

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

VYHODNOCENÍ SMĚRU POHLEDU OSOBY

VYHODNOCENÍ SMĚRU POHLEDU OSOBY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ján Virgala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Ján Virgala

ID: 165007

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Vyhodnocení směru pohledu osoby

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s existujícími metodami na zjišťování směru pohledu lidského oka. 2) Jednotlivé metody analyzujte, případně podle možností otestujte. 3) Vyberte vhodnou metodu, kterou budete prakticky realizovat. 4) Navrhněte způsoby využití snímání směru pohledu osoby. 5) Seznamte se s technickými prostředky pro realizaci navrženého systému. 6) Realizujte systém pro spolehlivé zjišťování směru pohledu lidského oka v reálném čase. 7) Systém otestujte na skupině dobrovolníků.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 27.5.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zameriava na problematiku vyhodnocovania smeru pohľadu človeka. Umožňuje oboznámiť sa so súčasnými ako aj historickými spôsobmi vyhodnocovania smeru pohľadu a ich využitím v rôznych oblastiach života. V práci sú opísané a vysvetlené základné princípy týchto metód. Súčasťou práce je taktiež popis realizovaného systému a princípu jeho funkcie. Práca taktiež obsahuje analýzu výsledkov testu systému na skupine dobrovoľníkov a zhodnotenie jeho funkcie.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

System na vyhodnotenie smeru pohľadu, počítačové videnie, detekcia zreničky.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to understand the problematics of eye tracking. Many current and historical eye tracking methods are described in this work as long as the main principles of their function. This work also informs about an application of the eye tracking systems in many fields of everyday life. This work contains the description of the realized programme and the main principles of its function. An analysis of the practical test performed on the group of volunteers and system-function-analysis are also included.

KEYWORDS

Eye tracking system, computer vision, pupilla detection.

VIRGALA, J. *Vyhodnotenie smeru pohľadu osoby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2016. 50 s., 9 s. příloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Vyhodnocovanie smeru pohľadu osoby som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktorú sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s autorským právom a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa 26.5.2016

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Luďkovi Žaludovi, Ph.D. za odborné vedenie, ochotu a pomoc pri tvorbe tejto bakalárskej práce. Rovnako ďakujem všetkým dobrovoľníkom či iným osobám za ich prínos na tejto práci.

V Brne dňa 26.5.2016

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	VI
Zoznam obrázkov	VIII
Zoznam tabuliek	X
1 Úvod	1
2 Využitie systémov na určovanie smeru pohľadu	2
2.1 Neurologické vedy	2
2.2 Psychológia	3
2.3 Simulátory a dopravné prostriedky	3
2.4 Marketing.....	5
3 Súhrn metód	6
3.1 História.....	6
3.2 Rozdelenie metód	7
3.3 Metóda založená na špeciálnych vyhľadávacích šošovkách s cievkou	8
3.4 Metóda založená na elektrookulografii.....	8
3.5 Metóda založená na videookulografii.....	9
4 Výber metódy na realizáciu, analýza a test dostupných metód	11
4.1 Test vybraných metód.....	11
4.2 Analýza výsledkov testu	13
4.2.1 Meranie pomocou videodetektoru	13
4.2.2 Meranie pomocou elektrookulografie.....	15
4.3 Výber metódy na realizáciu	16
5 Technické prostriedky pre realizáciu systému a schéma systému	17
5.1 Hardware.....	17

5.2	Software	19
5.3	Schéma a návrh systému	19
5.4	Princíp snímania obrazu kamerou.....	21
6	Realizácia systému	23
6.1	Opis funkcie systému	23
6.2	Použité metódy spracovania obrazu	26
6.3	Houghova transformácia	28
6.4	Popis grafického rozhrania a ovládacích prvkov	29
6.5	Popis ovládania systému	31
7	Test systému a analýza výsledkov testu	33
7.1	Popis testu	33
7.2	Analýza výsledkov testu	35
8	Záver	37
	Literatúra	38
	Zoznam skratiek	40
	Zoznam príloh	41
A	Testovací protokol	42
B	Vypočítané štatistické ukazovatele testovacieho protokolu	49

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.3.1: Fixačné body pohľadu pri jazde autom. [19]	4
Obr. 2.4.1: „Heat mapa“ fixácií pohľadu na webovej stránke. [20]	5
Obr. 3.1.1: Jeden z prvých použitých systémov vyhodnocovania smeru pohľadu. [21]..	7
Obr. 3.3.1: Špeciálne šošovky s cievkou a ich aplikácia. [15]	8
Obr. 3.4.1: Princíp elektrookulografie. [22]	9
Obr. 4.1.1: Simulačný obrazec.....	12
Obr. 4.2.1: Namerané rozdiely stredov zreničky a prvého purkyneho odrazu.	13
Obr. 4.2.2: Graf linearity zobrazenia z merania pomocou videodetektoru.....	14
Obr. 4.2.3: Graf linearity zobrazenia z merania pomocou elektrookulografie.	15
Obr. 5.1.1: IR kamera A4 TECH.	17
Obr. 5.1.2: Kamera Sony Handycam so zabudovaným IR reflektorom.	18
Obr. 5.1.3: Drôtená konštrukcia.....	18
Obr. 5.3.1: Schéma systému.	20
Obr. 5.4.1: CCD snímací čip. [23].....	21
Obr. 5.4.2: CMOS snímací čip. [24].....	21
Obr. 6.1.1: Časť schémy zobrazujúca spracovanie obrazu.	24
Obr. 6.1.2: Časť schémy zobrazujúca určenie smeru pohľadu a vykreslenie.....	25
Obr. 6.2.1: Grafická ukážka metódy metódy InRange. Vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.	26
Obr. 6.2.2: Grafická ukážka metódy GaussianBlur – vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.	26
Obr. 6.2.3: Grafická ukážka metódy Dilate – vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.	27
Obr. 6.2.4: Grafická ukážka metódy Erode. Vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.	27
Obr. 6.2.5: Vykreslenie detegovaných objektov – modrou farbou zrenička a zelenou IR odraz.....	28

Obr. 6.4.1: Snímok GUI s vyznačenými oblasťami.....	29
Obr. 6.4.2: Oblasť 1A (vľavo), 1B (v strede) a 1C (vpravo).....	29
Obr. 6.4.3: Oblasť 2A zameraná na úpravu obrazu.	30
Obr. 6.4.4: Oblasť 2B.	30
Obr. 6.4.5: Oblasť 3A zameraná na kalibráciu systému.	31
Obr. 6.4.6: Oblasť 3B určená na meranie presnosti systému.....	31
Obr. 7.1.1: Znázornenie testovacieho setupu.....	33
Obr. 7.1.2: Simulačný obrazec s vyznačenými sledovanými bodmi.	34
Obr. 7.1.3: Testovací protokol meranej osoby č. 1.....	34

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4.2.1: Štatistické ukazovatele presnosti merania.	13
Tab. 7.2.1: Štatistické ukazovatele pre meranie osoby číslo 1.	35
Tab. 7.2.2: Vypočítané štatistické ukazovatele zo všetkých meraní.	36

1 ÚVOD

Vyhodnotenie smeru pohľadu osoby je technika, ktorá dokáže určiť, na aké miesto sa vyšetrovaná osoba pozerá. V súčasnej dobe ide o široko využiteľnú metódu, ktorá nachádza svoje uplatnenie v psychológii, medicíne, technike, marketingu alebo iných odvetviach života. Táto práca je zameraná hlavne na využitie tohto systému v prístrojoch schopných interakcie medzi človekom a počítačom.

Zrak je jedným zo základných zmyslov človeka a hrá nenahraditeľnú úlohu pri jeho každodenných činnostiach. Cieľom tejto práce je okrem iného vytvoriť systém, ktorý bude schopný určiť, na aké miesto sa používateľ pozerá. Takýto systém sa dá využiť napríklad na ovládanie počítača, čo môže uľahčiť prácu s počítačom pacientom trpiacich poruchami pohybu, a tak zvýšiť kvalitu ich života.

Ďalším cieľom tejto bakalárskej práce je oboznámiť sa s existujúcimi metódami vyhodnotenia smeru pohľadu a ich využiteľnosťou v bežnom živote. Práca informuje aj o základných fyziologických dejoch týkajúcich sa ľudského oka, ktoré sú nevyhnutým základom k pochopeniu funkcie niektorých systémov na vyhodnocovanie smeru pohľadu, čo je nevyhnutné aj pre následnú realizáciu tohto systému.

Súčasťou práce je aj test existujúcich metód, na základe ktorého bola vybratá najvhodnejšia metóda, ktorá bola následne realizovaná. Tieto kroky sú rozpísané v kapitole 4.1. Výsledky z testu týchto systémov sú zhrnuté v kapitole 4.2.

V práci je podrobne popísaný realizovaný systém a zhrnuté technické požiadavky potrebné na jeho vytvorenie. Práca oboznamuje Súčasťou práce je aj popis praktického testu realizovaného systému, vykonaného na skupine dobrovoľníkov. Výsledky testu sú zhrnuté a zhodnotené v samostatnej kapitole.

2 VYUŽITIE SYSTÉMOV NA URČOVANIE SMERU POHLĎADU

Vyhodnocovanie smeru pohľadu osoby má v dnešnej dobe široké uplatnenie v rôznych oblastiach nášho života. Tieto systémy sú uplatnené napríklad v oblasti neurologických vied, psychológie, lekárskom výskume, simulátoroch alebo výcvikových zariadeniach. Sú využité aj v systémoch virtuálnej reality, v systémoch pre ovládanie počítačov či iných elektronických zariadení alebo aj v oblasti marketingu. [1]

Využitie tejto technológie prinieslo veľa nových poznatkov v oblasti výskumu, bezpečnosti ale aj v komerčnej oblasti.

2.1 Neurologické vedy

Vyhodnocovanie smeru pohľadu osoby je v oblasti neurologických vied používané ako neinvazívna a relatívne lacná metóda pre posúdenie veľkosti poškodenia mozgu po úraze alebo po neurologickej chorobe. Veľa kôrových oblastí mozgu je zapojených pri spracovaní vizuálnych podnetov, čo podáva informáciu o lokácii a rozsahu poškodenia mozgu. [2]

Vyšetrovanie neurologickej aktivity pri fixovaných pohyboch oka bolo v minulosti skúmané vo výskume vedcov Snodderly, Kagan a Gur (2001). Na základe ich pokusu na opici druhu *Makakus rhesus* bolo okrem iného zistené, že pri fixovaných pohyboch oka sú aktivované rozdielne neuróny v zrakovej oblasti V1, ako tomu je pri sakádových pohyboch. Existujú tri typy aktivácie neurónov pri pohybe oka: sakádovo aktivované bunky, pozičné/drift bunky a zmiešané bunky. Každý typ je aktivovaný pri rôznych podmienkach. Na tento výskum bol využitý systém vyhodnotenia pohľadu využívajúci dva purkyneho odrazy. [3]

Výskum vedcov Asaad, Rainer a Miller (2000) bol zameraný na úlohu prefrontálneho kortexu mozgu pri zmenách správania ovplyvnených okolitým prostredím. Táto časť mozgu je zodpovedná práve za adaptívne zmeny správania v reakcii na zmeny vonkajšieho alebo vnútorného prostredia. Výskum prebiehal na opiciach *Makakus rhesus*, pričom jedna mala na určovanie smeru pohľadu implantovanú špeciálnu vyhľadávaciu šošovku s cievkou a druhá bola monitorovaná infračerveným systémom ISCAN. Neurologická aktivita bola snímaná pomocou osemnástich elektród z povrchu

hlavy opíc. Opiciam boli zadávané rôzne úlohy, pričom bola neustále nahrávaná aktivita ich mozgu. Pomocou systému na určenie smeru pohľadu boli identifikované sakádové pohyby očí, vyskytujúce sa pri plnení úloh. Na výsledkoch aktivity neurónov bolo možné pozorovať, že väčšina z 305 monitorovaných neurónov vykazovala zmeny pri zmene úloh. Aktivita viacerých neurónov bola ovplyvnená druhom vykonávanej úlohy. Výsledky boli vyhodnotené tak, že jednou z úloh prefrontálneho kortexu je získavanie a implementácia pravidiel pri vykonávaní určitých úloh. [4]

2.2 Psychológia

V tejto oblasti došlo k jednému z prvých využití systémov na určovanie smeru pohľadu osoby – hlavne pri sledovaní experimentov spojených s čítaním a úlohami spracúvajúcimi informácie. Zaujímavé a veľmi obsiahle výsledky podáva výskum Rayner (1998). Tento výskum prebiehal vo viacerých oblastiach spojených s psychológiou. Išlo o výskum percepcie scény, filmov či umenia, výskum správania používateľa pri hľadaní či jednoduchého zisťovania faktov pri čítaní. Na základe výsledkov experimentu spojeného s čítaním bolo okrem iného zistené, že pohyby oka sú ovplyvnené spôsobom čítania textu – čítanie nahlas alebo potichu a textovými a typografickými vlastnosťami textu. Pri čítaní textu v angličtine trvajú fixácie oka 200 až 250 ms a priemerná sakáda zodpovedá približne 7 až 9 znakom textu. Tento výskum sa zaoberal aj štúdiom pohybov očí za rôznych podmienok. Za týmto účelom boli vyvinuté tri experimentálne paradigmy – plávajúce okno, hranica a fovea-mask. Tieto vzory boli využité aj na simuláciu rôznych podmienok pri čítaní a s malými úpravami boli využité aj pri štúdiu percepcie scény. [5]

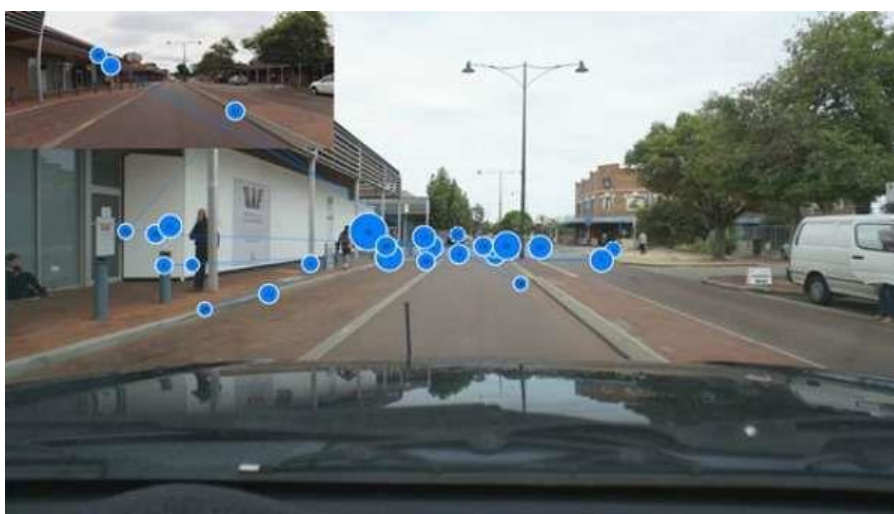
Časť výskumu sa zaoberala aj štúdiom vyhľadávania v obraze. Pri hľadaní sa človek zameriava na štyri základné vlastnosti: farbu, veľkosť, orientáciu a prítomnosť pohybu. Výskum Todd a Kramer (1993) naznačuje, že pozornosť je najviac upútaná náhlou zmenou, unikátnou farbou či jasom. [6]

2.3 Simulátory a dopravné prostriedky

Tieto systémy sú využité aj v oblasti simulátorov dopravných prostriedkov. Pri použití simulátorov dopravy zároveň so systémami vyhodnocovania smeru pohľadu je umožnené lepšie pochopenie procesov ku ktorým dochádza pri riešení všedných ale aj nevšedných dopravných situácií. Príklad takéhoto použitia je možné vidieť na Obr. 2.3.1. Vďaka takýmto systémom je možné získať dôležité informácie, ktoré môžu byť kľúčové

pre návrh rôznych asistenčných systémov v rôznych dopravných prostriedkoch. Tieto systémy sú tak schopné vopred varovať pred potenciálnou kolíznou situáciou či jej dokonca predísť.

Na základe výskumu Dishart a Land (1998), kde bol využitý systém na vyhodnotenie smeru pohľadu spolu so simulátorom dopravy sa zistilo, že pri zatáčaní sú skúsenými vodičmi využívané dve miesta fixácie pohľadu. Prvé približne 0,75 až 1 s vpredu pred vozidlom a druhé miesto približne 0,5 s pred vozidlom. Kým druhé zo spomínaných miest fixácie pohľadu bolo využívané všetkými vodičmi, predbežné miesto fixácie sa vyskytovalo len u skúsenejších vodičov a je dôsledkom učebného procesu pri podobných aktivitách (riadenie bicykla a i.). [7]



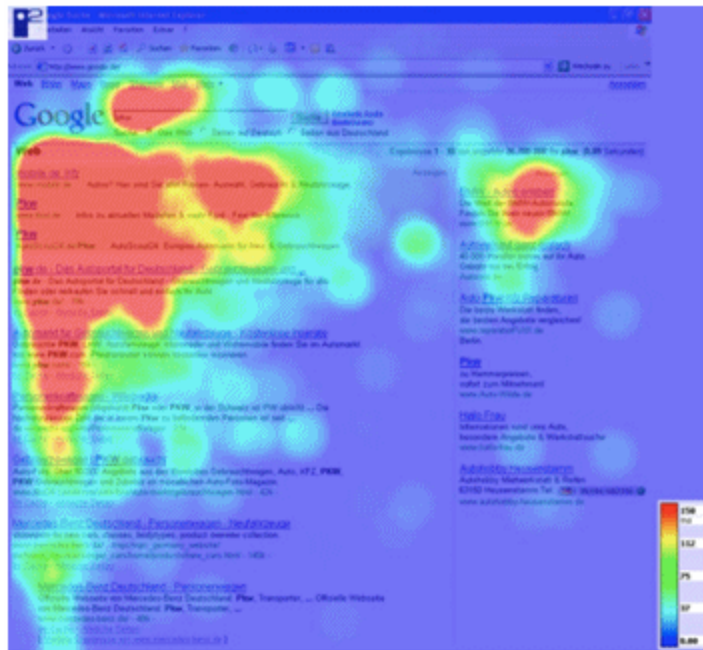
Obr. 2.3.1: Fixačné body pohľadu pri jazde autom. [19]

Výskum bol vykonaný aj v oblasti aviatiky, pričom bol spoločne so systémom na určenie smeru pohľadu využitý aj sofistikovaný letecký simulátor. Pri simulovanom lete boli monitorované pohyby očí a hlavy profesionálnych pilotov, pričom sa sledoval prehľad pilotov v kokpite, správanie spojené so selekciou podstatných informácií či celkový rozhľad o situácii. Výsledky tohto testu ukázali dôležitosť primárneho letového displeja, ktorý bol výborným zdrojom informácií pre pilotov. Systém vyhodnocovania smeru pohľadu umožnil objektívne hodnotenie prehľadu pilota v kokpite lietadla. [8]

V dopravných prostriedkoch sú tieto systémy spolu s ďalšími inými systémami využívané aj na monitorovanie únavy vodiča. Príkladom je automobilová značka Lexus, ktorá využíva práve tento systém na predikciu a detekciu mikrosprávku.

2.4 Marketing

Vyhodnocovanie smeru pohľadu zákazníkov je v tejto oblasti obvykle využívané na zvýšenie kvality produktu a detekcie jeho vizuálnych problémov. Vďaka použitiu týchto systémov je umožnené do istej miery zistiť správanie sa zákazníka, identifikovať procesy ku ktorým dochádza pri prezeraní reklamy alebo webovej stránky, a tak je možné prispôbiť obsah produktu týmto podmienkam. Systémom vyhodnotenia smeru pohľadu je možné vytvoriť mapu, ktorá ukazuje, kam sa užívateľ stránky najčastejšie pozeral vid' Obr. 2.4.1. Dochádza hlavne k zlepšovaniu vizuálnej stránky daného produktu, zlepšovaná je viditeľnosť reklamy v okolí či prehľadnosť webových stránok. Systémy určovania smeru pohľadu sú používané pri vytváraní kompresných algoritmov, schopných dekódovať iba oblasti s najvyššou pravdepodobnosťou fixácie pohľadu. Takto je možné znížiť pamäťové nároky video súborov. Výskumom bolo dokázané, že fotografia umiestnená na webovej stránke je schopná prilákať viac pozornosti ako textové okno rovnakej veľkosti. [9]



Obr. 2.4.1: „Heat mapa“ fixácií pohľadu na webovej stránke. [20]

3 SÚHRN METÓD

3.1 História

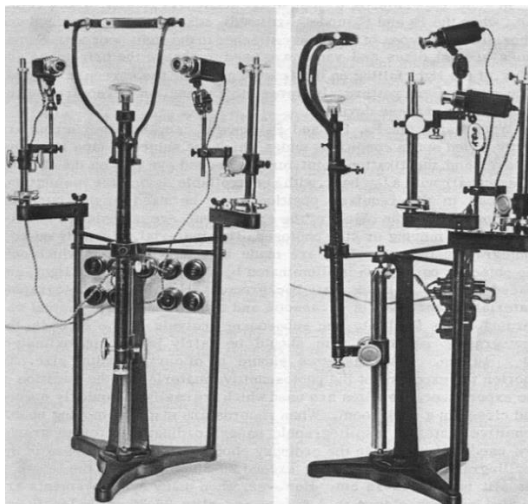
História sledovania pohybov oka a určovania smeru pohľadu je datovaná už od konca devätnásteho storočia, kedy sa Émile Javal – riaditeľ a zakladateľ oftalmologického laboratória v Sorboni začal zaujímať o jeho využitie. Ním bol aj neskôr zavedený pojem sakády. Sakády je možné pozorovať pri rýchlom pohybe oka medzi dvoma bodmi fixácie pohľadu. Tento pohyb oka je prítomný napríklad pri pohybe hlavy do strany, pričom sa daná osoba snaží pozeráť stále pred seba. Je charakteristický nekontinuálnym, skokovým pohybom oka. V tejto štúdii však nebol použitý žiaden špecifický systém sledovania pohľadu, sledovanie pohybov bolo uskutočnené iba pozorovaním pomocou voľného oka. [10]

Prvý neinvazívny systém sledovania bol vynájdený v roku 1901. Princípom tohto systému bolo využitie odrazov svetla od rohovky, ktoré boli odrážané na fotocitlivú vrstvu. Systém bol schopný detekovať iba horizontálne pohyby oka a vyžadoval aby počas sledovania bola hlava pozorovateľa nehybná. [11]

V roku 1905 bolo využité snímanie pohybov oka fotoaparátom v horizontálnej aj vertikálnej osi. Sledované boli pohyby bieleho materiálu, ktorý bol implantovaný do oka testovanej osoby. Prvé systémy vyhodnocovania smeru pohľadu však boli veľmi nedokonalé a obvykle mali veľké rozmery. Jeden z prvých systémov je znázornený na Obr. 3.1.1. [12]

V ďalších rokoch boli systémy určovania smeru pohľadu stále viac zdokonaľované. Vo výskume Fitts, Jones a Milton (1950) boli skúmané pohyby oka pilotov pri pristávaní lietadla. Išlo o prvú štúdiu ktorá využívala systém sledovania pohybov oka, zameranú na vylepšenie funkčného dizajnu nejakého produktu. [13]

Veľa štúdií v neskorších rokoch bolo spätých s psychológiou. Tieto štúdie boli zamerané na skúmanie očných pohybov v súvislosti s percepciou a vyššími kognitívnymi procesmi. Jednou z najznámejších je štúdia Just a Carpenter (1976). [14]



Obr. 3.1.1: Jeden z prvých použitých systémov vyhodnocovania smeru pohľadu. [21]

V posledných rokoch sú systémy určovania smeru pohľadu využité na interakciu používateľa s počítačom. Tieto systémy dokážu sprostredkovať interakciu medzi počítačom a používateľom. Pacient je schopný ovládať počítač len pomocou pohybu očí, takže ovládať počítač dokážu aj pacienti s poruchami pohybu. Tým je zvýšená kvalita života týchto pacientov. Využitie našli tieto systémy aj v komerčnej sfére, kde pomáhajú vylepšiť dizajn webových stránok alebo zvyšujú kvalitu reklamy.

3.2 Rozdelenie metód

Súčasný systém určovania smeru pohľadu je z hľadiska vzťahného bodu možné rozdeliť na dva typy:

- Systém, ktorý meria pozíciu oka vzhľadom na pozíciu hlavy. Sú to napríklad systémy založené na elektrookulografii či špeciálnych šošovkách.
- Systém, ktorý meria orientáciu oka v priestore. Jedná sa hlavne o systémy založené na videookulografii.

Z hľadiska využitej metódy merania je možné rozlíšiť tri hlavné skupiny systémov určovania smeru pohľadu. Jedná sa o metódy založené na:

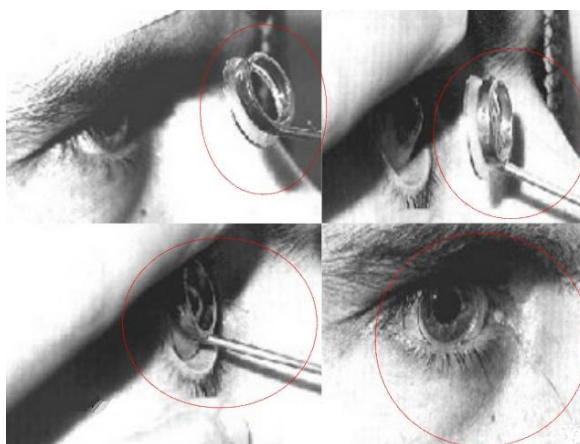
- špeciálnych kontaktných šošovkách s cievkou
- elektrookulografii (EOG)
- fotookulografii (FOG) či videookulografii (VOG)

V nasledujúcich odstavcoch budú všetky vyššie spomínané metódy a ich princípy opísané a vysvetlené.

3.3 Metóda založená na špeciálnych vyhl'adávacích šošovkách s cievkou

Táto metóda predstavuje veľmi presnú metódu merania smeru pohľadu, pri ktorej sú využité špeciálne kontaktné šošovky umiestnené v oku meranej osoby. Táto šošovka rozmerom presahuje dioptrické šošovky a pokrýva aj časť skléry. Je v nej zabudovaná tenká cievka, vďaka ktorej je možné merať zmeny indukovaného prúdu pri prechode cez elektromagnetické pole. Táto šošovka a jej aplikácia je zobrazená na Obr. 3.3.1. [15]

Hoci ide o jednu z najpresnejších metód merania, disponuje viacerými nevýhodami. Tou najväčšou je nutnosť aplikácie šošovky ktorá obsahuje tenký drôt, čo poskytuje meranej osobe značné nepohodlie. Pri meraní je nutné zamedziť pohybu šošovky po povrchu oka, ktoré môže znehodnotiť výsledky merania. Ďalšou nevýhodou je fakt, že táto metóda meria relatívnu polohu oka k hlave, a preto nie je vhodná pre všetky typy aplikácii do systémov. [16]



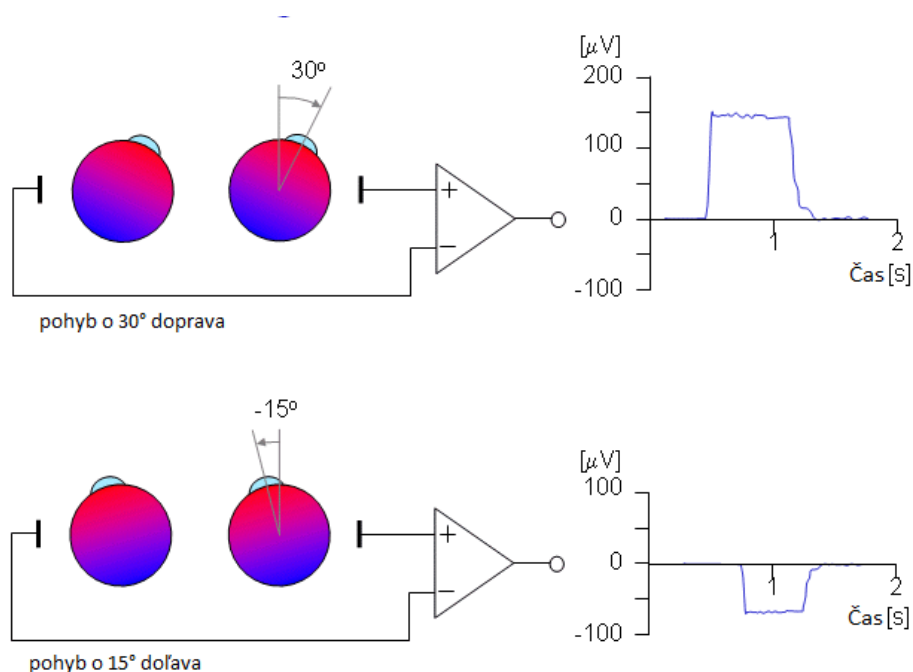
Obr. 3.3.1: Špeciálne šošovky s cievkou a ich aplikácia. [15]

3.4 Metóda založená na elektrookulografii

Elektrookulografia je meracia metóda, ktorá dokáže zaznamenávať slabé zmeny elektrického potenciálu, generované pri pohyboch oka. Ľudské oko je možné považovať za dipól, kde predná strana oka predstavuje pozitívnu oblasť a zadná strana naopak negatívnu. Ak sa oko pohybuje smerom k elektróde, táto elektróda zaznamená pozitívny potenciál a protiľahlá elektróda zaznamená zase negatívny. Jedná sa o corneo-fundálny potenciál, ktorý je závislý na okolitých svetelných podmienkach a hlavne na uhle natočenia oka. Tento princíp je znázornený na Obr. 3.4.1. [15]

Elektrookulogram (EOG) je v dnešnej dobe (spolu s elektroencefalografom (EEG) a elektromyografom (EMG)) využívaný pri tvorbe somnografu, ktorý je využitý na analýzu spánkových cyklov. Fáza rapid eye movement (REM) je charakteristická rýchlymi pohybmi očí, v ostatných fázach nie sú rýchle pohyby očí prítomné. Práve tieto rýchle pohyby očí sú detegované systémom určovania smeru pohľadu, a tak je možné identifikovať túto fázu.

Výhodou tejto metódy je jej robustnosť – táto metóda nie je závislá na svetelných podmienkach okolia. Výhodou je aj jej nízka výpočtová náročnosť, kde na rozdiel od video-založených metód nie je potrebné spracovávať veľké množstvo dát. Rovnako ako pri metóde založených na špeciálnych šošovkách aj pri tejto metóde je meraná relatívna poloha oka voči hlave, a tak táto metóda nie je vhodná pre všetky druhy zariadení. [22]



Obr. 3.4.1: Princíp elektrookulografie. [22]

3.5 Metóda založená na videookulografii

Na rozdiel od vyššie zmienených metód, touto metódou je možné určiť relatívnu polohu oka vzhľadom na zvolený vzťažný bod. Hlava sledovanej osoby vďaka tomu nemusí ostať počas celého merania v statickej polohe. To prináša veľa výhod, hlavne v oblasti využiteľnosti v systémoch na interakciu medzi používateľom a počítačom (resp. iným zariadením).

Pri týchto zariadeniach je využitá kamera a software na spracovanie obrazov, ktorý je schopný určiť polohu stredu zreničky. Na základe zmeny jeho polohy pri pohybe oka je následne určený smer pohľadu vyšetrovanej osoby. Okrem stredu zreničky sú sledované aj odrazy svetla kamerou. Využíva sa hlavne infračervené svetlo, no je možné použiť aj svetlo s vlnovou dĺžkou viditeľnou pre človeka, avšak toto svetlo výrazne znižuje komfort používateľa. Odrazy svetla vznikajú pri prechode svetla štyrmi svetlolomnými plochami ľudského oka – prvá z nich je predná plocha rohovky, druhá zadná plocha rohovky, tretia predná plocha šošovky a nakoniec štvrtou je zadná plocha šošovky. Tieto odrazy sú nazývané purkyneho odrazy. Väčšina systémov je schopná detegovať prvý purkyneho odraz, niektoré citlivejšie a presnejšie systémy nazývané aj systémy V. generácie sú navyše schopné detegovať aj štvrtý purkyneho odraz. Pri translačnom pohybe sa obidva odrazy pohnú o rovnakú vzdialenosť, avšak pri zmene smeru pohľadu – rotácii oka je táto vzdialenosť rozdielna. [15]

Na základe týchto údajov je možné pomocou rôznych výpočtových algoritmov vypočítať smer pohľadu osoby s relatívne dobrou presnosťou. Pre správny výpočet je ešte nutná kalibrácia, ktorá je prevedená na začiatku merania. Občas je však nutné vykonať dodatočnú kalibráciu aj počas merania, nakoľko môže dôjsť k „rozladeniu“ systému zapríčinených pohybmi hlavy.

Táto metóda dnes patrí medzi najrozšírenejšie v systémoch na interakciu s prístrojmi, nakoľko prináša najväčší komfort pre užívateľa a dokáže merať polohu oka vzhľadom na iný vzťažný bod ako je hlava meranej osoby.

4 VÝBER METÓDY NA REALIZÁCIU, ANALÝZA A TEST DOSTUPNÝCH METÓD

Cieľom tohto bodu je výber metódy, ktorá bude v ďalších bodoch tejto práce realizovaná. Pre čo najlepší výber metódy bol navrhnutý a realizovaný praktický test, na základe ktorého bola vybratá jedna metóda, ktorá bude realizovaná v pokračovaní tejto práce.

V nasledujúcich bodoch boli testované len dve metódy z metód spomenutých v predchádzajúcej kapitole – metóda založená na elektrookulografii a metóda založená na videookulografii. Metóda určovania polohy pomocou špeciálnych šošoviek bola z testovania vylúčená predovšetkým kvôli zlej dostupnosti potrebného hardware.

4.1 Test vybraných metód

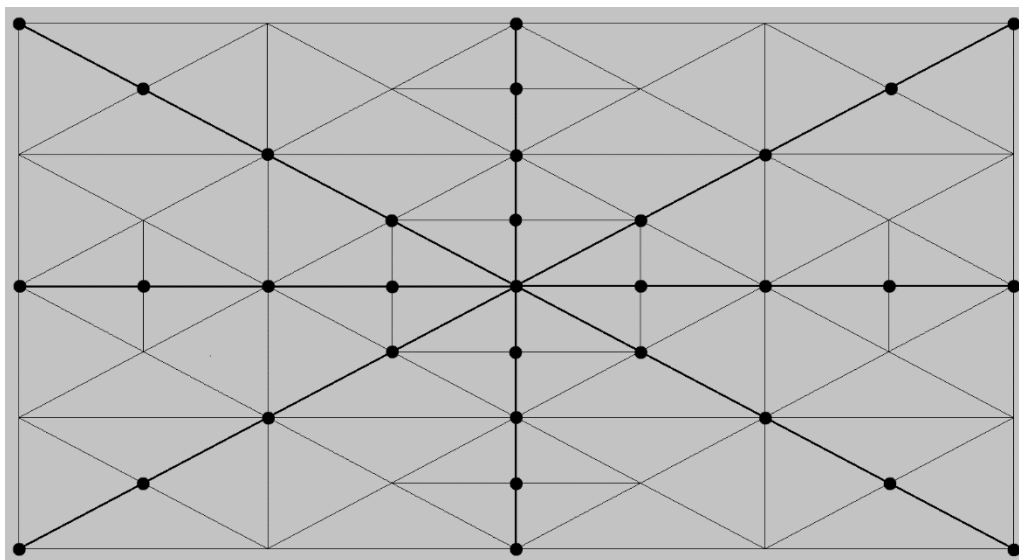
Úlohou tohto bodu je predovšetkým stanovenie miery využiteľnosti danej metódy pre realizovaný systém určovania smeru pohľadu. Na základe tejto informácie bol následne uskutočnený výber metódy, ktorá bola využitá na realizáciu systému. Pri teste bolo možné odhaliť nedostatky skúmaných metód, ktoré bude nutné eliminovať pri následnej realizácii systému. Na základe výsledkov testu bolo navyše možné vytvoriť odhad presnosti systému.

Na test bol vytvorený simulačný obrazec, na ktorom boli vyobrazené body. Simulačný obrazec spolu s týmito bodmi je zobrazený na Obr. 4.1.1. V každej osi sa nachádzal hlavný bod a štyri ďalšie body. Tieto body boli navzájom ekvidistančné, tzn. ich vzájomné vzdialenosti boli rovnaké. Počas testu boli tieto body na simulačnom obraze postupne sledované. Hlava pozorovanej osoby bola zafixovaná v stabilnej polohe a pohyb vykazovali iba oči osoby.

V prvej fáze bola testovaná reprodukovateľnosť údajov. Na začiatku pozorovaná osoba zafixovala svoj pohľad na hlavný bod – bod v strede simulačného obrazcu. Pomocou meracieho zariadenia (zariadenie EOG alebo videodetektor) bola odčítaná a zaznamenaný signál určujúci polohu zreničky. V prípade videodetektoru bola poloha zreničky určená manuálne – z obrazu bola mechanicky odčítaná poloha stredu zreničky a poloha stredu prvého purkyneho odrazu. Následne bol vypočítaný a zapísaný rozdiel týchto polôh, zatiaľ čo v prípade EOG boli zapísané hodnoty signálu, ktorý v tom momente merací systém deteguje. Tento postup bol opakovaný pri každom pozorovanom

bode. Pozorovaná osoba následne sledovala vybrané body na simulačnom obrazci. Pri každom z týchto bodov bola vyššie zmieneným postupom určená poloha zreničky. Tento postup bol zopakovaný celkovo päťkrát, takže bolo získaných päť hodnôt pre každý bod. Sledované boli spolu štyri body, čo umožnilo určiť presnosť a reprodukovateľnosť tejto metódy. Pri tomto meraní bolo potrebné zamedziť chybám merania – napríklad aby hlava pozorovanej osoby ostala počas testu v stabilnej polohe alebo (v prípade videodetektoru) aby snímacia kamera ostala v konštantnej vzdialenosti od hlavy.

V ďalšej fáze testu bola získaná informácia o linearite závislosti polohy stredu zreničky na polohe sledovaného bodu. Táto závislosť bola sledovaná pre horizontálnu a vertikálnu os a to v oboch smeroch. Sledovaná osoba presúvala fixačný bod svojho pohľadu postupne na všetky body simulačného obrazcu, ležiace na danej osi. Bola tak získaná závislosť nameraných údajov o polohe zreničky na vzdialenosti bodov od hlavného bodu. Táto informácia je dôležitá pre ďalšiu prácu s nameranými hodnotami. Meranie bolo prevedené s rovnakým princípom ako meranie spomenuté vyššie – manuálne bude určená poloha stredu zreničky a poloha stredu prvého purkyneho odrazu. Po presunutí na ďalší bod bol postup zopakovaný. Postupne boli odmerané všetky body na sledovanej osi. Hodnoty boli vynesené do grafov z ktorého bolo možné pozorovať linearitu údajov. Predpokladaná bola lineárna závislosť hodnôt.

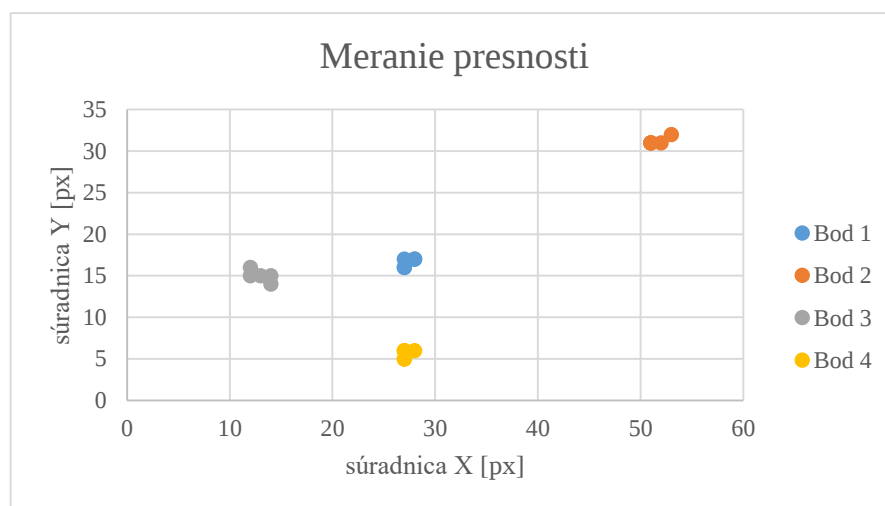


Obr. 4.1.1: Simulačný obrazec.

4.2 Analýza výsledkov testu

4.2.1 Meranie pomocou videodetektoru

Rozdiely súradníc stredov zreničky a prvého purkyneho odrazu boli vynesené do grafu a sú zobrazené na Obr. 4.2.1.



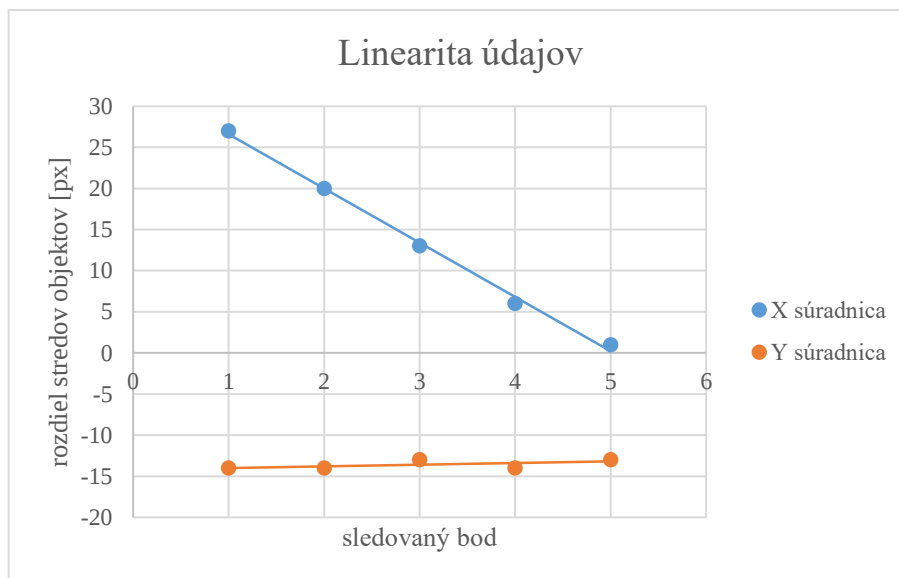
Obr. 4.2.1: Namerané rozdiely stredov zreničky a prvého purkyneho odrazu.

Z týchto hodnôt boli vypočítané štatistické ukazovatele – rozptyl a smerodajná odchýlka. Vypočítané štatistické ukazovatele z presnosti merania sú zobrazené v Tab. 4.2.1.

Tab. 4.2.1: Štatistické ukazovatele presnosti merania.

súradnica	X		Y	
bod	Rozptyl	Smerodajná odchýlka	Rozptyl	Smerodajná odchýlka
1	0,24	0,49	0,24	0,49
2	0,64	0,8	0,16	0,4
3	0,8	0,89	0,4	0,63
4	0,16	0,4	0,24	0,49

Hodnoty z merania linearity zobrazenia získané rovnakým princípom, boli vynesené do grafu a sú zobrazené na Obr. 4.2.2.



Obr. 4.2.2: Graf linearity zobrazenia z merania pomocou videodetektoru.

Na test bola využitá kamera mobilného telefónu ktorá disponovala rozlíšením 1920 x 1080 pixelov, pripevnená k hlave meranej osoby pomocou drôtenej konštrukcie. Meraná osoba so zariadením sedela pred 24 palcovým monitorom vo vzdialenosti približne 0,75 m. Na monitore bol zobrazený simulačný obrazec, ktorý zaberá takmer celú zobrazovaciu plochu monitoru. Na vytvorenie purkyneho odrazu bola využitá stolná lampa, ktorej zdroj svetla sa nachádzal v pravom dolnom okraji monitoru.

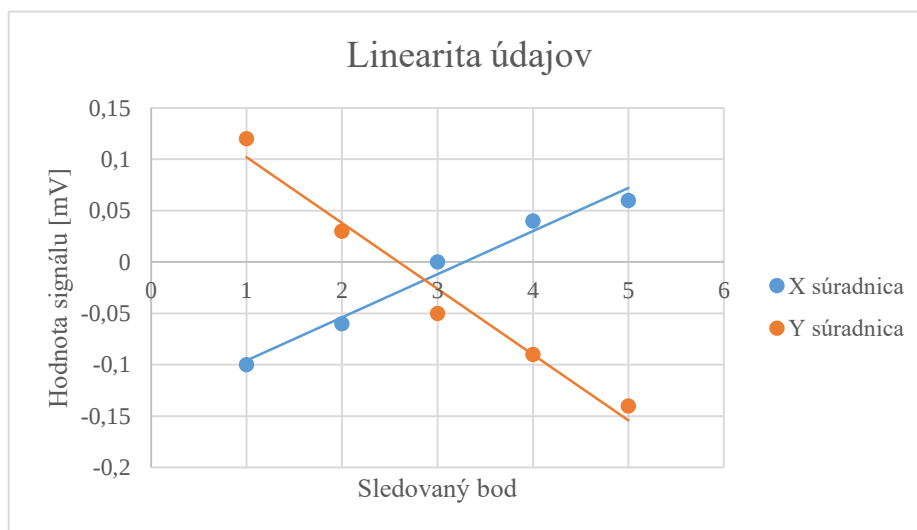
Z výsledkov merania je možné usúdiť, že spomínaná metóda poskytuje dostatočnú presnosť a použiteľnosť na jej využitie v systéme vyhodnocovania smeru pohľadu osoby. Nakoľko detekcia stredov zreničky a purkyneho odrazu v obraze prebehla manuálne, nemožno vylúčiť chybu ľudského faktora a to napríklad zlé určenie stredu sledovaného objektu. Meraná osoba mohla rovnako počas merania zmeniť polohu hlavy, čo by tiež mohlo ovplyvniť výsledky merania. Kamera, ktorá by bola schopná zaostriť obraz v bližšej vzdialenosti od hlavy meranej osoby by mohla vykázat vyššiu presnosť a citlivosť merania. V prípade realizácie systému s touto metódou merania bude esenciálne použitie kamery so schopnosťou snímať infračervené žiarenie, nakoľko pri obvyčajnej kamere sa na povrchu oka zobrazujú odrazy svetla z okolia. Snímanie infračervenou kamerou by tieto odrazy dokázalo eliminovať.

Pri testovaní boli objavené aj niektoré nedostatky a problémy spojené s touto metódou merania. Upevnenie kamery nebolo úplne pevné. Meraná osoba sa snažila hlavou nehýbať, no napriek tomu sa pomocou konštrukcie na kameru preniesli otrasy, ktoré by mohli zhoršiť presnosť merania. Tento nedostatok bol vykompenzovaný tak, že namiesto jednoduchého určenia polohy stredu zreničky bola vypočítavaná vzdialenosť

stred zreničky od stredu purkyneho odrazu. Tento postup výrazne zlepšil presnosť merania, nakoľko vzdialenosť týchto bodov nie je tak výrazne ovplyvnená pohybmi ako len samotná poloha zreničky v snímanom videu. V prípade merania polohy samotnej zreničky by tieto otrasy spôsobili zmenu relatívnej polohy zreničky v obraze, čo by výrazne zhoršilo presnosť merania. Navyše vďaka tomuto postupu je systém viac odolný voči miernym pohybom hlavy, ktorých sa môže používateľ dopustiť pri používaní tohto systému.

4.2.2 Meranie pomocou elektrookulografie

Hodnoty signálu boli vynesené do grafu a sú zobrazené na Obr. 4.2.3.



Obr. 4.2.3: Graf linearity zobrazenia z merania pomocou elektrookulografie.

Meranie presnosti nebolo uskutočnené z dôvodu problémov odčítania presnej hodnoty signálu. Problém spočíval v kolísaní úrovne signálu, hoci meraná osoba nemenila fixačný bod pohľadu. Za týchto okolností je možné zhodnotiť presnosť tejto metódy za výrazne nedostatočnú, a to i bez .

Pri testovaní tejto metódy bol využitý systém BIOPAC. Aby boli získané čo najlepšie výsledky pre porovnanie tejto metódy s druhou skúmanou metódou, podmienky tohto testu boli čo najviac podobné podmienkam testu videodetektoru. Rovnako ako pri videookulografií sedela testovaná osoba približne 0,75 m pred 24 palcovým monitorom, na ktorom bol zobrazený simulačný obrazec.

Pri teste boli zistené viaceré nedostatky tejto metódy. Išlo hlavne o kolísanie hladiny signálu, hoci meraná osoba nemenila fixačný bod na simulačnom obraze. Tento fakt veľmi zhoršuje použiteľnosť tejto metódy, nakoľko by presné určenie miesta pohľadu

nebolo prakticky možné. Pri použití tejto metódy je nutné udržiavať hlavu v nehybnej polohe, pričom každá zmena polohy sa prejaví v zmene signálu. Nie je tak možné robiť ani malé pohyby hlavy a rovnako by bola nutná častá kalibrácia systému. Veľkou nevýhodou je aj nutnosť pripojenia elektród na tvár používateľa, čo poskytuje značné nepohodlie pri používaní a zlá dostupnosť zariadenia EOG na snímanie signálov.

4.3 Výber metódy na realizáciu

Pri výbere najvhodnejšej metódy bolo potrebné zvážiť viacero faktorov. Dôležitá je hlavne použiteľnosť systému, zložitosť jeho realizácie, jeho presnosť či komfort pri používaní. Dôležitým faktorom pri výbere je aj dostupnosť zariadení využiteľných na detekciu. Zatiaľ čo takmer každý človek dnes disponuje kamerou použiteľnou na videookulografiu, dostupnosť elektrookulografu je výrazne horšia (hoci môžeme predpokladať nutnosť použitia infračervenej kamery pre úspešné využitie videookulografie). Na druhej strane sa dá predpokladať, že realizácia systému s využitím elektrookulografu bude jednoduchšia z hľadiska získania polohy miesta pohľadu zo získaného signálu, nakoľko by sa poloha určila len podľa aktuálnych hodnôt signálu a nebola by potrebná relatívne náročná detekcia stredov snímaných objektov vo videu. Metóda videookulografie je oveľa náchylnejšia na chyby pri spracovaní signálu, vzhľadom na spomínanú náročnejšiu detekciu polohy stredov objektov. Metóda elektrookulografie však má výrazné nedostatky pri snímaní signálu a navyše neposkytuje užívateľovi dostatočný komfort, nakoľko musia byť na tvár používateľa pripevnené elektródy na snímanie signálu.

Po zvážení všetkých faktorov bola na realizáciu vybratá metóda videookulografie. Dôvodom je hlavne široká dostupnosť hardware na realizáciu systému, menšia nepresnosť pri získavaní údajov na určenie polohy a vyšší komfort, ktorý táto metóda poskytuje.

5 TECHNICKÉ PROSTRIEDKY PRE REALIZÁCIU SYSTÉMU A SCHÉMA SYSTÉMU

Táto kapitola je venovaná dôležitým súčastiam programu na určovanie smeru pohľadu. Je v nej popísaný potrebný hardware a software, pričom je kapitola zameraná aj na základné princípy snímania obrazu kamerou.

5.1 Hardware

Na realizáciu systému je veľmi vhodné využívať IR kameru, nakoľko obyčajná kamera zaznamenáva priveľa odrazov svetla z okolia, ktoré sú premietnuté na rohovku. Použitím IR kamery dochádza k značnej eliminácii týchto odrazov, a tak je kvalita detekcie vyššia. V tomto systéme je použitá IR kamera A4 TECH PK-333E. Táto kamera je zobrazená na Obr. 5.1.1. Realizovaný systém dokáže pracovať aj bez IR kamery, avšak za týchto okolností sa zvyšuje citlivosť systému na okolité svetelné podmienky.



Obr. 5.1.1: IR kamera A4 TECH.

Na vytvorenie odrazu IR svetla je využitá nemetrická kamera Sony DCR-SR36 zobrazená na Obr. 5.1.2. V tejto kamere je zakomponovaný reflektor IR svetla, pomocou ktorého bol vytvorený IR odraz. Použitie kamery namiesto samostatného reflektoru bolo následkom absencie tohto vybavenia. Aby nedošlo k poškodeniu zraku používateľa IR svetlom, bolo nutné obmedziť časovú dĺžku práce so systémom.



Obr. 5.1.2: Kamera Sony Handycam so zabudovaným IR reflektorom.

Na spracovanie obrazu bol využitý notebook Lenovo Yoga 500 s procesorom Intel i5 5200U a veľkosťou pamäte RAM 8 GB. Vzhľadom na náročnosť spracovania obrazu a nároky programu je nutné využitie procesoru s aspoň dvoma vláknami.

Kamera je upevnená na používateľa pomocou drôtenej konštrukcie, čím je zabezpečená jej stála vzdialenosť od oka používateľa. Nevýhodou tejto konštrukcie sú jej otrasy, ktoré vznikajú pri čo i len malom pohybe hlavy používateľa, a tak zhoršujú presnosť systému. Drôtená konštrukcia je zobrazená na Obr. 5.1.3. Tento nedostatok je ale z veľkej časti kompenzovaný samotným princípom určovania smeru pohľadu, nakoľko nie je detegovaná len poloha zreničky v obraze, ale zisťovaná je vzdialenosť zreničky od IR odrazu. Tento postup vykazuje omnoho vyššiu robustnosť voči otrasom ako detekcia polohy samotnej zreničky. Viac o tomto postupe je popísané v kapitole 6.3.



Obr. 5.1.3: Drôtená konštrukcia.

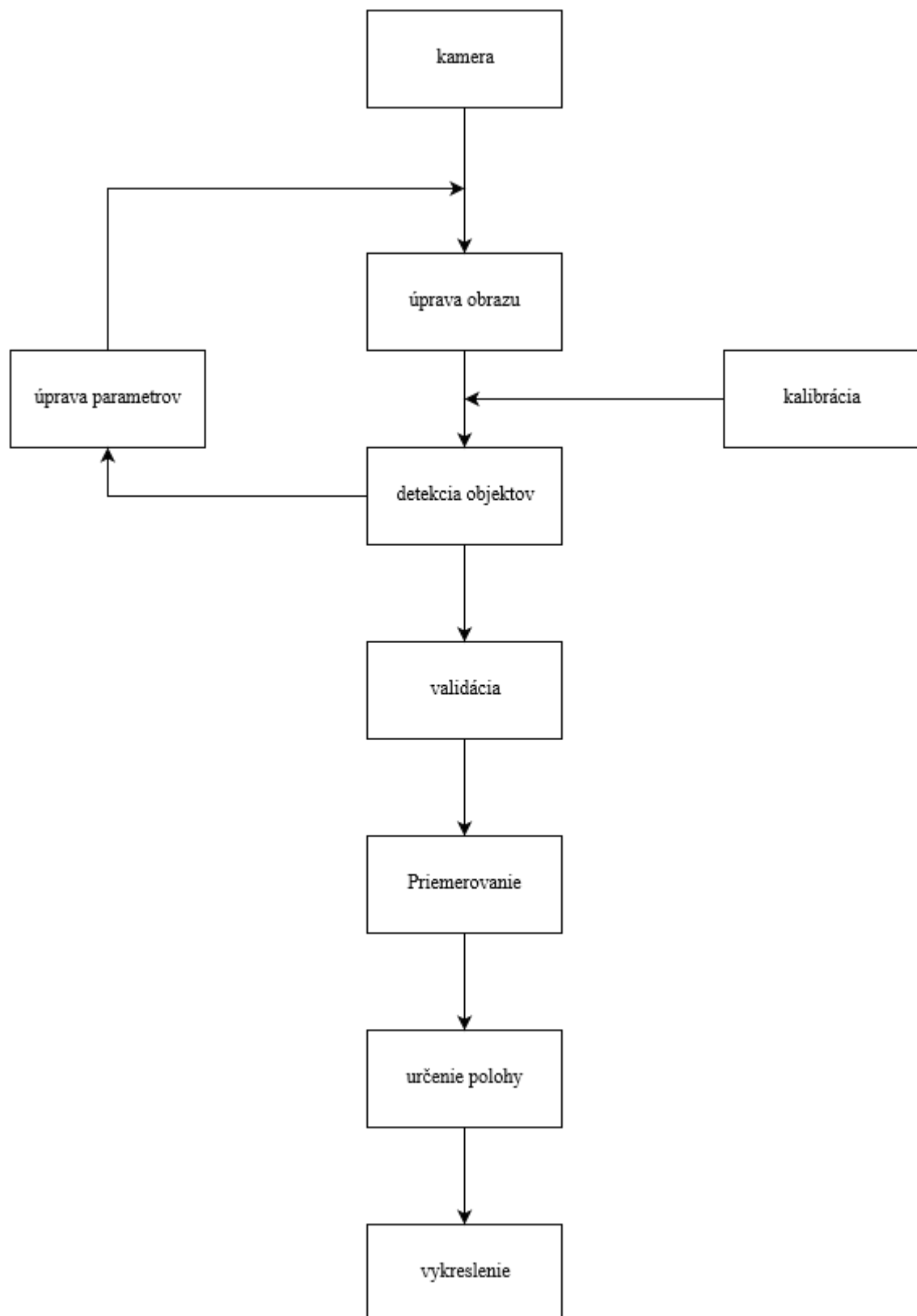
5.2 Software

Na vytvorenie programu bol využitý programovací jazyk C# vo frameworku .NET. Program bol vytvorený v prostredí Visual Studio Ultimate 2013. Na samotné spracovanie obrazu bola využitá knižnica Emgu CV. Emgu CV je .Net wrapper pre knižnicu Open CV, nakoľko knižnica Open CV je určená len pre programovacie jazyky C, C++, Python a Java. Knižnica Emgu CV je zameraná hlavne na spracovanie obrazu, ale je možné ju využiť aj v oblasti robotiky či rozšírenej reality (Augmented reality). V tejto knižnici sú implementované všetky použité filtre a metódy spracovania obrazu, ktoré sa nachádzajú v software (SW) časti tohto systému. Všetky tieto metódy sú podrobne opísané v kapitole 6.2.

Na uskladnenie detegovaných objektov (kruhov) a prácu s nimi bola implementovaná trieda `Circles`. V tejto triede sa nachádza list kruhov, kde sú uložené detegované kruhy a nachádza sa tu aj metóda na výpočet spriemerovaného kruhu. Vstupom tejto metódy je počet kruhov, ktoré sa budú priemerovať. Kruhy, ktoré sa budú priemerovať sú uložené v liste tejto triedy, a tak nie je potrebné určovať ich vo vstupe tejto metódy. Priemerovaná je zvislá a vodorovná súradnica stredu kruhov a hodnota ich priemeru.

5.3 Schéma a návrh systému

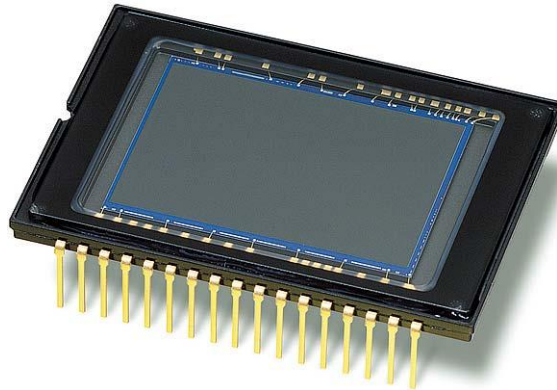
K počítaču je pripojená infračervená (IR) kamera zobrazená na Obr. 5.1.1. Obraz z kamery je ďalej spracovaný programom. Na umožnenie vyhodnotenia smeru pohľadu je dôležité najprv vykonať kalibráciu systému. Na spracovávaný obraz sú aplikované rôzne metódy spracovania obrazu, čím je zabezpečená čo najlepšia detekcia zreničky resp. odrazu IR reflektoru. Podrobnejší opis týchto metód sa nachádza v kapitole 6.2. V prípade neúspechu detekcie zreničky resp. odrazu IR reflektoru je vykonané ich rekurzívna detekcia. V prípade, že sú úspešne detegované obrazy hľadaných objektov, nastáva ich validácia. Po úspešnej validácii týchto obrazov nasleduje priemerovanie zvoleného počtu detegovaných kruhov, a následne je určená vzdialenosť medzi nimi. Táto vzdialenosť je následne prepočítaná do polohových súradníc a nastáva vykreslenie vypočítanej polohy. Vyššie popísaný schematický popis systému je zobrazený na Obr. 5.3.1.



Obr. 5.3.1: Schéma systému.

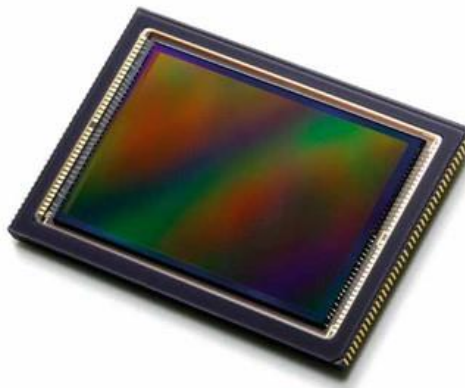
5.4 Princíp snímania obrazu kamerou

Svetlo prechádzajúce optickou sústavou kamery je zachytávané na obrazový snímač. Tento snímač sa skladá zo sústavy jednoduchých fotosenzorov, ktoré sú na základe fotoelektrického javu schopné previesť zachytené fotóny na elektrický signál. V súčasnej dobe sa najviac využívajú dva typy snímacích čipov – čip typu CCD (charge-coupled device) a CMOS (complementary metal oxide semiconductor).



Obr. 5.4.1: CCD snímací čip. [23]

Snímač CCD je tvorený kremíkovým plátom citlivým na svetlo. Povrch čipu je tvorený maticou veľkého počtu filtrov pre každú z troch základných farieb RGB. Využitý je princíp fotoelektrického javu, kedy sú po dopade žiarenia na povrch čipu z tohto plátu uvoľnené elektróny, ktoré sú schopné prenášať elektrický prúd. Tieto elektróny však nie sú odvádzané preč, ale akumulované pomocou tenkej vrstvy oxidu kremičitého (SiO_2) podobne ako náboj. Postupne sú elektróny z radov senzorov privádzané na vstup zosilňovača. Na výstupe zosilňovača je malý prúd odpovedajúci počtu zadržaných elektrónov zosilnený na požadované hodnoty. Tento snímací čip je zobrazený na Obr. 5.4.1. Výhodou CCD čipov je ich vyššia odolnosť voči šumu. [24]



Obr. 5.4.2: CMOS snímací čip. [24]

Snímač CMOS pracuje na rovnakom princípe ako snímač CCD, avšak elektrický náboj nie je odvádzaný preč z čipu pomocou jednej zbernice, ale z každej snímacej bunky (pixelu) čipu zvlášť. Výhodou je menšia spotreba energie a nižšia cena výroby, avšak tento čip má obvykle nižšiu kvalitu obrazu ako CCD čip. Problém predstavuje hlavne vyšší šum, keďže hodnoty prúdov na vstupe zosilňovačov sú spravidla výrazne nižšie ako pri CCD snímacích čipoch, a tak je Tento typ snímača (s veľkosťou 1/6 palca) je využitý v kamere A4 TECH, ktorá bola použitá na detekciu. Snímací čip typu CMOS je zobrazený na Obr. 5.4.2. [24]

6 REALIZÁCIA SYSTÉMU

V tejto kapitole je popísaný predovšetkým princíp funkcie programu a všetky metódy spracovania obrazu. Pre lepšiu orientáciu pri popise sú zobrazené aj časti schémy systému. Celá táto schéma je zobrazená na Obr. 5.3.1. V kapitole sú ďalej popísané metódy spracovania obrazu, pričom je na obrázkoch znázornený aj výsledok aplikácie týchto metód. Súčasťou tejto kapitoly je aj popis GUI systému a ovládacích prvkov.

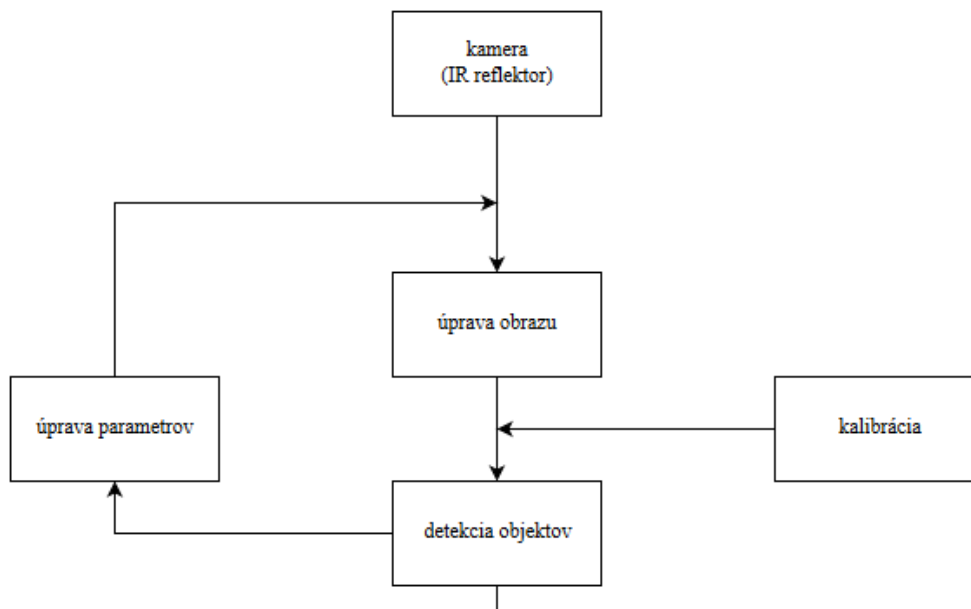
6.1 Opis funkcie systému

Obraz z kamery je načítaný programom a nastáva jeho spracovanie. Najprv sú z pôvodného obrazu vyňaté časti, ktoré spadajú do rozmedzia hodnôt farieb RGB. Hodnoty tohto rozmedzia sú užívateľom nastavené tak, aby došlo k čo najlepšej filtrácii obrazu zreničky (resp. IR odrazu) od okolitých častí oka. Vytvorený je tak binárny obraz. Nastavené hodnoty sú závislé od okolitých svetelných podmienok, a preto sú spravidla pri každom použití systému nastavené nanovo. Pri zmene svetelných podmienok je predpokladaná aj nutnosť úpravy týchto hodnôt. Na oddelenie obrazu zreničky od zvyšku obrazu je využitá jej farba – je to jediný čierny kruhový objekt v oku používateľa. Pri filtrácii IR odrazu je postup obdobný ako pri filtrácii zreničky – IR odraz je najjasnejším bodom v obraze a na základe tejto vlastnosti je možná jeho filtrácia od okolia. Následne je na obraz aplikovaný Gaussov blur filter, čím je zabezpečené mierne rozmazanie obrazu. Toto rozmazanie je dôležité pre ďalšie kroky metódy, nakoľko spojí viacero menších častí dokopy, a tak zamedzí zväčšeniu resp. zmenšeniu týchto častí.

Nasleduje dilatácia obrazu, čím sú zväčšené jednotlivé prvky v obraze. Tento krok je užitočný v prípade, že je detegovaný obraz zreničky resp. IR odrazu príliš malý alebo má nevhodný tvar a nemohol by byť inak detegovaný. Následná erózia spôsobí zmenšenie prvkov v obraze, čím dôjde k oddeleniu prvkov, ktoré môžu znehodnotiť detekciu hľadaného obrazu. Týmto úpravami je zlepšená pravdepodobnosť detekcie zreničky resp. IR odrazu.

Následne sú pomocou Houghovej transformácie detegované kruhy nachádzajúce sa v obraze. Táto transformácia je bližšie popísaná v kapitole 6.3. V prípade neúspešnej detekcie kruhov je vykonané rekurzívne hľadanie týchto objektov, pri ktorom je najprv rozšírený rozsah hodnôt farieb RGB. Týmto krokom je zvýšená šanca na detekciu kruhov, no na druhej strane je zvýšené aj riziko falošnej detekcie (detekcie objektu iného ako hľadaného). Pri rekurzívnom hľadaní objektu je zvýšený aj počet aplikovaní metódy

vykonávajúcej eróziu a dilatáciu objektov. Aj pri týchto úkonoch je zvýšené riziko falošnej resp. nepresnej detekcie, avšak ako bolo empiricky zistené, informačný zisk prevyšuje riziko. Vyššie zmienený postup je zobrazený na časti schémy na Obr. 6.1.1.



Obr. 6.1.1: Časť schémy zobrazujúca spracovanie obrazu.

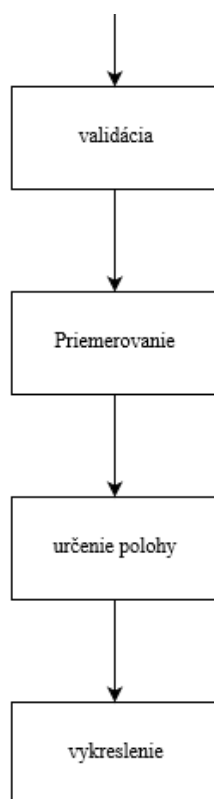
Na určenie smeru pohľadu je najprv nutné vykonať kalibráciu systému. Pri kalibrácii sú používateľom sledované štyri body –všetky rohy monitoru. Výstupom kalibrácie sú štyri tzv. *kalibračné body*, ktorých súradnice sú reprezentované rozdielom súradníc stredov detegovanej zreničky a IR odrazu. Kvôli zjednodušeniu textu a zvýšeniu prehľadnosti tejto kapitoly sú v tomto texte použité zjednodušujúce názvy ako napríklad *kalibračný bod*, hoci sa v skutočnosti jedná o hodnoty rozdielu súradníc bodov v jednotlivých osiach. Tieto názvy sú v texte vyznačené kurzívou.

Po kalibrácii všetkých bodov je vypočítaná minimálna a maximálna hodnota z *kalibračných bodov* pre horizontálnu aj vertikálnu os. Vytvorené sú tak dva tzv. *vzťažné body* – jeden obsahujúci minimálne súradnice *kalibračných bodov* a druhý obsahujúci maximálne súradnice. Cieľom tohto kroku je zjednodušenie následného výpočtu smeru pohľadu. Je potrebné upozorniť, že pri výpočte polohy pohľadu nie sú systémom spracovávané informácie priamo o strede zreničky alebo IR odrazu, ale spracovávaný je rozdiel týchto súradníc. Hodnoty tohto rozdielu v oboch osiach sú v ďalšom texte nazývané ako *rozdielový bod*.

Po úspešnej detekcii zreničky aj IR odrazu je vykonaná validácia nameraných objektov. Táto validácia je možná až po kalibrácii systému, nakoľko až po kalibrácii sú určené tzv. *celkové vzdialenosti*, ktoré je možné počas správneho merania detegovať.

Celkové vzdialenosti sú vypočítané ako rozdiel súradníc *vzťažného bodu* s minimálnymi súradnicami a *vzťažného bodu* s maximálnymi súradnicami. Pri validácii je porovnávaná vzdialenosť medzi *rozdielovým bodom* a *vzťažným bodom* s minimálnymi súradnicami voči *celkovým vzdialenostiam*. V prípade, že je táto vzdialenosť o viac ako 10% väčšia ako *celková vzdialenosť* (alebo je táto vzdialenosť menšia), systém vyhodnotí objekt ako nesprávne detegovaný a vylúči ho z ďalšieho spracovávania. Týmto spôsobom sú navzájom porovnávané všetky kombinácie nameraných objektov. Cieľom je obmedziť detekciu nesprávnych objektov, ktoré by mohli znehodnotiť správne určenie smeru pohľadu.

Ďalším krokom je prepočet súradníc *rozdielového bodu* na výslednú polohu pohľadu používateľa. Meraný je opäť rozdiel súradníc *rozdielového bodu* od *vzťažného bodu* s minimálnymi súradnicami. Následne je určený pomer medzi týmto rozdielom a *celkovou vzdialenosťou*, čím vznikne tzv. *percentuálny bod*. *Percentuálny bod* vyjadruje, v akej časti obrazovky sa vypočítaný pohľad nachádza. *Percentuálny bod* [0, 0] znamená, že sa používateľ pozerá do ľavého horného rohu monitoru. *Percentuálny bod* [1, 1] určuje polohu používateľovho pohľadu na pravý dolný roh. Pomocou *percentuálneho bodu* je následne vykreslená výsledná poloha používateľovho pohľadu. Vyššie zmienený postup zodpovedá časti schémy zobrazenej na Obr. 6.1.2.

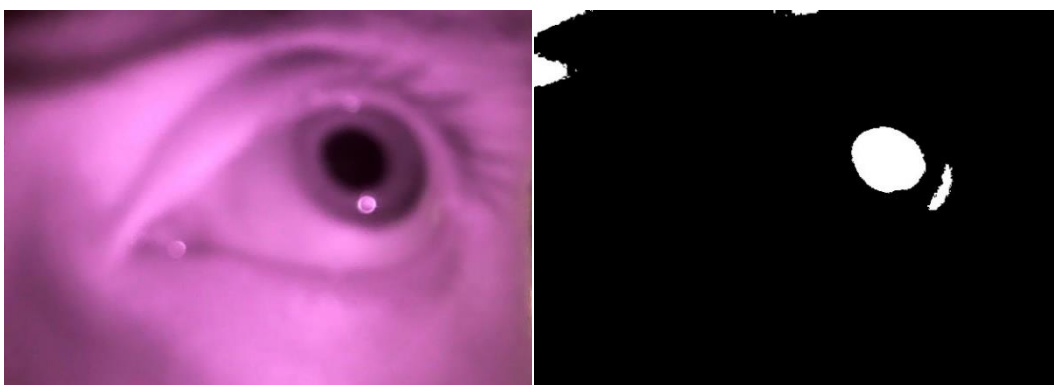


Obr. 6.1.2: Časť schémy zobrazujúca určenie smeru pohľadu a vykreslenie.

6.2 Použité metódy spracovania obrazu

Ako už bolo spomenuté v kapitole 5.2, všetky metódy spracovania obrazu sú importované z knižnice Emgu CV. Táto kapitola slúži na bližší popis týchto metód, pričom sú popísané ich hlavné vstupné parametre a ich účel.

Metóda `InRange` vykonáva výber častí obrazu, ktoré spadajú do užívateľom zvolenej medze. Vstupom metódy je obraz, ktorý sa bude spracovávať, MCV skalár s hodnotami dolnej hranice a MCV skalár s hodnotami hornej hranice. Tieto hranice sú reprezentované číselnými hodnotami farieb RGB v rozmedzí 0 až 255. Výsledok aplikácie tejto metódy je znázornený na Obr. 6.2.1.



Obr. 6.2.1: Grafická ukážka metódy `InRange`. Vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.

Na zjemnenie obrazu je využitá metóda `GaussianBlur`. Pomocou tejto metódy je na vstupný obraz aplikovaný blur filter, ktorého účelom je rozmazanie štruktúr v obraze. Tento krok zamedzí zväčšeniu šumu pri ďalších krokoch spracovávania obrazu ako je dilatácia a erózia. Vstupom metódy je veľkosť okna na rozmazanie a odchýlka vo vertikálnej osi. Výsledok aplikácie tejto metódy je znázornený na Obr. 6.2.2.



Obr. 6.2.2: Grafická ukážka metódy `GaussianBlur` – vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.

Na zmenšenie a oddelenie väčších objektov od seba je využitá metóda Erode, ktorá prevádza eróziu obrazu pomocou zvoleného štruktúrneho elementu. Tento element bol zvolený ako kruh s veľkosťou 5 pixelov vo vodorovnej aj zvislej osi. Pri rekurzívnom hľadaní zreničky alebo IR odrazu je táto metóda prevedená vo zvyšujúcom sa počte iterácii, aby sa tak docielilo zvýraznenia jej efektu pri spätnom hľadaní. Výsledok aplikácie tejto metódy je znázornený na Obr. 6.2.3.



Obr. 6.2.3: Grafická ukážka metódy Dilate – vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.

Funkcia metódy Dilate je analogická k funkcii metóde Erode. Efekt tejto metódy na výstupný obraz je však opačný. Pomocou zvoleného štruktúrneho elementu je vykonaná dilatácia prvkov v obraze, čím sú zaplnené malé diery vo väčších objektoch. Tento štruktúrny element bol zvolený ako kruh s veľkosťou 5 pixelov vo vodorovnej aj zvislej osi. Výsledok aplikácie tejto metódy je znázornený na Obr. 6.2.4.

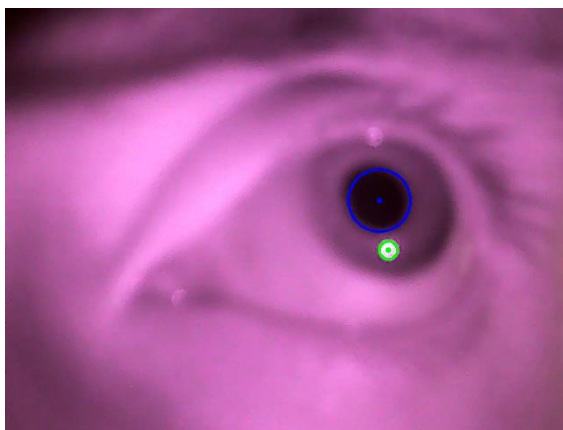


Obr. 6.2.4: Grafická ukážka metódy Erode. Vľavo sa nachádza pôvodný obraz, vpravo je obraz po úprave.

Na detekciu kruhov v obraze slúži metóda HoughCircles. V tejto metóde je využitá Houghova transformácia na detekciu zvoleného útvaru – v tomto prípade je

hľadaným útvarom kruh. Houghova transformácia je bližšie popísaná v kapitole 6.3.

Hlavným vstupom tejto metódy je obraz určený na spracovávanie, typ detekčnej metódy a minimálny a maximálny priemer elipsy, ktorú je možné detegovať. Tieto medzné veľkosti sú nastavené pri zapnutí systému na primárne hodnoty a neskôr sú upravené podľa veľkosti priemeru kruhov detegovaných pri kalibrácii systému. Výsledok aplikácie tejto metódy je znázornený na Obr. 6.2.5.



Obr. 6.2.5: Vykreslenie detegovaných objektov – modrou farbou zrenička a zelenou IR odraz.

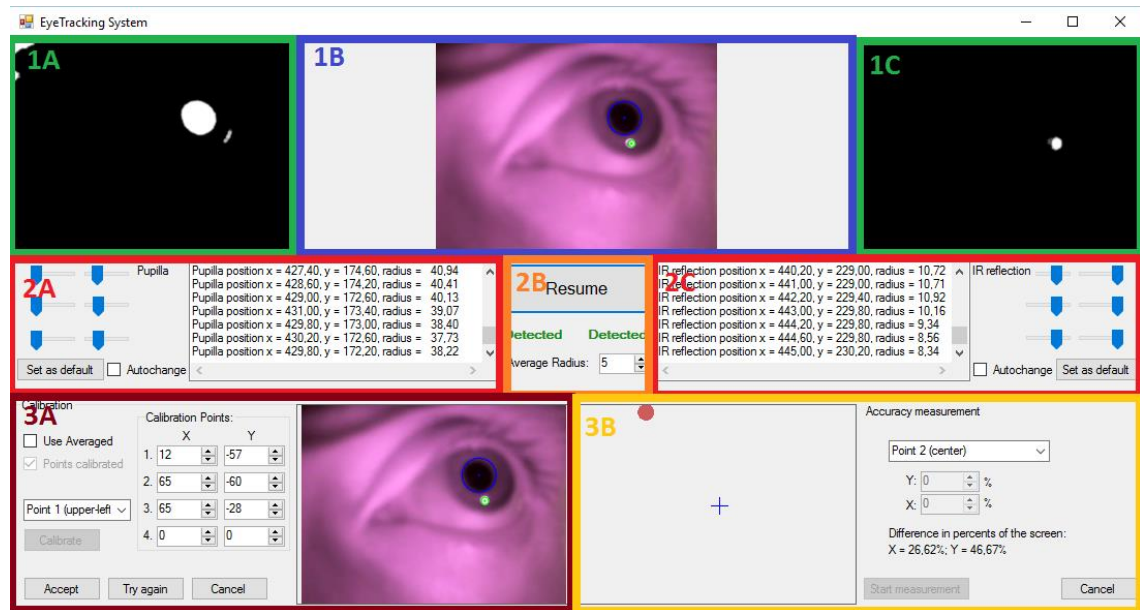
6.3 Houghova transformácia

Houghova transformácia (HT) je metóda používaná pri počítačovom spracovaní obrazu na nájdenie parametrického popisu objektov v obraze. Pôvodná HT bola vytvorená na detekciu priamok v obraze. Táto metóda bola v roku 1972 rozšírená aj na detekciu útvarov ako napríklad elipsa. Toto rozšírenie bolo vynájdené vedcami Peter Hart a Richard Duda a nazvané zovšeobecnená Houghova Transformácia (generalized Hough transform).

Pomocou HT je možné nájsť vopred určené, parametricky opísateľné krivky, tzv. obrazové primitíva. Medzi tieto obrazové primitíva patria priamky, kruhy alebo elipsoidy. Základ transformácie je tvorený transformáciou priestorovej informácie obrazu na priestor parametrov. Transformácia využíva priestorovú informáciu o obrazových prvkoch a informáciu o hodnote jasnosti. HT dokáže spracovávať dvojrozmerné, ale aj trojrozmerné snímky, čo sa využíva napríklad pri spracovaní medicínskych dát. Výhodou HT je jej robustnosť voči šumu a nedokonalosti tvarov hľadaných objektov. [17] [18]

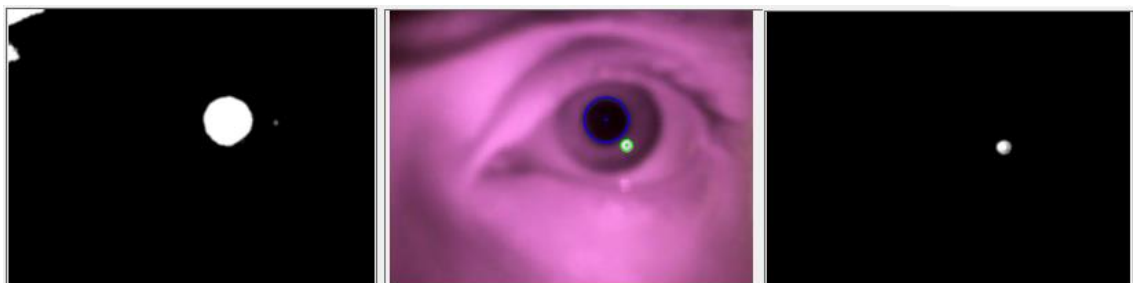
6.4 Popis grafického rozhrania a ovládacích prvkov

Táto kapitola slúži na popis grafického rozhrania systému a vysvetlenie jeho jednotlivých častí. V tejto kapitole je tiež popísaná práca s prvkami grafického rozhrania a vysvetlený ich účel. Text je pre lepšiu názornosť doplnený snímku obrazovky. Pre lepšiu prehľadnosť je táto snímka rozdelená na niekoľko oblastí, pričom každá oblasť predstavuje jeden funkčný celok. Všetky tieto oblasti sú farebne vyznačené na Obr. 6.4.1.



Obr. 6.4.1: Snímok GUI s vyznačenými oblasťami.

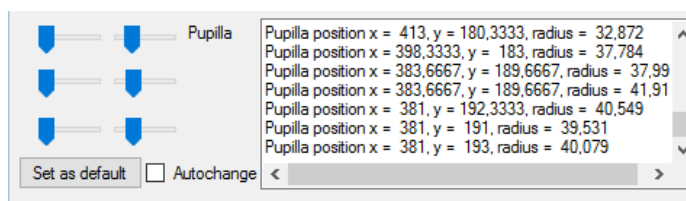
V oblasti 1A a 1C je zobrazený obraz po aplikovaní všetkých metód spracovania obrazu. Tento obraz je vstupom metódy na detekciu kruhov. V oblasti 1B je zobrazený pôvodný obraz, v ktorom sú vyznačené detegované objekty. Modrou farbou je vyznačená zrenička, zelenou farbou IR odraz. Tieto oblasti sú znázornené na Obr. 6.4.2.



Obr. 6.4.2: Oblasť 1A (vľavo), 1B (v strede) a 1C (vpravo).

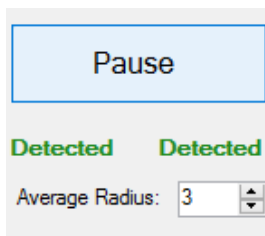
Oblasti 2A a 2C sú zamerané na úpravu vstupného obrazu. Jednotlivé posuvné lišty upravujú vstupy funkcie InRange, popísanej v kapitole 6.2. Pomocou úpravy ich hodnôt

je možné zmeniť rozsah filtrovanej oblasti, ktorá sa preniesie do binárneho obrazu na výstupe. V dolnej časti je lokalizované zaškrtávacie pole, ktoré určuje či sa má pri spätnom hľadaní obrazu automaticky zväčšovať rozsah hodnôt RGB. Je tu umiestnené aj tlačidlo „Set as default“, ktoré slúži na zapamätanie nastavených hodnôt posuvných líšt, keďže pri zapnutej spätnej detekcii sú pri spracovaní ďalšieho snímku nastavené hodnoty líšt do pôvodnej polohy. V pravej časti oblasti 2A (resp. v ľavej časti oblasti 2C) je umiestnené textové pole s informáciami o detegovaných objektoch. Oblasť 2A je znázornená na Obr. 6.4.3. Oblasť 2C je zrkadlovým obrazom oblasti 2A.



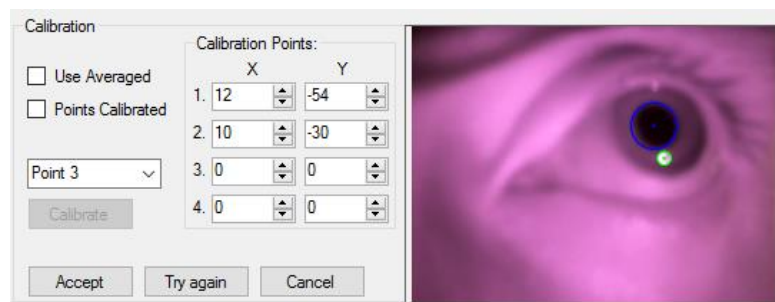
Obr. 6.4.3: Oblasť 2A zameraná na úpravu obrazu.

V oblasti 2B je umiestnené tlačidlo na prerušenie spracovávanie snímok a dva indikátory detekcie objektov (zreničky a IR odrazu), ktoré sú zobrazené v prípade úspešnej detekcie daného objektu. V spodnej časti je lokalizované pole na zadanie počtu kruhov, ktoré budú priemerované. Oblasť je znázornená na Obr. 6.4.4.



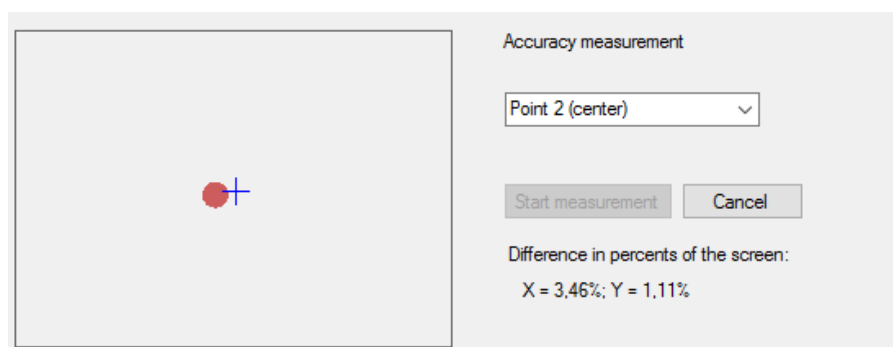
Obr. 6.4.4: Oblasť 2B.

Ako už bolo spomenuté v kapitole 6.1, pre umožnenie vyhodnotenia smeru pohľadu je potrebné najprv vykonať kalibráciu systému. Nástroje na vykonanie kalibrácie sú umiestnené v oblasti 3A. V ľavej časti je umiestnené zaškrtávacie pole, ktoré určuje či budú na kalibráciu využité spriemerované hodnoty detegovaných objektov alebo aktuálne hodnoty. Pod ním je lokalizovaný indikátor, či sú skalibrované všetky kalibračné body a pole s výberom bodu, ktorý sa bude kalibrovať. Sú tu umiestnené aj štyri tlačidlá na ovládanie kalibrácie. Tlačidlo *Calibrate* slúži na spustenie kalibrácie vybraného bodu. Po úspešnej detekcii je v pravej časti oblasti zobrazená snímka s vyznačenou detekciou. V strednej časti oblasti sú lokalizované polia s hodnotami súradníc kalibračných bodov. Táto oblasť je znázornená na Obr. 6.4.5.



Obr. 6.4.5: Oblasť 3A zameraná na kalibráciu systému.

V oblasti 3D sú umiestnené ovládače merania presnosti systému. V hornej časti je umiestnené pole s výberom bodu, voči ktorému je meraná odchýlka. Po zvolení je tento bod zobrazený vo vykresľovacom boxe v ľavej časti oblasti ako modrý krížik. Vykresľovací box predstavuje monitor, na ktorý sa pozerá používateľ. Tento box slúži na vykreslenie vypočítaného miesta pohľadu, ktorý je v ňom zobrazený ako červený kruh. Vypočítaná odchýlka od meraného bodu je zobrazená v dolnej časti oblasti. Táto oblasť je znázornená na Obr. 6.4.6.



Obr. 6.4.6: Oblasť 3B určená na meranie presnosti systému.

6.5 Popis ovládania systému

Prvý krok po zapnutí systému predstavuje nastavenie vstupov metódy InRange. Táto metóda je bližšie popísaná v kapitole 6.2. Hodnoty sú nastavené tak, aby na výstupe zobrazenom na Obr. 6.4.2 vľavo a vpravo bol podľa možností viditeľný iba hľadaný objekt (zrenička alebo IR odraz). Je potrebné vyvarovať sa zobrazeniu iných kruhových objektov, keďže takto by mohlo dôjsť k mareniu detekcie hľadaného objektu.

Ďalším krokom je kalibrácia systému. Tá musí opätovne vykonaná aj v prípade, že došlo k posunutiu meracieho zariadenia vzhľadom na používateľa. Na kalibráciu je určená oblasť zobrazená na Obr. 6.4.5. Najprv je používateľom určený bod vo výberovom

poli, ktorý bude kalibrovaný. Tlačidlo *Calibrate* slúži na spustenie kalibrácie vybraného bodu. Po jeho stlačení je v prípade úspešnej detekcie oboch hľadaných objektov v pravej časti oblasti zobrazená snímka s vyznačenou detekciou. V prípade že užívateľ považuje zobrazenú detekciu za dostatočne presnú, stlačí tlačidlo *Accept* a pozícia kalibračného bodu je uložená. V prípade že je zobrazená detekcia chybná, stlačí užívateľ tlačidlo *Try again* a celý postup je zopakovaný. Po uložení kalibračného bodu sú súradnice daného bodu viditeľné v sekcii *Calibration points*. Tieto súradnice je tiež možné nastaviť ručne. Ručné nastavenie je taktiež možné využiť na jemnú úpravu kalibračných bodov. V prípade, že chce užívateľ ukončiť kalibráciu, stlačí tlačidlo *Cancel*. Po úspešnej kalibrácii všetkých štyroch bodov je automaticky zaškrtnuté pole *Points calibrated* a systém je pripravený na určovanie smeru pohľadu.

Oblasť 3B zobrazená na Obr. 6.4.6 je zameraná na meranie presnosti systému. Po zvolení meracieho bodu vo výberovom poli je tento bod zobrazený vo vykresľovacom boxe a v spodnej časti oblasti je zobrazená odchýlka určeného bodu pohľadu od meracieho bodu. V prípade výberu možnosti *User-defined point* je možné ručné nastavenie meracieho bodu, od ktorého sa počíta odchýlka. Na nastavenie súradníc tohto bodu je nutné použiť vstupné polia, umiestnené v strednej časti oblasti.

7 TEST SYSTÉMU A ANALÝZA VÝSLEDKOV TESTU

Úlohou tejto kapitoly je popis realizovaného testu, všetkých vstupných a výstupných parametrov a takisto vymenovanie problémov, ktoré boli pri teste zaznamenané. V samostatnom bode kapitoly sa nachádza analýza a zhodnotenie výsledkov testu.

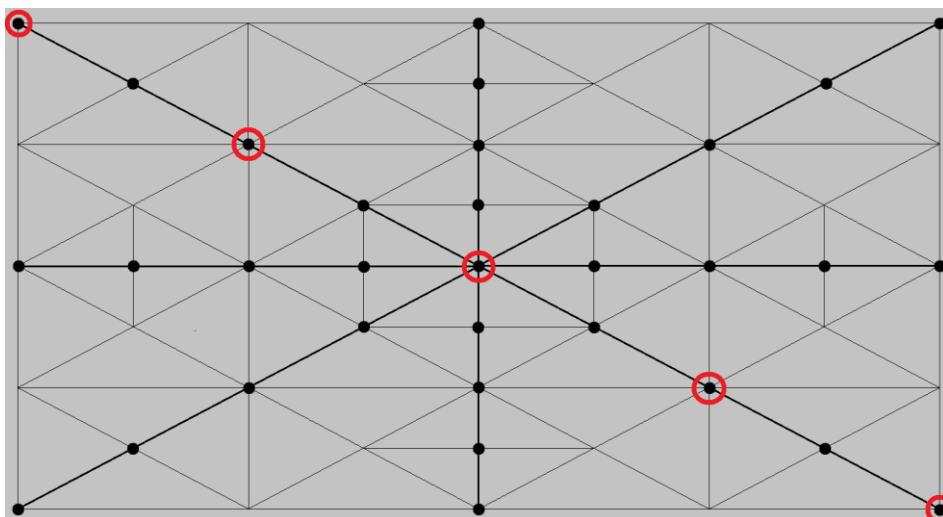
7.1 Popis testu

Na teste bol využitý hardware popísaný v kapitole 5.1. Ďalej bol využitý 24 palcový externý monitor Acer G247HL. Meraná osoba sedela približne jeden meter pred monitorom s nasadeným meracím zariadením a postupne sledovala päť vybraných bodov na simulačnom obraze na monitore. Tento obrazec je znázornený na Obr. 7.1.2. Pre každý z týchto bodov bola určená odchýlka daného bodu od polohy pohľadu určenej meracím systémom. Odchýlka bola určená v percentách dĺžky monitoru. Na vyjadrenie odchýlky bola zvolená percentuálna odchýlka pre jej najväčšiu informačnú výťažnosť, keďže tento údaj poskytuje predstavu o odchýlke bez ohľadu na veľkosť použitého monitoru. Testovací setup je zobrazený na Obr. 7.1.1.



Obr. 7.1.1: Znázornenie testovacieho setupu.

Po zameraní sa sledovanej osoby na meraný bod bola systémom určená odchýlka vypočítanej vzdialenosti polohy pohľadu od tohto bodu. Následne bol používateľov pohľad zameraný na ďalší bod a postup bol opakovaný. Pre každý bod bolo vytvorených celkovo 5 meraní a následne boli vypočítané vybrané štatistické ukazovatele. Sledované body sú vyznačené na Obr. 7.1.2.



Obr. 7.1.2: Simulačný obrazec s vyznačenými sledovanými bodmi.

Pri teste každej meranej osoby bol vytvorený testovací protokol, obsahujúci základné údaje o meranej osobe ako pohlavie, farba očí či očná vada. Vplyv krátkozrakosti či ďalekozrakosti na výsledok merania nebol predpokladaný, avšak vplyv astigmatizmu alebo strabizmu nemusí byť zanedbateľný. Pri testovaní však nebola prítomná žiadna osoba s takouto očnou vadou.

Na zaznamenanie údajov z testovania bol vytvorený testovací protokol, obsahujúci základné údaje o meranej osobe ako meno, pohlavie, farba očí a vek. V protokole sú obsiahnuté informácie o očnej vade osoby a výsledky merania. Ukážka protokolu je zobrazená na Obr. 7.1.3.

Meno:	Jaroslava O.
Poradové č.:	1
Pohlavie:	žena
Farba očí:	modro-zelená
Vek:	21
Očná vada:	krátkozrakosť, dioptrie -0,75

Tab. 1: Namerané hodnoty osoby č. 1.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	10,00	13,85	11,23	0,00	5,11	3,90	2,50	4,62	3,13	7,69
2	2,27	5,56	0,45	9,77	2,27	0,33	8,42	2,33	5,91	1,00
3	1,82	4,67	0,00	7,33	1,82	0,67	0,00	8,67	5,45	8,67
4	12,27	11,00	0,45	15,22	7,73	13,67	2,27	7,67	0,45	11,00
5	3,64	10,67	0,00	7,81	0,00	0,00	8,75	2,33	3,42	6,42

Obr. 7.1.3: Testovací protokol meranej osoby č. 1.

7.2 Analýza výsledkov testu

V tejto kapitole sú zhrnuté výsledky merania presnosti, určené štatistické ukazovatele a popísané problémy, ktoré boli pri testovaní zaznamenané. Žiaden z problémov nepredstavoval výraznú prekážku pre použitie systému, problémy skôr ovplyvňovali presnosť merania. Protokol z celého merania je k dispozícii v prílohe A tejto práce.

Z nameraných údajov jednotlivých meraných osôb boli vypočítané vybrané štatistické ukazovatele. Jedná sa o priemer z odchýlky, jej rozptyl a smerodajná odchýlka. Tieto ukazovatele boli vypočítané aj pre všetky údaje z merania. Pomocou týchto štatistických ukazovateľov bolo následne možné zhodnotiť celkovú presnosť realizovaného systému. Pri meraní bodov 1 a 5 si v testovacom protokole môžeme všimnúť nulovú odchýlku pri niektorých meraniach. Tento údaj však nemusí nutne znamenať, že systém pracoval so 100 percentnou presnosťou. Ako už bolo spomenuté v kapitole 6.1, v prípade že je vypočítaná poloha pohľadu v niektorej osi mimo pomyslenej plochy monitoru, systém určí ako výslednú polohu pohľadu maximálnu možnú hodnotu v danej osi. V tomto prípade teda nie je možné určiť, či systém zaznamenal polohu miesta pohľadu úplne presne alebo či ide o spomínané umelé nastavenie maximálnej hodnoty v danej osi.

Vybrané štatistické ukazovatele z merania osoby číslo 1 sú zhrnuté v Tab. 7.2.1. Vypočítané štatistické ukazovatele z merania zvyšných osôb je možné nájsť v prílohe B tohto protokolu.

Tab. 7.2.1: Štatistické ukazovatele pre meranie osoby číslo 1.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	6,39	6,01	12,77	21,36	3,57	4,62
2	3,86	3,80	8,34	12,16	2,89	3,49
3	1,82	6,00	3,96	9,24	1,99	3,04
4	4,63	11,71	21,70	6,70	4,66	2,59
5	3,16	5,45	10,30	14,64	3,21	3,83

Vypočítané štatistické ukazovatele zo všetkých meraní sú zobrazené v Tab. 7.2.2.

Tab. 7.2.2: Vypočítané štatistické ukazovatele zo všetkých meraní.

Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
X [%]	Y[%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
6,39	6,01	12,77	21,36	3,57	4,62

Pri testovaní boli odhalené niektoré nedostatky systému. Ide hlavne o citlivosť na okolité svetelné podmienky, pohyb hlavy meranej osoby či zlú filtráciu hľadaného objektu od zvyšku snímky. Citlivosť na svetelné podmienky bola zaznamenaná pri odtiahnutí záclon v testovacej miestnosti. Vďaka silnému svetlu z exteriéru boli na rohovke vytvorené svetelné odrazy z okolia, ktoré marili úspešnú detekciu zreničky. Výsledok detekcie však nebol týmto nedostatkom výrazne ovplyvnený, keďže systém využíva kameru pracujúcu aj v infračervenej oblasti svetla. Ďalší problém bol zaznamenaný pri pohybe meracieho zariadenia voči meranej osobe, kedy bolo nutné vykonať opätovnú kalibráciu systému. Problém bol zaznamenaný aj pri detekcii osoby s príliš tmavou farbou dúhovky. V tomto prípade nebolo možné spoľahlivé oddelenie zreničky od dúhovky. Tento nedostatok bolo možné kompenzovať starostlivým zvolením parametrov filtru a zapnutím spätnej detekcie. Pri testovanej osobe číslo 6 bolo zaznamenané zvýšené slzenie očí, čo mohlo byť dôsledkom citlivosti oka na IR svetlo. Toto slzenie bolo pre meranú osobu veľmi nepríjemné a zhoršovalo presnosť systému.

8 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo oboznámenie sa s problematikou vyhodnocovania smeru pohľadu, návrh a realizácia systému a nakoniec samotný test systému na skupine dobrovoľníkov. Práca oboznamuje s historickými ale aj existujúcimi metódami určovania smeru pohľadu, ich aplikáciou a využitím vo výskume alebo komerčnej oblasti.

Cieľom práce bol aj výber metódy, ktorá bola následne realizovaná. Na tento výber bol vytvorený test, ktorý simuloval správanie sa používateľa pri práci s počítačom. Testované boli dve metódy, a to metóda založená na videookulografii a metóda založená na elektrookulografii. Na základe analýzy výsledkov testu bolo zhodnotené, že metóda založená na elektrookulografii neposkytuje dostatočne dobré výsledky, a tak bola realizovaná metóda založená na videookulografii.

Súčasťou práce bol návrh a realizácia systému, ktorého princíp je popísaný v samostatnej časti tejto práce. Program bol vytvorený v programovacom jazyku C#. Bolo vytvorené grafické užívateľské rozhranie, umožňujúce ovládanie programu aj počítačovo menej zdatným užívateľom. V práci je toto rozhranie podrobne popísané a rovnako sa v práci nachádza aj návod na použitie tohto programu. Pre správnu funkčnosť programu je kľúčovým krokom kalibrácia systému. Pri nedostatočnej alebo nepresnej kalibrácii nemôže systém dosiahnuť dostatočnej presnosti.

Súčasťou práce je aj test systému na skupine siedmich dobrovoľníkov, pričom každá meraná osoba sledovala celkovo 5 bodov. Pre každý bod bolo vytvorených celkovo 5 meraní, pričom bola zaznamenaná odchýlka vypočítanej polohy pohľadu od reálnej polohy pohľadu. Priemerná odchýlka všetkých meraní bola 6,38% v horizontálnej a 6,09% veľkosti obrazovky vo vertikálnej osi. Celková presnosť systému nie je dostatočná na ovládanie počítača s klasickým operačným systémom, avšak existuje predpoklad, že systém je možné použiť na ovládanie počítača s operačným systémom s veľkými tlačidlami ako napríklad Windows Metro alebo operačné systémy určené pre slabozrakých používateľov.

Celkovú presnosť systému by bolo možné zvýšiť použitím lepšieho hardware, zložitejších algoritmov na spracovanie obrazu či zmenou postupu detekcie. Zlepšenie by mohla priniesť aj aplikácia interpolačných algoritmov na prepočet polohy detegovaných objektov. Realizovaný systém je v súčasnej podobe možné využiť napríklad na zistenie viditeľnosti reklamy na webových stránkach. Po modifikácii a vylepšení je tento systém možné využiť na diaľkové ovládanie robota či ovládanie počítača, čo môže zvýšiť kvalitu života pacientom, trpiacich Parkinsonovou chorobou, ochrnutím horných končatín, či iným ochorením obmedzujúcim prácu s počítačom.

LITERATÚRA

- [1] DUCHOWSKI, Andrew T. A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 2002, 34.4: 455-470.
- [2] Samadani Uzma, Ritlop Robert, Reyes Marleen, Nehrbass Elena, Li Meng, Lamm Elizabeth, Schneider Julia, Shimunov David, Sava Maria, Kolecki Radek, Burris Paige, Altomare Lindsey, Mehmood Talha, Smith Theodore, Huang Jason H., McStay Christopher, Todd S. Rob, Qian Meng, Kondziolka Douglas, Wall Stephen, and Huang Paul. Eye Tracking Detects Disconjugate Eye Movements Associated with Structural Traumatic Brain Injury and Concussion *Journal of Neurotrauma*. 2015, 32(8): 548-556. doi: 10.1089/neu.2014.3687.
- [3] SNODDERLY, D. M. A. X.; KAGAN, Igor; GUR, Moshe. Selective activation of visual cortex neurons by fixational eye movements: Implications for neural coding. *Visual neuroscience*, 2001, 18.02: 259-277.
- [4] ASAAD, Wael F.; RAINER, Gregor; MILLER, Earl K. Task-specific neural activity in the primate prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 2000, 84.1: 451-459.
- [5] RAYNER, Keith. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*, 1998, 124.3: 372.
- [6] TODD, Steven; KRAMER, Arthur F. Attentional guidance in visual attention. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. SAGE Publications, 1993. p. 1378-1382.
- [7] DISHART, Damion C.; LAND, Michael F. The development of the eye movement strategies of learner drivers. *Eye guidance in reading and scene perception*, 1998, 419-429.
- [8] ANDERS, Geerd. Pilot's attention allocation during approach and landing- Eye-and head-tracking research in an A 330 full flight simulator. *Focusing Attention on Aviation Safety*, 2001.
- [9] MCCARTHY, John D.; RIEGELSBERGER, Jens; SASSE, M. Angela. Commercial uses of eye tracking. In: *Proceeding of the 2005 British HCI Group Annual Conference*. 2005.
- [10] JAVAL, Emile. Essai sur la physiologie de la lecture. In: *Annales D'Oculistique*. 1879.
- [11] DODGE, Raymond; CLINE, Thomas Sparks. The angle velocity of eye movements. *Psychological Review*, 1901, 8.2: 145.
- [12] JUDD, Charles H.; MCALLISTER, Cloyne N.; STEELE, W. M. Analysis of reaction movements. *Psychol. monog*, 1905, 7: 141.
- [13] FITTS, P. M.; JONES, R. E.; MILTON, J. L. Eye fixations of aircraft pilots: Frequency,

- duration, and sequence of fixations when flying Air Force ground controlled approach system (GCA). AF Tech. Rept. 5967 (ATI 69038), 1950.
- [14] JUST, Marcel Adam; CARPENTER, Patricia A. Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive psychology*, 1976, 8.4: 441-480.
 - [15] DUCHOWSKI, Andrew. *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Springer Science & Business Media, 2007.
 - [16] SINGH, Hari; SINGH, Jaswinder. Human eye tracking and related issues: A review. *Int. J. Sci. Res. Publ*, 2012, 2: 1-9.
 - [17] DUDA, Richard O.; HART, Peter E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 1972, 15.1: 11-15.
 - [18] BALLARD, Dana H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern recognition*, 1981, 13.2: 111-122.
 - [19] Eye tracking technology makes for safer drivers. *PHYS.ORG*. [online]. 26.5.2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://phys.org/news/2015-05-eye-tracking-technology-safer-drivers.html>
 - [20] The Price is...Wrong?. *stuartcrossman*. [online]. 6.2.2013 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <https://stuartcrossman.wordpress.com/>
 - [21] Eye Tracking Through History . *EyeSee*. [online]. 20.5.2014 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://eyesee-research.com/news/eye-ttacking-through-history/>
 - [22] The Electric Signals Originating in the Eye. *bem.fi*. [online]. 12.1.2009 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.bem.fi/book/28/28.htm>
 - [23] Nikon D40 Specifications. *KenRockwell.com*. [online]. 3.5.2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.kenrockwell.com/nikon/d40/d40-specifications.htm>
 - [24] Capturing the image CCD and CMOS sensors. *Canon*. [online]. 24.5.2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://cpn.canon-europe.com/content/education/infobank/capturing_the_image/ccd_and_cmos_sensors.do

ZOZNAM SKRATIEK

EOG	Elektrookulogram
EEG	Elektroencefalograf
EMG	Elektromyografom
REM	Rapid eye movement
SW	Software
GUI	Grafické užívateľské rozhranie
IR	Infračervený
HT	Houghova Transformácia

ZOZNAM PRÍLOH

A	Testovací protokol	42
B	Vypočítané štatistické ukazovatele testovacieho protokolu	49

A TESTOVACÍ PROTOKOL

Meno: Jaroslava O.

Poradové č.: 1

Pohlavie: žena

Farba očí: modro-zelená

Vek: 21

Očná vada: krátkozrakost', dioptrie -0,75

Tab. 1: Namerané hodnoty z merania osoby č. 1.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	10,00	13,85	11,23	0,00	5,11	3,90	2,50	4,62	3,13	7,69
2	2,27	5,56	0,45	9,77	2,27	0,33	8,42	2,33	5,91	1,00
3	1,82	4,67	0,00	7,33	1,82	0,67	0,00	8,67	5,45	8,67
4	12,27	11,00	0,45	15,22	7,73	13,67	2,27	7,67	0,45	11,00
5	3,64	10,67	0,00	7,81	0,00	0,00	8,75	2,33	3,42	6,42

Meno: Vanessa V.

Poradové č.: 2

Pohlavie: žena

Farba očí: hnedá

Vek: 22

Očná vada: žiadna

Tab. 2: Namerané hodnoty z merania osoby č. 2.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	6,45	11,76	3,33	6,67	10,00	6,67	3,33	13,33	13,33	6,67
2	1,67	1,67	5,00	8,33	5,00	1,67	1,33	8,32	0,45	2,33
3	3,33	3,33	6,67	3,33	3,33	10,00	3,33	3,33	0,00	3,33
4	5,00	5,00	1,67	1,67	5,00	1,67	8,33	1,67	1,67	5,00
5	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	2,33	1,67	6,45	3,23	0,00

Meno: Stanislava S.

Poradové č.: 3

Pohlavie: žena

Farba očí: sivo-modrá

Vek: 23

Očná vada: amblyopia, dioptrie +0,5

Tab. 3: Namerané hodnoty z merania osoby č. 3.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	0,00	0,00	2,04	1,43	6,12	0,00	0,00	7,14	0,00	4,29
2	3,90	0,00	1,30	7,14	5,13	5,20	2,56	0,00	2,56	2,13
3	1,02	8,57	2,12	1,43	5,10	2,86	7,14	5,71	3,06	0,00
4	0,42	8,33	0,22	1,67	1,52	3,33	1,96	8,32	3,26	3,33
5	6,53	8,57	0,00	7,14	1,63	2,84	3,27	0,00	2,45	0,00

Meno: Peter K.

Poradové č.: 4

Pohlavie: muž

Farba očí: modrá

Vek: 22

Očná vada: žiadna

Tab. 4: Namerané hodnoty z merania osoby č. 4.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	2,23	1,45	3,16	0,00	4,21	1,54	0,00	1,54	5,00	1,24
2	4,23	5,77	7,00	0,38	3,98	3,46	2,12	1,15	1,00	2,69
3	1,00	0,77	5,12	6,92	7,00	2,31	3,55	6,92	8,19	0,77
4	3,09	0,38	7,96	2,69	3,10	6,54	11,00	1,92	4,05	8,08
5	11,00	0,00	0,00	3,48	1,07	1,11	0,00	1,74	4,56	6,32

Meno: Lucia B.

Poradové č.: 5

Pohlavie: žena

Farba očí: modrá

Vek: 20

Očná vada: žiadna

Tab. 5: Namerané hodnoty z merania osoby č. 5.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	3,53	4,29	0,00	2,86	0,39	5,00	2,23	5,13	1,33	2,86
2	1,86	6,43	9,12	6,25	6,76	1,25	4,32	3,75	6,76	8,75
3	4,56	1,00	7,42	1,11	5,16	6,67	0,67	4,47	0,00	4,44
4	4,23	2,78	5,77	3,89	4,23	9,02	5,77	4,71	3,64	11,29
5	8,46	0,00	5,38	2,16	3,11	2,16	6,67	0,00	4,89	0,49

Meno: Peter P.

Poradové č.: 6

Pohlavie: muž

Farba očí: hnedo-zelená

Vek: 21

Očná vada: krátkozrakosť, dioptrie -0,5

Tab. 6: Namerané hodnoty z merania osoby č. 6.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	9,00	12,50	11,43	8,84	8,00	16,28	7,43	8,42	6,86	5,25
2	7,76	2,89	3,56	4,46	7,91	8,18	2,20	3,67	0,45	4,96
3	0,29	1,58	3,71	5,79	6,57	3,68	3,71	1,58	1,28	0,45
4	11,00	8,11	13,29	4,47	5,97	4,53	13,45	9,47	9,11	3,00
5	0,00	4,76	0,98	4,56	3,23	9,47	0,00	0,00	4,52	9,47

Meno: Ján V.

Poradové č.: 7

Pohlavie: muž

Farba očí: hnedá

Vek: 22

Očná vada: krátkozrakosť, dioptrie -2,5

Tab. 7: Namerané hodnoty z merania osoby č. 7.

Meranie	1		2		3		4		5	
Bod	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	0,73	13,30	0,00	8,00	3,60	6,70	8,30	3,75	3,77	6,25
2	5,43	5,77	1,09	9,62	1,22	1,92	1,09	9,62	0,86	1,92
3	1,27	14,00	0,57	7,50	8,49	1,25	3,21	1,21	0,18	6,00
4	4,30	5,00	3,37	2,27	3,84	5,91	0,35	9,55	7,09	1,36
5	6,18	0,00	4,15	3,75	3,40	5,00	3,67	2,14	1,09	5,33

B VYPOČÍTANÉ ŠTATISTICKÉ UKAZOVATELE TESTOVACIEHO PROTOKOLU

Tab. 8: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 1.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	6,39	6,01	12,77	21,36	3,57	4,62
2	3,86	3,80	8,34	12,16	2,89	3,49
3	1,82	6,00	3,96	9,24	1,99	3,04
4	4,63	11,71	21,70	6,70	4,66	2,59
5	3,16	5,45	10,30	14,64	3,21	3,83

Tab. 9: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 2.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	7,29	9,02	15,18	8,53	3,90	2,92
2	2,69	4,46	3,72	10,00	1,93	3,16
3	3,33	4,66	4,45	7,12	2,11	2,67
4	4,33	3,00	6,21	2,66	2,49	1,63
5	0,98	3,09	1,68	8,76	1,30	2,96

Tab. 10: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 3.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	1,63	2,57	5,66	7,67	2,38	2,77
2	3,09	2,89	1,72	8,14	1,31	2,85
3	3,69	3,71	4,78	9,46	2,19	3,08
4	1,48	5,00	1,22	7,76	1,11	2,78
5	2,78	3,71	4,69	12,73	2,17	3,57

Tab. 11: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 4.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	2,92	1,15	3,01	0,34	1,73	0,59
2	3,67	2,69	4,21	3,56	2,05	1,89
3	4,97	3,54	6,46	7,94	2,54	2,82
4	5,84	3,92	9,88	8,44	3,14	2,91
5	3,33	2,53	17,53	4,86	4,19	2,20

Tab. 12: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 5.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	1,50	4,03	1,63	0,99	1,28	1,00
2	5,76	5,29	6,11	6,58	2,47	2,56
3	3,56	3,54	7,90	4,77	2,81	2,18
4	4,73	6,34	0,77	10,60	0,88	3,26
5	5,70	0,96	3,21	0,99	1,79	0,99

Tab. 13: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 6.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	8,54	10,26	2,58	14,35	1,61	3,79
2	4,38	4,83	8,95	3,30	2,99	1,82
3	3,11	2,62	4,80	3,61	2,19	1,90
4	10,56	5,92	7,83	5,99	2,80	2,45
5	1,75	5,65	3,32	12,62	1,82	3,55

Tab. 14: Vypočítané štatistické ukazovatele z merania osoby č. 7.

Bod	Priemerná odchýlka		Rozptyl		Smerodajná odchýlka	
	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]	X [%]	Y [%]
1	3,28	7,60	8,56	10,02	2,93	3,17
2	1,94	5,77	3,06	11,86	1,75	3,44
3	2,74	5,99	9,34	22,35	3,06	4,73
4	3,79	4,82	4,63	8,41	2,15	2,90
5	3,70	3,24	2,65	3,89	1,63	1,97