

Stripetykkelsesmåler Praktikrapport

Rudy Alex Kohn

04. August 2017

Rudy Alex Kohn
ruak@force.dk
s133235@student.dtu.dk



Indeks

Figurliste	3
Tabeller	3
1 DELTA	4
1.1 Lidt om	4
1.2 Afdelingen	4
1.3 Udviklingsmetoderne	4
1.4 Samarbejde med andre afdelinger	4
2 Praktikopgaven	5
3 Bevæggrunden	5
4 Krav for opgaven	5
4.1 Andre restriktioner	5
5 Afklaring	5
6 Teknologivalg	5
6.1 Kamera og Laser	6
6.2 Softwaren	6
7 Indtryk og personlige konklusioner	7
7.1 Kollegaer	7
8 Erfaringer	7
8.1 Computer Vision	7
8.2 C++	7
8.3 Versionsstyring & Tests	8
8.4 Virkeligheden snyder	8
9 Processen i detaljer	9
9.1 Lysproblematikken	9
9.2 Lokalisering af striben	9
9.3 Laseren uden for striben	10
9.4 Laseren på striben	10
9.5 Vægtet placering	11
9.6 Højden	11
10 Fejlede forsøg	12
10.1 Diagonal matricer	12
10.1.1 Problemstilling	12
10.1.2 Metode	12
10.1.3 Resultat	12
10.2 Differentiering	12
10.2.1 Problemstilling	12
10.2.2 Metode	12
10.2.3 Resultat	13
10.3 Histogram	13

10.3.1	Problemstilling	13
10.3.2	Metode	13
10.3.3	Nødvendigheder	13
10.3.4	Resultat	13
10.4	Nærheds højdemåling	14
10.4.1	Problemstilling	14
10.4.2	Metode	14
10.4.3	Resultat	14
11	Afklaringen	15
11.1	Resultaterne	15
12	Konklusion	15
12.1	Forhold	15
13	Fremadrettet	16
13.1	Bedre opstilling	16
13.2	Sammenhæng af laser og kamera	16
13.3	Kalibrering	16
13.4	Real højde	16
13.5	Lysforhold	16
A	Bilag Lokation	17
B	Kildekode	17
C	Programmets Dokumentation	17
C.1	Html	17
C.2	Reference manuel	17

Figurliste

1	Stribens lokation	9
2	Laseren uden for striben, filtreret	10
3	Lasere efter edge detection	10
4	Lasere efter gradient morphology	10
5	Houghlines finder linjer	10
6	Det område der skal udføres intensitetsbaseret vægtning af laseren	11

Tabeller

1 DELTA

1.1 Lidt om

DELTA Road Sensors er afdelingen hvor der udvikles produkter der er vejrelaterede. F.eks. skiltemåler, vejstribet RL måler, som er både håndholdt og mobile (hvor mobile også kan betyde påsat et køretøj). Der eksisterer kunder verden over, og det er typisk instanser der tilsvarende det danske vejdirektorat der er kunder.

1.2 Afdelingen

Da både hardware- og softwaredele bliver udviklet helt fra bunden, spiller softwareudviklerne en stor rolle i hele processen. Det reflekteres i deres konstante involvering i processen samt at de typisk skal have et bredt kendskab til produktet. Grundet denne viden udøver softwareudviklerne også support på produkterne, hvilket er en meget vigtig del af det samlede salg, da nogle af produkter ligger på omkring en million kroner.

1.3 Udviklingsmetoderne

På afdelingen findes der ingen forskrifter til hvorledes produkterne udvikles og hvilke værktøjer der skal bruges. Softwareudviklerne besidder fuld kontrol over hvorledes udviklingsprocessen skal foregå, hvilket giver en høj grad af fleksibilitet, men kræver som udgangspunkt, at hver udvikler er kendt med alle de gængse metoder og sprog.

1.4 Samarbejde med andre afdelinger

Afdelingerne fungerer som enkelte instanser indenfor virksomheden. Det resulterer derfor i at de forskellige afdelinger registrerer deres tidsforbrug. På den måde kan afdelingerne holde styr på deres budgetforbrug, internt og eksternt. Det er DELTAs politik at budgettere korrekt og nøjagtig, også når afdelingerne benytter sig af hinandens ekspertiser.

2 Praktikopgaven

Opgaven er et afklaringsprojekt. Det går ud på hvorvidt det er muligt at kunne måle tykkelsen af en vejstribe, der typisk består af termoplast med reflekterende elementer som f.eks. små perler.

3 Bevæggrunden

Virksomhederne der anlægger vejstriberne har interesse i at kunne være sikker på hvor meget termoplast de rent faktisk bruger. De skal opfylde de krav kunden har ønsket, og ikke har unødigt spild. Kunderne kan verificere den tykkelse der er ønsket, og over tid estimere stribernes levetid, da disse bliver slidt ved brug. En kunde kan derfor følge op over en længere periode hvorledes slitage påvirker striberne og hvornår det kan være nødvendigt at få dem genlagt på den givne strækning.

4 Krav for opgaven

Produktet det potentielt kan munde ud i, har visse krav der ikke må overskrides.

- Målepræcision indenfor 0.1 mm nøjagtighed
- Budgetteret til 25.000,- DKK.

4.1 Andre restriktioner

Det var ikke tilladt at installere proprietært software på computeren, selvom jeg havde en gyldig licens.

5 Afklaring

Afklaringen bestod derfor i at, via selvvalgte metoder, måle tykkelsen af på forhånd kendte hvide keramikplader, for at fastslå om måling kan lade sig gøre under kontrollerede forhold. Grundlaget for dette valg var at kunne danne et overblik over mulighederne samt at determinere om hvorvidt målinger TJEK!!!! kunne hold en linearitet der var brugbar.

6 Teknologivalg

For at løse opgaven valgte jeg følgende teknologier, ud fra hvad jeg mente var de rigtige, til prisen.

6.1 Kamera og Laser

Ved begyndelsen af projektet fandtes der ingen information omkring hvilken måde opgaven skulle løses, og hvordan processen skulle foregå. Det var en tiltænkt del af opgaven, at indhente informationer, priser, finde kriterier for hvorledes og på hvilken måde opgaven skulle løses. Det indebar en del research indenfor området, bl.a. profil laserskannere, linje lasere samt kameraer. Efterfølgende skulle budgettet tages i betragtning, hvilket inkluderede en del kontakt med mange forskellige sælgere verden rundt. Det resulterede i at den løsning der kunne bæres af budgettet samt kunne, i teorien, opfylde præcisionskravet, var et monokromatisk kamera på min. 5MP og en laser der kastede sit lys som en linje. Det var derfor ganske klart at der skulle foregå en del billedbehandling og manipulation af data for at opnå kravet, hvilket var evident da 5 pixels svarede til 1 mm og kravet var på en præcision på 0.1 mm.

Den basale årsag til at benytte sig af kamera og linjelaser var prisen. En profil laserscanner kunne billigst fås for ca. 20.000,- DKK, hvilket efterlod meget lidt råderum til alt andet, hvorimod et fornuftigt monokromatisk kamera kunne erhverves for under 6.000,- DKK, og en linjelaser for under 2.500,- DKK. Til alt held havde DELTA en samling kameraer, dog lidt ældre modeller og med en anelse ringere specifikationer, men stadig inden for de krav jeg havde opsat. Hvis projektet kunne gøres med et af disse, ville resultaterne blive bedre ved en opgradering af kameraet. Fremgangsmåden ville så være at opstille laserens direkte over målet og kameraet i en 45 graders vinkel for at opnå den optimale synlighed af laserens.

6.2 Softwaren

Softwaren er udviklet fra bunden af i C++14, hvor der drages nytte af OpenCVs enorme samling af algoritmer samt kameraets C API for at opnå fuld kontrol af enheden. Softwaren er desuden udviklet i Visual Studio Community Edition 2017 og kan konfigureres via kommandolinjeparаметre. Derudover er der udviklet to hjælpeprogrammer. Et til at generere nulbilleder¹ der potentielt kan trækkes fra de billeder der skal behandles og et til at kunne kalibrere kameraet.

¹Et billede er aldrig helt uden information, et nulbillede taget med linsens hætte på indeholder stadig information

7 Indtryk og personlige konklusioner

Det har været givende at skulle begynde på et projekt, hvor kun rammerne var fastlagt. Den første dag havde jeg ikke den fjerneste ide hvor jeg skulle starte, og projektet endte med, at der blev løst en hel del problematikker inden for optik og computer vision. Derudover har det været godt at arbejde på et projekt, hvor der blev sat pris på den individuelle evner og input. Der var ugentlige møder, hvor fremgangen blev gennemgået og problemer blev drøftet.

7.1 Kollegaer

For projektet betød det temmelig meget, at arbejde sammen med gode personligheder og mennesker med mange forskellige evner, som ikke nødvendigvis var relateret til softwareudvikling. Det har specielt være givende at føre samtaler omkring emnet med ingeniører der har mere end 30 års erfaring inden for f.eks. optik og elektronik.

8 Erfaringer

Denne sektion indeholder information omkring de områder hvor det vurderes erfaring er blevet tilegnet og/eller udvidet.

8.1 Computer Vision

Projektet har stået på meget arbejde inden for dette område, og jeg har lært rigtig meget om emnet, både på det overfladiske API benyttende niveau og i dybden. Der har været en del research om emnet generelt. Researchen var meget givende, og var bærende i forhold til at løse opgaven. Det blev nødvendigt at gå mere i dybden med nogle af de algoritmer der er benyttet, for bedre at kunne udnytte dem til projektets fordel.

Jeg har førhen stiftet bekendtskab med billedbehandling i to kurser, 3. semesters

62550 **Brugerinteraktion og udvikling på mobile enheder**, for et selvvalgt projekt og i 4. semesters 02343 **CDIO-Projekt**, hvor billedbehandling blev brugt med meget positive resultater i begge fag. Behandlingen af de informationer fra billederne, har svagt berørt elementer der har været oppe i 02323 **Introduktion til statistik**. Projektets process i hvorledes hovedopgaven er løst, kan findes i en semantisk beskrivelse i sektion 9.

8.2 C++

Jeg har intet fag haft om C++, men der har været en smule C i 02349 **Operativsystemer** og 02347 **Parallelle systemer**. Ellers er de nærmeste relaterede nok de to kurser i Java på 1. og 2. semester 02312 **Indledende programmering** samt 02324 **Videregående programmering**. Jeg havde dog selv valgt at benytte mig af C++ i valgfaget 62598 **Kunstig intelligens i computerspil** (E2016), ved at konstruere en skakmotor med stor succes. I løbet af hele projektet har jeg tilegnet mig meget viden omkring sproget i mange af dets facetter, ofte meget detaljeret. Efter dette projekt er det min klare holdning at C++ indeholder utroligt meget dybde, og det står klart for mig, at det er et af de mest komplekse, og kraftfulde sprog der findes.

8.3 Versionsstyring & Tests

Softwaren, samt ekstra dokumentation er versionsstyret ved brug af git. Denne form for versionsstyring blev introduceret i 1. semesters kursus 02315 **Versionsstyring og testmetoder**, hvilket også gælder for de unit tests softwaren indeholder.

8.4 Virkeligheden snyder

Jeg har lært en utrolig vigtig ting, ved at arbejde med virkelighedsforhold, som f.eks. lys og/eller farver (intensiteter). Når noget på papiret virker som en god løsning, skal det altid gennemtestes og sættes under stress. Det viser sig ofte at noget der virker den ene dag, ikke virker den næste, og det kan typisk være noget så banalt som f.eks. en ændring af lysforhold pga. vejret.

9 Processen i detaljer

Denne sektion afdækker det flow der ligger til grund for hvorledes det kan bevises at målinger kan foretages under kontrollerede forhold. Derudover er der beskrevet de individuelle faser for hvorledes billedet er behandlet samt hvilke algoritmer der er i brug.

Det antages at læseren har et grundlæggende kendskab til de nævnte algoritmer.

Formålet er at dokumentere semantikken bag processen, således at det er muligt at kunne genskabe det samme resultat ud fra denne information på anden vis.

Der er set bort fra detaljer der er specifikke for implementeringen, med undtagelse for at illustrere eksempler. For implementering af følgende, henvises til Bilag A, lokaliseret i filen MANGEL!!!!

9.1 Lysproblematikken

I den eksisterende iteration af sribemålingen bliver kameraets eksponering kontrolleret i hver fase. Det er for at sikre at målingen kan foretages under skiftende lysforhold, da selv lysforskellen fra når en sky passerer ind foran solen påvirker enten at det ikke er muligt at lokalisere vejstripen eller har indflydelse på resultatet i en sådan grad at det er umuligt at verificere dataen. Alle faser løser problematikken med skiftende ambient lysforhold ved selv at tage kontrollen over kameraets eksponering og derved finde den optimale længde.

9.2 Lokalisering af striben

Det første problem er at kunne identificere hvor i billedet vejstripen er lokaliseret. Det er en kritisk fase og har ligget til grund for de fleste problematikker som helhed.

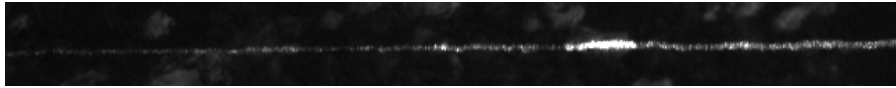
Billedet bliver foldet med en diagonal kernel, der sørger for at fremhæve sribens afgrænsninger, der består af to skrå kanter. Derefter bliver en regulær edge detection, i dette tilfælde Canny, udført på det resulterende billede. For at finde striben på det resulterende billede, benyttes houghlines algoritmen, hvor en afgrænsning i et bestemt antal grader er fastsat. Kriterierne for hvorvidt den mener den har lokaliseret striben er sat ud fra houghlines resultaterne. Houghlines lokaliserer typisk en mængde linjer der vil, grundet sribens kant, være lokaliseret oven i hinanden, i to klumper, i hver sin side af striben. Ved at verificere at hver første linje i hver klump skærer med de andre linjer i samme klump, kan der med rimelig sikkerhed konstateres at striben er lokaliseret.

Ud fra lokationerne af de to sider, dannes et område der afgrænser kanterne af striben. Området benyttes til at danne afgrænsninger af de tre hovedområder, hvor striben er og hvor den ikke er.



Figur 1: Sribens lokation

9.3 Laseren uden for striben



Figur 2: Laseren uden for striben, filtreret

Ved brug af det afgrænsede område fra sektion 9.2, antages det at laseren vil befinde sig i den nederste kvarte del af billedet. Hvis det ikke er tilfældet, er lokationen af måleenheden i forhold til striben ikke egnet til at måle fra. Når afgrænsningen er foretaget, bliver området filtreret med et filter der hjælper med at lokalisere laseren via en hertil valgt kernel. Her illustreret af figur 2.



Figur 3: Lasere efter edge detection

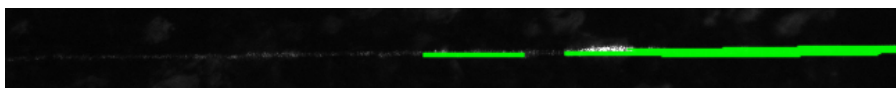
Herefter bliver dataen manipuleret i samme stil som i sektion 9.2.

Grundet det faktum at laserens repræsentation ved siden af striben ikke er så tydelig, bliver billedet herefter behandlet via en gradient morphology algoritme, der sørger for at lukke små huller ud fra Canny algoritmens resultat.



Figur 4: Lasere efter gradient morphology

På dette punkt er informationerne tilstrækkelig rige til at kunne benytte en properlistisk houghlines algoritme til at lokalisere det område hvor laseren befinder sig.



Figur 5: Houghlines finder linjer

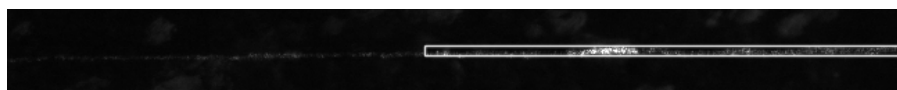
Ud fra de informationer der bliver dannet via houghlines, kan laseren komplette område rammes ind. Herefter følger en vægtning af det indrammede information der er beskrevet mere detaljeret i sektion 9.5.

9.4 Laseren på striben

Informationerne i den del af billedet er temmelig anderledes, grundet laserens placering oven på vejstriben. Derfor kan der tages udgangspunkt i den originale eksponering da denne var den lavest mulige til at kunne identificere vejstriben. Det resulterer i at selve laseren vil have en meget høj intensitet i forhold til resten, og det udnyttes til at kunne adskille den position hvor den er ret nemt. Laserens billede bliver udglattet for at modvirke eventuelle mindre overlappinger fra laser til stribe i intensitet hvor det ikke ville være muligt at identificere hvad der hører til laseren og hvad der hører til striben. Når antagelsen af hvor laserens lokation er fundet, bliver dennes data også positionsvægtet, hvilket er beskrevet i sektion 9.5.

9.5 Vægtet placering

Algoritmen benytter sig af moments, og mere specifikt `m01` og `m00` til at udregne vægtningerne. Den opbygger en liste af punkter, hvor alle X-koordinaterne befinder sig i stigende orden fra 0 til N, hvor N i dette tilfælde er bredden af det billede den skal bearbejde. Y-koordinaterne bliver sat ud fra det billede der skal bearbejdes. Den vil opdele billedet i små bidder der er præcis 1 pixel bred, og derefter udfører moments algoritmen på hver af disse bidder. Det resulterer i en enkelt værdi, der er det vægtede punkt i Y, for lige præcis den X. Denne Y-værdi bliver indsat i punktlisten og derved indeholder listen en komplet vægtning i Y for pixel intensiteter, for alle X i et givent billede. Meta data, der omhandler den reale lokation for den udregnede punktliste, bør opbevares andet steds.



Figur 6: Det område der skal udføres intensitetsbaseret vægtning af laseren

9.6 Højden

Alt ud fra hvorledes højden ønskes beregnet, f.eks. gennemsnit af de fundne lokationer, kan de gemte data udregnes på den ønskede måde. Dataen i dens rå form åbner op for, at på forskellig vis kunne behandle dem, og opnå de informationer man ønsker.

10 Fejlede forsøg

Undervejs i forløbet er forskellige metoder til stadierne i processen blevet afprøvet, hvoraf alle endte med at blive skrottet. Sektionen beskriver de forskellige procedurer, hvilket problem de skulle løse og hvad ideen bag dem var, og hvorfor de ikke var brugbare i praksis.

10.1 Diagonal matricer

10.1.1 Problemstilling

Identificering af start og slutpunkter for laseren på striben

10.1.2 Metode

Metoden er, at opdele billedet i diagonale matricer for derefter at gennemløbe disse for at identificere dobbeltskæringer af laseren. Selve billedet ville blive opdelt i matricer, i samme antal, som det dobbelte af billedets højde, på begge leder. Det ville resultere i et net af matricer på tværs i begge retninger, hvor pixel intensitetsforskelle for hver i forhold til dens naboer ville medføre et slags toppunkt. I tilfælde af at to var tilstede og de matchede med naboerne, kunne denne information benyttes til at søge efter intensitets variationer, der i sidste ende ville medføre at en potentiel lokation, der kunne bruges, var fundet.

10.1.3 Resultat

Metoden viste sig at være utroligt krævende, både med hensyn til design og regnekraft samt noget utilregnelig. Under perfekte situationer virkede det nogenlunde, og hvis der var nogen diskrepans i laserens position grundet støj eller andre elementer ville den give resultater der ikke kunne bruges. Den blev derfor kasseret i et forholdsvis tidligt stadie da det ikke var rentabelt at gå videre i denne retning.

10.2 Differentiering

10.2.1 Problemstilling

Lokalisering af laser på stribe kontra jord.

10.2.2 Metode

Ved at tage alle punkter i X-aksen, og tage forskellen på dem i stigende orden, ville det være muligt at se om et givent koordinat steg eller faldt i højde. Denne process udføres to gange, for at få absolutte værdier der indikerer udsving i niveau. Ved at finde de største af disse var forhåbningen af det kunne bruges til at finde ud af hvor den stigning laseren var på striben befandt sig.

10.2.3 Resultat

I teorien var det en fantastisk ide, men det forblev også kun i teorien. I praksis viste metoden sig at være ubrugelig, fordi afveksling af laserens intensitet på jorden, f.eks. fra fremmedlegemer såsom småsten eller deres refleksioner herfra gjorde det umuligt, at være sikker på om de punkter, der blev lokaliseret rent faktisk var sribens position, eller noget der var en afvigelse fra et helt andet sted. På trods af det, var det en ganske effektiv og simpel metode til at identificere niveauvariationer.

10.3 Histogram

10.3.1 Problemstilling

Lokalisering af stribe

10.3.2 Metode

Ved at opdele alle billedets pixels i et intensitets histogram kunne de forskellige intensiteter være med til at identificere hvilke der tilhørte striben og derved lokalisere dens position.

10.3.3 Nødvendigheder

Algoritmer til at identificere højde- og lavpunkter ud fra data samt en manuel opbygget histogram datastruktur.

10.3.4 Resultat

I teorien skulle metoden være mulig, men her opstod et problem der ikke var forudset. Intensiteten af pixels for

- Stribe med og uden laser
- Jord med og uden laser

befandt sig inden for et så lille område at det praktisk var umuligt at foretage udvælgelse af værdierne for videre identificering. Det fremgik også at der, på trods af udelukkelse af for mørke dele, ikke var mulighed for at garantere hvilke intensiteter der tilhørte hvad. Dette forsagede desværre også at det ikke var muligt at søge efter intensitetsgrænser. Derudover blev situationen heller ikke forbedret af eksponerings problematikker og støv på kamerachippen osv. Det havde den effekt at det var stort set umuligt at separere de forskellige elementer da overgangene var utroligt ustabile og kunne blive influeret af hvad som helst. På den lyse side blev der dog udviklet to algoritmer, en til at finde højdepunkter og en til at finde lavpunkter, der begge er justerbare med forskellige parametre.

10.4 Nærheds højdemåling

10.4.1 Problemstilling

Undgå indflydelse fra skæv laser ved måling af højden.

10.4.2 Metode

Grundet laserens bueform, blev to små bider af laserens udskåret. Hvis disse faldt inde for samme vinkel ville betydningen af laserens bueform have minimal indflydelse. Desværre er denne metode ikke præcis nok da den ikke tager højde for bl.a. udsving i laserens intensitetsvariationer over tid eller elementer der kunne være betydningsfulde for målingen som f.eks. fremmedlegemer.

10.4.3 Resultat

Målinger foretaget ved denne metode viser markant andre værdier, og er temmelig svingene i resultater.

11 Afklaringen

Målet var at få afklaret, om det kan lade sig gøre at lave et produkt, der kan måle tykkelsen af en vejstribe. Målingen bliver foretaget ved at tage billeder med et kamera af en stribe hvor en laser kaster en linje på tværs af striben, og det er forskellen fra hvor laseren rammer striben, og hvor den ikke rammer striben. Forskellen i niveauet for disse to lokationer udgør tykkelsen.

11.1 Resultaterne

Resultaterne viser at ud fra en række målinger, der er foretaget fra og med 0 mm til og med 6 mm, at diskrepansen mellem de faktuelle tykkelser der er kendt i forvejen, og de udregninger foretaget på baggrund af sammenhængen mellem resultaterne af de foretagne målinger, stiger lineært i takt med højden. Det tyder på, at der er en god og stabil måde at aflæse sribetykkelsen på. De afvigelser mellem højderne der fremkommer, kan der tages højde for. Til trods for at der forefindes, under de eksisterende forhold, udefrakommende faktorer, som f.eks. varieret ambient lysniveau, er resultaterne stadig gode. Alle målinger er foretaget under kontrollerede forhold med på forhånd kendte højder. Dette betyder at det var muligt, at nemt se om målinger stemte overens med hinanden på tværs af de forskellige højder målingerne blev foretaget ved. Der er benyttet keramikplader på 1 mm i højden i stedet for almindelige vejstriber. De primære årsager til valget af keramikpladerne er, at højden på disse er kendt på forhånd og at sikre stabilitet i højdemålingerne. Almindelige vejstriber er meget varierende i højderne, og det ville derfor give anledning til en stor variation i målingerne hvilket kun ville give resultater der ikke kunne sammenlignes præcist nok.

12 Konklusion

Det er lykkedes at udvikle software der kan foretage målinger ret nøjagtigt, og holder sig inden for kravet omkring en maksimal afvigelse i resultaterne på 0.1 millimeter. De basale problematikker omkring målingen er overkommet, og der er en solid base for videreudvikling. Ydermere er softwaren konstrueret således, at det er muligt at indstille på mange områder, hvilket vil være til stor gavn senere i projektets forløb.

12.1 Forhold

Da målingerne er foretaget ved brug af kontrollerede højder og at resultaterne er baseret på disse, er der grund til at opfatte hele processen som et rent afklaringsprojekt. Grundet denne klassificering er der stadig en lang vej forude, da målinger foretaget på vejstriber vil antageligvis indeholde problematikker, der ligger uden for domænet for de problemer der er løst i denne del af projektet.

Til trods for at der foreligger en del problemer der skal løses fremover, må denne del af processen betegnes som en succes. Der er løst nogle væsentlige problemer i forhold til om målinger overhovedet kan lade sig gøre. Hvis det ikke var muligt at kunne foretage målinger under disse kontrollerede forhold, ville det vise sig meget vanskeligt at foretage målinger under stærkt varierende forhold. Det står derfor klart, at på baggrund af de resultater der er opnået i denne tidlige fase, at dette projekt ville have stor gavn af et blive videreudviklet. De basale problematikker er blevet løst, og resultaterne under de kontrollerede forhold er gode. Det vil dog kræve at opsætningen forbedres, for at kunne foretage mere kontrollerede målinger af striber der har en større variation samt at overkomme de problematikker der eksisterer på dette stadie i projektet som helhed.

13 Fremadrettet

Denne sektion fremstiller forslag til områder der kan arbejdes videre med i projektet.

13.1 Bedre opstilling

Den nuværende opstilling er primitiv, hvorfor den er meget usikker og følsom. Forbedringer på dette punkt vil være en stor fordel. Hvorledes det realiseres, er afhængig af hvilken retning projektet drejer, og ligger på nuværende tidspunkt kun grund til antagelser bedst udeladt.

13.2 Sammenhæng af laser og kamera

De to hovedelementer i opstillingen, kameraet og laseren, er separate entiteter på nuværende tidspunkt. Det gør det meget svært at lave vinklede målinger, da flytningen af den ene kræver at den anden flyttes i samme grad, hvilket er et stort problem at gøre med den påkrævede nøjagtighed individuelt. Derudover er den nuværende opstilling i særdeleshed stationær, hvilket gør den upraktisk til eventuelt tests i felten.

13.3 Kalibrering

I den på nuværende tidspunkt eksisterende software er der udviklet et kalibreringsmodul. Modulet fungerer som en separat instans og vil kunne kalibrere kameraet med selvvalgte muligheder og gemme resultatet. Selve hovedprogrammet kan benytte sig af de tidligere gemte kalibreringsinformationer, transparent ved indhentning af billeder via kameraet, hvilket vil give en forøget nøjagtighed i målingerne.

13.4 Real højde

Udregningerne af pixels til millimeter kan baseret på den information der opnås ved kalibrerings målinger, både i højden og i bredden. Det ville sammen med information omkring kameraets specifikationer kunne danne rammen for de formler der kan drages nytte af den sammenhæng.

13.5 Lysforhold

Et af de største problemer er det udefrakommende lys. Det ligger op til at der kunne forbedres på det område. Hvorledes opsætningen skal forbedres kommer an på hvilken drejning projektet tager fremover.

A Bilag Lokation

Alle bilag der er eksterne, er at finde i filen `bilag.zip`.

B Kildekode

Programmets kildekode er lokaliseret som ekstern fil. Hvis der ønskes adgang til det eksisterende online git repo, kontakt forfatteren.

`bilag.zip/thickness_gauge_2017.rar`

C Programmets Dokumentation

Dokumentationen er oprettet ved brug af Doxygen, og baserer sig på de kommentarer der er at finde i kildekoden.

C.1 Html

HTML versionen fungerer som en almindelig webside, den befinder sig i filen

`bilag.zip/doc/html.zip`

Efter udpakning, kan den tilgås ved at åbne filen `index.html` med en browser. Den er søgbar og indeholder relevant udviklingsinformation, inklusiv diagrammer, kildekode og referencer.

C.2 Reference manuel

Reference dokumentationen `tg_ref.pdf` der indeholder en oversigt over softwaren på forklarlig vis. Inklusiv kildekode kommentarer og relevante diagrammer.

Den befinder sig i `bilag.zip/doc/`