



Slutrapport

SAF 34 AP2 Detektion og håndtering af bylder

01.01.2023 – 31.12.2024

18. december 2024

Proj.nr. 2011293

Version 1.0

KRGR/mt

Baggrund

Forekomst af skjulte bylder i slagtesvin kan give udfordringer på slagterierne i forhold til hygiejne og driftsforstyrrelser, især i de automatiske processer, da der her kan gå længere tid, før overskårne bylder opdages, hvilket medfører kontamination af mere udstyr og kød. I dette projekt er der arbejdet med at finde overskårne bylder i forbindelse med den automatiske tredeling af halve slagtekroppe. Ved brug af billeder taget af skærefladerne på forender og skinker, umiddelbart efter tredelingen, kan modeller (neurale netværk) trænes til at genkende overskårne bylder. Når en byld detekteres, skal dette kommunikeres til relevante medarbejdere ved hjælp af en alarm, og der skal evt. foretages et stop på slagtelinjen. Dette vil medføre hurtigere reaktion på overskårne bylder og dermed mindre kontaminering af udstyr og kød.

Projektets formål

Projektet har til formål at levere digitale løsninger til automatisk detektion af overskårne bylder i forbindelse med tredeling og kommunikere dette effektivt til operatørerne, så kontaminering minimeres, og produktionen hurtigt kan genoptages.

Opnået effekt af projektet

Projektet har udviklet et system til overvågning og analyse af skinker og forender umiddelbart efter tredeling. Dette system kan implementeres på de fleste danske slagterier inden for de næste 0-3 år og vil danne et referencegrundlag for fremtidige løsninger til detektion af bylder. Den umiddelbare effekt af systemet er en reduktion i antallet af kvalitetsfejl og produktionsstop, mindske spild og øget fødevareresikkerhed, hvilket samlet set bidrager til øget indtjening og produktivitet.

På længere sigt kan de indsamlede data og registreringer anvendes til yderligere analyse og optimering af produktionsprocessen. Det forventes, at de digitale overvågningsmetoder vil blive mere udbredte, hvilket muliggør kontinuerlig overvågning af processerne. Dette vil medføre, at fejl opdages hurtigere, og tab i udbytter reduceres.

Oplæg til videre arbejde

Med afsæt i projektets resultater og den viden, det har genereret, vil næste skridt være at fokusere på implementeringen af systemet på slagterierne samt integration i eksisterende data management platforme for at sikre effektiv datahåndtering. Derudover bør medarbejderne få en grundig introduktion til systemet, så de kan anvende og vedligeholde det korrekt. Endvidere vil det være vigtigt at videreudvikle alarmeringssystemet og brugerfladen, så operatører kan reagere hurtigt og effektivt.

Beskrivelse af aktiviteter

Projektet har fulgt DMRI's innovationsmodel og har gennemgået analysefase, idégenerering, metodefase og funktionsmodel i 2023 samt prototypefase i 2024. Aktiviteterne har haft fokus på at identificere, videreudvikle og implementere teknologier til detektion af overskårne bylder på skinker og forender i forbindelse med tredeling for at kunne anvende disse i datadrevne støtteværktøjer på slagterierne.

Projektet blev indledt med en analysefase, hvor kødindustriens generelle udfordringer med kontaminering fra bylder blev undersøgt. I denne fase blev der udvalgt et værtsslagteri, hvor der blev indsamlet et præliminært datasæt bestående af billeder af skinker og forender, der gav et overblik over variationen i bylde. Samtidigt blev der udarbejdet en umiddelbar cost-benefit-analyse baseret på historiske tal fra 2009. Analysen viser, at der i gennemsnit kan spares 12 minutter ved produktionsstop i forbindelse med håndtering af bylder (fra 15 min til 3 min), hvilket resulterer i en reduceret arbejdstid på 706 timer per år til håndtering af bylder under antagelsen, at der er 0,5 byld per skift.

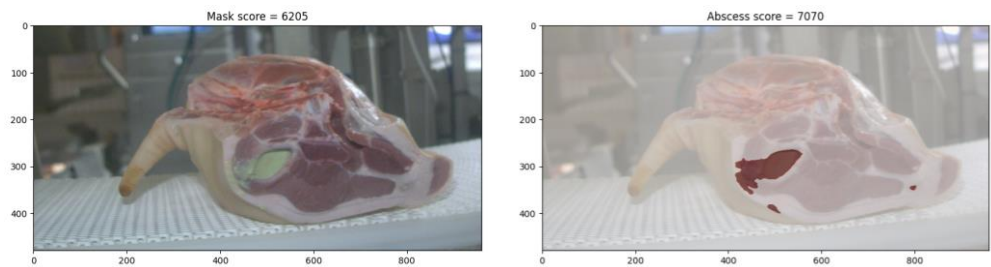
I metodefasen blev der etableret en forsøgsopstilling på værtsslagteriet, hvor kameraer og infrastruktur til dataopsamling blev integreret, herunder opsætning af en virtuel server. Specifikationer for kamera og belysning blev fastlagt for at sikre optimale betingelser for billedoptagelse. En analyse af billeder fra den tidligere fase blev anvendt til at vurdere, om almindelig RGB-vision var tilstrækkelig, og at der ikke var behov for mere avancerede teknologier som fx multispektral visionsteknologi. Efterfølgende blev der installeret nye kameraer, og et billede-datasæt blev indsamlet og grundigt annoteret for forekomsten af overskårne bylder. Figur 1 viser billeder af kamerapositionerne i forsøgsopstillingen.



Figur 1. Kameraposition og synsvinkel er indikeret på billederne med grønt for overvågning af skinker (venstre) og med gult for overvågning af forender (højre).

Til selve detektionen af bylder blev forskellige typer af modeller undersøgt og sammenlignet. Overvejelserne omkring detektionsstrategien blev dokumenteret i en state-of-the-art-rapport. På baggrund af denne analyse blev en model valgt, som anvender et neuralt netværk baseret på U-net arkitekturen med en ResNet18 backbone. U-net er særligt velegnet til billedsegmenteringsopgaver, hvilket gør det ideelt til præcist at identificere og segmentere bylder på billeder af skinker og forender.

Modellen segmenterer billederne ved at identificere pixels, der tilhører bylder. En pixel klassificeres som en "byld"-pixel, hvis U-net-modellen giver den en score på mere end 0,5 i et interval, der går fra 0 til 1. For at afgøre, om et billede indeholder en byld, anvendes en tærskelværdi for antallet af byld-pixels: Hvis antallet af segmenterede byld-pixels overstiger denne tærskel, klassificeres billedet som "byld", ellers som "ingen byld". Flere forskellige tærskelværdier blev testet: 100, 200, 500, 1000, 2000 og 5000 pixels. Figur 2 viser billeder af en skinke med en overskåren byld og de detekterede pixels tilhørende bylden. Modellerne blev udviklet, trænet og testet på metodeniveau for at sikre, at den nødvendige detektionsnøjagtighed kunne opnås.



Figur 2. Billede af en skinke med en overskåren byld (venstre). Detekterede pixels, markeret med rødt, tilhørende bylden (højre).

I funktionsmodelfasen blev der indsamlet og annoteret yderligere billedmateriale, som blev brugt til at gentræne og optimere modellerne gennem en iterativ proces offline, og en detaljeret funktionsmodelrapport blev udarbejdet for at vurdere de opnåede resultater i forhold til de opstillede funktionskrav.

I prototypefasen i 2024 blev algoritmerne implementeret til online kørsel, og der blev fastlagt en hardwarearkitektur, som lever op til de operationelle krav. Løsningen blev implementeret online på værtsslagteriet, og muligheder for dataintegration med relevante slagterisystemer blev undersøgt for at sikre, at alarmer vil kunne håndteres effektivt – for eksempel ved at stoppe produktionen og informere de relevante medarbejdere. Der blev også gennemført en afsluttende prototypetest af systemet. Resultatet af denne test er dokumenteret i detaljer i en separat rapport, og hovedresultaterne er gengivet nedenfor i afsnittet "Resultat af afsluttende test".

Ud fra data indsamlet i perioden maj-august 2024 på værtsslagteriet blev cost-benefit-analysen udarbejdet igen. Den opdaterede analyse viste, at nedetiden i forbindelse med produktionsstop ved detektion af bylder på slagtelinjerne var lavere end forventet. I gennemsnit var nedetiden 2,9 min per stop, og den gennemsnitlige nedetid per uge var 6,9 min, svarende til ca. 6 timer per år. Den økonomiske gevinst ved projektet er derfor betydeligt lavere end først antaget, og som følge heraf blev det besluttet at afslutte udviklingsarbejdet inden årets udgang og fokusere arbejdet på en grundig afrapportering, så projektet kan genoptages, hvis problemstillingen bliver relevant i fremtiden.

Resultat af afsluttende test

Den afsluttende prototypetest blev udført i en opsætning, hvor to kameraer overvågede skærefladerne på forenderne og skinkerne umiddelbart efter tredelingen af de halve slagtekroppe. Hardware-setuppet bestod af Basler ACA2440-20GC kameraer med 16 mm Azure Photonics linser, monteret i Feuersalamander kamerahuse. Dataopsamlingen blev udløst af et program udviklet til formålet, Check Analyser 1.0, som registrerede passage af forender og skinker, og analyserne blev udført på en virtuel server på værtsslagteriet, hvor billederne og resultaterne blev gemt.

For at evaluere modellernes præstation anvendtes flere metrikker baseret på en confusion matrix, som er skematisk præsenteret i figur 3. En confusion matrix opsummerer antallet af sande positive (TP), falske positive (FP), sande negative (TN), og falske negative (FN) i testen. *Recall* måler andelen af faktiske positive tilfælde, der korrekt identificeres, hvilket er afgørende for at vurdere, hvor effektive modellerne er til at opdage bylder. *Precision* indikerer andelen af korrekte positive klassifikationer ud af alle positive klassifikationer, mens *False Discovery Rate* (FDR) angiver andelen af falske positive ud af alle positive klassifikationer.

True label	0	TN	TN	FP
	< thres	FN	FN	TP
	>= thres	FN	FN	TP
		0	< thres	>= thres
		Predicted label		

Figur 3. Skematisk præsentation af confusion matrix med angivelse af sande positive (TP), sande negative (TN), falske positive (FP) og falske negative (FN). Tærsklen, angivet som "thres" i figuren, henviser til antal pixels, der tilhører bylden.

I prototypetesten var der i alt 82 skinker og 16 forender med bylder. Tabel 1 og 2 opsummerer modellernes præstation givet ved metrikkerne beskrevet ovenfor. Tabel 1 viser, at modellen for skinker opnåede høj sensitivitet ved lave tærskelværdier (recall = 0,97 for tærskel = 100 pixels), hvilket betyder, at den korrekt identificerede en stor andel af de faktiske bylder. Denne tærskel resulterer dog i mange falske positive, hvilket viser sig i en høj FDR (FDR = 0,99 for tærskel = 100 pixels). Når tærskelværdien øges, falder antallet af falske positive (FDR = 0,14 for tærskel = 5000), men sensitiviteten reduceres tilsvarende (recall = 0,14 for tærskel = 5000), hvilket indikerer en lavere evne til at opdage alle bylder. For forender viser tabel 2, at modellen ikke finder nogle af de 16 bylder uanset tærskelværdien, dvs. for alle tærskelværdier: TP = 0, FN = 16, og som følge deraf er recall = 0. Der er samtidig en meget lille andel falske positive (for tærskel = 100: FP = 168 ud af TP+TN = 202219). Denne andel falder med stigende tærskelværdi og er nul for tærskelværdier på 2000 og større. Som følge heraf er precision = 0 og FDR = 0 for tærskelværdier mindre end 2000, mens hverken precision eller FDR er defineret for tærskelværdier på 2000 og

større. Modellen for forender præsterer væsentligt dårligere, end hvad der blev observeret under udviklingsforløbet, og baggrunden herfor er ikke umiddelbart klar. Det vil kræve en nærmere gennemgang af datamaterialet for at finde årsagen, hvilket ikke var muligt at gennemføre så sent i projektet. Det bemærkes også, at der var et usædvanligt lavt antal bylder på forender under prototypetesten. En forudsætning for at lave en grundig vurdering af modellens præstation i en fremtidig analyse er, at der indgår et større antal bylder i dataene.

Tabel 1. Algoritmens præstation for skinker ved forskellige pixel-tærskelværdier givet ved antallet af TN, TP, FN og FP samt ved metrikkerne accuracy, precision, recall og FDR.

Skinke							
Tærskel	TN	TP	FN	FP	precision	recall	FDR
100	255421	74	2	7143	0,010	0,974	0,990
200	258698	69	7	3866	0,018	0,908	0,982
500	261838	57	25	726	0,073	0,695	0,927
1000	262438	43	39	126	0,254	0,524	0,746
2000	262547	26	56	17	0,605	0,317	0,395
5000	262562	12	70	2	0,857	0,146	0,143

Tabel 2. Algoritmens præstation for forender ved forskellige pixel-tærskelværdier givet ved antallet af TN, TP, FN og FP samt ved metrikkerne accuracy, precision, recall og FDR.

Forender							
Tærskel	TN	TP	FN	FP	precision	recall	FDR
100	202051	0	16	168	0	0	1
200	202135	0	16	84	0	0	1
500	202212	0	16	7	0	0	1
1000	202217	0	16	2	0	0	1
2000	202219	0	16	0	N/A	0	N/A
5000	202219	0	16	0	N/A	0	N/A

Konklusion

Projektet har fokuseret på at levere digitale løsninger til automatisk detektion af overskårne bylder ved tredeling og effektivt kommunikere dette til operatørerne for at minimere kontaminering og hurtigt genoptage produktionen. I 2023 udvikledes en model baseret på U-net arkitekturen, og der blev udført en umiddelbar cost-benefit-analyse. I 2024 blev systemet testet online i prototypefasen. Modellerne præsterede godt for skinker, men havde udfordringer med detektion på forender. En revideret cost-benefit-analyse viste lavere nedetid end forventet, hvilket resulterede i beslutningen om at afslutte projektet. En grundig afrapportering blev udarbejdet for fremtidig genoptagelse, hvis problemstillingen bliver relevant igen.

Kontaktinformation

Jon Raunkjær Søndergaard. E-mail: jrso@teknologisk.dk