



Slutrapport

7. januar 2020
Proj.nr. 2005334-18
KNJ/JUSS

Multifunktionsrobotter

Projektets formål

Formålet med projektet var at udvikle konkurrencedygtige produktionsceller i opskæringen, der via udbytteforbedring, større fleksibilitet og bedre kapacitetsudnyttelse optimerer indtjeningspotentialet, reducerer enhedsomkostningerne samt optimerer kapacitetsuafhængig service og vedligehold. Der skulle således udvikles en robotcelle, som kunne udføre følgende operationer:

- Mørbradudtagning
- Fjernelse af fortæer
- Øreaftagning
- Hovedaftagning

Projektet ville sammen med innovationsfondsprojektet ACMP være en vigtig hjørnesteen ved at bidrage med banebrydende, ny viden om kollaborative robotsystemer. Derudover ville projektet danne rammen om samarbejde med relevante aktører inden for augmented teknologier samt robotteknologier.

Opnåede effekt af projektet

Det primære fokus i 2018 var at opbygge en robotcelle og få afdækket risici omkring orienteringen og tilgængelighed på grisen. Hovedfokus var også at opbygge et robust samlet system i hardware og software således at dette muliggjorde fuld testaktivitet i 2019.

I 2018 blev leveret:

- Idékatalog med ideer til værktøjsdesign og opbygning af robotcelle.
- Opbygning og indkøring af en fuldt konfigureret robotcelle med målestyr, to industrirobotter, værktøjer og fleksibelt bord til at præsentere grisen.
- Design og fremstilling af et mørbradudtagingsværktøj i samarbejde med ekstern partner.
- En hydraulisk saks, som er modificeret med specialdesignede kæber til afskæring af fortæer, ører og hoved.

Det primære fokus i 2019 har været at dokumentere robustheden og kvaliteten af multifunktionsrobotten. Robotcellen fungerer autonomt, betydende at

robotterne selv, ved hjælp af visuel detektion baseret på kunstig intelligens, kan udvælge hvor og hvordan skæringen skal laves.

Der blev i den forbindelse udført flere valideringstest, som viste, at systemet løbende forbedres i kvalitet. Tæer og ører vurderedes at være på et acceptabelt niveau, og mørbradudtagning vurderedes at kunne opnå et acceptabelt niveau ved en iterativ fremgangsmåde over flere testseancer som der skal være fokus på i fremtidigt arbejde.

Hovedafskæring, som også var en del af scopet, var på nuværende tidspunkt ikke integreret på et stadie, hvor det kan afprøves i robotcellen, og denne proces har derfor ikke været inkluderet i testseancer. Mht. hovedafskæring foreligger en udførlig rapport, som dokumenterer en mulig metode til at fjerne hovedet.

Arbejds pakken nåede i mål med at udvikle metoder og værktøj, men det udestår stadig at vise funktionen på alle udvalgte demonstrationscases, samt at opnå den ønskede kvalitet.

Resultat vs. formål En fleksibel robotcelle, som laver 3 forskellige skæringer (hoved, mørbrad og fortæer) viste, at potentialet er til stede til at forøge fleksibiliteten og optimere udbytteforbedringer. Det blev bevist, at en tilstrækkelig præcision kan opnås for grise med stor biologisk variation ved at anvende kunstig intelligens til at analysere billedinput og give input til robotskærebener.

Oplæg til videre arbejde Oplæg til det videre arbejde er dokumenteret i metoderapporten.

Beskrivelse af funktionsprincip Robotcellen er opbygget af et bord placeret centralt. To industrirobotter, integreret med værktøjer, udfører arbejdsoperationerne. Kamerainputs kombineret med intelligent styring, baseret på kunstig intelligens, udregner robotbanerne som skal til for at lave skæringen. Specielt designer værktøjer, som er placeret på robotterne flange, sikrer, at kvaliteten opretholdes i skæringen.

Beskrivelse af mekaniske del-systemer **Industrirobotter**
Friarmsrobotter fra Fanuc blev anvendt for problemfrit at kunne opnå en korrekt placering af de skærende værktøjer.

Skærende værktøjer:

Mørbradudtagningsværktøj

Projektet har designet et mørbradudtagningsværktøj, som er specielt konstrueret til at blive placeret på robot. Værktøjet sidder i et fjederbelastet ophæng, som sikrer, at hård kontakt med knogler minimeres.

Saks

En industrihydraulisk saks blev benyttet som base for værktøjet. Nye kæber er blevet designet og fremstillet for at optimere skæreprocessen og anvendeligheden. En mekanisk holder og aktiveringsmekanisme er ligeledes indpasset i designet.

Aktivt skærende kniv

Som base for værktøjet er anvendt en aktiv luftkniv som er kommercielt tilgængelig. En holder til integration i robotten er fremstillet og testet. Knivens formål er aktivt at kunne skære, mens den bevæges i meget lineære robotbaner.

Beskrivelse af elektriske delsystemer

Diverse sikkerhedssystemer er implementeret og sikrer, at robotterne og værktøjerne kan opereres sikkert i forbindelse med test.

Beskrivelse af software

Hjernen i maskinen som definerer og udvælger skærepunkter for robotten er baseret på kunstig intelligens. Udførelsen af de forskellige operationer sker ved at kombinere følgende elementer i et softwarebaseret styringsystem: Billeder af grisen taget med 3D kameraer analyseres i computervision-algoritmer, som detekterer punkter i rummet, der bruges til at styre robotterne. Algoritmerne består af kunstige neurale netværk, der er designet til at kunne trænes og eksekveres hurtigt og med høj præcision. De neurale netværk får 2D billeder som input, og beregner et eller flere koordinater i billedet, som er essentielle for udførelsen af operationen.

Både koordinater til afskæring af ører og tæer danner et plan i rummet, som definerer skæreplanet for saksen. Dette plan justeres alt efter placeringen og orienteringen af grisen, baseret på grisens anatomi, og derfor overføres kompleksiteten til softwaren, så dyre mekaniske fikseringsløsninger undgås.

Mht. mørbrad anviser algoritmen et startpunkt og flere referencepunkter langs ryggraden, som også justeres autonomt baseret på grisens anatomi. Sektioner i ruten defineres også autonomt og individuelt ud fra de samme anatomiske målepunkter.

Den overordnede eksekvering af styringen sker i et software-framework, ROS (Robot Operating System), der er i stand til at koordinere interaktionen mellem mange separate komponenter i systemet. I sidste ende kommunikeres et eller flere punkter i rummet til robotterne, som bruger informationen til at definere en banebevægelse i forbindelse med udførelsen af en operation. Computervision-algoritmerne til billedbehandling er baseret på et Deep Learning software-framework, Tensorflow.

Testresultater

Test

Et større testprogram er gennemført for at udføre parametriserede tests for systematisk at forbedre systemet/robotstens performance.

Hvis kvaliteten vurderedes på baggrund kravspecifikation er systemets præcision på:

Tæer: Venstre: 100%, Højre: 80%

Ører: Venstre & Højre: 96%

Mørbradudtagning: Venstre & Højre: 60%

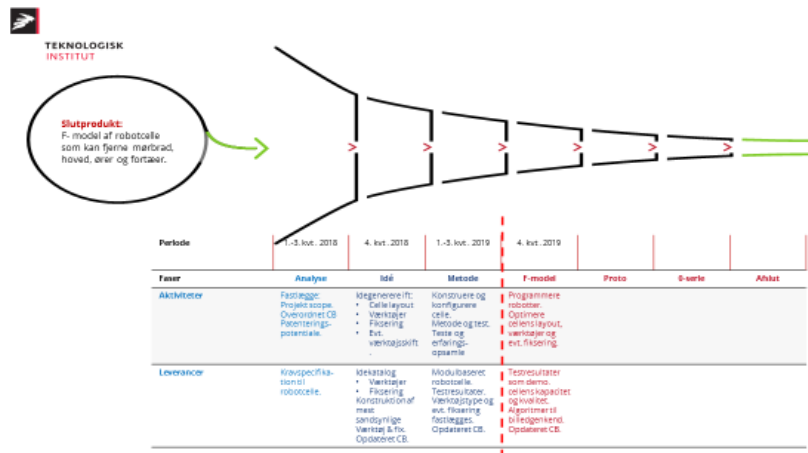
Tæer og ører vurderedes at være på et acceptabelt niveau, og mørbradudtagning vurderes at kunne opnå et acceptabelt niveau ved en iterativ fremgangsmåde over flere testseancer, hvor detektionssoftware, robotbane og mørbradværktøj udvikles yderligere.

Hovedafskæring, som også var en del af scopet var ikke integreret på et stadie, hvor det kunne afprøves i robotcellen, og derfor har den ikke været inkluderet i valideringstests. Mht. hovedafskæring foreligger der en udførlig rapport, som dokumenterer en mulig metode til at fjerne hovedet. Denne metode har været testet håndholdt, og viste gode resultater. De indledende forsøg med at integrere metoden med robotstyring har også vist, at det er muligt.

Der har ikke været foretaget FAT og SAT test, da projektet ikke har leveret en funktionsmaskine.

Afvigelse fra kravspecifikation
Projektets historie

Kravspecifikationen er vedhæftet i appendix.



Økonomi

Se generelt projektregnskab

Læring af teknisk karakter

Der er i projektet opnået en stor viden om opbygning af kunstig intelligens algoritmer, og hvilke parametre, der er kritiske for kvaliteten af operationerne og for at en høj robusthed opnåes.

Det er også erfaret, hvordan de udviklede værktøjer interagerer med kød, og de dynamikker som gør sig gældende.

Læring af samarbejdsarbejds karakter Inddragelse af følgegruppen har især i starten af projektet været for mangelfuld, og det ønskes der et højere fokus på fremadrettet.

Hvad kan gøres bedre? Afgrænsning og præcisering af projektets leverancer og mål skulle have været foretaget tidligere.

A1. Oprindelig kravspecifikation



Kravspecifikation: Multifunktionsrobotter og fikstur til multifunktionsrobotter

Automatisk fjernelse af fortæer, ører, hoved samt automatisk løsnings og fjernelse af mørbrød.

Projektnr: 2006279, 2006280 og 2007073 Udført af: KNJ QA: KNJ Version: #2 / 2019 Dato: 1/2 2019

1.1 Forudsætninger for input:

EMNE	BESKRIVELSE	BEMÆRKNINGER
Beskrivelse af slagtekrop	Slagtekroppe fra svin med en slagtevægt imellem 60 – 110 kg. Der er ingen forbehold for køn i forhold til almindelige special- og slagtegrise.	Slagtevægt ligger i gennemsnit på 85 kg pr. slagtekrop. Udstyret skal kunne håndtere både hangrise, galtgrise og so-grise.
Produkt type	Slagtekroppen er ophængt på hængejern i bagtæn og tilføres robotcellen fra conveyer. Slagtekroppen er midt flækket og hovedet delt i midten. Slagtekroppen er delt i to halvdele og sammenhængende i trynen. Slagtekroppen forventes at have en længde mellem 1.500 til 2.100 mm fra underside af hængejern til tryne.	Slagtekroppen tilføres og præsenteres i cellen på hængejern. Slagtekroppe uden skinke eller nøgleben (snoregrise) bearbejdes ikke maskinelt / skal kunne passere.
Forudgående proces		
Produkt temperatur	Temperaturen på tilførte slagtekrop skal være udlignet og have en kerntemperatur mellem [3°C ; 5°C].	Optimering af skære og klippe funktioner samt sikre rette kvalitet og udbytte.

1.2 Tilførsel af produkt

EMNE	BESKRIVELSE	BEMÆRKNINGER
Tilførsel af slagtekroppe	Slagtekroppen tilføres <ol style="list-style-type: none"> ophængt på autoriseret hængejern på glidestang og hængende i haserne/bagtå. Liggende, foldet ud, på eksempelvis et transportbånd. Orientering af slagtekrop i cellen er ikke fastlagt, men kan orienteres vertikalt, horisontalt og/ eller som kombination herimellem.	Forskellige krav til orientering og præsentation af slagtekrop ifm. afskæring af hoved, tæer, ører og mørbrød.

Kravspecifikation: Multifunktionsrobotter og fikstur til multifunktionsrobotter

Automatisk fjernelse af fortæer, ører, hoved samt automatisk løsning og fjernelse af mørbrad.

Projektnr: 2006279, 2006280 og 2007073 Udført af: KNJ QA: KNJ Version: #2 / 2019 Dato: 1/2 2019

Stand-alone udstyr	<p>Multifunktionsrobotter implementeres i en celle bestående af samarbejdende robotter i opskæringen, der som udgangspunkt placeres før 3-deler.</p> <p>Multifunktionsrobotter kan fæstnes enten i gulv, loft eller væg.</p> <p>Der er ikke særlige veterinærmæssige krav til rengøring af værktøj ud over rengøring og sterilisering som følge af kontaminering.</p> <p>Slagtekroppen kan kunne passere udstyr uden at udstyret går i indgreb.</p>	<p>Robotterne udstyres m. dedikerede værktøjer til afskæring af hoved, ører, fortæer og mørbrad.</p> <p>Fokus: Operationsradius, rengøring, indhegning, værktøjskift, pladskrav.</p> <p>Sterilisering af værktøj skal udføres ved forurening / kontaminering af abscess, olie etc.</p> <p>Undgå stop/fejlfærdigheder på snore grise, forurening etc. via by-pass.</p>
--------------------	---	---

1.3 Specifikation og krav til det færdige produkt

EMNE	BESKRIVELSE	BEMÆRKNINGER
Kvalitet.	<p>Aut. afskæring/klipping af ører foretages med et lodret snit i hele ørets bredde og så tæt på øregang som muligt uden at medtage øregang.</p> <p>Aut. afskæring/klipping af fortæer foretages med et snit / klip umiddelbart over "knoppen" i øverste led.</p> <p>Aut. afskæring af hovedet foretages ved gennemskæring af "gnikket" og så tæt på bagsiden af kraniet uden at efterlade nakke muskulatur på bagsiden af dette.</p> <p>Aut. udtagning af mørbrad foretages med wizard kniv / værktøj. Mørbrad hovedet friskæres fra underkanten nøglebenet i fuld størrelse og efter friskæring af mørbrad hovedet trækkes resten af mørbraden fri af slagtekroppen.</p>	<p>Øret afskæres/klippes i maximal str. med et uafbrudt snit uden øregang og flosset sværkant i snitflade. Øret skal kunne flades ud på plan flade.</p> <p>Fortæen må ikke afskæres / klippes i "rækker" ledet og sværkanten må ikke være flosset.</p> <p>Svinehovedet er via midtflækning delt i midten og afskæres som 1/2 hoveder, med minimalt efterladt nakkemuskulatur på hovedet.</p> <p>Anvendelse af wizard kniv gør det vanskeligt ikke at medtage underliggende skinke muskulatur og tilstødende lyskekød, men det skal begrænses mest muligt ifm. løsning af mørbradhoved.</p>

Kravspecifikation: Multifunktionsrobotter og fikstur til multifunktionsrobotter
Automatisk fjernelse af fortæer, ører, hoved samt automatisk løsning og fjernelse af mørbrød.

Projektnr: 2006279, 2006280 og 2007073 Udført af: KNJ QA: KNJ Version: #2 / 2019 Dato: 1/2 2019

Kapacitet	<p>Kapaciteten kan ikke defineres direkte da den er et produkt af flere faktorer.</p> <p><u>Nøgleparametre (variable):</u> A = Areal af en celle (m²) I = Investering pr. celle (kr.) C = Antal celler K = Kapacitet af cellen (grise/time)</p> <p><u>Faste parametre:</u> T = Total investering (kr.) eller P = Produktionsareal (m²) Ø = Ønsket kapacitet (grise/time)</p> <p>Kapaciteten skal ud balanceres af: $K/\delta = T/(I * C)$ og $K/\delta = P/(C * A)$</p>	Kapacitetskrav indfries ved antal af robotceller / påvirker CB og ROI.
-----------	--	--

1.4 Maskintekniske funktionskrav

EMNE	BESKRIVELSE	BEMÆRKNINGER
Glidestangshøjde	2,5 – 3 meter	
Maskine dybde	TBC	
Maskine længde	TBC	
Indplacering på Linje	Teknologien placeres i opskæringen før 3 deler.	
Betjening	TBC	
Operation	Maskinen betjenes i det daglige af en fra opskæringen udvalgt operatør, der er instrueret i maskinens brug.	Båndløber / maskinoperatør.
El systemer og styring	El-skab og el-artikler skal opfylde gældende regler i Maskindirektivet samt CE-krav	
Rengøring	<p>Maskinen skal kunne rengøres ved brug af normal rengøringsprocedure med vand samt godkendt rengøringsmiddel.</p> <p>Maskinen skal rengøres i overensstemmelse med gældende krav.</p>	<p>Maskinel, panel, afdækning etc. skal tåle rengøringsmidler og rengørings procedurer gældende på slagterier.</p> <p>Skal kunne tåle slagterirengøring jf. kravspecifikation fra DC / Tican.</p>

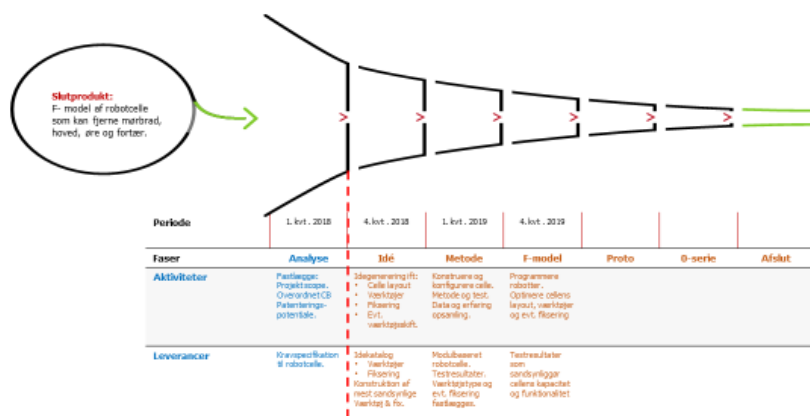
A2. CAD-dokumentation

Da projektet ikke har leveret en funktionsmaskine blev den endelige løsning ikke CAD dokumenteret. Robot set-up, delsystemer, værktøjer og det nuværende test-setup er dokumenteret i CAD.

A3. Dokumentation af SAT

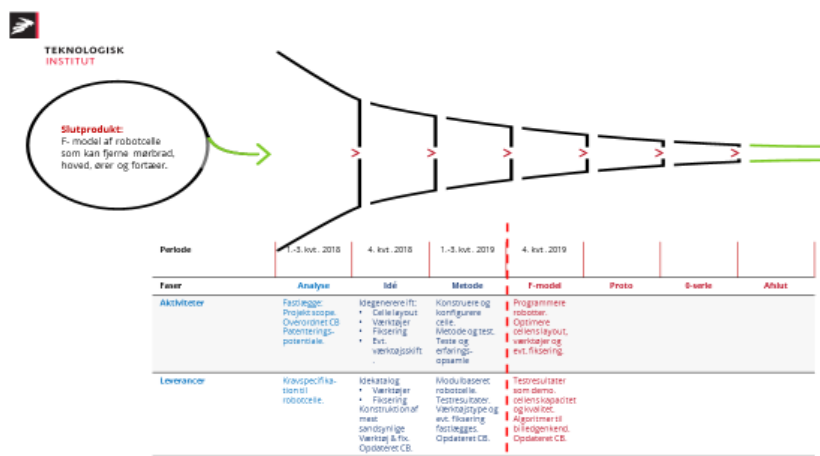
I projektet har der ikke været foretaget SAT.

A4. Oprindelig tidsplan og realiserede tidsplan



2

Realiseret tidsplan



A5. Budget ved projektstart 2018, 2.000 t.kr.
2019, 3.318 t.kr.