



## Intuitiv Programmering af Den Lille Hjælper

### Projektets formål og resultat

#### *Projektets formål*

Målet med projektet var at skabe en mobil og kollaborativ robotplatform med en brugervenlig grænseflade, som er let og intuitiv for en operatør at benytte til at udføre enkle opgaver forskellige steder i slagteriet uden ekspertassistance. Systemet kan bidrage til at gøre arbejdsmiljøet på slagteriet mere attraktivt ved at udnytte nye teknologier og erstatte besværlige opgaver.

Projektet har udarbejdet en funktionsmodel, hvor der er udviklet en grafisk brugergrænseflade (GUI) for at vejlede operatøren i at benytte den til forskellige operationer. Ved at interagere med GUI'en kan operatøren vælge, hvilken opgave han/hun vil udføre. Der blev implementeret et robotsystem til at udføre en "spoleben pick & place-opgave", som var den valgte testcase i dette projekt. Et visionsystem med AI-baseret algoritme leverer information om udtagning af kødstykker til den kollaborative robot, som udfører udtagningsbanen for at gribe og placere den på målstedet ud fra de krævede leveringspecifikationer.

#### *Opnået effekt af projektet*

I dette projekt er det lykkedes at udføre "spoleben pick & place-opgaverne" via en GUI. Der blev udviklet et automatiseringssystem til opsamling og placering, og sideløbende blev der implementeret en GUI for at hjælpe operatørerne med nemt at kontrollere og overvåge systemet. Det betyder, at slagterierne kan gøre bedre brug af systemerne, når der er behov for det uden ekspertassistance. Ved at benytte den samme platform til forskellige operationer får man fleksibilitet og øget effektivitet sammenlignet med dedikerede standalone løsninger for hver enkelte operation.

#### *Resultat vs. formål opdelt på bruger, sektor og samfund*

Den enkelte operatør på slagteriet vil få et forbedret arbejdsliv gennem mindre fysisk krævende arbejde. En betydelig højere grad af automatisering i industrien vil fjerne det hårde fysiske arbejde og erstatte det med overvågningsarbejde og kvalitetskontrol. På længere sigt vil samfundet opleve færre udgifter til sundhedssektoren og mindre sygefravær.

### Oplæg til videre arbejde

I samarbejde med slagterierne er der mulighed for at implementere systemet i produktionen med yderligere test og udvikling af platformen på slagteriet. Platformen kan udvides til andre operationer, hvilket vil kræve nyt griberdesign og softwareudvikling. Den UR-robot, der anvendes i dette projekt, har en hastighedsbegrænsning, der vanskeliggør opnåelse af høj kapacitet. Det anbefales at erstatte UR10e med en cobot med højere hastighed eller en industriel robotarm med sikkerhedshegn. Indsatsen i dette projekt kan give industrien fordele i form af besparelser på uddannelse af operatører, arbejdsfaciliteter og infrastruktur.

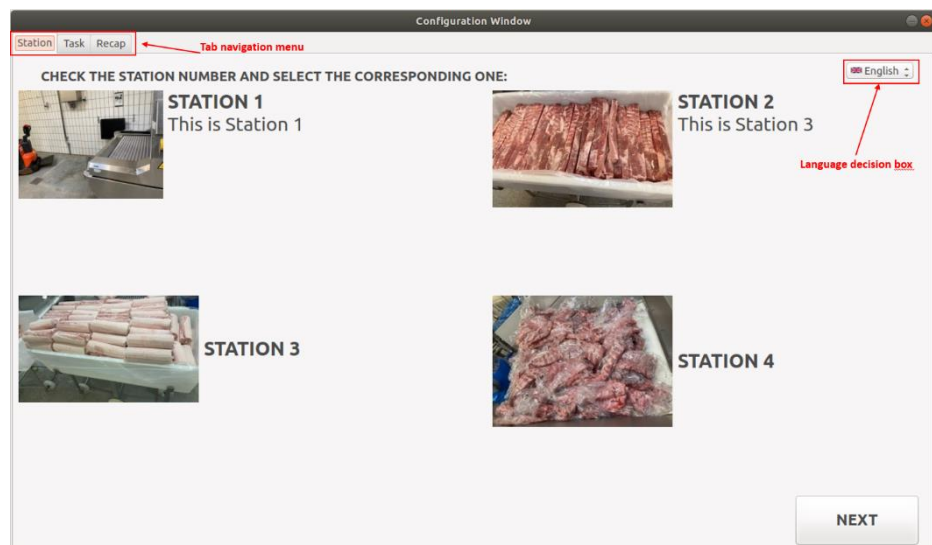
### Beskrivelse af løsningen

#### Beskrivelse af funktionsprincip

"Spolebens pick & place-opgaven" kan udføres via en GUI på en mobil platform, der er udstyret med en kollaborativ robotarm, et 3D-kamera, en griber og et avanceret AI-baseret styresystem.

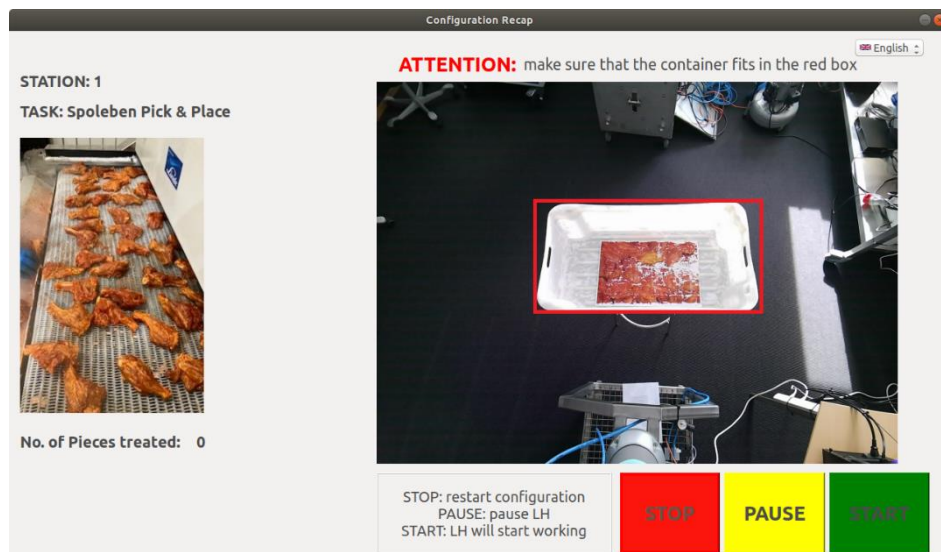
#### GUI

GUI'en fungerer som et konfigurationsflow, der har til formål at gøre opsætningsprocessen så strømlinet som muligt. Den tilbyder 2 hovedvinduer; opsætningsvinduet og opsummeringsvinduet.



Figur 1: Opsætningsvindue for GUI

Opsætningsvinduet er opdelt i tre faner, og giver brugeren mulighed for at vælge arbejdsstation, opgave og nogle avancerede konfigurationer, f.eks. for at vælge udleveringsmønsteret. Ved hjælp af GUI'en guides operatøren gennem de trin, der skal til for at gøre systemet klar til drift.



Figur 2: Opsummeringsvindue for GUI

Opsummeringsvinduet viser en komplet oversigt over de valgte muligheder sammen med en optæller af, hvor mange stykker kød, der er håndteret. Der vises også en video af den aktuelle scene og de tre knapper STOP, PAUSE og START til at interagere med systemet, mens det kører.

### Måling:

En visionalgoritme baseret på kunstige neurale netværk (deep learning) anvendes til at identificere det næste stykke kød, der skal udtages ud fra billedet. Algoritmen starter med at udkære et kvadratisk område af det fulde billede (figur 3). Det beskærede billede føres ind i AI-modellen for at finde de mulige segmenteringer af de enkelte stykker kød (figur 4). Det næste trin er at udvælge den bedste kandidat til udtagning (figur 5). Endelig identificeres kødets centrum og orientering til udtagning (figur 6). Denne information sendes til robotten med henblik på udførsel.



Figur 3: Det beskærede billede som input til AI-algoritmen



Figur 4: Segmenteringsresultater fra AI-algoritmen



Figur 5: Afstemningsystem til identifikation af den bedste kandidat til udtagning



Figur 6: Identifikation af center og orientering til udtagning

### Griber:

Værktøjets funktioner kan inddeles i tre overordnede mekaniske delsystemer: Griberne, loftet og et quick release system.

1) De blå silikonegriberne benytter sig af Bondy's "soft gripper teknologi", som griber sammen, når der skabes overtryk inde i griberen og giver slip ved undertryk.

2) De fire blå silikonegriberne presser kødet ind mod sit center og op i værktøjets "loft". Loftet er designet, så der skabes mest mulig friktion således, at kødet holdes fast.

3) Værktøjet er designet med et quick release system, hvilket betyder, at værktøjet kan afmonteres fra robotten på under 10 sekunder uden brug af værktøj.



Figur 7: Griber

### Pick & Place:

Den luftdrevne griber er monteret på flangen af en kollaborativ UR-robot. Når information om udtagning er bestemt af visionsystemet, genereres robotens handlingssekvens og sendes til UR-robotens controller. Sekvensen udføres, når den er nået frem til controlleren. Udførelsesrækkefølgen er som følger: Flytning fra udgangsposition til over kødet; dykning for at komme tæt på kødet; lukning af griberen; løft af kødet; flytning til målposition; åbning af griberen for at aflevere kødet; tilbage til udgangsposition.

Udtagningshøjden for det valgte kød er behæftet med usikkerhed (1-2 cm fejl), som opstår i visionsystemet og hånd-øje-kalibreringen. Denne usikkerhed håndteres af affjedring på griberen, som gør det muligt for griberen at gå dybt nok ned for at hente kødet uden at beskadige kødbeholderen eller det omgivende kød.

### Beskrivelse af mekaniske delsystemer

For at kunne aktivere Bondy griberne skal man kunne kontrollere trykket inde i griberne. Hertil har vi opbygget et elektrisk styret pneumatisk-system, som både kan producere overtryk og vakuum. Systemet består af 2 x VUVS-L25-P53C-MD-Q8-F8, FESTO Vacuum Generator og en tryk-regulator.



Figur 8: Elektronisk styret pneumatisk system til griberen

### Beskrivelse af elektriske delsystemer

Der anvendes et 3D-kamera af Microsoft Azure Kinect-typen, som producerer et RGB-billede og et tilsvarende dybdekort ved hjælp af IR-stråling med en frekvens på 30, 15 eller 5 Hz. Opløsningen i RGB-billedet er 1080x1920 pixels, mens dybdekortet har en præcision på ca. 2 millimeter afhængigt af IR-strålingens refleksivitet på objektet.

Integrationen af kamera og robot sker via ROS (Robot Operating System) på en stationær pc, som er udstyret med et stort grafikkort og en kraftig processor, der driver kameraet og deep learning-algoritmen samt robotstyrings- og visualiseringssoftware.

Robotten er fra UR og har en payload på 10 kg. Den typiske hastighed ved robotflangen er 1 m/s, afhængigt af, hvilke led på robotten der anvendes under bevægelsen.



Figur 9: platform med kamera, griber, robotarm og controller

### Beskrivelse af software

Kommunikationen mellem kameraer og robot foregår på den stationære pc via robotstyringssoftwaren ROS (Robot Operating System). Billederne indsamles fra kameraerne og processeres med deep learning-algoritmer på pc'en via ROS. Efter at punkterne er identificeret i RGB-billedet som beskrevet, anvendes kameraets interne kalibreringsparametre samt dybdekortet til at opnå 3D-koordinaterne (x, y, z). Efterfølgende transformeres koordinaterne til robotens koordinatsystem og anvendes som referencepunkter til at definere et pose for udtagning. Når pose er beregnet, meddeles aktionssekvensen til robotten, som udfører pick & place-opgaven, hvorefter den bevæger sig tilbage til udgangspositionen og er klar til den næste udførelsesrunde.

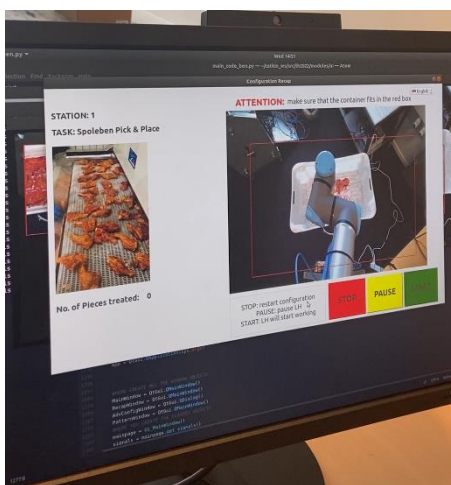
## Testresultater

### Resultat af afsluttende test

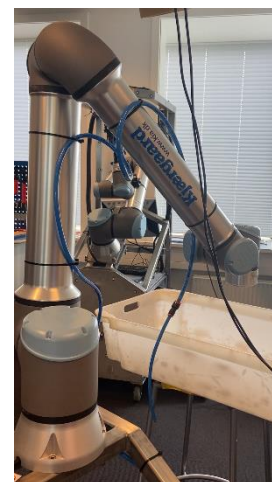
#### GUI test

Udviklingsprocessen involverede vores in-house slagter for at få feedback på brugeroplevelsen, hvilket førte til positiv feedback på det endelige GUI-system, der blev implementeret til dette projekt. GUI'en giver et godt niveau af brugervenlighed.

Den integrerede GUI med styresystem i ROS blev testet i en kontoropsætning med UR10e-cobotten på simuleret "kød" (trykt papir). Systemet blev konfigureret via GUI til succesfuldt at udføre spolebens pick & place-opgaven.



Figur 10: GUI under test



Figur 11: Robotarm i aktion

#### Pick & Place test

Den samlede platform bestående af kameraet, griberen og UR10e-robotarmen blev testet til spoleben-opgaven i pilot-plant på 147 kødstykker. Under testen blev robotten testet med 25-100% af maks. hastighed 1m/s.

#### Resultat:

Cyklustiden med robotten kørende ved 100 % af maks. hastighed er ca. 16 sek. Cyklustiden kan reduceres yderligere ved at optimere banen, fjerne de ekstra pauser i robotens programmering og eventuelt overveje at benytte en anden robot med højere hastighed.

Succeskriterierne under testen vurderes på grundlag af pick & place-præstationen. En vellykket operation defineres som en udtagning af det ønskede kød fra kassen og levering til det ønskede sted uden at stoppe robotten i bevægelsen på grund af sikkerhedskollisionsdetektion, forkert visioninformation og/eller fejl i griberen. Testresultaterne er opsummeret i tabel 1.

Generelt når succesraten 85 % for testen af 147 kødstykker. Der er flere grunde til, at systemet kan fejle:

- Den største fejl skyldtes griberen. F.eks. fejlede griberen i nogle tilfælde, da griberens fingre blev fanget på det tilstødende kød, hvilket forhindrede fingrene i at lukke. En anden type fejl ved griberen var, at den fangede en plastikpose, imens den greb kødet.
- En lille del af fejlene skyldtes forkert segmentering eller bestemmelse af centrum/orientering fra visionalgoritmen.
- I nogle tilfælde mislykkedes det, fordi griberen kolliderede med kassen, når den forsøgte at gribe kødet tæt på kanten af kassen. Det kan løses i fremtiden ved at tilføje en kasse-detektor i algoritmen.
- UR10e's sikkerhedssystem kunne udløses og dermed stoppe robotten, når den støder på modstand under bevægelsen.

Tabel 1: Test resultater

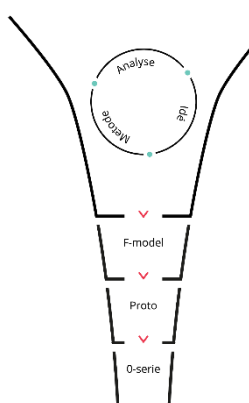
Antal af-prøvede kødstykker	Generel succes-rate	Fejl forårsaget af vision systemet	Fejl forårsaget af griber	Fejl forårsaget af robotens kollision med kassen	Fejl forårsaget af robotens sikkerhedssystem
147	85%	1.4%	8.2%	2.7%	2.7%

### Afvielser fra oprindelig kravspecifikation

Platformen kan nemt betjenes af en operatør via GUI'en for den valgte opgave. For at udvide platformen til nye operationer er det nødvendigt, at eksperter udfører offline-udviklingsarbejde for at generere nye kontrolalgoritmer og gribesystemer.

### Projekthistorik

Projektets historie opdelt efter innovationsmodellens faser og med tidslinje



Faser	Periode	Aktiviteter	Leverancer
Analyse	2021 Q3	Fastlægge: projektmål Patenterings-potentiale?	Kravspecifikation Analyserapport
Ide	2021 Q3	Idegenerere ift: • Værktøjer • Cases	Idekatalog • Værktøjer • Udformning af platform Konstruktion Kravspec. for valgte cases.
Metode	2021 Q3	Metode opbygning og test. Teste og erfarings-opsamle på testopstilling	Metodeværktøjer. Testresultater. FTO analyse
F-model	2022	Teste og erfarings-opsamle på testopstilling Opbygning og test af funktionsmodel i realistisk scenarie.	Testresultater. Demonstration Kommercialiserings partner er udpeget.
Proto			
0-serie			

### Økonomi

Projektregnskab med noter

Se den generelle SAF-projekt økonomi i noterne.

## Konklusion

Det er lykkedes os at udvikle den mobile platform med en GUI, en robotarm, en griber og et visionsystem til pick & place-opgaver. Platformen blev testet på den udvalgte spoleben-pick & place-opgave. GUI'en blev testet af en intern slagter, og der blev givet positive tilbagemeldinger, hvilket indikerer brugervenligheden og muligheden for benyttelse i produktion af operatører uden ekspertviden om systemet.

Testen på spoleben resulterede i en succesrate på 85 %. Den største fejl blev forårsaget af griberen. Ved at revidere udformningen af griberen forventes en succesrate på 93 %.

## Evaluering (Uploades ikke)

*Læring af teknisk karakter*

*Læring af samarbejds-mæssig karakter*

*Hvad skal bringes med videre?*

*Hvad skal gøres bedre næste gang?*

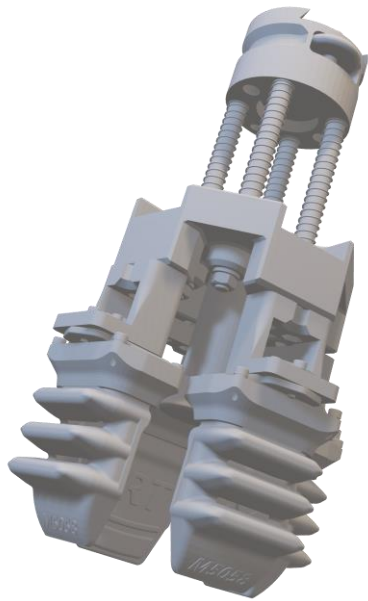
## Appendix

A1: Oprindelig kravspecifikation

A2: CAD dokumentation



\$\backslash\$DMR\IP2009606 Intuitiv programmering af den lille hjælper\ PETD-0020207.iam



A3: Dokumentation fra afsluttende test

.....\P2009606\_SAF 71 AP1 Intuitiv programmering af den lille hjælper\Fagligt\test skemaer\skabelon.xlsx

.....\P2009606\_SAF 71 AP1 Intuitiv programmering af den lille hjælper\Fagligt\LH\_GUI\_readme.docx

A4: Oprindelig tidsplan og realiserede tidsplan

A5: Budget ved projektstart

.....\P2009606\_SAF 71 AP1 Intuitiv programmering af den lille hjælpe\Mobile robotter.pdf

**Obs! Vær opmærksom på, at slutrapporter uploades på TI's hjemmeside og dermed er offentligt tilgængelige.**