

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMEDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

DETEKCE OBLIČEJOVÝCH RYSŮ V OBRAZE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

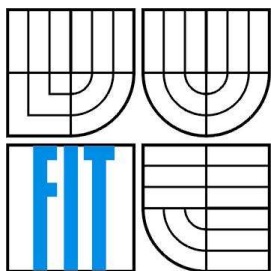
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROBERT DEL FAVERO

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

DETEKCE OBLIČEJOVÝCH RYSŮ V OBRAZE

FACIAL FEATURES DETECTION AND GROUPING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROBERT DEL FAVERO

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŠPANĚL

BRNO 2009

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá detekcí obličeje a obličejových rysů v obraze. Zaměřuje se především na metodu, která využívá k detekci barevného modelu lidské kůže. Touto metodou detektor nalezne všechny body odpovídající barvě kůže. Pomocí morfologických operací shlukne body do kandidátních oblastí obličeje a následně v nich vyhledá pomocí Sobelova operátoru obličejové rysy. Obsahem je také částečná implementace detektoru v jazyce C za pomoci knihovny OpenCV.

Klíčová slova

zpracování obrazu, detektor obličeje, obličejové rysy, metoda modelu barvy kůže

Abstract

This bachelor's thesis deals with facial features detection in images. Especially, a skin color detection algorithm is addressed. This method find all pixels corresponding to the skin color and clusters them into candidate face regions by the help of morfological operations. Afterwards, using the Sobel operator, all facial features are located accurately. Implementation of the proposed facial feature detector based on the well known OpenCV library is presented too.

Keywords

Image processing, face detector, facial feature, skin color-based method

Citace

Del Favero Robert: Detekce obličejových rysů v obraze, Brno, 2008, bakalářská práce, FIT VUT v Brně.

Detekce obličejových rysů v obraze

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michaela Španěla. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Robert Del Favero
26.11.2008

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Michalu Španělovi za jeho odbornou pomoc, kterou mi poskytoval během vytváření této práce.

© Robert Del Favero, 2008.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Metody detekce lidského obličeje	3
2.1	Invariantní rysy	3
2.2	Znalostní metody.....	4
2.3	Srovnávání šablon	5
2.4	Metody založené na zjevu	5
3	Detekce obličeje pomocí barevného modelu	8
3.1	Princip	8
3.2	Algoritmus pro lokalizaci obličeje	11
4	Metody zpracování obrazu	13
4.1	Morfologické operace	13
4.2	Gradientsy a Sobelův derivační operátor	13
5	Návrh řešení	14
5.1	Cíle k řešení.....	14
5.2	Řešení.....	14
6	Implementace.....	18
6.1	detect.c	18
6.2	ovládání.....	19
7	Výsledky testování.....	20
7.1	Ukázka chování detektoru.....	20
7.2	Zhodnocení detektoru a metody	20
8	Závěr	24
	Literatura	25

Kapitola 1

Úvod

Detekce obličejových rysů jako součást oblasti rozpoznávání objektů v obraze nachází uplatnění v mnoha oborech počítačového zpracování obrazu (biometrie, dohledové systémy, uživatelské rozhraní, obsahové kódování obrazu). Její použití je především při interakci počítačů s člověkem. Samotné rozpoznání je teprve začátek procesu, následovat mohou metody pro analýzu výrazu obličeje či vyhledání daného obličeje v databázi osob apod. Jednotlivé metody se liší rychlostí zpracování a také jejich použitelností pro různá pozadí a prostředí.

Kapitola 2 této práce se zabývá metodami a postupy, které se v dnešní době nejčastěji používají k detekci obličeje a jeho rysů v obraze. Metody samy o sobě využívají znalostí z mnoha dalších vědeckých disciplín jako zpracování obrazu, statistika a pravděpodobnost, maticový počet, umělá inteligence, fuzzy logika či spektrální analýza.

Bližšího přiblížení metody detekce obličeje pomocí barevného modelu lidské kůže se dočteme v kapitole 3. Důležitou částí je správný výběr barevného modelu pro zpracování a následné filtrační metody. Nalezneme zde operace a postupy jak tato metoda pracuje.

Kapitola 4 se zabývá metodami zpracování obrazu, které jsou nezbytně nutné při návrhu a implementaci detektoru. Dávají celé metodě smysl a význam.

Kapitola 5 podává jasný návrh detektoru jako celku, který by měl být schopen vyhledat obličej v obraze. Rozepisuje zde, které části byly převzaty, a které jsou mým vlastním návrhem.

Implementaci v jazyce C za pomoci knihovny OpenCV firmy Intel popisuje kapitola 6. Jsou zde také nastíněny problémy a úskalí, které se vyskytli. Jejich řešení, či alespoň návrh, jak je řešit.

Samotná kapitola 7 poté provede rozbor testovacích dat. Probere výhody a nevýhody navržené metody detekce a také možnosti jejího využití.

Závěr se pokusí vyhodnotit přínos této práce a možné pokračování práce v budoucnosti.

Kapitola 2

Detekce lidského obličeje

Pod pojmem detekce lidského obličeje v obraze si můžeme představit označení jisté části obrazu, kterou považujeme za obličej. V této oblasti poté můžeme pro potvrzení našeho dojmu dohledat jednotlivé obličejové rysy, jako oči, ústa, popřípadě nos. Detekovaný obličej po té můžeme použít pro následovné zpracování. Využití lze nalézt v kriminalistice, v nejnovějších fotoaparátech, snímací technice, medicíně.

Většinou prvním krokem u všech algoritmů pro detekci obličeje je detekce hranice hlavy, kdy se algoritmus snaží vyhodnotit z fotografie oblast zájmu. V současnosti existuje řada způsobů jak detekovat obličej v obraze, na základě přístupu lze metody detekce pro obličej rozdělit do čtyř hlavních tříd [11].

- **Invariantní rysy**
- **Znalostní metody**
- **Srovnávání šablon**
- **Metody založené na zjevu**

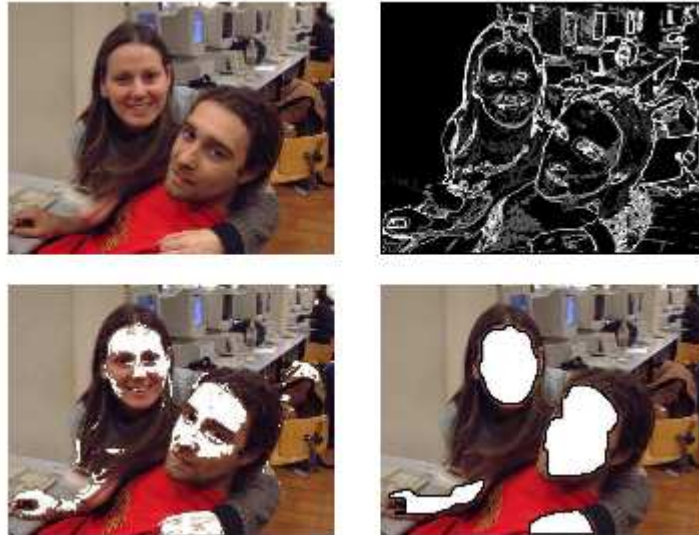
2.1 Invariantní rysy

Detekce na základě obecně platných rysů lidské tváře, které nepodléhají změnám podmínek osvětlení nebo natočení obličeje. Těmito rysy mohou být, buď obličejové příznaky (oči, nos atd.), obličejová textura anebo barva obličeje. Výhodou těchto metod je snadná a rychlá implementace s kvalitními výsledky.

Detekce podle barvy kůže

Postup detekce takovýchto metod může být následující. Nejdříve hranovými detektory např. podle Laplace, Canny, určit přechody mezi jednotlivými segmenty obrazu. Po té barevnými filtry rozpoznat oblasti s barvou kůže. Následně vybrat dané segmenty, jež jsou z větší části právě takto zbarvené. Tato metoda je poměrně rychlým způsobem jak velice přesně nalézt oblasti odpovídající barevnému modelu lidské kůže.[3](Obr.2.1)

Další z možností je nejdříve vyhledat všechny body spadající do modelu barvy kůže a po následných filtrech rozdělit obraz do oblastí, ve kterých by se mohly nalézat obličejové rysy. Tyto metody ovšem mohou mít jistý problém s komplexním pozadím, kde se obličejová oblast může nechtěně spojit s oblastí neobličejovou a nastává problém příliš velké oblasti pro hledání obličejových rysů. [1](Obr.2.2)



Obr.2.1: Příklad postupu metod invariantních rysů [3]

(Originál; Vyznačené hrany; Oblasti barvy kůže; Rozšíření až k hranám segmentů)



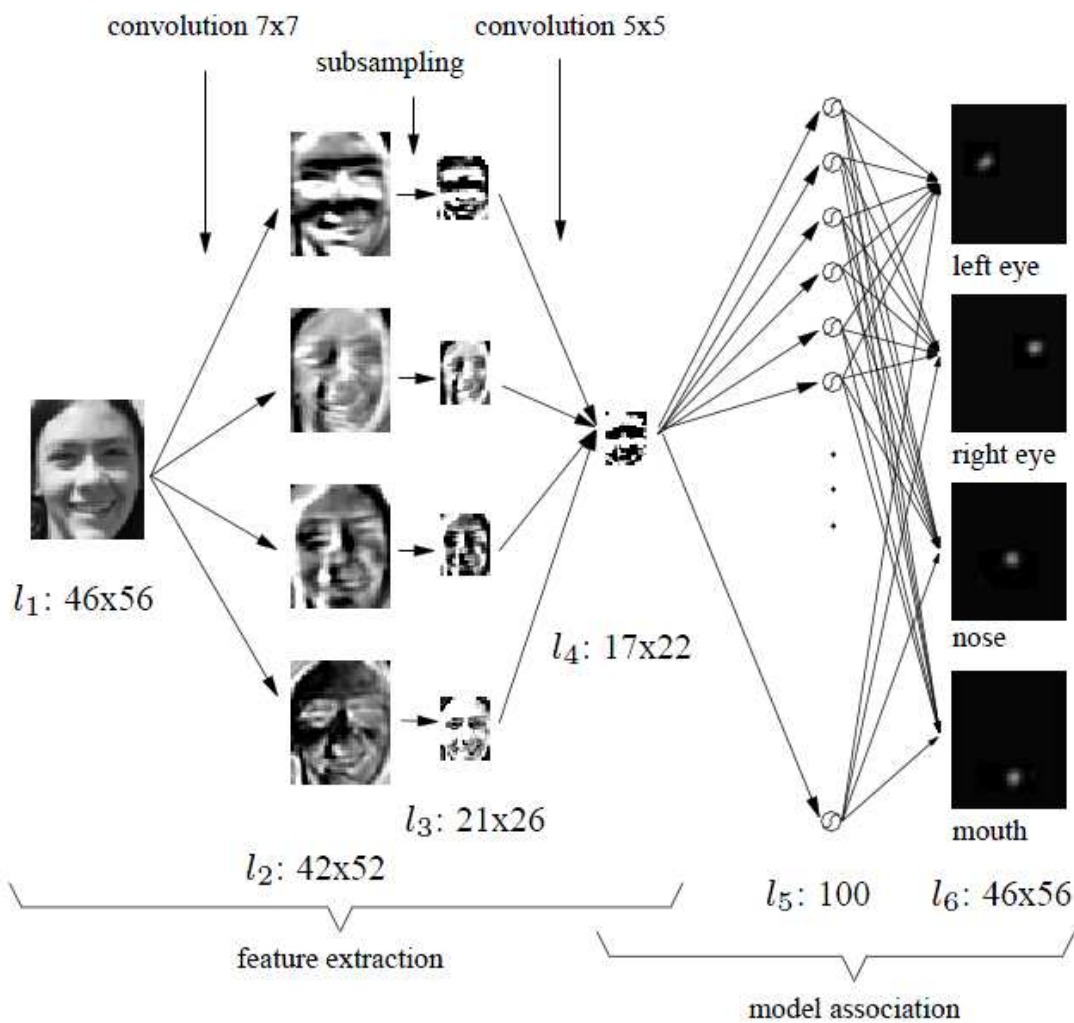
Obr.2.2: Příklad binární mapy po vyhledání bodů spadajících do barevného modelu lidské kůže[1]

2.2 Znalostní metody

Tvář je hledána na základě definovaných pravidel, které popisují „typickou tvář“. Pravidla většinou vyjadřují vztahy mezi částmi obličeje. Tato metoda vyžaduje velmi precizní lokalizaci a popis jednotlivých příznaků, což vede k nutnosti použití složitých a robustních algoritmů. Z tohoto důvodu tyto metody zpravidla nedosahují požadovaných výsledků.

Neuronové sítě

Příkladem může být metoda rozpoznávání lidského obličeje pomocí speciální neuronové architektury. Tato neuronová síť obsahuje 6 vrstev, kdy na první vstupní vrstvu navazují 3 konvoluční vrstvy a dále 2 vrstvy kladné zpětné vazby (feedforward layer). Cílem tohoto systému je se naučit přeměnit surový vstup na výstup, kdy vystoupí z obrazu mapa obličejových rysů. [4](Obr.2.3)



Obr.2.3: Schéma metody *Heterogenních neuronových vrstev* [4]

2.3 Srovnávání šablon

Hledání na základě korelace obrazu s přednastavenými šablonami, buď celého obličeje, nebo jeho částí. Nevýhodou tohoto přístupu je nutnost vytvořit a mít uloženy v paměti jednotlivé šablony, které je potřeba většinou ručně vytvořit, což je velmi pracné a časově náročné.

2.4 Metody založené na zjevu

Modely obličeje jsou získány trénováním na množině prvků, která obsahuje různé vzory tváří. Detekce probíhá srovnáváním částí obrazu s tímto modelem. Opět je zde nutnost vytvořit modely obličeje, i když učení většinou probíhá poloautomaticky. Metody založené na tomto přístupu dosahují velmi dobrých výsledků.

Obě výše zmíněné metody pro svoji použitelnost potřebují především natrénovat na jisté množině příkladů. Jestli se jedná o šablony obličejových rysů nebo již celých obličejů, nehraje tolik roli. Následující metody tréninku mohou spolupracovat s oběma. V praxi jsou hojně využívány. Všechny pracují s obrazy vyobrazené pouze v stupních šedi.

Metoda Adaboost s omezením tvaru

Princip této metody spočívá v natrénování detektoru na určitou skupinu pozitivních a negativních šablon za využití klasifikátorů. Vzorek je porovnáván s každým prvkem v databázi a podle toho jak moc se blíží pravdě, je klasifikátor ohodnocen v dané iteraci. Prvky s nejlepším ohodnocením jsou po té označeny za kandidátní oblast obličeje. Následně je ještě soubor kandidátských oblastí testován na omezení tvaru a to hned 2 krát. Nejdříve se zhodnotí, jestli tvar oblasti je vhodný k testování pravděpodobnosti zda se jedná o obličejový rys. Následně se ještě testují limity pro orientaci, velikost a poměr dané oblasti k celkovému obrazu. [2](Obr.2.4)

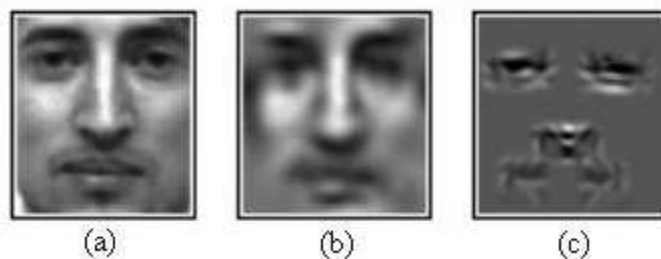


Obr. 2.4: Ukázka databáze vzoru šablon pro srovnávání s obrazem. [2]

(vlevo: soubor pozitivních oblastí, vpravo: soubor negativních oblastí)

Hierarchické waletové sítě

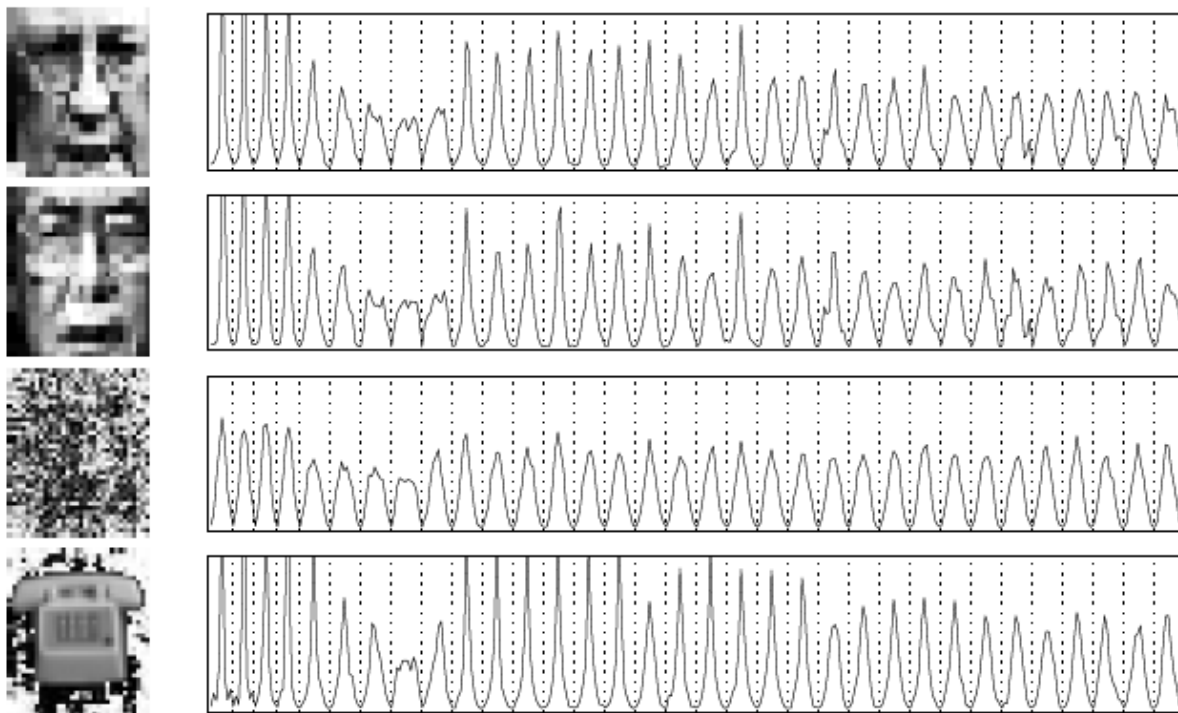
Metodu si nejlépe můžeme představit jako strom, kdy každý uzel stromu reprezentuje síť spolu s jeho souřadnicovou soustavou. Každý uzel dítěte je svázán s pevným souřadným systémem, ve kterém se nachází. Tím vznikne omezení poměrného umístění souřadnicových soustav mezi uzly. Tímto uspořádáním se daří vyhnout přílišným geometrickým odchylkám. Po té se uzel porovná s příkladem tváře v databázi a získá bodové skóre, nakolik je podobný všem obsaženým šablonám. Vyhodnocením je co nejvyšší skóre s některou danou šablonou. [5](Obr.2.5)



Obr.2.5: Příklad databáze pro Hierarchical Wavelet Nets metodu. [5]

Spektrální histogram a SVM metoda

Tato metoda stejně jako předešlá je založena na zjevu. Tentokrát je však každá část obrazu převedena do jistého konstantního rozlišení, např. 20x20 pixelů a je na ní proveden spektrální histogram. Tento histogram je sestaven jako soubor výstupů několika filtrů, které byly provedeny na obrazové oblasti potenciálního obličeje. (Obr.2.6) Histogram se po té porovnává s databází histogramů, která se stále učí a rozšiřuje podle metody Support Vector Machine. Opět se jedná o funkci založenou na bázi klasifikátorů, ovšem dosahuje lepších výsledků než běžné Neuronové sítě stejně jako další metoda, založená na klasifikátorech, Adaboost. [11]



Obr.2.6: Ukázka spektrálních histogramů různých obrázků. [11]

Kapitola 3

Detekce obličeje pomocí barevného modelu

Hledání oblastí barevně odpovídajících barvě kůže v barevném obraze se stalo velice účinnou a využívanou metodou v mnoha aplikacích. Výhodou použití této metody je především rychlost, velmi malá citlivost na změnu světelných podmínek, necitlivost na velikost a úhel natočení tváře, věk, či pohlaví dané osoby. Dále pak ve velké míře umožňuje detekovat obličej s různými strukturálními komponenty obličeje (jako např. vousy, brýle, vlasy padající do čela apod.) a to i na velmi komplexním pozadí. Její největší slabinou ovšem je, pokud se hledaný obličej nachází v obraze, jehož pozadí je barevně shodné s předpokládanou barvou kůže. Proto je vhodné tuto metodu doplnit o rozšíření tak, aby tato nežádoucí vlastnost byla potlačena. Dále je problematická sada odstínů barvy kůže pro různé národnosti, chtělo by to používat víc oddělených oblastí v barevném modelu. [1]

3.1 Princip

Základní princip všech metod vychází z pozorování, že barva lidské kůže sdílí určitý kompaktní podprostor v barevném prostoru. Ohraničením tohoto prostoru lze modelovat barvu lidské kůže a pak klasifikovat barvu jednotlivých bodů obrazu. Klasifikaci na základě barvy kůže lze rozdělit do tří hlavních kroků:

- výběr vhodného barevného modelu
- zvolení modelu barvy kůže a jeho přesnost
- stanovení kritéria pro klasifikaci

Následně také nastává fáze, kdy je zapotřebí dané oblasti separovat a určit metodu, jakou budeme vyhledávat a porovnávat jednotlivé obličejové rysy (oči, ústa).

Výběr barevného modelu

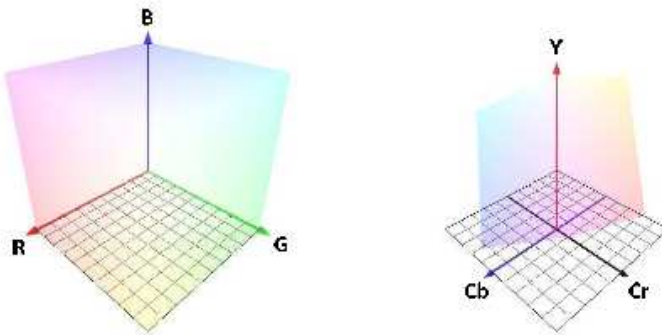
Výzkum v oblasti kolorimetrie, zobrazování a zpracování obrazu přinesl mnoho barevných modelů s rozdílnými vlastnostmi. Tvar a kompaktnost podprostoru barev kůže se v jednotlivých modelech liší. Výběr vhodného barevného modelu je tedy zásadní pro mnoho metod klasifikace.

Za základní barevný model používaný ve zpracování obrazu lze označit barevný model *RGB* (viz obr. 3.1, krychle *RGB* je identická s prostorem *RGB*). Barva je definována složením tří základních barev (červená, modrá a zelená) o různé intenzitě. Vzhledem k tomu, že tento barevný model explicitně neodděluje jasovou a barevnou složku, není příliš využíván.

Televizní standard *PAL* i obrazový kompresní algoritmus *JPEG* používají barevný model *YCbCr*. Jde o transformovaný *RGB* model, kde *Y* reprezentuje jasovou složku, *Cb* a *Cr* barevné chrominanční složky (krychle *RGB* se transformovala ve specifický šestistěn). Vyznačuje se jednoduchým převodním vztahem mezi oběma modely.(1)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112.000 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jednoduchost transformace a fakt, že z tohoto modelu vychází často používané formáty, zajistily velkou oblibu tohoto modelu mezi systémy pro klasifikaci a právě především pro detekci obličejů či obličejových rysů.



Obr.3.1: Vlevo model RGB, vpravo model YCbCr.[1]

Zvolení modelu barvy kůže a jeho přesnost

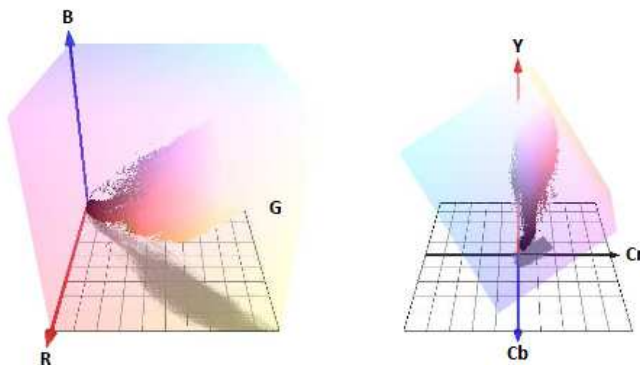
Podstatou barevné segmentace při detekci obličeje ve scéně, je rozdělení jednotlivých pixelů, podle jejich barevné hodnoty, na pixely barevně spadající do oblasti kůže a pixely, jejichž barevná složka barvě kůže neodpovídá. Nejprve je ovšem nezbytné tuto barevnou oblast kůže nadefinovat. Explicitně lze oblasti barvy kůže vyjádřit podle pravidel, na základě rozložení vzorových barev kůže v barevném modelu.

Toto rozložení lze získat experimentálně srovnáním různých testovacích vzorů. Největší výhodou je lehká implementace a tím i velmi výrazná rychlost klasifikace. Kvalita výsledku je velmi závislá na vybraném modelu a přesnosti pravidel, která je nutno určit experimentálně. Dále je možné také utvořit více oblastí patřící dané jednotlivé rasové skupině a testovat obraz vícekrát na každou možnou podskupinu barvy kůže. Ovšem častěji se používá jednotný systém testovacích vzorů. (Obr.3.2)



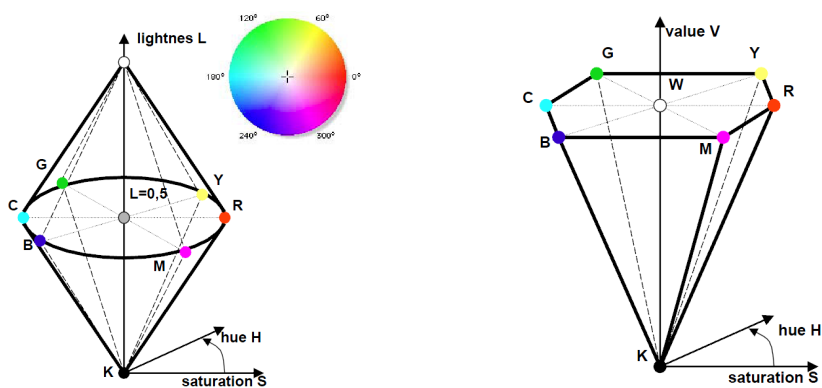
Obr.3.2: Příklad vzorové šablony barvy kůže[1]

Výslednou oblast můžeme sledovat a porovnat na následujícím obrázku (Obr.3.3), kde vidíme, že převod z barevného RGB na YCbCr je skutečně přínosem. A barevná oblast kůže je v modelu YCbCr lépe zachytitelná.



Obr.3.3: podprostor barvy kůže v modelu RGB (vlevo) a YCbCr (vpravo) [1]

Jako další barevné modely, které by mohly být použity pro náš účel, si vyjmenujme modely HSV a HLS. Oba mají 3 složky, Hue – barevný tón, Saturation – sytost, příměs jiné barvy a pak Value jako hodnotu světla obsažené v barvě nebo Lightness jako světlost barvy. Oba modely by mohly být vhodné, ale protože u nich hrozí možnost neskutečných kombinací, bylo by testování daných odstínů v těchto modelech složité.[12]



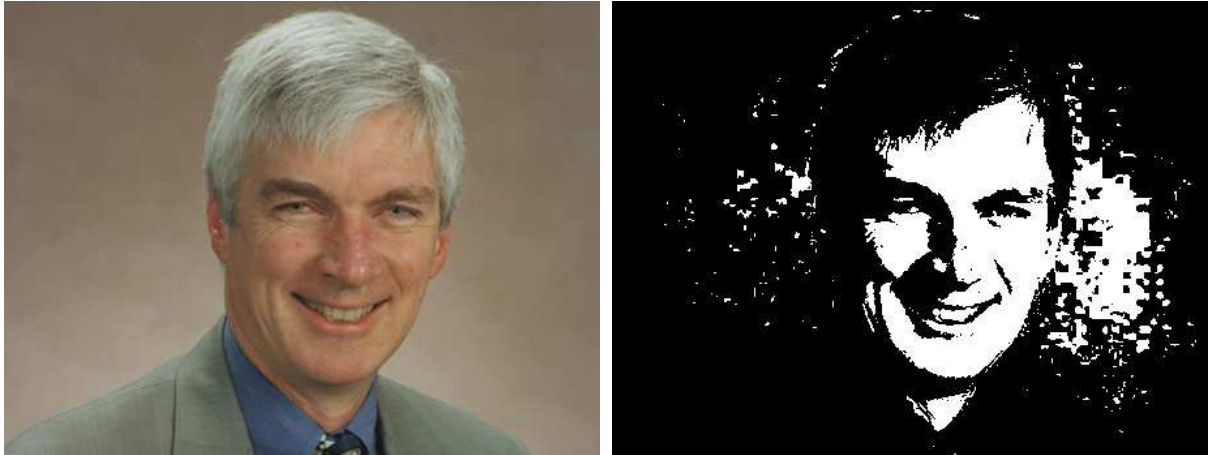
Obr.3.4: Barevný model HLS vlevo a HSV vpravo. [12]

3.2 Algoritmus lokalizace obličeje

Při realizaci algoritmu se dá vycházet z předpokladu, že se v obraze může vyskytovat neomezené množství tváří v různém úhlu natočení a v různé vzdálenosti od snímání kamery, ale pro lokalizaci bude potřeba uvažovat pouze ty, u kterých jsou viditelné obě oči i ústa a které dosahují alespoň minimální velikosti (přibližně 20×20 pixelů). Vlastní lokalizaci lze rozdělit do dvou částí, v první dochází k nalezení pravděpodobných obličejových kandidátů a v druhé jsou neodpovídající kandidáti na základě nalezené pozice očí a rtů vyřazeni.

Databáze vzorů

Jako první operaci, kterou provedeme, je projítí celého obrazu a porovnání každý pixel s naší databází vzorů barev lidské kůže. Každý pixel je potom logicky ohodnocen buď hodnotou 1 pokud je to prvek lidské kůže nebo 0 pokud nespadá do barevného modelu kůže. Nyní jsme již byli schopni na základě srovnávání jednotlivých pixelů testovaného obrazu s touto naší databází vytvořit binární mapu informující nás, které pixely z testovaného obrazu spadají do barevné oblasti kůže.(Obr.3.5) Výhodou použití databáze, popisující barevnou oblast kůže, oproti matematickému modelu je rychlost zpracování obrazu, ovšem za cenu větších nároků na paměť. [6]



Obr.3.5: Ukázka výsledné binární mapy (originál vlevo, bin. mapa vpravo)

Kapitola 4

Metody zpracování obrazu

V této kapitole se budu zabývat některými vybranými metodami zpracování obrazu, které jsou následně použity v návrhu detektoru. Obě tyto metody jsou stavebním kamenem celého algoritmu získávání obličejových oblastí a obličejových rysů.

4.1 Morfologické operace

Morfologické operace většinou navazují na binární mapu, která vznikne po algoritmu z předchozí kapitoly 3.2. Nastává zde situace, kdy je potřeba binární mapy plné roztroušených bodů podrobit sérii morfologických operací otevření (2) a uzavření (3) [7], jež mají za následek odstranění samostatně stojících bodů a seskupení ostatních bodů do kompaktních celků. Tím vyloučíme většinu falešných bodů (Obr.3.7) a na druhou stranu také přiřadíme do oblastí i body které jsou kůží, ale byly již mimo rámeček množiny bodů barevného podprostoru. (Obr.3.6)

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B, \quad (2)$$

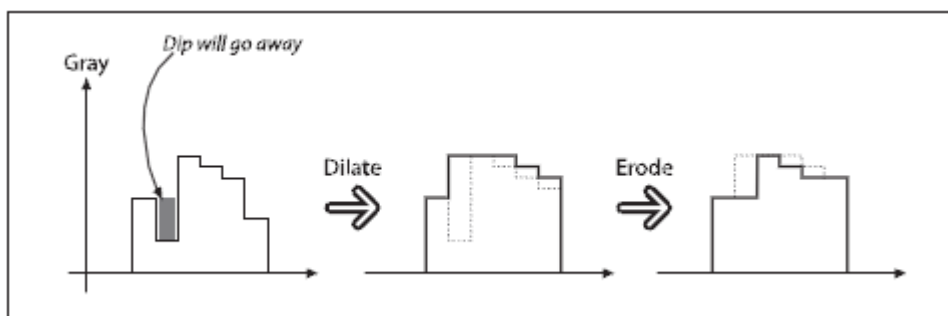
$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B, \quad (3)$$

kde \oplus odpovídá morfologické operaci dilatace (4) a \ominus morfologické operaci eroze (5).

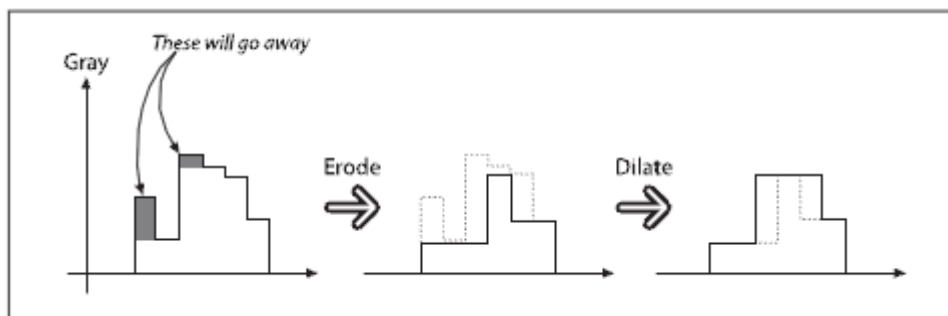
$$X \oplus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p = x + b, x \in X, b \in B\}, \quad (4)$$

$$X \ominus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p + b \in X, \forall b \in B\}, \quad (5)$$

Poté si již dané oblasti dají považovat za kandidáty na obličej, a dále v nich hledat obličejové rysy jako oči, ústa, popřípadě nos.



Obr.3.6: ukázka principu operace uzavření, nejdříve dilatace, poté eroze. [10]



Obr.3.7: ukázka principu operace otevření, nejdříve eroze a následně dilatace. [10]

4.2 Gradienty a Sobelův derivační operátor

Jedna ze základních a nejdůležitějších konvolučních metod je výpočet derivací gradientů (nebo alespoň jejich aproximace). Existuje mnoho možností jak je počítat, ale pouze několik z nich je dobře použitelných v naší situaci. Obecně lze říct, že nejvíce používaný operátor používaný k výpočtu je Sobelův derivační operátor [9]. Sobelovy operátory existují pro jakýkoliv směr derivace a také je lze použít pro smíšené parciální derivace. [10](6)(7)

$$\mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * \mathbf{A} \quad \text{and} \quad \mathbf{G}_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * \mathbf{A} \quad (6)$$

$$\mathbf{G} = \sqrt{\mathbf{G}_x^2 + \mathbf{G}_y^2} \quad (7)$$

Pro naši potřebu využijeme především Sobelův operátor v ose Y. Kdy v homogenní struktuře lidského obličeje nám na povrch krásně vystoupí obličejové rysy jako jsou oči a ústa. Výsledná binární mapa nám vykresluje přechody v ose Y, tyto hrany, které jsme detekovali, jsou tím hustější, čím více přechodů v obličejí nastává. Nejvíce jich nalezeneme právě v oblastech očí a rtů.

Matematicky vyjádřeno, Sobelův operátor používá čtvercovou matici s lichým počtem řádků, nejčastěji 3,5,7. Kdy pro každý bod originálního obrazu A počítá aproximaci derivace buď ve směru horizontálním či vertikálním. V našem případě bude použita pouze složka vertikální (G_y). G_y je tedy výsledný obraz derivací spočtený podle Sobelova operátoru.(8).

$$\mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * \mathbf{A} \quad (8)$$

Kapitola 5

Návrh

V této kapitole se budu zabývat vlastním návrhem aplikace, jejím původním cílem a výčtem a ukázkou metod, jež byly použity.

5.1 Cíle k řešení

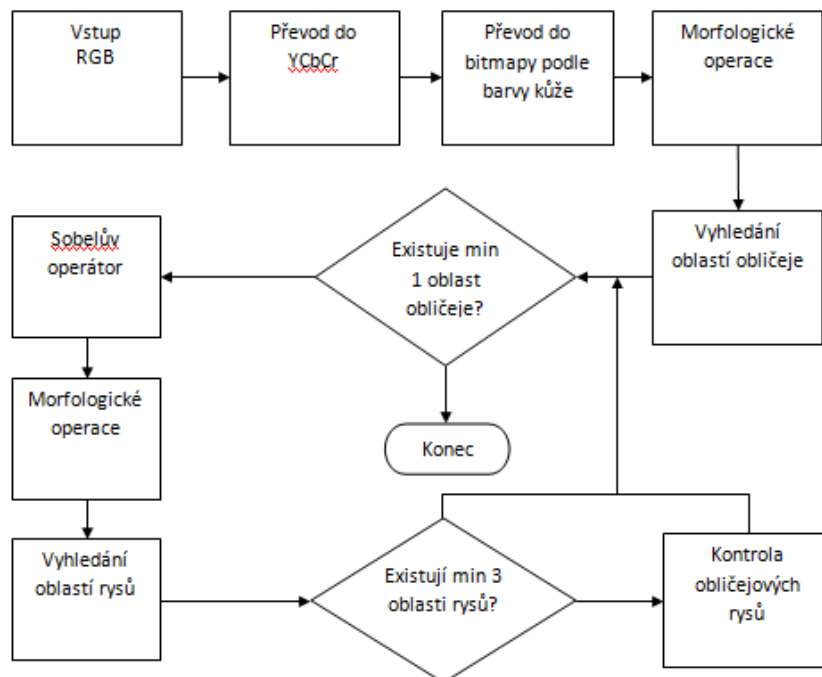
Cílem je naprogramovat detektor obličeje pomocí metody invariantních rysů popsané v předchozí kapitole. Pro detekci obličejových rysů bude použita metoda za pomoci Sobelova operátoru. Program bude napsán v jazyce C a budou v něm použity především funkce a procedury, jež jsou obsaženy v knihovně OpenCV. [13]

Výsledný program by měla být konzolová aplikace, kterou bude uživatel ovládat pomocí parametrů. Ty budou více popsány v části implementace a uživatel má možnost se je dozvědět spuštěním aplikace s parametrem -h.

Program bude zaměřen na barevné fotografie střední velikosti, kdy každý z rozměrů bude nabývat velikost kolem 300 – 600 pixelů. Toto omezení je z důvodu koeficientů pro výpočty dané metodou, jiné velikosti obrázku by se museli přepočítávat a zákonitosti metody by nemuseli tak vždy platit. Navíc by rostl příliš čas potřebný ke zpracování obrazu.

Je kladen důraz na pochopitelnost a názornost všech operací, a tak bude mít uživatel možnost si nechat ukázat všechny kroky detekce, které program provádí.

5.2 Schéma



Obr.5.1:Schéma návrhu detektoru.

5.3 Bližší popis

Vstup a převod do YCbCr

Samotné řešení spočívá v načtení obrázku ze souboru typu jpg. Ten bývá implicitně prezentován v barevném modelu RGB. Program jej tedy převede pomocí rovnice (1) z kapitoly 3.1 z modelu RGB na YCbCr. S tímto obrazem již se dá pracovat dále.

Převod do bitmapy podle barvy kůže

Další činností detektoru je tvorba bitmapy, ve které se budou nacházet body, které odpovídají barvě kůže. K tomuto účelu běžně slouží nějaká testovací sada viz kapitola 3.1, ale v mém případě jsem určil pouze intervaly pro každou složku barevného modelu YCbCr.

Tyto 8bitové intervaly se snaží pokrýt celý podprostor barvy kůže, největší rozsah má jasová složka Y – 110-230, další složky Cb – 125-175, Cr – 85-115, určují především odstín barvy. Intervaly byly zvoleny po několikadenním testování na mnoha obrazech. Jejich zvolením jsem chtěl předejít pomalosti metody kvůli neustálému posuzování každého bodu z mnoha bodů z databáze.

Detektor tedy pro každý pixel provede test, zda patří do barevného podprostoru barvy kůže. Výsledkem bude binární mapa obrázku, kde s logickou 1 jsou body, které do barevného podprostoru spadají a s logickou 0 body, které nespádají.



Obr.5.2: Vlevo originální obraz, vpravo binární mapa po detekci bodů.

Morfologické operace 1

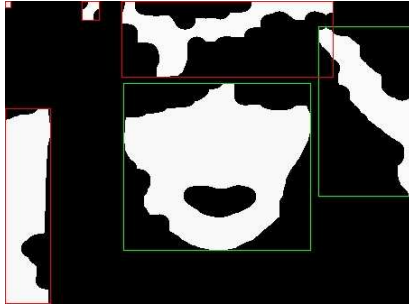
Po předchozím kroku máme v binární mapě spoustu bodů. Princip metody podle kapitoly 3.1 počítá s následným provedením morfologických operací. Tvar elementu je použita elipsa, která nejlépe svým zaobleným tvarem měla nejlepší výsledky. Operací otevření jsou tedy zanedbány všechny shluky bodů, které mají poloměr menší než je 11 bodů. Posléze operací uzavření nastane spojení zbylých celků do oblastí spadajících do modelu barvy kůže a to s poloměrem 21 bodů. Tím v binární mapě vzniknou jasně zřetelné oblasti, které již mohou být obličejem. Obě operace jsou dříve rozebrány v kapitole 4.1,



Obr.5.3: Binární mapa (vlevo) převedena na oblasti pomocí morf. Operací (vpravo)

Vyhledání kandidátních oblastí obličeje

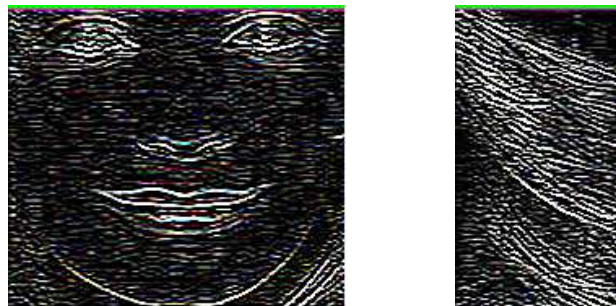
Na vzniklé mapě je potřeba oblasti vyhledat. K tomu jsem si sám navrhl detektor na bázi floodfillu, který při vyhledávání si zaznamenává souřadnice a velikost daných oblastí. Nejdříve zanedbá všechny, které jsou příliš malé, či vykazují příliš velký poměr délky a výšky oblasti. A dále se již detektor zabývá každou kandidátní oblastí zvlášť dle schématu 5.2. Pokud žádná oblast nezbude, program svoji činnost ukončí.



Obr.5.4: Červené oblasti jsou zahozeny, zeleně označené uchovány a dále zkoumány.

Aplikace Sobelova operátoru

Jako způsob detekce obličejových rysů jsem navrhl, aby každá z kandidátních oblastí na obličej byla nejdříve podrobena derivací gradientů podle Sobelova operátoru v ose Y, probranou v kapitole 4.1. Jako zdroj je použit originální obraz avšak souřadnice dle oblastí. Jako nejvíce přínosnou považuji až 3. derivaci a to z matice 5x5 prvků, která přináší optimální vyjádření obličejových rysů. 2. Derivace ze 3x3 prvků je příliš slabá a všechny derivace ze 7x7 prvků zase vydávají příliš mnoho vysokých hodnot, a tak výsledná mapa je nepřehledná.



Obr.5.5: Výsledek výpočtu derivací gradientů v ose Y na oblastech z Obr.5.4.

Morfologické operace 2

Na následných mapkách, po výpočtu derivací Sobelovým operátorem, jsou jasně zřetelné přechody hran v ose Y. Abychom z nich udělali oblasti, se kterými se dá zase dále pracovat, provedeme opět sérii morfologických operací. Ovšem tentokrát je potřeba postupovat v opačném sledu. Jako tvar elementu pro operace opět použijeme elipsu. Nejdříve operací uzavření spojíme všechny větší přechody do větších oblastí, které se v obraze nachází v poloměru 9 bodů. A potom otevřením zanedbáme všechny osamocené přechody s poloměrem 5 bodů. Takto vzniklé oblasti jsou kandidáty na obličejové rysy (oči, ústa).



Obr.5.5: Výsledek morfologických operací na mapách výsledků derivací.

Vyhledání kandidátních oblastí obličejových rysů

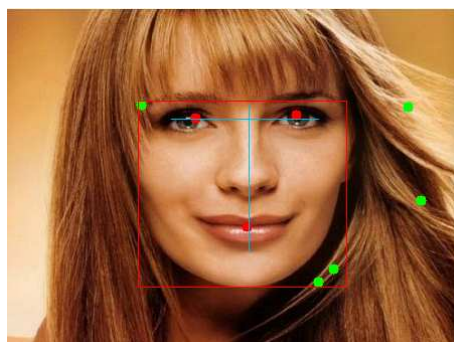
Pro detekci těchto malých oblastí je opět použit vlastní detektor na bázi semínkového vyplňování. Vyznačené oblasti podrobí testu, zda nejsou větší než 80 bodů. Ty zahodí, zbylé uchovává ve frontě, která je předána poslední části detektoru.



Obr.5.6: Červené oblasti jsou zahozeny, zeleně označené uchovány a dále zkoumány.

Kontrola obličejových rysů

Všechny středy nalezených kandidátních oblastí jsou uloženy ve frontě. Pro každý z bodů algoritmus předpokládá, že je levé oko, ze zbylých bodů hledá bod, který je v přibližně podobné ose Y (± 20 bodů). Pokud takovýto bod najde, ze zbylých hledá bod, který bude mezi souřadnicemi os X obou očí a zároveň hodnota na ose Y hledaného bodu bude pod hodnotou osy Y bodů očí. Následně je potřeba provést proporční výpočet. Kdy vzdálenost očí mezi sebou je u běžného obličeje 0,8-1,2 násobkem vzdálenosti úst a očí na ose Y. Takovýto trojice bodů je považována za obličejové rysy a oblast, ve které se nachází za obličej.



Obr.5.7: Výsledný obraz po detekci.

Kapitola 6

Implementace

Program je implementován v jazyce C a za použití funkcí a procedur Intel knihovny OpenCV. Tyto funkce byly použity ke všem operacím s obrazem. Od načítání obrazu ze souboru, přes všechny operace s obrazem až po ukázkou obrazu.

Implementace je uložena na příloženém CD.

6.1 Detect.c

Soubor Detect.c obsahuje veškerý potřebný kód pro detektor. Veškeré operace, které jsou s obrazem prováděny, jsou přehledně vyčleněny do funkcí a procedur a jsou všechny volány z hlavní funkce main. Všechny funkce, které se nachází v knihovně OpenCV mají prefix `cv*`, moje vlastní potom prefix `my*`.

Funkce main obdrží v parametrech při spuštění název souboru. Obrázek s tímto názvem nahraje funkcí `cvLoadImage`. Tento obraz po té naklonuje jako výsledný, do kterého se postupně zakreslí všechny nalezené obličeje. Původní obrázek je po té konvertován pomocí `cvCvtColor` na barevný model YCbCr. Takto upravený obraz je poté zpracován funkcí `myFindSkinColor`. Ta pro každý bod obrazu, kontroluje zda každá složka barevného modelu odpovídá intervalu, jež jsem zvolil pro daný barevný podprostor barvy kůže. Bod, který vyhovuje je označen jako log 1, nevyhovující body log 0. Vznikne tak binární černobílá mapa, v níž funkce `myMorfology` provede již dříve zmíněné operace otevření a uzavření.

Následuje předání binární mapy funkci `myAreas`. Ta, pracující na principu floodfillu, vyhledá všechny oblasti, které se v binární mapě nachází a zaznamenáním jejich velikostí již sama vyřadí neúměrně velké či deformované oblasti, které obličejem být nemohou. Ostatní uloží do fronty kandidátních oblastí obličeje `FaceStack`.

Z něj jsou po té souřadnice každé z oblastí předávány funkci `myBlobDetect`, která se již stará o vyhledání obličejových rysů. Ve vymezeném prostoru souřadnicemi vypočítá pomocí funkce `cvSobel` 3. derivace gradientů a to v ose Y z matice 5x5 bodů. Následný obraz je funkcí `mySobelMorfology` zpracován ve smyslu získání oblastí obličejových rysů viz kapitola 5.2. Výslednou mapu výpočtů převede funkcí `cvThreshold` do binární mapy. A to tak, že každý bod, kde výpočet přinesl hodnotu nula, je označen log 1, zbytek je resetován na log 0. Výsledná mapka je po té podobně jako ve funkci `myAreas` projita za účelem zjištění výskytu oblastí a jejich velikostí. Po zanedbání příliš velkých oblastí je každý střed takové oblasti uložen do fronty `FeatureStack`.

Každý bod ve frontě `FeatureStack` je původně považován za levé oko. Pak hledán bod, který má větší souřadnici X a je přibližně ve stejné úrovni osy Y (druhé oko). Pokud existuje algoritmus přistoupí k hledání úst, která musí mít menší souřadnici Y než obě oči a zároveň souřadnici X mezi hodnotami X souřadnic obou očí. Posledním kritériem je, že vzdálenost očí v osách X je mezi 0,8-1,2 násobkem vzdálenosti jejich Y souřadnic a Y souřadnic úst. Pokud všechna kritéria platí, jsou body prohlášeny za obličejové rysy a daná oblast za obličej. Následně jsou vyznačeny na výstupním obraze.

6.2 Ovládání

Příklady spuštění aplikace:

```
detect -h  
detect "inputfile".jpg
```

Popis parametrů

- h vypíše na obrazovku nápovědu k užívání programu
- *.jpg program se pokusí načíst daný soubor a zpracovat jej

Kapitola 7

Výsledky testování

Chování mého programu jsem testoval na řadě fotografií, bohužel jsem se již nedostal k implementaci a úpravě programu pro video soubory, věřím, že by výsledky byly jistě bohatší a zajímavější. Detektor zpracovává tedy výhradně fotografie a to v doporučeném formátu velikosti kolem 300-600 bodů pro každý rozměr. Toto omezení je dáno časovou náročností na výpočet a hledání oblastí a přezkoumání všech možností polohy obličejových rysů. Ze stejného důvodu není také doporučeno předkládat programu fotografie s příliš mnoha obličejí, bohužel hledání obličejů na skupinových fotografiích trvá opravdu dlouhé minuty. Rozlišovací schopnost detektoru je optimalizována pro obličej od velikosti 50 bodů a více do velikosti kolem 400 bodů. Toto omezení je dáno koeficienty pro morfologické operace, snaha o proměnlivost koeficientů v závislosti na velikosti obrázku, narazila především na nedělitelnost parametrů, nejvíce by bylo zpracovat poměr pro parametry pro Sobelův operátor, kdy existuje bohužel téměř pouze jedno jediné správně nastavení parametrů, aby mohl být použit, tak jak jsem jej navrhl. Co se týče komplexnosti pozadí, množina barev, spadající jako podprostor barvy kůže, není stanovena příliš benevolentně. Znamená to, že při různých světelných podmínkách detektor naprosto selhává. To samé lze říct i pro fotografie, kdy je kůže příliš světlá či příliš tmavá. Další omezení je v oblasti polohy obličej, schéma pravidel předpokládá oči v přibližně stejné rovině, a to do úhlu přibližně 15° jakékoliv větší natočení hlavy tak znamená zanedbání toho obličej detektorem. To samé platí i pro předpoklad úst pod úrovní očí, kdy detektor potom vynechá všechny hlavy otočené vzhůru nohama. Z výše uvedeného také vyplývá, že profilové zobrazení obličej je zanedbáno také.

7.1 Ukázka chování detektoru

Zde jsou již ukázky testovaných dat s popisem. Červený obdélník zobrazuje oblast obličej, který detektor za obličej považuje. Tečky znázorňují obličejové rysy. Zelené tečky znázorňují všechny kandidátní oblasti pro obličejové rysy. Světle modré jsou vyřazené pro velikost oblastí, nejsou tedy dál testovány. Červené tečky jsou detektorem považované oči a ústa.

Správná detekce obličej i rysů

To znamená správné určení jak obličejové části tak i správná detekce obličejových rysů bez falešných pozitivních nálezů. Takovýchto výsledků detektor dosahuje ovšem poměrně v malém procentu případů. A převážně se tak stává na fotografiích, které obsahují správně osvětlený obličej s přímým pohledem a různorodým pozadím.



Obr.7.1: Příklady správné detekce obličeje i rysů.

Správná detekce obličejových rysů, obličejová oblast neseďí

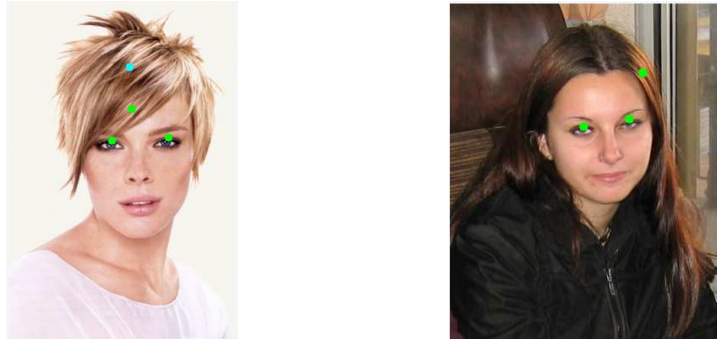
Způsobeno především neschopností detektoru zabránit spojení oblastí, které mají barvu podobnou barvy kůže a velice úzce spolu sousedí. Přitom jedna či více z nich obličejem nejsou. Vzniká tak velká oblast a snižuje se šance na nalezení správných obličejových rysů. V těchto obrazech však nebyl již žádný rušivý element a tak detekce rysů proběhla v pořádku.



Obr.7.2: Příklady správné detekce obličejových rysů, ale příliš velká oblast.

Nedostatečný počet bodů

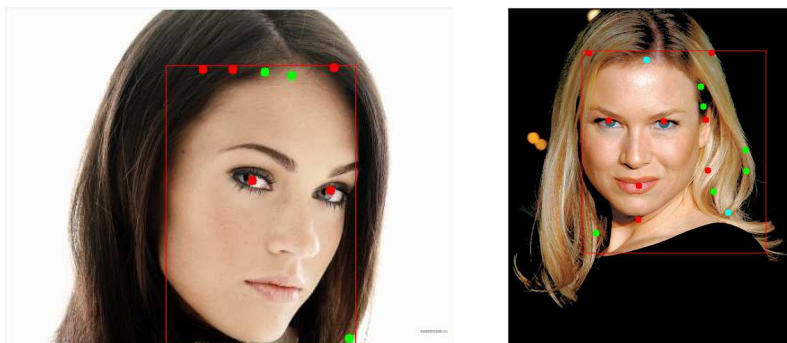
Na některých obrazech detektor nerozpoznal obličejový rys úst a to z důvodu nízké citlivosti morfologických operací po výpočtu Sobelova operátoru. Přílišná citlivost však, ale přidává více bodů, které je potřeba složitě vyřazovat jako falešné rysy.



Obr.7.3: Příklady detekce nedostačeného počtu bodů pro obličejové rysy.

Falešná detekce

Na některých obrazech se bohužel také objeví falešná detekce obličejových rysů. Detektor považuje nesmyslné body za obličejový rys. Je to dáno nedokonalostí utvořených pravidel pro segregaci bodů, které rysy nejsou.



Obr.7.4: Příklady detekce částí obrazu za falešné obličejové rysy.

Žádná detekce

Existuje také množina fotografií na kterých detektor ani správně neodhalí barevný model. Snaha o vytvoření takových intervalů, aby odpovídaly co nejvíce realitě, se nezdařila. Lidská kůže skýtá mnoho odstínů a při různém osvětlení lze skombinovat s mnoha předměty. Ani následné operace po té nepomohou k určení jediné obličejové oblasti. Jedná se především o fotografie s velice špatnou kvalitou obrazu (zrnité), fotografie různě zamlžené, přesvětlené, tmavé. Bohužel někdy i fotografie běžné.



Obr.7.5: Příklady obrazů, kde selhávají intervaly barvy lidské kůže.

7.2 Zhodnocení detektoru a metody

Počet obrazů testovací sady:	120
Správně detekovaný obličej i rysy:	13
Správně detekované rysy, ale oblast obličeje nesedí:	15
Nedostatečný počet bodů pro rysy:	9
Falešná detekce obličejových rysů:	14
Žádná detekce:	69

Výsledky testování jsou velice slabé, detektor svoji funkci plní s nízkou úspěšností a jeho úspěch závisí na příliš mnoha faktorech. Pro zvýšení úspěšnosti by bylo zapotřebí především najít způsob jak oddělit případně barevně společné, ale jinak spolu vůbec nesouvisející oblasti obličeje a pozadí. Jistá šance je při využití Waveletových transformací, ty se mi bohužel nepodařili implementovat. Ty měly za úkol vytvořit pravděpodobnostní matici pro přechody v horizontálním směru, které v obličeji nejsou příliš časté. Poté by bylo možné rozšířit intervaly určující detekci bodů podle barvy kůže. Vzniklo by tak více oblastí. A ty nesprávné by byly vyřazeny právě za pomoci Waveletových transformací. Dále by bylo zapotřebí pravděpodobně zvýšit citlivost morfologických operací po aplikaci Sobelova operátoru pro každou oblast. Možné úpravy nabízí i sám Sobelův operátor a 2. Derivace z matice 3x3. Otázkou je jak vylepšit systém pravidel pro určení obličejových rysů. Původně jsem zkoušel barevné rozlišení rtů, protože mají poměrně silnou červenou složku, ale výsledky nebyly valné. Možností by mohl být spíše histogram barev.

Bohužel díky časové tísní, do které jsem si při tvorbě tohoto projektu dostal, již nezbylo mnoho času na pořádné testování a úpravu všechno možných koeficientů. Věřím, že více hodit strávených na testování by jistě přineslo i lepší výsledky detektoru.

Kapitola 8

Závěr

Cílem celé této práce bylo prostudovat dostupné metody detekce lidského obličeje v obraze a seznámit se s nimi. Po nastudování několika metod jsem zvolil pro svoji implementaci metodu detekce podle barvy lidské kůže. Tato metoda je velice rychle pochopitelná a jednoduchá. Navíc nemá jako základní podmínku vytvoření velkou databázi vzorků pro trénink detektoru.

Implementace byla realizována, detektor funguje podle návrhu, ovšem jeho úspěšnost v detekci není příliš vysoká. Zjistil jsem, že tato metoda je velice závislá na barevném pozadí v obraze. Řešení není příliš náročné na výkon, pokud mu nepředložíte příliš velké obrazy, i tak je stále v řádu vteřin. Získat výsledky v reálném čase pro větší obrazy je však nemožné, proto je pro aplikace, potřebující výsledky okamžitě, tato metoda nevhodná.

Práce by se dala rozšířit o Waveletové transformace a vytvoření pravděpodobností matice, která by měla pomoci oddělit od sebe barevně podobné oblasti. Tím by se mohl rozšířit barevný podprostor definovaný jako barva lidské kůže o více odstínů. Následné vylepšení metody ověřování správnosti detekovaných obličejových rysů by dopomohl k zvýšení účinnosti a správnosti detektoru. Co se týče komprese časové náročnosti, nejvíce času potřebují ke svému provedení mnou navržené detektory oblastí, jež fungující na bázi semínkového vyplňování. Jistě by se lépe osvědčili detektory kontur.

Literatura

- [1] Vlach, J., Přinosil, J. *Lokalizace obličejů v obraze s komplexním pozadím*. Brno, 2007.
[http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/zpracovani-signalu/5/lokalizace-obliceje-v-obraze-s-komplexnim/2007_12\[1\]](http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/zpracovani-signalu/5/lokalizace-obliceje-v-obraze-s-komplexnim/2007_12[1]) (leden 2009)
- [2] Cisticacce, D., Coates, T., *Facial features detection using AdaBoost with shape constraints*. Manchester, 2003.
http://www.isbe.man.ac.uk/~bim/Papers/cristinacce_bmvc03.pdf (leden 2009)
- [3] Campadelli, P., Cusmai, F., Lanzarotti, R., *A color-based method for face detection*. Milano, 2003.
<http://homes.dsi.unimi.it/~lanzarot/Articoli/IST2003.pdf> (leden 2009)
- [4] Duffner, S., Garcia, Ch., *A Connexionist Approach for Robust and Precise Face Feature Detection in Complex Scenes*. Cesson-Sévigné, 2005.
<http://www.acemedia.org/aceMedia/files/document/wp7/2005/FTRD-ISPA05.pdf> (leden 2009)
- [5] Gemmell, J., Toyama, K., Kruger, V., *Facial Feature Detection Using A Hierarchical Wavelet Face Database*. Redmond, 2002.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.8511> (leden 2009)
- [6] Singh, S. Kr., Chauhan, D. S., Vatsa, M., Singh, R., *A Robust Skin Color Based Face Detection Algorithm*, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 2003, Vol. 6.
<http://www2.tku.edu.tw/~tkjse/6-4/6-4-6.pdf> (leden 2009)
- [7] van den Boomgaard, van Balen, *Image Transforms Using Bitmapped Binary Images*, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*, May, str. 252 – 258, 1992.
<http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/cvgip/cvgip54.html> (leden 2009)
- [8] Sobel, I., Feldman, G., *A 3 × 3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing*, New York, 1973.
- [9] Sriparna, S., *A Symmetry Based Face Detection Technique*, Kolkata, 2008.
http://www.isical.ac.in/~sriparna_r/A1-2.pdf (leden 2009)
- [10] Bradski, G., Kaehler, A., *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV library*, pages 115-120, page 148, 1, Sevastopol, september 2008.
- [11] Waring, Ch., Liu, X., *Face Detection Using Spectral Histograms and SVMs*, Tallahassee, 2002.
<http://www.cs.fsu.edu/~liux/research/publications/papers/waring-liu-face-detection-smcb-2005.pdf> (leden 2009)
- [12] Kršek, P., Španěl, M., *Barevné modely – přednáška z předmětu IZG*, Brno, 2007.
- [13] WWW stránky. knihovna opencv.
<http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>.

Přílohy:

Příložené CD obsahuje:

- Spustitelnou verzi programu
- Zdrojové kódy implementace
- Dokumentaci k programu