



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## DETEKCE MRKÁNÍ

EYE-BLINK DETECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

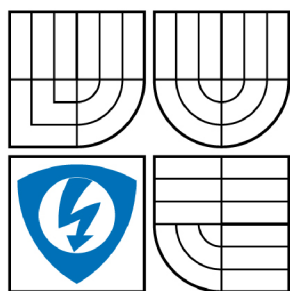
PETR JENIŠTA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN VLACH

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

**Student:** Jeništa Petr

**ID:** 78257

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2007/2008

**NÁZEV TÉMATU:**

**Detekce mrkání**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte metody a postupy detekce mrkání při číslicovém zpracování obrazů. Navrhněte algoritmus v Matlabu, jehož funkcí bude detekovat mrkání očí. Tento algoritmus dále otestujte a zhodnoťte jeho výhody a nevýhody.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Gonzalez, R. C.: Digital Image Processing Using MATLAB. Prentice Hall, 2003. ISBN: 978-0130085191.
- [2] Duchowski, A. T.: Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. Springe, 2007. ISBN: 978-1846286087.
- [3] Gonzalez, R. C.: Digital Image Processing. Prentice Hall, 2007. ISBN: 978-0131687288.

**Termín zadání:** 11.2.2008

**Termín odevzdání:** 4.6.2008

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Vlach

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Jeništa  
Bytem:  
Narozen/a (datum a místo): 2.8.1986, Kutná Hora

(dále jen "autor")

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Detekce mrkání  
Vedoucí/školitel VŠKP: Ing. Jan Vlach  
Ústav: Ústav telekomunikací  
Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

Autor

## **ABSTRAKT**

Podstatou této bakalářské práce je popis teoretických základů metod pro detekci mrkání. Práce popisuje metody pro nalezení lidského obličeje v obraze s komplexním pozadím. Dále různé způsoby nalezení očí v obraze a jejich následné sledování. Posledním úkolem je analýza očí a vyhodnocení jestli došlo k mrknutí či ne. Jsou zde také popsány různé pomocné prostředky pro zpracování číslcového obrazu. V závěru práce je popsána praktická realizace některých zmínění metod, tedy realizace algoritmu detekující mrkající oční pár.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vymezující plocha, oblast zájmů, barevná segmentace, morfologické operace, rozdílová mapa

## **ABSTRACT**

The merits of my Bachelor's Thesis is description of the theoretical principles of methods which are used for eye-blink detection. This work describes methods for location of human face in a frame with the complex background. The next principles of the work are different manners how we can find eyes in the frame and its sequential tracking. The last part is the eye analysis and the evaluation whether blinking went ahead or not. There are describes different intermedia which is used for processing of the numerical frame. At the close of the work is described the practical realization of some mentioned methods, thus the realization of algorithm which detects blinking eyes pair.

## **KEYWORDS**

Bounding box, region of interest, skin tone segmentation, morphological operation, variance map

JENIŠTA, P. *Detekce mrkání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vlach.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Detekce mrkání“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(Podpis autora)

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Vlachovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady, zejména poskytnutí mnoha teoretických zdrojů, při zpracování bakalářské práce.



## OBSAH:

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Detekce obličeje</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Metody detekce lidského obličeje</b> .....	<b>11</b>
2.1.1	Příznakově orientované metody.....	11
2.1.1.1	Obličejové příznaky.....	11
2.1.1.2	Obličejové textury.....	12
2.1.1.3	Barva kůže.....	12
2.1.2	Porovnávání se vzory.....	13
2.1.2.1	Předdefinované vzory.....	13
2.1.2.2	Deformovatelné vzory.....	13
2.1.3	Znalostní metody.....	13
2.1.4	Učící se metody.....	14
2.1.4.1	Vlastní plochy (obličeje - Eigenfaces).....	14
2.1.4.2	Skryté Markovovy modely (HMM).....	15
<b>3</b>	<b>Detekce mrkání a snímání očí</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Pomocí vzorů</b> .....	<b>17</b>
3.1.1	Detekce očí.....	17
3.1.2	Vytvoření vzorů.....	18
3.1.3	Snímání očí.....	19
3.1.4	Detekce mrkání.....	19
<b>3.2</b>	<b>Snímkové rozdílnosti</b> .....	<b>20</b>
3.2.1	Snímání obličeje.....	20
3.2.2	Snímání očí.....	21
3.2.3	Detekce mrkání.....	21
<b>3.3</b>	<b>Optickým tokem</b> .....	<b>23</b>
3.3.1	Tvary pro detekci očí.....	23
3.3.2	Detekce mrknutí.....	23
<b>3.4</b>	<b>Detekce oka snímáním duhovky</b> .....	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Metody pro zpracování obrazu</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Barevné modely</b> .....	<b>25</b>
4.1.1	Model RGB.....	25
4.1.2	Model CMY.....	25
4.1.3	Modely HSV a HSL.....	26
4.1.4	Model YCbCr.....	26
<b>4.2</b>	<b>Detekce hran</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Morfologické operace</b> .....	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Praktická realizace</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Lokalizace obličeje</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>Detekce mrkání</b> .....	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Lokalizace očí</b> .....	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>36</b>
	Seznam použité literatury:.....	37
	Seznam zkratk, veličin a symbolů:.....	38
	Seznam příloh.....	40

## Seznam obrázků:

Obrázek 1 - typický obličej .....	14
Obrázek 2 - HMM .....	16
Obrázek 3 - analýza obrazu .....	18
Obrázek 4 - sousedská oblast pixelu .....	21
Obrázek 5 - nastavení pozice očí.....	23
Obrázek 6 - optický tok .....	24
Obrázek 7 - RGB.....	25
Obrázek 8 - CMY .....	26
Obrázek 9 - HSV a HSL .....	26
Obrázek 10 - RGB obrázek a odpovídající Cr složka.....	30
Obrázek 11 - Cr složka po prahování.....	31
Obrázek 12 - Snímek po operaci otevření a uzavření .....	32
Obrázek 13 - bonding box.....	32
Obrázek 14 - rozdílová mapa .....	33
Obrázek 15 - výsledná rozdílová mapa.....	34
Obrázek 16 - Výsledný obrázek .....	35

## 1 Úvod

Detekce obličeje a jeho součástí je v současné době předmětem intenzivního výzkumu. Během několika let bylo vyzkoušeno mnoho různých metod pro řešení tohoto problému. Většinou se jedná o metody, které mají za cíl rozlišit v předloženém obraze nejen obličej, ale rovnou i jednotlivé části, například oči nebo ústa.

Pro řešení tohoto úkolu bylo vyzkoušeno mnoho postupů, avšak většina z nich spolehlivě pracuje za vhodných podmínek. V současné době se proto výzkum této oblasti soustřeďuje na nalezení robustní metody, která bude pracovat i při rušivých podmínkách, na kterých některé dosavadní techniky selhávají. Například změna osvětlení, stíny, rozličné pozadí atd.

Cílem této bakalářské práce je prostudovat různé metody a postupy při detekci mrkání. Následně také navržení algoritmu k detekci mrknutí očního páru.

Tato práce je rozdělena do čtyř kapitol. V první části jsou popsány různé metody pro detekci lidského obličeje v obraze. Tyto metody se zakládají na různých přístupech a možnostech využití charakteristických vlastností obličeje. Druhá část obsahuje informace o lokalizaci očí či detekci mrkání očí. Ve třetí části jsou popsány vhodné prostředky pro číslicové zpracování obrazu. Poslední část je věnována praktické realizaci funkčního postupu při detekci mrkání.

## 2 Detekce obličeje

Prvním dílčím úkolem při detekci mrkání je nalézt v daném snímku či obraze lidský obličej a na základě takto nalezené oblasti poté vytvořit oblast, ve které se nalézají oči. Řešení této úlohy je dosti složité. V oblasti se může nalézat teoreticky více osob a tím i obličejů vhodných k detekci. Lidé se samozřejmě mohou pohybovat, různě natáčet či můžou být v různých vzdálenostech od snímáčího zařízení, čímž se samozřejmě mění i plocha zaznamenaného obličeje. Navíc se může v průběhu snímání měnit i osvětlení. V této práci se tedy budu převážně zabývat snímáním obrazů s pouze jednou osobou, tedy pouze s jediným obličejem vhodným pro snímání.

### 2.1 Metody detekce lidského obličeje

Až dosud bylo navrženo a popsáno mnoho metod vhodných pro detekci obličeje v obraze. V následujícím textu jsou uvedeny pouze některé z detekčních metod [1][5].

#### 2.1.1 Příznakově orientované metody

Tyto metody jsou zaměřeny na hledání vhodných rysů, které vhodně charakterizují lidský obličej. Na základě těchto rysů je pak provedena detekce obličeje. Tyto rysy nepodléhají změnám osvětlení či natočení obličeje.

##### 2.1.1.1 Obličejové příznaky

Takovéto metody jsou založeny na hledání celého obličeje či na hledání jeho charakteristických částí. Oči, obočí, nos, rty, brada atd.

Jedna z metod vychází z nalezení očí nebo očí a obočí. Získaný obraz je segmentován pomocí vhodně zvolených prahů a v segmentovaném obraze jsou pak nalezeny oči. Na základě vyhodnocení vzdálenosti a umístění očí v obraze je stanovena oblast, ve které se nalézá obličej. Tato metoda je však použitelná při vhodně stanovených podmínkách pořízení obrazu.

Další metoda pro detekci obličeje v obraze je založena na nalezení hran v obraze. U této metody se často používá Cannyho hranový detektor [2] pro

nalezení hran. Na základě heuristické analýzy se poté jednotlivé hrany odstraní nebo sloučí tak, aby zůstala pouze ta linie, která reprezentuje obrys obličeje.

Některé metod využívají tvarové segmentace obrazu pomocí matematické morfologie. Pomocí morfologických operací je možné hledat celý obličej nebo jen jeho části. Využívá se toho, že jednotlivé části obličeje mají určitý tvar a pokud je vhodně zvolena velikost a tvar elementu struktury obličeje pro morfologické operace, tak lze nalézt celý obličej nebo jen jeho charakteristické znaky (oči, nos, obočí atd).

Při hledání obličeje v obraze se také může využívat toho, že jednotlivé části obličeje jsou od sebe charakteristicky vzdálené. Takováto metoda však vyžaduje vytvoření databáze rozmístění a určení vzdáleností jednotlivých částí obličeje. Z pořízeného obrazu se pak vyseparují jednotlivé části obličeje, zjistí se jejich vzdálenosti, které se pak porovnají s hodnotami v databázi.

#### 2.1.1.2 Obličejové textury

Lidský obličej je v obraze reprezentován texturou, která se liší od ostatních objektů v obraze. Texturou je chápána pravidelná struktura obrazových bodů, kde každý obrazový bod má svou barevnou nebo jasovou hodnotu, záleží na použitém barevném modelu. Velikost a počet obrazových bodů závisí na skutečné velikosti lidského obličeje v obraze a také samozřejmě na rozlišení obrazu. Příznaky pro detekci obličeje jsou zde pak přímo jednotlivé obrazové body.

#### 2.1.1.3 Barva kůže

Velice účinná metoda pro detekci lidského obličeje v obraze je založena na zjištění barvy kůže. Na základě informace o barvě se dá s jistou přesností nalézt lidský obličej. Ve světě existuje několik skupin etnik, které mají přibližně stejnou barvu kůže. Většinou se vymezujeme na dvě skupiny s rozdílnou barvou. Lidi se světlejší barvou tvoří povětšinou běloši, někteří asiaté, skupinu lidí s tmavou barvou kůže pak reprezentují černoši či původní obyvatelé Austrálie a Ameriky.

Barva kůže jako příznak sama o sobě nemusí být dostačující. V obraze nemusí být pouze obličej a proto se tato metoda většinou kombinuje s nějakou další, např. pomocí hranového detektoru.

## 2.1.2 Porovnávání se vzory

Pro tuto metodu je třeba nejdříve vytvořit databázi vzorů, kde vzor udává oblast, ve které jsou obrysy lidského obličeje a částí obličeje. Nejčastěji se využívá čelního pohledu na snímací zařízení. Pro daný vstupní obraz jsou nezávisle spočítány hodnoty pro obrysy obličeje, očí, nosu atd. Nevýhodou této metody je, že v databázi musí být velké množství vzorů, které ne vždy mohou postihnout různé změny. Ať to jsou změny tvaru, natočení hlavy či dalších změn.

### 2.1.2.1 Předdefinované vzory

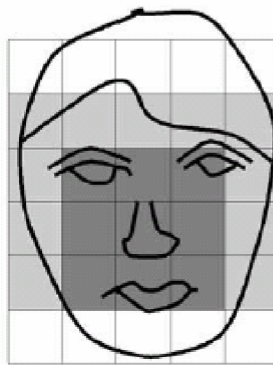
U takovéto metody je vytvořena databáze vzorů, se kterými se pak porovnává vstupní obraz, např. využitím korelace. Vzory jsou někdy upraveny tak, aby se zvýraznila pouze informace, pro které jsou tyto vzory charakteristické.

### 2.1.2.2 Deformovatelné vzory

Tyto metody se snaží nalézt univerzálnější vzory pro detekci obličeje. Pomocí různých optimalizačních algoritmů se hledají univerzálnější vzory pro jednotlivé části obrazu. Poté se tyto vzory porovnají se vstupním obrazem a hledá se optimální přiřazení mezi částí obrazu a vzorem. Při tomto porovnávání a přiřazení tak dochází k deformaci vzorů.

## 2.1.3 Znalostní metody

Takovéto metody hledají obličej na základě pravidel, které popisují typický obličej. Obličej obsahuje dvě oči, která jsou symetrická, nos a ústa. Vztahy mezi těmito znaky obličeje jsou popisovány na základě jejich vzdáleností a pozice.



Obrázek 1 - typický obličej

#### 2.1.4 Učící se metody

Takovéto metody jsou založeny na podobném principu, jako metody porovnávání se vzory. Zde však jednotlivé vzory nevytváří uživatel, ale hledají se pomocí učících se algoritmů na základě předložené databáze snímků, ve které jsou lidské obličej.

##### 2.1.4.1 Vlastní plochy (obličej - Eigenfaces)

Tato metoda vyžaduje databázi normalizovaných obrazů, stejného rozlišení, ve kterých se nachází obličej. Metoda vlastních ploch využívá Karhunen-Loeveovu transformaci [3], pro kterou se také používá označení PCA (analýzu hlavních komponent).

Obrázek o velikosti  $W \times H$  je 2.rozměrné pole intenzit  $I(x,y)$ ,  $n$ -rozměrný vektor obrázku  $\Gamma(n=W \times H)$  můžeme vytvořit položením jednotlivých řádků obrázku za sebe. Databáze obrázků je pak modelována jako množina bodů ve vysokodimenzonálním prostoru. Obrázky obličejů jsou si ovšem částečně podobné a proto nejsou v tomto prostoru náhodně distribuovány. Hlavní myšlenkou PCA je nalézt vektory, které nejlépe popisují distribuci obrazů obličejů v celém obraze. Tyto vektory dimenze  $n$  definují podprostor, který nazýváme prostor obrazů obličejů (face space) a jsou lineární kombinací původních vektorů. Z databáze obrázků  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_m$  je pak spočítán průměrný obličej

$$\Psi = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Gamma_i \quad (1)$$

Vektory  $\Phi_i$  získáme odečtením průměrného obrázku  $\Psi$  od obrázku  $\Gamma_i$

$$\Phi_i = (\Gamma_i - \Psi) \quad (2)$$

Takto získaná množina vektorů je vstupem do analýzy hlavních komponent, která hledá množinu vektorů  $u_i$ , které nejlépe popisují distribuci dat. Tyto vektory jsou vlastní vektory kovarianční matice  $C$

$$C = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Phi_i \Phi_i^T = \frac{1}{m} AA^T \quad (3)$$

Matice  $A = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m]$  je řádu  $n \times m$  (je tvořena sloupcovými  $n$ -rozměrnými vektory  $\Phi_i$ ,  $1 \leq i \leq m$ ). Matice  $C$  je řádu  $n \times n$ .

Pomocí této metody lze zakódovat větší množství obrazů s obličejí do menšího prostoru vlastních ploch. Vytvoří se tak modely, které slouží k rozpoznání lidských obličejů. Pro detekci obličejí se ze vstupního obrazu postupně vybírají menší předem zvolené oblasti a určí se rozdíl mezi těmito oblastmi a vlastními plochami. Z těchto rozdílů se vytváří obličejová mapa.

#### 2.1.4.2 Skryté Markovovy modely (HMM)

Prvním úkolem při použití HMM je nalézt vhodné příznaky, které dobře reprezentují lidský obličej a druhým úkolem je vhodné stanovení počtu HMM [4][5].

Model složený z pěti stavů, které reprezentují oblasti čela, očí, nosu, úst a bradou. Pro trénování databáze obrazů s obličejí rozdělena do pěti dílů, které reprezentují oněch pět stavů. Trénování HM modelu se provádí skenováním obrazu odshora dolů, viz obrázek 2. Při detekci obličejí se poté ze vstupního obrazu postupně vybírají menší předem zvolené oblasti, které se porovnávají z modelem a hledá se pravděpodobnost souhlasu těchto oblastí s modelem. Podle hodnoty výsledné pravděpodobnosti pak můžeme zjistit, zda se jedná o oblast s lidským obličejem. Stanovení prahové hodnoty se většinou určí experimentálně.



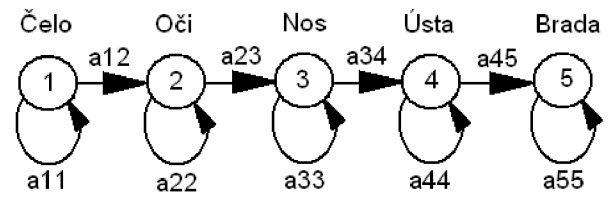
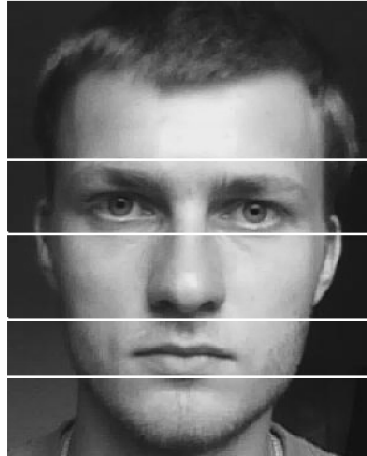
1 Čelo

2 Oči

3 Nos

4 Ústa

5 Brada



Obrázek 2 - HMM

### 3 Detekce mrkání a snímání očí

Při detekci mrkání je nejprve důležité najít v obraze s lidským obličejem oči. Poté se na základě porovnávání či určení odlišnosti mezi jednotlivými snímky určí, zda-li došlo k mrknutí

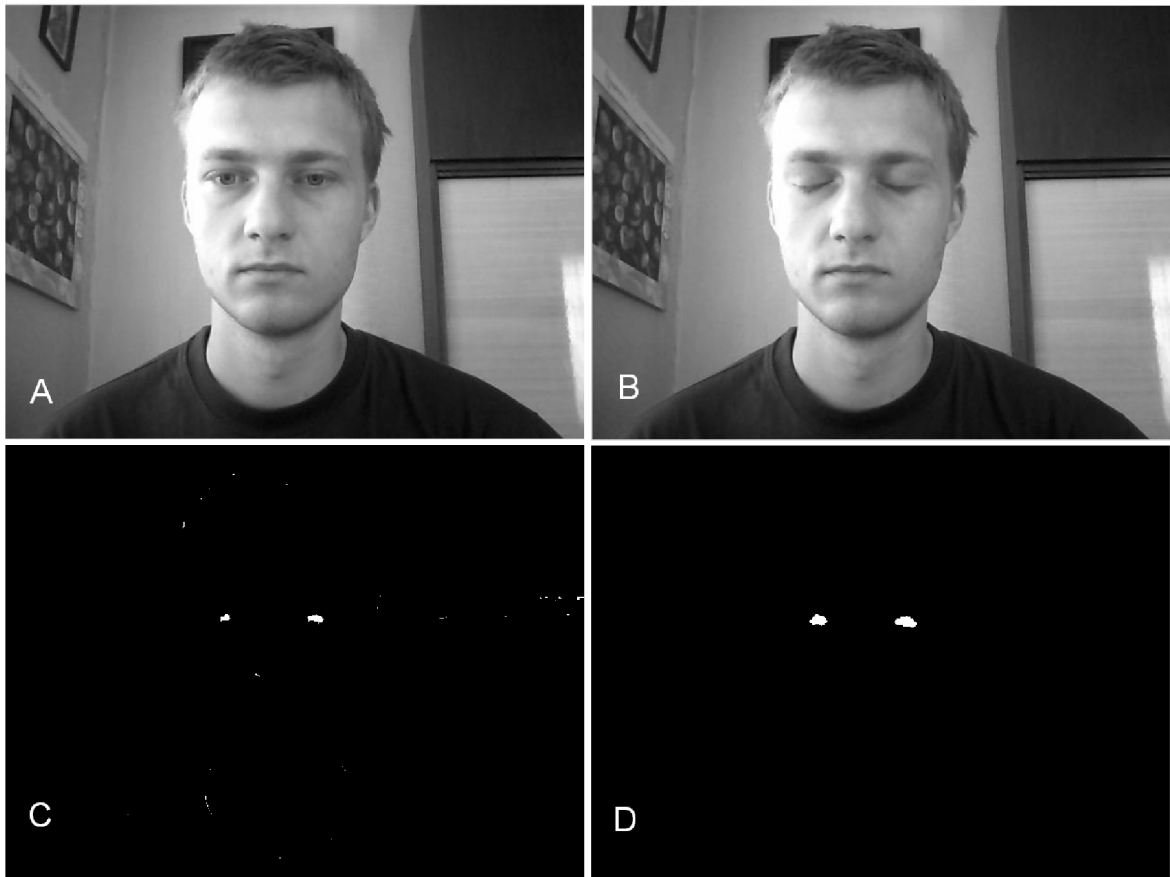
#### 3.1 Pomocí vzorů

Tato metoda se zakládá na vytvoření vzoru otevřeného oka [6] a dále na porovnávání snímků s těmito vzory. Na základě podobnosti se pak určí, zda-li se jedná o oči. Vytvoření vzorů je tedy velmi důležité. Kvalitu vzoru samozřejmě ovlivňuje samotná kvalita obrazů, ze kterých se vytvářejí. Důležité jsou zde samozřejmě změna světelných podmínek v pozadí a také pohyb obličeje.

##### 3.1.1 Detekce očí

Pochopitelně, prvním krokem při analyzování uživatelova mrkání je lokalizovat oči v obraze lidského obličeje. K provedení je vytvořen rozdíl obrazu z každého snímku a předchozího snímku a pak prahován. Výsledkem je binární obraz ukazující oblast pohybu, který se vyskytl mezi dvěma snímky. Dále je složen binární rozdíl obrazu pomocí morfologické operace otevření. Tyto funkce slouží k omezení velké části nadměrných poruch a přirozeně vzniklých vibrací, které jsou přítomny kolem uživatele v obraze, zásluhou světelných proměn a rozlišení snímacího zařízení, a nebo změnami v pozadí. Navíc tyto operace také vytváří menší nebo větší souvislé prvky v okolí očí, když nastane mrknutí.

Rekurzivní označovací procedura je pak použita k obnovení čísla souvislých prvků ve výsledném binárním obraze. Za optimálních podmínek je uživatel nehybný a tento postup přináší jen pár souvislých prvků, v ideálním případě dvě. V případě příliš vysokého čísla souvislých prvků systém vyřadí aktuální binární obraz a vyčká na zpracování dalšího mrknutí.



**Obrázek 3 - analýza obrazu**  
**a) otevřené oči b)zavřené oči c) rozdíl snímků d)rozdíl snímků po morfologické operace**

Získaný obraz s malým číslem souvislých prvků systému umožňuje efektivně postupovat vzhledem ke každému páru prvků jako k možnému srovnání levého a pravého oka. Filtrování nepravděpodobného očního páru je založeno na vypočtení šesti parametrů každého páru prvků, šířka a výška každého prvku, horizontální a vertikální vzdálenost mezi středy těchto prvků. Jsou-li rozdíly mezi těmito vlastnostmi velké, pak se zřejmě nejedná o uživatelské oči. Takováto porovnávání vedou jak k přesné lokalizaci očí, tak i k zrychlení vyhledávání okamžitou eliminací nepravděpodobných prvků.

### 3.1.2 Vytvoření vzorů

Jestliže předchozí krok má za výsledek pár prvků, které prošly přes nastavení filtru, pak je možné lokalizovat oči. Pozice většího ze dvou prvků je vybrána k vytvoření vzoru. Větší je vybrán protože obsahuje více jasových informací, což má za následek přesnější snímání a míru podobnosti.

Protože systém bude snímat otevřené oči, byla by chyba vytvářet vzor v době, kdy jsou oči lokalizovány, neboť v tento moment došlo k mrknutí. Takže jakmile je oko lokalizováno, po uplynutí malého počtu snímků, které jsou potřeba k opětovnému otevření očí, je vzor otevřeného oka vytvořen.

### 3.1.3 Snímání očí

Používání odpovídajících vzorů je důležité pro požadovanou správnost uživatelského mrknutí. Normalizovaný korelační koeficient je používán ke snímání. Tento rozsah je počítán v každém snímku. Pro výpočet se používá následující rovnice:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x-u, y-v) - \bar{t}]}{\sqrt{\sum_{x,y} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x,y} [t(x-u, y-v) - \bar{t}]^2}} \quad (4)$$

, kde  $f(x, y)$  je jas snímku v bodě  $(x, y)$ ,  $\bar{f}_{u,v}$  je průměrná hodnota snímku aktuální oblasti,  $t(x, y)$  je jas vzoru v bodě  $(x, y)$  a  $\bar{t}$  je průměrná hodnota vzoru obrazu. Výsledkem této rovnice jsou hodnoty  $\langle -1; 1 \rangle$ , které vyjadřují podobnost mezi vzorem otevřených očí a všemi body v hledané oblasti. Hodnota blízká 0 znamená nízkou podobnost, zatímco hodnota blízká 1 ukazuje pravděpodobnou shodu se vzorem otevřených očí.

### 3.1.4 Detekce mrkání

Detekce a analýza mrkání je založena výhradně na sledování úměrného stavu přímých vzorů uživatelských očí, vytvořených snímáním v předchozím kroku. Když uživatel zavře oči, tak se během procesu mrkání podobnost se vzorem otevřených očí snižuje. Podobně znovu získá podobnost, když skončí mrknutí a zcela otevře oči. Užším průzkumem získáme čísla, která jasně určí hranice, kdy uživatel mrká.

Hodnoty v intervalu 0,85 – 1,0 znamenají, že jsou oči otevřeny, vysokou míru podobnosti. Naproti tomu interval 0,5 – 0,55 znamená zavřené oči. Hodnoty nižší než 0,45 znamenají, že systém ztratil pozici očí a v takových případech musí být systém reinitializován k relokaci a snímání nové pozice očí.

## 3.2 Snímkové rozdíllosti

Tato metoda je založena na jednoduchém porovnávání počtu pixelů [7], které se mění mezi jednotlivými snímky. Nejprve je vytvořena vymežující oblast v obraze, která obsahuje lidský obličej. Tato oblast je poté dále analyzována a hledají se oči.

### 3.2.1 Snímání obličeje

V tomto kroku je snahou získat bounding box (vymežující plocha) kolem obličeje. Tento bounding box slouží k omezení oblasti obrazu určeného ke snímání.

Snímkové rozdíllosti jsou v první řadě využívány pro členění hlavy. Je-li v obraze pouze jedna osoba bez rušivého pozadí, je tato metoda naprosto přesná.

Nejprve získáme první referenční obraz, s indexem  $i$ . Odečtením z referenčního obrazu, pixel po pixelu, je pak získáno  $N$  rozdílů obrazů, od  $i+1$  do  $i+N$ . Rozdíly obrazů jsou pak spojeny dohromady v ADF obraze. Nahromaděný obrazový rozdíl je poté vhodně prahován, kvůli odstranění nedůležitých či nadbytečných bodů.

$$ADFT = \begin{cases} X & \text{if } ADF(x, y) \geq X \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (5)$$

Rovnice 5 popisuje průběh prahování na pixelových souřadnicích. Je spočítán počet pixelů s hodnotou  $X$  v ADFT obraze. Jestliže je pak podíl tohoto počtu a celkového počtu v obraze větší než prahová hodnota  $\theta$ , pak je provedena další analýza. Pokud není větší, pak se obstará nový referenční obraz s indexem  $i+N+1$ .

$$\frac{\text{Pocet pixelu po prahovani}}{\text{Celkovypocet pixelu}} > \Theta \quad (6)$$

Další krok analýzy je zaměřen na získání oblasti, ve které se pravděpodobně nalézají oči. Střed oblasti největšího výskytu pixelů v ADFT

obrazu odpovídá středu obličeje. Poté se vytvoří čtvercový bounding box dané velikosti. Tato oblast je pak dále zkoumána k nalezení očí.

### 3.2.2 Snímání očí

Snímání je prováděno Lucas-Kanadovým charakteristickým snímáním. Pro snímání je nejlepší vnitřní koutek, který je skoro neměnný při změnách osvětlení. Minimalizace reziduální funkce  $\varepsilon(x,y)$  založené na obrazové intenzitě  $I(x,y)$  v bodě  $x,y$

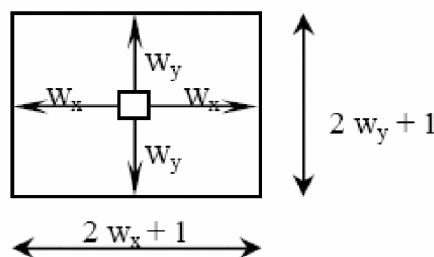
$$\varepsilon = (I(x, y) - I(x + dx, y + dy))^2 \quad (7)$$

Okno větší než jeden pixel by mělo být použito k určení pohybu pixelu z jednoho snímku do druhého. Toto větší okno je sousedskou oblastí  $R(x)$  bodu  $x$ . To ale znamená problém minimalizace reziduální funkce pro celou tuto oblast.

$$\varepsilon(dx) = \int_{x \in R(x)} (I(x) - I(x + dx))^2 \quad (8)$$

V případě, že šířka okna je  $2w_x+1$  a výška je  $2w_y+1$ , jak ukazuje obrázek 4, výsledné počítání reziduální funkce je pak:

$$\varepsilon = \sum_{x'=x-w_x}^{x+w_x} \sum_{y'=y-w_y}^{y+w_y} (I(x', y') - I(x'+dx, y'+dy))^2 \quad (9)$$



Obrázek 4 - sousedská oblast pixelu

### 3.2.3 Detekce mrkání

Proces inicializace pozice očí poskytuje pozici charakteristických bodů pro snímání očí. Mrknutí je detekováno přes rozdílovou mapu.

Prvním snímkem, velikosti MxN pixelů, získáme:

Rozdílovou mapu  $\sigma_1^2$ , která je nastavena k 0, takže

$$\sigma_1^2(x, y) = 0 \quad (10)$$

Průměrný obrázek, také velikosti MxN pixelů, který je inicializován pixely prvního obrazu, takže

$$\mu_1(x, y) = I_1(x, y) \quad (11)$$

Dalším snímkem je aktualizován průměrný obrázek  $\mu$  a rozdílová mapa  $\sigma^2$  podle rekurzivní formule dané v rovnici. Takže průměrný obrázek a rozdílová mapa reprezentují získané informace

$$\mu_{j+1}(x, y) = \frac{j\mu_j(x, y) + I_{j+1}(x, y)}{j+1} \quad (12)$$

$$\sigma_{j+1}^2(x, y) = \left(1 - \frac{1}{j}\right)\sigma_j^2(x, y) + (j+1)(\mu_{j+1} - \mu_j)^2 \quad (13)$$

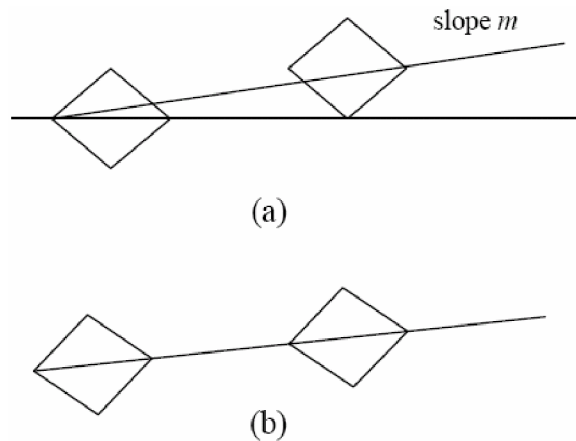
Po aktualizaci novým snímkem je vypočítána prahová varianta rozdílové mapy. Je spočítán počet pixelů uvnitř bounding box, který zůstal po prahovací operaci. Jestliže je toto číslo velké se srovnáním s bounding box, pak předpokládáme, že bylo nalezeno mrknutí.

$$\frac{\text{Pocet rozdilovych pixelu po prahovani}}{\text{Celkovypocet pixelu v bounding box}} > \mathcal{g} \quad (14)$$

Oblast očního mrknutí je určena vyloučením souvislých prvků, které jsou příliš velké či malé nebo málo kruhové. Za mrkající oční pár jsou pak považovány dvě oblasti, které musí být přibližně na stejné horizontální úrovni a jejich vzájemná vzdálenost musí být také v určitém rozsahu.

Pokud jsou více než dvě oblasti označeny jako oční pár, tak jsou nelepší dvě vybrány. Vnitřní a vnější koutky mrkajícího očního páru jsou nastavené tak, že velikost (výška a šířka) obou očí je stejná. Předpokladem je přímá linie spojení

všech čtyř rohů. Tyto body jsou přeneseny do linie měřítkem sklonu linie spojením vnějších bodů a nastavení pozice vnitřních bodů, jak ukazuje obrázek 3.



**Obrázek 5 - nastavení pozice očí**

Pár očí je definován osmi body. Opravené rohy označují charakteristické body pro oční snímání.

### 3.3 Optickým tokem

Pomocí optického toku se určuje směr pohybu očního víčka [8] a na základě tohoto pohybu se určí zda se oči zavírají či otvírají a došlo-li tedy k mrknutí.

#### 3.3.1 Tvary pro detekci očí

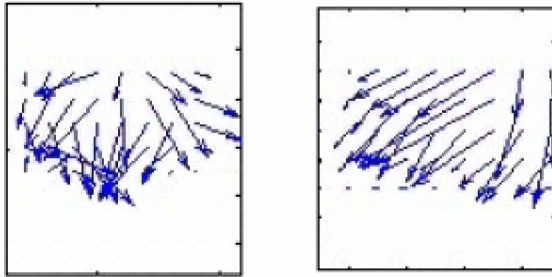
Detekce očí založená na analýze tvarů hledá obličejové rysy nejprve analýzou horizontální pozice. Oči vytvářejí hluboké prohlubně podobně jako nos či ústa. Proto nalezení očí znamená nalézt minimum těchto prohlubní v horní části obrazu s obličejem. Jakmile je centrum obsahující oči nalezeno je analyzována vertikální pozice a hledají se dvě nejhlubší prohlubně na souhlasných x-ových souřadnicích. Po nalezení těchto oblastí jsou tyto podrobeny další analýze.

#### 3.3.2 Detekce mrknutí

Základní krok při detekci mrknutí je detekce rozdílů prahovaných snímků uvnitř oblastí zájmů (ROI)  $R_{Levá}^i$   $R_{Pravá}^i$ . Optický tok je pak spočítán uvnitř vymezené plochy v každé oblasti k určení jestli víčko klesá či se zvedá. Výpočet se pak opakuje tak dlouho, dokud dominantní pohyb není směrem dolů, tedy



uzavírání oka. Přirozeně se pak čeká na opačný pohyb. Kdy po uzavření oka musí dojít k jeho znovuotevření.



Obrázek 6 - optický tok

Tří rozměrný pohyb očí se sleduje jako dvou rozměrný pohyb. 2D cesta mezi těmito body se pak počítá jako optický tok.

$$\Theta = \left( \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right)^T \quad (15)$$

Pro omezení chybného určení mrkání očí se doporučuje posloupnost 3 faktorů, které by měli chybovost omezit.

Posloupnost by pak měla obsahovat tyto 3 faktory:

- lokální maximum musí být v příznaku
- lokální maximum nesmí mít zanedbatelnou amplitudu
- lokální maxima z obou očí musí být stejné

### 3.4 Detekce oka snímáním duhovky

Oči mohou být jednoduše lokalizovány využitím struktury očí. Protože duhovka je vždy tmavší než bělmo, nehledě na barvu očí, a její tvar je neměnný. Takto se dá jednoduše detekovat okraj duhovky [9], jejíž body jsou uspořádány v kruhu. Není ale možné znát přesný průměr lidského oka, protože lidé mohou mít různou velikost duhovky. Proto je třeba zavést parametry minimálního a maximálního průměru  $R_{\min}$  a  $R_{\max}$ .

K hledání pozice oka se využívá Houghovy transformace, která je schopna nalézt entity (např. právě kružnici) vyjádřené analytickou rovnicí s parametry  $R_{\min}$  a  $R_{\max}$ . Po nalezení takovéto oblasti se hledá další oblast, která reprezentuje druhé

oko. Oblast hledání v obraze je ovšem minimalizována. A to například využitím znalostí lidského obličeje.

U této metody je ovšem žádoucí vysoká kvalita pořízení snímků.

## 4 Metody pro zpracování obrazu

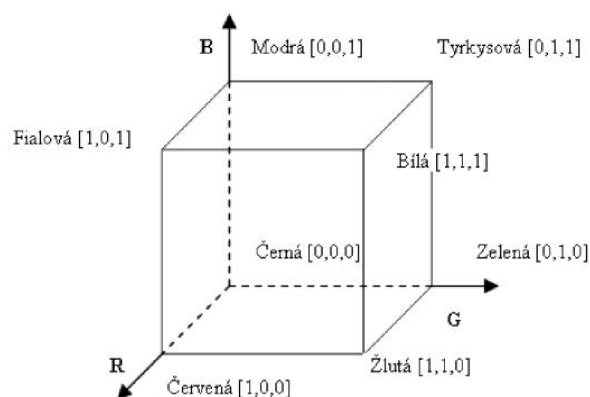
Analýza získaných obrazů a využití jen podstatných informací je velice závislá na použití vhodných prostředků k zpracování obrazu. V následujícím jsou uvedeny ty nejzákladnější.

### 4.1 Barevné modely

Detekce lidského obličeje, popřípadě jeho částí, do velké míry záleží na zvoleném barevném modelu [2][10][11]. Proto zde uvedu některé základní.

#### 4.1.1 Model RGB

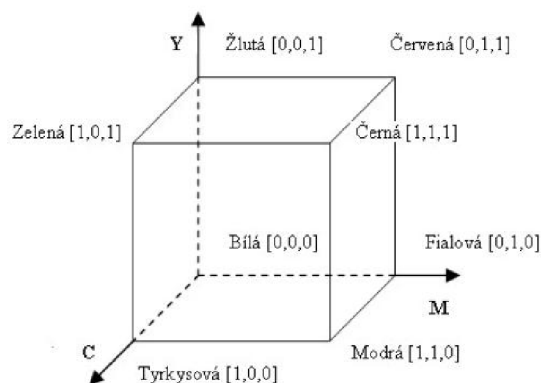
Barevný model RGB je považován za základní nástroj pro práci s barvami v počítačové grafice. Jeho vlastnosti jsou vhodné pro zobrazení barev na monitoru počítače. Jedná se o model kde barvy jsou skládány ze tří základních barev, červené, zelené a modré. Tyto barvy byly zvoleny právě proto, že lidské oko je na ně nejcitlivější.



Obrázek 7 - RGB

#### 4.1.2 Model CMY

Tento model má podobné vlastnosti jako model RGB. Zde jsou však barvy získávány odečítáním ze tří základních barev, fialovou (Cyan), tyrkysovou (Magenta) a žlutou (Yellow).



Obrázek 8 - CMY

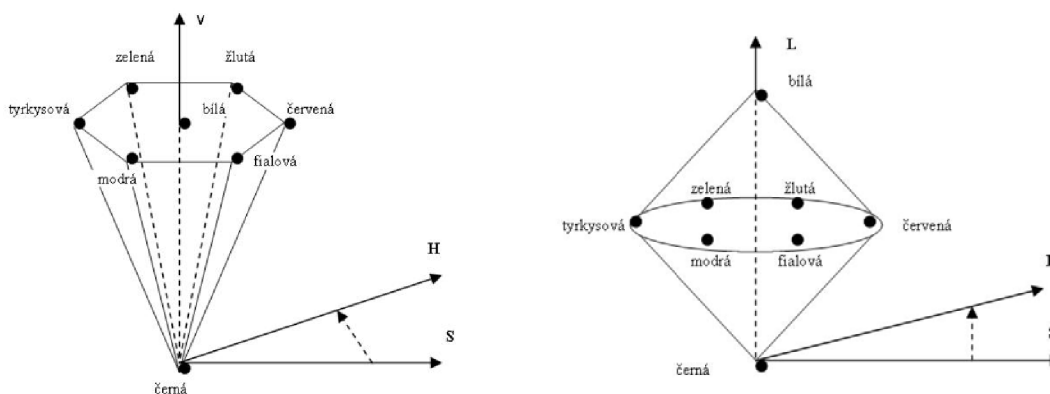
Převod z modelu RGB:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (16)$$

#### 4.1.3 Modely HSV a HSL

Základními vlastnostmi jsou barevný tón (Hue), sytost (Saturation) a jasová hodnota (Value). Barevný tón označuje převládající spektrální barvu, sytost určuje příměs jiných barev a jas určuje množství bílého světla. Barevný model se zobrazuje pomocí šestibokého jehlanu.

Modifikací modelu HSV, které odstraňují některé jeho nedostatky, je model HSL.



Obrázek 9 - HSV a HSL

#### 4.1.4 Model YCbCr

Tento formát byl navržen pro digitální přenosy. V tomto modelu je jasová informace reprezentována jedinou složkou, Y. Následují dva chromizační signály, Cb s dominantní informací o modré barvě a Cr s dominantní informací o červené barvě.

Převodní vztah mezi modely RGB a YCbCr:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65,481 & 128,553 & 24,966 \\ -37,797 & -74,203 & 112,0 \\ 112,0 & -93,786 & -18,214 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (17)$$

#### 4.2 Detekce hran

Cannyho hranový detektor [2] je algoritmus zahrnující několik kroků pro získání co nejlepšího výsledku při detekci hran v dvourozměrném diskretním obraze. Doporučený postup při detekci hran:

Eliminace šumu Gaussovým filtrem:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (18)$$

x,y jsou souřadnice pixelu,  $\sigma$  je standardní odchylka.

Tímto vzorcem je vypočtena konvoluční maska, která se pak aplikuje na celý obraz.

Určení gradientu:

Použitím Sobelova operátoru získáme nejen velikost, ale i směr gradientu, který je potřeba pro další kroky.

- Sobelův operátor:

$$h_{0^\circ} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad h_{90^\circ} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (19)$$

Ztenčení:

Zde je úkolem separovat pouze lokální maxima, respektive odebrat body, ve kterých se tyto maxima nenalézají. Tím se zajistí, že hrana bude detekována v místě největšího gradientu.

Prahování:

Zvolíme minimální  $T_1$  a maximální  $T_2$  hodnoty (prahy). Pokud je hodnota vyšší než  $T_2$  pak je gradient označen jako hranový. Pokud se jedná o bod, jehož hodnota leží mezi  $T_1$  a  $T_2$  pak je přiřazen k hraně jedině pokud sousedí s bodem, který byl označen jako hrana dříve.

### 4.3 Morfologické operace

Tyto operace se používají ke zjednodušení výstupního binárního obrazu [2][6], ve kterém se poté nachází menší množství detailů. Většinou se jedná o body, které nepatří do oblasti s obličejem, přestože zatím splňovali stanovená kritéria.

Provedením těchto operací odstraníme samostatně stojící body a seskupíme ostatní body do kompaktních celků.

Operace dilatace  $\oplus$  skládá body dvou matic pomocí vektorového součtu.

$$X \oplus B = \{p \in \varepsilon^2 : p = x + b, x \in X, b \in B\} \quad (20)$$

Operace eroze  $\ominus$  skládá dvě matice dle:

$$X \ominus B = \{p \in \varepsilon^2 : p + b \in X \text{ pro každé } b \in B\} \quad (21)$$

kde  $x$  je obrazový bod matice, která reprezentuje původní obraz  $X$ ,  $b$  je bod matice strukturního elementu  $B$  (např. vzor) a  $p$  je obrazový bod ve výsledném binárním obraze,  $\varepsilon^2$  je prostor, matice, reprezentující obraz.

Morfologická operace otevření  $\circ$  množiny  $X$  elementem  $B$  je definována jako morfologická operace eroze následovaná dilatací.

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B \quad (22)$$

Operace uzavření  $\bullet$  je definována jako morfologická operace dilatace následovaná erozí.

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B \quad (23)$$

Operace otevření odděluje objekty téměř spojené a odstraní všechny objekty v obraze, které jsou menší než strukturní element. Operace uzavření naopak spojuje objekty a zaplňuje díry v objektu , které jsou menší než strukturní element.

## 5 Praktická realizace

V této kapitole se budu zabývat uvedením do praxe některých popsaných metod při detekci obličeje, očí či očního mrkání.

### 5.1 Lokalizace obličeje

Jako prvním úkolem bylo nalezení obličeje v obraze. Tuto úlohu jsem realizoval pomocí barevné segmentace popsané v kapitole 2.

Vstupní obraz v barevném modelu RGB jsem pomocí funkce `ycbcr_image=rgb2ycbcr(rgb_image)` převedl do barevného modelu YCbCr. Tento model byl popsán v kapitole 4. Výhodou tohoto modelu je oddělená jasová složka o chrominačních složek. V této fázi lze s výhodou využít zabarvení lidské kůže, která se nejvíce projevuje v chrominační složce Cr. Ta zastupuje informaci o červené barvě jednotlivých obrazových bodů.



Obrázek 10 - RGB obrázek a odpovídající Cr složka

Pro vhodně zvolenou prahovou hodnotou zůstane po prahování méně významných obrazových bodů. Zde byla prahová hodnota určena experimentálně s hodnotou 128 pro obrazové body v hodnotách 0 až 255. Dále je segmentovaný obraz převeden do binárního obrazu pro urychlení dalších operací.





Obrázek 11 - Cr složka po prahování

Ve výsledném binárním obraze však stále zůstává mnoho nevýznamných bodů, které nesouvisí obličejem nebo takových bodů, které reprezentují například obličejové příznaky jako jsou oči, nos či ústa. Využitím morfologických operací otevření a uzavření se takovéto body či souvislá místa bodů odstraní.

Pro vlastní použitou tvarovou segmentaci byla použita operace otevření následovaná operací uzavření následovaná operací otevření. Pro každou operaci byl použit jiný strukturní element.

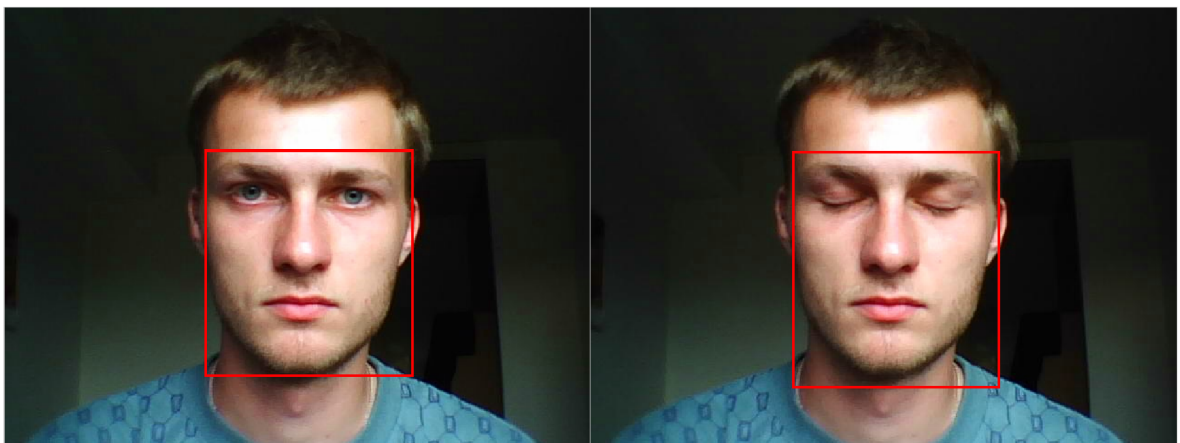
Jako první byla použita operace otevření se strukturním elementem ve tvaru malé elipsy. Pomocí této operace byla z původního binárního obrazu odstraněna většina detailů, které se nacházely v okolí lidského obličejce, resp. v pozadí. Kdyby na místo operace otevření byla použita operace uzavření byly by tyto detaily zvýrazněny.

Po operaci otevření byla použita operace uzavření. Tato operace měla jako strukturní element ve tvaru větší elipsy. Tato operace odstranila díry způsobené rty, nosem či stíny.



**Obrázek 12 - Snímek po operaci otevření a uzavření**

Následovala opět operace otevření, které byl strukturním elementem velký čtverec. Tato operace měla za následek získání jediné rozsáhlé oblasti, ve které se nacházel obličej. Tato oblast byla výchozím prvkem pro vytvoření bounding box kolem obličeje. Na obrázku 13 je zobrazen bounding box pro otevřené i zavřené oči. Oblast bounding box byla vymežující plochou pro hledání očí či očního mrkání.



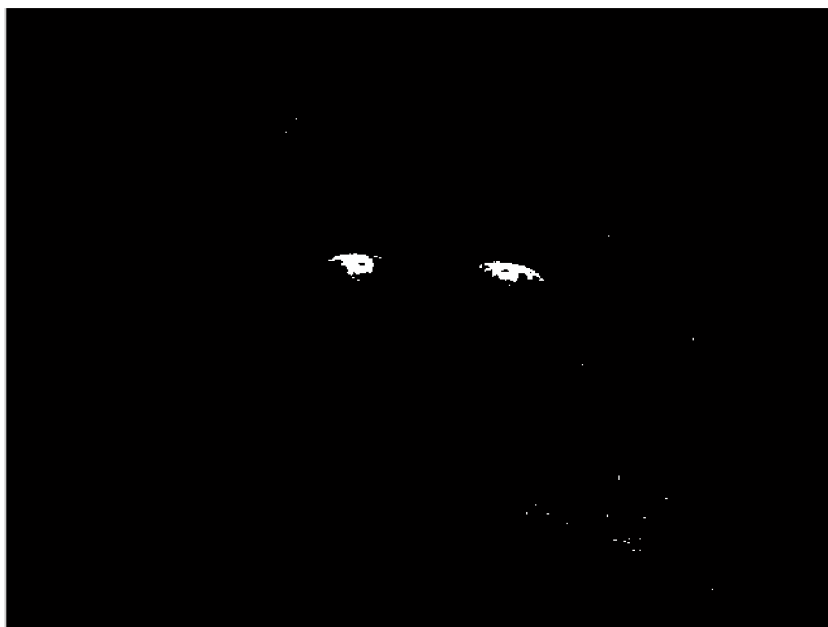
**Obrázek 13 - bounding box**

## 5.2 Detekce mrkání

Poté co jsem získal zmenšenou oblast pro hledání očí, jsem mohl přistoupit na nalezení pozice očního páru a detekci mrknutí.

Nalezení očí a bylo provedeno pomocí algoritmu presentovaného v kapitole 3.2.3. Pozice očí a detekce mrknutí se provádí pomocí rozdílové mapy a průměrného obrázku. Vytvoření těchto komponent bylo provedeno pomocí rovnic 10 až 13 uvedené v kapitole 3.

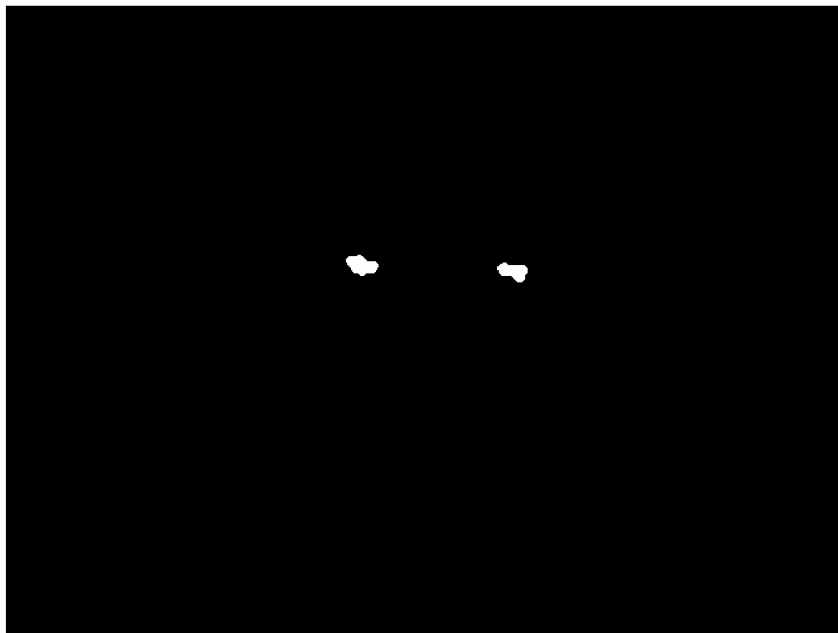
Nejprve se vytvoří 2 dimensionální rozdílová mapa o velikosti rovno formátu snímku. Barevné obrázky jsou tedy zpracovávány jako černobíla data. Hodnota této mapy je v tuto chvíli nulová. Dále se inicializuje první 3 dimensionální průměrný obrázek, který je odpovídající prvnímu snímku. Dalším snímkem je aktualizována jak rozdílová mapa tak i průměrný obrázek. Pro zpracování získaných dat byl průměrný obrázek vždy převeden na binární mapu, aby mohla být určena aktuální hodnota rozdílové mapy.



Obrázek 14 - rozdílová mapa

Tato mapa byla poté oříznuta vymezenou plochou (bounding boxem), aby se analyzovala data pouze v oblasti s obličejem. Takto upravená mapa byla

podrobena morfologickým operacím otevření a uzavření pro získání pouze dvojice souvislých oblastí reprezentující oční pár. Velikosti strukturních elementů pro tyto operace byly voleny experimentálně pro dosažení neefektivnějších výsledků.

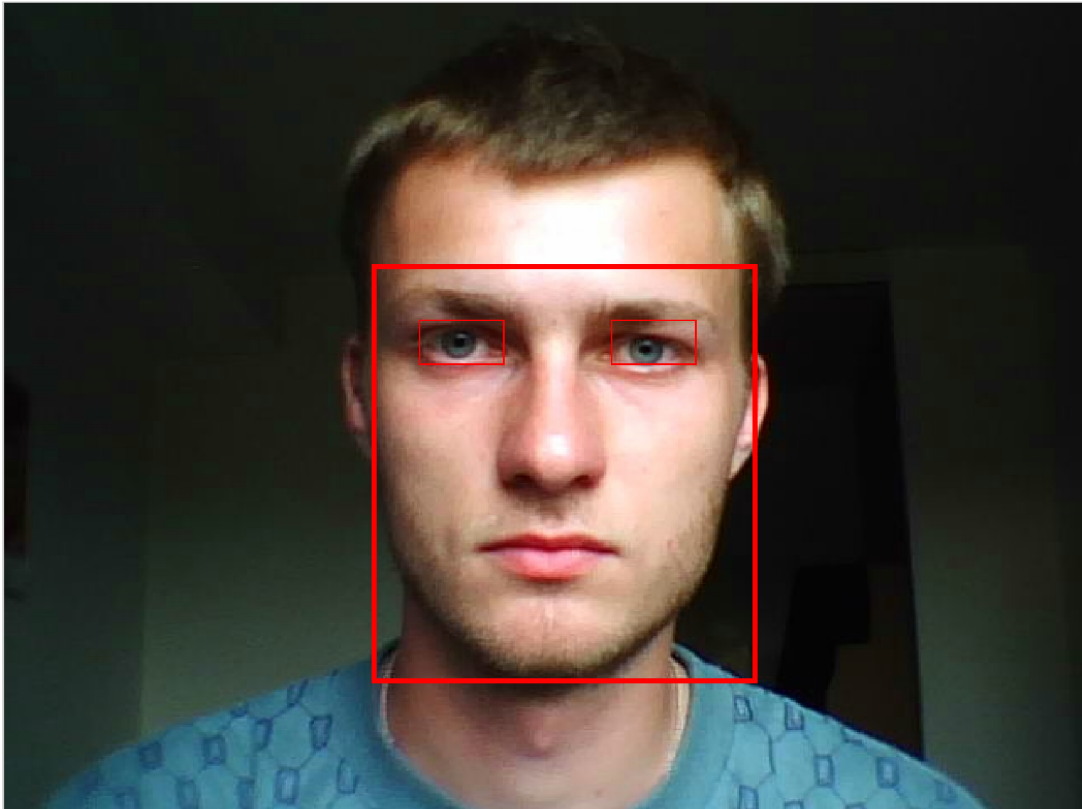


Obrázek 15 - výsledná rozdílová mapa

### 5.3 Lokalizace očí

Za předpokladu, že v rozdílové mapě byly nalezeny dvě souvislé oblasti, byla vypočítána střední pozice mezi těmito oblastmi a určeny mezní oblasti, ve kterých by se měl nacházet oční pár. Určení probíhalo na základě znalostí fyziologického rozložení obličeje a přibližných poměrů mezi velikostí a vzdáleností očí.

Pokud v rozdílové mapě nebyly žádné oblasti znamená to, že mezi dvěma snímky nedošlo k uzavření respektive opětovnému otevření očí. Souřadnice mezních oblastí byly aktualizovány každou novou dvojicí souvislých oblastí. Nakonec byly zobrazeny mezní oblasti pro oční pár v původním pořizovacím snímku v prostoru RGB, jak ukazuje obrázek 16.



Obrázek 16 - Výsledný obrázek

## 6 Závěr

Nyní jsme se dostali k závěrečnému shrnutí. Práce je rozdělena do čtyř částí. V předchozích částech byly teoreticky popsány metody detekce obličeje v obraze, lokalizace očí a detekce mrkání.

V první části jsem zmínil možnosti detekce obličeje v obraze s komplexním pozadím. Tyto popsané metody se většinou nepoužívají samostatně, nýbrž je zvolena vhodná kombinace více metod pro zajištění co nejvyšší přesnosti a spolehlivosti navrženého systému k lokalizaci obličeje. Druhá část byla věnována lokalizaci očí a detekci mrkání.

Cílem této práce je teoretické nastínění možností, se kterými můžeme setkat při praktické realizaci detekce mrkání.

Protože náročnost operací na hardwarové prostředky převyšovala možnosti počítače, na kterém byly prováděny, nebylo tedy možné otestovat algoritmus na videu. Z tohoto důvodu byla praktická realizace navrhnutá a testována na sérii jedenácti snímků, které obsahovaly jak obličej s otevřenýma tak i zavřenýma očima.

Pro tuto sérii byla úspěšnost lokalizace očí a detekce mrkání téměř 100 procent. Je ovšem nutné říci, že takto navržený postup selhává zejména při vysokém rozdílu vzdálenosti uživatele od kamery pořizující testované snímky. A to zejména kvůli velikosti strukturních elementů. Bylo by proto lépe realizovat systém, kde morfologických operací bude užito pouze jako prostředkem odstranění nedůležitých obrazových bodů, vzniklých například proměnností světelného pozadí. Nikoliv jako hlavním prostředkem k nalezení významných oblastí jako jsou oči, nos či celý obličej.

### Seznam použité literatury:

- [1] HAN, C., C., LIAO, H., Y., M., YU, K., C., CHEN, L., H *Fast face detection via morphology-based pre-processing*. 2002
- [2] Webové stránky WIKIPEDIA [online]. Dostupné z URL:  
<<http://en.wikipedia.org/wiki> >
- [3] TURK, M., PENTLAND, A. *Eigenfaces for face detection/recognition* 1991
- [4] NEFIAN, A. *A Hidden Markov model-based approach for face detection and recognition*. 1999
- [5] YANG, M., H., KRIEGMAN, D., J., AHUJA, N. *Detecting Faces in Images: A Survey* 2002
- [6] CHAU, M., BETKE, M. *Real eye tracking and blink detection with USB cameras* 2005
- [7] *Blink Detection for Real-Time Eye Tracking*. Dostupné na URL:  
<<http://www.informatics.manchester.ac.uk> >
- [8] LALONDE, M., BYRNS, D., GAGON, L., TEASDALE, N., LAURENDEAU, D., *Real-time eye blink detection* Dostupné z URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/> >
- [9] D'ORAZIO, T., LEO, M., CICIPELLI, G., DISTANTE, A. *An algorithm for real time eye detection*. Dostupné z URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/> >
- [10] *Barevné modely*. Dostupné z URL: <<http://sweb.cz/liska.pouste/downloads/>>
- [11] Gonzalez, R. C.: *Digital Image Processing Using MATLAB*. Prentice Hall, 2003.

## Seznam zkratk, veličin a symbolů:

ADF – obraz složených rozdílových obrazů

ADFT – prahovaný ADF

CMY – model barevného prostoru

HMM – skryté Markovovy modely (Hidden Markov model)

HSL – model barevného prostoru

HSV – model barevného prostoru

RGB – model barevného prostoru

ROI – oblast zájmů (region of interest)

YCbCr – model barevného prostoru

A – matice

B – strukturní element

C – kovarianční matice

H – rozměr snímku

I – intenzita obrazového bodu

$R(x, y)$  – normalizovaný korelační koeficient

$R_{\text{LEVÁ}}$  – oblast zájmů levého oka

$R_{\text{PRAVÁ}}$  – oblast zájmů pravého oka

$R_{\text{max}}$  – průměr lidské duhovky

$R_{\text{min}}$  – průměr lidské duhovky

T – čas

W – rozměr snímku

X – množina bodů

m – počet vektorů  $\Gamma$

x – souřadnice obrazového bodu osy x

y – souřadnice obrazového bodu osy y

$\Gamma$  –  $W \times H$  rozměrný vektor

$\Theta$  – optický tok

$\Phi$  – rozdílový vektor

$\Psi$  – průměrný obraz obličeje

$\varepsilon$  – reziduální funkce



$\theta$  – prahová hodnota

$\mu$  – průměrný obraz

$\sigma^2$  – rozdílová mapa

$\mathcal{J}$  – prahová hodnota

## Seznam příloh

Příloha 1: Zdrojový kód pro barevnou segmentaci

Příloha 2: Zdrojový kód pro detekci mrknutí

## Příloha 1:

```
Ar = A(:, :, 1);
Ag = A(:, :, 2);
Ab = A(:, :, 3);
Ar2 = Ar; Ag2 = Ag; Ab2 = Ab;
B = rgb2ycbcr(A);
Cy = B(:, :, 1);
Cb = B(:, :, 2);
Cr = B(:, :, 3);    %prevod a rozdeleni barevneho prostoru
Cy2 = Cy;
Cb2 = Cb;
Cr2 = Cr;    %zachovane nesegmentovane YCbCr slozky
%barevna segmentace prahovanim
prah = 128;
for x = 1:1:480
    for y = 1:1:640
        if Cr(x, y) <= prah
            Cr(x, y) = 0;
        end
        if Cr(x, y) > prah
            Cr(x, y) = 255;
        end
    end
end
bw = im2bw(Cr); % zrychleni mor. operaci

%redukce šumu (morfologické op.) - urceni oblasti s oblicejem
seO = strel('disk',3,0);
seC = strel('disk',11,0);
O_Cr = imopen(bw, seO);    %odstraneni malych svetlych bodu
C_O_Cr = imclose(O_Cr, seC);    %odstraneni tmavych bodu
seCC = strel('disk',90);    %vytvori jeden obrazec
finOblicej = imopen(C_O_Cr, seCC);
%urceni meznich bodu pro vymezeni oblasti s oblicejem
Smin = 640; Smax = 0; Vmin = 480; Vmax = 0;
for x = 1:1:480
    for y = 1:1:640
        if finOblicej(x, y) > 0
            if Smin > y
                Smin = y;
            end
            if Smax < y
                Smax = y;
            end
            if Vmin > x
                Vmin = x;
            end
            if Vmax < x
                Vmax = x;
            end
        end
    end
end
end
```

## Příloha 2:

```
j=1;
DR(:,:,j) = D(:,:,1,j);
obrazekR = DR;
DG(:,:,j) = D(:,:,2,j);
obrazekG = DG;
DB(:,:,j) = D(:,:,3,j);
obrazekB = DB;

for j=2:1:11
DR(:,:,j) = D(:,:,1,j);
obrazekR(:,:,j) = ( DR(:,:,j))/j;
DG(:,:,j) = D(:,:,2,j);
obrazekG(:,:,j) = ( DG(:,:,j))/j;
DB(:,:,j) = D(:,:,3,j);
obrazekB(:,:,j) = ( DB(:,:,j))/j;
end

for j=1:1:11
obrazek(:,:,1,j)= obrazekR(:,:,j);
obrazek(:,:,2,j)= obrazekG(:,:,j);
obrazek(:,:,3,j)= obrazekB(:,:,j);
CBobrazek(:,:,j) = rgb2gray(obrazek(:,:,j));
end

mapa2(1:480,1:640,1) = 0;
seOCI = strel('disk',4);
seOCI2 = strel('disk',8);
for j=2:1:11
mapa2(:,:,j) = j * (CBobrazek(:,:,j) - CBobrazek(:,:,j-1))^2;
mapicka(:,:,j) = im2bw(mapa2(:,:,j));
mapicka2(:,:,j) = imopen(mapicka(:,:,j),seOCI);
mapicka3(:,:,j) = imclose(mapicka2(:,:,j),seOCI2);
end
```