

FAGLIG SLUTTRAPPORTERING MIDAS

SLUTTRAPPORT FOR MIDAS

RAPPORTDATO	FHF-PROSJEKTNUMMER	UTFYLT AV
4. september 2018	901280	Stein Magne Kjerstad, Elling Øye, Morten Bondø og Leif Grimsmo

1. Sammendrag

MIDAS er forkorting av "MaskInsyn Deteksjon og Automatisk Sortering av snøkrabbe"

Prosjektet bygger på BIA prosjektet CrabTech, og går videre med konseptutvikling, installering, testing og forbedring. Hovedleveransen er en enhet for automatisk kvalitetssortering av snøkrabbe.

Sortering av snøkrabbe med hensyn til kvalitet (spesielt fyllingsgrad iav kjøtt i bein) foregår i dag manuelt og har vist seg å være en avgjørende flaskehals for effektiv produksjon ved ombordproduksjon av snøkrabbe, spesielt under godt fiskeri. Prosjektet går i korte trekk ut på å bruke maskinsyn som input til algoritmer som analyserer kvalitetskriterier på krabben. Det er vist at fargeanalyse gir ein god indikasjon på fyllingsgraden av kjøtt i klørne.

2. Innledning

Snøkrabben som fiskes i Barentshavet blir i stor grad ombordprodusert. Det vil si at krabben slaktes, sorteres, kokes, glaseres og fryses ned før båten går til land. Krabbecluster sorteres etter to hovedkriterier: Vekt og kvalitet. Kriteriene for kvalitet er todelt. Kjøttfylde eller fyllingsgrad sier noe om hvor mye av skallet er fylt med kjøtt, i tillegg er det viktig at flest mulig av beina er intakt. Slaktede krabbecluster deles inn i tre forskjellige klasser: Superior, N og P. Et cluster med superior-kvalitet har minst de fire største beina intakt og en fyllingsgrad på over 80%. Et cluster i N-klassen mangler en eller flere av de fire største beina og har i tillegg en fyllingsgrad på over 70%. Til slutt klassifiseres alle cluster med fyllingsgrad under 70% som P-klasse.

Kvalitetssorteringen av krabbecluster gjøres i dag manuelt. En helautomatisk løsning for kvalitetssortering vil legge grunnlaget for at man i fremtiden kan utvikle mer automatiserte løsninger for koking, pakking og nedfrysning om bord. I dag er dette vanskelig å gjennomføre fordi man er avhengig av manuell vurdering av kvalitet rett etter slakting og samtidig betydelig arbeid med ettersortering under pakking. I prosjektet ble det først utviklet en metode for å automatisk skille mellom krabbecluster med lav eller høy fyllingsgrad ved hjelp av maskinsyn.

Oppgaven ble delt i to del-oppgaver:

1. Predikering av fyllingsgrad basert på målt kjøttfylde på laboratoriet.
2. Predikering av fyllingsgrad basert på manuell klassifisering utført av erfaren operatør om bord.

Kontroll av fyllingsgrad gjøres i dag manuelt av en erfaren operatør. Inspeksjonen utføres ved å klippe et utvalgt bein i to og inspisere tverrsnittet (se Figur 1). Basert på denne inspeksjonen anslås en omtrentlig fyllingsgrad av hele clusteret.



Bein med høy kjøttfylde



Bein med lav kjøttfylde

Figur 1 – Tverrsnitt av snøkrabbebein

I del 2 var målet å predikere fyllingsgrad basert på manuell klassifisering utført av erfaren operatør om bord gjennom å utvikle en algoritme som er i stand til å gjøre den samme vurderingen av fyllingsgraden, altså å skille mellom krabber med superior kjøttfylde og krabber med kjøttfylde som tilhører N- eller P-klasse.

Fra et markedsperspektiv er denne kontrollen god nok så lenge både selger og kjøper er fornøyd med resultatet. For utvikling av automatiserte metoder for sortering er det likevel interessant å kunne oppnå en mer objektiv og repeterbar målemetode. Både for å gi en vurdering av nøyaktigheten til dagens metode, men også for å enklere kunne vurdere nøyaktigheten til automatiserte løsninger.

Prosjektorganisering:

- SteelTech Carsoe AS prosjektansvarlig, PL Stein Magne Kjærstad
- Opilio AS, samarbeidende rederi med to snøkrabbefartøy; "North Guider og "North Eastern". Kontaktpersoner Arne Birkeland (reder) og Asle Birkeland (reder og skipper).
- SINTEF Ocean, Sjømatteknologi, oppdragsforskning, PL Leif Grimsmo og prosjektmedarbeidere Elling Øye, Morten Bondø og Aleksander Eilertsen.

3. Metodikk og gjennomføring

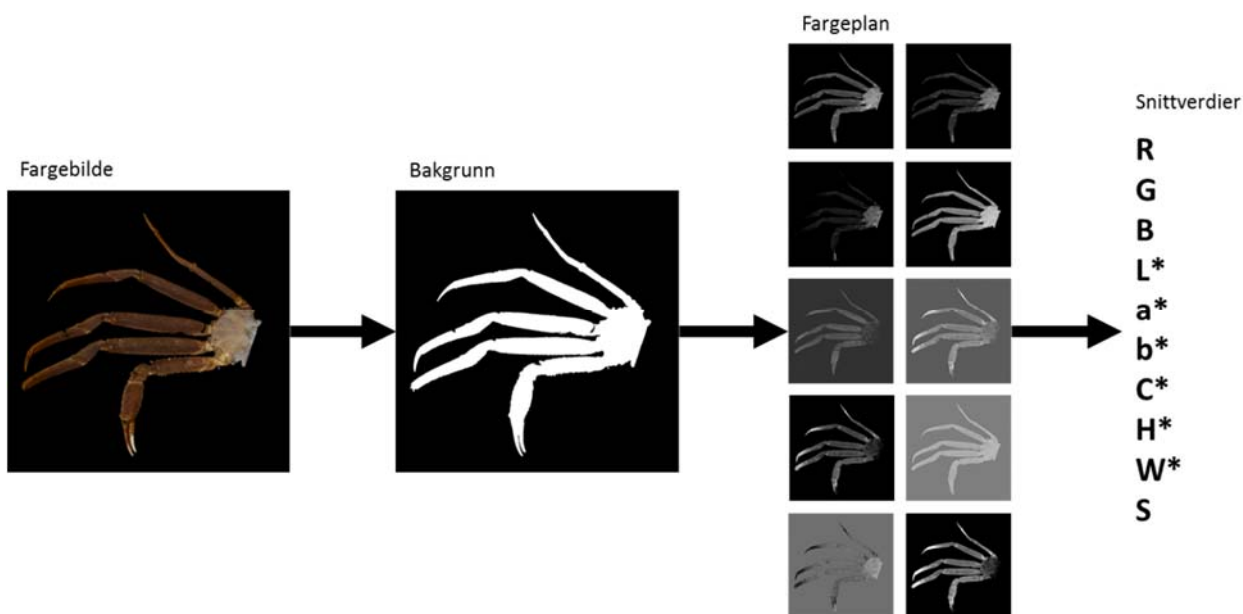
Fargemåling av krabbe-cluster

Fiskerne om bord på snøkrabbebåtene har flere måter å vurdere fyllingsgraden til et krabbecluster. En krabbe med lav kjøttfylde vil være merkbart lettere enn en like stor krabbe med høy fyllingsgrad. Likeens vil krabben rett etter skallskifte både være relativt lys i skallet, skallet vil være mykt (som kan kjønes) og beina vil ha lav kjøttfylde. Under fangst er det derimot såpass stort gjennomløp at man ofte ikke har tid til annet enn å visuelt vurdere clusteret. Det er som regel merkbare fargeforskjeller, spesielt på undersiden av krabben. For å kunne gjøre den samme vurderingen av fyllingsgrad med maskinsyn som ved manuell sortering valgte vi derfor å bruke et fargekamera. Under blir metodene for fargemåling, analyse og innhenting av data beskrevet.

For innsamling av fargedata ble et Nikon speilreflekskamera benyttet. Hvert krabbecluster ble hentet ut etter slaktemaskinen og tatt bilde av både fra undersiden og oversiden. Fyllingsgrad ble manuelt klassifisert av en erfaren fisker på samme måte som clusterne klassifiseres på prosesseringslinjen. Hvert cluster ble så markert med nummer-tag, kokt og pakket, før de så sendtes tilbake til laboratoriet hos SINTEF.

Analysen av hvert bilde ble gjennomført slik:

1. Først ble clusteret skilt fra resten av bakgrunnen i bildet slik at bare piksler som dekker en del av clusteret ble med videre i analysen (se Figur 2).



Figur 2 – Algoritme bildeanalyse

2. Ut fra RGB-verdien til hver piksel ble følgende fargeplan beregnet:

Rød - RGB

Grønn - RGB

Blå - RGB

L - CIELAB*

a - CIELAB*

b - CIELAB*

*Chroma - $(a^*2 + b^*2)^{1/2}$*

Hue - $\tan^{-1}(b^/a^*)$*

Whiteness - $(L^ - 3b^*)$*

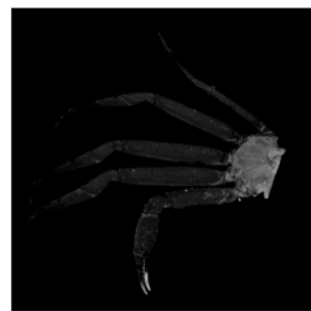
Saturation (HSL)



Rød fargekanal



Grønn fargekanal



Blå fargekanal



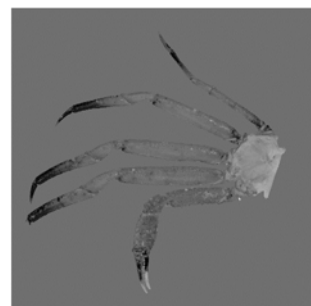
L*



a*



b*

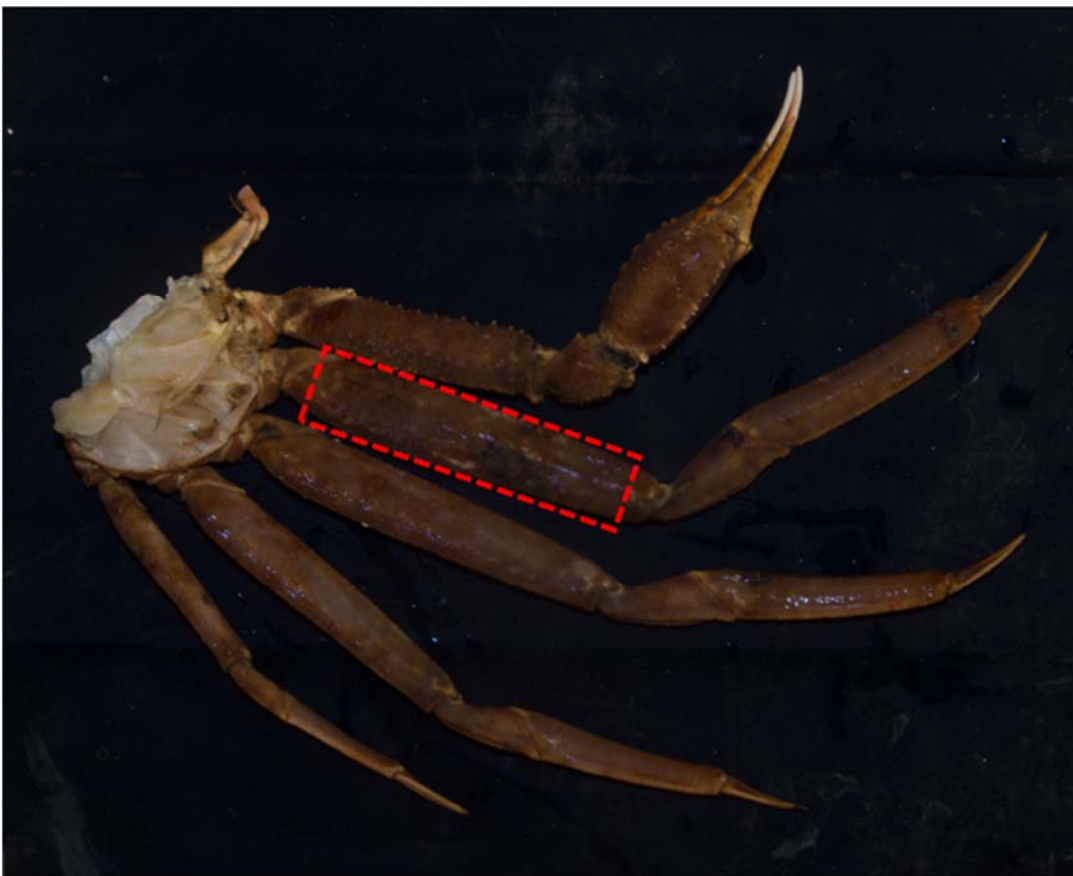


3. For hvert fargeplan ble det beregnet en snittverdi for hele clusteret. Ut fra denne analysen fikk hver cluster to sett med verdier. Ett for oversiden og ett for undersiden.

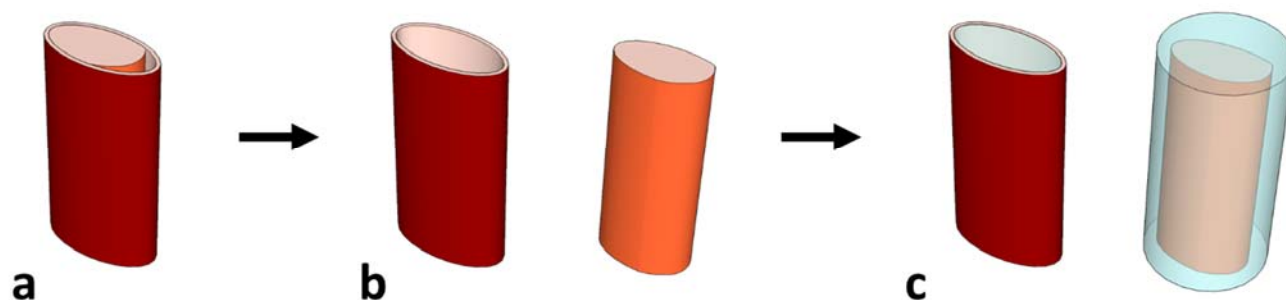
Prosedyre for estimering av fyllingsgrad på lab

For å gjøre en objektiv vurdering av kjøttfylde på hvert cluster ble det samme beinsegmentet valgt ut for alle krabbecluster. Vi brukte lengste segment på andre bein sett forfra da dette segmentet også blir brukt i en kvalitetskontroll hvor en estimerer fyllingsgrad manuelt.

1. Beinsegmentet ble kuttet på hver side av det røde rektangelet vist i Figur 3. nedenfor slik at man stod igjen med segmentet vist i Figur 4a. nedenfor.
2. Kjøttet ble presset ut av skallet som vist i Figur 4b.
3. Volumet inne i skallet ble estimert ved å fylle det med vann og måle vekten av tilført vann.
4. Volumet av kjøtt ble estimert ved å måle volum av fortrent vann når kjøtt-segmentet plasseres i en beholder med kjent andel vann som vist i Figur 4c.



Figur 3 – Beinsegment for måling av kjøttfylde



Figur 4 – Måling av kjøttfylde

Estimert fyllingsgrad er volum kjøtt dividert på tilgjengelig volum inne i skallet.

For å estimere fyllingsgraden ble en lineær regresjon benyttet. Ved hjelp av minste kvadraters metode ble ligningen $y = ax$ løst for det samlede datasettet hvor y er forholdstallet mellom volum kjøtt og volum inne i skall og x en vektor av de forskjellige fargemålingene for over- og underside vist i Figur 2 ovenfor:

$$x = [1 R_o G_o B_o L_o^* a_o^* b_o^* C_o^* H_o^* W_o^* S_o R_u G_u B_u L_u^* a_u^* b_u^* C_u^* H_u^* W_u^* S_u].$$

Prediksjonen ble vurdert ut fra en utelat-en-av-gangen kryssvalidering. Dvs. at en observasjon utelates og prediksjonsmodellen beregnes ut fra de resterende observasjonene. Prosessen gjennomføres til alle observasjoner har blitt utelatt en gang.

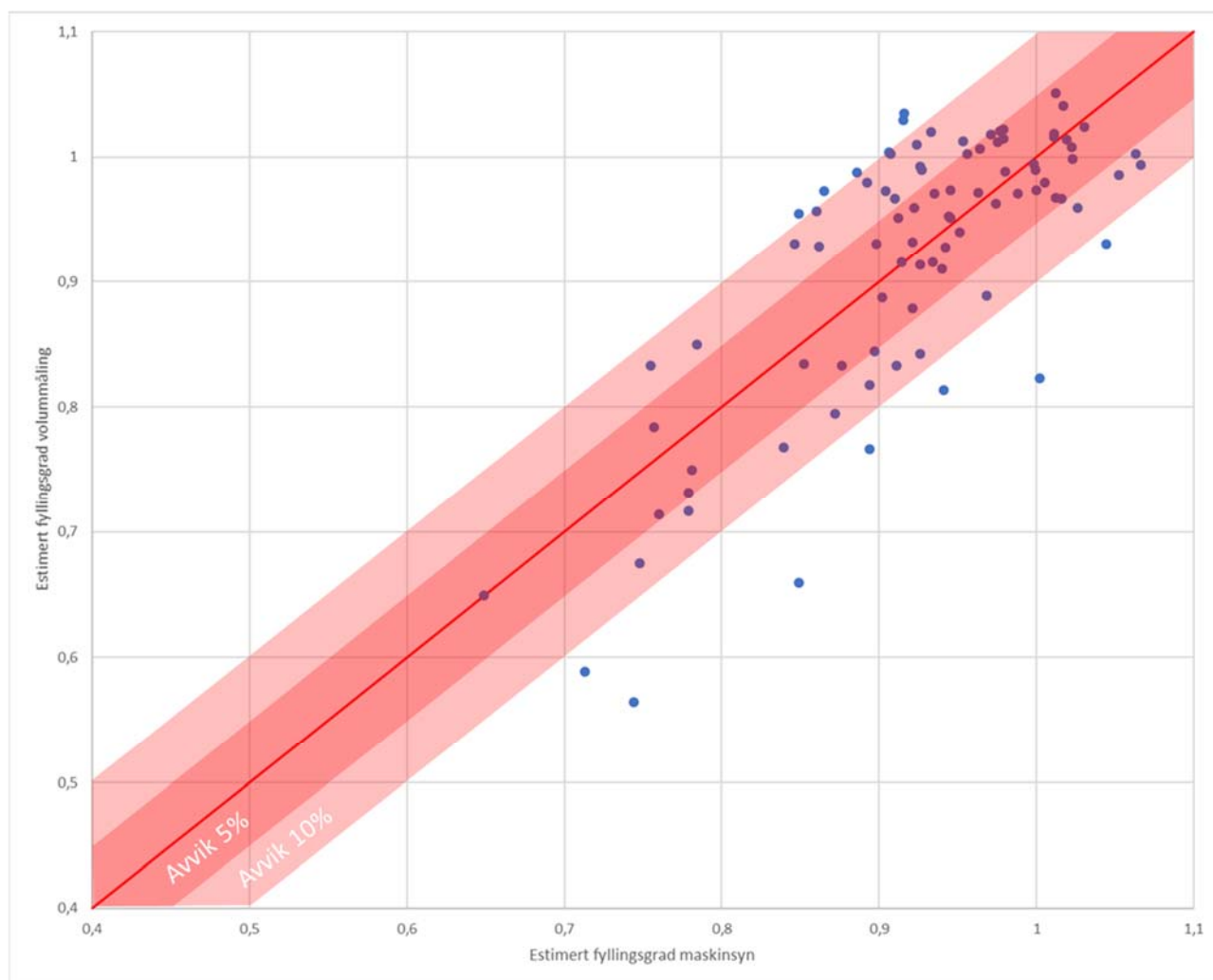
Til slutt vurderes kvaliteten på prediksjonen ut fra snitt-feil for alle prediksjonsmodellene.

Estimering av fyllingsgrad basert på klassifisering fra mannskap

En to-klasses lineær diskriminantanalyse ble brukt til å kombinere snittverdiene for fargeplanene (Figur 2) til en enkelt poengverdi som ga best skille mellom de to klassene: høy fyllingsgrad og lav fyllingsgrad. En optimal klassifiseringsgrense for poengverdien ble så beregnet basert på datasettet. Klassifiseringsresultatet ble vurdert ut fra en utelat-en-av-gangen kryssvalidering.

Predikering av fyllingsgrad basert på målt kjøttfylde på laboratoriet

I alt ble 84 krabbecluster kontrollert for fyllingsgrad. Prosessen med å fjerne kjøtt måle volumet til kjøttet inne i beinet tilførte en del målefeil, siden både sammentrykking av kjøtt og kuttkvalitet kan påvirke måleresultatet. Dette gjenspeiles i resultatet hvor forholdstallet mellom volum kjøtt og volum inne i skall varierte fra 0,57 til 1,05. Et forholdstall over 1 er selvsagt feil da det ikke er mulig å fylle skallet med mer volum kjøtt enn det er plass til.



Figur 5 - Plott av estimert kjøttfylde maskinsyn og volummåling

I Figur 5 kan man se resultatet av regresjonen mellom fargemåling og volummåling. Langs x-aksen er fyllingsgraden estimert av maskinsynet. Langs y-aksen er fyllingsgraden estimert av volummåling. Dess nærmere et målepunkt er den røde linjen dess bedre har prediksjonsmodellen estimert fyllingsgraden ut fra fargemålingene basert på volummålingene. Målepunkt som ligger innenfor det bredere røde feltet har et avvik på mindre enn 5 prosentpoeng mens målepunkt som ligger innenfor det lyserøde feltet har et avvik på mindre enn 10 prosentpoeng. Ved kryssvalidering endte det gjennomsnittlige avviket på 7,6 prosentpoeng.

Predikering av manuell klassifisering utført av erfaren operatør om bord

I alt ble 97 krabbecluster med høy fyllingsgrad og 82 krabbecluster med lav fyllingsgrad tatt bilde av og manuelt klassifisert.

For at resultatet skal ha relevans for en prototyp som kan monteres om bord ble fire scenarioer testet:

1. Et maskinsyn har tilgang på begge sidene av clusteret og vet på forhånd hvilke side som er overside eller underside.
2. Et maskinsyn har tilgang på undersiden av clusteret og vet på forhånd at det er undersiden som vises.
3. Et maskinsyn har tilgang på oversiden av clusteret og vet på forhånd at det er oversiden som vises.
4. Et maskinsyn har tilgang på en av sidene av clusteret, men vet ikke på forhånd hvilke side som vises.

Scenario 1 er det ideelle tilfellet hvor maskinsynet er plassert både under og over clusteret samtidig som orienteringen av clusteret er kjent. Dette scenarioet er det mest mekanisk krevende å implementere om bord fordi det krever at slaktemaskinen slipper clusteret i fast orientering og at transportbåndet er konstruert slik at inspeksjon kan skje både oven- og undenifra.

Scenario 2 og 3 krever mindre av maskinsynoppsettet fordi man kan nøye seg med inspeksjon ovenfra, men krever at clusterne plasseres i kjent orientering på transportbåndet.

Scenario 4 krever svært lite mekanisk fordi man kan ha et like enkelt maskinsyn som i 2 og 3, samtidig som man ikke har noe krav for orientering ut av slaktemaskinen. Derimot krever dette scenarioet at prediksjonsmodellen, i tillegg til å predikere fyllingsgrad, også kan skille mellom overside og underside av krabbe-clusteret.

Scenario 4 kan løses på to forskjellige måter:

1. I scenario 4.1 trenes prediktoren på et datasett bestående av fargedata for både overside og underside samtidig uten å vite hvilke data som tilhører hvilken orientering.
2. I scenario 4.2 gjøres prediksjonen i to steg, der den i det første steget predikerer orientering av clusteret og i det neste steget fyllingsgrad.

Resultatene fra de forskjellige scenarioene kan sees i Tabell 1.

Tabell 1 – Prediksjon av manuell klassifisert fyllingsgrad

Scenario	Samlet datasett			Utelat-en-av-gangen kryssvalidering		
	Klassifisert feil	Klassifisert rett	Prosent korrekt klassifisering	Klassifisert feil	Klassifisert rett	Prosent korrekt klassifisering
S1	3	176	98,3 %	4	175	97,8 %
S2	3	176	98,3 %	7	172	96,1 %
S3	11	168	93,9 %	12	167	93,3 %
S4.1	40	318	88,8 %	45	313	87,4 %
S4.2	15	343	95,8 %	21	337	94,1 %

Resultatet fra Scenario 4.2 består av prediksjonen av orientering som i seg selv har en kryssvalidert korrekt klassifisering på 96,4% og prediksjonen for enten Scenario 2 eller 3. Derfor er også resultatet fra Scenario 4.2 avhengig av om maskinsynet observerer flest oversider eller undersider av clusterene. En overvekt av underside-cluster vil føre til en nøyaktighet nærmere Scenario 2 mens en overvekt av overside-cluster vil gi en nøyaktighet nærmere Scenario 3. Resultatet for Scenario 4.2 i

Tabell 1 er basert på lik fordeling av clusterene med oversiden og undersiden mot kamera.

For del 1 (Predikering av fyllingsgrad basert på målt kjøttfylde på laboratoriet) blir målenøyaktigheten av den korrekte fyllingsgraden til snøkrabben såpass variert at det blir vanskelig å trekke sikre konklusjoner fra resultatet. Tendensen til at fargemåling samsvarer med forholdstallet mellom kjøttvolum og beinvolum er synlig, men det er også stor variasjon. En snittfeil på 7,6 prosentpoeng kan gjøre det mulig å skille mellom clusterer med svært høy eller lav kjøttfylde, men er antagelig for unøyaktig til å kunne prestere godt på tvilstilfellene. Det er likevel ikke mulig å anslå hvor mye av avvikene skyldes målefeil av volum og hvor mye som skyldes forholdet mellom kjøttfylde og farge på skall.

For del 2 (Predikering av manuell klassifisering utført av erfaren operatør om bord) viser resultatene i Tabell 1 at et maskinsynsystem som inspiserer begge sidene av clusteret oppnår prediksjonsmodellen med høyest treffsikkerhet. Det er likevel ikke stor forskjell mellom Scenario 1 og Scenario 2 hvor man bare inspiserer undersiden. Dette stemmer godt overens med hva mannskapet rapporterer om hvilken side av clusteret som gjør det enklest å skille mellom lav og høy fyllingsgrad. Ved manuell inspeksjon av bildene av oversiden av clusteret er det vanskelig å si noe sikkert om fyllingsgrad, men som resultatet for Scenario 3 viser er det likevel subtile forskjeller som et maskinsynsystem kan utnytte til å skille mellom klassene. Om enn med en noe dårligere treffprosent enn på Scenario 1 og 2.

For Scenario 4.1, hvor prediksjonsmodellen behandler fargedata fra begge sider av clusteret med samme modell, oppnås den dårligste prediksjonen av de forskjellige scenarioene. I hovedsak skyldes dette at forskjellen i farge mellom overside og underside av clusteret er minst like markant som forskjellen mellom fargen på clusterer med lav eller høy fyllingsgrad. Ved å dele problemet i to steg unngår man denne utfordringen. Først predikerer systemet om den inspiserte cluster-siden er en under- eller overside. Ut fra denne prediksjonen velger man om man vil bruke prediksjonsmodellen fra Scenario 2 eller 3. Som man kan se i Tabell 1 oppnår man med denne metoden en prediksjon med nøyaktighet nærmere Scenario 2 eller 3.

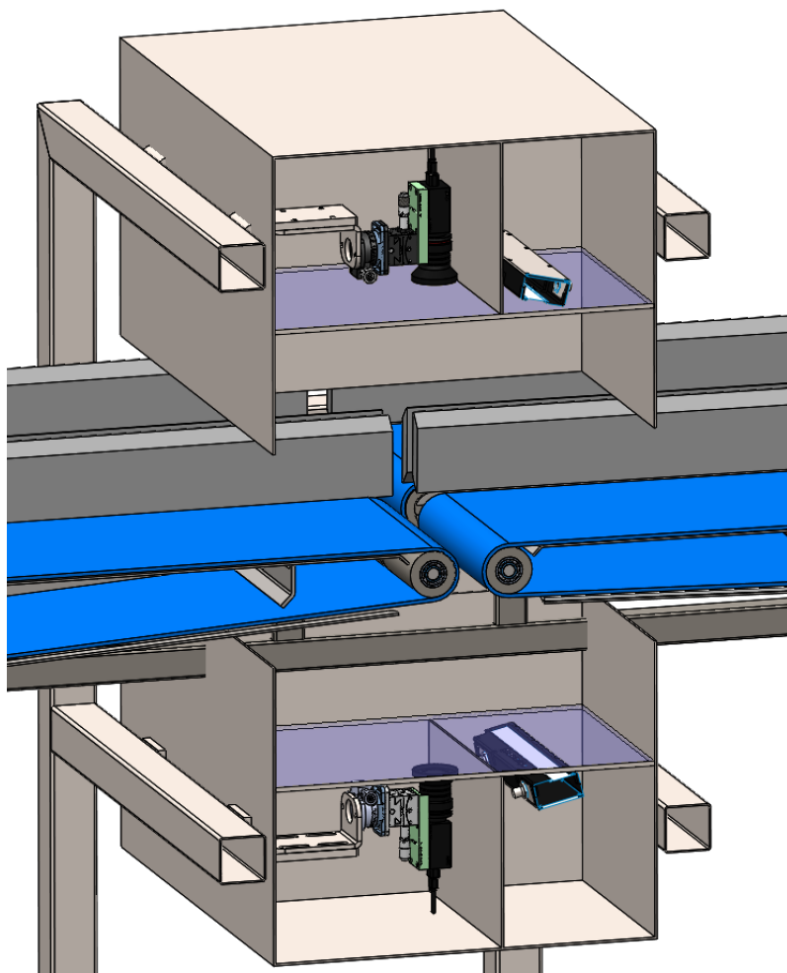
Oppsummering av resultatene fra del 1 og del 2 viser at maskinsynet oppnår en mindre tilfredsstillende nøyaktighet når det prøver å estimere en konkret fyllingsgradverdi for en cluster, men at det presterer godt når det skal utføre den samme klassifiseringsjobben som fiskerne gjør om bord.

For et sikrere resultat fra del 1 trengs det en mer nøyaktig målemetode for faktisk kjøttfylde i tillegg til et mer balansert datasett enn det som vises i Figur 5 hvor for en overvekt av clusterne har høy fyllingsgrad. For del 2 er resultatet likevel tilfredsstillende da det til slutt er markedet som bestemmer hvor nøyaktig klassifisering av fyllingsgrad som er tilfredsstillende.

Som nevnt i introduksjonen er den manuelle vurderingen som gjøres i dag vurdert som god nok for både selgere og kjøpere. Et maskinsynsystem som kan utføre denne jobben automatisk har derfor et stort potensial til å frigjøre arbeidskraft som kan utnyttes til andre oppgaver om bord.

4. Installering av prototyp maskinsynenhet på "North Guider"

En prototype av et maskinsynsystem for inspeksjon av snøkrabbecluster ble installert på båten "North Guider" eid av rederiet Opilio AS. Systemet består av to kamera per linje som inspiserer clusteret fra både under- og oversiden når det passerer en skøyt mellom to transportbånd på vei til vekt-grader (se Figur 6).



Figur 6 - Illustrasjon av prototyp for maskinsyneteksjon av snøkrabbe

Prototypen ble brukt til å logge bildedata gjennom flere snøkrabbetokt. Det viste seg for vanskelig å holde kameraet som inspiserer fra undersiden fri nok for smuss og vannsprut. Kvaliteten på bildene fra undersiden ble derfor for lav til å kunne brukes til analyse.

Fra oversiden var selve kvaliteten på en stor del av bildene tilfredsstillende. I Figur 7 nedenfor ser man fire eksempelbilder tatt av kameraet på oversiden av transportbåndet i North Guider.



a



b



c



d

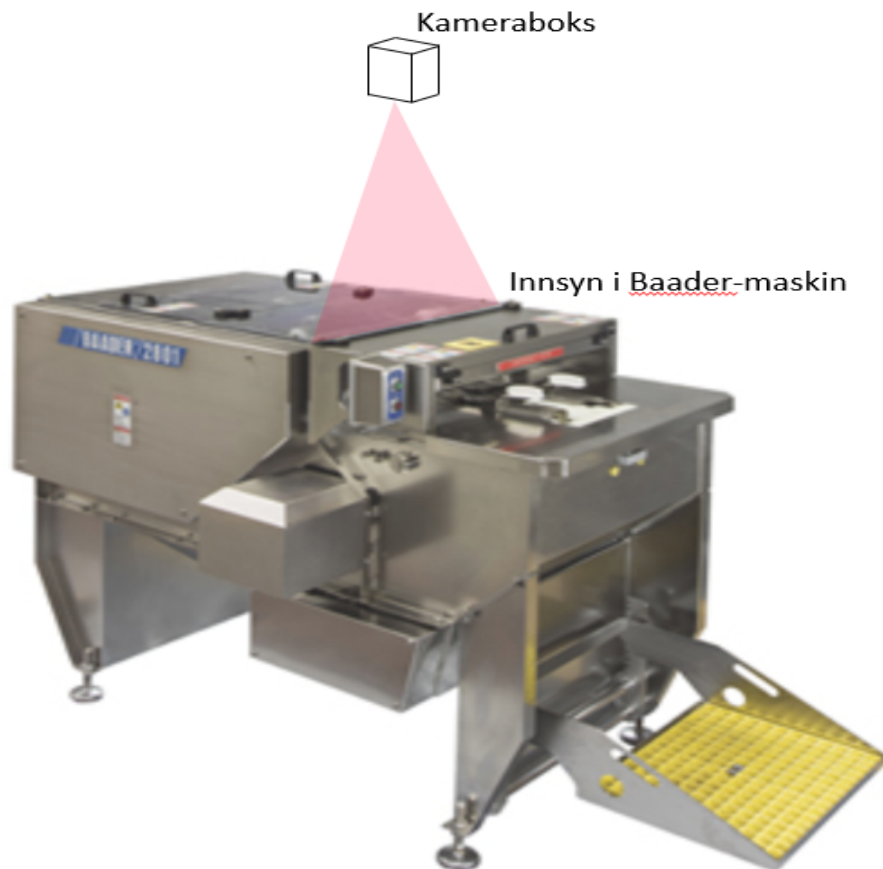
Figur 7 - Cluster-bilder fra prototyp for maskinsyndeteksjon av snøkrabbe om bord "North Guider"

I Figur 7d vises en annen utfordring. En betydelig andel av clusterne havner på transportbåndet i uheldige orienteringer der f.eks. bare siden av bein og kropp på clusteret synes. Disse orienteringene er lite gunstige for sorteringsalgoritmen. Som vist i Scenario 4.1 i

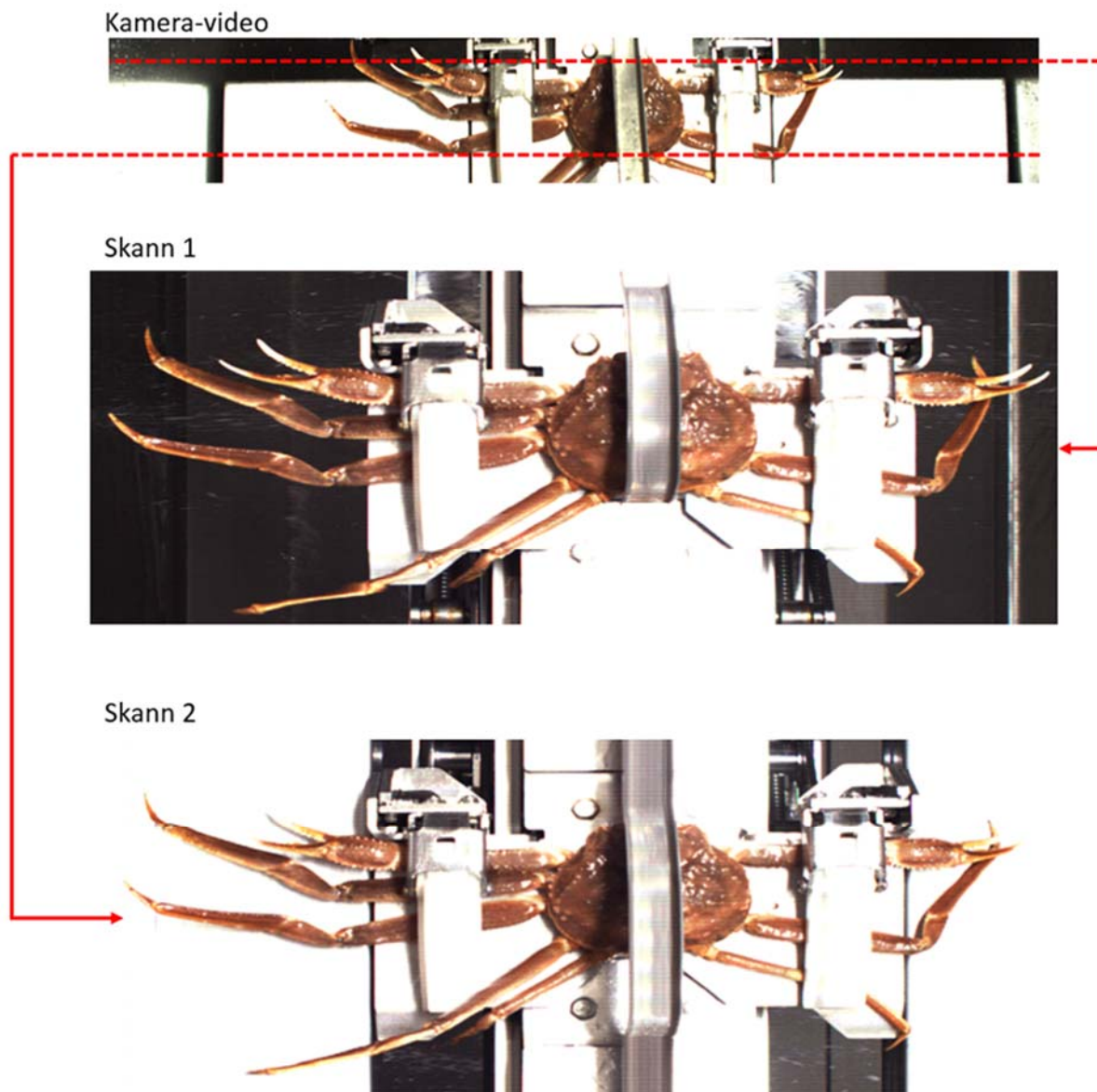
Tabell 1 gjør algoritmen det dårligst når den ikke kan operere med et klart skille mellom fargemålinger fra overside eller underside. En tilleggsutfordring med bildene i Figur 7 (og da spesielt c og d) er at den kaotiske posisjoneringen av bein gjør det betraktelig vanskeligere for et maskinsyn å detektere og telle bein.

Basert på resultatene fra maskinsynriggen vist i Figur 6 ble det utforsket alternative maskinsynløsninger hvor målet var en ryddigere orientering av krabben eller clusteret samt mindre utfordrende plassering med tanke på vannsprut og smuss. Ut fra disse kriteriene ble det utført innledende tester for et maskinsynkonsept hvor kameraet inspiserer krabben før den entrer slaktemaskinen (se Figur 8).

I Figur 9 kan man se et skannbilde av en krabbe festet i slaktemaskinen. Orienteringen av hver krabbe er betydelig mer forutsigbar og beinene presenteres for kameraet på en mer ordnet form. Erfaringene gjort under denne testen leder til at det anbefales å utvikle videre et system som inspiserer krabben på dette trinnet i prosesseringslinjen.



Figur 8 - Illustrasjon av plasserin av maskinsyn over Baader slaktemaskin



Figur 9 - Eksempel på linjeskanning av krabbe på vei inn i slaktemaskin

5. Oppnådde resultater og utfordringer

Det har vært noen utfordringer med å få gjennomført prosjektet på grunn av sviktende krabbefiske slik at vi ikke er kommet helt i mål med en fullt ut fungerende krabbesorteringslinje.

Når det gjelder forskningen rundt utviklingen av metodikk og software har dette gått etter planen. Utrustning og software som skal benyttes til analyse av farge og antall klør, ser ut til å være god nok og kan med fordel også benyttes til andre applikasjoner i fremtiden.

Det har vært vanskelig å få til repeterbare og stabile bilder til analyse med valgt konsept da mange ulike orienteringer på transportlinjen ga store utfordringer for software og analyse.

Etter test om bord i Tromsø i februar 2018 konkluderte vi med at kamera måtte flyttes for å få bedre analyse av farge og klør. Vi testet kamera over den ene slaktemaskinen med svært gode resultat.

Det siste som ble gjort i prosjektet var å lage permanent kamerahus for montering over slaktemaskiner.

6. Hovedfunn og veien videre

- Maskinsynsystemet vil, basert på fargeanalyse av bildet av hver clusters overside og underside, gjøre samme vurdering av fyllingsgrad som fiskerne på over 96% av krabbene.
- Metodikk og software som er utviklet i prosjektet er egnet til å sortere krabbe like godt som en erfaren sorterer og vil kunne redusere kostnadene i produksjonen med minst to årsverk basert på en 1:1 skiftordning.
- En videreutvikling av softwaren vil også kunne brukes til å bestemme antall klør på hvert cluster som er et av sorteringskriteriene for snøkrabbe.
- Resultat viser at en er på god vei til å lykkes med å utvikle en sikker og effektiv metode som kan få stor betydning for ombordproduksjon av snøkrabbe.

Vi vil sterkt anbefale at prosjektet blir videreført, da bl.a. med ny posisjon for bildescann av snøkrabbe før slakting, slik at gevinstene av arbeidet i dette prosjektet blir realisert.



Med venlig hilsen / Best regards / Mit freundlichen Grüßen

Stein Magne Kjerstad | General manager
Tel direct +47 9285 5153 | stein@steeltechcarsoe.no