

Edda Solem

Robot for kvalitetsortering av øyerogn av laksefisk

Masteroppgave i Kybernetikk og robotikk

Veileder: Morten Alver

Juni 2020

Edda Solem

Robot for kvalitetsortering av øyerogn av laksefisk

Masteroppgave i Kybernetikk og robotikk
Veileder: Morten Alver
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for teknisk kybernetikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Innhold

Liste av tabeller	v
Liste av figurer	ix
Sammendrag	xi
Forord	xiii
1 Introduksjon	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Tidligere arbeid	2
1.4 Verdiestimat	3
1.5 Rogn dødelighet	3
2 Material og Metode	5
2.1 Testanlegget	5
2.2 Robotdesign	5
2.2.1 Alternative utforminger	7

2.2.2	Utforming	9
2.2.3	Festeanordning	11
2.2.4	Utsugningsenhet	12
2.2.5	Kamera	13
2.3	Styring	13
2.3.1	Overordnet	13
2.3.2	Raspberry pi	16
2.3.3	Motordriver: Duet 2	16
2.3.4	Posisjonering	22
2.3.5	Maskinsyn system	27
2.3.6	Pumpe	27
2.4	Testing	27
2.4.1	Rognerstatning	27
2.4.2	Kjøretest	28
2.4.3	Repererbarhetstest	30
2.4.4	Posisjoneringstest	30
2.4.5	Plukketest	32
3	Resultat og Diskusjon	35
3.1	Testresultater	35
3.1.1	Repererbarhetstest	35
3.1.2	Posisjoneringstest	38
3.1.3	Plukketest	41
3.2	Viderearbeid og mulige forbedringer	43
3.2.1	Festeanordningen	43
3.2.2	Fullstendig test	44
3.2.3	Øke avstand mellom kamera og klekkebakke	44

3.2.4	Dybdeestimering	44
3.2.5	Effektivisering	45
3.3	Konklusjon	45
A	Oppgave tekst	49
B	Datablad	53

Tabeller

2.1	Tabell som viser lengden på de forskjellige delene av og i klekkarene	6
2.2	Resultattabell for repeterbarhetstest	30
3.1	Tabeller som viser antallet rognkorn som ble pumpet ut i rogn-testen. Første kolonne viser til pumpens effekt som en prosent av maksimal. Første rad viser tiden pumpen var på. De andre rutene inneholder antall rognkorn som ble pumpet ut i hver av de 3 utpumpingsforsøkene.	42

Figurer

1.1	Manuell fjerning av rogn med pinsett. Seksjonen med færre hvite rognkorn ble plukket en dag i forveien.	2
2.1	Klekkekar med rogn	6
2.2	Død rogn ved linjal.	7
2.3	Figur av kartesisk robot med koordinatsystem øverst til venstre av bildet.	8
2.4	Illustrasjon av kartesisk robotarm over klekkekar. Den svarte sirkelen representerer et rør som blokkerer bevegelsen.	9
2.5	Illustrasjon av sylinder robotarm over klekkekar. Den blå sirkelen indikerer stedet hvor festeanordningen er koblet til roboten.	10
2.6	Skisse av robotarm og rognkar med mål.	11
2.7	Sammenfesting av de to lineæraktuatorene. De to svarte platene er festet sammen med to skruer.	12
2.8	Overlapp mellom to karkanter	13
2.9	Bilde av hele roboten. Boksen med teksten “Travel” inneholder Raspberry pi og duet.	14

2.10	Bilde av festepunktet mellom motoren for rotasjonsleddet og akslingen som kobler resten av roboten til festeordningen. Opp til høyre på akslingen er en svart skrue. Denne svarte skruen er en settskrue, og brukes for å stramme slik at delene sitter bedre sammen.	15
2.11	Bildet av festet mellom aksling og horisontal lineæraktuator. . . .	16
2.12	Peristaltisk pumpe fra Watson Marlow med 70watt DC motor fra Premotec	17
2.13	Feste av kamera. Kameraet er festet via en plankebit for å hindre kontakt med bevegelige deler. Planken hviler på skiven mellom et hjul og den svarte platen.	17
2.14	Flytdiagram av overordnet styringssystem	18
2.15	Kommunikasjonsdiagram som viser samspillet mellom de forskjellige hardware komponentene. Heltrukket linje refererer til 2 veiskommunikasjon og striplet linje refererer til kommunikasjon i kun en retning. En pil fra Raspberry pi til kameraet indikerer at Raspberry pi sender kommandoer til kameraet.	18
2.16	Bilde av duet etter oppkobling.	19
2.17	Bilde av den horisontale lineæraktuatoren. Bryteren nederst til venstre i bildet er endestoppen.	20
2.18	Figur av robot, sett ovenfra, med påtegnede rammer. De røde pilene, i sentrum av figuren, viser x- og y-aksen til initialrammen. Striplede linjer refererer til robotens initialposisjon, mens heltrukkede linjer refererer til robotens daværende posisjon. De gule pilene viser x- og y-aksen til robotrammen.	23
2.19	Figur av robotarm for visualisering av invers kinematikk utregning. r er vektor fra initialramme til robotramme og s er vektor fra robotramme til utsugningsenhet. Utsugningsenheten er påtegnet i gul, med stor avstand til robotarmen for bedre visualisering. . . .	26
2.20	Vannperler med lineal. Vannperlende lå i springvann før måling. . .	28
2.21	Vannperler med lineal. Vannperlene lå i en blanding av vann og salt over lengre tid, før de ble tatt ut av vannet for måling.	28
2.22	Granulater i vann	28

2.23	Strikk på den vertikale lineæraktuatoren	29
2.24	Bilde fra kameraet med et utprintet bilde av rogn festet på underlaget. De svarte merkene viser til koordinater av død rogn.	31
2.25	Bilde fra kameraet. De svarte merkene viser til ønskede koordinater.	31
2.26	Penn festet til vertikal lineæraktuator via en planke	32
2.27	Oppsett for plukketest.	33
3.1	Resultater fra repeterbarhetstest	36
3.2	Figur for analyse av rotasjonsavvik.	37
3.3	Resultater fra posisjoneringstestene. De røde merkene er merker lagd av roboten. De grønne merkene har blitt tegnet for hånd over de svakeste røde merkene, for bedre visualisering. De grå markeringene på krysset har 1 cm avstand fra hverandre.	40

Sammendrag

Sopp på rogn er et problem hos oppdrettsanlegg av laksefisk. Soppen er avhengig av døde rognkorn for å kunne spre seg og ta livet av levende rogn. Det er derfor viktig å fjerne døde rognkorn for å redusere spredning av sopp. Fjerning av død rogn er en tidkrevende prosess som utføres for hånd, ofte med pinsett. Det er en prosess som krever høy presisjon for å hindre skade på nærliggende rogn.

Denne oppgaven vil ta for seg bygging og testing av en robot som skal fjerne død rogn autonomt. Roboten som bygges er en sylindrerobot med tre frihetsgrader. Denne roboten kan plassere seg vilkårlig i klekkekaret og fjerner død rogn med å suge den opp gjennom en slange. Koordinatene til rognkornene blir funnet med bruk av kamera og et maskinsyn system. Roboten tar utgangspunkt i klekkekarene hos Norwegian Fish Farms Tydal.

Oppgaven vil gå inn på designvalget og delene som utgjør roboten. Den vil også innebære tester av posisjonering og plukking. Testene viser at presisjonen ikke er like god som ønsket, men ellers virker roboten lovende.

Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med faget “TTK4900 - Teknisk kybernetikk, masteroppgave” som en del av en mastergrad i Kybernetikk og robotikk på NTNU. Oppgaven er utført i tidsrommet januar 2020 til juni 2020, og bygger videre på en prosjektoppgave som ble skrevet i tidsrommet august 2019 til januar 2020.

I forbindelse med oppgaven vil jeg si takk til veileder Morten Alver og medveileder Torfinn Solvang som har bidratt med ideer og kunnskap. I tillegg ønsker jeg å si takk til mekanisk verksted som har bygget festeanordningen og anskaffet pumpen. En takk går også ut til Stian Aspaas som har betalt for robotens deler.

Denne oppgaven har blitt påvirket av koronautbruddet i mars 2020, som førte til stenging av NTNU. Jeg mistet dermed tilgangen til verkstedet og måtte ty til alternative festemetoder ut fra tilgjengelig utstyr i hjemmet. En siste takk går til min familie som klargjorde et “Robotrom”, slik at arbeide kunne fortsette hjemmefra.

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Motivasjon

Saprolegniose på rognkorn er et problem hos mange oppdrettsanlegg. Det er en sykdom som kommer av eggsporesopp innen slekten *Saprolegnia* og kan ta livet av rogn. *Saprolegnia* kan komme inn gjennom vanninntaket og bli liggende i rør. I en artikkel om Saprolegniose fra veterinærinstituttet (1) forklarer de hvordan soppen i utgangspunktet ikke angriper levende rogn. Den angriper derimot død rogn, og danner hyfer som kan penetrere levende rognkorn slik at de dør. I inkuberingsfasen, altså før rognen klekker, kan sykdommen dermed kun etablere seg dersom det er døde rognkorn til stede.

En måte å behandle Saprolegniose er ved bruk av formalin. Følgende sitat er hentet fra veterinærinstituttets artikkel: “Formalin er imidlertid det mest kostnadseffektive middelet som per i dag er kjent, og vil i de fleste tilfeller være førstevalg ved bekjempelse av et utbrudd. Bruken av formalin i akvakultur også omdiskutert, og er for tiden oppe til vurdering i EU-systemet. Det kan dermed bli innført begrensninger eller forbud mot bruk av formalin mot parasitter og sopp på fisk i løpet av få år. Det blir dermed ekstra viktig å fokusere på forbyggende tiltak”. Formalin er altså ikke en optimal måte å håndtere utbrudd på. I neste avsnitt av artikkelen påpekes fjerning av rognkorn og annet organisk materiale som den viktigste forebyggingsmetoden.

Død rogn er lett gjenkjennelig med hvit farge, som skiller seg fra den vanlige goloransje fargen. Selv om døde rognkorn er lett å gjenkjenne er fjerning av død rogn en svært tidkrevende prosess. Denne prosessen utføres vanligvis for hånd med enten pinsett eller pippete. Stian Aspaas, daglig leder for Norwegian Fish Farms

Tydal, informerer at de fjerner døde rognkorn med pinsett. Figur 1.1 viser et bilde av prosessen. Plukkingen tar 2-3 timer per dag. Dette skjer i hele klekkeperioden som pågår fra oktober til januar. I tillegg er det ekstra mange rognkorn som dør de første dagene, ofte fordi de ikke blir befruktet. Han påpeker at de ikke bruker formalin da det er en potensiell carcinogen ¹ og ikke er særlig heldig å jobbe med i rom hvor folk oppholder seg.



Figur 1.1: Manuell fjerning av rogn med pinsett. Seksjonen med færre hvite rognkorn ble plukket en dag i forveien.

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven omhandler bygging og testing av en robotarm. Robotens mål er å fjerne død rogn fra et klekkekar, for å hindre unødvendig spredning av sopp. Oppgaven bygger videre på en prosjektoppgave (5). Planlegging og innkjøp av deler til robotarmen ble utført som en del av prosjektoppgaven. Det samme gjelder individuell styring av de forskjellige leddene.

Denne oppgaven tar for seg videre bygging av roboten. Det innebærer sammensetting av de forskjellige leddene til en robotarm, samt anskaffelse av pumpe, kamera og festeanordning. Oppgaven vil også ta for seg styringen og kommunikasjonen mellom de forskjellige enhetene. Hele oppgaveteksten kan leses som tillegg A.

1.3 Tidligere arbeid

I 2018 lage en bachelor gruppe på NTNU(4) en robot, med navnet “RoeBot”, som hadde lignende mål. Gruppens mål var å utvikle en “proof of concept” robot for fjerning av død rogn. I likehet med denne oppgaven skulle roboten identifisere død rogn med datasyn. Gruppen tok utgangspunkt i et oppdrettsanlegg hvor rognen var plassert i et stativ med flere brett. Plasseringen av rognen førte til designmessige

¹kreftfremkallende

forskjeller mellom “RoeBot” og roboten i denne oppgaven. “RoeBot” er en karte-sisk robot, som medfører at aksene kan styres separat, med en motor per akse.

Gruppen tok i bruk rognestatning for testingen. Som rognestatning brukte de vannperler for å etterligne levende rogn og hvite softair kuler for å etterligne død rogn. Gruppen konkluderte med at roboten var en suksess, men påpekte et stort forbedringspotensiale.

1.4 Verdiestimat

La oss si at roboten i denne oppgaven reduserer tiden en ansatt bruker på rognfjerning til en halv time per dag, altså en reduksjon på rundt 2 timer per dag. For å finne ut hvor store utgifter som kan spares må kostnaden av en ansatt beregnes.

I følge ssb har havbruksansatte en lønn på 45 660 pr måned i median (2). Dette tilsvaret 547 920 kr i året. Hvis vi tar utgangspunkt i denne årslønnen, og altinns kalkulator for kostnaden av en arbeidstaker kommer vi fram til en kostnad på 646 524kr i året (3). Hvis vi videre antar et standard arbeidsår med 230 arbeidsdager og 7,5 time per dag oppnår vi en utgift på 375kr per arbeidstime.

En slik robot vil altså estimert spare 750 kr per dag i hele rognperioden på 3-4 måneder. Dette tilsvarer 78 750 kr over en periode på 3,5 måned.

1.5 Rogn dødelighet

Et annet aspekt av plukkingen er endring i dødelighet. Stian Aspaas fortalte at død rogn kan bli liggende over natten pga. manglende tid til plukking. Dersom roboten effektiviserer oppgaven kan rognplukking bli en mindre nedprioritert oppgave, og smitten mellom rognkorn kan gå ned. Mindre smitte vil føre til redusert dødelighet.

Stress er også en viktig faktor når det kommer til dødelighet. Rognplukkingen er en delikat oppgave, og nærliggende rognkorn kan ta skade under plukking. Det er derfor viktig å sikre en presis og skånsom robot som ikke påfører unødvendig stress og skade på nærliggende rogn. En annen stressfaktor er lysforhold. Rogn trives best i mørket, og klekkekarene i Tydal er dekt av isoporplater for å begrense lysmengden. Isoporplatene fjernes under plukking og plukketiden vil altså være avgjørende for å begrense lysmengden. En effektiv plukkerobot er derfor nyttig for å hindre stress.

Kapittel 2

Material og Metode

2.1 Testanlegget

Dette delkapittelet er basert på et besøk som ble utført som en del av prosjekt-oppgaven. Ingen ny informasjon om testanlegget har blitt anskaffet og resten av delkapittelet er derfor direkte avskrift fra prosjektrapporten.

Testingen vil foregå hos Norwegian Fish Farms Tydal som driver med oppdrett av Røye. Der er rognen plassert på runde rister omtalt som klekkebakken. Disse ristene ligger i vannfylte kar på ca. 1x1 meter med avrundede kanter. Klekkekaret er avbildet i figur 2.1. I midten av ristene er en sil som er nødvendig for å regulere vannivået. Målene på de forskjellige delene av karet og klekkebakken er oppgitt i tabell 2.1. Tabellen er basert på måling av kun et kar og det må tas høyde for variasjoner. Per 2019 er det 11 klekkekar. Den mest kritiske lengden er indre diameter, for å sikre at robotarmen ikke kolliderer med karkanten. Denne lengden ble målt på alle karene og varierer mellom 104 cm og 106 cm.

I tillegg til å måle størrelsen på karet ble størrelsen på et utvalg døde rognkorn målt for å estimere vanlig størrelse. Målingen foregikk med linjal med millimeter merking, og alle de målte rognkornene var mellom 4mm og 6mm i diameter. Ved å sette flere rognkorn på rekke og regne gjennomsnittstørrelse ble gjennomsnittlig diameter estimert til 5,3mm. Figur 2.2 viser et lite utvalg døde rognkorn.

2.2 Robotdesign

For å bevege en robot til vilkårlige posisjoner i 3D-rom er det nødvendig med minst 3 frihetsgrader, altså 3 bevegelige ledd. Dersom det også er ønskelig å velge orientasjonen på endestykket er det nødvendig med 3 ekstra frihetsgrader. Rogn-



Figur 2.1: Klekkekar med rogn

Del	Lengde
Indre lengde klekkekar	1040mm
Ytre lengde klekkekar	1110mm
Diameter klekkebakke	985mm
Avstand mellom sil og kant på klekkebakke	355mm
Høyde sil	110mm
Høyde kant klekkebakke	105 mm
Avstand bunn klakkebakke og kant klekkekar	250 mm
Bredde karkant	30mm

Tabell 2.1: Tabell som viser lengden på de forskjellige delene av og i klekkerekarene

plukkingen gjør det ønskelig at endestykket alltid peker rett nedover. En ideell utforming er altså slik at endestykket alltid havner nedover, slik at 3 bevegelige ledd blir nok.

Endestykke er et begrep som brukes om enden av roboten. Endestykket er ofte et verktøy, men kan også være andre ting som kamera og sensorer. For denne roboten skal endestykket være en slange. Målet til en robot vil normalt være å plassere endestykket i ønsket posisjon så arbeid kan utføres. Et annet viktig begrep er arbeidsområde. Arbeidsområde er hele det området robotens endestykke har mulighet til å plassere seg. Leddvariabler er også et viktig begrep. En leddvariabel beskriver et ledds endring ut fra definert grunnposisjon. For lineære ledd vil leddvariabelen være en forflytning, og for et rotasjonsledd vil leddvariabelen være en vinkel.



Figur 2.2: Død rogn ved linjal.

2.2.1 Alternative utforminger

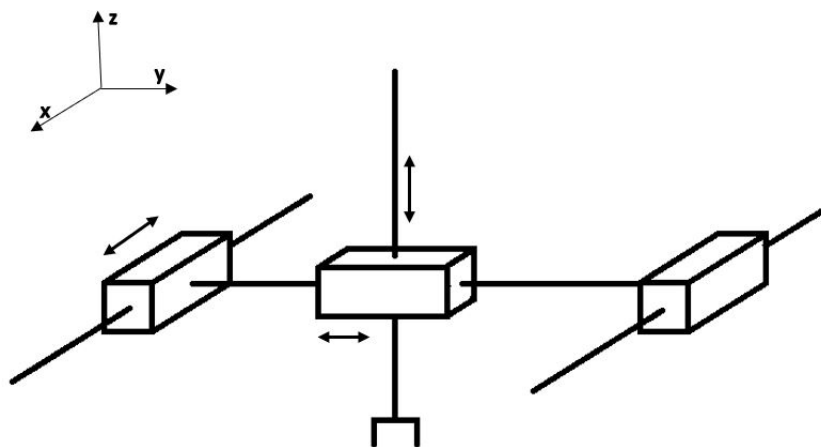
Valg av utforming inngikk som en del av prosjekt oppgaven. Dette delkapittelet, “Alternative utforminger”, er derfor sterkt basert på et delkapittel med samme navn i prosjektrapporten. De fleste avsnittene er direkte avskrift.

Kartesisk robot

Når robotarmen skulle defineres måtte først sammensetningen av bevegelige ledd bestemmes. Det enkleste alternativet var en kartesisk robot. Den består av 3 lineære ledd hvor hver av leddene styrer verdien til en av aksene i et kartesisk koordinat-system. Disse 3 leddene tilfører 3 frihetsgrader. Det siste leddet, z-leddet, vil alltid peke nedover og 3 frihetsgrader blir dermed tilstrekkelig.

Figur 2.3 viser vanlig utforming på kartesiske roboter. I denne figuren er det to skinner langs x-aksen som fører til økt stabilitet. Med en utforming som i figuren blir størrelsen på roboten større enn arbeidsområdet og det er nødvendig med tilgjengelig område rundt alle sidene av klemmebakken. Grunnet trange forhold vil le ikke denne roboten hatt plass. Modifiseringer hadde vært mulig, men det ville fremdeles blitt problemer med å nå hele klemmebakken. Dette er illustrert i figur 2.4. Figuren viser et klemmekar sett ovenfra. Den oransje sirkelen er klemmebakken, og det er ønskelig at roboten kan nå hele dette området. Den svarte sirkelen representerer et rør som går ned i klemmekaret. Dette røret blokkerer armen og hindrer at roboten kan nå det øverste området på klemmebakken.

Alle klemmekarene har rør. Med en enkel kartesisk robotarm, selv med modifiseringer slik at alle redundante skinner fjernes, vil det derfor ikke være mulig å nå hele klemmebakken.

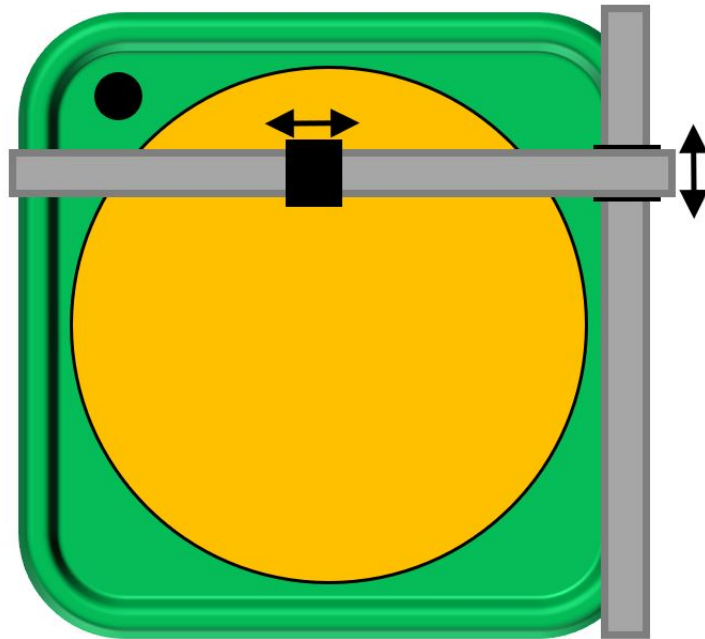


Figur 2.3: Figur av kartesisk robot med koordinatsystem øverst til venstre av bildet.

Sylinderrobot

Utformingen til klemmekarene fører til at enkle kartesiske roboter ikke oppnår et tilstrekkelig arbeidsområde. For å få et mer passende arbeidsområde ble sylinderrobot vurdert. Ved å utforme en robot med rotasjon fra sentrum av klemmebakken slik at roboten kun beveger seg over klemmebakken, og ikke områdene rundt, unngås problemene med kollisjon. Dette er illustrert i figur 2.5. Her blir i stedet utfordringen å lage en festeanordning som kan festes stabilt i klemmekaret og robotarmen. Festepunktet er illustrert med en blå sirkel i figuren. En av svakhetene til denne løsningen er at det kan bli et høyt moment om festepunktet mellom festeanordningen og robotarmen. Den bevegelige delen på den horisontale lineæraktuatoren, illustrert i svart, har både kamera og den vertikale lineæraktuatoren festet til seg. Når denne når maks radius øker momentet som kan medføre en uønsket økning i vinkel mellom robotarmen og festepunktet. Dersom vinkelen øker vil avstanden til vannet minke som kan føre til problemer dersom det antas en konstant dybde. Vinkelvariasjon vil også medføre lavere presisjon.

Arbeidsområdet til de forskjellige typene robot var avgjørende for valget av utforming på roboten. Dette medførte at sylinderdesignet ble tatt i bruk. Figur 2.6 viser en skisse av roboten, lagd i planleggingsfasen.



Figur 2.4: Illustrasjon av kartesisk robotarm over klekkekar. Den svarte sirkelen representerer et rør som blokkerer bevegelsen.

2.2.2 Utforming

Rotasjonsledd

Det første bevegeligeleddet er et rotasjonsledd. Rotasjonsleddet er koblet til feste-anordningen slik at rotasjonsens akse havner midt i karet. Positiv rotasjonsretning defineres som rotasjon mot klokken, sett ovenfra. Bevegelsen til rotasjonsleddet ble generert med en steppmotor.

Nødvendig presisjon for å plukke rogn ble bestemt til 1mm. Dette medførte en maksimal steglengde på $\Delta\theta = 0.23 \text{ deg}$ (5). For å oppnå høy nok presisjon ble en “Nema 23 stepper motor”(6) med gir kjøpt inn. Uten gir har motoren en presisjon på 1.80 grader, og med 1:30 gir oppnås presisjon på opptil 0.06 grader.

Lineæraktuator

Det andre leddet er en lineæraktuator, omtalt som den horisontale lineæraktuato-ren. Den er koblet til rotasjonsleddets akse, og beveger seg med rotasjonen. Positiv retning er definert bort fra aksene. Denne lineæraktuatoren og rotasjonsleddet kan sammen plassere robotens ende vilkårlig i det horisontale planet.

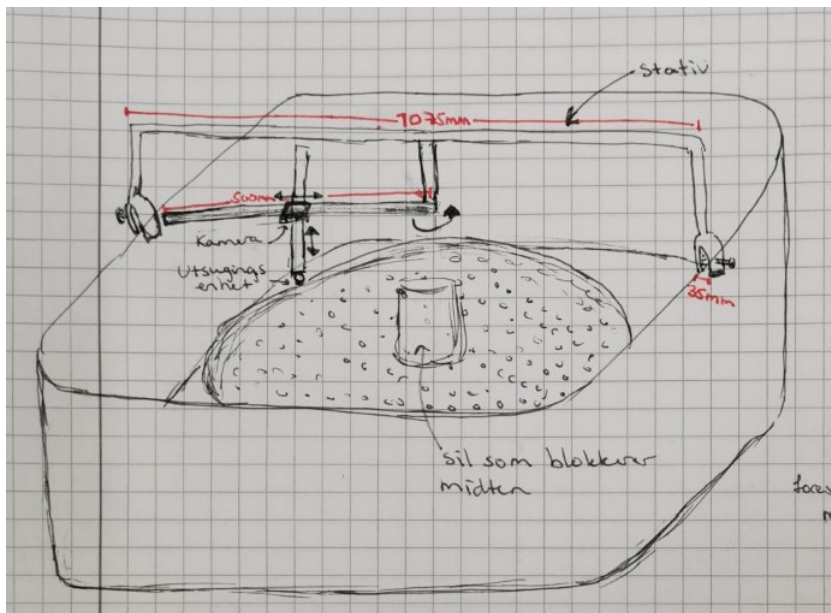


Figur 2.5: Illustrasjon av sylinderrobotarm over klemmekar. Den blå sirkelen indikerer stedet hvor festeordningen er koblet til roboten.

En lineæraktuator av typen “ledeskrue” ble valgt p.g.a. sin høye presisjon. Den ble kjøpt inn i en pakke med en “Nema 17 stepper motor”. Pakken heter “V-Slot NEMA 17 Linear Actuator Bundle (Lead Screw)”⁽⁷⁾ og ble kjøpt i lengden 500mm. Den gir en presisjon på 0.05-0.10mm. Selv om lengden er 500mm er den maksimale endringen på 400mm.

Det tredje leddet er også en lineæraktuator. Denne lineæraktuatoren blir omtalt som den vertikale lineæraktuatoren. Lineæraktuatorens bevegelige del er festet på den horisontale lineæraktuatorens bevegelige del med 90graders rotasjon relativt til hverandre, som vist i figur 2.7. Dette medfører at det som egentlig skal være den bevegelige delen blir fast, mens den faste delen vil bevege seg i vertikal retning. Lineæraktuatoren er festet slik at motoren havner på oversiden, for å hindre kontakt mellom motoren og vannet. “V-Slot NEMA 17 Linear Actuator Bundle (Lead Screw)” ble nok en gang kjøpt inn, men med lengden 250mm i stedet. Her er maksimal endring på 150mm.

I tillegg ble det kjøpt inn endestopper som ble festet på endene på lineæraktuatorene. Endestoppene er brytere som blir trigget når lineæraktuatoren når enden av område den kan bevege seg på. Dette brukes til kalibrering slik at nullpunktet blir satt korrekt.



Figur 2.6: Skisse av robotarm og rognkar med mål.

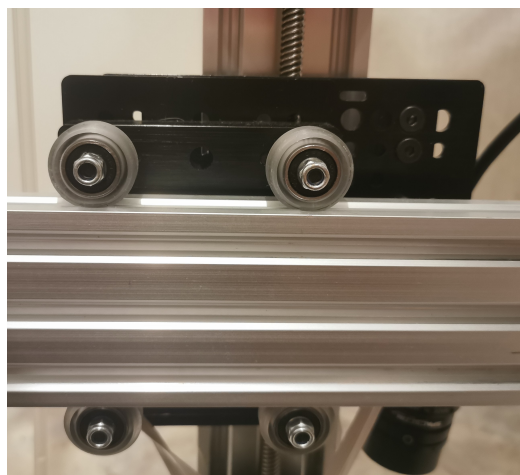
2.2.3 Festeordning

Planleggingen av festeordningen ble utført som en del av prosjektrapporten og de to neste avsnittene er hentet derfra.

Det var ønskelig med en festeordning som gjør det enkelt å flytte robotarmen mellom klekkekar. I utgangspunktet var det meningen at festeordning skulle være festet til klekkebakken ved hjelp av klyper som skissert i figur 2.6. Etter et besøk hos Norwegian fish farms Tydal ble det klart at mange av klekkekarene sto for tett for festing over kantene. Dette er synlig i bilde 2.8.

En ide var å bore hull i to av karkantene og feste festeordningen på innsiden av karet i stedet. Stian Aspaas informerte at det ikke er ønskelig å bore mye, men at noen hull skal gå bra. I tillegg introduserer det nye festestedet til festeordningen et nytt problem. Robotarmen skal nå ut til ytterkanten av klekkebakken uten at den treffer innsiden av karkanten. Denne marginen er ikke spesielt stor, og hos flere av karene er det ikke mer enn 2 cm margin per side. Ved å feste ting på innsiden av karkanten blir denne marginen enda mindre og risikoen for kollisjon øker. For å feste bedre er det også ønskelig med to skruer på hver side for å hindre uønsket rotasjon.

Festeordningen ble produsert av Glenn Angell på mekanisk verksted ved NTNU



Figur 2.7: Sammenfesting av de to lineæraktuatorene. De to svarte platene er festet sammen med to skruer.

og er synlig i figur 2.9. Den består av en horisontal aluminiumsstang på 120cm. Midt på stangen er steppmotoren for rotasjonsleddet festet. Steppmotoren er festet i en 67cm lang aksling med ca 2cm i diameter. De holdes sammen med en settskrue, som vist i figur 2.10. Festet mellom akslingen og den horisontale lineæraktuatoren er lagd slik at det kan flyttes til vilkårlig høyde på akslingen. Det er også mulig å velge hvilket punkt på den horisontale lineæraktuatoren som skal festet til akslingen. Dette kan brukes for å redusere robotens radius og kan være nyttig dersom det oppstår risiko for kollisjon med klekkekarets indre vegg. Festet mellom akslingen og den horisontale lineæraktuatoren er presentert i figur 2.11. De sølvfargede skruene kan løsnes for å forskyve festepunktet i horisontal retning. To settskruer peker inn mot akslingen og kan løsnes for å forskyve festepunktet i vertikal retning.

Løsning for å feste festeanordningen til klekkekaret var ikke ferdig ved prosjektslutt.

2.2.4 Utsugningsenhet

Pumpe

Det ble anskaffet en peristaltisk pumpe for utsugning av rognkorn. Den fungerer med å skyve på utsiden av en slange for å flytte innholdet. For en pumpe hvor innholdet i slangen blir skjøvet fra venstre til høyre vil venstre side få et undertrykk som trekker opp mer innhold for å jevne ut trykkforskjellen. Skyvingen på slangen fører til stor slitasje. En peristaltisk pumpe trenger derfor en spesialslange som er



Figur 2.8: Overlapp mellom to karkanter

tykk og robust. Fordelen med en slik pumpe er at rognvannet ikke er i kontakt med selve pumpen. Eventuelle partikler i rognvannet som kan føre til økt korrosjon vil kun være i kontakt med innsiden av slangen. Det er også lett å bytte til slange med annen diameter, dersom det viser seg at størrelsen ikke er optimal eller at rognørstatning for testing har en annen diameter enn ekte rognkorn.

Pumpen brukt for denne roboten er en utgående modell og ble gitt gratis fra NTNU. Figur 2.12 viser bilder av pumpen. Selve pumpen skal festes i stativet for å hindre unødvendig vekt på roboten. Enden av slangen er robotens endestykke og festes på nedre ende av den vertikale lineæraktuatoren. Databladet til pumpens motor er presentert i vedlegg B.

2.2.5 Kamera

Det ble brukt et kamera av typen Ximai med spacecom linse. Kameraet ble festet på samme sted som lineæraktuatorene ble festet til hverandre. Det gjorde det trangt å få plass til kameraet. For å hindre at kameraet skal komme i kontakt med bevegelige deler ble den festet via en trebit. Dette er presentert i figur 2.13.

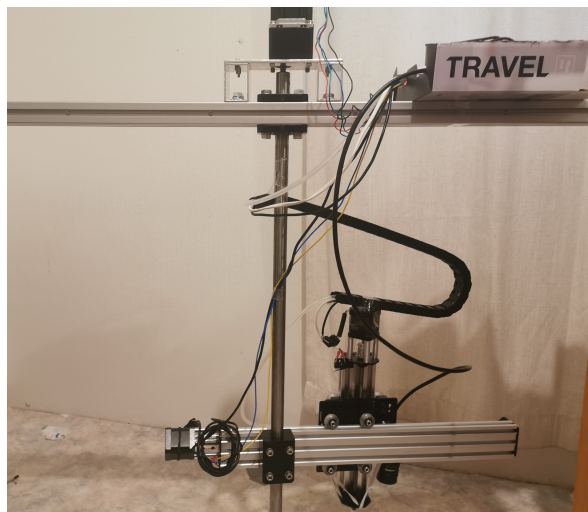
2.3 Styring

2.3.1 Overordnet

Flytdiagrammet i figur 2.14 viser den overordnede styringen.

Initialisering

Programmet starter med initialisering. Initialisering innebærer nullkalibrering av leddene og initialisering av de forskjellige modulene. Nullkalibrering er forklart



Figur 2.9: Bilde av hele roboten. Boksen med teksten “Travel” inneholder Raspberry pi og duet.

senere i delkapittel [2.3.3](#).

Ta bilde og prosessere

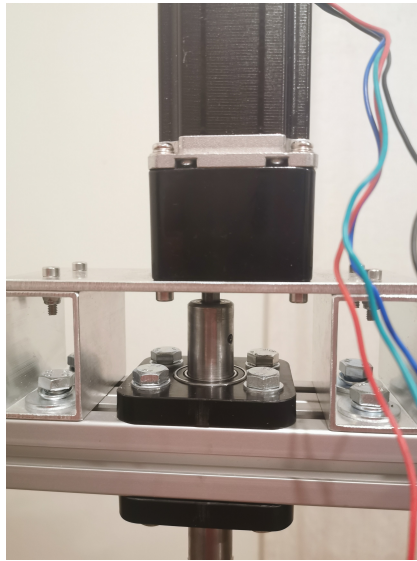
“Ta bilde og prosessere” innebærer å finne rognkoordinater med hjelp av kamera og maskinsynmodulen. Hvis det er rogn i bildet skal roboten flytte seg til rognposisjonen og plukke rognen. Hvis ikke flytter roboten seg til neste sone, gitt at det er flere.

Flytt til rognposisjon

Denne delen innebærer utregning av leddverdier ut i fra rognposisjon, og forflytning til rognposisjonen. Dersom programmet utvides med dybdeestimering skal også det skje i denne delen.

Plukk rogn

“Plukk rogn” innebærer selve plukkingen av rognen. Dette skjer med å aktivere pumpen. Dersom det er flere rognkorn i samme bilde skal roboten flytte seg til neste rognposisjon for plukking av neste rogn. Roboten kan drifte over tid som medfører tap av presisjon. For å unngå plukkeforsøk når presisjonen er lavere skal denne indre løkken kun utføres et gitt antall ganger. Dersom det ikke er flere kjente rognposisjoner eller maks antall etterfølgende plukkeforsøk er utført, skal programmet avgjøre sone.



Figur 2.10: Bilde av festepunktet mellom motoren for rotasjonsleddet og akslingen som kobler resten av roboten til festeanordningen. Opp til høyre på akslingen er en svart skrue. Denne svarte skruen er en settskrue, og brukes for å stramme slik at delene sitter bedre sammen.

Avgjør sone

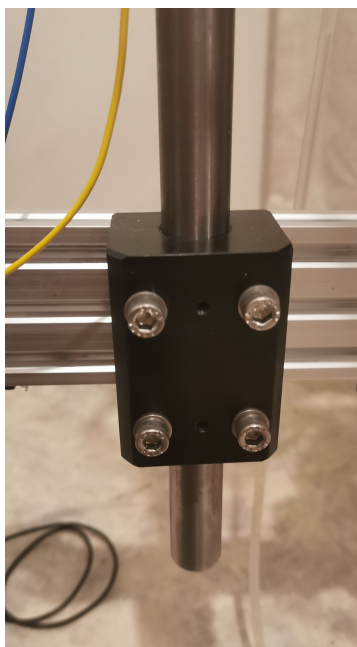
Denne delen av programmet er lagt inn for å hindre muligheten for evig løkke. Ved enkelte tilfeller kan maskinsynsystemet oppdage rognkorn som roboten ikke klarer å plukke. Enten pga. klassifiseringsfeil eller plukkeproblemer. I dette tilfellet vil et bilde aldri være uten rognkorn, og det kan oppstå en evig løkke hvor roboten aldri flytter seg til neste sone. Denne delen avgjør om roboten har fått mange nok forsøk på å plukke rognkorn i gitt sone. Den hindrer altså evig løkke med å flytte til neste sone selv om maskinsynsystemet mener der gjenstår rogn.

Flytt til aktiv sone

Dersom “avgjør sone” bestemmer at det skal gjøres flere plukkeforsøk i samme sone, må roboten bevege seg tilbake til senter av sonen. Det er for å holde kontroll på hvor det er plukket, og passe på at hele sonen blir forsøkt plukket.

Finn og flytt til neste sone

Når det blir bestemt at roboten skal gå videre til neste sone må først neste sone hentes fra en tabell. Dersom slutten av tabellen er nådd er plukkingen ferdig. Hvis ikke fortsettes plukking med å ta et nytt bilde.



Figur 2.11: Bildet av festet mellom aksling og horisontal lineæraktuator.

Ferdig

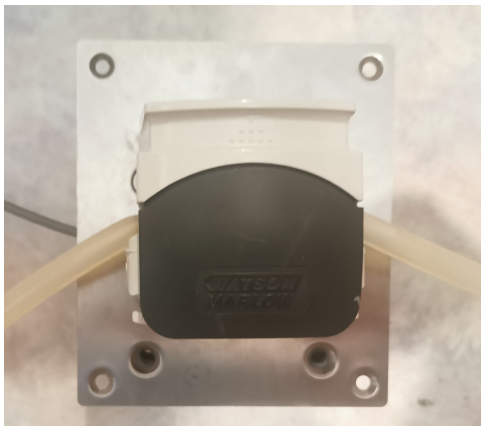
Når alle sonene i karet er forsøkt plukket er plukkingen ferdig. Rogn kan legge seg over hverandre, men kan heldigvis forflytte seg litt og spre seg utover med lett risting i karet. Det kan derfor ofte være naturlig å kjøre programmet på nytt etter menneskelig innblanding, for å få med en større andel av de døde rognkornene.

2.3.2 Raspberry pi

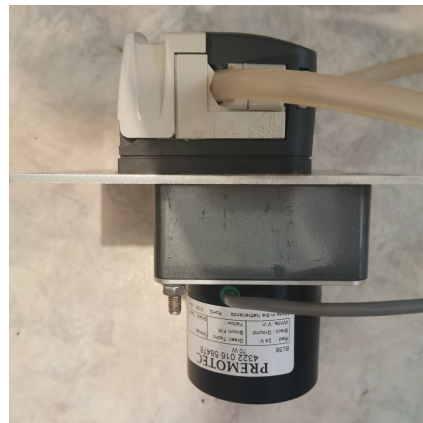
Det overordnede programmet er skrevet i python og kjøres av en Raspberry pi 4. Raspberry pi inneholder maskinsynmodulen som kontrollerer kameraet og finner koordinatene til døde rognkorn ved bruk av datasyn. Koordinatene brukes for utregning av ønskelige leddvariabler. De ønskede leddvariablene sendes videre fra raspberry pi til motordriveren over USB. I tillegg kontrollerer Raspberry pi pumpen med PWM signal. Kommunikasjonsdiagrammet i figur 2.15 viser hvordan de forskjellige delene kommuniserer.

2.3.3 Motordriver: Duet 2

De 3 stepp motorene brukt i roboten styres av et elektroniskbrett av typen duet 2 wifi, videre referert til som duet. Duet er produsert for å styre 3d printere, og mye av funksjonaliteten er dermed ubrukt.



(a) Pumpe sett forfra



(b) Pumpe sett fra siden

Figur 2.12: Peristaltisk pumpe fra Watson Marlow med 70watt DC motor fra Premotec

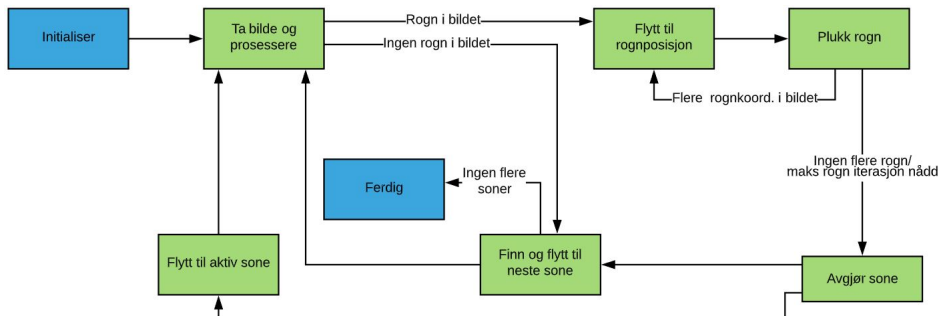


(a) Kamera forfra

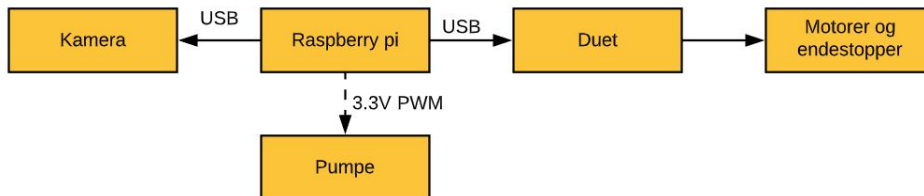


(b) Kamera fra siden

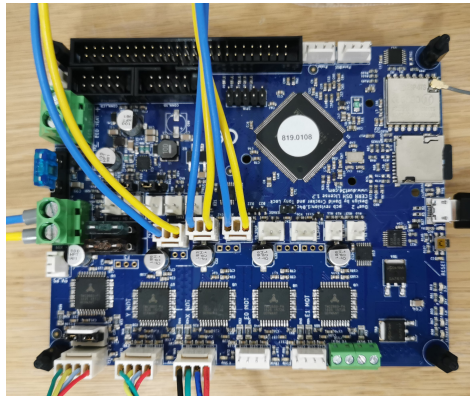
Figur 2.13: Feste av kamera. Kameraet er festet via en plankebit for å hindre kontakt med bevegelige deler. Planken hviler på skiven mellom et hjul og den svarte platen.



Figur 2.14: Flytdiagram av overordnet styringssystem



Figur 2.15: Kommunikasjonsdiagram som viser samspillet mellom de forskjellige hardware komponentene. Heltrukket linje refererer til 2 veiskommunikasjon og striplet linje refererer til kommunikasjon i kun en retning. En pil fra Raspberry pi til kameraet indikerer at Raspberry pi sender kommandoer til kameraet.



Figur 2.16: Bilde av duet etter oppkobling.

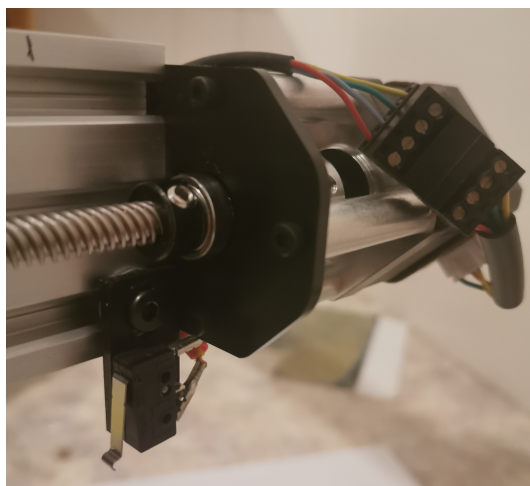
Kobling

Koblingen av duet tar utgangspunkt i en guide fra duet3d sin nettside (8). Det er kun enkelte av punktene som er fulgt, ettersom kun noe av duets funksjonalitet blir tatt i bruk. Strømtilførselen er koblet opp som beskrevet i punkt 3. Strømmen kommer fra en strømforsyningen av typen “400W Single Output Switching Power Supply” som gir ut en spenning på 24V. Duet skal ha en spenning i sjiktet 12-25V og en blå LED på brettet vil lyse dersom spenningen er i ønsket intervall. Videre er duet koblet til endestoppene som beskrevet i punkt 7. Endestopp for y og z er festet på lineæraktuatorene, mens endestoppen for x ikke er festet og brukes til manuell nullkalibrering av startvinkel. Siste del i oppkoblingen til duet er kobling til steppmotorene, beskrevet i punkt 10. Figur 2.16 viser duet etter oppkobling, og figur 2.17 viser festepunktet til endestopp y på den horisontale lineæraktuatoren.

I tillegg er det festet kabel mellom micro-usb inngangen til duet, og usb inngangen til raspberry pi. Denne kabelen er nødvendig for kommunikasjonen mellom enhetene.

G-koder

Duet mottar kommandoer av typen G-koder. For kontroll av rognroboten er det tatt i bruk 3 kommandoer. Den første er kommandoen for nullkalibrering. I nullkalibrering beveger lineæraktuatorene seg i en gitt retning fram til de trykker inn endestoppbryterne. Posisjonen som medfører at en endestoppbryter blir trykt inn, blir definert som 0 for gitt akse. Kommandoen for nullkalibrering er «G28». Den kommandoen vil føre til nullkalibrering av alle aksene, men det er også mulig å angi hvilke akser som skal nullkalibreres. Eksempelvis vil kommandoen «G28 Z» kun føre til nullkalibrering av z-aksen.



Figur 2.17: Bilde av den horisontale lineæraktuatoren. Bryteren nederst til venstre i bildet er endestoppen.

Neste kommando er kommandoen for å bevege seg til en gitt posisjon, på følgende form: “G0 Xnnn Ynnn Znnn” hvor “nnn” er plassholder for tall. Mange roboter er kartesiske slik at det er en motor for hver av aksene X, Y og Z. En eksempelkommando “G0 X10 Y20 Z15” vil for en slik robot tilsvare en forflytning til posisjonen [10mm, 20mm, 15mm] i et koordinatsystem hvor origo er definert i nullkalibreringen. Rognroboten er derimot en sylinderrobot og den første variabelen angir derimot ikke posisjon på x-aksen angitt i mm, men vinkelen θ angitt i grader. Siste kommando er M400. Denne kommandoen brukes for å sjekke om forrige kommando er ferdig utført. Billedtakingen og utsugingen skal utføres når roboten står i ro og det er dermed nødvendig å vite når en kommando er ferdig utført.

Konfigurering

Duet har en konfigureringsfil som inneholder en rekke konstanter. En av disse konstantene er forholdet mellom steg på steppmotoren og mm på silsvarende lineæraktuator. Duet behandler rotasjonsleddet som om det var en lineæraktuator. For enkelthetskyld ble konfigureringen satt slik at rotasjonsleddet vil rotere en grad når den får beskjed om å bevege seg en cm.

Andre variabler som kan settes er maksimal fart for hver av leddene. Ytterkanten av roboten vil bevege seg like langt som omkretsen av robotens arbeidsområde dersom roboten får beskjed om å ta en hel rotasjon. Omkretsen til robotens arbeidsområde er gitt av $O = 2\pi r$, hvor radiusen til robotarmen er rundt 50 cm. Det

gir en omkrets på 314 cm. Når roboten får beskjed om å bevege seg 360 cm vil den rotere en hel runde og ytterpunktet vil bevege seg 314 cm. Roboten beveger seg altså litt kortere enn den tror. Maksimal fart skapt av rotasjonen vil dermed være $\frac{314}{360}$ av oppgitt maksfart fra konfigurasjonsfilen.

Andre parametere er definering av positiv retning og om endestoppene ligger ved minimal eller maksimal ende. Alle endestoppene har blitt definert i minimal ende slik at leddverdien blir 0 når endestoppene trykkes inn.

Kommunikasjon

Det overordnede programmet styres som nevnt av en Raspberry pi 4 og det er dermed nødvendig med kommunikasjon mellom duet og Raspberry, slik at Raspberry kan styre motoren indirekte. Kommunikasjonen skjer over USB. Raspberry sender G-koder til duet, og duet returnerer «ok» når en ny g-kode er mottatt.

Nullkalibrering

Som forklart kort under “G-koder” er nullkalibrering en metode for å finne nullpunktet til de forskjellige leddene. Nullkalibrering må utføres etter hver gang Duet blir koblet fra strømforskyningen sin. Det er fordi leddenes posisjon er lagret i minnet til Duet og går tapt uten strømforskyning. Nullkalibreringen til lineæraktuatorer innebærer at lineæraktuatoren beveger seg i negativ retning til den treffer en endestopp. Posisjonen når den treffer endestoppen blir definert som 0.

Nullkalibreringen for rotasjonsleddet skiller seg ut med å være manuell. Også denne beveger seg i negativ retning til den treffer en endestopp. Problemet er at det ikke eksisterer et passende sted å feste endestoppen uten modifikasjoner. Endestoppen ligger derfor tilgjengelig for en operatør slik at nullkalibreringen kan skje manuelt med å trykke inn endestoppen. Kalibreringen trenger ikke å være presis, ettersom koordinatene for plukking blir gitt relativt til robotens initialposisjon. Det som derimot er viktig, er at startposisjonen velges slik at ledningene ikke blir tvunnet mer enn en runde rundt rotasjonsaksen. Etter nullkalibrering kan roboten kun rotere mellom startposisjonen og litt over en runde i positiv retning.

Endestoppen for den vertikale lineæraktuatoren er festet på øvre side, for å unngå at endestoppen senkes ned i vannet når roboten skal suge ut rognkorn. Endestopp i øverste posisjon medfører at lineæraktuatoren må bevege endestykket til lavest mulig posisjon for å aktivere bryteren under nullkalibrering. Dersom roboten festes for nær klekkebakken kan nullkalibreringen føre til kollisjon med underlaget. Det kan altså være krevende å velge robotarmens høyde slik at roboten ikke kolliderer under nullkalibrering, samtidig som roboten skal kunne nå nært klekkebakken for å suge ut rogn. For å unngå dette problemet kan det være nyttig å utføre

nullkalibreringen til dette leddet før roboten festes til klekkekaret.

2.3.4 Posisjonering

For denne roboten mottas rognkoordinatene relativt til kameraets plassering, altså i kamerarammen. Disse koordinatene brukes for å finne tilsvarende leddparametre, som medfører at robotens endestykke blir posisjonert direkte over rognkornene. Denne utregningen skjer i tre steg. Først regnes rognkoordinatene over til initialrammen. Deretter kalkuleres parameterne θ , r og z med invers kinematikk. Til slutt beregnes leddparameterne ut fra θ , r og z . Begge de to første stegene bruker transformasjonsmatriser i utregningen. Transformasjonsmatrisene inneholder forholdet mellom de forskjellige rammene. Definerings av relevante rammer, og utledning av transformasjonsmatriser er utført i neste delkapittel.

Rammer

Rammer er koordinatsystem som beskrives med en posisjonsvektor og en rotasjonsmatrise. Transformasjonsmatrisene brukes for å beskrive rammenes posisjon og orientasjon relativ til hverandre. Transformasjonsmatriser er gitt på følgende form:

$$H_b^a = \begin{bmatrix} R_b^a & d_b^a \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

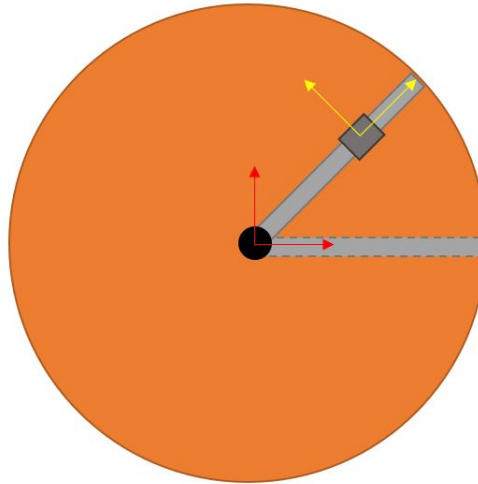
hvor R_b^a en 3x3 rotasjonsmatrise som beskriver ramme b sitt koordinat system sett fra ramme a. d_b^a er en posisjonsvektor som beskriver posisjonen til ramme b sett fra ramme a.

Rognroboten tar i bruk 4 forskjellige rammer for beregning av posisjon. Robotrammen brukes ikke direkte, men er nødvendig for å forenkle utregningen.

Initialramme blir definert ut fra robotens initialposisjon, altså posisjonen til roboten like etter konfigureringen, hvor alle aksene er i null-posisjon. Initialrammen er plassert midt i den roterende aksene, i samme høyde som festepunktet til den horisontale lineæraktuatoren. X-aksen i initialrammen er langs initialposisjonen til den horisontale lineæraktuatoren og Z-aksen er rett oppover langs aksene til det roterende leddet.

Robotrammen er plassert i festepunktet mellom de to lineæraktuatorene. Orietasjonen til Z-aksen er uendret fra initialrammen og forblir rett oppover, mens x-aksen defineres langs den horisontale lineæraktuatoren. Figur 2.18 viser både initialramme og robotramme.

Kamerarammen er definert relativ til robotrammen. Den er plassert midt i kamerarlinsen, med samme orientasjon som robotrammen. Som tidligere nevnt blir koordinatene fra maskinsynsystemet gitt i kamerarammen.



Figur 2.18: Figur av robot, sett ovenfra, med påtegnede rammer. De røde pilene, i sentrum av figuren, viser x- og y-aksen til initialrammen. Stripede linjer refererer til robotens initialposisjon, mens heltrukkede linjer refererer til robotens daværende posisjon. De gule pilene viser x- og y-aksen til robotrammen.

Den siste rammen er utsugningsenhetsrammen. Denne rammen er plassert midt på utsugningsenheten, med samme orientasjon som robotrammen. Dette er den eneste rammen som påvirkes av den vertikale lineæraktuatoren.

Transformasjonen til robotrammen sett fra initialramme oppnås ved å rotere koordinatsystemet en vinkel θ om z-aksen, etterfulgt av en translasjon r langs den nye x-aksen. Dette medfører følgende transformasjonsmatrise:

$$H_i^r = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$H_r^i = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & r\cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & r\sin\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Vinkelen θ påvirkes kun av rotasjonsleddet, mens avstanden r kun er avhengig av det lineære leddet i horisontal retning.

Transformasjonsmatrisen til kamerarammen sett fra robotrammen er gitt av kun en

translasjon:

$$H_k^r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_{k,x} \\ 0 & 1 & 0 & d_{k,y} \\ 0 & 0 & 1 & d_{k,z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Vektoren $d_k = [d_{k,x}, d_{k,y}, d_{k,z}]$ er en konstant avstand som er avhengig av feste- punktet til kameraet.

Transformasjonsmatrisen til utsugningsenheten sett fra robotrammen er også gitt av kun en translasjon:

$$H_s^r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_{s,x} \\ 0 & 1 & 0 & d_{s,y} \\ 0 & 0 & 1 & d_{s,z} + z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Hvor $d_s = [d_{s,x}, d_{s,y}, d_{s,z}]$ er konstanter avhengig av festepunktet til utsugnings- enheten og z er endring i posisjonen skapt av den vertikale lineæraktuatoren.

Omregning til initialramme

For å regne om en vektor fra en ramme til en annen kan følgende formel brukes:

$$\begin{bmatrix} v^a \\ 1 \end{bmatrix} = H_b^a \begin{bmatrix} v^b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

hvor v^a er en vilkårlig vektor v sett fra ramme a og v^b er samme vektor v sett fra ramme b. H_b^a er transformasjonsmatrisen til ramme b sett fra ramme a.

En formel for å regne om rognkoordinater fra kamerarammen til initialrammen kan dermed utledes ved å bruke formelen i likning 2.3.4 og transformasjonsmatrisene i likning 2.3 og 2.4. Det gir:

$$\begin{bmatrix} p_{rogn}^i \\ 1 \end{bmatrix} = H_k^i \begin{bmatrix} p_{rogn}^k \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

hvor

$$H_k^i = H_r^i H_k^r = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & (d_{k,x} + r)\cos\theta - d_{k,y}\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & (d_{k,x} + r)\sin\theta + d_{k,y}\cos\theta \\ 0 & 0 & 1 & d_{k,z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Invers kinematikk

Invers kinematikk er en problemstilling der ønsket posisjon for endestykket hos en robot er kjent, og verdiene til leddene må finnes slik at ønsket posisjon oppnås. I de fleste tilfeller innebærer invers kinematikk også en ønsket orientasjon på endestykket, men siden denne roboten alltid har endestykket rett nedover kan dette sees bort fra.

Målet er å plassere roboten slik at posisjonen til rognkornet er det samme som posisjonen til endestykket. Dette tilsvarer at rognposisjonen er nullvektor sett fra utsugningsenhetsrammen. Vi har følgende sammenheng:

$$\begin{bmatrix} p_{rogn}^s \\ 1 \end{bmatrix} = H_r^s H_i^r \begin{bmatrix} p_{rogn}^i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

og ønsker å finne parameterene θ , r og z slik at $p_{rogn}^s = 0$. p_{rogn}^i er en kjent vektor, mens H_r^s og H_i^r er de inverterte av matrisene H_s^r og H_r^i . Denne likningen kan omformes til det følgende:

$$\begin{bmatrix} p_{rogn}^i \\ 1 \end{bmatrix} = H_r^i H_s^r \begin{bmatrix} p_{rogn}^s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Når p_{rogn}^s settes til nullvektor oppstår et likningsett med 3 likninger:

$$\begin{bmatrix} p_{rogn,x}^i \\ p_{rogn,y}^i \\ p_{rogn,z}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{s,x} \cos\theta - d_{s,y} \sin\theta + r \cos\theta \\ d_{s,x} \sin\theta + d_{s,y} \cos\theta + r \sin\theta \\ d_{s,z} + z \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

z blir dermed gitt slik:

$$z = p_{rogn,z}^i - d_{s,z} \quad (2.12)$$

og r regnes ut på denne måten:

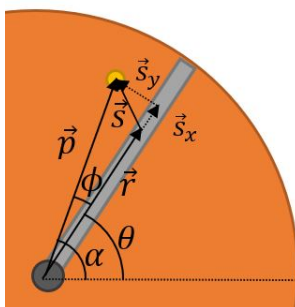
$$p_{rogn,x}^i{}^2 = (r + d_{s,x})^2 \cos^2\theta + (r + d_{s,x})d_{s,y} \cos\theta \sin\theta + d_{s,y}^2 \sin^2\theta$$

$$p_{rogn,y}^i{}^2 = (r + d_{s,x})^2 \sin^2\theta - (r + d_{s,x})d_{s,y} \cos\theta \sin\theta + d_{s,y}^2 \cos^2\theta$$

$$p_{rogn,x}^i{}^2 + p_{rogn,y}^i{}^2 = (r + d_{s,x})^2 + d_{s,y}^2$$

$$r = \sqrt{(p_{rogn,x}^i)^2 + (p_{rogn,y}^i)^2 - d_{s,y}^2} - d_{s,x}$$

Utrekningen av θ blir lett avansert. Figur 2.19 blir derfor tatt i bruk for å forenkle utregningen. I figuren kan θ beskrives som forskjellen mellom α og ϕ . Vektoren



Figur 2.19: Figur av robotarm for visualisering av invers kinematikk utregning. r er vektor fra initialramme til robotramme og s er vektor fra robotramme til utsagningsenhet. Utsagningsenheten er påtegnet i gul, med stor avstand til robotarmen for bedre visualisering.

p i figuren tilsvare vektoren p_{rogn}^i og kan brukes til å finne α .

$$\alpha = \text{atan2}(p_{rogn,y}^i, p_{rogn,x}^i) \quad (2.13)$$

Deretter regnes ϕ ut på følgende måte:

$$\phi = \text{atan2}(d_{s,y}, r + d_{s,x}) \quad (2.14)$$

Til slutt blir θ funnet:

$$\theta = \text{atan2}(p_{rogn,y}^i, p_{rogn,x}^i) - \text{atan2}(d_{s,y}, r + d_{s,x}) \quad (2.15)$$

Utrekning av leddparametere

Duet mottar 3 leddparametere for posisjonering. La oss kalle dem x' , y' og z' . x' bestemmer rotasjonen til rotasjonsleddet og konfigureringen til duet gir følgende sammenheng gitt at θ er oppgitt i grader, og ikke radianer:

$$x' = \theta \quad (2.16)$$

r refererer til avstanden fra rotasjonsaksen til festepunktet mellom lineæraktuatorene. y' refererer til avstanden mellom den horisontale lineæraktuatorens posisjon og initialposisjon. Forholdet mellom y' og r blir slik:

$$y' = r - \text{offset} \quad (2.17)$$

hvor offset er avstanden mellom rotasjonsaksen og den horisontale lineæraktuatorens initialposisjon.

z er definert som endringen i vertikal posisjon skapt av den vertikale lineæraktuatoren.

$$z' = z \quad (2.18)$$

2.3.5 Maskinsyn system

Denne masteroppgaven har et samarbeid med en annen oppgave på NTNU. “Machine vision for quality sorting of salmonid fish eggs” skrevet av Marius Tjore omhandler klassifikasjon av død rogn. Det nevrale nettverket er trent med testdata produsert ved Norwegian Fish Farms Tydal. Koden produsert i Marius Tjores masteroppgave vil bli bruk som maskinsynmodul i denne oppgaven. Maskinsynmodulen brukes for å ta bilder samt prosessering av bildene. Prosesseringen innebærer klassifisering av rogn i bildet og utregning fra piksler til koordinater gitt i cm. Koordinatene fra maskinsynmodulen blir gitt relativt til kameraets posisjon.

Maskinsynmodulen inneholder også dypdeestimering, men kvaliteten av denne estimeringen ble ikke høy nok for bruk i rognplukkingen. I testingen blir dybdeestimeringen erstattet med en manuelt estimert konstant.

2.3.6 Pumpe

Styring av pumpen skjer med å sende et signal til pumpens hvite ledning. Et høyere spenningsnivå i signalet vil føre til raskere rotasjon i pumpen, som vil medføre raskere pumping. Et signal på 4V eller mer vil resultere i maksimal rotasjonshastighet.

Styringssignalet blir generert i en av Raspberry pi sine “General Purpose Input Output”-pins. Signalet har en maksimal verdi på 3.3V. Med å implementere et PWM-signal med høy frekvens og en pulsbredde, d , vil PWM-signalet bli tilnærmet likt et gjevt signal med en spenning på $d\%$ av 3,3V. Pulsbredden, d , blir oppgitt som en prosent av hele bølgelengden. Parameteren d kan altså beskrives som ønsket prosent av maksimal spenning. Med å sette d til 0 vil pumpen bli skrudd av.

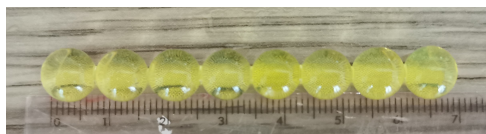
2.4 Testing

2.4.1 Rognerstatning

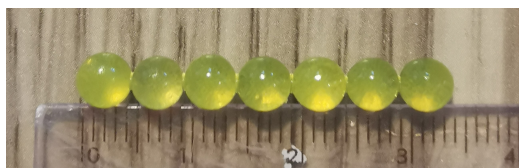
Alle testene ble utført utenfor rognsesong og det ble dermed nødvendig med rognestatning.

Gule vannperler ble tatt i bruk som rognestatning for levende rogn. Vannperlene er i utgangspunktet små og harde, men vokser og blir mykere når de legges i vann. Vannperlene kan sees i figur 2.20. Når vannperlene ble plassert i springvann ble de betydelig større enn et rognkorn. Et forsøk for å begrense veksten i vann var å tilsette salt i vannet. Saltet førte til mindre vannperler som kan sees i figur 2.21.

En av ideene for å erstatte død rogn var granulater av plast. Disse ble gitt av SINTEF og er i utgangspunktet lagd for bruk i algereaktorer. De fleste fløt, men en



Figur 2.20: Vannperler med lineal. Vannperlende lå i springvann før måling.



Figur 2.21: Vannperler med lineal. Vannperlene lå i en blanding av vann og salt over lengre tid, før de ble tatt ut av vannet for måling.

grei andel sank. Granulatene er 3-5mm og kan sees i figur 2.22. En kort forklaring av granulatene kan bli funnet i artikkelen “Outdoor microalgae production” (10). I plukketesten ble kun vannperler brukt for å unngå rognestatning med forskjellig størrelse og tyngde .



Figur 2.22: Granulater i vann

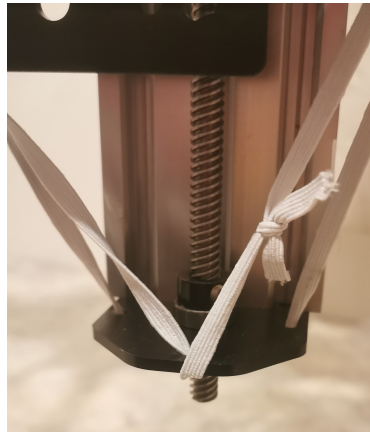
2.4.2 Kjøretest

Første test ble utført like etter at alle lineæraktuatorene ble koblet sammen til en robot med 3 frihetsgrader. Testen gikk ut på å gi roboten forskjellige leddverdier for å sjekke om den bevegde seg glatt til ønsket posisjon, samt at roboten klarte å konfigurere nullpunktet sitt.

I forkant av denne testen, som en del av prosjektoppgaven, ble leddene kjørt indi-

viduelt for å konfigurere forholdstallet mellom antall steg med steppmotorene og antall mm eller grader bevegelse.

Bevegelse i det horisontale planet var som ønsket, men det oppsto problemer med den vertikale lineæraktuatoren. Problemet oppsto når posisjonen var nær nullpunktet og skulle bevege seg oppover. Roboten hakket, og bevegde seg kortere enn den skulle. Dette medførte at lineæraktuatoren ble stående å slure på vei ned igjen fordi nullpunktet ble nådd tidligere enn antatt. Som nevnt i tidligere delkapittel er leddet festet slik at den svarte platen, som skal være den bevegelige delen, er festet i forrige ledd. Det medfører at den delen som skal være fast beveger seg, og dermed må motoren flytte på sin egen vekt. Ettersom lineæraktuatoren kjørte glatt før sammenfestingen, ble flyttingen av egenvekt antatt som årsak til problemet. For å teste hypotesen ble undersiden av lineæraktuatoren påført et lett trykk med hånden, i et forsøk på å motvirke noe av kreftene fra tyngden. Det lette trykket løste som antatt problemet. For å oppnå effekten med et lett trykk på undersiden ble et strikk festet mellom den svarte platen og bunnen av lineæraktuatoren. Strikken blir stram når posisjonen er nær null, og tilførte med det en kraft i motsatt retning av tyngden. Figur 2.23 viser hvordan stikken er festet til nedre ende av lineæraktuatoren.



Figur 2.23: Strikk på den vertikale lineæraktuatoren

Etter modifikasjonen med strikk, kjørte roboten glatt mellom gitte koordinater. Hakkingen oppsto fremdeles i bestemte situasjoner, men kun dersom det var bevegelse i både vertikalt retning og et eller begge de andre leddene på samme tid. Heldigvis er dette en situasjon som aldri skal oppstå ettersom de andre leddene kun skal bevege seg når den vertikale lineæraktuatoren er i høyeste posisjon, for å hindre unødvendig bevegelse under vann.

2.4.3 Repeterbarhetstest

Neste test var en repeterbarhetstest. En slik test vil kunne si noe om hvor mye roboten eventuelt drifter over tid. Det er nyttig kunnskap for å avgjøre hvor mange rognkorn det er rimelig at roboten forsøker å plukke før den tar et kontrollbilde. En slik test vil også kunne indikere tilstedeværelse av merkbar dødgang.

Testen ble utført ved å feste en penn som endestykke på roboten. Roboten ble deretter initialisert, og plassert i en startposisjon. I startposisjonen senket det vertikale leddet seg for å lage et merke på et ark som var festet under startposisjonen. Deretter beveget robotarmen seg til en tilfeldig posisjon i et forhåndsbestemt område før den beveget seg tilbake til start posisjon og laget et nytt merke på arket. Prosessen med å bevege seg til en tilfeldig posisjon og tilbake, samt å lage merke ble utført et gitt antall ganger.

Tabell (2.2) viser forskjellene for de forskjellige variantene av testen. “Maks” refererer til hele det gyldige område for variabelen og “Midt” refererer til midten av det gyldige området. Rekkeviden til θ er oppgitt som avstand fra startposisjonen i grader. Rekkeviden til z koordinaten er ikke oppgitt ettersom den alltid er fra to millimeter over arket til max høyde for å hindre uønsket merkesetting eller kollisjon med bakken.

Resultatene er presentert og diskutert i delkapittel 3.1.1.

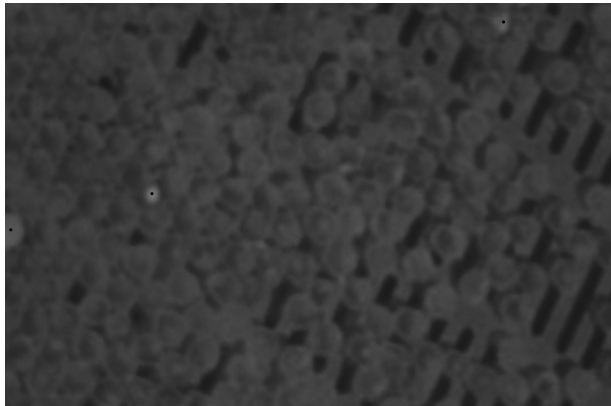
Testnummer	Rekkevide (θ , r)	Startposisjon(θ , r)	Antall repetisjoner
1	(maks, maks)	(midt, midt)	50
2	(± 20 , maks)	(midt, midt)	50
3	(+ 40, maks)	(midt, midt)	50
4	(maks, maks)	(0, midt)	50

Tabell 2.2: Resultattabell for repeterbarhetstest

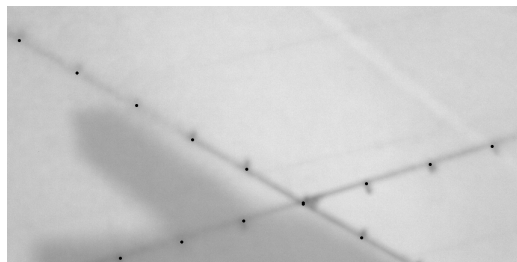
2.4.4 Posisjoneringstest

Posisjoneringstesten var en test hvor koordinater ble generert fra bilder tatt av kameraet, og bruk for å posisjonere robotens endestykke på gitt koordinat.

Første tanke var å printe ut et bilde av rogn som kunne festes på bakken, slik at koordinater kunne bli funnet ved hjelp av maskinsynmodulen. Det viste seg at maskinsynmodulen ikke klarte å finne de hvite rognkornene i bildet. Denne delen av systemet ble i stedet utført manuelt. Bildet ble vist og pikselkoordinater ble funnet ved å dobbelklikke på ønsket sted på bildet. Dette er vist i figur 2.24. Deretter ble pikselkoordinatene behandlet av maskinsynmodulen for å finne tilsvarende koordinater som avstand fra kameraet i cm.



Figur 2.24: Bilde fra kameraet med et utprintet bilde av rogn festet på underlaget. De svarte merkene viser til koordinater av død rogn.



Figur 2.25: Bilde fra kameraet. De svarte merkene viser til ønskede koordinater.

Ettersom maskinsynmodulen ikke klarte å klassifisere det printede bildet ble det i stedet brukt hvitt papir. Bildet av rogn ble erstattet av et hvitt papir fordi røde merker fra pennen var mer synlige på hvitt papir. På det hvite papiret ble det tegnet et kryss med gråblå penn. I hver retning fra sentrum av krysset ble det lagd merker med 1 cm avstand. Posisjonen til disse merkene omtales som målposisjoner og fungerer som erstatning for døde rognkorn i testen. Figur 2.25 viser dette krysset med svarte prikker på hver av de synlige målposisjonene i dette bildet. Ved starten av hver gjennomføring startet kameraet nært sentrum av krysset, med få mm avvik, for å se om avstand fra bildets sentrum har påvirkning på presisjonen.

Etter at maskinsynmodulen hadde funnet målposisjonene som koordinater relativt til kameraet, ble disse brukt for å finne leddvariablene som skulle plassere endestykket på målposisjonene. Denne prosessen er beskrevet i delkapittel 2.3.4 om posisjonering. Videre bevegde roboten seg til ønsket posisjon og markerte papiret. Markeringen skjedde med en rød penn som ble festet som endestykke.

For å kunne utføre testen flere ganger uten å beholde merker fra tidligere gjennomføringer, ble det hvite papiret dekt av en bit matpapir. Matpapir er delvis gjennom-siktig. Målposisjonene ble mindre tydelig gjennom matpapirer, men forble synlige. Biten med matpapir ble byttet ut mellom hver gjennomkjøring av testen.

I denne testen ble pennen festet til roboten via en planke for å kunne feste roboten høyere opp. Det var for å få større avstand mellom kameraet og papiret, slik at bildene fra kamera ville vise et større område. Dette er vist i figur 2.26.



Figur 2.26: Penn festet til vertikal lineæraktuator via en planke

2.4.5 Plukketest

Målet med plukketesten var å sjekke at pumpen klarte å suge opp rognkornene, samt å finne optimale forhold for å suge ut et rognkorn om gangen. Ettersom denne testen ble utført utenfor rognsesong ble det tatt i bruk rognestatning. Vannperler i saltvann ble tatt i bruk pga sin likhet i størrelse. I denne testen ble en slange brukt som endestykke. Endestykket ble plassert over en beholder med flat bunn. Beholderen var fylt med vannperler og saltvann. Mengden vannperler ble valgt slik at de ble liggende tett, uten å havne over hverandre. Figur 2.27 viser endestykket plassert over en beholder med vannperler.

Testen ble utført med å aktivere pumpen på en gitt effektivitet i en gitt tid, for å suge ut rogn. Deretter ble endestykket flyttet til toppen av vannet for å pumpe gjennom alle rognkornene i slangen, uten å suge ut flere. Til slutt ble antall rognkorn



Figur 2.27: Oppsett for plukketest.

telt opp for å finne ut hvor mange som ble pumpet opp. Mellom hver utpumping ble rognbeholderen ristet lett for å sikre god spredning. Denne prosessen ble gjentatt 3 ganger for hver kombinasjon av pumpeeffektivitet, pumpetid og avstand fra bunnen av rognbeholderen. Etter 3 runder med utpumping ble vannet og vannperlende tømt tilbake i beholderen for å holde jevn vannstand og tetthet på vannperlene.

Kapittel 3

Resultat og Diskusjon

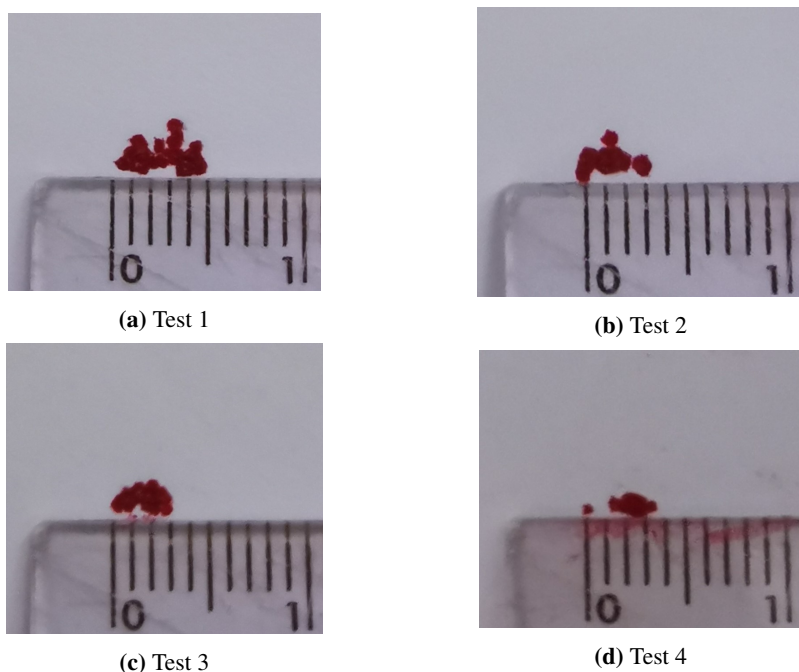
3.1 Testresultater

3.1.1 Repererbarhetstest

Dette delkapittelet presenterer og drøfter resultatene av repeterbarhetstesten tidligere beskrevet i delkapittel 2.4.3. Tanken bak de forskjellige parameterne blir også presentert for å forklare hvorfor de forskjellige variantene av testen ble utført.

Første tanke når testen skulle utføres var at en redusert rekkevidde ville ha en positiv innvirkning på resultatet. Rognroboten vil jobbe på et begrenset området om gangen, rundt kameraposisjonen. Et begrenset område vil dermed fremdeles være relevant for robotens bruksområde. Parameterne til test 2 ble valgt slik at det tilsvarte test 1, men med et mindre rekkevide for θ . Ved å sammenligne resultatene for test 1 og 2 i figur 3.1(a) og 3.1(b) ser vi at punktene i test 2 er betydelig mer samlet. Dette indiker at en mindre rekkevidde bedrer repeterbarheten.

Selv om resultatet i test 2 var bedre enn test 1, var det fremdeles forbedringspotensiale. Ved å observere roboten når testene ble utført virket det som om avviket mellom et punkt og det neste ble større når de tilfeldige punktene havnet på forskjellige sider av startpunktet. Det oppsto dermed en hypotese om at resultatet ville bli bedre dersom alle de tilfeldige punktene hadde høyere θ -verdi enn startposisjonen. I test 3 ble rekkevidden valgt slik at det kun var tilfeldige punkter med θ -verdi høyere en startposisjonen. Avstanden fra startpunktet ble doblet slik at størrelsen på rekkeviden bli like stor som i test 2. Resultatet er synlig i figur 3.1(c). Ved å sammenligne resultatet for test 2 og test 3 er det mulig å se at test 3 har mindre variasjon, men forskjellen er minimal.



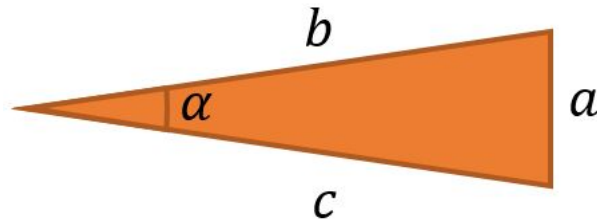
Figur 3.1: Resultater fra repeterbarhetstest

Test 4 ble utført for å kunne sammenligne med test 1 for å få mer data på innvirkningen av retningen mellom startposisjonen og de tilfeldige posisjonene. For å kunne ha en test hvor alle bevegelsene fra startpunktet var i positiv θ -retning, måtte θ s startposisjonen settes som initialposisjon. Denne testen medførte et uforventet resultat. Resultatet fra test 4 er vist i figur 3.1(d). Selv om test 4 har et veldig stort område fikk testen det beste resultatet. Hvis vi ser bort fra det ene punktet som står alene er maksimal variasjon så liten som 3mm på 49 punkter.

I de fleste testene havnet punktene gradvis lengre bort fra startpunktet. Det er altså litt drift i systemet og det kan være lurt å plukke et begrenset antall rogn før det tas et nytt bilde. 50 plukkinger på rad ble bestemt som for høyt. Alle variantene hadde en tydelig variasjon med et så høyt tall. Maks antall plukkinger på rad ble bestemt som 10.

Avviks resonnement

En viktig årsak som kan forklare avviket, er festet mellom akslingen og motoren for rotasjonsleddet. Det eneste som holder disse delene sammen er en settskrue. Denne skruen blir løs etter bruk, og roboten har ved to tilfeller falt ut av festeanordningen og ned i gulvet. Ved å skyve lett på roboten roterer akslingen relativt



Figur 3.2: Figur for analyse av rotasjonsavvik.

til motoren den er festet i. Like etter stramming av settskruen er den mulige rotasjonen liten, men etterhvert som roboten kjøres og skruen blir løsere blir den mulige rotasjonen større. En liten presisjonsanalyse ble utført for å avgjøre hvor stort avvik dette kan bidra med.

I presisjonsanalysen ble en penn, med 26cm fra sentrum av akslingen, brukt som endestykke. Deretter ble roboten forsøkt rotert med bruk av hånden. Ytterpunktene til rotasjonen ble markert og avstanden mellom punktene målt. I første tilfelle var settskruen ganske løs. Avstanden ble målt til 6cm. Roboten ble rotert enda litt mer, slik at settskruen ble løsere, og ende opp med en avstand på 12cm. På dette tidspunktet var roboten nær ved å falle ut av festeordningen.

Cosinussetningen ble brukt for å finne ut hvilket vinkelavvik de forskjellige avstandene tilsvarer. Den er gitt av følgende formel:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bccos\alpha \quad (3.1)$$

hvor α er vinkelen ovenfor lengden a i en trekant, som vist i figur 3.2.

I dette tilfellet er både b og c gitt av avstanden til sentrum av akslingen. a er avstanden mellom punktene som ble skapt ved å rotere. α blir det tilsvarende vinkelavviket. Formelen kan skrives om slik:

$$cos\alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} = \frac{2b^2 - a^2}{2b^2} \quad (3.2)$$

hvor $b = 26cm$. Ved maksimalt avvik, hvor $a = 12cm$ blir tilsvarende vinkelavvik $\alpha = 26.7$ deg. $a = 6cm$ gir vinkelavvik på $\alpha = 13.3$ deg.

En siste avstandsmåling ble gjort etter at settskruen ble strammet. Da ble avviket betydelig mindre med $a = 0.4cm$. Denne verdien for a gir et tilsvarende vinkelavvik på $\alpha = 0.9$ deg.

Denne utregningen viser at festet kan medføre et veldig stort avvik dersom settskruen er løs. Samtidig er det viktig å merke seg at roboten beveger seg tilbake etter

at den blir forskyvet til maksimal rotasjonsavvik. Dette problemet er også en feilkilde for testen. Graden av stramhet på settskruen vil føre til varierende forhold for de forskjellige utføringene av testen.

3.1.2 Posisjoneringstest

I dette delkapittelet presenteres og diskuteres resultatene fra posisjoneringstesten forklart i delkapittel 2.3.4. Posisjoneringsresultatene er presentert i figur 3.3. De røde merkene kommer av kontakt mellom endestykket og papiret. Enkelte av de røde merkene ble dekt av grønne merker for å vises bedre. I testrunde 1 og 2 ble rekkefølgen til merkene sortert etter stigende θ -verdi. Det ble tilnærmet lik en markering fra høyre til venstre i bildene. For test 3 ble sorteringen fjernet for å se om det hadde innvirkning. Rekkefølgen er påskrevet i figur 3.3(f).

Figur 3.3(a), 3.3(c) og 3.3(e) viser resultatene for hver av de tre gangene testen ble gjennomført. Nesten alle markeringene har et avvik på mindre enn 1 cm, men veldig få av merkene klarer å oppnå ønsket avvik på mindre enn 1mm.

Ved å se på resultatene i test 1 og test 2 er det mulig å observere at resultatene er best til høyre i bildet og blir gradvis mindre presis. De første markeringene er altså ofte best. Det kan tyde på at noe av avviket kommer fra drift. Samtidig har test 3 et dårlig resultat helt fra starten. Det gjør det vanskelig å si om god posisjonering i starten er en tendens eller tilfeldighet.

Kameraet ble posisjonert nær sentrum av krysset under bildetakingen for å avgjøre og resultatene ble dårligere med større avstand. Ved å se på bildene virker det som resultatene ikke er avhengig av avstand fra sentrum.

Matpapir ble tatt i bruk for å kunne fjerne gamle punkter mellom hver gjennomkjøring. Denne metoden har også en annen fordel. Med å løsne matpapiret kan alle punktene fra en gjennomføring av testen forflyttes for å passe målpunktene bedre. Det er presentert i figur 3.3(b), 3.3(d) og 3.3(f). Forholdet mellom de forskjellige merkene forblir uendret. Dette har blitt gjort for å avgjør hvor mye av avviket som kan komme av en tilnærmet konstant feil og hvor mye som kommer av andre årsaker. Bildene viser et betydelig bedre resultat. Mange av merkene er tilnærmet på målpunktene. Merkene har altså i stor grad riktig plassering og avstand i forhold til hverandre. Roboten beveger seg i ganske rett linje når det er flere punkt på en linje, men retningen på linjen er ofte litt feil. Dette resultater tyder på at mye av avviket kan komme fra en konstant feil. Mulig årsak som kan føre til konstant feil er videre diskutert i et senere avsnitt.

I tillegg til å ha et sett med merker som er riktig plassert i forhold til hverandre, er det også store avvik mellom nærliggende merker i testen. Det tydeligste eksemp-

let er fra test 2. De seks siste punktene, altså lengst til venstre, hadde et betydelig avvik når de andre merkene var tilpasset målpunktene. De tre nederste punktene er plutselig forflyttet 1 cm nedover, men det mest uforventede er de tre øverste punktene. Det er som om disse punktene har blitt rotert og plassert nærmere hverandre enn den planlagte centimeteren. Det mest underlige er at disse punktene ikke ser ut til å være riktig plassert relativt til hverandre, selv og de øverste og nederste punktene ble markert annenhver gang. Test 3 viser også en plutselig endring. De fem første merkene er fint plassert i forhold til hverandre, og det samme gjelder de femten neste, men de fem første er plassert rundt 1 cm for høyt sammenlignet med de femten neste merkene. Kunnskapen om plutselige forskyvninger har oppstått i 2 av 3 gjennomføringer av testen tyder på at dette skjer relativt ofte. Dette viser til en viktighet av å plukke et begrenset antall rogn om gangen, før det blir tatt nye bilder.

Avviks resonnement

Mangel på stabilt feste, som beskrevet under repeterbarhetstestens avviks resonnement, er også en faktor i denne testen. Presisjonsanalysen ble utført like etter posisjoneringstesten som betyr at avviket på opptil 6cm var tilfellet etter denne testen.

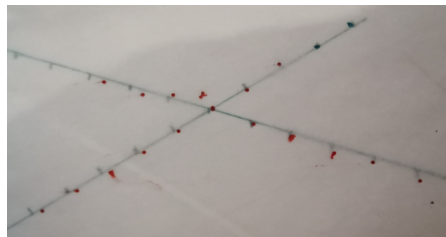
Et annet problem som kan føre til avvik i testene er konstantfeil i transformasjonsmatrisene. Konstantfeilen vil føre til at robotens kamera eller endestykket står en fast avstand fra hvor styringssystemet tror den står. Dette vil medføre et tilnærmet likt avvik for nærliggende punkter. En slik feil kan altså forklare mye av avviket.

Et viktig problem med denne testen er festingen av kamera og endestykket. I testen brukes en penn som endestykket, men for bruk skal roboten ha en slange. Festingen av endestykket er altså midlertidig, og det gjenspeiles i festemetoden. Pennen er festet med tape som medfører at den lett kan slås ut av posisjon. Markeringen skjer ved å flytte pennen rett nedover og opp igjen for å hindre sidelengs bevegelse på pennen. Selv med dette valget av bevegelse kan pennen dyttes ut av posisjon med å bli presset for hardt mot gulvet. Det kan skje dersom dybde estimeringen er feil, underlaget er skjevt, den horisontale lineæraktuatoren drifter eller roboten løsner fra festeordningen og siger lavere. Det er altså mange årsaker som kan føre til at endestykket endrer posisjon, som igjen fører til at transformasjonsmatrisene får feil verdier.

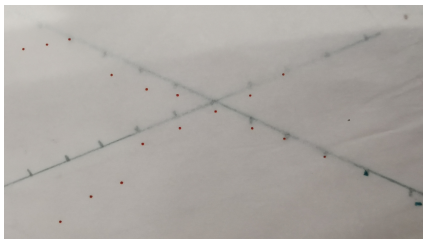
Samme problem kan oppstå med kameraet. Det var trangt å feste kameraet på samme plater som lineæraktuatorene bruker for å festes til hverandre. Det førte til at kameraet ble festet til en forlengelse lagd av en trebit. Begge endene av trebiten er festet med kun en skrue hver. Det gjør biten lett å flytte, som kan føre til uønsket



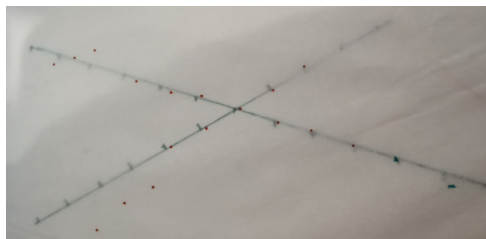
(a) Presisjonstest 1 med punkter slik de ble markert under testen



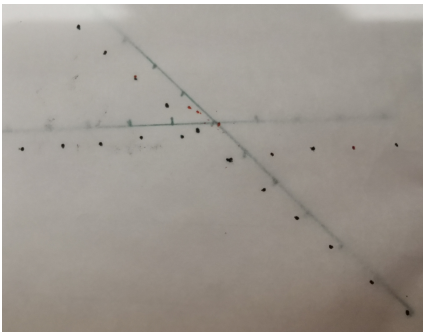
(b) Presisjonstest 1 med punkter som har blitt flyttet for å passe bedre



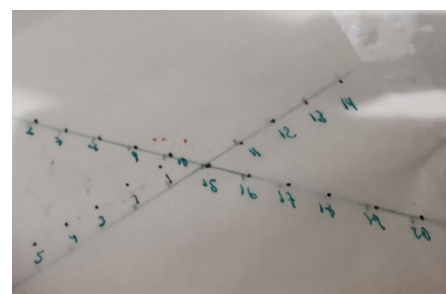
(c) Presisjonstest 2 med punkter slik de ble markert under testen



(d) Presisjonstest 2 med punkter som har blitt flyttet for å passe bedre



(e) Presisjonstest 3 med punkter slik de ble markert under testen



(f) Presisjonstest 3 med punkter som har blitt flyttet for å passe bedre. Tallene viser hvilken rekkefølge punktene ble lagd i.

Figur 3.3: Resultater fra posisjoneringstestene. De røde merkene er merker lagd av roboten. De grønne merkene har blitt tegnet for hånd over de svakeste røde merkene, for bedre visualisering. De grå markeringene på krysset har 1 cm avstand fra hverandre.

forflytning og vinkelendring på kameraet. På lik linje med forflytning på endestykket vil en forflytning av kameraet føre til feil transformasjonsmatrise. I tillegg vil en vinkelendring på kameraet ha en annen effekt. Omregningen mellom pikselkoordinater fra kameraets bilder til koordinater i cm antar at kameraet peker normalt på flaten den tar bilde av. Dersom kameraet roteres litt mot venstre vil punkter med fast avstand fremstå som nærmere hverandre i venstre del av bildet enn i høyre. Resultatene i testen tilsier at markeringene, generelt sett, hadde korrekt avstand til hverandre. Det tyder på at rotasjon av kameraet ikke har påvirket resultatene i vesentlig grad. Rotasjon av kameraet har også en annen effekt som er viktig å merke seg. Med tilfellet hvor kameraet roterer til venstre vil senteret i bildet havne til venstre for kameraets faktiske posisjon. Dette vil bidra til en enda større feil i transformasjonsmatrisen.

En siste faktor som kan føre til avvik, er å utføre utregninger med feil høyde mellom kameraet og papiret. Omregningen fra pikselkoordinater til koordinater i cm er avhengig av høyden. Dersom det brukes en for stor høyde vil styringsystemet tro at målpunktene er lengre unna sentrum enn de faktisk er. Ettersom markeringene virket tilnærmet like bra, uavhengig av avstand fra sentrum er det rimelig å tro at dette hadde minimal innvirkning på avviket.

3.1.3 Plukketest

Resultatene for rogn testen beskrevet i delkapittel 2.4.5 er presentert i tabell 3.1.

Det første som kan tolkes fra tabellen er viktigheten av avstand. Ved å ta gjennomsnitt av antall rognkorn i hver av tabellene oppnås 0.98 rogn per utsugning for 5mm, 1.09 rogn per utsugning for 7mm og 0.29 rogn per utsugning for 9mm. Mens avstand på 5 og 7mm medfører en gjennomsnittlig utsugning på cirka et rognkorn, fører 9mm til mindre enn et rognkorn per tredje utsugning. Det kan altså være lurt å holde avstanden mindre enn 9mm for å oppnå et godt resultat.

Gjevt over fremstår utsugning på 0.15 sekunder som det optimale alternativet. Hvis vi tar utgangspunkt i tabellene med best resultat, altså 5 og 7mm avstand, fører 0.2 sekunder til et stort antall tilfeller med for mange rogn. Samtidig medfører 0.1 sekund mange tilfeller uten et eneste rognkorn.

Hos de forskjellige kraftnivåene er det derimot ikke like tydelig forskjell. Hvis vi f.eks. ser på 0.15 kolonnen i tabellen for 5mm har alle kraftnivåene ganske bra resultater. Kombinasjonen av lite datasett og liten forskjell gjør det vanskelig å avgjøre et favorisert kraftnivå.

En ting som er viktig å merke seg i denne testen er at rognkornene ikke er ekte rogn, men rognestatning. Det betyr at ekte rognkornene kan ha litt annen størrelse og

	0.1 sek	0.15 sek	0.2 sek
100%	1, 0, 0	0, 1, 0	1, 3, 3
80%	0, 1, 1	2, 1, 1	3, 3, 2
60%	0, 0, 1	2, 0, 1	2, 2, 2
40%	0, 0, 1	1, 1, 1	1, 1, 2
20%	0, 0, 0	0, 1, 0	2, 0, 1

a Tabell med 5mm mellom slange og bunnen av beholder

	0.1 sek	0.15 sek	0.2 sek
100%	0, 0, 1	1, 0, 1	2, 2, 1
80%	0, 0, 0	1, 1, 1	3, 2, 3
60%	1, 0, 0	0, 3, 2	3, 2, 2
40%	0, 1, 0	0, 1, 1	1, 1, 1
20%	0, 2, 1	2, 0, 2	1, 2, 2

b Tabell med 7mm mellom slange og bunnen av beholder

	0.1 sek	0.15 sek	0.2 sek
100%	0, 0, 0	0, 0, 0	1, 2, 2
80%	0, 0, 0	1, 0, 1	0, 1, 0
60%	0, 0, 0	1, 0, 0	0, 2, 1
40%	0, 0, 0	0, 0, 0	1, 0, 0
20%	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0

c Tabell med 9mm mellom slange og bunnen av beholder

Tabell 3.1: Tabeller som viser antallet rognkorn som ble pumpet ut i rogn testen. Første kolonne viser til pumpens effekt som en prosent av maksimal. Første rad viser tiden pumpen var på. De andre rutene inneholder antall rognkorn som ble pumpet ut i hver av de 3 utpumpingsforsøkene.

tetthet enn de brukt i denne testen. Nødvendig kraft for å trekke opp ekte rognkorn kan altså være annerledes og føre til andre resultater.

En annen viktig forskjell mellom denne testen og ønsket bruk er lengden på slangen. Slangen brukt i denne testen er kortere enn avstanden mellom festeanordningen og endestykket. Det medfører at pumpen ligger like ved rognbeholderen og ikke på festeanordningen. Festeanordningen er lagd slik at roboten høyde er mulig å endre, men under denne testen var det 85cm mellom endestykket og oversiden av festeanordningen. Trykket i slangen vil variere med høyden vannet har blitt sugd opp. Når pumpen er av, og vannet står stille, kan det hydrostatisketrykket i et punkt i slangen beregnes slik, gitt at hele slangen er fylt med vann:

$$p = \rho h g + p_0 \quad (3.3)$$

hvor ρ er vannets tetthet, g er tyngdens akselerasjon og p_0 er trykket på vannoverflaten. h er høydeforskjellen mellom vannoverflaten og ønsket punkt. Dersom ønsket punkt er høyere enn vannoverflaten blir h negativ. Hvis det nå antas en høydeforskjell på 85 cm mellom vannoverflaten og inngangen til pumpen, oppnås et trykk på $p = 930hPa$. Testen ble utført i saltvann, men vanlig rognplukking vil skje i ferskvann og det blir derfor tatt utgangspunkt i tettheten til ferskvann for utregningen. Dette trykket tilsvarer 91,8% av atmosfærisk trykk. Når trykket ved pumpens inngang bli lavere, blir også trykkforskjellen skapt av undertrykket mindre. Det vil videre medføre en mindre kraft for å trekke opp rognkorn. Med en lengre slange kan det altså være naturlig og øke kraften fra pumpen for å oppnå et likt resultat.

Under plukking er det ønskelig at endestykket skal plassere seg direkte over et rognkorn. I denne testen var det tilfeldig om endestykket havnet direkte over et korn eller like langt unna flere. Med å ha posisjonering kan det bli enklere å oppnå plukking av kun et rognkorn per utsugning.

3.2 Viderearbeid og mulige forbedringer

3.2.1 Festeanordningen

Under avviks resonnement er festet mellom rotasjonsmotoren og akslingen beskrevet som en viktig og sannsynlig årsak til avvik. Settskruen løsner etter bruk og kan føre til økt avvik. Med å feste disse bedre sammen kan det generelle avviket i posisjoneringen gå ned. I tillegg er det verd å merke seg at roboten kan bevege seg nedover etterhvert som settskruen blir slakkere og i verste tilfelle falle ut av festeanordningen. Dersom avstanden til klekkebakken blir kortere kan roboten gå fra å posisjonere seg rett over rognen, til å treffe og potensielt skade rognen. Verste tilfelle, hvor roboten faller ut av festeanordningen, kan skape enda mer skade både

på rogn og robot.

Andre fester som må forbedres er festingen av kameraet og festing av slangen. Begge disse har vært dårlig festet som kan føre til uønsket bevegelse og tap av presisjon.

I tillegg mangler delen som skal feste roboten til klekkekarene.

3.2.2 Fullstendig test

Denne oppgaven skulle egentlig innholde en fullstendig test hvor roboten skulle posisjonere seg ut fra kameraets bilder og suge opp rognkorn. Før denne testen blir relevant å utføre må posisjoneringavviket bli bedre. Testen ble derfor ikke utført og inngår i stedet som et punkt under videre arbeid.

3.2.3 Øke avstand mellom kamera og klekkebakke

Slik delene på roboten er festet sammen er det opptil 15 cm fra kameraet til nedre ende av den vertikale lineæraktuatoren. Robotens endestykke, som er festet på den vertikale lineæraktuatorens nedre ende, skal ha muligheten til å nå ned til rognkornene. Det fører til en veldig liten avstand mellom kameraet og klekkebakken. Maskinsynsystemet er trent med bilder tatt fra 60cm avstand, og det kan være gunstig med bilder som ligner på datasettet synsystemet er trent på. Dette kan hovedsaklig forbedres på to måter. Den første er å endre til en linse med et større synsfelt. Den andre måten er å forlenge den vertikale lineæraktuatoren. Det er viktig at forlengelsen ikke blir for lang, ettersom det vil medføre at endestykket havner i bildene fra kameraet. I presisjonstesten ble dette gjort med en planke.

3.2.4 Dybdeestimering

Dybdeestimering kan være nyttig å implementere, blant annet fordi det vil fjerne behovet for å finne dybden manuelt. Det vil altså redusere behovet for en operatør. Dybdeestimering kan også bedre presisjonen. Nåværende dybdeestimering antar en flat bakke men det trenger ikke å være tilfellet. Rognkorn kan legge seg flere lag i høyden, som vil føre til en varierende avstand til det øverste rognkornet. I tillegg kan roboten festes litt skjevt i forhold til klekkebakken, som også vil bidra til en varierende avstand til klekkebakken.

Dybdeestimering har også negative følger som må vurderes. Dersom dybdeestimering skal implementeres må det sannsynligvis festes en sensor i samme område som kameraet. Dette området er allerede ganske trangt som førte til at kameraet måtte festes via en forlenger. Det kan altså være ugunstig å feste flere objekter på robotarmen, og risikoen for kollisjon med bevegelige deler kan øke.

3.2.5 Effektivisering

Ved å øke presisjonen kan flere døde rognkorn fjernes mellom hvert nye bilde for å gjøre fjerningen mer effektiv. Dersom roboten sliter med å suge ut de fleste rognkornene kan kontroll bilder mellom hver utsugning bidra til økt effektivitet. Riktig tilnærming er altså sterkt avhengig av systemets presisjon.

Det er også andre måter å øke effektiviteten, nemlig sortering av datapunktene fra maskinsynmodulen. Et forsøk i posisjoneringstesten var å utføre enkel sortering etter stigende θ -verdi. Forsøket var motivert av høy repeterbarhet i r-retning og var ment som en måte å redusere endring av θ . Dette medførte ingen merkbar bedring, og ble fjernet. Implementering av en god sorteringsmetode kan bidra til mer effektiv forflytning til ønskede posisjoner, samt reduisering av drift med å minimere samlet forflytning i løpet av en plukkesekvens.

3.3 Konklusjon

Generelt sett er denne roboten for uferdig og upresis for å kunne brukes i praksis. Festeanordningen er påpekt som en mulig kilde til mye av den manglende presisjonen. Forbedringer av festeanordningen kan bedre presisjonen, men det er umulig å avgjøre om det vil være nok for å oppnå rimelig presisjon.

Selve utsugningen ser ut til å fungere greit men med manglene testing på rogn er det vanskelig å si noe sikkert.

Bibliografi

- [1] Fakta om: Saprolegniose, 2015.
URL <http://multiconsult.eurest.no/nor/Faktabank/Saprolegniose>
accessed: 19.06.2020
- [2] Lønn¹, 2019. URL <https://www.ssb.no/statbank/table/11418>
accessed: 20.06.2020
- [3] Hva koster en arbeidstaker, 2019. URL <https://www.altinn.no/starte-og-drive/arbeidsforhold/ansettelse/hva-koster-en-arbeidstaker/>.
accessed: 20.06.2020
- [4] K. A. Lilleindset, P. E. Aarseth, Y. Brathaug, K. Hildrestrand.
RoeBot - The roe picking robot. 2018
- [5] E. Solem.
Robot for kvalitetssortering av øyerogn av laksefisk 2020
- [6] Nema 23 Stepper Motor Bipolar L=76mm w/ Gear Ratio 30:1 Spur Gearbox.
URL <https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-stepper-motor-bipolar-176mm-w-gear-raio-301-spur-gearbox-23hs30-2804s-sg30.html?search=gear>.
accessed: 01.10.2019
- [7] V-Slot® NEMA 17 Linear Actuator Bundle (Lead Screw). URL <https://openbuildspartstore.com/v-slot-nema-17-linear-actuator-bundle-lead-screw/>.
accessed: 01.10.2019

¹Det ikke er mulig å generere link til en spesifikk tabell. Det refereres derfor til tabellgeneratoren

- [8] Wiring your Duet 2 Wifi/Ethernet. URL [https://duet3d.dozuki.com/Guide/2.\)+Wiring+your+Duet+2+WiFi-Ethernet/9?lang=en](https://duet3d.dozuki.com/Guide/2.)+Wiring+your+Duet+2+WiFi-Ethernet/9?lang=en).
accessed: 21.06.2020
- [9] 400W Single Output Switching Power Supply. URL <https://no.rs-online.com/web/p/products/1408123>
accessed: 01.10.2019
- [10] Outdoor microalgae production. URL <https://edepot.wur.nl/387236>, side 24.
accessed: 21.06.2020

Tillegg A

Oppgave tekst



MASTEROPPGAVE

Kandidatens navn: Edda Solem

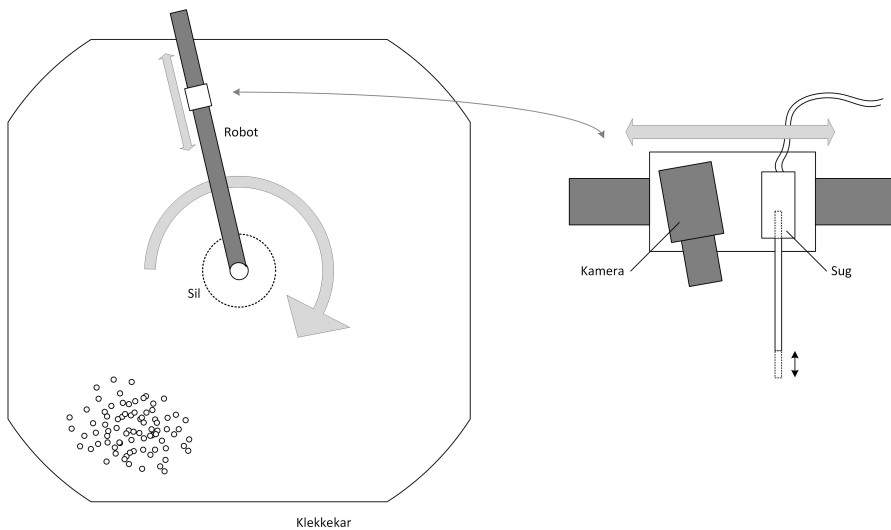
Fag: Teknisk Kybernetikk


Oppgavens tittel (norsk): Robot for kvalitetsortering av øyerogn av laksefisk

Oppgavens tittel (engelsk): Robot for quality sorting of salmonid fish eggs

Oppgavens tekst:

Sopp er et problem på øyerogn av laksefisk og sprer seg raskt mellom rognkorn dersom de infiserte ikke blir fjernet raskt nok. SINTEF Ocean ønsker å utvikle en robot som benytter maskinsyn for klassifisering av infisert / døde rognkorn (se figur). Robotarmen vil være utstyrt med et kamera og en utsugingsenhet. Denne monteres over klekkebakken, og robotarmen flytter seg rundt til hele arealet er scannet. Rognkorn av dårlig kvalitet identifiseres, posisjonsbetemmes og suges ut av roboten.



	Eggrobot, øyerogn				
	21.02.2019	104	15081 NO	DWG NO	REV 1
Torfinn S	EGGRO		1	SHEET	1 OF 1

Denne masteroppgaven bygger på tidligere prosjektoppgave hvor robotarmen og styringssystemet for denne har blitt designet og delvis prototypet. De følgende punktene inngår i oppgaven:

- Fullføre bygging av prototype, og gjennomføre testene beskrevet i prosjektrapporten.
- Designe, bygge og teste system for utsuging av rognkorn.
- Teste integrasjon av maskinsynsystemet i prototypen (forutsatt at maskinsynsystemet blir klart til integrering)

Oppgaven gitt: 8. januar 2020

Besvarelsen leveres innen: 3. juni 2020

Utført ved Institutt for teknisk kybernetikk

Veileder: Morten Omholt Alver

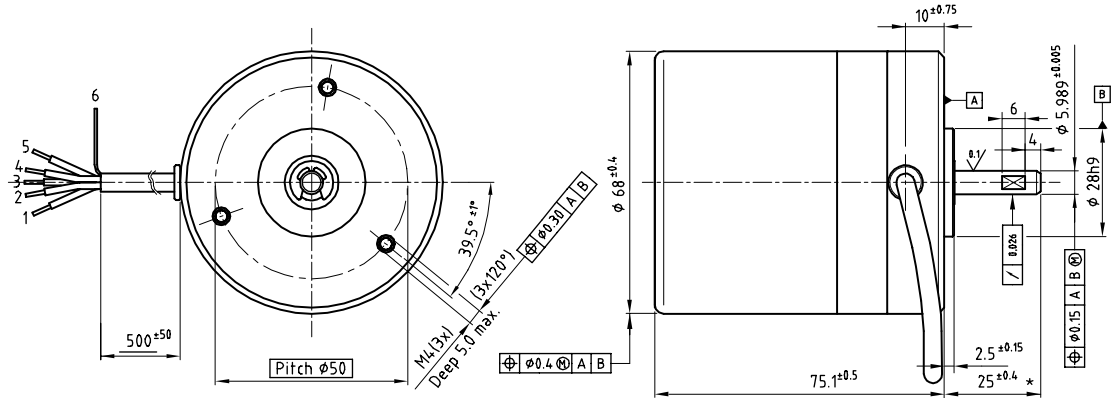
Trondheim, januar 2020

Fagærer

Tillegg B

Datablad

Dimensional drawing



Motor data

Motor order number	Shaft length 25 mm	4322 016 58051
	Shaft length 20 mm	4322 016 58052 *
Nominal Voltage	[V]	36
No load Speed (V in > 4V)	[rpm]	4050
No load Current (V in > 4V)	[mA]	220
Nominal Current limitation (V in > 4V)	[A]	3.0
Maximum torque	[mNm]	210
Maximum output power	[W]	70
Operating temperature range	[°C]	0 to 90
Thermal resistance from housing to ambient	[K/W]	3.7
Rotor inertia	[kgm ²]	120x10 ⁻⁶
Mass of motor	[g]	600

Maximum radial load 20 mm from mounting front (no axial load towards flange)	[N]	40
Maximum axial load - towards flange (no radial load) - from flange	[N]	18
	[N]	10

Thermal motor protection :
 Motor shuts down if the motor flange temperature reaches approx. 90°C
 Motor restarts if the flange temperature is cooled down to approx. 80°C
 For thermal reasons it is advised to mount the motor on a heat conducting frame if high output power is desired.

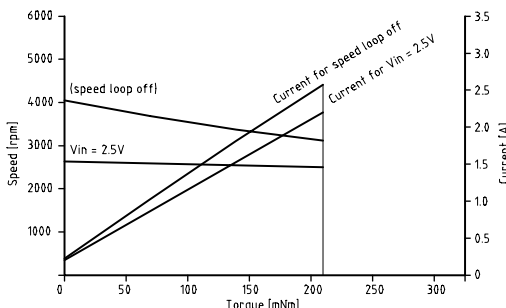
* Shaft 20 mm for combination with gearbox

Electrical Connection

Lead no.	Lead colour	Function	Description
1	brown	FW/RV	Direction control input : 'High' CW, 'Low' CCW (shaftside) (do not leave this lead floating)
2	white	V in	Input voltage (setpoint) for speed loop Resulting speed approx. 1000 rpm/V V in > 4 V : motor at full speed, speedloop off (open loop)
3	green	FG	Frequency generator output, 36 ppr ; R out = 4k Ohm (approx)
4	black	GND	Motor return, ground (0 V)
5	red	Vp	Motor supply voltage +36 V (min. 23 V - max 40 V)
6	bare	shield	Shield for cable and connected to motor housing

		min.	typ.	max.	
Lead 1	input 'high'	[V]	4.1	5	
	input 'low'	[V]	0	1.9	
	abs. max./min. input	[V]			±30
Lead 2	abs. max./min. input	[V]			±30
	output 'high', not loaded	[V]	4.0	4.5	5.0
Lead 3	output 'low', not loaded	[V]	0	0.1	0.2

Performance curve



Product combinations

- * Gearbox S64A
- * Gearbox P50A
- * Gearbox S69A
- * Gearbox P59A

Options

- * Square mounting flange
- * Speed loop with frequency input
- * Shaft diameter, 7 or 8 mm
- * Protection class upto IP67DS

Features

- * Adjustable speed loop
- * Direction control input (forward / reverse)
- * Frequency Generator output (speed sensing)
- * Thermal motor protection
- * Long life (20.000 hours)
- * Low EMI
- * Protection class IP54

