

Rapport

**Bachelorprojektet:
Real-time eye-tracking
Projektnummer: 15017**



25/05/2015

**Studerende: Søren Vøgg Krabbe Lyster (SVL) 10920,
Martin Degn Kristensen (MDK) 10441**

Studieretning: Elektro

Vejleder: Preben Kidmose

Indhold

1	Prolog	3
1.1	Indledning	3
1.2	Ordforklaring	3
1.3	Projektformulering	3
1.4	OpenEyes og Siboska	3
2	Metode	4
2.1	Metoder	4
2.2	Planlægning	4
2.3	Diskussion	5
3	Værktøjer	6
3.1	Udviklingsmiljø	6
3.2	OpenCV	6
3.3	Python	6
3.4	Diskussion	6
4	Kravspecifikation	7
4.1	Problemstillinger	7
4.2	Funktionelle krav	7
4.2.1	Kalibrering	8
4.2.2	Output	8
4.2.3	Use-cases	9
4.3	Ikke funktionelle krav	9
4.4	Performance-evaluering	10
4.5	Diskussion	10
5	Analyse	12
5.1	Indledning	12
5.2	Systemoversigt	12
5.3	Funktionalitetskrav	12
5.3.1	Use case 1	12
5.3.2	Use case 2	13
5.3.3	Use case 3	14
5.3.4	Use case 4	15
5.3.5	Use case 5	15
5.3.6	Use case 6	16
5.3.7	Use case 7	16
5.4	Overvejelser	16

5.4.1	Krav	16
5.4.2	Kodesprog	16
5.5	Starburst-algoritmen	16
5.6	OpenEyes og Siboska	16
5.7	Diskussion	16
6	Design	17
6.1	Indledning	17
6.2	Modularisering	17
6.3	Applikationsarkitektur	17
6.3.1	UserInterface	17
6.3.2	SessionHandler	17
6.3.3	LogHandler	18
6.3.4	VideoCapture	18
6.3.5	EyeTrackingHandler	18
6.4	Algoritme-arkitektur	18
6.5	Bruger-interface	18
6.6	Diskussion	18
7	Implementering	19
7.1	Indledning	19
7.2	Bruger-interface og applikation	19
7.3	Starburst-algoritmen	19
7.4	Optimering	19
7.5	Deltest	19
7.6	Diskussion	19
8	Test	20
8.1	Indledning	20
8.2	Deltest	20
8.3	Integrationstest	20
8.4	Accepttest	20
8.5	Performance-evaluering	20
8.6	Diskussion af testresultater	20
9	Konklusion	21
10	Appendiks	22

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 separat 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 [?], og UML (Unified Modelling Language) [?] 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
- Analyse
- Design
- Implementering

Disse stadier har hver endt ud i et dokument der beskriver overvejelser og arbejdet udført.

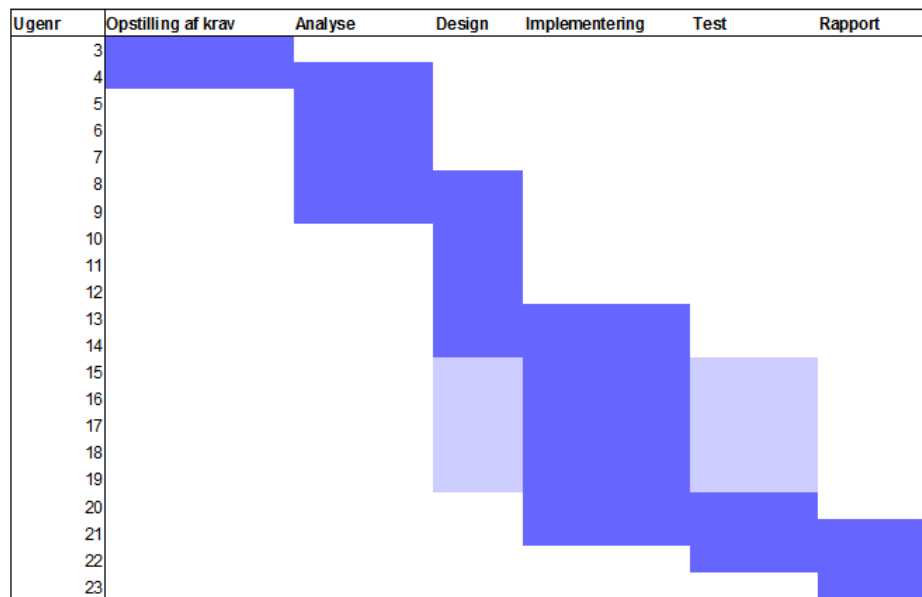
Efter implementering af koden følger modellen en række test-stadier:

- Deltest
- Integrationstest
- Accepttest

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

Hvad har der været gjort angående strukturering af projektet



Figur 1: Tidsplan for projektet

2.3 Diskussion

Har de valg vi har taget været relevante? Kort refleksion

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. [1].

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

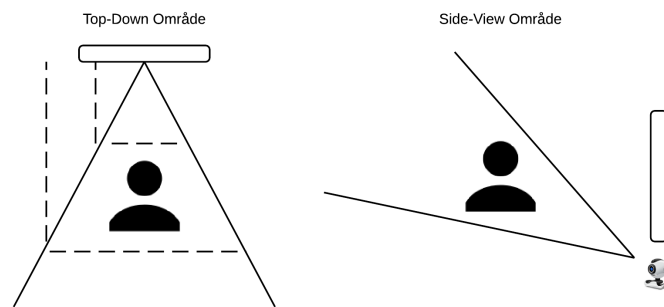
Følgende funktionelle krav for systemet er blevet stillet:

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.

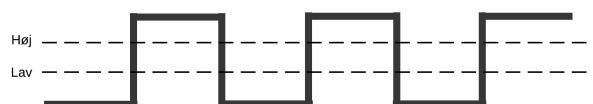
4.2.1 Kalibrering

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 $<2^\circ[2]$.
- **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 [3].

4.4 Performance-evaluering

4.5 Diskussion

5 Analyse

5.1 Indledning

5.2 Systemoversigt

5.3 Funktionalitetskrav

5.3.1 Use case 1

Sektion	Kommentar
Mål	At oprette en ny session til real-time eye-tracking
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i> og aktøren <i>kamera</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet, kameraret skal være tændt og tilsluttet
Slutresultat - succes	En ny session til real-time eye-tracking er blevet oprettet.
Slutresultat - undtagelse	Ny session er ikke blevet oprettet.
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> klikker på "Create session" 2. Programmet beder <i>bruger</i> angive en fil-sti hvor sessiones filer skal oprettes. 3. Programmet beder <i>bruger</i> vælge imellem tilgængelige kamera-input. 4. Programmet beder <i>bruger</i> vælge om den rå data fra <i>kamera</i> skal gemmes. 5. Programmet giver <i>bruger</i> mulighed for at skrive eventuelle noter til sessionen i et tekst-felt. 6. Programmet opretter en data-fil og en opsætnings-fil. 7. <i>Bruger</i> bliver returneret til menu med beskeden "Session created".
Undtagelsesforløb	Programmet kan ikke oprette de ønskede filer i den angivne fil-sti. Programmet returnere <i>bruger</i> til menu med fejlmeddelelse fra systemet.

5.3.2 Use case 2

Sektion	Kommentar
Mål	At kalibrere systemet
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i> og aktøren <i>kamera</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet, kameraret skal være tændt og tilsluttet, gyldig session skal være oprettet.
Slutresultat - succes	Computerprogrammet har modtaget data til kalibrering.
Slutresultat - undtagelse	Kalibrering annulleret.
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> klikker på "Calibration" 2. Programmet spørger om bruger ønsker at foretage kalibrering. <ol style="list-style-type: none"> (a) <i>Bruger</i> klikker på "Cancel". Use case afbrydes. Se undtagelsesforløb punkt 2 for denne use case. (b) <i>Bruger</i> klikker på "Continue". Use case fortsættes i punkt 3. 3. <i>Bruger</i> bliver bedt om at gennemføre kalibreringsrutine. 4. <i>Bruger</i> bliver returneret til menu med beskeden "Calibration complete".
Undtagelsesforløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hvis der ikke er oprettet en session informeres <i>Bruger</i> om dette. 2. <i>Bruger</i> bliver returneret til menu.

5.3.3 Use case 3

Sektion	Kommentar
Mål	Programmet påbegynder real-time eye-tracking
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i> og aktøren <i>kamera</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet, <i>kamera</i> skal være tændt, programmet skal være kalibreret.
Slutresultat – succes	Programmet har påbegyndt real-time eye-tracking
Slutresultat – undtagelse	Programmet alarmerer <i>bruger</i> at der ikke er foretaget kalibrering
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> 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.

5.3.4 Use case 4

Sektion	Kommentar
Mål	Programmet stopper real-time eye-tracking
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i> og aktøren <i>kamera</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	En real-time eye-tracking måling skal køre.
Slutresultat – succes	Programmet stopper nuværende real-time eye-tracking.
Slutresultat – undtagelse	Ingen undtagelse.
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> klikker på knappen "Stop". 2. Visuel feedback på GUI viser at målingen er stoppet. Målingen bliver afsluttet.
Undtagelsesforløb	Intet undtagelsesforløb

5.3.5 Use case 5

Sektion	Kommentar
Mål	System gemmer nuværende indstillinger i brugerdefineret fil
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet
Slutresultat – succes	Systemet gemmer nuværende indstillinger i den valgte fil
Slutresultat – undtagelse	Programmet alarmerer <i>bruger</i> at indstillinger ikke kunne gemmes
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> klikker på "Save preferences" 2. <i>Bruger</i> vælger filnavn og placering af den fil hvor indstillinger skal gemmes
Undtagelsesforløb	<i>Bruger</i> bliver returneret til menuen efter alarmering

5.3.6 Use case 6

Sektion	Kommentar
Mål	System anvender indstillinger fra fil
Initiering	Initieres af aktøren <i>bruger</i>
Aktører	Aktøren <i>bruger</i>
Antal samtidige forekomster	1
Startbetingelser	Computerprogrammet skal være opstartet og en gyldig indstillings-fil skal findes
Slutresultat – succes	Systemet anvender indstillinger fra den valgte fil
Slutresultat – undtagelse	Programmet alarmerer <i>bruger</i> at indstillinger ikke kunne indhentes
Normal forløb	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bruger</i> klikker på "Load preferences" 2. <i>Bruger</i> vælger indstillings-fil der skal anvendes
Undtagelsesforløb	<i>Bruger</i> bliver returneret til menuen efter alarmering

5.3.7 Use case 7

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) [?]. 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

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 interface, forventes denne klasse at blive afviklet i egen tråd.

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

Denne klasse håndterer kommunikation og instantiering af klassen ETAlgorithm.

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 returnerer XY-koordinat samt trigger-niveau.

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 interface 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

7.3 Starburst-algoritmen

7.4 Optimering

7.5 Deltest

7.6 Diskussion

8 Test

8.1 Indledning

8.2 Deltest

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 classes 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

8.4 Accepttest

8.5 Performance-evaluering

8.6 Diskussion af testresultater

9 Konklusion

10 Appendiks

Litteratur

- [1] G. Bradski *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*.
- [2] M. Fairchild, *Color Appearance Models*. cited in D. Siboska, H. Karstoft and H. Pedersen, p.5.
- [3] D. Siboska, H. Karstoft, and H. Pedersen, "Synchronization of electroencephalography and eye tracking using global illumination changes."