Obsah:

1. ÚVOD 4
1.1 Obecné použití 4
1.2 Konkrétní použití 5
2. ZPRACOVÁNÍ OBRAZU 7
2.1 Snímání obrazu 8
2.2 Další zpracování 9
2.3 Omezující vlivy 11
2.3.1 Odlesk zdroje světla na lesklých zaoblených plochách 11
2.3.2 Nerovnoměrné nasvětlení předmětu 12
2.3.3 Proměnný jas a kontrast 12
2.3.4 Geometrické zkreslení 12
2.3.5 Šum 13
2.3.6 Vzorkování 13
2.3.7 Posun brýlí 13
2.3.8 Nároky na výpočetní výkon 14
2.4 Filtry 14
2.4.1 Načtení snímku 16
2.4.2 Zobrazení snímku 16
2.4.3 Zobrazení kříže 16
2.4.4 Změna jasu a kontrastu 16
2.4.5 Použití souřadnice 16
2.4.6 Průměry bodů podle os 17
2.4.7 Hranování 18
2.4.8 Poloha minima 19
2.4.9 Prahování 20
2.4.10 Průměr čtverců 21
2.4.11 Rozdíl snímků 22
2.4.12 Tmavé okolí 23
2.4.13 Hledání bílé oblasti 24
2.4.14 Vyhlazení 26

2.4.15 Zaměření křížem....26
2.4.16 Zaměření pomocí hledání obrysu....27
2.4.17 Prohledávání okolí....29
2.5 METODY....29
2.6 Geometrická korekce obrazu....30
2.7 Chyba určení polohy....32
2.8 Výstupní sériové rozhraní....33
3. TESTOVACÍ APLIKACE....34
3.1 Hlavní okno....34
3.2 Výběr zdroje....37
3.3 Náhled....37
3.4 Histogram....38
3.5 Editace metod....39
3.6 Vlastnosti kroku....40
4. ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ....41
5. LITERATURA....43

Seznam obrázků:

Obrázek 1 – Ukázka obrazu robotického systému Orpheus viditelného operátorem .. 6
Obrázek 2 – Blokové schéma řetězce pro určení polohy oční zornice 7
Obrázek 3 – Nákres umístění kamery 8
Obrázek 4 – Snímek získaný z kamery umístěné přímo před okem 10
Obrázek 5 – Snímek oka vyfocený kamerou umístěnou bokem na brýlích virtuální reality.... 11
Obrázek 6 – Ukázka skládání filtrů.... 15
Obrázek 7 – Ukázka filtru výpočtu průměrů podle os 18
Obrázek 8 – Ukázka hranování 19
Obrázek 9 – Ukázka aplikace filtru Prahování 20
Obrázek 10 – Průměrování jasu do čtverců 21
Obrázek 11 – Snímek před výpočtem a po aplikaci filtru.... 23
Obrázek 12 – Snímek oka s referenční značkou 25

Obrázek 13 - Upřesnění polohy pomocí metody Zaměření křížem 27
Obrázek 14 - Upřesnění polohy pomocí metody hledání obrysu 28
Obrázek 15 – Umístění kalibračních bodů na snímku 31
Obrázek 16 – Ukázka geometrické deformace 32
Obrázek 17 – Hlavní okno 35
Obrázek 18 – Okno náhledu 38
Obrázek 19 – Okno histogramu 38
Obrázek 20 – Okno editace metod 39
Obrázek 21 – Okno vlastnosti kroku 40

Seznam tabulek:

Tabulka 1 – Ukázka naměřených hodnot pro korekci geometrického zkreslení 31

Seznam rovnic:

Rovnice 1 – Výpočet hran 18
Rovnice 2 – Výpočet průměru pro vyhlazování 26
Rovnice 3 – Obecné vztahy pro přepočet souřadnic 30
Rovnice 4 – Transformační funkce pro kompenzaci geometrického zkreslení 30
Rovnice 5 – Korekce obrazu podle maxim 36

1. ÚVOD

Jelikož stroje, které lidé vytvořili, nejsou schopny pracovat samostatně, je nutno je nějakým způsobeb ovládat. Nejjednodušší možnost ovládání lidskou bytostí je pomoci rukou. Například při řízení automobilu rukama ovládáme volant a řadící páku. Jelikož však nelze ovládat rukama příliš mnoho prvků najednou, byla snaha využít i jiné části těla. V případě auta jsou také využity nohy pro ovládání plynu, spojky a brzdy. Další lidský výstupní orgán, který dokážeme ovládat je hlas. Hlas by bylo možno dekódovat a využít také k zadávání povelů. Jiná část těla, kterou jsme schopni ovládat je hlava. Pomocí natočení a náklonu hlavy je např. možno ovládat na dálku pohyblivou kameru. Lze však využít i další části těla k ovládání dalších prvků stroje? Většina přímých ovládání je realizováno pomocí pohybu některé části těla (nohy, ruce, hlava, hlasivky a ústa). Poslední zajímavá pohyblivá část těla jsou oči. Právě oči jsou orgán, kterým dokážeme přesně polohovat a umožňuje nám zaměřovat zrak i na předměty, které nejsou přímo před námi bez toho abychom museli natáčet hlavu. Otázkou však je, pro jaký druh řízení lze oči použít, neboť na rozdíl od ostatních jmenovaných částí těla jsou oči určeny primárně pro získávání obrazové informace z okolí. Cílem této práce je prozkoumat možnosti snímání polohy zornice oka a zjistit, pro jaké typy řízení lze oči vůbec použít. Především však prozkoumat algoritmy pro rozpoznávání obrazu a nalezení středu zornice oka pomocí kamery s co nejvyšší přesností.

1.1 OBECNÉ POUŽITÍ

Vyhodnocování polohy zornice oka může mít mnoho použití. Důvody použití očí pro řízení je možnost ovládání pomocí další části těla. To má význam hlavně tam, kde je potřeba ovládat další prvky a nelze již použít z různých důvodů nohy, ruce, hlavu a ústa. Může jít o případ, kdy jsou již využity pro řízení jiných prvků, nebo pokud je člověk hendikepovaný.

Možnosti využití ovládání pomocí očí

- Ovládání polohy kurzoru myši na obrazovce

  Lze využít především pro osoby, které nemohou ovládat myš rukou.

- Automatické natáčení kamery podle místa, na které směřuje zrak

  Je vyhodnocena poloha pozorovaného místa na obraze a následně je natáčena kamera tak, aby se pozorovaný objekt přesunul do středu obrazu. Může být použito jako alternativa k natáčení kamery podle natočení a náklonu hlavy. Vhodné hlavně při pohybu ve virtuální realitě, kdy člověk pozoruje obrazovku a nepohybuje hlavou.

- Měření směru pohledu osoby

  Jsou zaznamenávána místa, na které se osoba dívá. Může sloužit např. pro vyhodnocení poutavosti míst na reklamních materiálech nebo pro zaměření senzorů a dálkové vyhodnocení pozorovaného místa.

- Ostření a přibližování podle změny velikosti zornice

  Lze využít změny velikosti zornice při pohledu na vzdálené a blízké objekty a díky tomu měnit zvětšení obrazu.

- Detekce zavírání očí a mrkání

  Využití např. v automobilovém průmyslu pro zjišťování zda řidič nepřechází do mikrospánku, nebo pro ovládání v závislosti na počtu mrknutí (např. potvrzení operace dvojmrknutím).

- Snímání oční sítnice

  Např. pro bezpečnostní systémy využívající k identifikaci osob snímání oční sítnice.

1.2 KONKRÉTNÍ POUŽITÍ

Tato práce však byla zadána s ohledem na jedno konkrétní použití, a to využití k ovládání obrazových prvků robotického systému Orpheus. U tohoto

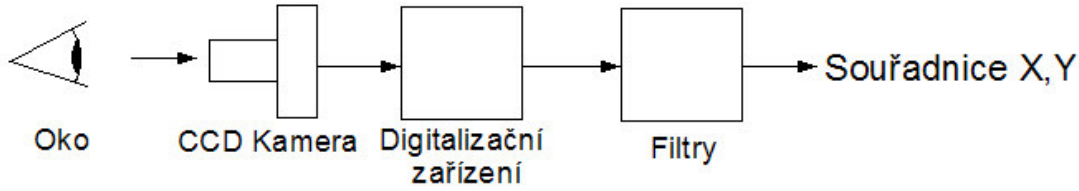
systému má operátor na hlavě nasazené brýle virtuální reality a rukama ovládá dva joysticky. Obraz viditelný operátorem obsahuje mimo obraz snímaný kamerou také několik informačních bloků, které informují o okolních podmínkách jako je např. teplota, dále funkci vnitřních podsystémů a poloze kamery. Díky určení polohy zornice oka by bylo možno např. vybrat některý z těchto postranních panelů pouhým pohledem na něj a měnit jeho vlastnosti.

Obrázek 1 – Ukázka obrazu robotického systému Orpheus viditelného operátorem

I přes možné zjednodušení plynoucí z konkrétní aplikace, zaměřil jsem se na zobecněné zadání, a to získat polohu zornice oka co nejlépe tzn. přesně, rychle a robustně.

2. ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

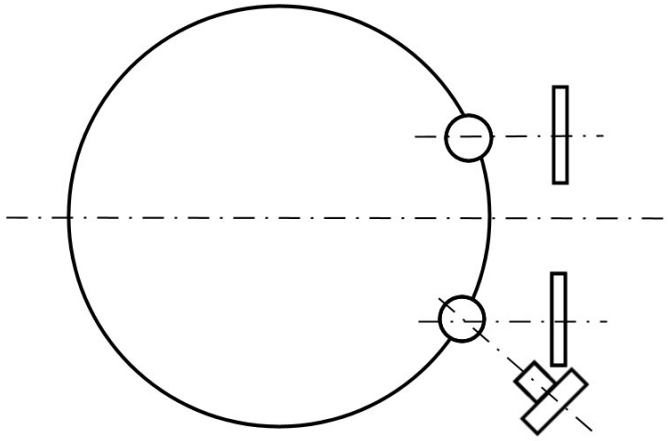
Jedno oko je snímáno miniaturní CCD kamerou, která je připojena k digitalizačnímu zařízení. Toto zařízení je pak napojeno na počítač, který provádí analýzu jednotlivých snímků a získávání výsledných souřadnic. Tyto souřadnice lze pak využít přímo v počítači, a nebo přenést některou sériovou sběrnicí mimo počítač.



Obrázek 2 – Blokové schéma řetězce pro určení polohy oční zornice

Při prvních testech jsem si mohl dovolit umístit kameru přímo před oko. Ve skutečnosti však nelze snímat oko kamerou umístěnou před okem, neboť oči primárně slouží k vidění a kamery by clonila pohledu oka. Reálně není ani možné kameru před oko umístit, protože tento prostor zabírají brýle. Proto je nutné umístit kameru tak, aby snímala oko z bočního pohledu pod určitým úhlem a to buď posunutou horizontálně nebo vertikálně. Výhodnější je horizontální posunutí, protože při posunutí vertikálním cloní kameře víčka a řasy. Posun kamery způsobuje jisté geometrické zkreslení, které je nutno kompenzovat.

Na následujícím obrázku je horního pohledu naznačeno umístění kamery vzhledem k hlavě s očima a dvěma projekčním plochám.



Obrázek 3 – Nákres umístění kamery

2.1 SNÍMÁNÍ OBRAZU

Vhodná kamera je umístěna tak, aby co nejlépe snímala obraz oka. Pro testovací účely lze kameru umístit přímo před oko, v praxi však bude umístěna kamera pod určitým úhlem tak, aby nebránila pohledu osoby. Díky tomu je získaná poloha zornice nelineární. Nelinearita je také způsobena zaobleností oka a soudkovitostí. Nelinearitu je pak nutno kompenzovat. Kameru je nutno upevnit na brýle tak, aby nedocházelo k chvění obrazu, které by způsobovalo přídavnou chybu zjištěné polohy. V praxi to však není dost možné, protože konstrukci brýlí nelze měnit a připoutání brýlí k hlavě je problémové také s ohledem na různé velikosti lidských hlav. Pro správné rozpoznávání obrazu je také vyžadováno rovnoměrné nasvícení oka. To lze zajistit z přídavného zdroje nepřímého světla. Světlo však nemůže být ve viditelném spektru, aby nenarušovalo normální funkci oka. Proto je potřeba zvolit zdroj infračerveného světla.

CCD kamera

Snímač kamery obsahuje matici bodů vytvořených na speciální polovodičové struktuře. Každý bod má schopnost uchovat náboj získaný z dopadajících fotonů. Po expozici jsou všechny řádky přesouvány na konec snímače, kde jsou pak všechny body jednotlivých řádků posouvány ven sériovým výstupem.

Pro správné snímání obrazu je mimo počet obrazových bodů také rozhodující optika. Smyslem optiky je zaměřit snímaný obraz na povrchu senzoru tak, aby nebyl obraz rozostřený a rozkládal se na celém povrchu CCD senzoru. Zvolená miniaturní kamera CCD umožňuje snímat obraz na velmi krátkou vzdálenost až jednotek milimetrů. Avšak konec objektivu kamery připevněné na brýlích je vzdálen od povrchu oka asi 8 mm. Bližší umístění by znamenalo jednak stínění dopadajícího světla na oko a také možný dotyk objektivu s povrchem oka. Objektiv použité kamery lze zaostřit pouze ručně.

Pro potřeby snímání oka plně dostačuje černobílá kamera. Snímáním barev nezískáme žádnou další užitečnou informaci a zvyšuje se tak množství dat, které je nutno zpracovat. Pro přesné určení polohy zornice oka je rozhodující rozlišení kamery. Vyšší rozlišení umožní přesnější zjištění polohy, avšak vede také ke zvýšení množství zpracovaných dat. Pro potřeby testování byla k dispozici černobílá kamera s maximálním rozlišením 720x576 bodů. Tento režim kamery však již využívá prokládání, které posílá střídavě liché a sudé půlsnímky. Při pohybu objektu pak dochází k nepříjemnému efektu, kdy sudé a liché řádky jsou vůči sobě posunuty. Toto však příliš nevadí při statickém snímání oka. Čistý neprokládaný obraz kamera dokáže snímat s maximálním rozlišením 352x288 bodů. Při snímání v maximálním rozlišení při formátu RGB24 (24 bitů) a 25 snímků/sekundu je potřeba přenést teoreticky 31 MB dat za sekundu. Díky prokládání to však je méně, asi 15 MB. Použité digitalizační zařízení bylo připojeno k počítači přes rozhraní USB 2.0, které umožňuje teoreticky přenést až 60 MB/s. Získaný obraz je však potřeba dostatečně rychle zpracovávat tak, aby byla analýza každého snímku dokončena ještě před příchodem dalšího. Při 25 snímcích/sekundu to znamená čas pro zpracování jednoho snímku maximálně 40 ms.

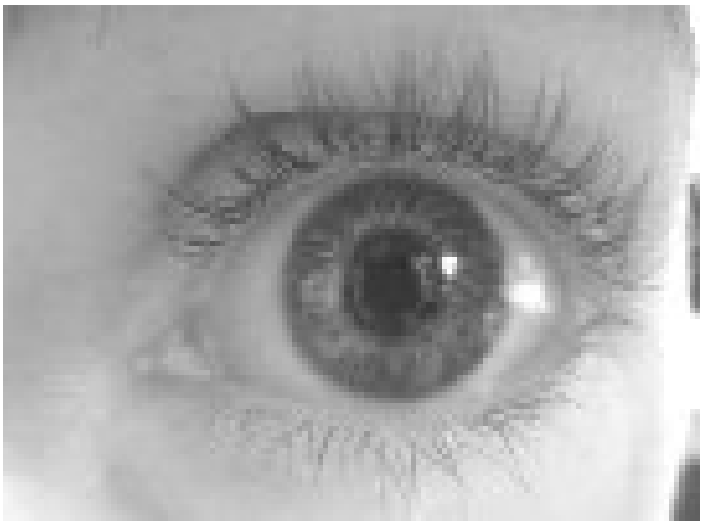
2.2 DALŠÍ ZPRACOVÁNÍ

Z digitalizačního zařízení jsou získávána obrazová data s periodou 1/25 sekundy. Každý snímek je nejprve převeden do úspornějšího formátu neboť pro potřeby vyhodnocování polohy oční zornice není potřeba informace RGB, ale pouze jas. Každý bod je tedy převeden z formátu RGB24 na odstíny šedi o velikosti

zabírající v paměti jeden bajt (256 kombinací) na bod. Tato transformace vede jednak k úspoře obsazené paměti, a jednak k zrychlení výpočtů.

Následně je na takto upravený obraz použita řada filtrů. Tyto filtry je možno řadit za sebe tak, že na konci řetězce získáme hledanou polohu středu oka. Rozdělení na filtry je výhodné především proto, že filtry je možno různě kombinovat a vytvářet z nich metody. Metodou pak nazvěme určitou posloupnost filtrů. Rozdělení na filtry také umožňuje vyhodnocovat časové nároky jednotlivých kroků. První filtr je vždy nastaven jako získávání obrazu z kamery a poslední zpravidla jako zobrazení výsledku.

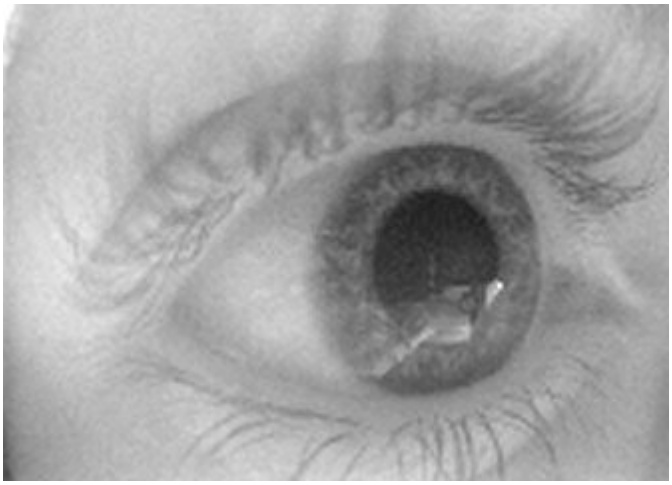
Filtry pro rozpoznávání polohy zornice oka vycházejí z předpokladu, že na zpracovávaném snímku je zachyceno jedno celé oko včetně řas. Důležitý předpoklad je, že největší a nejtmavší plocha ve snímku je právě zornice oka. Proto je potřeba, aby do obrazu nezasahovaly jiné tmavé plochy ležící nejčastěji vedle hlavy nebo za ní. Správně zachycené oko je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 4 – Snímek získaný z kamery umístěné přímo před okem

V reálných aplikacích však nemůže kamera snímající oko ležet přímo před okem, protože by clonila sledovaný obraz. Proto je nutno kameru umístit mimo zorné pole oka. Pak je oko snímáno pod určitým úhlem v horizontální a vertikální ose. Vhodnější je posunout kameru horizontálně, protože v případě posunu vertikálně

kameře cloní víčko a řasy. Pokud je kamera připevňována na brýle virtuální reality, je volba omezena samotnou konstrukcí brýlí.



Obrázek 5 – Snímek oka vyfocený kamerou umístěnou bokem na brýlích virtuální reality

Pro přesné vyhodnocování polohy je nutno, aby se kamera vůči oku nepohybovala a nezanášel se tak přídavná chyba do výsledné polohy. Tohoto však s testovanými brýlemi nelze dosáhnout neboť brýle po čase sklouzávají po čele. Tuto přídavnou chybu by bylo možno odstranit pouze určováním polohy zornice relativně vůči víčkům a řasám což přináší značné komplikace.

2.3 OMEZUJÍCÍ VLIVY

2.3.1 Odlesk zdroje světla na lesklých zaoblených plochách

Povrch očí je lesklý a oči jsou zaoblené. Obě tyto vlastnosti způsobují při nevhodně umístěném bodovém zdroji světla odlesk. Odlesk se projevuje jako silné světlé místo na jinak tmavé zornici. Tento jev silně narušuje postupy rozpoznávání, které vycházejí z faktu, že celá zornice je téměř černá.

Jeden ze způsobů potlačení odlesků je polarizované sklo. Pokud by bylo světlo ze zdroje odlesků polarizované v jednom směru, bylo by možno jej potlačit

kolmo natočeným polarizačním filtrem. Na brýlích virtuální reality jsou použity jako projekční plocha pro oči dva miniaturní LCD panely. LCD panely produkují sice polarizované světlo, avšak polarizační sklo je možno umístit až před objektiv kamery a světlo dopadající ke kameře již není polarizováno neboť polarizace je při odrazu o oko rozptýlena. Navíc světlo dopadající z LCD panelů není jediný zdroj odlesků. Další odlesky přicházejí z okolí neboť prostor mezi projekční plochou, okem a kamerou není zakryt. Tento prostor by bylo možno zakrýt, ale pak by bylo potřeba přídavného nasvícení. Při vypracovávání této práce tato varianta nebyla realizována.

2.3.2 Nerovnoměrné nasvětlení předmětu

Zanáší významnou chybu do získaného obrazu. Lze je rozdělit na celkové a místní. Celková nerovnoměrnost se projevuje v rozdílu jasu mezi protějšími okraji snímku. Do celého snímku zanáší gradientní změnu jasu. Místní nerovnoměrnosti se projevují v částech snímku a jsou způsobeny např. stínem řas, nosem nebo samotným upevněním kamery na hlavě.

2.3.3 Proměnný jas a kontrast

CCD kamera automaticky přizpůsobuje dobu expozice podle světelných podmínek. Díky tomu není nezbytné upravovat kontrast a jas. Jelikož má kamera omezený rozsah kontrastu, způsobuje problémy příliš kontrastní dopadající světlo. Další problém pak vzniká během procesu rozpoznávání díky změně okolních světelných podmínek např. v případě, že je v místnosti rozsvíceno nebo se operátor otáčí s brýlemi vůči silnému zdroji světla jako je třeba okno.

2.3.4 Geometrické zkreslení

Při snímání kamerou dochází ke geometrickému zkreslení obrazu, které způsobuje zaoblení hran a přitažení rohů snímků ke středu. Tento jev je možno kompenzovat, ale protože snímané oko je od kamery vzdáleno jen málo a při výpočtech se nevyužívají rohy obrazu, soudkovitost nemá podstatný vliv. Větší problémy však způsobuje to, že kamera musí snímat oko ze strany. Toto zkreslení

bylo nutno vykompenzovat. Proto je nutné před používáním aplikace nejdříve souřadnice zkalibrovat. Kompenzace geometrického zkreslení je popsána dále. Úhel, z kterého kamera oko snímá, závisí na proporcích 3D brýlí. Mnohem výhodnější je však snímat oko kamerou posunutou horizontálně. Pokud by byla kamera upevněna pod brýlemi a snímala oko zespodu, oko by clonilo víčko s řasami.

2.3.5 Šum

Obraz snímaný CCD kamerou je zatížen zvláště při slabém osvětlení znatelným šumem. Filtrování šumu není nikterak nový problém a pro jeho potlačení byla vytvořena řada metod. Šum lze odstranit metodami jako jsou průměrování, konvoluční filtr, filtrace mediánem, despeckle (odzrnění). Pokud jsou však tyto metody aplikovány plošně na celý snímek, vyžadují značný výpočetní výkon, který není vzhledem k použitému hardware k dispozici.

2.3.6 Vzorkování

Přesnost rozpoznání polohy zásadně ovlivňuje rozlišení kamery. Kamera je nastavena tak, aby snímala jedno celé oko. Zjištěný střed oka se však pohybuje jen na malé části snímku. Díky tomu je rozlišení získaných souřadnic znatelně menší než rozlišení kamery (asi 30 % z rozlišení celého snímků). Tato vysoká nepřesnost se pak také projeví na přepočtených souřadnicích obrazovky.

2.3.7 Posun brýlí

Velký problém určení polohy zornice oka způsobuje posouvání brýlí virtuální reality na hlavě. Brýle nejsou k hlavě připevněny napevno a vlivem váhy sjíždějí dolů. Tento vertikální posun je při dívání se na projekční plochu zanedbatelný. Avšak při snímání oka i malý posun způsobí posun y souřadnice o několik bodů na snímku a dále pak o mnoho více bodů na obrazovce. Posun x-ové souřadnice není tak významný.

2.3.8 Nároky na výpočetní výkon

Kvalitní analýza obrazu vyžaduje velké množství výpočetních operací. Při rychlosti zpracování 25 snímků za sekundu je nutno stihnout zpracování jednoho snímku za 40 ms. Při rozlišení snímku 720x576 nelze použít složitější algoritmy. Testování bylo prováděno na osobním počítači s procesorem AMD Athlon XP 2500+ a i tak bylo nutno některé algoritmy zjednodušit a nebo vůbec nepoužít. Algoritmy zapsané v čitelné abstraktní formě bylo nutno zrychlit optimalizací a tím zesložitit.

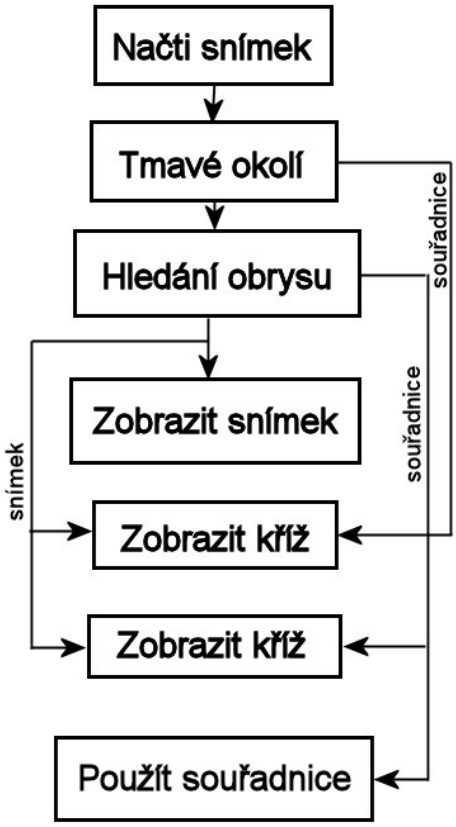
Prvotním záměrem bylo realizovat algoritmus rozpoznání pomocí signálového procesoru. Vzhledem k nedostatku výkonu na osobním počítači by bylo obtížné převést program do této jednotky. Jako zajímavé řešení se ukázalo použít tzv. embedded PC (vestavěný počítač), který může být také osazen výkonným procesorem, má potřebné vstupy a výstupy a je na něm nainstalován operační systém Windows.

2.4 FILTRY

Filtr je logický blok, který může mít několik vstupů a výstupů a provádí mezi nimi definovanou transformaci. Filtry lze mezi sebou spojovat a vytvářet z nich tak řetězce. Různě sestavené řetězce vytvoří metody rozpoznávání polohy zornice oka. Každý filtr může mít vlastnosti, kterými lze upravit jeho chování. Tento systém provádění výpočtů pomocí kombinování bloků není nic neobvyklého. Jde o realizaci tzv. modulárního systému. Tento přístup je také zvolen pro vykreslování videa a audia v rozhraní DirectX, konkrétně pak v podskupině DirectShow.

Na následujícím obrázku je ukázáno blokové uspořádání filtrů, které v této konfiguraci tvoří jednu metodu. Na tomto schématu je vidět, že každý filtr může mít více vstupů a výstupů, které jsou napojeny na další filtry. Každý vstup/výstup má svůj typ, který může být snímek, souřadnice nebo jiný nadefinovaný typ. Lze propojovat pouze vstup výstup stejného typu. Filtry jsou prováděny shora dolů. Filtr Načti snímek produkuje pouze výstupní snímek. Filtr Tmavé okolí tento snímek načítá a vytváří na výstupu další upravený snímek a zjištěné souřadnice. Filtr Hledání obrysu zde slouží k upřesnění polohy. Filtr Zobrazit snímek vykreslí snímek do okna

Náhled a filtry Zobrazit kříž vykreslí do stejného okna zvolenou barvy kříž. Filtr Použít souřadnice ovládá kurzor myši, kompenzuje geometrické zkreslení a průměruje souřadnice.



Obrázek 6 – Ukázka skládání filtrů

Filtry lze rozdělit na filtry plošné, které provádí určitý výpočet pro každý bod obrazu, a na filtry bodové, které provádějí výpočet jen pro některé body. Plošné filtry používají hrubou sílu a jsou oproti bodovým více náročné na výkon. Plošné filtry jsou použity při detekci polohy zornice oka v první fázi pro předzpracování obrazu a pro orientační zjištění polohy středu. Jde např. o filtry Změna jasu a kontrastu, konvoluční filtry, Prahování a Hranování. Plošné filtry také trvají zpravidla pokaždé stejnou dobu. Naproti tomu bodové filtry provádějí výpočty jen nad několika body a jsou méně náročné a doba jejich provádění se může dynamicky měnit. Bodové filtry

jsou např. Zaměření středu křížem a Hledání obrysu. Tyto dva patří do skupiny filtrů pro zpřesnění polohy.

2.4.1 Načtení snímku

Tento filtr pouze načítá obrazová data z kamery s využitím rozhranní Direct Show a převádí je do potřebné datové struktury s jedním bajtem na pixel a tedy s 256 úrovněmi šedi.

2.4.2 Zobrazení snímku

Zobrazování snímku se provádí pomocí rychlé API funkce OS Windows do okna Náhled.

2.4.3 Zobrazení kříže

Pro grafické znázornění získaného středu tento filtr vykresluje do okna Náhled kříž definované barvy.

2.4.4 Změna jasu a kontrastu

Tento filtr mění hodnoty obrazových bodů podle zadané změny jasu a kontrastu. Vzhledem k proměnlivým světelným podmínkám lze využít pro korekci jasu a kontrastu. Většina CCD snímačů se však dokáže přizpůsobovat intenzitě okolního světla a umí automaticky měnit jas. Kontrast je u CCD snímačů dosti omezený. Filtr může mít význam v kombinaci s jinými filtry. Např. pro zvýraznění kontrastu po provedení Hranování nebo Rozdílu snímků. Jas a kontrast je možno nastavit ručně na konkrétní hodnoty a nebo zapnout automatické získávání optimálních parametrů z obrazu.

2.4.5 Použití souřadnice

Tento filtr provádí korekci polohy, průměrování a demonstrační nastavování polohy kurzoru myši. Korekce polohy spočívala nejdříve v získání maximálních

možných souřadnic a jejich přepočtení pomocí posunu a změny měřítka na souřadnice obrazovky. V další verzi je pak přepočtení souřadnice prováděno pomocí geometrické transformace. Počet kroků průměru a ovládání polohy kurzoru myši lze nastavit v hlavním okně.

2.4.6 Průměry bodů podle os

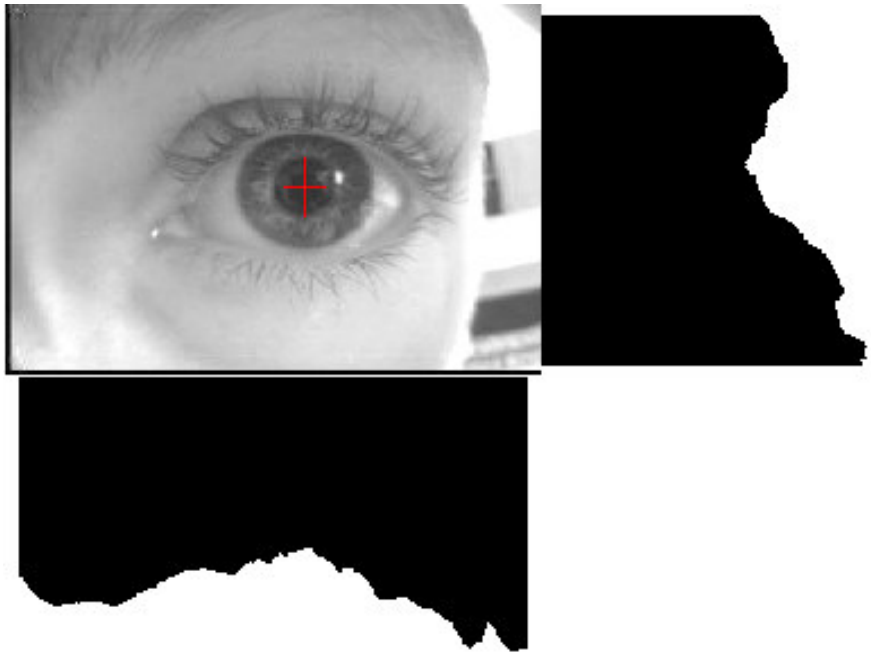
Tento mechanizmus počítá zvlášť průměry bodů po horizontálních a vertikálních linkách. Výsledkem jsou pak dva vektory. Jeden o velikosti šířky snímku a druhý o velikosti výšky snímku. Nalezením minima v těchto vektorech lze pak určit polohu nejtmavějšího místa v ose x a y. Výsledek této metody však není dosti přesný. Je zatížen chybou způsobenou ostatními tmavými oblastmi, neboť průměrování probíhá přes celý snímek. Chybu především způsobují tmavé řasy a tmavé předměty na pozadí mimo obličej, pokud není kamera správně nasměrována přímo na celé oko. Chyba způsobená řasami se projevuje více na vertikálním histogramu neboť řas jsou rozprostřeny horizontálně. Další chyba, kterou lze obtížně odstranit je chyba způsobená nerovnoměrným nasvětlením oka. Gradient jasu negativně ovlivňuje rozpoznání nejtmavšího místa v histogramu.

Výhody:

- Malé nároky na výpočetní výkon

Nevýhody:

- Nepracuje lokálně, jiné velké i malé tmavé objekty negativně ovlivňují výsledek
- Potřeba rovnoměrného osvětlení
- Určení polohy ve vertikální rovině narušují řasy
- Nedokáže zaměřit střed přesně, jde o filtr s hrubým určením polohy



Obrázek 7 – Ukázka filtru výpočtu průměrů podle os

2.4.7 Hranování

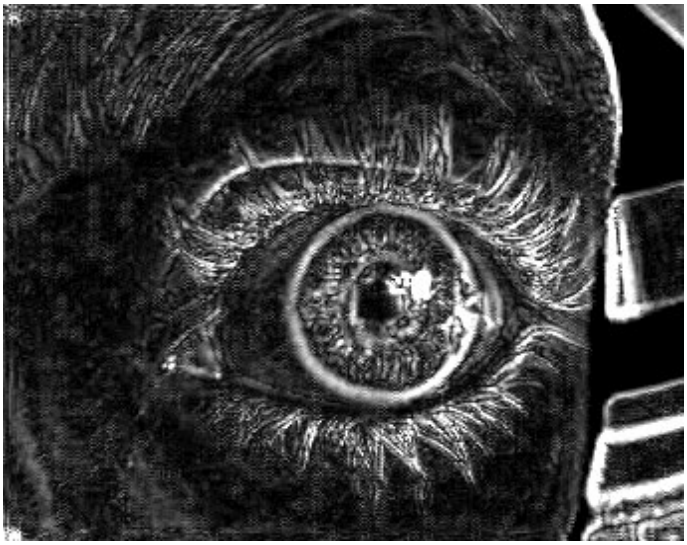
Detekce hran spočívá ve výpočtu intenzity změny jasu bodů snímku. Pro zjednodušení jsou v tomto filtru vypočítány body vztahem

$$F(x,y) = \frac{\big(f(x,y) - f(x+n,y)\big) + \big(f(x,y) - f(x,y+n)\big)}{2}$$

Rovnice 1 – Výpočet hran

kde F(x,y) je nový bod, x a y jsou souřadnice zpracovávaného bodu a n je vzdálenost mezi testovanými body.

Parametr n by mohl být pro jednoduchost 1, avšak ukázalo se, že pro snímky s vyšším rozlišením by při rozdílu sousedních bodů by nebyly hrany dostatečně výrazné. Proto je parametr n vypočítáván vzhledem k rozlišení snímku. I tak je vhodné zařadit za tento filtr korekci jasu a kontrastu.



Obrázek 8 – Ukázka hranování

Takto získaný obraz však nezjednodušuje proces hledání středu. Jak je ukázáno na obrázku výše, pokud do snímaného obrazu zasahuje okolí, dostávají se zde cizí hrany, které je pak náročné odlišit od správných. Na tomto obrázku je také vidět, že by bylo možné zaměřit kružnici vzniklou na přechodu tmavé a světlé části oka. To je však obtížné vzhledem k možnému částečnému překrytí kružnice víčky, deformací kružnice odlesky a také změnou velikosti a tvaru této hrany při natáčení oka.

2.4.8 Poloha minima

Tento jednoduchý filtr pouze hledá souřadnice obrazového bodu s nejnižším jasem.

Výhody:

- Velmi rychlý algoritmus

Nevýhody:

- Nepotlačuje šum

- V případě více bodů se stejným minimálním jasem volí první nalezený bod
- Upřednostňuje tmavší a menší oblasti před zornicí oka, která nemusí být nejtmavší

Celkově je tato metoda vhodná spíše pro nalezení globálního minima nebo maxima v oblasti, kde je námi hledaný extrém jediný.

2.4.9 Prahování

Tento filtr prování přepočet celého snímku na dvoubarevný snímek. Výsledný snímek bude černobílý a černá barva bude dosazena za body, které leží pod zvolenou hranicí. Hranice mohou být také dvě a pak černá barva bude dosazena za body ležícími mezi hranicemi. Ostatní body budou bílé.

Jelikož zornice oka je prakticky nejtmavší oblast na snímku, dokáže tento filtr potlačit okolí a zvýraznit samotnou zornici. Problém však spočívá ve zvolení prahu jasu, který bude zvýrazněn. Tato rozhodovací úroveň jasu závisí na světelných podmínkách okolního prostředí. Navíc se může v obraze projevit nerovnoměrnost nasvětlení oka, bočním osvětlením a stíny.

Obrázek 9 – Ukázka aplikace filtru Prahování

Výhody:

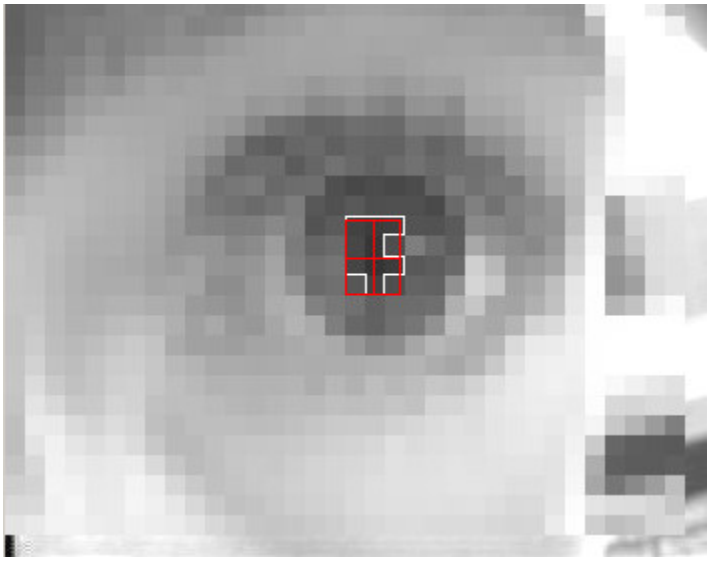
- Velmi rychlý algoritmus

Nevýhody:

- Nepotlačuje šum
- Pro zjištění středu je potřeba použít další krok
- Nutno stanovit práh
- Závislost na světelných podmínkách, problém se stíny

2.4.10 Průměr čtverců

Toto je další zajímavá metoda, jak zvýraznit větší tmavou oblast oproti menším třeba i tmavějším oblastem. Filtr jednoduše počítá průměr čtvercových oblastí v mřížce přes celý obraz. Díky tomu lze pak snadno rozpoznat větší nejtmavší místo. Metoda je velmi rychlá, protože prochází všechny body pouze jednou. Nevýhodou je pak především nepřesnost odhadu, protože odhadované nejtmavší místo leží někde uvnitř čtverce.



Obrázek 10 – Průměrování jasu do čtverců

Bílou barvou je zde naznačen rozpoznaný obrys. Rozpoznávání obrysu probíhá v původním obraze, zde je jen pro ilustraci aplikován přímo do výsledného

obrazu. Velikost čtverce je nutno stanovit na základě rozlišení obrazu kamery a velikosti zornice např. jako 10 % z výšky obrazu.

Výhody:

- Rychlý a nenáročný algoritmus
- Spolehlivá metoda
- Potlačení šumu průměrováním

Nevýhody:

- Určuje polohu jen v rámci mřížky dané velikostí buněk
- Nezohledňuje kruhový tvar zornice
- Vhodná velikost kroku je závislá na rozlišení a na velikosti zornice oka

2.4.11 Rozdíl snímků

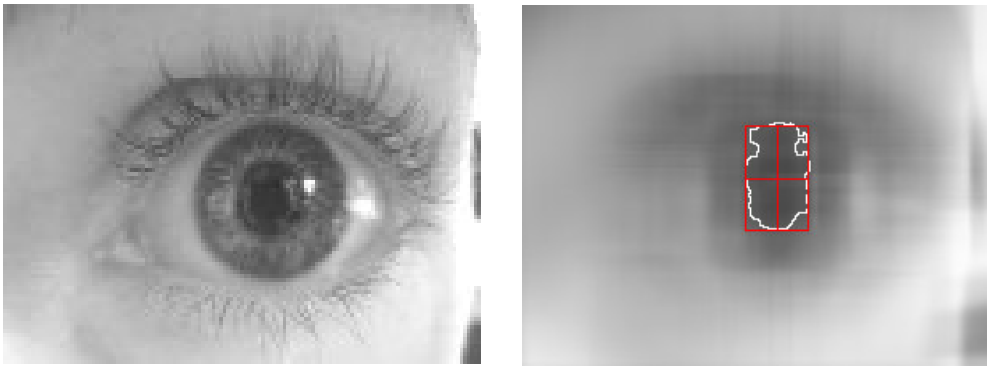
Tento filtr počítá rozdíl mezi aktuálním a předchozím snímkem. Tímto výpočtem získáme nový snímek, ve kterém budou zvýrazněna místa, která v čase změnila svůj jas. Při statickém snímání oka se takto projeví právě zornice oka, která se při zaměřování pohledu pohybuje. Navíc se však pohybují také řasy a víčka, což způsobuje problém. Tento filtr by pak bylo možno použít pro omezení oblasti snímku, kde by byla zornice hledána a tím bychom mohli ušetřit výpočetní výkon. Na druhou stranu samotný výpočet rozdílu snímků také vyžaduje jistý výkon, takže výsledný efekt není jednoznačný.

Tento filtr by teoreticky bylo možno použít také pro detekci posunu brýlí vůči oku, neboť při vertikálním spadávání brýlí by se projevili změny jasu na rozdílovém snímku. Toto řešení je však příliš náročné a nejisté vzhledem k množství šumu v obraze.

Filtr lze také využít pro detekci mrkání. Při mrknutí dochází v krátkém čase k značnému posunu víček, což se projeví významně právě u rozdílového snímku.

2.4.12 Tmavé okolí

Jde o transformaci, která provádí výpočet nových bodů obrazu podle určité konvoluční matice. Pro každý bod je prakticky vypočten průměr bodů daných ortogonálním křížem se zadaným rozpětím. Tzn. při rozpětí 20 bodů je průměrováno 10 bodů v každé ze světových stran. Hlavní výhoda tohoto filtr je, že tímto způsobem je možno zaměřit velkou tmavou plochu a vyloučit tak sice tmavší, ale menší místa, která se nepodobají kulaté zornici. Algoritmus by měl průměrovat přes celou kruhovou plochu, ale vhledem k rychlosti výpočtu jsou průměrovaný jen body v ose x a y. I tak je algoritmus pomalý, protože počítané kříže se navzájem překrývají a každý bod je počítán vícekrát podle délky kříže. Proto bylo nutno provést optimalizaci, která nakonec velmi snížila množství potřebných výpočtů a tak tuto metodu povýšila na první místo. Velikost kříže by měla být nastavena nejlépe na velikost zornice. Toho se dá dosáhnout předpokladem, že velikost kříže bude např. 10 % bodů z výšky obrazu.



Obrázek 11 – Snímek před výpočtem a po aplikaci filtru

Tento obrázek ukazuje obraz před a po provedení transformace. Je zde dobře vidět, že i tmavá oblast vpravo dole byla potlačena, protože není dostatečně velká. Na obrázku vpravo lze také pozorovat jemné linie způsobené tmavými řasami. Jako vedlejší efekt se zde výhodně projevuje potlačení šumu průměrováním.

Výhody:

- Zohledňuje kruhový tvar zornice
- Nejspolehlivější metoda
- Dobrá schopnost filtrovat šum, pokud se dále pracuje s výsledným obrazem
- Oproti obecné konvoluční matici lze výpočet dobře optimalizovat

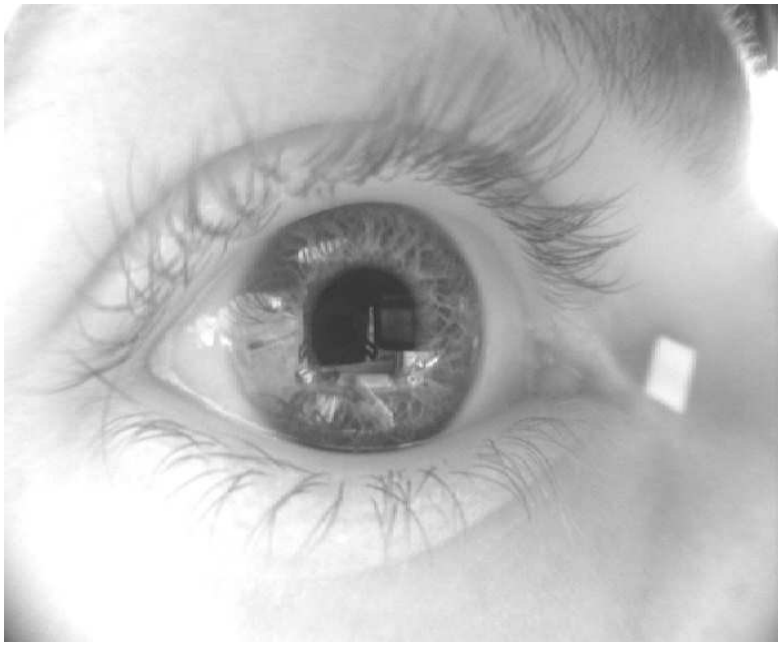
Nevýhody:

- Trochu náročnější a komplikovanější
- Nutnost volit rozpětí kříže podle rozlišení obrazu a velikosti oka

2.4.13 Hledání bílé oblasti

Cílem tohoto filtru je nalézt souřadnice bílé oblasti uměle umístěné poblíž koutku. Jde o bílou nálepku umístěnou na takovém místě, které se nehýbe vůči kameře. Smyslem tohoto umělého bodu je kompenzace aditivní chyby způsobené především vertikálním posunem brýlí vůči hlavě. U všech předchozích metodách je totiž určována poloha zornice absolutně vůči okrajům snímku. Pokud se brýle posouvají po čele, zvyšuje se aditivní chyba souřadnic. Tuto chybu je možné odstranit určováním souřadnic relativně vůči vztažnému bodu. Protože žádný takový výrazný bod okolo oka není, je nutno bod vytvořit uměle. Volba barvy, velikosti a tvaru není prakticky omezena. Zde byla pro jednoduchost použita bílá nálepka.

Tato metoda hledá souřadnice bodu jako polohu bodu s maximálním jasem. Jak je vidět na následujícím obrázku, velmi světlé místa také prosvítají na pravém okraji snímku. Proto byly hranice prohledávané oblasti omezeny tak, aby hledaný referenční bod byl jediný globální extrém.



Obrázek 12 – Snímek oka s referenční značkou

Od souřadnic zornice oka je pak odečtena poloha referenčního bodu a výsledné souřadnice jsou pak relativní vůči tomuto bodu. Přesnost výsledné souřadnice je však nižší neboť k chybě souřadnic zornice se přičítá chyba souřadnic referenčního bodu. Navíc při praktických zkouškách nebyla metoda dostatečně odolná vůči vertikálnímu posunu brýlí, protože při posunu brýlí se mění úhel, pod kterým kamera snímá oko. To má za následek různé změny v obraze jako přivírání a otvírání víček, posunu odlesků a změnu nasvícení oka. Celkově se pak ukázalo, že tento druh kompenzace chyby není dostatečný a je nutno vymyslet jiné lepší postupy.

Výhody:

- Kompenzuje aditivní chybu souřadnic přepočtem souřadnic na relativní
- Značku lze zvolit podle potřeby

Nevýhody:

- Nutno umístit k oku značku

- K chybě polohy zornice se přičítá chyba polohy značky
- Neřeší všechny chyby, které se projevují při pohybu brýlí
- Vyžaduje další výpočetní výkon

2.4.14 Vyhlazení

Tento filtr provádí nejjednodušší operaci pro odstranění šumu, a to průměrování. Průměrování bodů je počítáno jednoduchým vztahem:

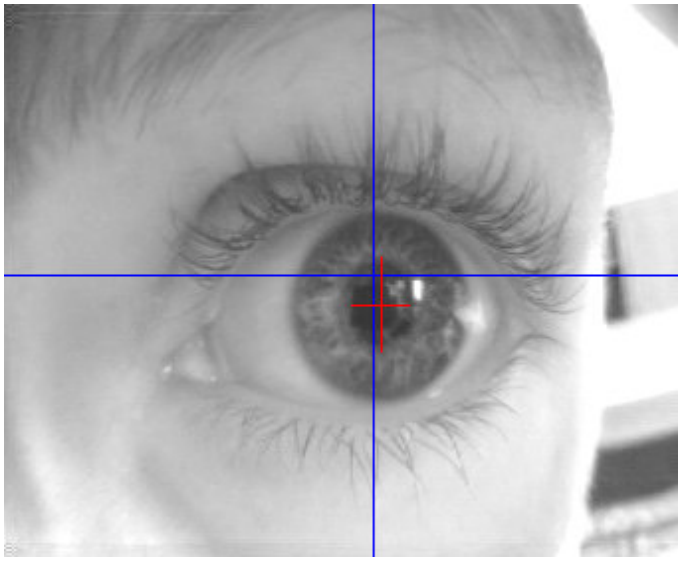
$$F(x, y) = \frac{f(x, y) + f(x+1, y) + f(x, y+1)}{3}$$

Rovnice 2 – Výpočet průměru pro vyhlazování

Tato metoda je však plošná a tím také výpočetně náročná. Odstranění šumu není dostatečné, a proto metoda nebyla nakonec využita. K odstranění šumy by bylo potřeba použít složitější algoritmy jako je filtrace mediánem, konvoluční gaussovou maticí nebo třeba rotující maskou.

2.4.15 Zaměření křížem

Tato metoda je založena na testování bodů ve směrů světových stran do chvíle než jas testovaného bodu překročí toleranci jasu vůči hlavnímu bodu. Postupuje tedy ve čtyřech směrech po jednotlivých bodech dokud nenarazí na bod, který již není v toleranci. Výhoda metody je bezesporu rychlosti, protože oproti dalšími dvěma metodami testuje nejmenší počet bodů a algoritmus je nejméně náročnější. Tato metoda se však nedokáže vyrovnat s případným odleskem, který velmi často leží blízko středu zornice. Pro upřesnění je možno tuto metodu provádět i vícekrát.



Obrázek 13 - Upřesnění polohy pomocí metody Zaměření křížem

Modrá čára značí střed oka získaný metodou Tmavé okolí a červený kříž ukazuje jak byly rozpoznány okraje oka pomocí metody Zaměření křížem.

Výhody:

- Rychlá metoda
- Možno aplikovat vícekrát pro větší zpřesnění

Nevýhody:

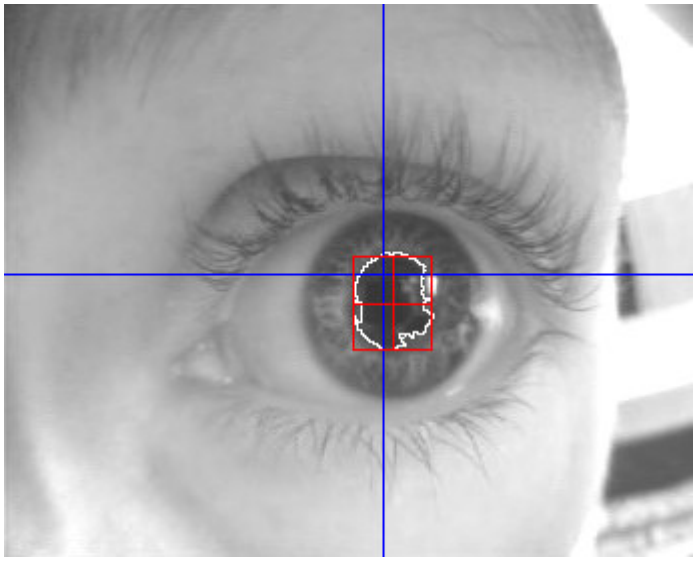
- Závislost na jasu výchozího bodu a zadané toleranci
- Nedokáže se vypořádat s odleskem
- Je nutno volit toleranci, která je ale také závislá na kontrastu

2.4.16 Zaměření pomocí hledání obrysu

U této metody je nejdřív nalezen počáteční obrysový bod podobně jako u předchozí metody. Každý další bod je nalezen kontrolou sousedících bodů proti

směru hodinových ručiček. Pokud některý z bodů vyhovuje tolerančnímu pásmu, je na něj přemístěn ukazatel. Při každém přechodu na nový bod je ukazatel směru otočen ve směru hodinových ručiček. To způsobí, že hledací bod se bude snažit zahýbat stále doprava. Absolvovanou cestu je vhodné si označit, abychom věděli, které body byly již testovány. Označení však nepočítá s tím, kdy ze startovního bodu se lze vydat pouze dvěma protilehlými směry. V takovém případě by totiž dospěl hledací bod pouze zpět k startovnímu bodu a neprohledal by druhou větev. Další problém je, že okraje tolerančního pásma jsou především vlivem šumu kostrbaté a obsahují výběžky o šířce jeden bod. Kdyby byla zakázáno procházet znovu již prošlou cestou, znamenalo by to, že by terčík uvízl ve slepé uličce. Proto je nevýhodnější kontrolovat zda hledací bod nedospěl zpět do startovací pozice se stejným směrem s jakým z něj vycházel.

Výsledný střed je pak možno určit dvěma způsoby. Buď jako polovina mezi maximální a minimální procházenou hodnotou nebo jako průměr poloh všech bodů.



Obrázek 14 - Upřesnění polohy pomocí metody hledání obrysu

Modrá čára opět vyznačuje polohu nejtmavšího místa. Bílá křivka ukazuje trasu na okraji toleranční oblasti a červená zobrazuje ohraničení této oblasti a její střed.

Výhody:

- Dokáže analyzovat obrys zornice
- Dokáže obejít odlesk, pokud leží uvnitř
- Lze provést vícekrát

Nevýhody:

- Pomalejší než Zaměření křížem
- Závislá na jasu počátečního bodu a toleranci
- Je nutno volit toleranci

2.4.17 Prohledávání okolí

Metoda prohledávání okolí předpokládá znalost velikosti objektu. V určeném okolí se započítají vybrané body a podle jejich rozložení lze klasifikovat povahu objektu. Výhoda metody spočívá v tom, že dokáže pracovat i z přerušenými objekty. V případě zornice oka k přerušením dochází především vlivem odlesků. Protože velikost oka dopředu neznáme, není tato metoda vhodná. Navíc patří mezi výpočetně náročnější plošné metody oproti dvěma předchozím.

2.5 METODY

Sestavené metody vycházejí z některých hlavních filtrů. Každá metoda obsahuje jako první filtr Načtení snímku. Zatímco pro hrubé určení polohy slouží metody Tmavé okolí, Průměry čtverců, Průměry podle os a Prahování, pro upřesnění polohy v dalším kroku lze použít Zaměření křížem nebo Zaměření hledáním obrysu. Doplňkový filtr, který lze přidat ke všem metodám je pak Hledání bílé oblasti pro korekci chybu způsobené posunem brýlí.

Nejvýhodnější metoda je složená z filtrů Načtení snímku, Tmavé okolí, Hledání obrysu, Použití souřadnice s geometrickou korekcí, případně Zobrazení snímku a křížů. V tomto uspořádání s maximálním rozlišením kamery 720 x 576 byla chyba po průměrování 5 vzorky asi 10 % z výšky obrazu obrazovky. Určení

polohy však není dostatečně robustní a pokud je do řetězce zařazen filtr Hledání bílé oblasti pro přepočet absolutních souřadnic na relativní vůči referenčnímu bodu, je chyba již větší než 20 %, což je pro potřebnou aplikaci neúnosné.

2.6 GEOMETRICKÁ KOREKCE OBRAZU

Obraz snímaný kamerou je zatížen chybou, která způsobuje, že získaná poloha zornice oka na snímku poměrově neodpovídá poloze zornice oka ve skutečnosti. Zkreslení je způsobeno jednak soudkovitostí obrazu a také kulovým tvarem oka a jeho umístěním a možném natočení vůči kameře. Soudkovité zkreslení by bylo možno kompenzovat statickou transformací, která by obraz vyrovnala. Avšak zkreslení způsobené okem může být pro různé osoby proměnlivé, a proto je potřeba před použitím systému provést kalibraci získaných souřadnic.

Korekce spočívá v přepočtu získaných souřadnic zornice oka ve tvaru:

$$x_1 = f_x(x_0, y_0)$$
$$y_1 = f_y(x_0, y_0)$$

Rovnice 3 – Obecné vztahy pro přepočet souřadnic

Jako transformační funkci jsem zvolil funkci:

$$f = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 y + a_4 y^2 + a_5 xy$$

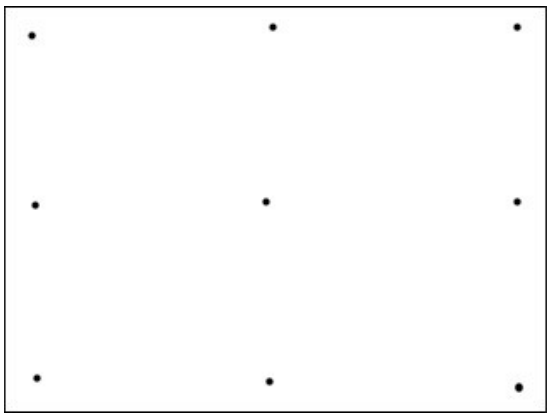
Rovnice 4 – Transformační funkce pro kompenzaci geometrického zkreslení

Kalibrace pak spočívá v získání tabulky sobě odpovídajících bodů v systému 0 a 1. Systém 0 je obrazová plocha v počítači a systém 1 jsou snímky získané z kamery. Získaná tabulka bodů může vypadat např. takto:

Tabulka 1 – Ukázka naměřených hodnot pro korekci geometrického zkreslení

Pořadí	x_0	y_0	x_1	y_1
1	211	108	34	14
2	214	96	32	359
3	226	60	36	756
4	204	63	539	753
5	183	60	1001	745
6	172	100	1005	344
7	174	109	1011	28
8	191	110	491	13
9	188	93	503	328

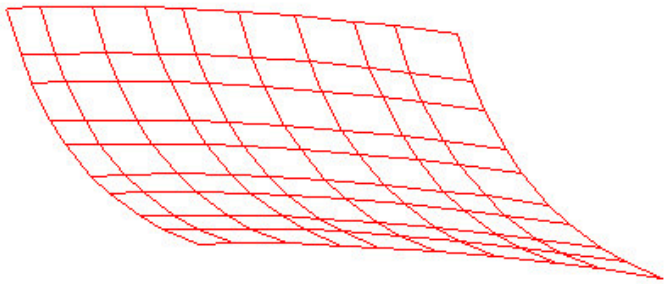
Vhodný počet změřených bodů by měl být alespoň 9, neboť je potřeba dostatečně zachytit proporce obrazu. Více bodů zpřesní transformační funkce. Umístění bodů je naznačeno na následujícím obrázku.



Obrázek 15 – Umístění kalibračních bodů na snímku

Získání hodnot bodů je prováděno tak, že uživatel umístí ukazatel myši do bodu, který chce měřit, podívá se na něj a aktivuje zaznamenání bodů do tabulky. Jde tedy o zaznamenání změřené a skutečné polohy.

Získané souřadnice lze pak metodou nejmenších čtverců použít k určení koeficientů transformační funkce. Příklad získané geometrické transformace je na následujícím obrázku.



Obrázek 16 – Ukázka geometrické deformace

Tato korekce tedy kompenzuje jak chybu kamery, tak chybu vzniklou vlastnostmi oka uživatele.

2.7 CHYBA URČENÍ POLOHY

Celkovou chybu je možno uvádět v obrazových bodech nebo v procentech. Skládá se ze samotné chyby určení polohy, která je způsobena hlavně změnou geometrie oka a šumem. Tu je pak potřeba přepočítat vzhledem k geometrické transformaci. Chyba způsobená touto transformací je při maximálním rozlišení kamery 720 x 576 bodů a rozlišení obrazovky 1024 x 768 bodů vysoká. Je to způsobeno tím, že z celého snímku je pro určení polohy využito jen asi 30 % plochy. Díky tomu při uvedených rozlišeních odpovídá jednomu bodu na kameře asi 8 bodů na ploše obrazovky.

Vzhledem k tomu, že dochází k redundanci souřadnic při přepočtu ze souřadnic kamery na souřadnice obrazovky, neboť jeden bod je přepočten na n bodů na obrazovce, bylo by vhodné nějak zvýšit přesnost polohy. Pro tyto účely lze výhodně využít dithering. Ten spočívá v přidáním malého šumu do signálu před jeho kvantováním. Díky tomu nedojde k takové ztrátě informací. Pokud je takto kvantované hodnotě přidána redundantní složka a je následně zprůměrována, získáme přesnější hodnotu, než tu, kterou jsme dostali hned po kvantování. V našem případě je šum již v obraze obsažen přirozeně, takže stačí již jen průměrovat. Šum

sice není takový, jaký bychom pro potřeby ditheringu potřebovali, i tak však mírně zlepšuje přesnost polohy.

Průměrování získaných souřadnic je výhodné kvůli odstranění šumu. Avšak průměrování zmenšuje rychlost odezvy. Rozumný počet vzorků průměru vzhledem k rychlosti zpracování 25 snímků za sekundu je asi 5-10.

2.8 VÝSTUPNÍ SÉRIOVÉ ROZHRANÍ

Každou získanou polohu zornice oka aplikace lze odeslat na vybraný port sériového rozhraní. Poloha je odesílána v ASCII formátu jako řetězec ukončený nulou. Řetězec obsahuje polohu ve formátu „x,y“, tedy např. „124,65“.

3. TESTOVACÍ APLIKACE

Pro potřeby testování jsem vytvořil v prostředí Delphi aplikaci, která umožňuje zobrazovat a zpracovávat obraz z kamery nebo z video souboru. Aplikace byla vytvořena pod operačním systémem Windows, který disponuje funkcemi pro práci s multimédii. Konkrétní rozhraní pro práci s digitalizačními zařízeními se jmenuje DirectShow a umožňuje mimo jiné obecný přístup ke kamerám a video souborům. Jelikož Delphi neobsahuje komponenty pro práci s rozhraním DirectShow, použil jsem volně dostupnou knihovnu DSPack.

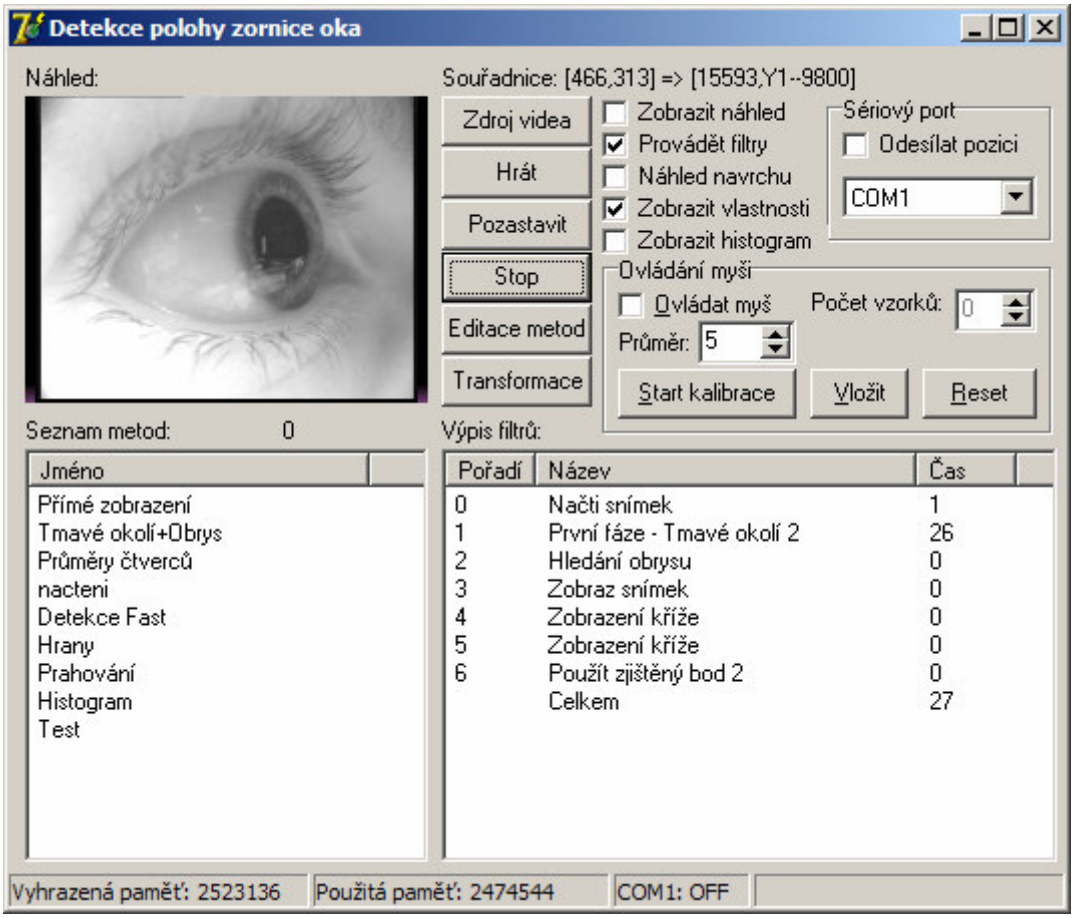
Při testování vhodných algoritmů pro rozpoznávání polohy zornice oka se ukázalo jako výhodné rozdělit jednotlivé algoritmy do logických kroků. Jednotlivé transformační a vykreslovací funkce jsem nazval Filtry, podobně jako jsou používány filtry v případě rozhraní DirectShow. Skládáním filtrů je pak možno dospět různými způsoby k požadovanému výsledku. Testovací aplikace umožňuje vytvořit si různé Metody a přiřadit k nim řetězec filtrů.

Testovací aplikace také umožňuje ovládat polohu kurzoru myši podle úhlu pohledu oka. Polohování kurzoru je však dosti nepřesné, protože rozlišení obrazovky je většinou znatelně vyšší než rozlišení kamery. Doporučené rozlišení pro běžnou velikost monitoru 17“ je 1024 x 768. Naproti tomu maximální rozlišení použité kamery je 720 x 576. Střed oka se navíc pohybuje jen v malé oblasti snímku. Ovládání kurzoru je tedy již z principu nepřesné a jeho přesnost ještě negativně ovlivňují další faktory.

3.1 HLAVNÍ OKNO

V hlavním okně je zobrazen malý náhled zdroje videa, seznam Metod, seznam filtrů vybrané metody, tlačítko pro výběr zdroje videa, přehrávání, pozastavení, zastavení, editaci metod a zobrazení okna geometrické transformace. Dále je zde několik voleb a rámeček pro ovládání myši a odesílání dat na sériový port. V seznamu filtrů jsou uvedeny ve sloupcích pořadí kroku, názvy filtrů a časy zpracování v milisekundách. Poslední řádek ve výpisu filtrů je celkový součet časů provádění jednotlivých filtrů a tato hodnota by neměla být vyšší než maximální doba

pro výpočet jednoho snímku 40 ms. Pokud není snímek zpracován do příchodu následujícího, je následující snímek zahozen. V seznamu metod jsou zobrazeny možné metody, které lze kliknutím zvolit.



Obrázek 17 – Hlavní okno

Ovládání myši pracuje pouze, je-li použit filtr Použij zjištěný bod. Lze použít dva filtry Použij zjištěný bod 1 a 2. První filtr používá kalibraci na principu násobení a přičtení korekčních hodnot k souřadnicím ze snímku, druhý používá pro korekci geometrickou transformaci.

První kalibrace spočívá v změření minim a maxim souřadnic. Uživatel stiskne tlačítko Start kalibrace, pohlédne do všech čtyřech rohů a pak stiskne znova stejné tlačítko přejmenované na Stop kalibrace. Program zaznamená hodnoty x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max} souřadnic na snímku. Z těchto hodnot vypočítá souřadnice obrazovky přepočtem:

$$x_o = (x_s - x_{s\min}) \cdot \frac{x_{o\max} - x_{o\min}}{x_{s\max} - x_{s\min}}$$

$$y_o = (y_s - y_{s\min}) \cdot \frac{y_{o\max} - y_{o\min}}{y_{s\max} - y_{s\min}}$$

kde

x_o, y_o jsou souřadnice na obrazovce

x_s, y_s jsou souřadnice na snímku

Rovnice 5 – Korekce obrazu podle maxim

Tento výpočet byl dostačující v případě, že kamera snímala oko přímo zepředu. Při snímání pod určitým úhlem se uplatňuje složitější geometrické zkreslení a proto je tato korekce nedostačující.

Druhá kalibrace je složitější a je popsána v části Geometrická korekce obrazu. Pro získání tabulky souřadnice snímku a obrazovky slouží tlačítka Reset a Vložit. Tlačítkem Reset je tabulka vymazána a tlačítkem Vložit jsou postupně vkládány body do tabulky. Vložení bodu spočívá v přesunu kurzoru myši na měřící bod a sledování stejného místa na obrazovce zrakem. Po každém vložení bodu je aktualizováno okno Geometrická transformace a je vykreslena symbolická mřížka. Počet řádků tabulky je zobrazen jako v kolonce Počet vzorků.

Získané souřadnice na obrazovce jsou před nastavením polohy kurzoru myši průměrovány a počet vzorků průměru je možno nastavit.

V okně je také umístěno několik voleb. Volba zobrazení a skrytí náhledu ovládá viditelnost okna Náhled a také zapíná a vypíná filtry, které slouží pouze ke kontrolnímu zobrazení. Vypnutím náhledu jsou vypnuty především filtry Zobrazení snímku, Zobrazení kříže a Histogram. Dále lze úplně vypnout provádění všech filtrů vypnutím volby Provádět filtry. Lze nastavit aby byl náhled vidět vždy nad ostatními okny volbou Náhled navrchu. Volba Zobrazit vlastnosti ovládá viditelnost okna Vlastnosti kroku a volba Zobrazit histogram ovlivňuje viditelnost okna Histogram.

Ve stavové liště je zobrazena informace o vyhrazené a použité paměti v bajtech a dále pak stav zvoleného sériového portu.

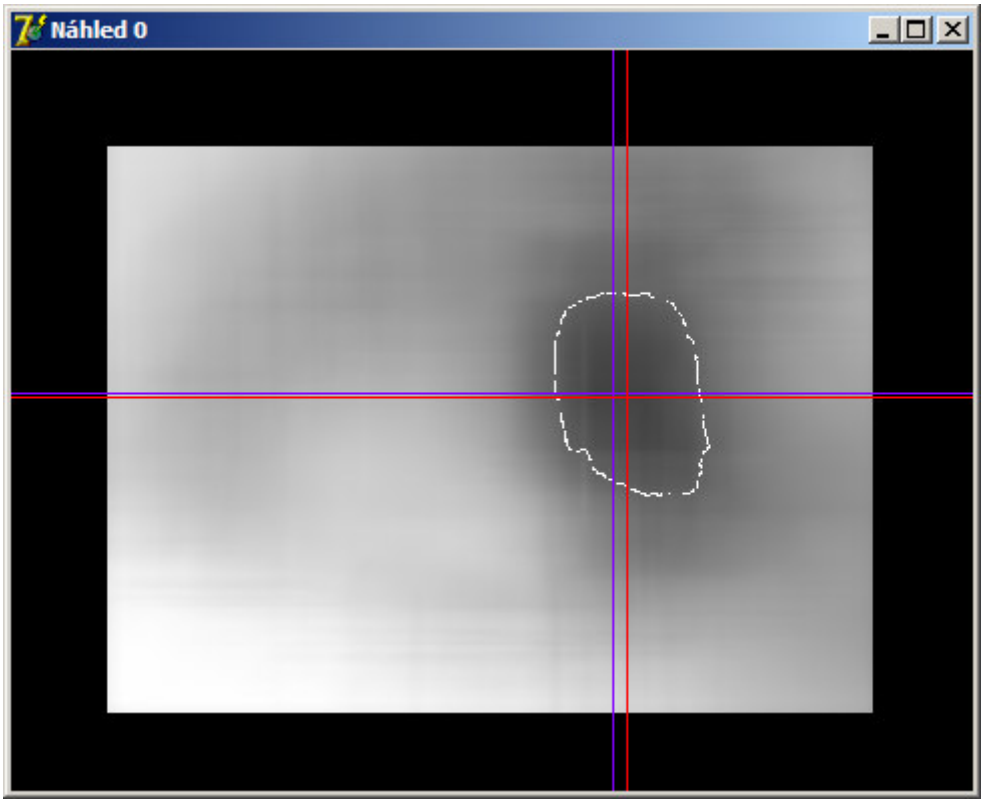
Metody, kroky a parametry kroků jsou ukládány do soubor Options.cfg. Nastavení aplikace je ukládáno do registru systému.

3.2 VÝBĚR ZDROJE

V tomto okně je možno vybrat jako zdroj obrazu buď digitalizační zařízení nebo soubor. Soubor je zde uveden spíše pro testovací účely. U kamery lze vybrat jedno ze zařízení připojených k systému a pak některé z možných podporovaných rozlišení.

3.3 NÁHLED

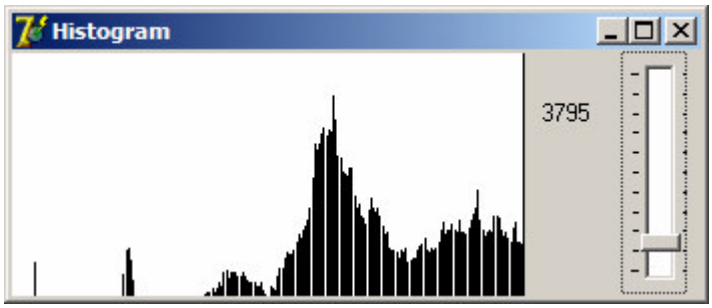
Při samotném procesu získávání souřadnic x,y není potřeba zobrazovat výsledný obraz. Ten je zobrazován spíše pro kontrolu filtrů a pro nastavení polohy kamery tak, aby snímala celé oko. Náhled je tedy možno volitelně zobrazit zaškrtnutím prvku Zobrazovat náhled na hlavním okně. Pokud náhled není zobrazován, nejsou prováděny žádné zobrazovací filtry a tím je ušetřen čas procesoru. V titulku okna je vedle slova Náhled zobrazován ještě jas bodu, na který ukazuje kurzor myši. Velikost okna náhledu lze měnit.



Obrázek 18 – Okno náhledu

3.4 HISTOGRAM

Pokud je zařazen do metody filtr Histogram, jsou v tomto okně zobrazovány četnosti jednotlivých úrovní jasu.



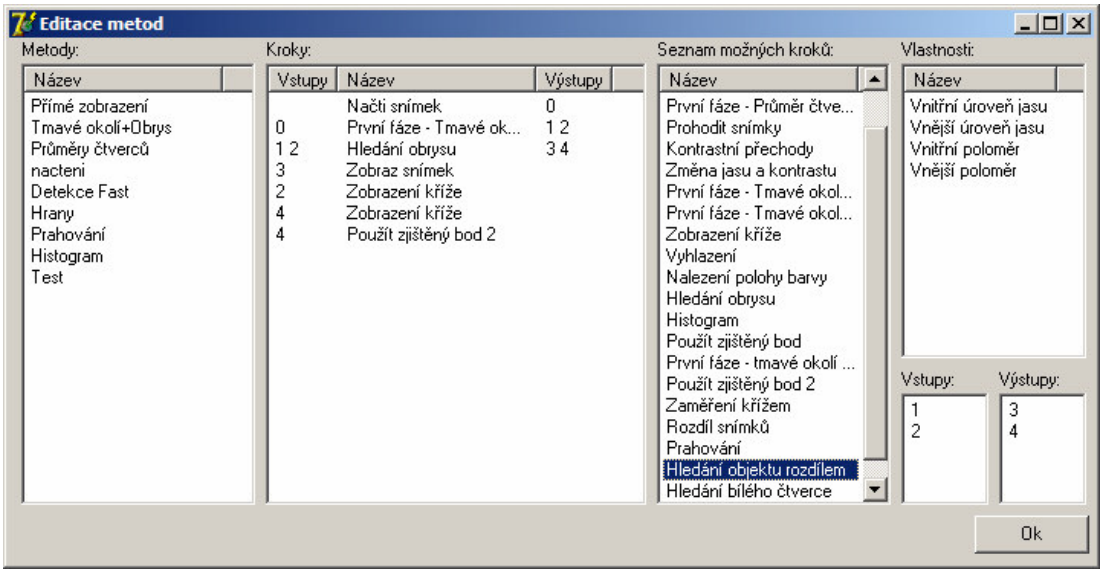
Obrázek 19 – Okno histogramu

3.5 EDITACE METOD

Po stisknutí tlačítka Editace metod na hlavním okně se zobrazí okno umožňující editaci metod. Lze zde přidávat, odebírat, přejmenovávat metody, přiřazovat k nim filtry seřazené do jednotlivých kroků. Editace probíhá pomocí kontextové nabídky. Před přiřazením filtru je potřeba nejdřív vybrat cílovou metodu a zdrojový filtr a pak v seznamu Kroky vyvolat akci Přidat filtr.

Každý filtr může mít několik vstupů a výstupů, nazvaných v rozhraní DirectShow piny. Tyto piny je nutno vzájemně propojit. Propojení je realizováno přiřazením stejného čísla požadovaným vstupům a výstupům. Např. krok Načti snímek má výstup s číslem 0 a následný krok, který pracuje s tímto musím mít vstup s číslem 0. Tento filtr má pak výstup 1 a další filtr má pak zase vstup 1. Propojování se tedy děje skrz číselné hodnoty. Nelze však propojovat kterýkoliv vstup s kterýmkoliv výstupem. Každý vstupy nebo výstup má svůj typ, který může být snímek nebo souřadnice.

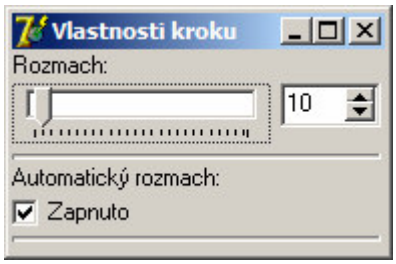
Filtry můžou mít vlastnosti, které ovlivňují jejich chování. Vlastnosti mohou být typu barva, celé číslo, desetinné číslo nebo logická hodnota a je možno je „za běhu“ měnit v okně Vlastnosti po výběru některého kroku.



Obrázek 20 – Okno editace metod

3.6 VLASTNOSTI KROKU

V tomto okně lze měnit parametry filtrů jednotlivých kroků. Obsah okna se mění dynamicky podle aktuálně zvolené metody a kroku. Vlastnosti lze měnit také pokud je zdroj videa pozastaven, což lze využít pro ladění parametrů.



Obrázek 21 – Okno vlastnosti kroku

4. ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ

Seznámil jsem se získáváním videa z kamery do počítače v operačním systému Windows. Obraz je získáván přes rozhraní DirectShow, které umožňuje přistupovat ke kamerám obecně. Dále jsem prozkoumal možnosti rozpoznávání polohy zornice oka. Hlavními kritériemi pro volbu nejvhodnější metody jsou časová náročnost, robustnost a přesnost určení polohy. Vytvořil jsem řadu filtrů pro zpracování obrazu. Filtry lze rozdělit na filtry předzpracování obrazu, filtry určující orientační polohu zornice v celém obraze, na ty, které podle této polohy zjistí přesnou polohu středu zornice oka a na funkční filtry, které se starají o načtení obrazových dat a využití získaných souřadnic. Nejvhodnější filtr pro určení orientační polohy je filtr Tmavé okolí. Zpřesnit souřadnice pak dokáže nejlépe filtr Hledání obrysů.

Vytvořil jsem testovací aplikaci a v ní realizoval vybrané algoritmy pro práci s obrazem. Prozkoumal jsem metody pro rozpoznávání obrazu a z jednotlivých kroků jsem sestavil řetězce pro získání výsledné polohy. Aplikace umožnuje sestavovat filtry do řetězců a ty ukládat na disk, měřit časy potřebné pro provedení jednotlivých filtrů, nastavovat vybrané parametry filtrů během procesu rozpoznávání a polohovat kurzor myši podle získaných souřadnic.

Přestože se mi podařilo vytvořit metodu pro určení polohy zornice oka, není výsledek dostatečný pro praktickou realizaci. Důvody proč se nepodařilo realizovat rozpoznání polohy jsou nedostatečné rozlišení kamery, problematické umístění kamery na různé brýle virtuální reality, nedostatečné upevnění brýlí na hlavě a jejich postupné sklouzávání, odlesky projekčních ploch a okolí narušující obraz, nerovnoměrné nasvětlení, šum, vysoké nároky na výpočetní výkon pro použití náročnějších metod a také geometrické zkreslení, které se neobejde bez kalibrace a korekce. Celkově se dá říci, že i když bylo dosaženo přijatelné přesnosti pro potřeby systému Orpheus, nelze tuto metodu v praxi použít, protože není dostatečně robustní a během práce ztrácí metoda svoji přesnost a je nutno opět provádět kalibraci.

Pro další vývoj by bylo vhodné zvolit jiný typ kamery, zaclonit brýle a použít vlastní zdroj osvětlení očí mimo viditelnou oblast pro odstranění odlesků, vytvořit

algoritmus pro lepší korekci chyby při posunu brýlí, vytvořit takový systém, který nevyžaduje vícenásobnou kalibraci a použít vhodný algoritmus pro odstranění šumu. Optimalizacemi by měly být také sníženy nároky na výpočetní výkon a systém by měl být přenesen do embedded PC. Při vývoji se projevilo to, co už je běžně známo, že pokud je informace ztracena již ve fyzické části, v softwareové části zpracování obrazu již tuto informaci zpět nezískáme.

5. LITERATURA

[1] Everett, H.R. : Sensors for Mobile Robots. A K Peters, Ltd., ISBN 1-56881-048-2, 1995

[2] Jones L.J.; Flynn M.A.; Seiger A.B.: Mobile Robots. Inspiration to Implementation. A K Peters, Ltd., ISBN 1-56881-097-0, 1999