Rapport

Bachelorprojektet:
Real-time eye-tracking
Projektnummer: 15017

29/05/2015

Studerende: Søren Vøgg Krabbe Lyster (SVL) 10920,
Martin Degn Kristensen (MDK) 10441
Studieretning: Elektro
Vejleder: Preben Kidmose

Resumé

Real-time eye-tracking. When working with EEG using visual stimulus, the gaze vector of a test person can yield important information. This paper explains the work of implementing a application programming interface for a specific hardware setup, that allows the user to perform real-time eye-tracking on a test subject, and changing the algorithms used for this. Using the v-model method this bachelors project has moved from requirements stated by the project provider, to test and verification of a functioning eye-tracking interface with an implementation of the open source Starburst-algorithm.

Indhold

1 Prolog

1.1 Indledning

Denne rapport er udarbejdet som afslutningen på 7. semester bachelorprojekt i Elektro på Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet. Projektet er udbudt af Preben Kidmose ved Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet. I et EEG-system (Elektroencephalografi) ønskes der detekteret hvor på en skærm en testpersons øjne er fokuseret (gaze vector). Ved at observere dette kan EEG-målinger sammenholdes med visuel stimuli. Dette projekt omhandler implementeringen af en software-løsning der tillader realtids-målinger af en testpersons gaze vector. Software-løsningen skal fungere som et application programming interface (API) for en eye-tracking algoritme, således at projektudbyder m.fl. kan implementere egen algoritme, uden at skulle kende til resten af softwarens struktur. Forud for projektet er der givet en hardware-løsning der designes ud fra. For at teste og benytte API'en er der også implementeret en udgave af eye-tracking-algoritmen kendt som Starburst-algoritmen. To eksemplarer af Starburst-algoritmen er givet på forhånd: Daniel Siboska's MATLAB-implementering og OpenEyes C-implementering.

1.2 Krav til bachelorprojekt

Aarhus Universitets kursuskatalog beskriver følgende krav til bachelorprojekt på Ingeniørhøjskolen:

Ingeniøruddannelsen afsluttes med et bachelorprojekt, som skal dokumentere den studerendes evne til at anvende ingeniørmæssige teorier og metoder inden for et fagligt afgrænset emne.

Når kurset er afsluttet, forventes den studerende at kunne:

- *Anvende videnskabelige forskningsresultater og indsamlet teknisk viden til løsning af tekniske problemstillinger*
- *Udvikle nye løsninger*
- *Tilegne sig og vurdere ny viden inden for relevante ingeniørmæssige områder*
- *Udføre ingeniørmæssige rutinearbejde indenfor fagområdet*
- *Kommunikere resultater af et projekt skriftligt til fagfolk såvel som kunder*

- *Præsentere resultater af et projekt mundtligt og ved hjælp af forskellige audiovisuelle kommunikationsværktøjer*
- *Integrere sociale, økonomiske, miljømæssige og arbejdsmiljømæssige konsekvenser i en løsningsmodel.*

1.3 Ordforklaring

Gaze Vector: Dette term bruges om den vektor som beskriver hvor en person ser hen. Denne vektor er et af de resultater der ønskes fra eye-tracking systemet.

Session: Dette term bliver brugt om en real-time eye-tracking måling foretaget af i programmet. Sessionen beskriver det enkelte målingsforløb fra start til slut. Til hver session vil der være tilknyttet separate præference- og logfiler.

Data-fil: Dette er den fil der vil blive tilknyttet til hver session. Filen vil forventes at indeholde al relevant data i forbindelse med real-time eye-tracking måling. Filen vil blive kreeret af programmet og vil være tilgængelig til brugeren.

Testperson: Det er denne person der foretages real-time eye-tracking på. Personen er sammen med brugeren en del af kalibreringsrutinen. Denne person ses ikke som aktør i systemet.

Trigger: For at kunne holde en synkronisering imellem real-time eye-tracking softwaren og andre målinger (EEG), er der givet et trigger-signal. Dette signal består af en ændring af lys-intensitet.

API (Application programming interface): Betegnelsen der bruges for den softwaregrænseflade der ønskes implementeret til afvikling af eye-tracking-algoritmer.

Timestamp: Det klokkeslet i timer, minutter, sekunder og millisekunder der ønskes skrevet i logfilen.

1.4 Projektformulering

Fra projektoplægget er føljende beskrivelse givet:

Eye-tracking is widely used in different research areas as for example in psychology, in analysis of man-computer interactions, and in behavioural studies. Eye-tracking is also used in computer gaming. At ASE eye-tracking is used for research both in the biomedical lab and in the vision lab. The system as it

is now is based on off-line Matlab processing of camera data. The purpose of this project is to design and implement a software system for real-time acquisition of the eye-movements. The basic principle of the eye-tracking system is based on reflection from two IR-LED's from the eyes. By identifying the reflections, and doing some geometrical computations, it is possible to determine the users gaze vector. The project will build on an existing hardware setup comprising a camera, IR-sources and a computer screen. The primary objective of the project is to design and build a flexible software system that can process the camera data in real-time, and output the gaze vector. The image processing will build on an existing Matlab implementation. The system must be designed such that there is a flexible interface to the image processing part in order to facilitate new image processing algorithms to be tested in the system. For students with particular interest in image processing, a secondary objective could be to further develop on the image processing algorithms.

1.5 OpenEyes og Siboska

Den implementerede udgave af Starburst-algoritmen har taget udgangspunkt i de to løsninger givet af Daniel Siboska [8] og OpenEyes open source eye-tracking kode **openEyes**

2 Metode

2.1 Metoder

Til dette projekt er der blevet benyttet V-modellen som udviklingmetode [1], og UML (Unified Modelling Language) [2] til design af softwarearkitekturen. V-modellen tilbyder en overskuelig tilgang til softwareudvikling i et projekt hvor en række krav er fastsat som udgangspunkt for udviklingen. Ved hjælp af UML er de forskellige krav omskrevet til use cases, og derfra er der udviklet design-diagrammer for softwarearkitekturen.

V-modellen følger i dette projekt følgende stadier fra analyse til implementering:

- Opstilling af krav

  Ud fra projektoplægget og samtaler med projektudbyderen kan der formuleres en række konkrete krav til systemet. Disse krav kan deles op i funktionelle og ikke funktionelle krav. De funktionelle krav er direkte tilknyttet systems funktionalitet, hvor de ikke funktionelle krav i dette projekt omhandler ting som for eksempel præcision og opdateringshastighed. Dette stadie ender ud i færdiggørelsen af en kravspecifikation.

- Analyse

  Analyseafsnittet arbejder med uddybelse af de opstillede krav. Her indhentes den viden der antages at være nyttig for udførsel af projektet. I dette projekt har analysen hovedsageligt fokuseret på valg af kodesprog og udviklingsmiljø, undersøgelse af eye-tracking-metoder og teori, og omskrivning af de opstillede krav ved hjælp af UML. Dette stadie har til formål at give et overblik over nødvendighederne for projektets udførsel og ender ud i færdiggørelsen af et analysedokument.

- Design

  Ud fra de opstillede use cases kan der udvikles designdiagrammer til systemet. Disse diagrammer er udarbejdet udfra UML, og indeholder derfor en tydelig overgang fra use case. Sekvensdiagrammer er designet for hver use case, og resulterer i en række ønskede klasser. Klasserne defineres mere specifikt i klassediagrammer. Programmets flow-struktur designes således at der er en fornuftig kommunikationsvej fra det grafiske bruger-interface, til selve eye-tracking algoritmen. Et udkast til det grafiske bruger-interface bliver skitseret således at al funktionalitet fra de opstillede krav kan opfyldes. Et flow-diagram for Starburst algoritmen designes. Dette stadie ender ud i et softwarearkitektur-dokument.

- Implementering

  I dette stadie beskæftiges der med selve programmeringen af API og algoritme. På baggrund af sekvens-, klasse- og flow-diagrammer kan koden implementeres. Dette stadie er bunden af v-modellen, og arbejder tæt med både deltest og integrationstest. Stadiet ender ud i den færdige kode.

Efter implementering af koden følger modellen en række test-stadier:

- Deltest

  Deltest tester den individuelle klasses funktionalitet op imod softwarearkitekturen. Herved kan eventuelle fejl og mangler fanges tidligt.

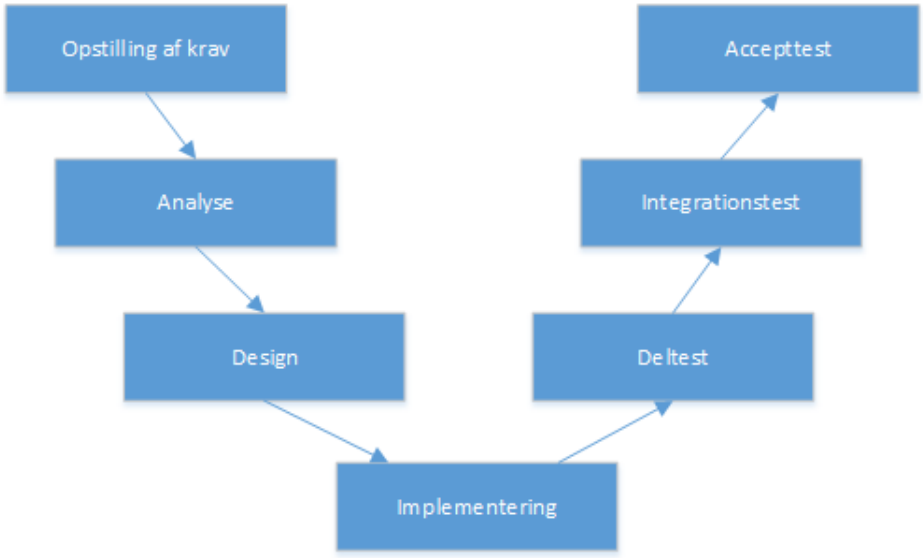
- Integrationstest

  Her testes de forskellige klassers interaktion med hinanden. Der undersøges om klasserne sender de rigtige data, og om der bliver gjort de rigtige funktionskald.

- Accepttest

  Accepttesten er den endelige test af systemet. Her undersøges om systemet i sin helhed lever op til de forskellige krav formuleret i kravspecifikationen.

V-modellens fleksibilitet tillader at man ved hvert teststadie kan gå tilbage og tilpasse analyse, design og implementering. V-modellen giver derfor mulighed for at opstille en række krav, omskrive dem til softwarearkitektur, implementere arkitekturen, foretage tests på den implementerede kode, og derefter gå tilbage rette hvad der kunne være nødvendigt. I et projekt af denne størrelse, hvor det forventes at der skal tilegnes ny viden, giver denne model derfor god mulighed for tidligt at støde på eventuelle problemer ved implementeringen, og derefter søge ny viden der kan benyttes til at opnå de opstillede krav.



Figur 1: V-modellen

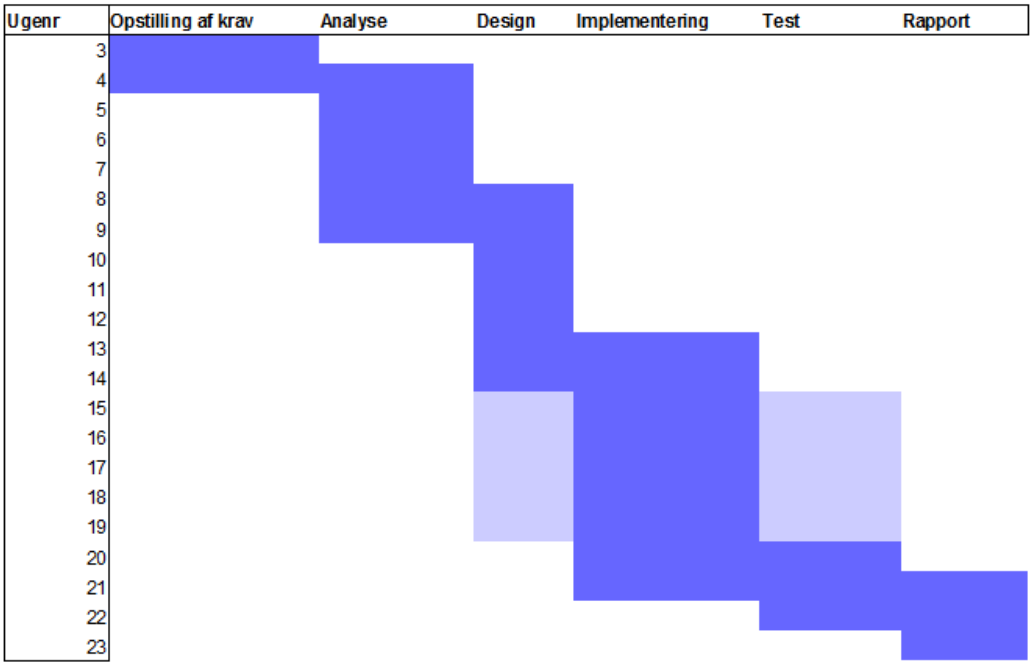
2.2 Planlægning

Bacheloropgaven er sat til 20 ECTS point, hvilket ifølge Aarhus Universitet svarer til 560 timer. Bachelorprojektets forløb strækker sig fra januar til slut maj, og er anslået til at vare 20 uger. Derudover har der været et forprojekt i december 2014. Der er derfor bestemt et gennemsnitligt arbejdspres på 30 timer om ugen for hele forløbet. I samarbejde med vejleder er der aftalt en times møde hver mandag. Desuden har det været bestræbt at mødes i projektgruppen hver hverdag, med forbehold for sygdom og således. Internt i projektgruppen har det været aftalt af føre personlig logbog, hvori overvejelser og noter kunne føres.

Tidsplan for projektet (se figur 2) er blevet udført i løbet af forprojektet med henblik på projektstruktur som angivet af v-modellen. Denne tidsplan er blevet revideret og opdateret til vejledermødet hver mandag.

2.3 Diskussion

Den valgte metode og den overordnede planlægning af projektforløbet har resulteret i klart overblik om hvordan projektet skulle udføres. Grundet omfang og tidsbegrænsning af projektet har v-modellen været et fornuftigt valg. Herved har det været muligt at bevæge sig til implementeringsstadiet forholdsvis hurtigt, samtidig med at der er skabt et fornuftigt overhead til behandling



Figur 2: Tidsplan for projektet. Mørkeblå farve viser den konkrete tidsplan. lyseblå farve viser perioder hvor det forventedes at de forskellige stadier ville overlappe hinanden.

af opståede problemer, med plads til at indhendte ny viden.

3 Værktøjer

3.1 Udviklingsmiljø

Eye-tracking programmet er blevet udviklet delvist i Pythons IDE Idle, og delvist i Microsofts Visual Studio. Al kode er versionsstyret ved hjælp af versionsstyringssystemet Git. Arbejde med UML, samt design af diverse diagrammer og figurer, er udført i Microsofts Visio.

3.2 OpenCV

OpenCV er et programbibliotek frit tilgængeligt under BSD licensen. Programbiblioteket tilbyder optimerede funktioner designet med henblik på hurtige udregninger med fokus på realtids-programmering. Desuden giver OpenCV en række funktioner for kommunikation med video-hardware, samt behandling af videofiler. OpenCV's funktioner er implementeret i kodesproget C++, men understøtter implementering igennem både Python, Java og Matlab, og kører på Windows, Linux, OS X, Android m.m. [3].

3.3 Python

Python er et høj-niveau kodesprog der understøtter objekt-orienteret programmering, miksede høj-niveau datatyper, automatisk memory management, og et ekstensivt programbibliotek. Python understøtter derfor hurtig implementering i forhold til både Java og C++. Desuden understøtter Python også wrapping med C/C++. Dette er basis for arbejde med OpenCV.

3.3.1 Python vs. Java og C++

Fordele [4]:

- 3-5 gange kortere end Java og 5-10 gange kortere end C++.
- Automatisk garbage collector. Ingen fokus på frigørelse af resourcer.
- Miksede høj-niveau datatyper.

Ulemper:

- Langsommere end bade Java og C++, da datatyper skal ikke nødvendigvis er defineret før runtime.

3.3.2 Relevante programbiblioteker

Nogle af Python's benyttede programbiblioteker har haft stor indflydelse på projektet, og er derfor relevante at nævne:

Numpy er et højt optimeret programbibliotek til arbjede med numeriske operationer og tilbyder derfor en god understøttelse af array- og matrice-matematik, samt en ekstensiv række høj-niveau matematiske funktioner [5]. Numpy er derfor anvendt af OpenCV i Python.

Tkinter er en Python-binding til GUI-værktøjet Tk. Dette interface giver mulighed for en nem implementering af det grafiske bruger-interface, og er frit tilgængeligt under en Python-licens [6].

3.4 Diskussion

Det valgte udviklingsmiljø har givet et sæt stærke værktøjer til design, implementering, debugging og profiling. Versionsstyring har været de naturlige valg når det kommer til programmering. Brugen af Numpy har lagt grund for en nem omskrivning af Siboskas MATLAB-kode, da de fleste matematiske funktioner også findes i Numpy.

4 Kravspecifikation

4.1 Problemstillinger

Der ønskes udviklet et system som kan indsamle videodata fra et kamera og derefter anvende dataen til at bestemme hvor en forsøgsperson kigger hen på en specifik skærm. Systemet skal derudover videregive denne information til brugeren via koordinater samt en graf der repræsenterer den skærm forsøgspersonen ser på.

Før dataopsamling skal en indledende kalibrering af systemet gennemføres. Dette gøres ved at et gitter med specifikke punkter indlæses på forsøgspersonsskærmen. Derefter bedes forsøgspersonen fiksere på specifikke punkter på skærmen, og sammenhængen imellem de målte punkter og de kendte punkter kan anvendes til at finde en homografisk mapning. Efter denne kalibrering kan systemet anvendes.

Systemet udvikles med henblik på en standard anvendelsesmåde, med mulighed for brugerdefinerede anvendelsesmåder. Standardanvendelsen omhandler at vælge en sti og et filnavn, hvorefter dataopsamling umiddelbart begynder. Under dataopsamlingen vil gazevectoren løbende blive præsenteret for brugeren på brugerskærmen. Når brugeren er færdig kan opsamlingen stoppes, og dataopsamlingen gemmes i den tidligere valgte fil. Bemærk at den algoritme der anvendes til behandling af data her er forudbestemt.
(Hvis brugeren ønsker at bruge en anden algoritme kan denne indlæses. Den kan også indskrives direkte i GUI'en, og derefter gemmes. Formålet med dette er at kunne indrette systemet efter specifikke behov, og hurtigt indhente de opsætninger til fremtidig brug. Eventuelt kan andre variabler indtastes ved systemstart)

I de følgende afsnit fremgår det hvorledes det udviklede system indgår i det samlede system.

4.2 Funktionelle krav

Følgende funktionelle krav for systemet er blevet stillet:

1. **Real-time eye-tracking**: Systemet skal kunne foretage real-time eye-tracking.
2. **Kalibrering**: Før måling skal programmet kunne kalibreres.
3. **Output**: Resultater af måling skal ende i en log-fil tilgængelig til brugeren.

4. **Modularisering**: Det skal være muligt for bruger at ændre/erstatte algoritmen.

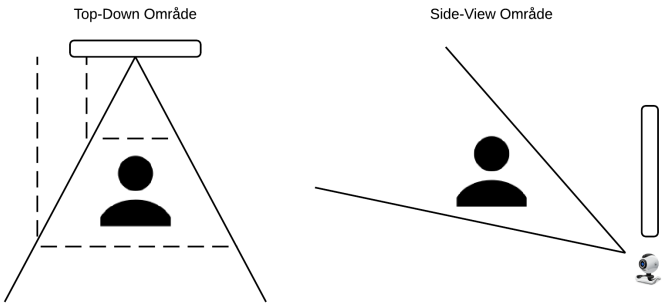
5. **Brugertilgang**: Ved hjælp af use case teknikken vil en yderlige række krav blive stillet. Disse vil lægge grundlag for bruger-program-interaktioner. Use-case-kravene er opstillet i afsnit 4.2.5.

4.2.1 Real-time eye-tracking

Systemet skal kunne foretage real-time eye-tracking ved hjælp af en implementeret udgave af Starburst-algoritmen som givet af Siboska og OpenEyes.

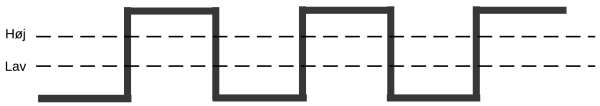
4.2.2 Kalibrering

Specifikke ukendte variabler skal kunne kalibreres ved hjælp af interpolation. Herved skal programmet kunne tilpasses testpersonens fysiske forhold til kameraet.



Figur 3: Kameraets position i forhold til testperson

Derudover skal programmet kunne kalibreres således at der kan findes tærskler (threshold-values) for trigger-niveauet: En værdi når trigger-niveauet går højt, og en værdi når trigger-niveauet går lavt.



Figur 4: Eksempel på tærskelværdier for trigger-signalet

4.2.3 Output

For hver igangsat session skal programmet generere en log-fil med følgende data:

- Kommasepareret målingsdata med følgende format:
  timestamp, x-koordinat, y-koordinat, trigger, fejlmeddelelse

4.2.4 Modularisering

Systemet skal være modulariseret, således at bruger kan foretage ændringer i algoritmen, eller tilføje en hel ny algoritme. Det er derfor nødvendigt med en opdeling af programmet, samt klare regler for input-argumenter og output-værdier i forhold til algoritme-delen. Dette system skal implementeres med Starburst-algoritmen som udgangspunkt.

4.2.5 Use-cases

1. Opret session:
   Opretter en session i en fil-sti med nødvendige data-filer.
2. Kalibrering:
   Initierer en række kalibreringer før brug.
3. Start måling:
   Igangsætter måling.
4. Stop måling:
   Afslutter måling.
5. Gem indstillinger:
   Gemmer en fil med brugerens nuværende indstillinger.
6. Indlæs indstillinger:
   Indlæser indstillinger fra gemt fil.
7. Indlæs rå data:
   Indlæser rå data fra tidligere session.

4.3 Ikke funktionelle krav

Real-time eye-tracking systemet skal leve op til en række ikke funktionelle krav. Disse krav skal garantere et robust system, der med en hvis præcision skal kunne levere de ønskede data.

- **Fejlmargin**: Systemet skal kunne angive XY-koordinater for øjets fokuspunkt. Disse koordinater må have en afvigelse på $<2°$[7].
- **Real-time**: Systemet skal kunne angive XY-koordinater med en frekvens bestemt af kameraets frame-rate.
- **Kamera**: Skal kunne levere video-data real-time til en computer. Systemet bliver udviklet til kamera af typen Basler ACA640-100gc GigE med opløsningen 658 x 492 pixels og maksimum framerate på 100Hz.
- Følgende krav er ikke krav til systemet, men krav til testpersonens fysiske forhold til kameraet. Dette er relevant når der foretages eye-tracking.
  Afstand og skærm: Systemet bliver udviklet med en afstand fra kamera til testperson på 60cm. På samme afstand fra testpersonen er der placeret en skærm. Denne skærm har størrelsen 26 tommer.

Typen af kamera og afstand til testperson kommer fra tidligere forsøg [8].

4.4 Performance-evaluering

Systemet kan efter implementering og test evalueres efter performance. Følgende punkter ønskes evalueret:

- **Miljø**: Algoritmens evne til at til at tilpasse sig forskellige afstande til forsøgspersonen, forsøgspersonens bevægelser, samt forskellige lysstyrker.
- **Robusthed**: Systemets evne til at håndtere fejl under måling.
- **Brugervenlighed**: Systemets evne til at håndtere fejl i det grafiske bruger-interface. Simplicitet af det grafiske bruger-interface.

4.5 Diskussion

De formulerede krav medfører en afgrænsning af projektet, og ligger basis for arbejdet med v-modellen.

5 Analyse

5.1 Indledning

Formålet med analysedelen af projektet var at få en indledende indsigt i emnet. Det indebar at få skabt et overblik over hvad der skulle laves, hvorfor det skulle laves, og hvilke krav der er til de ting som skulle laves. Størstedelen af tiden i denne fase af projektet blev brugt på at forstå den udleverede kode. En væsentlig del af tiden blev også brugt på at undersøge hvordan ændringer kunne påvirke resultater og performance, samt hvilke steder disse ændringer bedst kunne foretages. Det er også vigtigt at nævne at det der bliver gennemgået i dette afsnit overvejende er koncepter eller teori, med tilhørende eksempler rettet mod at fremme forståelsen. Konkret design og implementering vil blive gennemgået senere, i design og implementeringsdelene af rapporten.

5.2 Systemoversigt

Blokdiagram: Userskærm, testskærm, IR-LED, kamera. Blokdiagram2: Overordnet blokdiagram over software. (Figur 2, geometric approach to eyetracking)

Billede af opstilling.

Dette er opstillingen som projektet tager udgangspunkt i. Argumentationen for valget af denne opstilling kan ses i indledningen til projektet (Ref indledning).

5.3 Funktionalitetskrav

I løbet af analysen blev der løbende fremstillet en kravspecifikation, i samarbejde med projektudbyderen. En del af denne kravspecifikation bestod af Use Cases, en række situationer man kunne forestille sig ville opstå, når man anvender systemet. Formålet med dem er at dække en række situationer der kunne opstå, hvad enten systemet gør som tiltænkt eller hvis det af forskellige årsager fejler. Dette gør det lettere at designe et konkret system, idet man har en lang række hændelser som systemet skal kunne håndtere. I rapporten er der valgt kun at vise en enkelt Use Case, de resterende Use Cases kan ses i dokumentet kravspecifikation.pdf (Se appendiks).

5.3.1 Use case eksempel - Start måling

I figur 5 ses et eksempel på en use case for systemet. Denne use case er skrevet ud fra kravet om at man skal kunne påbegynde real-time eye-tracking fra en knap i det grafiske bruger-interface.

Figur 5: Use case 3

Sektion	**Kommentar**
Mål	Programmet påbegynder real-time eye-tracking
Initiering	Initieres af aktøren *bruger*
Aktører	Aktøren *bruger* og aktøren *kamera*
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet, *kamera* skal være tændt, programmet skal være kalibreret.
Slutresultat – succes	Programmet har påbegyndt real-time eye-tracking
Slutresultat – undtagelse	Programmet alarmerer *bruger* at der ikke er foretaget kalibrering
Normal forløb	1. *Bruger* klikker på knappen "Start". 2. Programmet starter ny måling. 3. Visuel feedback på GUI viser at måling er i gang.
Undtagelsesforløb	Programmet kan ikke starte ny måling. Programmet melder at kalibrering ikke er foretaget.

5.4 Overvejelser, Funktionelle krav

5.4.1 Real-time eye-tracking

Dette krav er stillet af udbyderen af projektet, og kan betragtes som et af de mest fundamentale krav i projektet. Projektet udspringer fra et tidligere projekt, hvor billedbehandlingen af kameradata foregik offline. Det skal optimeres i en tilstrækkelig grad til at kunne køre i realtime i stedet for, med en framerate på 100 billeder per sekund.

5.4.2 Kalibrering

For at systemet kan fungere korrekt skal der først foretages en kalibrering. Målinger kan foretages uden kalibrering, men det vil ikke være muligt at oversætte de resulterende data til et sæt skærmkoordinater. Denne kalibrering er derfor essentiel for systemet.

5.4.3 Output

Resultater fra målinger skal gemmes i en log-fil tilgængelig til brugeren. Dette krav stammer fra et ønske fra udbyder om at have adgang til data efter behandling. I design-delen af rapporten kan ses en protokol, der beskriver hvordan data skal gemmes i log-filen.

De resterende funktionelle krav er blevet uddybet ved hjælp af Use Cases -REF-.

5.5 Overvejelser, Ikke-funktionelle krav

5.5.1 Fejlmargin

5.5.2 Real-time

5.5.3 Modularisering

essentielt for projektet. Programmet skal skrives som en API (Application Programming Interface), altså et software-interface til anden software. Denne API skal designes således at bruger-interfacet, håndteringen af diverse filer, logning af data, kommunikation med hardware og så videre, kan implementeres som sit eget stykke software. Denne software kan så være basis for algoritmer der overholder API'ens regler. rænseflade, tilstrækkelig funktionalitet til at dække formodede behov, samt et design der gør det let at udvide applikationen på et senere tidspunkt.

Figur 6: Enkelt billede fra video optagelse

5.5.4 Kodesprog

Det er blevet aftalt med projektudbyder at prototypen skal udarbejdes med en C++ backend "Algoritmer"og Python frontend "Bruger interface". C++ er valgt som backend fordi det er et relativt hurtigt kodesprog, og fordi gruppen har tidligere erfaring med C++. Python blev foreslået til gruppen af projektvejleder, og idet Python har udvidelser der er opbygget i C/C++ "OpenCV og Numpy"var det en oplagt mulighed at anvende Python til front end delen af prototypen.

5.6 Starburst-algoritmen

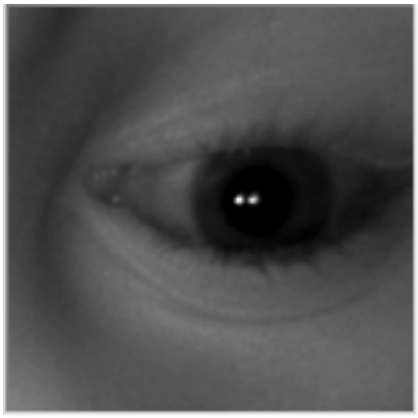
I det følgende vil algoritmen som projektet tager udgangspunkt i blive gennemgået.

Bemærk at der udelukkende beskrives hvad Starburst-algoritmen gør, og at der i følgende afsnit IKKE bliver beskrevet hvordan andre problematikker (For eksempel lokalisering af øjne og lokalisering af pupilmidtpunkt) bliver løst. Håndteringen af disse vil dog blive gennemgået i implementeringsdelen af rapporten.

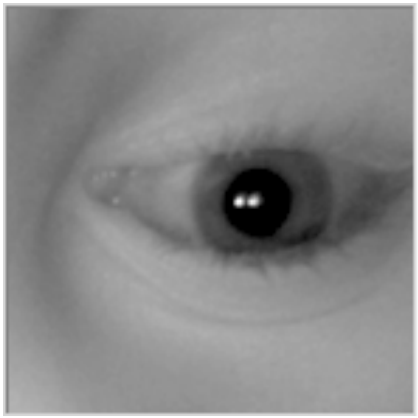
Algoritmen kan opdeles i følgende punkter "ref starburst":

Input: Billede. Output: Gaze vektor Procedure: Detekter hornhinde reflektioner. Lokaliser hornhinde reflektioner. Fjern hornhinde reflektioner. Iterativ detektion af pupil kantpunkter. RANSAC "Random Sample Consensus"for at finde en passende ellipse. Anvend kalibrering til at omsætte vektoren imellem midten af hornhinde reflektionerne og midten af pupillen, til skærmkoordinater i pixels.

Gennemgangen tager udgangspunkt i det ovenstående billede, som er det første billede i videoen "DerpKan findes på CD'en, filsti". Det første der bliver gjort er at få lavet et såkaldt "Region of Interest"i billedet, en afgrænsning



Figur 7: Udsnit af øje

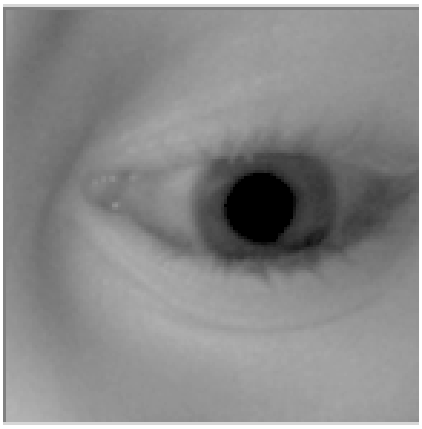


Figur 8: Efter øgning af kontrast og lysstyrke

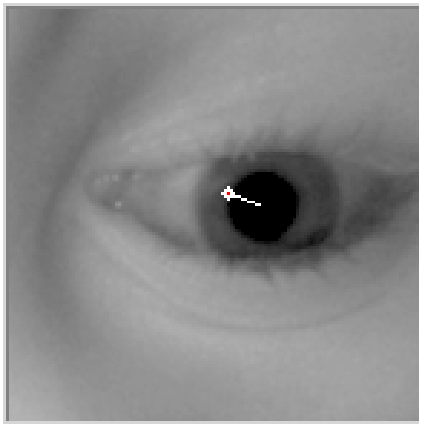
af billedet til det område der er relevant for algoritmen, altså øjnene. Dette gøres for at spare på ressourcer under behandlingen af billedet, da der er væsentligt færre pixels i forhold til at bruge hele billedet i alle udregninger. Der findes flere forskellige metoder til at opnå dette, eksempelvist kunne man inden opstart manuelt markere et område som algoritmen skal fokusere på i det første billede, og derefter bruge det tidligere billede som udgangspunkt i de efterfølgende billeder.

Når det relevante område af billedet er fundet, kan Starburst algoritmen anvendes. Man kan dog med fordel forsøge at øge kontrasten i billedet, således at differensen imellem pupil og iris øges. Dette gør algoritmen mere robust, da der vil være en mere klar adskillelse af overgangen fra pupil til iris. Årsagen til at dette gør algoritmen mere robust vil være lettere at forstå efter gennemgangen af detektionen af pupilkantpunkter.

Efterfølgende skal reflektionerne i øjet lokaliseres og fjernes. Alternativt



Figur 9: Reflektioner fjernet

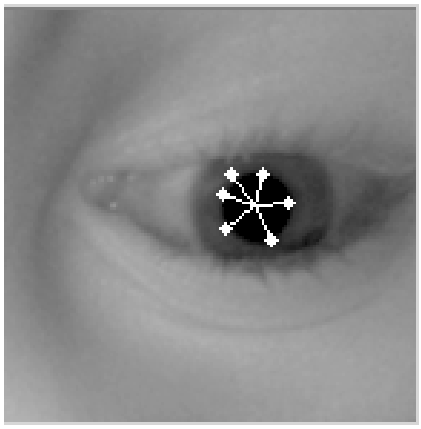


Figur 10: Starburst, første iteration (Enkelt stråle)

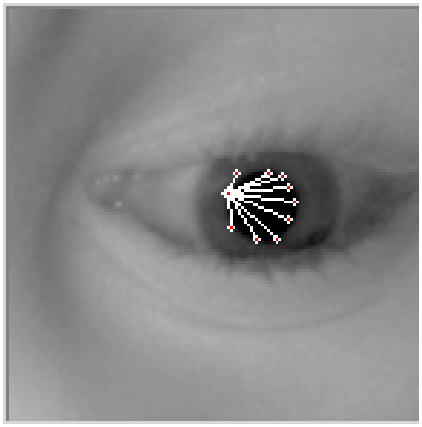
kan man også blot gemme områderne for reflektionerne, og tage højde for dem i sin algoritme i stedet.

Efter fjernelsen af reflektionerne, er det tid til den del af algoritmen som den har fået sit navn fra. Fra et estimeret midtpunkt af pupillen"ref"bliver en række "stråler"sendt ud imod kanten af billedet, og når de rammer en tilpas kraftig ændring i intensitet stopper de, og det antages at de har ramt en overgang fra pupil til iris.

Resultatet af dette er en række punkter som, ifølge hensigten, ligger på kanten af pupillen. Idet der er en risiko for at algoritmen finder punkter som ikke ligger på pupilkanten, gentages Starburst, med hvert fundet punkt som et nyt midtpunkt. Derudover tilpasses vinklerne som strålerne kan sendes ud i, sådan at de søger ind imod det oprindelige startpunkt, + / - et forskelligt antal grader. Dermed får man en række stråler, der oftest vil ramme pupil-



Figur 11: Starburst, første iteration (Resterende stråler)



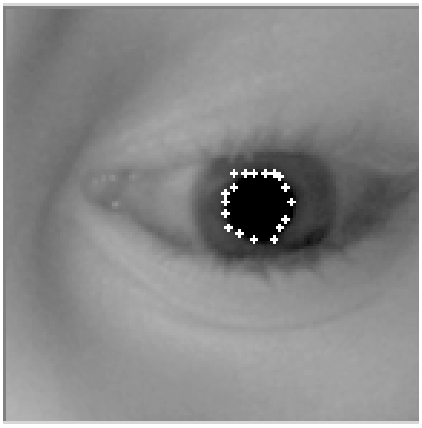
Figur 12: Starburst, anden iteration (Et startpunkt)

kanten, og dermed skabe flere brugbare punkter til næste del af algoritmen.

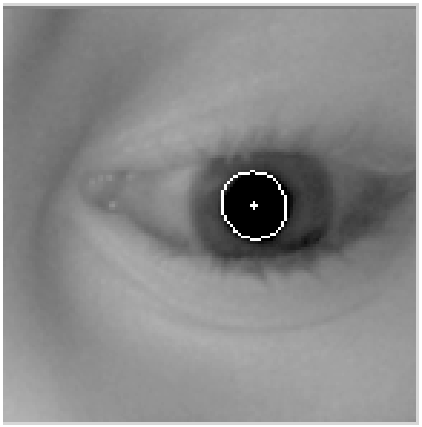
Ovenstående billede til venstre illustrerer hvordan strålerne sendes ud fra et tidligere punkt, og billedet til højre viser det endelige resultat af Starburst algoritmen. Ud fra disse punkter kan en ellipse så tilpasses, ved hjælp af RANSAC (Random Sample Consensus). RANSAC fungerer ved at udvælge en vis mængde af de fundne punkter (I vores tilfælde fem), og derefter undersøge hvor godt punkterne passer ind i en model (En model for en ellipse i denne algoritme).

Efter RANSAC har kørt, ender man med et sæt punkter som kan danne en ellipse. Midten af denne ellipse skulle så gerne være midten af pupillen, og med det punkt, samt midtpunktet imellem de to reflektioner, kan man finde gaze vektoren.

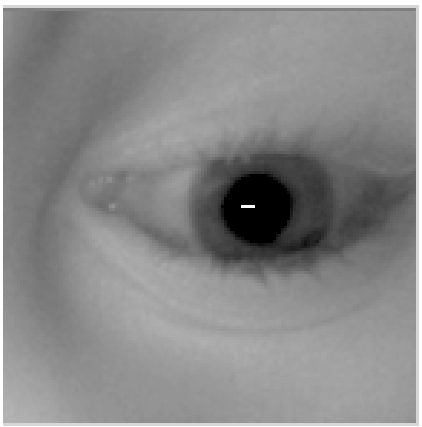
Bemærk at gaze vektoren i sig selv ikke kan fortælle nøjagtigt hvor en



Figur 13: Starburst, anden iteration (Alle Punkter)



Figur 14: Resulterende ellipse



Figur 15: Resulterende gaze vektor

person ser hen. Dertil skal man have kalibreret systemet først, ved at gennemgå kalibreringsrutinen som nævnt i "ref". Udfra dette kan man så lave en homografisk mapning ved hjælp af interpolering, som i sidste ende kan bruges til at omsætte gaze vektoren til et sæt skærmkoordinater.

5.7 OpenEyes og Siboska

Tidligt i projektforløbet blev der udleveret kildekode til gruppen, kildekode som prototypen overvejende er inspireret af "Siboskas kode". Derudover er der også kildekoden som Siboska implementeringen har taget sit udspring i. Et eksempel på væsentlige forskelle og egenskaber vil kort blive gennemgået, og resterende eksempler kan findes i analyseafsnittet i dokumentationen "Ref". En sammenligning af gruppens implementering og disse implementeringer vil blive lavet i implementeringsdelen af rapporten.

Idet der ville være behov for en uvis mængde tid for at få OpenEyes koden op og køre, blev det valgt kun at bruge det kode som mulig inspirationskilde, og derfor er alt simulering foregået i Matlab med Siboska koden.

5.8 Algoritme Oversigt

Matlabprofiler - procentvis brug af hver del af algoritmen. Bemærk at procestiden er opgivet som procentdel af samlet procestid, og at værdierne kun omfatter processen selv, og ikke medregner den tid der bruges på metoder der kaldes undervejs. Procestiden for disse metodekald står ud for de enkelte metoder i stedet.

Samlet tid, antal frames, indsæt profiler udsnit, forklar. Forklar nedenstående.

5.8.1 Calculate pupil and gaze

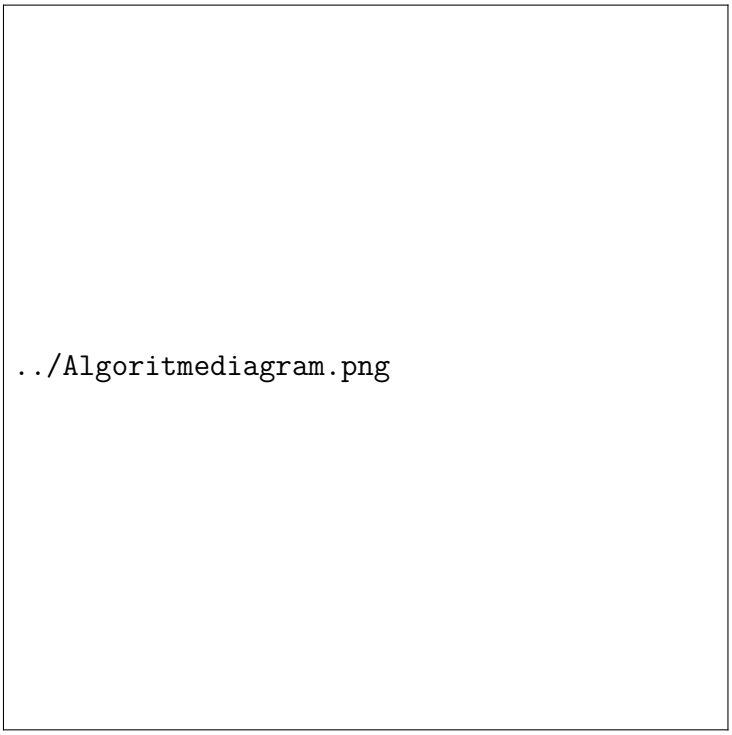
Main funktion - 0.17

5.8.2 Locate corneal reflection

Finder reflektionspunker - 0.3

5.8.3 Starburst pupil contour detection

Starburst algoritme - 0.63



Figur 16: Systemdiagram for Real-time eye-tracking

5.8.4 Locate Edge Points

Find pupil kant punkter - 44.71

5.8.5 Fit ellipse ransac

Tilpas en ellipse til punkterne - 11.7

5.9 Fokuspunkter

I det følgende underafsnit vil der kort blive beskrevet hvilke dele af koden der blev fokuseret på. Begrundelsen for fokus er baseret på antal gange rutinen bliver kørt, samt hvor lang tid det tager for hele processen at blive færdig.

5.9.1 Kantdetektion

Den mest tidskrævende del af algoritmen er selve starburst-delen, altså den del hvor pupilkantpunkter findes. Udover / i stedet for at optimere koden, er der også mulighed for at justere variabler for at få processen til at tage kortere tid. Dette kan i nogle tilfælde gøres uden problemer"ref RANSAC", og i andre

tilfælde på bekostning af resultaternes nøjagtighed/præcision, eller systemets overordnede stabilitet. Der vil altså formentligt være behov for en balancering af performance overfor kvalitet i nogle tilfælde. Denne balancering vil foregå iterativt i løbet af implementeringsfasen af projektet.

5.9.2 Ellipse Tilpasning

Den næstmest tidskrævende del af algoritmen er ellipsetilpasningen. Her vil det igen være muligt at justere på variabler, for at balancere performance og kvalitet. Derudover skal der ses nærmere på undtagelsestilstande hvor algoritmen gentages mange gange, RANSAC iterations = 10000. Hvis disse undtagelsestilstande opsluger meget tid og sker ofte, kunne det have en markant effekt på performance for systemet.

5.9.3 Kegleparametre til Ellipseparametre

En mindre betydelig, men dog stadig mærkbar del af algoritmen er den del som oversætter kegleparametre til ellipseparametre. Da denne del af algoritmen kun udgør omkring 6 procent af den samlede procestid, er denne blot nævnt som en mulig kandidat for optimering hvis de primære dele begynder at være sammenlignelige i procestid.

5.9.4 Kamera Input

En sidste ting der med fordel kan fokuseres på at forbedre er indlæsning af data fra kameraet. Idet der ikke sker meget kompression bør det meste af arbejdet bestå af overførsler i harddisken, men hvis det viser sig at være for tungt kan vi forsøge at gøre noget.

hvilket også indebærer processeringstid for de enkelte subrutiner. I forlængelse af dette vil begrundelserne for krav der har med algoritmen at gøre også blive givet i en relevant kontekst. I det følgende vil simuleringer i forbindelse med starburst algoritmen blive gennemgået. Disse simuleringer er blevet udført i et forsøg på at danne en bedre indsigt i sammenhængen imellem performance og resultater. Idet en overgang til en anden platform end MATlab formentligt ikke forøger performance tilstrækkeligt, skal der i stedet undersøges hvorvidt det er muligt at tilpasse forskellige variabler til at opnå en kortere processeringstid, alt imens resultaterne forbliver gode.

5.10 Simulering

Simuleringerne er foretaget med det kode og videodata som Daniel Sibozka har udleveret til gruppen. I det første afsnit vises resultaterne, og i andet

afsnit beskrives hvilke ændringer af variabler der afprøves, og derefter vises resultaterne af disse ændringer.

5.10.1 Extract gaze vector from video

Processeringstid, CPU = 2.4 GHz
Figur over resultater.

5.10.2 Variabel Ændringer

Antal Rays Antal RANSAC iterationer

5.10.3 Resultater

Figur

5.11 Diskussion

6 Design

6.1 Indledning

For at oprette en software arkitektur der overholder de krav stillet i kravspecifikationen, er der gjort brug af UML (Unified Modelling Language) [2]. UML tillader en tilnærmelsesvis direkte omskrivning af krav opstillet som use cases, til UML-diagrammer der skitserer en software arkitektur. Da der i kravspecifikationen er gjort brug af UML til udarbejdelse af de forskellige use cases, har det derfor været muligt af skrive sekvensdiagrammer ud fra hver enkelte use case. Sekvensdiagrammerne giver et klart billede af hvilke funktioner der skal implementeres for at overholde de stillede krav.

Sideløbende med udviklingen af sekvensdiagrammerne er de forskellige klasser blevet forfattet. Følgende afsnit beskriver grundlæggende tanker og argumentation for valget af klasser.

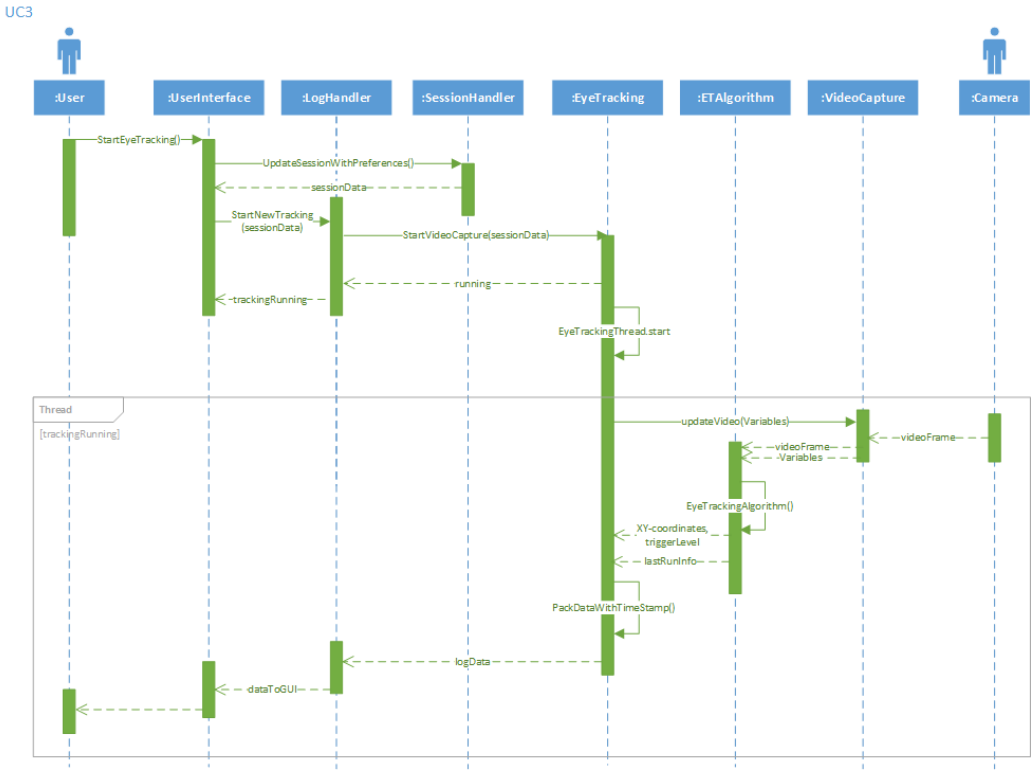
6.2 Modularisering

Programmet er ønsket opbygget, så der af en udestående person, er mulighed for fremtidig ændringer i algoritmen. Programmet er derfor struktureret op omkring at have et fastlagt interface med konsistente input/outputs med en selvstændig algoritme-klasse.

6.3 Applikationsarkitektur

Ved at benytte UML-tilgangen har de fastlagte use cases kunne omksrives til sekvensdiagrammer. De forskellige klasser er blevet forfattet med henblik på håndtering af de forskellige opgaver (bruger-interface, fil-håndtering, hardware-kommunikation, håndtering af algoritmen, og selve algoritmen), således at der opstår en klar struktur, hvor der ikke er tvivl om hvilken klasse der tilgår hvilken resource/opgave. Følgende eksempel beskriver omskrivningen fra *use case 3 - Start måling* (se figur 5) til *sekvensdiagram 3 - Start måling* (se figur 17).

Som tidligere nævnt varetager hver klasse en opgave med henblik på en af systemets grænseflader. GUI er varetaget af en klasse. De tre genererede filer log, session, og kalibrering er håndteret af tre klasser. Kommunikation med eksternt kamera er håndteret af sin egen klasse. Kommunikation med algoritmen har sin egen klasse. Følgende specificere hver klasses opgave, og hvilke krav disse kunne have til implementeringen.



Figur 17: Sekvensdiagram for use case 3 - Start måling

6.3.1 UserInterface

Denne klasse foretager al kommunikation med aktøren *bruger* igennem et grafisk bruger-interface (GUI). For at have en konstant opdatering af interfacet, forventes denne klasse at blive afviklet i egen tråd. Denne klasses funktionalitet gives direkte ud fra de forskellige use cases.

6.3.2 SessionHandler

Her håndteres alle præferencer tilknyttet til en oprettet session. Denne klasse skal kunne instantieres og benyttes som en datapakke, for hver gang der skal sendes data imellem klasser. Herved kan alle indstillinger foretaget af bruger (enten igennem opsætning af session, eller igennem det grafiske bruger-interface) holdes i et samlet konsistent data-format. Følgende værdier er tilstede i SessionHandler klassen:

- Notes: Noter til bruger af systemet. Disse har ingen funktion for programmet.
- Screen 2 resolution: Angiver opløsningen på skærmen brugt i opstillingen (se figur **??**). Opløsningen angives som bredde og højde adskilt af 'x'.
- Log filename: Alternativt navn for log-filen. Er feltet tomt bliver der auto-genereret et navn af formatet YYMMDD-HHMM (år måned dato - time minut).
- Session path: Peger på fil-stien hvor sessionsfilerne (præferencer, log og kalibrering) bliver oprettet. Bliver selv skrevet ind af programmet når man opretter en ny session.
- Using camera source?: Angiver hvorvidt der bliver brugt kamera eller video-fil som input til algoritmen.
- Source: Hvis der er valgt kamera, peget denne værdi på kamera-kilden. Hvis der er valgt video-fil, fortæller denne filstien.
- Recording video?: Angiver hvorvidt det brugte input skal gemmes som en ny video-fil.
- Filepath for recorded data: Angiver hvor den generede video-fil skal gemmes. Hvis intet er angivet gemmes filen i session path.
- Calibration type: Beskriver hvilken type kalibrering der skal benyttes. Man kan således have flere forskellige kalibreringstyper.

- Load calibration file: Giver mulighed for at vælge en allerede oprette kalibreringsfil. Når en ny kalibrering er fuldført, vil denne værdi pege på den nye fil.
- New calibration log filename: Angiver navnet på den oprettede kalibreringsfil. Hvis intet er angivet gemmes filen i session path med navnet calibration.clog.
- V1 til V10: Angiver ti frie variabler til brug i algoritmen. Felterne name bliver ikke benyttet af systemet, og er blot til brugerens nytte. Felterne value kan indeholde alt der opfylder korrekt syntaks for Python og Numpy-biblioteket.

6.3.3 LogHandler

Denne klasse håndterer eye-tracking-programmets log-filer (log-fil fra måling samt kalibrerings-log-fil). Data fra eye-tracking bliver her pakket og gemt i en log-fil. Kommunikation af målings-relevant data til UserInterface-klassen forventes foretages af denne klasse.

6.3.4 VideoCapture

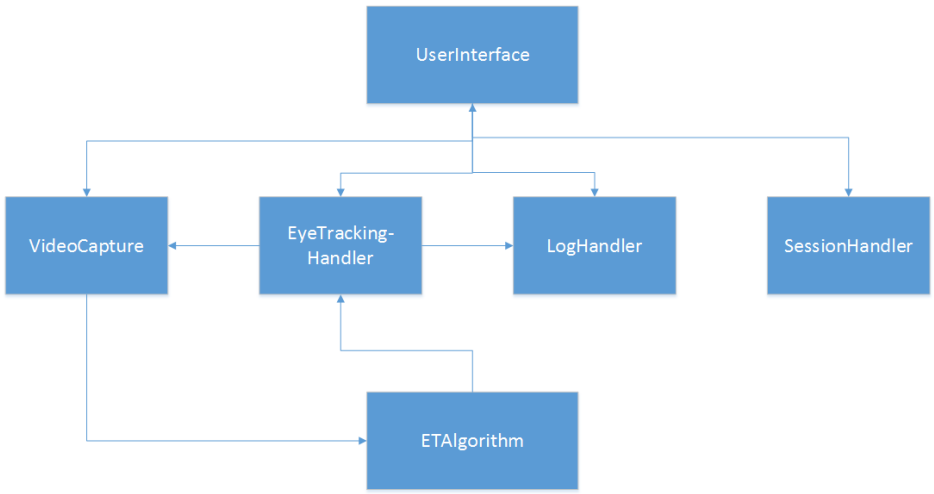
Håndtering af data fra kamera eller video-kilde foregår i denne klasse. Ved hjælp af OpenCV-biblioteket kan der nemt indlæses video-filer, skrives video-filer, samt åbne og lukke for kamera-input. Klassen er også ansvarlig for at læse værdier fra video-kilder såsom opdateringshastighed.

6.3.5 EyeTrackingHandler

EyeTrackingHandler håndterer hvornår algoritmen skal køre, og hvilke værdier der skal sendes til algoritmen. For at sikre prioritet til algoritmen, skal denne klasse implementeres med mulighed for trådning (og potentielt multitrådning). Klassen står også for at modtage resultater fra algoritmen, og behandling af disse.

6.3.6 Interaktion mellem klasser

Man kan beskrive software-arkitekturen som bestående af tre lag. Det øverste lag består af det grafiske bruger-interface med den tilknyttede klasse UserInterface. Denne blok kan ses som en main-funktion hvorfra programmet bliver afviklet. Derved har brugeren mest mulig kontrol over systemet. Andet lag består af de forskellige 'handler'-klasser: SessionHandler, LogHandler, EyeTrackingHandler og VideoCapture. Sidste lag er eye-tracking-algoritmen i



Figur 18: Klasseinteraktioner

klassen ETAlgorithm. Når brugeren sætter ny måling igang opretter UserInterface en ny instans af SessionHandler-klassen og sender denne data til LogHandler. LogHandler opretter så en log-fil i filstien angivet i SessionHandler, og sender SessionHandler videre til EyeTrackingHandler. EyeTrackingHandler instantierer VideoCapture med korrekt data fra SessionHandler, og opretter derefter en tråd til afvikling af algoritmen i ETAlgorithm. Data til ETAlgorithm bliver pillet ud af SessionData og sendt igennem VideoCapture, hvor der bliver tilføjet et video-frame.
Ved hvert trin kæden igennem bliver der sat en variabel der fortæller de forskellige klasser at en måling kører.

Et diagram over interaktionen ses på figur 18.

6.4 Algoritme-arkitektur

Klassen ETAlgorithm er kernen af eye-tracking-systemet. Her foretages alle udregninger med henblik på eye-tracking. Denne klasse ønskes isoleret så meget som muligt fra resten af systemet, således at der altid kan foretages ændringer i klassens interne kode, uden at det påvirker resten af systemet. Konsistente grænseflader for denne klasse er derfor essentielt. ETAlgorithm bliver håndteret af klassen EyeTracking, modtager et videosignal og et sæt af variabler, og returnerer XY-koordinat, trigger-niveau, samt et sæt af variabler.

Da program API'en skal kunne understøtte forskellige typer af eye-tracking-algoritmer, har det været nødvendigt at definere inputs og outputs for algoritmeklasse ETAlgorithm. Input-strukturen består af en video-frame i korrekt

format givet af OpenCV-arkitekturen, kalibreringsdata, og et sæt af 16 frie variabler. Disse variabler har på forhånd ikke noget format, og giver derfor brugeren mulighed for at videregive en række værdier til algoritmen uanset format. Herved kan enhver algoritme med op til 10 inputvariabler implementeres uden nødvendighed for ændringer i API'en.

For eksempel benytter dette projekt sig af en række variabler til at angive: koordinater for sidste pupil-center, afgrænsninger af sidste sæt øjne, hvorvidt Viola Jones skal køres, thresholdværdier, og maks antal RANSAC-iterationer. Disse værdier indeholder både arrays, matricer, enkelt værdier og booleans. De 10 frie inputvariablers startværdier kan indstilles fra GUI, og gemmes i præference-filen.

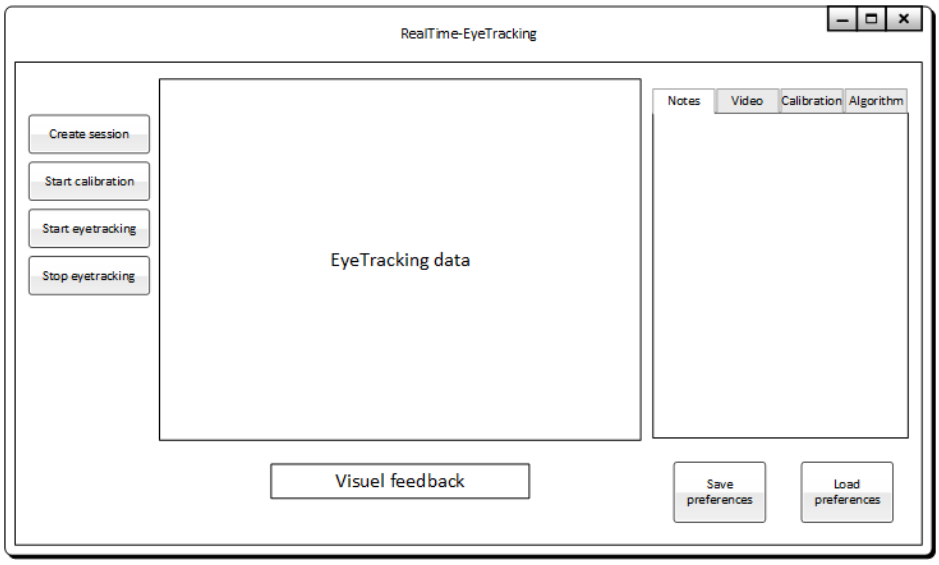
6.5 Bruger-interface

Interfacet er designet med henblik på intuitivt brug, så ledes at det ikke er nødvendigt med dybere introduktion til programmet. Forskellige stadier af hvad man kan gøre i interfacet reducerer muligheden for uønskede handlinger. Det er for eksempel ikke muligt at starte eye-tracking før nødvendig opsætning er fuldført.

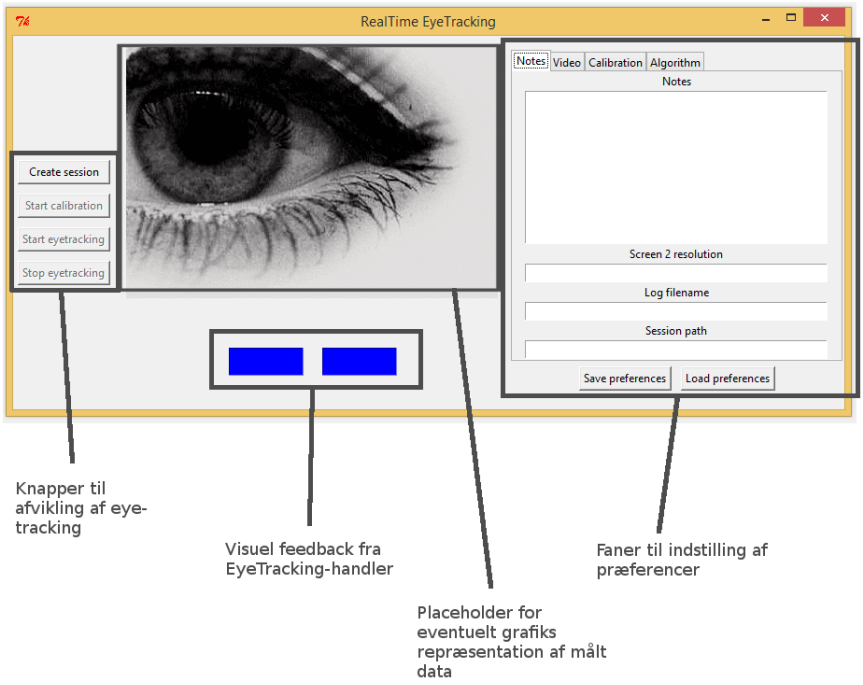
Figur 19 beskriver det forventede grafiske bruger interface. Interfaces er designet ud fra use case diagrammerne beskrevet i kravspecifikationen. De fire faner til højre i interfacet - notes, video, calibration, algorithm - tillader brugeren at læse og inputte ønskede præferencer. Følgende værdier er tilstede:

6.6 Diskussion

Designfasen har udledt i et softwarearkitektur-dokument, som har vist sig at være et rigtig godt fundament for implementering af systemet. Den tilnærmelsesvis direkte omskrivning fra use case til sekvensdiagram har medført at al funktionalitet kunne implementeres korrekt fra starten.



Figur 19: Udkast til det grafiske bruger-interface



Figur 20: Implementeringen af det grafiske user-interface med kommentarer

7 Implementering

7.1 Indledning

7.2 Bruger-interface og applikation

I følgende afsnit vil implementeringen af bruger-interfacet og applikationen blive beskrevet.

7.2.1 UserInterface

Tkinter objekter (se afsnit 3.3.2) er benyttet til at opbygge det grafisk brugerinterface som givet i design. Hver knap er blevet oprettet med et tilknyttet funktionskald der udfører den ønskede funktion, som givet af de forskellige use cases. Brugeren ser kun Tkinter objekter. Knapperne til venstre i interfacet er sat i rækkefølge efter naturlig opsætning og eksekvering af real-time eye-tracking. Ikke tilgængelige funktioner har deaktiverede knapper således at man ikke kan foretage ulovlige handlinger.

De fire faner til højre er til indstilling af præferencer. Herfra kan man tilgå, læse og ændre alle præferencer, samt gemme og indlæse præference-filer.

I bunden af bruger-interfacet er to farvede bokse. Disse bokse bruges til at give visuelt feedback bestemt af klassen EyeTrackingHandler. Farven blå indikerer at der ikke kører nogen eye-tracking. Grøn indikerer at eye-tracking kører. Igennem EyeTrackingHandler er det muligt at sætte farven på de to bokse til rød, hvilket kan bruges til at indikere eventuelle fejl. I denne implementering med Starburst-algoritmen er hver boks sat til at repræsentere et øje, således at rød farve indikerer at algoritmen ikke kan finde det tilsvarende øje. Interaktion med andre klasser: For hver tilgang til præference-filen bliver der oprettet en ny instans af dataklassen SessionData fra klassen SessionHandler. Ved at aflæse indholdet/værdien af de forskellige Tkiner-objekter og skrive dette data til den instansen af SessionData, der senere bliver skrevet til præference-filen af klassen SessionHandler, vil der altid være konsistens mellem værdierne skrevet i brugerinterfacet, værdierne i præference-filen, og værdierne brugt i eye-tracking-algoritmen.

Programbibliotekerne tkFileDialog og tkMessageBox giver værktøjer til at kommunikere med brugeren. tkFileDialog håndterer arbejdet med valg af filer, og giver brugeren mulighed for at bevæge sig rundt i mapper på computeren. tkMessageBox bruges til pop-up-vinduer, hvilket benyttes til at tvinge brugeren til at gennemføre valg for at fortsætte, samt til at prompte brugeren om fejl og ulovlige handlinger.

7.2.2 SessionHandler

SessionHandlers opgave er at stille et data-format til rådighed for kommunikation af sessions-indstillinger de forskellige klasser imellem. Klassens vigtigste opgave er derfor at opretholde et korrekt format. Ved oprettelse eller opdatering af præference-fil, kreerer SessionHandler en streng med henholdsvis navn på variabeltype, variable værdi konverteret til streng (hvis variablen er tom, skrives strengen "None"), efterfulgt af et linebreak. Når strengen er oprettet for alle variabler, skrives strengen til en præference-fil med suffiks .pref.
Når en præference-fil indlæses, verificeres den først af SessionHandler ved at lede efter alle variablenavne i den læste fil. Herefter kan hver variabel udtrækkes fra filen. Det er nødvendigt at lave tjek på hver variabel, da konvertering fra python- og numpy-værdi til streng kan medføre komplikationer.

Instanser af SessionHandler brugt som data-format bliver oftest omtalt som SessionData.

Figur 21: Eksempel på præference-fil

```
SESSIONPATH C:/RealTimeEyeTracking
USINGCAM True
CAMNR None
VIDEOPATH 0
NOTES Dette er en testsession
RESOLUTION 1600x900
CALTYPE Numbers
LOGFILENAME testlog
CALFILENAME testcallog
LOADEDCALDATA None
RECORDVIDEO False
RAWDATAPATH None
VARIABLENAMES ['e_center', 'last_eyes', ...
VARIABLEVALUES ['[0,0]'$ '[]'$ 'True'$ '20'$ '1500'$ ...
```

Figur 21 er et eksempel på præference-fil med korrekt format (Værdierne variablenames og variablevalues er trunkeret for formateringens skyld).

7.2.3 LogHandler

For hver eye-tracking måling der igangsættes bliver der oprettet en instans af LogHandler klassen med argumentet SessionData, som er en instans af klassen SessionHandler. LogHandler-klassen består af tre simple funktioner: StartNewTracking, StopTracking og LogData. StartNewTracking er en del af kommunikationsvejen fra UserInterface til EyeTrackingHandler, og har til formål at pege på sig selv, således at EyeTrackingHandler kan kalde LogData i den rette instans af klassen. Ligeledes StartNewTracking er StopTracking en del af kommunikationsvejen, men har kun til formål at sætte klassens variabel Tracking til False. Funktionen LogData bliver kaldt fra EyeTrackingHandler med en streng som argument, og har til formål at skrive denne streng - efterfulgt af et linebreak - til en log-fil peget på af SessionData.

Figur 22 er et eksempel på en log-fil med korrekt format (Timestamp, X, Y, Triggerniveau, Fejlmeddelelse).

LogHandler håndterer desuden også oprettelsen af kalibrerings-log-filen. Eksempel på denne fil ses på figur 23.

7.2.4 EyeTrackingHandler

Ved implementering af denne klasse har det været vigtigt at gøre en række overvejelser angående modulariseringen af koden, da det er denne klasse der indirekte står for afviklingen af algoritmen. Funktionen StartVideoCapture

Figur 22: Eksempel på log-fil

```
16:28:46.483000, 89, 69, 0, None
16:28:46.662000, 89, 69, 0, None
16:28:46.731000, 90, 70, 0, None
16:28:46.782000, 90, 71, 0, None
16:28:46.951000, 92, 74, 0, None
16:28:47.093000, 89, 68, 0, None
16:28:47.244000, 89, 51, 1, None
16:28:47.322000, 89, 52, 1, None
16:28:47.360000, 91, 52, 1, None
16:28:47.395000, 89, 51, 1, None
16:28:47.598000, 0, 0, 0, Maximum ransac iterations exceeded
16:28:47.651000, 89, 51, 1, None
```

Figur 23: Eksempel på kalibrerings-log-fil

```
CALIBRATION_VECTOR_LEFT [ ]
CALIBRATION_VECTOR_RIGHT [ ]

```

bliver kaldt med data-formatet SessionData og en pointer til den relevante instans af LogHandler-klassen. Funktionen opretter en instans af klassen VideoCapture med de korrekte argumenter taget fra SessionData. Funktionen StopVideoCapture kalder blot funktionen StopTracking fra klassen VideoCapture, og sætter variablen running til returværdien derfra.

For at sørge for at algoritmen kan afvikles uden forstyrrelser ved opdateringen af det grafiske bruger-interface, indeholder EyeTrackingHandler en EyeTrackingThread-klasse implementeret som en tråd. Når EyeTrackingHandlers funktion StartVideoCapture bliver kaldt, vil en ny process med tråden blive oprettet. Denne tråd vil kalde funktionen updateVideo fra klassen VideoCapture med de valgte argumenter, vente tiden 1/opdateringshastighed, og køre sig selv fra starten så længe at variablen running=True.

Til at modtage data fra algoritmen er de tre funktioner PackWithTimestamp, ReturnError og LastRunInfo. PackWithTimestamp bliver kaldt med argumenterne XY-koordinat og triggerniveau, hvorefter den opretter en streng med den nuværende tid, x-koordinatet, y-koordinatet, triggerniveauet og værdien 'None'. Denne streng sendes derefter som argument til den relevante instans af LogHandler-klassen ved funktionen LogData. ReturnError kan bruges af algoritmen til at returnere fejlmeddelelser. Funktionen modtager fejlmeddelelsen som en streng og opretter en ny streng i samme fa-

con som PackWithTimestamp, blot med koordinaterne (0,0), triggerniveau 0, og fejlmeddelelse. Derefter sendes denne streng også til LogHandler-klassens LogData. LastRunInfo giver algoritmen mulighed for at ændre i de ti frie variabler. Variablerne modtages af algoritmen som argument til funktionen LastRunInfo, der derefter opdatere variablerne i SessionData, således at de bliver benyttet næste gang updateVideo kører. Herved er der fri mulighed for at sende værdier så som fejlmeddelelser, sidste kendte koordinater og så videre tilbage til algoritmen.

7.2.5 VideoCapture

Indeholder puplic funktion GetCameraInputs, som kan tilgås uden instantiering af klassen. GetCameraInputs detekterer antal kameraer tilsluttet computeren ved at iterere igennem en liste af kamera-inputs givet af operativsystemet. Når et indeks på listen returnere en fejl, returnerer funktionen antal kameraer fundet inden fejlen.

De andre funktioner kan først tilgås når klassen er instantieret. Klassen instantieres med et video-input, og mulighed for kalibreringsdataet, samt ti frie variabler. Kalibreringsdataet og de ti frie variabler benyttes ikke til andet end at videresende til ETAlgorithm sammen med gyldig frame. At passe kalibreringsdataet og de frie variabler igennem VideoCapture er ikke optimalt, men spiller ingen rolle i det samlede arbejdslæs. Det kan forestilles at man i stedet ville sende to pointers til hvor disse data ville være lageret. Argumentet for at passe disse data igennem VideoCapture er, at VideoCapture så vil kalde ETAlgorithm's Track() med den fundne frame samt disse data, i stedet for at returnere den fundne frame til EyeTrackingHandler og derefter kalde Track(). VideoCapture håndterer al kommunikation med video-kameraer, og har tilsvarende ansvaret for at terminere forbindelsen med disse når en måling er overstået.

7.2.6 Kommunikation imellem applikationens klasser

Overordnet kan programmet befinde sig i tre stadier: NotRunning, Calibrating og Running. Næsten alle klasser har en variabel der fortæller hvor vidt algoritmen kører eller ej. Herved kan det sikres at systemet ikke forsøger at instantiere klasser, åbne video-inputs, eller overskrive filer der, allerede er i brug.

Figur 24: Tom udgave af klassen ETAlgorithm

```
import numpy as np
import EyeTracking as et

#Her tilfoejes diverse python-biblioteker

def Track(frame, calibration_data, variables):

#Egen kode her

        et.PackWithTimestamp(screen_point, trigger_value)
        et.LastRunInfo(variables)
        return
```

7.3 ETAlgorithm

Koden i figur 24 er en tom udgave af klassen ETAlgorithm med de nødvendige input-argumenter og funktionskald til EyeTrackingHandler er implementeret:

Afsnit 7.4 beskriver implementering af Starburst-algoritmen i ETAlgorithm.

7.4 Starburst-algoritmen

7.5 Optimering

7.5.1 Fremtidige optimeringsmuligheder

Python understøtter multitrådning, hvilket giver mulighed for at køre flere instanser af eye-tracking-algoritmen sideløbende. Skriv mere om muligheder for multitrådning, og hvorfor det kan virke.

7.6 Diskussion

8 Test

8.1 Indledning

8.2 Deltest

Deltestene har til formål at teste hver enkelte klasses funktionalitet. Da de forskellige klasser er skrevet i hver sin python-fil, og da python-filer uden problemer kan inkluderes i python-programmer, har hver klasse været mulig at teste ved at skrive kalde funktionaliteter med specifikke inputs og derefter læse returværdierne/observere hændelserne.

Ved at skrive en test-bench (her et python-program) har det været muligt at teste hver klasses funktionaliteter. Alle test-cases er udført i værktøjet Visual Studio, hvilket giver fri mulighed for at aflæse de forskellige variabler i runtime. Følgende er kort beskrivelse af deltest og resultater for hver klasse:

- **UserInterface**: Klassen er testet ved at køre programmet og observere at: Bruger-interfacet indeholder de samme knapper og tekstfelter som angivet i softwarearkitekturen, knapperne forsøger at kalde de rigtige funktioner når der trykkes på dem, man kan aflæse korrekte værdier i tekstfelterne, og at både program og bruger kan skrive værdier i tekstfelterne.
- **SessionHandler**: Her er testet at en oprettet instans af klassen kan: Gemme egen data i en fil, læse og sætte egen data fra en fil, og verificere korrekt - eller afvise ugyldigt - filformat.
- **LogHandler**: Her er testet at en oprettet instans af klassen kan: Oprette log-fil ud fra givet filsti og navn og tilføje strenge med korrekt format til den angivne log-fil.
- **EyeTrackingHandler**: Denne klasse er først testet for de funktionskald der skal komme fra ETAlgorithm. Her er testet at den kan: Modtage resultater og tilføje et korrekt timestamp til dem, modtage en fejlmeddelelse og tilføje et korrekt timestamp, formatere en streng i outputformatet givet i kravspecifikationen, og modtage et array på ti variabler. Herefter er det testet at klassen kan oprette en process hvori en tråd gentager sig selv med en hastighed på 1/opdateringshastighed sekunder.
- **VideoCapture**: Her er der testet at klassen kan benytte OpenCV til at detektere og benytte video-hardware, læse videofiler, samt læse opdateringshastigheden fra video-hardware og videofiler, eller sætte en

standard hastighed hvis ingen kunne læses (noget video-hardware kan ikke aflæses).

Hvis nogle punkter ikke har kunne godkendes når denne test har været kørt, har det været muligt at gå tilbage og ændre i implementeringen.

8.3 Integrationstest

Integrationstesten har til formål at teste kommunikationen klasser imellem. Ligesom i deltesten har denne test kunne udføres ved hjælp af en test-bench, dog med to klasser benyttet af gangen. Hver kommunikationsvej (som set på figur 18) er her testet. Funktionskald og de dertilhørende argumenter er i denne test blevet verificeret. Denne test har ikke medført nogle problemer, da der i softwarearkitekturen har været defineret en klar kommunikation klasserne imellem, og da Python benytter sig af et høj-niveau data-typer.

8.4 Accepttest

Accepttesten er formuleret efter de opstillede krav i afsnit 4. Formålet ved accepttesten er at teste det samlede produkt op imod de stillede krav. Testen afsluttes når alle specificerede test cases er gennemført og godkendt. I tilfælde hvor et krav ikke har kunne fuldføres, er der udfærdiget en problemrapport årsagen til underkendelsen. Følgende er kort beskrivelse af de forskellige test cases og deres resultater:

2. **Funktionelle krav**
   (a) **Real-time eye-tracking**:
   (b) **Kalibrering**:
   (c) **Output**: Her foretages en måling. Når en måling igangsættes oprettes der en log-fil. Efter få sekunders måling er målingen standset. Den oprettede log-fil er derefter åbnet, og det er verificeret at den stemmer overens med protokollen for log-fil angivet i afsnit 4.2.3 og figur 22. Efter verificering er denne test case accepteret.
   (d) **Brugertilgang**
      i. **Use case 1: Opret session**: Der er testet om rutinen for opretning af session opfylder use case 1, ved at gennemgå normalforløb og undtagelsesforløb. Test casen er accepteret.
      ii. **Use case 2: Kalibrering**: -.-.-.-.- SKRIV NOGET HER MARTIN -.-.-.-.-

iii. **Use case 3: Start måling**: Der er testet om programmet kan starte en ny måling. Resultatet af denne test kan aflæses i de to farvede bokse i det grafiske bruger-interface. Normalforløbet er blevet testet efter fremgangen i use case 3. Undtagelsesforløbet er foretaget uden gyldig kalibreringsfil. Test casen er acceptteret.

iv. **Use case 4: Stop måling**: Her er også testet ved at udføre normalforløbet fra den tilsvarende use case. Der observeres hvorledes at de farvede bokse i det grafiske bruger-interface skifter farve til blå. Yderligere har der kunne observeres at der ikke længere kører en eye-tracking-proces. Test casen er acceptteret.

v. **Use case 5: Gem indstillinger**: Efter oprettelse af session er der skrevet en række værdier ind i det grafiske bruger-interface. Normalforløbet er blevet gennemgået, og det har kunne observeres at en fil med korrekt format (se figur 21) er oprettet. Undtagelsesforløbet af denne use case er testet ved at forsøge at gemme en fil i en fil-sti med begrænset adgang. Test casen er acceptteret.

vi. **Use case 6: Indlæs indstillinger**: Der er testet om programmet kan udtrække de korrekte værdier fra en præference-fil, og derefter skrive værdierne til de korrekte bokse. En præference-fil med korrekt format og kendt indhold er skrevet og forsøgt læst ind. Undtagelsesforløbet er testet ved at have en præference-fil med forkert format. Dette forløb er til for at teste verificeringsdelen af klassen SessionHandler. Denne test case er acceptteret.

vii. **Use case 7: Indlæs rå data**: Denne test case er ikke længere relevant og derfor ikke testet. Se afsnit 8.5.

3. **Ikke funktionelle krav**

   (a) **Fejlmargin**

   (b) **Real-time**

   (c) **Kamera**

8.5 Problemrapporter

8.6 Performance-evaluering

Følgende performance-evaluering skal betragtes som en observering af systemets opførsel, og ikke nødvendigvis funktionalitet. Her er ikke tale om en test, men en evaluering, da der fra projektskrivernes synspunkt ikke kan tages nogle konkrete objektive observeringer.

- **Miljø**: I denne implementering, hvor Starburst-algoritmen er benyttet, kan algoritmen tilpasse sig miljøet ved hjælp af flere optimeringfunktioner. Algoritmen har evnen til at tilpasse sig lysstyrke og kontrast, og brugen af objektgenkendelse gør det muligt at detektere øjne så længe at de befinder sig i billedet.

- **Robusthed**: EyeTrackingHandler-klassen indeholder funktionen ReturnError, som skriver fejlmeddelelser til log-filen med korrekt formatering. Herved kan enhver fejl der opstår i algoritmen føres til log. I implementeringen af Starburst-algoritmen er der forsøgt at fange alle eventuelle fejl der kan opstå, og sende en fejlmeddelelse ved opstået fejl. Derved vil algoritmen og selve eye-tracking ikke blive afbrudt ved fejl.

- **Brugervenlighed**: Det grafiske bruger-interface er blevet designet ud fra minimale krav stillet. Dette medfører simplicitet. Ved at deaktivere knapper til funktioner der ikke skal være tilgængelige på et givent tidspunkt i programmet, er der skabt en intuitiv fremgang.

8.7 Diskussion af testresultater

9 Konklusion

10 Appendiks

På vedlagt CD findes alle billag navngivet som følgende:

- A - Rapport.pdf
- B - Kravspecifikation.pdf
- C - Analyse.pdf
- D - Softwarearkitektur.pdf
- E - Implementering.pdf
- F - Accepttest.pdf
- G - Kildekode.pdf
- H - Programkode.zip

Figurer

Referencer

[1] Wikipedia. (2015). V-model (software development) — Wikipedia, the free encyclopedia, side: `http://en.wikipedia.org/wiki/V-Model_(software_development)` (sidst set 28.05.2015).

[2] O. M. Group. (2015). Unified modelling language, side: `http://www.uml.org/` (sidst set 28.05.2015).

[3] Itseez. (2015). Opencv, side: `http://opencv.org/` (sidst set 28.05.2015).

[4] P. S. Foundation. (2015). Comparing python to other languages | python.org, side: `https://www.python.org/doc/essays/comparisons/` (sidst set 01.06.2015).

[5] S. van der Walt, S. Cobert og G. Varoquaux, "The numpy array: A structure for efficient numerical computation", *Computing in Science Engineering*, 7. mar. 2011.

[6] P. Hughes, "Python and tkinter programming", *Linux J.*, 1. sep. 2000.

[7] M. Fairchild, *Color Appearance Models*. 1998, citeret i D. Siboska, H. Karstoft og H. Pedersen, p.5.

[8] D. Siboska, H. Karstoft og H. Pedersen, *Synchronization of electroencephalography and eye tracking using global illumination changes*.