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 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 (inklusiv pauser). Til hver session vil der være tilknyttet en seperat data-fil.

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.

1.3 Projektformulering

Fra projektoplægget er følgende 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.

1.4 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

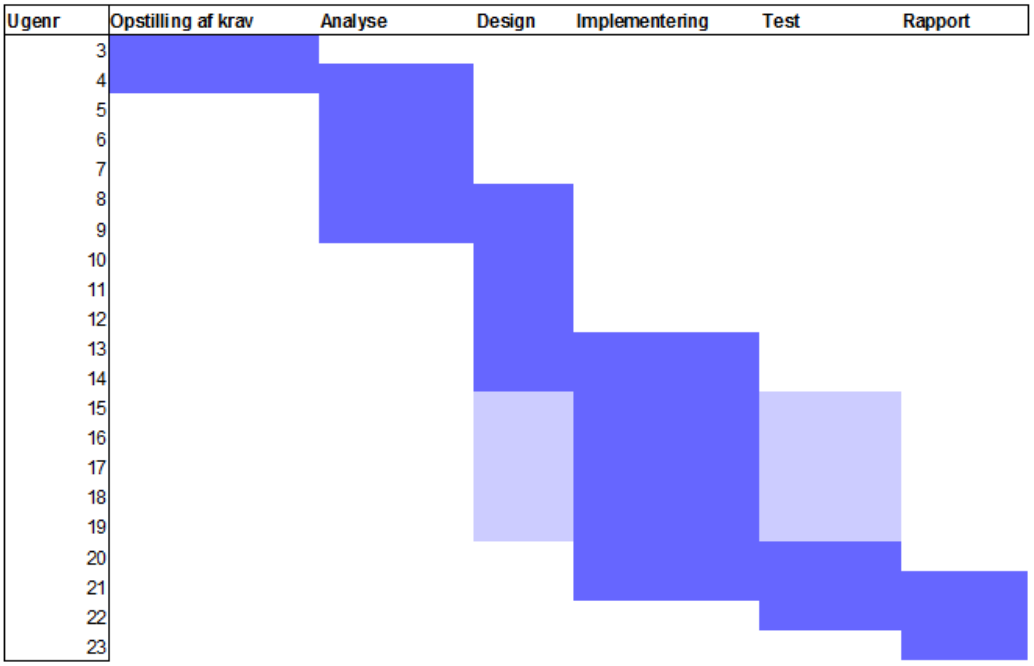
  Accepttesten er den endelige test af systemet. Her undersøges om systemet i sin helhed lever op til de forskellige krav formuleret i kravspecifikationen.

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.

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 1) 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.



Figur 1: Tidsplan for projektet. Mørkeblå farve viser den konkrete tidsplan. lyseblå farve viser perioder hvor det forventedes at de forskellige stadier ville overlappe hinanden.

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.

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

Noget om python Numpy 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. [reference til Tkinter]

Find en reference der skitserer fordelene ved python over c++.

3.4 Diskussion

Har de valg vi har taget været relevante? Kort refleksion

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

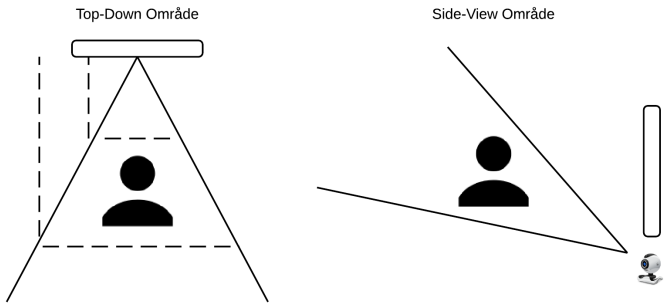
Følgende funktionelle krav for systemet er blevet stillet:

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.

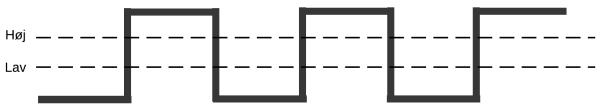
4.2.1 Kalibrering

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



Figur 2: 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 3: 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 $<2°$[4].
- **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 [5].

4.4 Performance-evaluering

4.5 Diskussion

5 Analyse

5.1 Indledning

5.2 Systemoversigt

5.3 Funktionalitetskrav

5.3.1 Use case eksempel - Start måling

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

5.4.1 Krav

5.4.2 Kodesprog

5.5 Starburst-algoritmen

5.6 OpenEyes og Siboska

5.7 Diskussion

6 Design

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.

6.1 Indledning

Kort om hvad dette afsnit indeholder, og hvorfor det er relevant.

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.

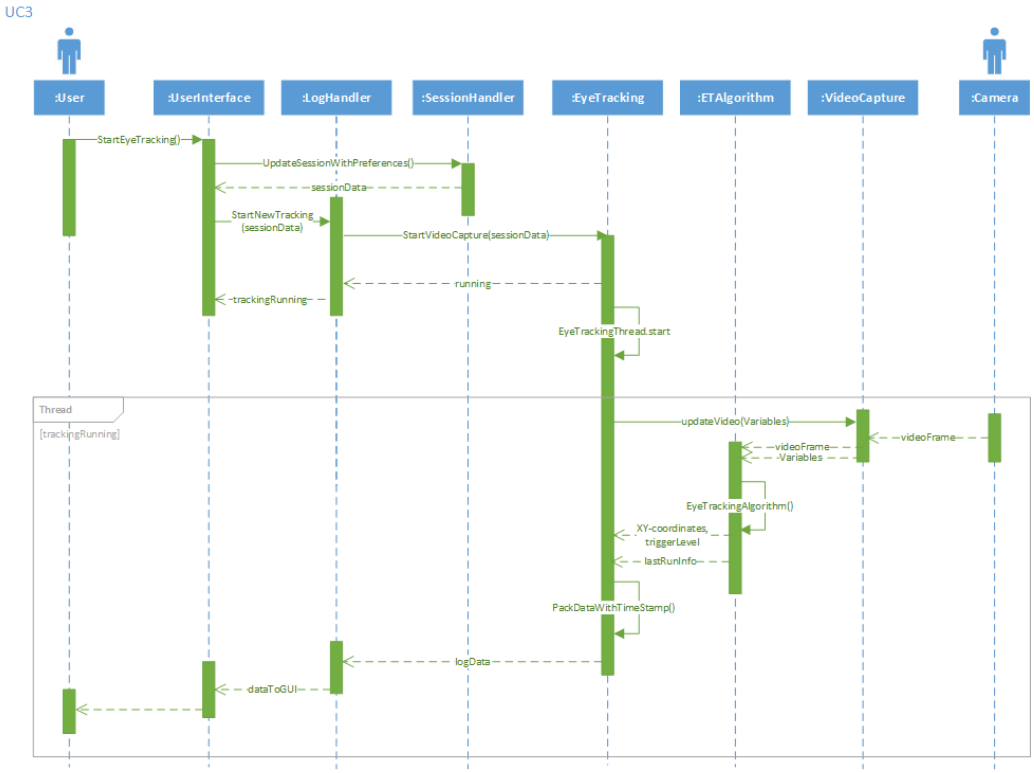
6.3 Applikationsarkitektur

Forklaring af overgangen fra use case til software arkitektur. Eksempel med uc3

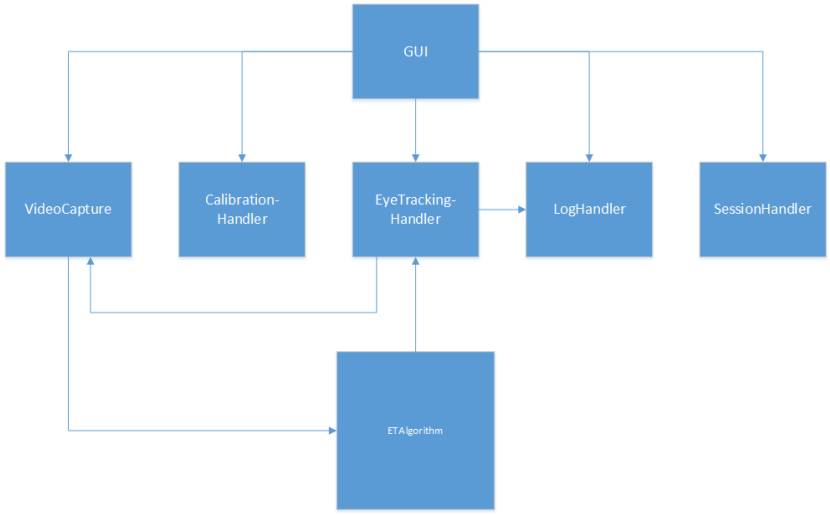
Overvejelser om opdelingen af klasser. Hver klasse varetager en opgave med henblik på en af systemets grænseflader. GUI er varetaget af en klasse. De tre genererede filer log, session, og kalibrering er håndteret af tre klasser. Kommunikation med eksternt kamera er håndteret af sin egen klasse. Kommunikation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



Figur 4: Sekvensdiagram for use case 3 - Start måling



Figur 5

6.3.2 SessionHandler

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

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

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 16 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.

Følgende figurer beskriver det forventede grafiske bruger interface. Interfaces er designet ud fra use case diagrammerne beskrevet i kravspecifikationen.

6.6 Diskussion

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. 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

At nævne: Verificering af korrekt præference-fil. Vigtigheden og problemer med at have de forskellige værdier i strings (latin, utf8, ASCII). Bliver brugt som dataklasse Verificering fungerer ved at lede efter korrekt streng i hver linje.

```
1 SESSIONPATH C:/RealTimeEyeTracking
2 USINGCAM True
3 CAMNR None
4 VIDEOPATH 0
5 NOTES Dette er en testsession
6 RESOLUTION 1600x900
7 CALTYPE Numbers
8 LOGFILENAME testlog
9 CALFILENAME testcallog
```

```
10 LOADEDCALDATA None
11 RECORDVIDEO False
12 RAWDATAPATH None
13 VARIABLENAMES['e_center', 'last_eyes', ...
14 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().

7.3 Starburst-algoritmen

7.4 Optimering

7.4.1 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.

7.5 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

Referencer

[1] Wikipedia. (2015). V-model (software development) — Wikipedia, the free encyclopedia, side: `http://en.wikipedia.org/wiki/V-Model_(software_development)` (sidst set 28.06.2015).

[2] O. M. Group. (2015). Unified modelling language, side: `http://www.uml.org/` (sidst set 28.06.2015).

[3] Itseez. (2015). Opencv, side: `http://opencv.org/` (sidst set 28.06.2015).

[4] M. Fairchild, *Color Appearance Models*. 1998, cited in D. Siboska, H. Karstoft and H. Pedersen, p.5.

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