projektor från skolan.

### 3.2 Val av mjukvara

Första steget var att utveckla en webbaserad applikation. Valet att skapa en webbapplikation istället för t.ex en mobilapplikation utgick ifrån resonemanget att applikationen blir tillgänglig över fler enheter och inte endast begränsat till mobiltelefonen då den är åtkomlig via webben.

Inledningsvis i projektet lades ingen större tid ner på övervägning av olika programmeringsspråk samt ramverk att jobba med. En större övervägning där fördelar samt nackdelar hos olika alternativ tas upp för att sedan göra ett val kan vara fördelaktigt. Men efter valet av att utveckla en webbapplikation begränsades antalet alternativ eftersom vi studenter endast bekantat oss med JavaScript inom webbutveckling på frontend sidan innan. Åtagandet gjordes även med målet i fokus, där vi insåg snabbt att egenskaper hos andra alternativ inte var fördelaktigt med vårt målfokus.

Utvecklingen skedde i programmeringsspråket JavaScript med ramverket React eftersom att samtliga studenter hade tidigare erfarenheter av dessa tekniker, tidigare nämnda anledningar samt att vår förstudie funnit att de flesta liknande arbeten utförts med JavaScript.

Webbapplikationen består endast av en frontend då vår applikation använder sig av en färdigtränad modell från TensorFlow som beskrivs i 2.4. Vår applikation är alltså fri från tung logik som vanligtvis behandlas via en backend.

### 3.3 Markering av kroppsdelar

Kroppsdelarna ritas ut med avseende på vilka kroppsdelar som är valda. De är indexerade från 0-24. Markeringen skedde i två steg. Det första steget var att skapa en webbaserad applikation som enkelt kan ta emot x och y koordinater från valda kroppsdelar för att sedan rita ut dessa på webbsidan. För att kunna rita dessa började vi med att implementera en canvas som är heltäckande på hela webbläsaren när

applikationen körs. Sedan ritades rektanglar ut som följde positionen av valda kroppsdelar. Rektanglarna som ritas ut i webbläsaren härmar rörelserna av valda kroppsdelar genom kontinuerlig uppdatering av datat som kommer in från metod anropen till BodyPix modellen.

Nästa steg var att koppla ihop vår webbapplikation med en projektor för att kunna projicera rektanglarna på motsvarande kroppsdelar på personerna som befinner sig i bild via kameran. Detta uppnås genom vanlig skärmdelning från dator med körande program till sammankopplad projektor via HDMI. Projektet utfördes i en kontrollerad miljö med samma avstånd på kamera, projektor och projektorduk under hela projektets gång.

### 3.4 Kalibrering

För att rektanglarna skulle träffa rätt på personen framför projektor och kamera så kalibrerade vi variabler som påverkade vart ljuset från projektorn hamnar. Sådana variabler var avstånd och vinkel från person till kamera, avstånd från person till projektorduk och avstånd från person till projektor. Dessa variabler antecknades och hölls samma under projektets gång för att underlätta arbetet i en kontrollerad miljö.

Efter kalibrering av sådana parametrar som påverkas av miljön, kvarstod felmarginal vid projiceringen. Felmarginalen kan uttryckas i antal pixlar, avståndet i pixlar mellan den önskade platsen av projicering och faktisk projicering.

### 3.5 Datainsamling

För att hitta ett matematiskt samband på felmarginalen testade vi att skriva ut vilka koordinater vår BodyPix modell gav oss från olika kroppsdelar och jämförde med hårdkodade värden som vi anpassade så att de träffade den yta vi ville täcka.

Denna process upprepade vi på flertal punkter så att vi täckte ett så stort omfång som möjligt och antecknade inmatat värde av koordinater från vår BodyPix modell, önskat värde på koordinater samt felmarginal. När vi sammanställde allt data så kunde vi se att felmarginalen växte linjärt i förhållande till storleken på koordinaternas värden som BodyPix modellen fångade upp med kameran.

### 3.6 Filtrering

Med vetskapen om att det finns ett linjärt samband mellan indata, koordinaterna från kameran och storleken på felmarginalen kunde vi anpassa en linjär funktion till vår insamlade data. För att skapa vår funktion skapade vi en funktion i vår webbapplikation som använder matematik från "Linear least squares method". Denna metod är ett tillvägagångssätt att anpassa en matematisk eller statistisk

modell för data i fall där det önskade värdet som tillhandahålls av modellen för valfri datapunkt uttrycks i linjära termer av modellens okända parametrar. ( $y = k \cdot x + m$ ).

Implementationen av denna funktion används likt ett filter som tar emot koordinater från kameran med hjälp av BodyPix modellen för att sedan filtreras och ge oss ett korrekt värde på koordinaterna för ljuset att projiceras på, så att det överensstämmer med objektets verkliga position.

### 3.7 Påbörjat arbete

Insamling av datat för att anpassa den linjära funktionen som fungerar som vårt filter skedde till en början manuellt. Denna process var långsam och kräver att användaren har tillgång till källkoden för att kunna hårdkoda in mätvärden så att funktionen blir anpassad för den nuvarande miljön kamera och projektor befinner sig i.

För att göra vår applikation mer användbar i sin helhet och inte begränsad till den kontrollerade miljö utvecklingen och arbetet ägde rum i var det önskvärt att försöka automatisera processen av mätningar och funktion anpassningen.

Eftersom att en liknande mätning likt vår manuella mätning var svår att replikera på ett automatiserat vis var vi tvungna att tänka om. Ett förhållande mellan den projicerade bildens upplösning och kamerans upplösning, vilket koordinaterna hämtades ifrån, kunde användas för detta ändamål. Genom att projicera ut 4 prickar med förutvalda koordinater med projektorn för att sedan med kameran fånga upp en bild av prickarna och med hjälp av den bilden hitta motsvarande koordinater för prickarna i kamerans upplösning är det möjligt att hitta ett sådant samband.

Matematiken för att på ett effektivt sätt anpassa detta samband till en funktion som kan fungera som ett filter likt vår tidigare modell är ännu inte framtagen. På grund av arbetets avgränsningar med avseende på tid är detta ett arbete vi får lämna över till vidare utveckling av vår applikation, utanför detta projektets tidsram.

## 4. Resultat

Vår slutgiltiga lösning är en webbapplikation skriven i JavaScript med ramverket react. Det är alltså en OS- och plattformsberoende applikation som fungerar över alla enheter med tillgång till webbläsare och kamera.

Webbapplikationen består av 5 olika sidor som tillsammans utgör vårt användargränssnitt. För att navigera mellan dessa fem sidor använder vi oss av en "navigation-bar" som innehåller länkar till samtliga komponenter som utgör de olika sidorna i applikationen. "Shared augmentation" är sidan som först laddas upp när

applikationen öppnas. Sidan är en välkomstsida som innehåller information om applikationen och hur den är tänkt att användas, se appendix [1]. “Detection” sidan av vår applikation är den sidan som använts i vår kontrollerade utvecklings miljö och ritar ut koordinater med hjälp av filtret framtaget av hårdkodade värden från vår manuella datainsamling och fungerar därför endast i den kontrollerade miljö projektet ägt rum i, se bilaga [2] i appendix. “Draw” sidan är en del av vår kalibreringsprocess som ritar ut fyra prickar, se appendix [3]. “Draw” sidan projicerar 4 prickar. Varje gång applikationen ska användas i en ny miljö är första steget i kalibrerings processen att ta en bild med kameran på dessa 4 prickar som ritas ut i “Draw” fönstret. “Load Image”, bilaga [4], laddar upp den tagna bilden genom “Välj fil”-knappen i vårt användargränssnitt. Vid vald fil påbörjas kalibrerings processen för den befintliga miljön. Detta utförs i webbläsaren genom att vår applikation ritar ut bilden som valdes och går igenom den pixel för pixel för att sedan finna koordinaterna för dessa 4 rutor ur kamerans perspektiv. Efter detta är kalibreringen klar och den matematiska filtrerings funktionen är framtagen med hjälp av sambandet mellan koordinaterna som kameran fångat upp och de faktiska värden som användes för att rita ut prickarna. Denna filtrering används sedan i “Image Detection”, bilaga [5]. “Image Detection” är det miljö oberoende tillståndet av applikationen som fungerar likt “Detection”-sidan men använder sig istället av filtrerings metoden framtagen vid senaste kalibrering.

Den matematiska funktion som används i vår kalibreringsprocess för att ta fram variablerna för filtrering funktionen är ännu inte komplett och programmet ritar fortfarande ut koordinaterna efter kalibrering med viss felmarginal. Vår applikation fungerar med hjälp av hårdkodade värden anpassat till en begränsad miljö med önskat resultat i “Detection” sidan. En korrekt implementering för matematiken vid en automatiserad kalibreringsprocess kvarstår. En sådan implementering skulle leda till att applikationen inte längre är begränsad till variabler som är beroende av miljön likt de nämnda i 3.2.

Vi har med vår applikation lyckats med målet satt för detta arbete. Vi har lyckats använda shared augmentation för att projicera kroppsliga rörelser genom vår webbapplikation. Och webbapplikationen kan användas som grund för kommande arbeten som vill forska vidare och undersöka möjligheter för implementation av shared augmentation i verkliga användningsområden.

## 5. Analys och diskussion

### 5.1 Lösningsmetoder

Valet av filtreringsmetod gjordes baserat på det samband vi fann efter vår datainsamling. Sambandet mellan felmarginalen och storleken på värdet hos koordinaterna vi matade in efterliknade en linjär kurva efter att ritat ut resultaten i

en graf. Dock hade vi endast ett begränsat antal mätningar och kanske kunde fler mätvärden ändrat utseendet på grafen.

Vi valde också att enbart anpassa felmarginalen till en linjär filtreringsfunktion eftersom vi fick önskvärda resultat efter en linjär anpassning. Detta kunde gjorts annorlunda. Ett metodiskt tillvägagångssätt där fler typer av funktioner testas och jämförs för att sedan välja det mest optimala hade kunnat leda till ett bättre resultat. Med avseende till att resultatet av vår valda metod gav oss bra värden samt att arbetet hade andra prioriteringar likt automatisering som togs upp i avsnitt 3.7, valde vi att inte prioritera detta och inte göra en mer djupgående undersökning för valet av filtreringsmetod.

Valet att använda sig av datorns egna inbyggda webbkamera var inte optimalt då det komplicerade processen vid datainsamlingen. Dels eftersom att vi var tvungna att sitta framför datorn för att läsa av värden som skrevs ut. Och även ändra värden på koordinater under arbetets gång vilket gjorde att vi blockerade uppsynen för webbkameran vilket ledde till en hackig process.

Datorns inbyggda kamera bildkvalite och upplösningar är ofta begränsade vilket kan leda till ännu större fel eftersom att inläsningen av kroppsrörelser är beroende av kameran. Sämre kvalitet leder alltså till sämre inläsning av koordinater. Detta arbete var begränsat i utbud av kameror och därför fick vi nöja oss med vår webbkamera.

Det påbörjade arbetet som nämnts i avsnitt 3.7 fullbordades inte pga av komplikationer vid implementationen. Det matematiska sambandet fungerade i teorin men inte riktigt i praktiken. Till största sannolikheten var det kod implementationen som var bristfällig.

## 5.2 Sociala och ekonomiska aspekter

Sociala och ekonomiska aspekter har beaktats vid planering och utförandet av detta arbete.

Arbetet grundar sig i att undersöka möjligheter inom området shared augmentation, ett ännu ganska nytt område som har stor potential att växa till en väl använd teknologi. Ett genombrott skulle kunna leda till tillämpningar där både sociala och ekonomiska aspekter påverkas. Tanken kring att kunna tillämpa detta i verkliga sammanhang lägger stor grund för arbetet, vilket skulle leda till ökad användarupplevelse av t.ex. den virtuella världen.

Utvecklingen under arbetets gång har haft stor omtanke gällande hållbarhet och omtanke på framtida ändamål för applikationen.

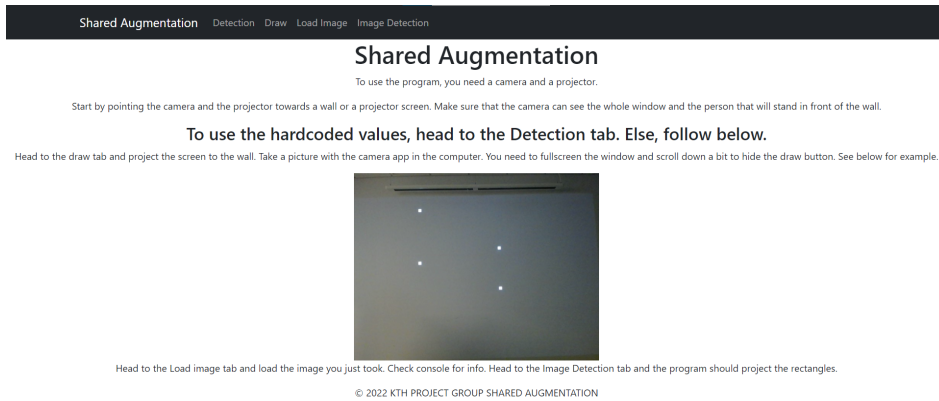
## 6. Slutsatser

Efter x veckors arbete lyckades vi framställa en grov kalibrering av vårt kamera-projektor system. Den huvudsakliga utmaningen inför projektet beräknades vara markering och detektion av kroppsdelar, vilket visades vara ett relativt simpelt problem att lösa. Projektets största hinder var snarare kalibreringen av projektor-kamera systemet. Vår lösning lämpade sig till kalibrering i 2-dimensionellt plan. Trots oförmågan att, på ett snyggt sätt, implementera en lösning för rörelse i x, y och z så var resultatet ett lyckat försök för projicering på kroppen, förutsatt att rörelser begränsas till x- och y-axel. Med kalibreringen löst öppnas möjligheter för olika tillämpningar utöver kropps detektering. Exempel på olika grenar av projektet kan var projektions mappning där olika sorters ytor blir till ojämna visningsytor. Objekten kan vara komplexa industrilandskap, planläggningar av bostadsprojekt.

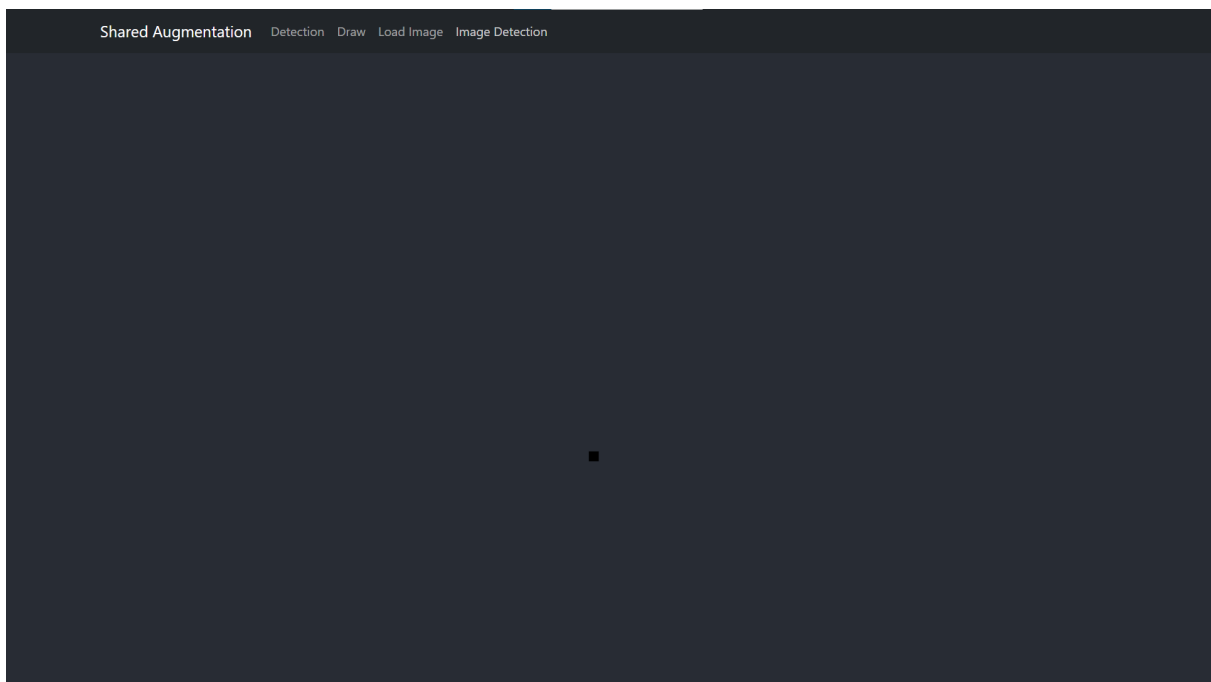
En naturlig uppföljning till detta projekt hade varit vidare utökning av dimensionerna som behandlas. Med kalibrering som tar hänsyn till z-axeln i kamera-projektor systemet kan man framställa en lösning där djupet av ett objekt går att identifieras.

# Appendix

## [1] “Shared augmentation”

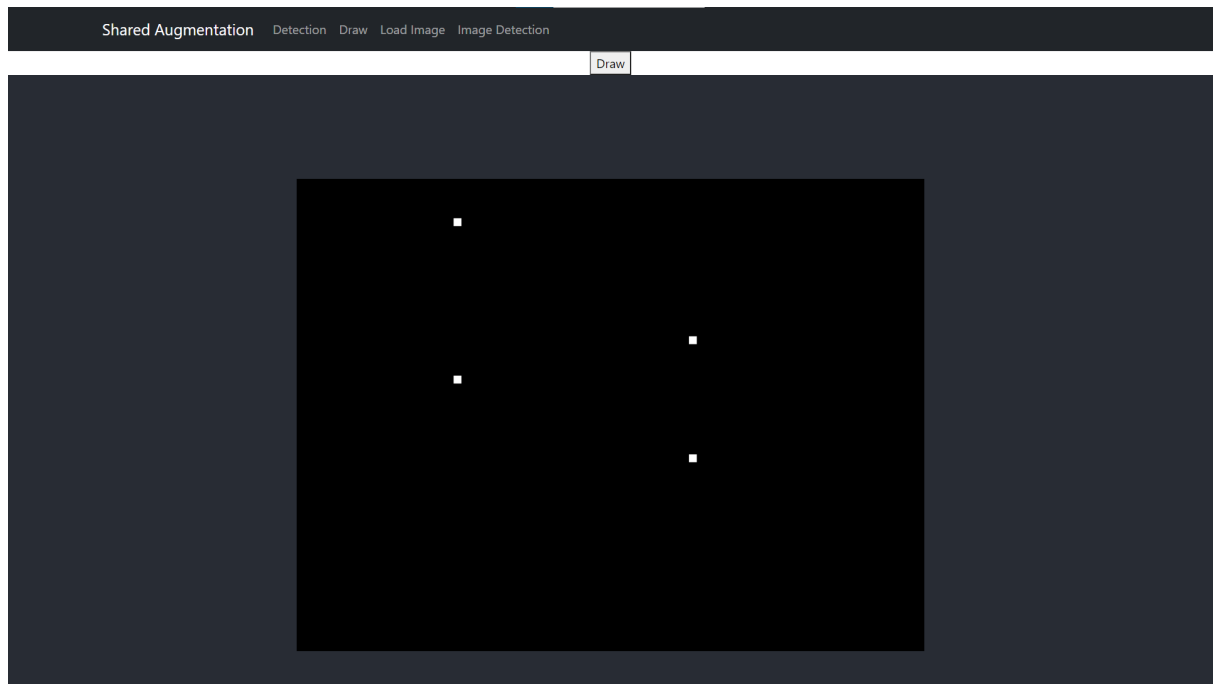


## [2] “Detection”

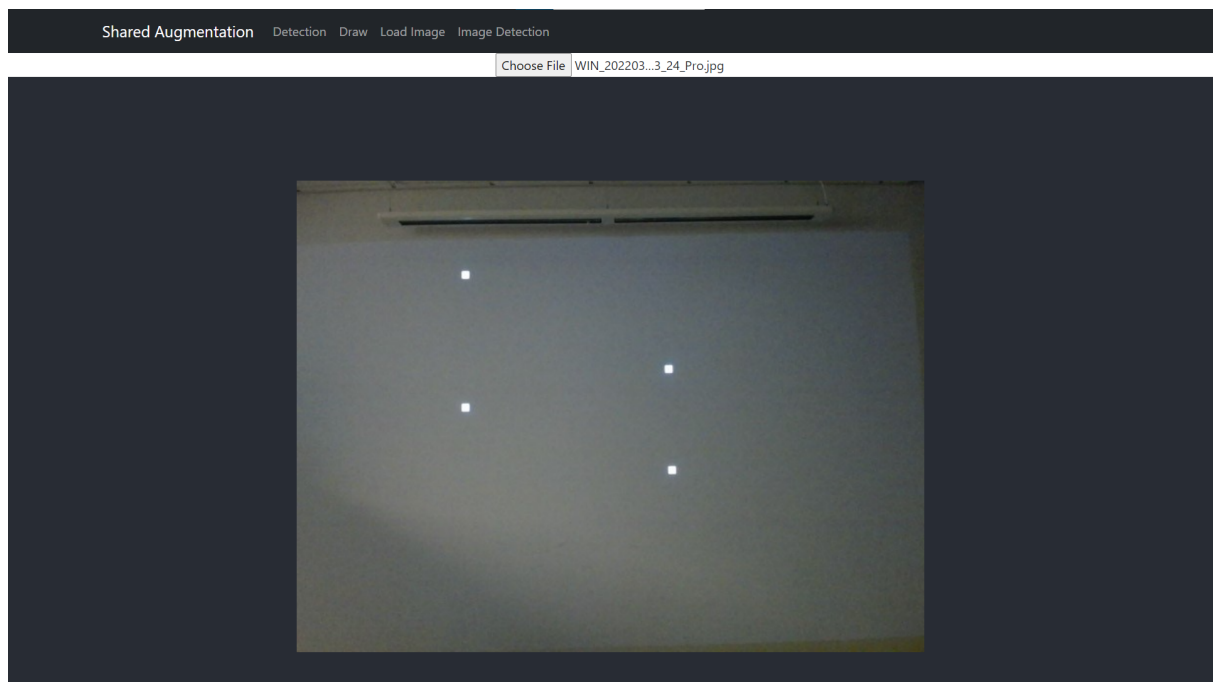




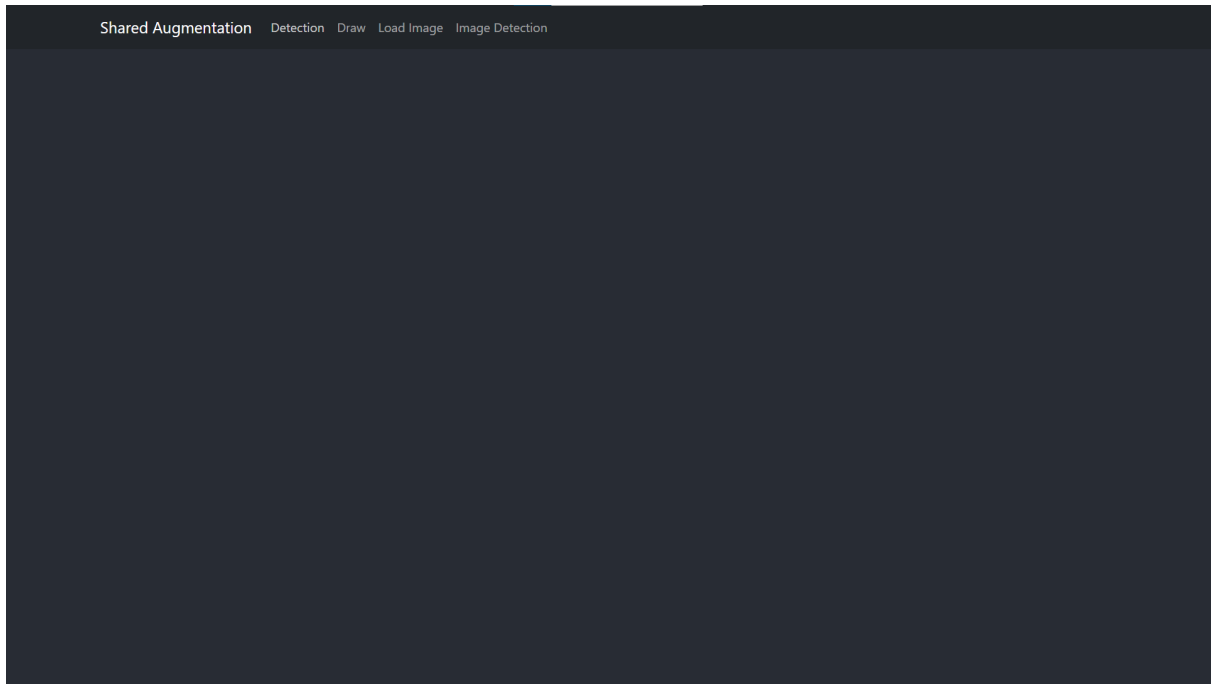
### [3] “Draw”



### [4] “Load Image”



## [5] “Image Detection”



# Källförteckning

- [1] Martirosov S, Kopecek P. VIRTUAL REALITY AND ITS INFLUENCE ON TRAINING AND EDUCATION - LITERATURE REVIEW [Internet]. Daaam.info. 2022 [Hämtad 2022-03-01]. Tillgänglig på: [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2017/100.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2017/100.pdf)
- [2] 7. Furht B. Handbook of Augmented Reality. Springer Science & Business Media; 2011. [Hämtad 2022-03-03]. Tillgänglig på: [https://books.google.se/books?id=fG8JUdrScsYC&printsec=frontcover&source=gb\\_s\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.se/books?id=fG8JUdrScsYC&printsec=frontcover&source=gb_s_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [3] Carmigniani J, Furht B, Anisetti M, Ceravolo P, Damiani E, Ivkovic M. Augmented reality technologies, systems and applications. 2010. [Hämtad 2022-03-05]. Tillgänglig på: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11042-010-0660-6.pdf>
- [4] 9. Lee J, Kim Y, Heo M, Kim D, Shin B. Real-Time Projection-Based Augmented Reality System for Dynamic Objects in the Performing Arts. 2015. [Hämtad 2022-03-08]. Tillgänglig på: <https://www.mdpi.com/2073-8994/7/1/182>