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

Indhold

1 Prolog

1.1 Indledning

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

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.

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

Kort beskrivelse af de to algoritme-implementeringer projektet har taget udgangspunkt i.

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

- 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

  ORDORDORD

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.

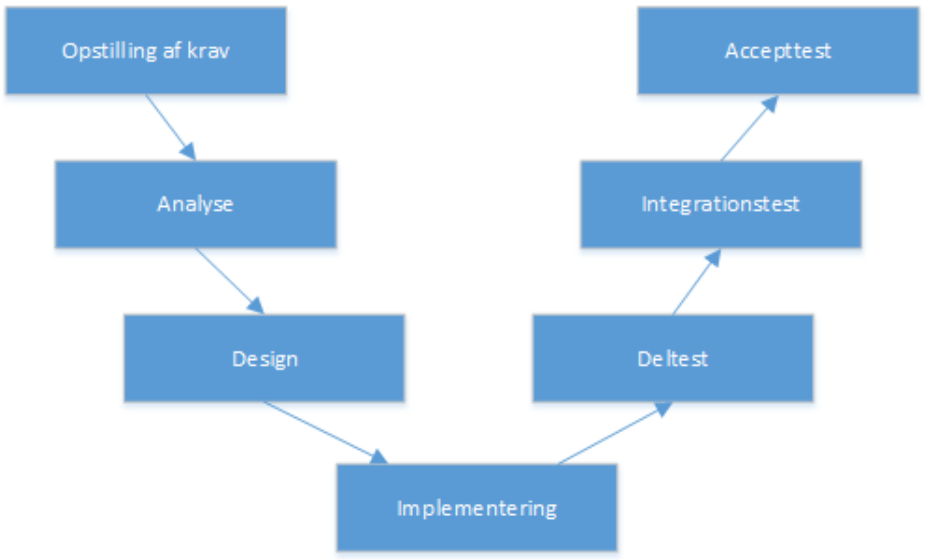
- Integrationstest

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

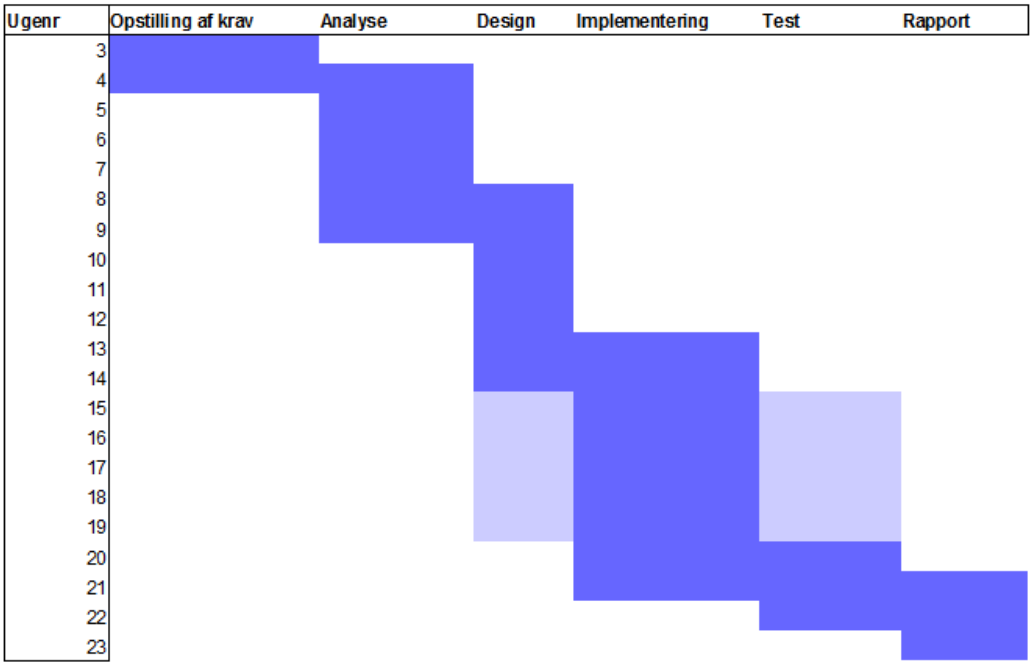
- Accepttest

  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



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.

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

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

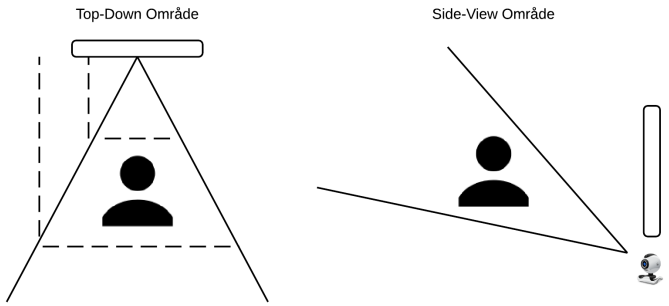
Følgende funktionelle krav for systemet er blevet stillet:

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. **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 4.2.3.

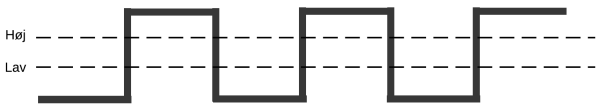
4.2.1 Kalibrering

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

4.2.2 Output

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

- Kommasepareret målingsdata med følgende format:
  X-koordinat, Y-koordinat, Samplenummer, Trigger-niveau (0 for lav, 1 for høj)

4.2.3 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

4.5 Diskussion

5 Analyse

5.1 Indledning

Formålet med analysedelen af projektet er at få en indledende indsigt i emnet. Det indebærer at få skabt et overblik over hvad der skal laves, hvorfor det skal laves, og hvilke krav der er til de ting som skal laves. Bemærk at disse krav ikke er endegyldige, og muligvis justeres igennem projektforløbet. Derudover er det også vigtigt at nævne at det der bliver diskuteret overvejende er koncepter eller teori. 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

5.3.1 Use case eksempel - Start måling

I figur **??** ses et eksempel på en use case for systemet.

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 skal fungere korrekt skal der først foretages en kalibrering. Målinger kan foretages uden kalibrering, men det vil ikke være muligt at

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.

oversætte de 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. Der vil i design fasen af projektet blive fremsat en protokol, der beskriver hvordan data skal gemmes i log-filen.

5.4.4 Brugertilgang

Brugergrænsefladen behøver ikke nødvendigvis at være ret optimeret (Den er også lavet i python), men skal derimod opfylde nogle funktionelle krav, hvilket kan betragtes som en anden form for optimering, brugeroplevelsesoptimering. Den optimering er beregnet til at sørge for at applikationen bliver designet og implementeret på en måde som medfører en bedre oplevelse for brugeren, i form af en simpel brugergrænseflade, tilstrækkelig funktionalitet til at dække formodede behov, samt et design der gør det let at udvide applikationen på et senere tidspunkt.

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 Kodesprog

Det er blevet aftalt med projektudbyder at prototypen skal udarbejdes med en C++ backend og Python frontend. 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 en udvidelse der tillader en let måde at have Python frontend samt C++ backend var det en oplagt mulighed at anvende Python til front end delen af prototypen.

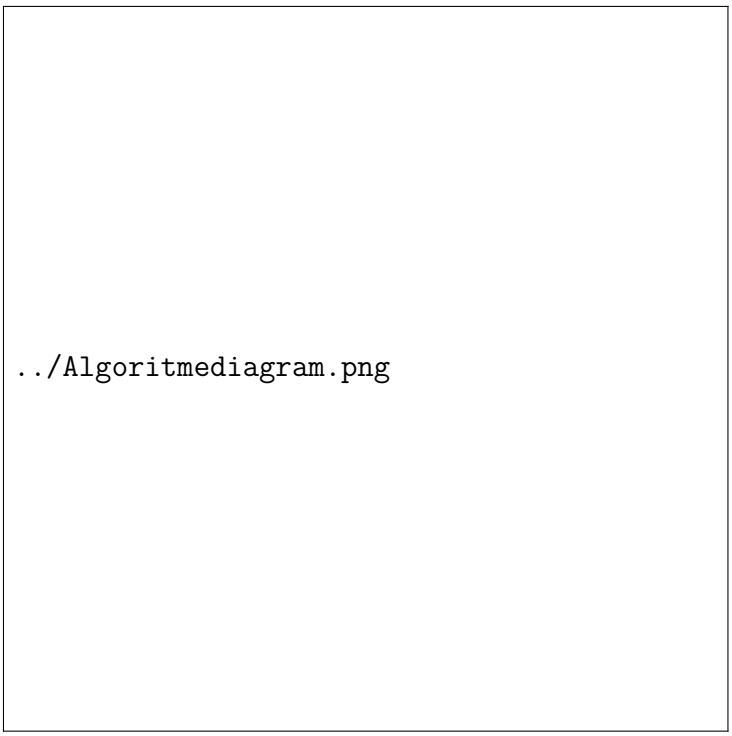
5.6 Starburst-algoritmen

I det følgende vil koden som projektet tager udgangspunkt i blive gennemgået i dybden, 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.

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.

5.7 Algoritme Oversigt



Figur 6: Systemdiagram for Real-time eye-tracking

5.7.1 Calculate pupil and gaze

Main funktion - 0.17

5.7.2 Locate corneal reflection

Finder reflektionspunker - 0.3

5.7.3 Starburst pupil contour detection

Starburst algoritme - 0.63

5.7.4 Locate Edge Points

Find pupil kant punkter - 44.71

5.7.5 Fit ellipse ransac

Tilpas en ellipse til punkterne - 11.7

5.8 Fokuspunkter

I det følgende underafsnit vil der kort blive beskrevet hvilke dele af systemet der med fordel kan fokuseres på. Dette er baseret på antal gange rutinen bliver kørt, samt hvor lang tid det tager for processen at blive færdig. Begrundelsen for dette er at det højst sandsynligt er lettere at øge performance med en betydelig del hvis de dele der tager længst tid først bliver optimeret.

5.8.1 Kantdetektion

Den mest tidskrævende del af algoritmen er selve starburst-delen, altså den del hvor pupilkantpunkter findes. Udover at optimere koden ved at køre i C, er der også mulighed for at justere variabler for at få processen til at tage kortere tid. Dette vil dog højst sandsynligt ske på bekostning af resultaternes nøjagtighed/præcision, eller systemets overordnede stabilitet. Der vil altså formentligt være behov for en balancering af performance overfor kvalitet. Denne balancering vil foregå iterativt i løbet af implementeringsfasen af projektet.

5.8.2 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.

5.8.3 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.

5.8.4 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.

5.9 OpenEyes og Siboska

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.

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. Følgende eksempel beskriver omskrivningen fra *use case 3 - Start måling* (se figur**??**) til *sekvensdiagram 3 - Start måling* (se figur 7).

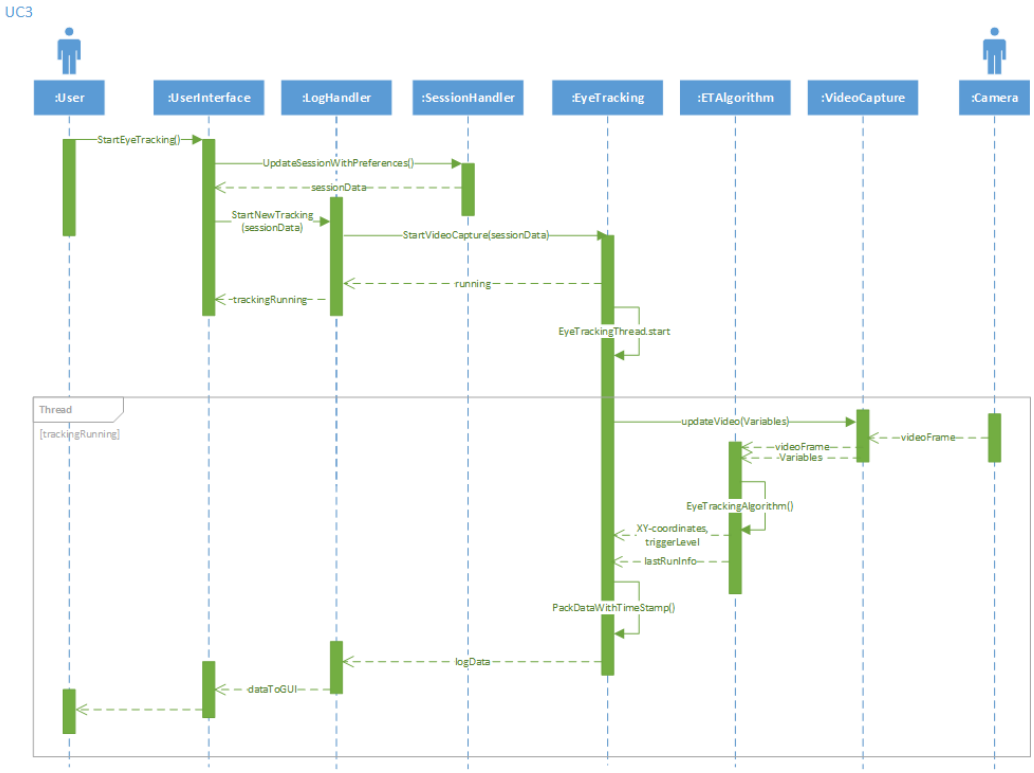
Overvejelser om opdelingen af klasser. Hver klasse varetager en opgave med henblik på en af systemets grænseflader. GUI er varetaget af en klasse. De tre genererede filer log, session, og kalibrering er håndteret af tre klasser. Kommunikation med eksternt kamera er håndteret af sin egen klasse. Kommunikation med algoritmen har sin egen klasse.

6.3.1 UserInterface

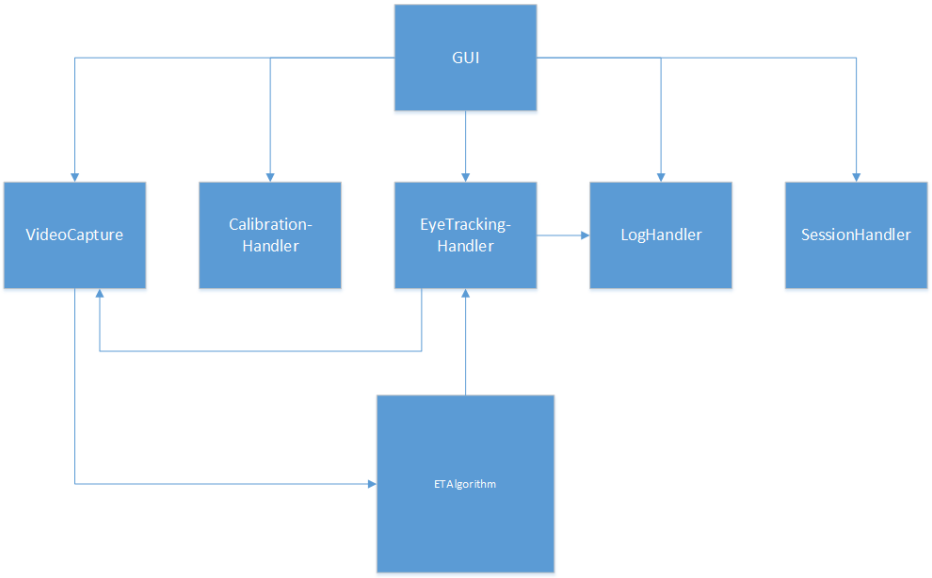
Denne klasse foretager al kommunikation med aktøren *bruger* igennem et grafisk bruger-interface (GUI). For at have en konstant opdatering af interfacet, forventes denne klasse at blive afviklet i egen tråd.

6.3.2 SessionHandler

Her håndteres al data tilknyttet opsætning af eye-tracking-session.



Figur 7: Sekvensdiagram for use case 3 - Start måling



Figur 8: Klasseinteraktioner

6.3.3 LogHandler

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

6.3.4 VideoCapture

Håndtering af data fra kamera eller video-kilde foregår ved hjælp af OpenCV i denne klasse.

6.3.5 EyeTrackingHandler

6.3.6 Interaktion mellem klasser

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

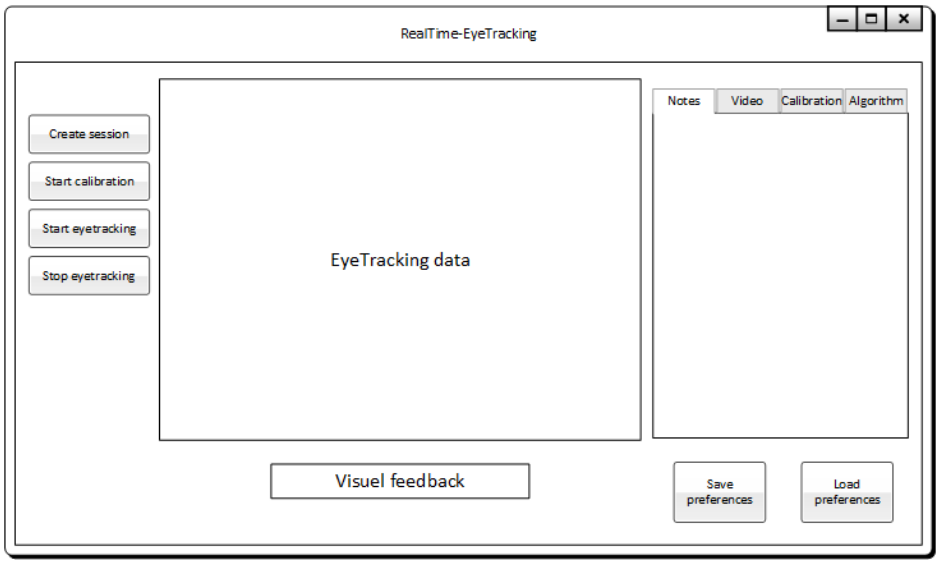
Interfacet er designet med henblik på intuitivt brug, så ledes at det ikke er nødvendigt med dybere introduktion til programmet. Forskellige stadier af hvad man kan gøre i interfacet reducerer muligheden for uønskede handlinger. Det er for eksempel ikke muligt at starte eye-tracking før nødvendig opsætning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

Figur 9 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:

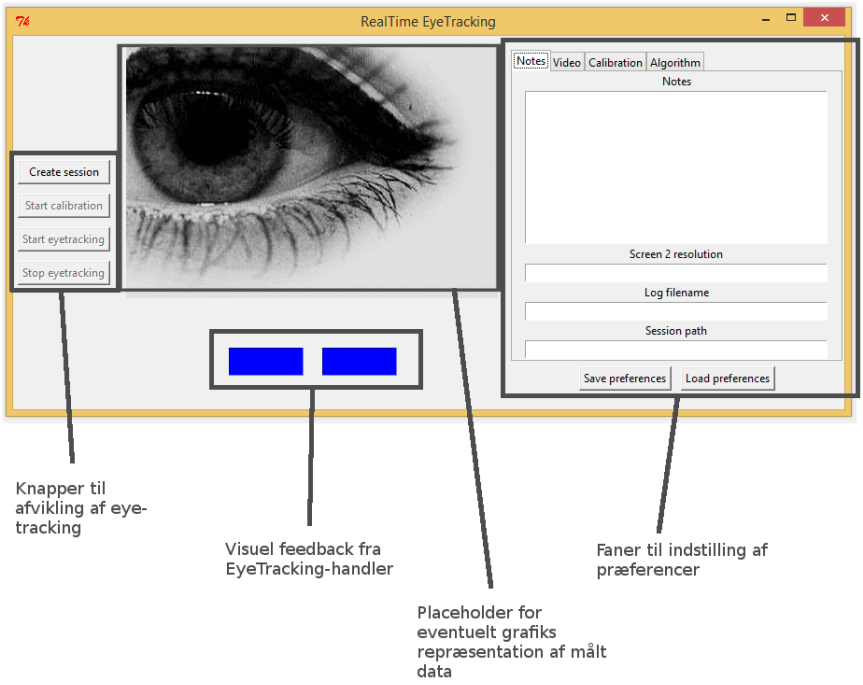
- Notes: Noter til bruger af systemet. Disse har ingen funktion for programmet.
- Screen 2 resolution: Angiver opløsningen på skærmen brugt i opstillingen (se figur **??**). Opløsningen angives som bredde og højde adskilt af 'x'.
- Log filename: Alternativt navn for log-filen. Er feltet tomt bliver der 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.

6.6 Diskussion



Figur 9: Udkast til det grafiske bruger-interface



Figur 10: 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

Biblioteker værd at nævne: Tkinter, Tkfiledialog

Tkinter objekter 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.

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. ÆNDRE KODEN SÅLEDES AT SESSIONHANDLER FORETAGER RSTRIP OG SÅ VIDERE

Figur 11 er et eksempel på præference-fil med korrekt format (Værdierne variablenames og variablevalues er trunkeret for formateringens skyld).

Figur 11: 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', ...
```

7.2.3 LogHandler

At nævne: StartTracking kører igennem her. Holder værdi om hvorvidt algoritmen kører. Bliver brugt som dataklasse. Modtager en log-streng fra EyeTrackingHandler og gemmer den som angivet i SessionData dataklassen. Vis eksempel på log-fil

7.2.4 CalibrationHandler

Vis eksempel på kalibrerings-fil

7.2.5 EyeTrackingHandler

7.2.6 VideoCapture

Indeholder puplic funktion GetCameraInputs. Andre funktioner er en del af klassen. Klassen oprettes 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().

Figur 12: Tom udgave af klassen ETAlgorithm

```
1  import numpy as np
2  import EyeTracking as et
3
4  #Her tilfoejes diverse python-biblioteker
5
6  def Track(frame, calibration_data, variables):
7
8  #Egen kode her
9
10 et.PackWithTimestamp(screen_point, trigger_value)
11 et.LastRunInfo(variables)
12 return
```

7.3 ETAlgorithm

Koden i figur 12 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 fremgangsmåde og resultat af de forskellige test-cases:*

8.3 Integrationstest

Integrationstesten har til formål at teste kommunikationen klasser imellem.

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.

8.5 Performance-evaluering

8.6 Diskussion af testresultater

9 Konklusion

A Appendiks

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*.