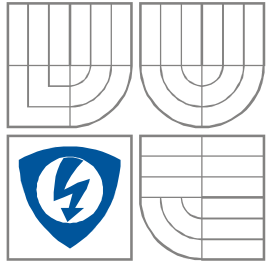


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **IDENTIFIKACE OSOB POMOCÍ OČNÍ DUHOVKY**

IDENTIFICATION OF HUMAN IRIS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Vladimír Horníček

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.



# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Vladimír Horníček  
Bytem: Rudy Kubíčka 988, Uherské Hradiště, 686 05  
Narozen/a (datum a místo): 28. září 1983 v Uherském Hradišti

(dále jen „autor“)

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika  
(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 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: Identifikace osob pomocí oční duhovky

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli\*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

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.

---

\* hodící se zaškrtněte

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, 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: 6. června 2008

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá identifikací osob pomocí oční duhovky. Hlavní výhodou identifikace osob pomocí oční duhovky je jedinečnost a přesnost lidské oční duhovky.

V první části jsou uvedeny a popsány hlavní pojmy z biometrie. Druhá část se zabývá teoretickým základem funkce a činnosti identifikačního systému. Na základě získaných teoretických informací je v simulačním programu Matlab navrhnut a vytvořen program pro porovnávání osob pomocí znaků oční duhovky. Náplň poslední části práce tvoří konečné zhodnocení výsledků.

## Klíčová slova

Lidské oko, identifikace, verifikace, iris kód, biometrie

## Abstract

This bachelor's thesis deals with eye iris human identification. The main advantage of eye iris human identification is individuality and accuracy of human eye iris.

In the beginning of this thesis there are described the main biometrics terms. The second part of this work engages theoretical basics of identification system activity and functionality. By using theoretical datas, there is designed and created an application in the Matlab simulation program. This application is able to creates and then compares the iris human. In the end of this thesis there are a results analysis.

## Key words

Human eye, identification, verification, IrisCode, biometrics

# Bibliografická citace

HORNÍČEK, V. *Identifikace osob pomocí oční duhovky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Identifikace osob pomocí oční duhovky 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 v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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 6. června 2008

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....  
podpis autora

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Základní pojmy .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Postup verifikace .....</b>	<b>12</b>
3.1 Historie metody .....	17
3.2 Postup verifikace osoby.....	19
<b>4 Transformace souřadnic.....</b>	<b>14</b>
<b>5 Normalizace obrázku .....</b>	<b>17</b>
<b>6 Filtrace obrázku .....</b>	<b>17</b>
6.1 Gabor filtr .....	17
6.2 Log-Gabor filtr .....	19
<b>7 Porovnání šablon .....</b>	<b>20</b>
7.1 Hammingova vzdálenost .....	20
7.2 Normovaná korelace.....	20
7.3 Euklidova vzdálenost.....	21
<b>8 Praktická část bakalářské práce.....</b>	<b>22</b>
<b>9 Závěr.....</b>	<b>30</b>
<b>10 Seznam použité literatura.....</b>	<b>31</b>



# 1. Úvod

V úvodu si položíme otázku. Co je biometrie? Touto tematikou jsem se již zabýval v semestrálním projektu 2, na který navazuji praktickou realizací v prostředí Matlab.

Biometrie je velmi starý způsob identifikace lidských jednotlivců pomocí jejich fyziologických vlastností či zvláštností. Člověk je schopen i podle neúplných údajů identifikovat známou osobu, například již jen podle postoje a chůze. Toto rozhodování na základě neúplných dat je však jen velmi těžko algoritmovatelné a tím i použitelné pro ověřování v počítačových systémech. Přicházejí však na pomoc jiné exaktnější metody identifikace osob -- jmenovitě jde zejména o otisky prstů, geometrii ruky či jednotlivých prstů, vzorek oční sítnice nebo oční duhovky.

Otisky prstů jsou pro svoji spolehlivost (Pravděpodobnost výskytu dvou shodných otisků se pohybuje v řádu 1050 již velmi dlouhou dobu používány pro identifikaci osob v kriminalistice a za tuto dobu se rozvinul značný počet metod, které dovolují pracovat i s neúplnými daty, umožňují vytváření vzorů otisků s dostatečnou kompresí dat beze ztráty identifikátorů a podobně. Dnes nejrozšířenější jsou optické snímače, využívající změny odrazu světla od částí prstu. Jsou poměrně levné, jejich spolehlivost je však silně závislá na čistotě snímací plochy. Nevýhodou identifikace podle otisků prstů je možnost oklamání snímače pomocí návleku na prstu, který při použití vhodné technologie vykazuje všechny znaky živého prstu, tedy propouští teplo, pulsaci krve a má správnou vlhkost.

Snímání oční sítnice je technikou, jež vznikla v polovině 80. let na základě lékařských poznatků, že rozložení cév a vlásečnic na pozadí oční sítnice se během života jedince nemění. Jde sice o velmi spolehlivý způsob identifikace, vyžaduje však využití speciálního laserového snímače a nepříliš příjemné metody snímání, což snižuje pravděpodobnost rozsáhlejšího nasazení. Tato metoda je využívána pro identifikaci v amerických věznicích.

Podobnou technikou je identifikace podle oční duhovky. Nalezení dvou identických duhovek náhodným výběrem je méně pravděpodobné, než nalezení dvou identických otisků prstů. Duhovky dvou identických dvojčat jsou samozřejmě rozdílné a jedinečné. Ve skutečnosti dokonce i obě duhovky jednoho člověka jsou rozdílné a jedinečné. Z tohoto pohledu neexistuje jiná externí biometrická charakteristika člověka, která by byla více rozlišovací než právě duhovka. Struktura duhovky se během lidského života s výjimkou některých onemocnění nemění.

Při samotné realizaci je vynechána, po domluvě s vedoucím práce, část automatického pořizování oka a následovné zaměření duhovky, které se v mé bakalářské práci nevyskytuje, a proto se jí již dále nevěnuji a výběr provedu ručně pomocí funkce v Matlabu.

Práce je strukturována do následujících částí: úvod práce, základní pojmy související z biometrií, postup při verifikaci osob, kapitoly o transformaci souřadnic a normalizaci obrazu. Dále pak části filtrace, porovnání šablon, praktická část zpracování bakalářské práce a závěrečné hodnocení.

## 2. Základní pojmy

V následujícím textu budou užívány odborné termíny z biometrie, a proto uvádím na začátku práce ty nejčastější a nejpoužívanější.

**Biometrie:** je jednoznačná identifikace osob na základě jedinečných fyziologických znaků člověka.

**Etanol:** dříve než lze pomocí biometrie ověřit identitu uživatele, je nutné získat referenční vzorek zvolené biometrické charakteristiky. Vzorek je označován jako biometrický etalon (předloha) a představuje údaje, vůči nimž jsou následující vzorky porovnávány. Bývá sejmuto větší množství vzorků (obvykle tři), aby bylo možno vytvořit reprezentativní vzorek například jejich zprůměrováním. Následně je referenčnímu vzorku přiřazen identifikátor (obvykle PIN nebo číslo karty). Identifikátor slouží k vyvolání referenčního vzorku v etapě verifikace. Etapa zápisu a kvalita výsledného reprezentativního vzorku jsou kritické faktory ovlivňující úspěšnost biometrického systému. K ukládání etalonů je možno použít následující řešení

- Uložení etalonu v biometrickém čtecím zařízení.
- Uložení etalonu ve vzdálené centrální databázi.
- Uložení etalonu v přenosných tokenech, například v čipové kartě.
- Libovolná kombinace předcházejících způsobů.

**Verifikace:** verifikační (ověřovací) proces nejprve vyžaduje, aby se uživatel přihlásil do systému použitím PINu nebo tokenu. Poté je provedeno porovnání etalonu a biometrie sejmuté bezprostředně po přihlášení do systému. Důležitým prvkem verifikace je počet povolených pokusů předtím, než bude žadatel definitivně odmítnut.

**Identifikace:** ověřovací proces, při němž je sejmutá biometrika porovnána s každým etalonem v databázi etalonů a podle výsledku porovnání zjištěna identita uživatele (porovnání 1:N).

**IrisCode:** tzv. srovnávací šablona o velikosti 512 bytů, která je uložena a slouží k velmi přesné identifikaci dané osoby.

**Koeficienty výkonnosti:** charakteristickými výkonnostními mírami jsou koeficient nesprávného přijetí, koeficient nesprávného odmítnutí, koeficient vyrovnané chyby, doba zápisu etalonu a doba ověření.

- Koeficient **nesprávného přijetí FAR (False acceptance rate)** vyjadřuje pravděpodobnost s jakou biometrický systém nesprávně identifikuje neoprávněnou osobu jako osobu oprávněnou.
- Koeficient **nesprávného odmítnutí FRR (False rejection rate)** vyjadřuje pravděpodobnost s jakou biometrický systém nesprávně odmítne oprávněnou osobu jako osobu neoprávněnou.

- Koeficient **vyrovnané chyby** (křížový koeficient) se nachází někde mezi danými koeficienty. Vyjadřuje, že k nesprávnému přijetí nebo k nesprávnému odmítnutí může dojít se stejnou pravděpodobností.

**Duhovka:** Duhovka je pigmentovaná vnitřní struktura oka obkružující panenku, která slouží k regulaci množství pronikajícího světla do oka. Každá duhovka má unikátní strukturu danou stavbou tkání, jimiž je tvořena. Jsou to především svalová vlákna, pigment a vazivo. Jsou zde rozpoznatelné pigmentové skvrny, radiální a koncentrické rýhy, dutinky apod. Rozložení těchto znaků na každé duhovce pak vytváří jedinečný obraz, který lze s velmi vysokou spolehlivostí využívat k osobní identifikaci člověka.

**Hlavní znaky duhovky (obr 2.1) jsou:**

- dutinky
- radiální rýhy
- pigmentový límec
- pupilární oblast
- ciliární oblast
- pigmentové skvrny
- atd.



obr 2.1: Ukázka hlavních znaků duhovky [7]

# 3. Verifikace osoby

## 3.1 Historie metody

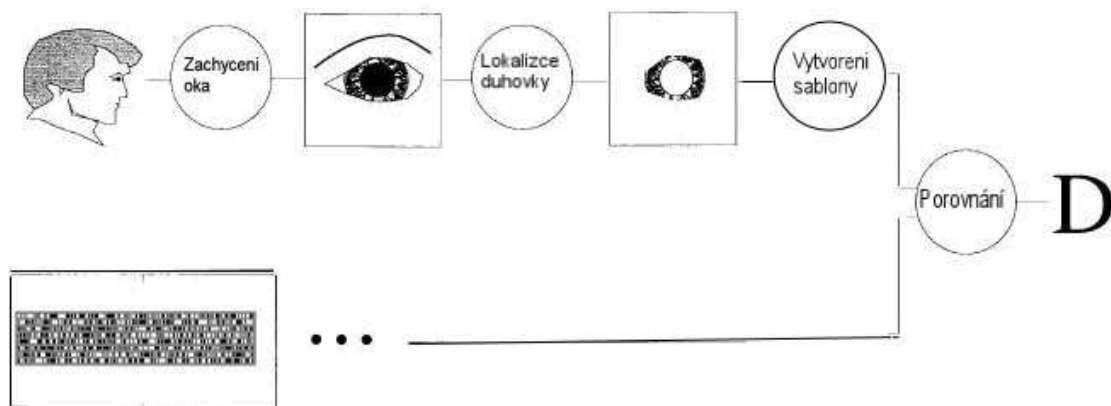
**1880** - kriminalista Albert Bertillon poprvé popsal a pokusil se realizovat myšlenku identifikace podle obrazu oční duhovky

**1987** - oftalmologové Aran Safir a Leonard Flom si nechali patentovat myšlenku principu identifikace podle oční duhovky

**1994** - John Daugman vytvořil a nechal si patentovat první algoritmus pro identifikaci podle obrazu oční duhovky, který je dnes základem pro všechny identifikační systémy tohoto typu.

## 3.2 Postup verifikace osoby

Systém identifikace uživatele pomocí rozpoznávání duhovky lze rozdělit do následujících kroků. Celý proces identifikace znázorňuje obrázek 3.1



obr 3.1: Blokové schéma identifikace uživatele [3]

### 1) vytvoření obrazu duhovky:

K tomu se používá černobílá CCD kamera. Při snímání duhovky nedochází ke kontaktu uživatele se čtecím zařízením (na rozdíl od rozpoznávání sítnice) a snímání duhovky je prováděno ze vzdálenosti 10 ÷ 60 centimetrů. Pro vytvoření obrazu je potřeba nejprve lokalizovat oko na obličeji. Při tom se používá infračervené světlo o vlnové délce 790-900nm. Jakmile je oko lokalizováno, kamera vytvoří jeho obraz. Doba snímání je cca 1 ÷ 2 sekundy. Obraz oka je pak v kameře digitalizován a přenesen do počítače.

2) *zpracování obrazu přijatého z kamery:*

Základním předpokladem pro úspěšné vytvoření vzoru duhovky je její lokalizace v obraze. V obraze oka se vyhledá zornice, která je přibližně ve středu obrázku (použitím zařízení pro snímání obrazu duhovky). Z obrazu se musí oddělit jak zornice, tak i vnější část oka od duhovky. K tomuto účelu se používá algoritmus pro detekci hran v obraze nebo speciální integro-diferenciální operátor.

3) *zpracování izolovaného obrazu duhovky:*

Po oddělení obrazu duhovky je takto izolovaný obraz duhovky pomocí algoritmu 2D Gabor wavelets [1] převeden na vektory. Takto zakódovaný obraz je převeden do IrisCode a uložen ve formě šablony, která má typicky 512B záznamu.



obr 3.2: IrisCode [1]

Při identifikaci nebo verifikaci duhovky se takto upravený obraz duhovky uživatele jednoduše porovnává s uloženou šablonou a určí se Hammingova vzdálenost obou vzorů duhovek. Pokud výsledek porovnání splňuje Hammingova kritéria, je uživateli povolen přístup do systému.

## 4. Transformace souřadnic

Transformací souřadnic nazýváme přechod od jedné soustavy souřadnic k jiné soustavě souřadnic.

Pro zjednodušení práce s obrázkem duhovky a kompenzaci velikosti duhovky používají některé metody rozpoznávání osob pomocí duhovky její transformaci do polárních souřadnic. Pokud jsou kartézské souřadnice obrázku  $(x,y)$ , převod do polárních souřadnic  $(r,\theta)$  je specifikován takto [3]:

$$x(r, \theta) = (1-r)x_p(\theta) + rx_i(\theta) \quad (1)$$

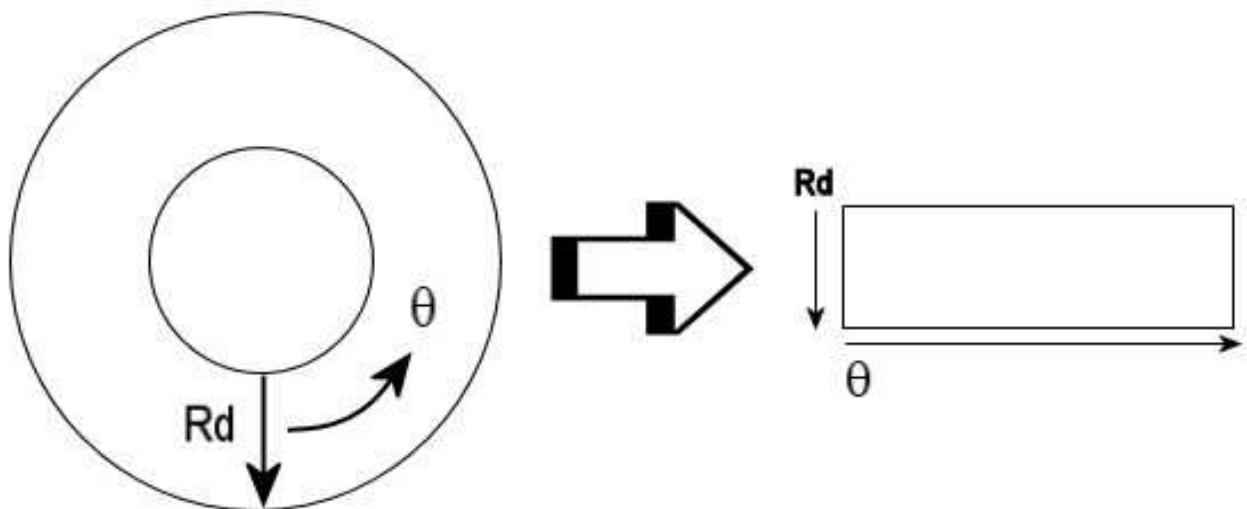
$$y(r, \theta) = (1-r)y_p(\theta) + ry_i(\theta)$$

$r$  je poloměr z intervalu  $\langle 0,1 \rangle$

$\theta$  je úhel z intervalu  $\langle 0,2\pi \rangle$

$(x_p(\theta), y_p(\theta))$  představují souřadnice zornice a ve směru  $\theta$ .

$(x_i(\theta), y_i(\theta))$  představují souřadnice duhovky ve směru  $\theta$ .



obr 4.1: Postup při transformaci duhovky [1]

Pokud je na kamerou zachyceném obrázku oko s duhovkou otočeno o určitý úhel, lze toto otočení po převedení do polárních souřadnic kompenzovat posunutím výsledné šablony při fázi porovnávání dvou šablon.

Transformace, kterou používá při rozpoznávání profesor Richard P. Wildes [3], porovnává zachycený obrázek  $I_a(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  s vybraným obrázkem  $I_d(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  z databáze pomocí mapovací funkcí  $(\mathbf{u}(\mathbf{x}, \mathbf{y}), \mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$ , tak že pro všechny  $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  je hodnota intenzity  $I_a(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  uzavřena k odpovídajícímu bodu  $I_d(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ . Mapovací funkce  $(\mathbf{u}, \mathbf{v})$  je dána minimalizací [3]:

$$\iint_{x, y} (I_a(x, y) - I_d(x - u, y - v))^2 dx dy \quad (2)$$

Transformace souřadnic  $(x, y)$  na  $(x', y')$  je provedena následovně [3]:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - sR(\phi) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3)$$

$s$  je zvětšení

$x, y$  jsou původní souřadnice

$x', y'$  jsou transformované souřadnice

$R(\phi)$  je matice představující otočení o úhel  $\phi$ .

## 5. Normalizace obrázku

Kvalita obrázku oka zachyceného kamerou závisí na pozici světelných zdrojů v prostoru a při měnících se světelných podmínkách má každý obrázek rozdílný kontrast a jas. Proto je třeba zachycené obrázky upravit tak, aby tyto rozdíly neovlivnily získání unikátních znaků z duhovky.

Obrázek se rozdělí do menších čtvercových bloků, ve kterých se určí intenzita pozadí. Pomocí interpolace se vypočítá intenzita pozadí na celé velikosti obrázku duhovky. Toto pozadí se následně odečte od transformovaného obrázku duhovky a intenzita výsledného obrázku je posunuta na určenou hodnotu.

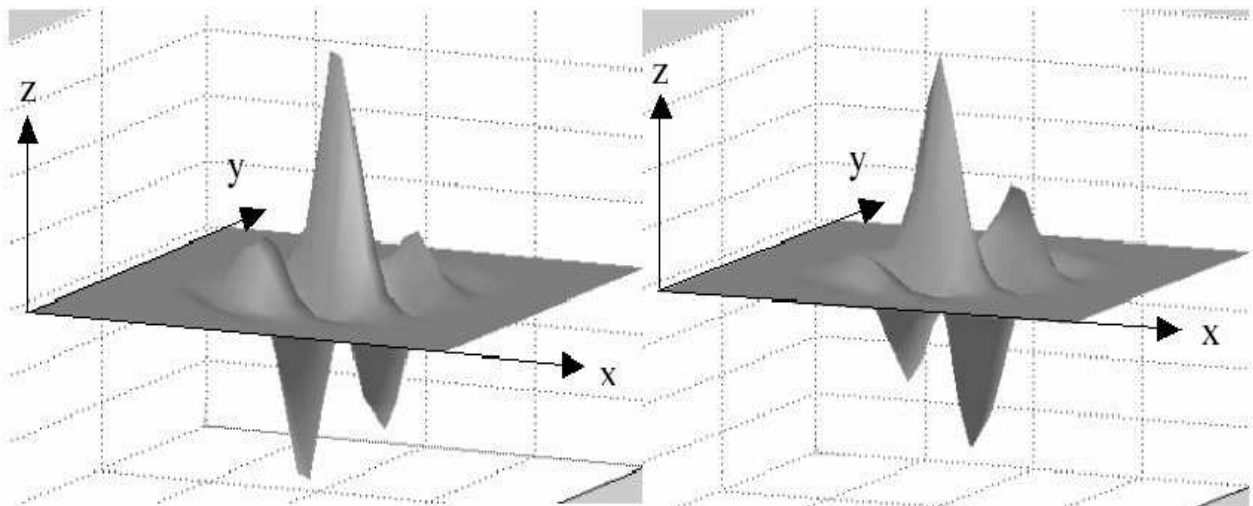


## 6. Filtrace obrázku

Po získání obrázku duhovky z obrázku oka je třeba z takto upraveného obrázku získat unikátní znaky dané duhovky. Systémy rozpoznávání duhovky používají různé filtry pro převod duhovky na formát vhodný k porovnání takto získaných znaků a pro každou duhovku vytváří šablony, jejíž velikost se může lišit v závislosti na účelu využití daného systému nebo na možnostech daného technického zařízení.

### 6.1 Gabor filtr

Systémy pro rozpoznávání duhovky ( John Daugman [1] ) používají pro filtraci obrázku dekompozici založenou na aplikaci dvourozměrného Gabor filtru. Tento filtr je vytvořen modulací funkce sinus Gaussián filtrem pro imaginární část Gabor filtru (obrázek 6.2) a modulací funkce cosinus Gaussián filtrem pro reálnou část Gabor filtru (obrázek 6.1). Střední frekvence filtru je dána frekvencí sinus a cosinus, šířka pásma filtru je určena délkou Gaussián filtru.



obr 6.1: Reálná část Gabor filtru [1]

obr 6.2: Imaginární část Gabor filtru [1]

Biometrický systém popsaný profesorem Johnem Daugmanem užívá dvourozměrnou variantu tohoto filtru k vytvoření šablony duhovky.

Tento filtr lze pro obrázek se souřadnicemi  $(x,y)$  popsat rovnicí [1]:

$$G(x, y) = e^{[(x-x_0)^2/\alpha^2 + (y-y_0)/\beta^2]} e^{-2\pi[u_0(x-x_0)+v_0(y-y_0)]} \quad (4)$$

$(x_0, y_0)$  jsou aktuální souřadnice pozice v obrázku

$\alpha$  představuje šířku obrázku

$\beta$  představuje délku obrázku

$u_0$  a  $v_0$  reprezentuje modulaci

Tato data jsou komprimována kvantováním reálných a imaginárních koeficientů pro vytvoření šablony následovně [9]:

$$h_{Re} = 1 \text{ if } \operatorname{Re}\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-i\omega(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) \geq 0 \quad (5)$$

$$h_{Re} = 0 \text{ if } \operatorname{Re}\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-i\omega(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) < 0$$

$$h_{Im} = 1 \text{ if } \operatorname{Im}\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-i\omega(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) \geq 0$$

$$h_{Im} = 0 \text{ if } \operatorname{Im}\left(\int_{\rho} \int_{\psi} e^{-i\omega(\theta_0-\psi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\psi)^2/\beta^2} I(\rho, \psi) \rho d\rho d\psi\right) < 0$$

**Re** představuje reálné koeficienty

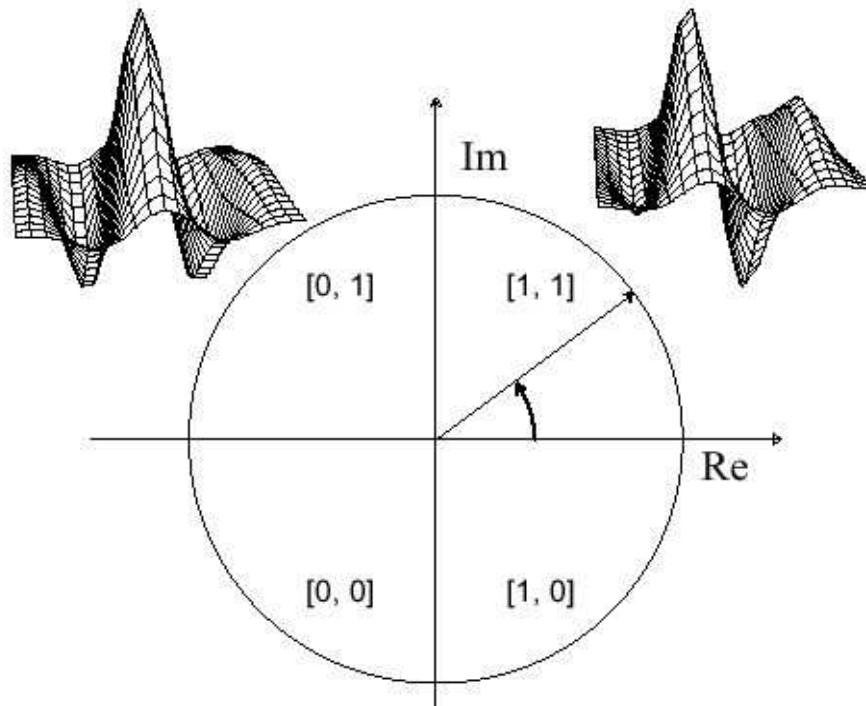
**Im** představuje imaginární koeficienty

$r_0$  poloměr polárního vyjádření obrázku duhovky

$\theta_0$  úhel polárního vyjádření obrázku duhovky.

Každý z těchto čtyř kvadrantů je reprezentován dvojicí bitů. Reálná a imaginární složka výstupu z dvourozměrného Gabor filtru jednoznačně určuje pro každý pixel normalizovaného obrázku duhovky jeden z kvadrantů. Dvojice bitů, která odpovídá tomuto kvadrantu, je následně uložena do šablony pro příslušnou duhovku.

Takto jsou tedy zakódovány všechny pixely z normovaného obrázku duhovky a je vytvořena šablona velikosti 256 bytů.



obr 6.3: Fáze demodulačního procesu užívané při kódování duhovky na IrisCode[2]

## 6.2 Logaritmický Gabor filtr

Nevýhodou Gabor filtru je skutečnost, že z reálné části filtru získáme stejnosměrnou složku, když šířka pásma je větší než jedna oktáva. Nulovou stejnosměrnou složku pro všechny pásma můžeme dostat použitím modifikace Gaborova filtru [3]:

$$G(f) = \exp\left(\frac{-(\log(f / f_0))^2}{2 * \log(\sigma / f_0))^2}\right) \quad (6)$$

$f_0$  je střední frekvence

$\sigma$  je šířka pásma filtru

$f$  frekvence filtru

# 7. Porovnání šablon

## 7.1 Hammingova vzdálenost

Hammingova vzdálenost [9] určuje počet neshodujících se bitů mezi dvěma šablonami duhovky. Pokud máme dvě šablony A a B a k nim odpovídající masky maskA a maskB, pak jejich vzdálenost je dána [2]:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(A_i \otimes B_i) \cap \text{maskA} \cap \text{maskB}}{\text{maskA} \cap \text{maskB}} \quad (7)$$

**N** je počet vzorků

$\otimes$  je operace XOR

$\cap$  operace AND mezi příslušnými bity masky odpovídající daným bitům vzorků.

Výsledek tohoto porovnávání se využívá pro určení míry shody mezi dvěma šablonami duhovky, kde čím menší hodnota tím je větší shoda obou šablon.

## 7.2 Normovaná korelace

Toto porovnávání vzorků používají Wildes systémy [3]. Wildes systém je systém pro zachycení obrázku oka. Je založeno na diskretní normované korelaci mezi šablonou zachycené duhovky a uloženou šablonou. Nechť  $I_1[i,j]$  a  $I_2[i,j]$  jsou dvě šablony velikosti  $n \times m$ . Potom normovaná korelace mezi  $I_1$  a  $I_2$  je definována takto [3]

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I_1[i,j] - \mu_1)(I_2[i,j] - \mu_2)}{nm\sigma_1\sigma_2} \quad (8)$$

kde  $\mu_1$  a  $\mu_2$  jsou definovány jako [3]:

$$\mu = (1/mn) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I[i,j] \quad (9)$$

a  $\sigma_1$  a  $\sigma_2$  jsou definovány takto [3]:

$$\sigma = \sqrt{(1/mn) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I[i,j] - \mu)^2} \quad (10)$$

Porovnávání probíhá na malém bloku pixelů typicky velikost  $8 \times 8$ . Tuto metodu užíváme pouze pro verifikaci šablony.

### 7.3 Euklidova vzdálenost

Euklidova vzdálenost je užívána k porovnání dvou šablon duhovek, které jsou vytvořeny z intervalů celých čísel a kde k určené šabloně se pokoušíme nalézt nejbližší jí odpovídající šablonu. Výsledkem porovnání je měřítko podobnosti hodnot mezi dvěma šablonami. Toto porovnání lze vyjádřit [9]:

$$ED = \sum_{i=1}^N \frac{(f_i - f_i^k)^2}{(\delta_i^k)^k} \quad (11)$$

$f_i$  je i-tý vzorek neznámé šablony

$N$  počet vzorků větší z obou šablon,

$\delta$  je standardní odchylka i-tého vzorku v šabloně duhovky.

Neznámá šablona duhovky je přiřazena k šabloně při minimální hodnotě euklidovy vzdálenosti.

## 8. Praktická část bakalářské práce

Praktická realizace semestrálního projektu 2 byla hlavní náplní mé bakalářské práce. To že realizace proběhne pro svou náročnost až jako bakalářská práce jsem uvedl již v závěru semestrálního projektu.

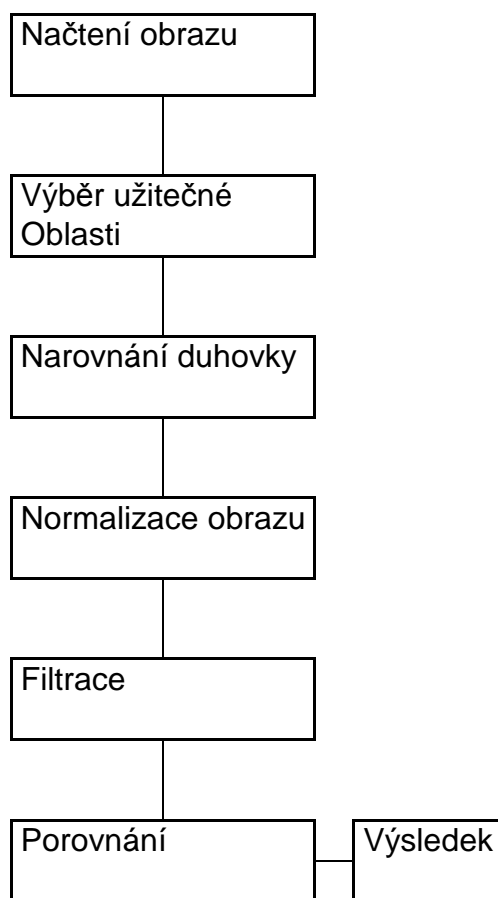
První otázka byla v čem budeme tuto realizaci programovat. Nakonec jsem po radě vedoucího práce zvolil prostředí Guide v programovacím jazyce Matlab. Toto prostředí je uživatelsky příjemné a pro mou práci dostačující. U popisu jednotlivých kroků programu uvedu i vývojové diagramy.

Co je Matlab? MATLAB je výkonné, interaktivní prostředí pro vědecké a inženýrské výpočty a vizualizaci dat. MATLAB integruje numerickou analýzu, maticové výpočty, zpracování signálů a grafiku do uživatelsky příjemného prostředí, ve kterém se problémy a řešení zapisují stejně jako v matematice bez tradičního programování.

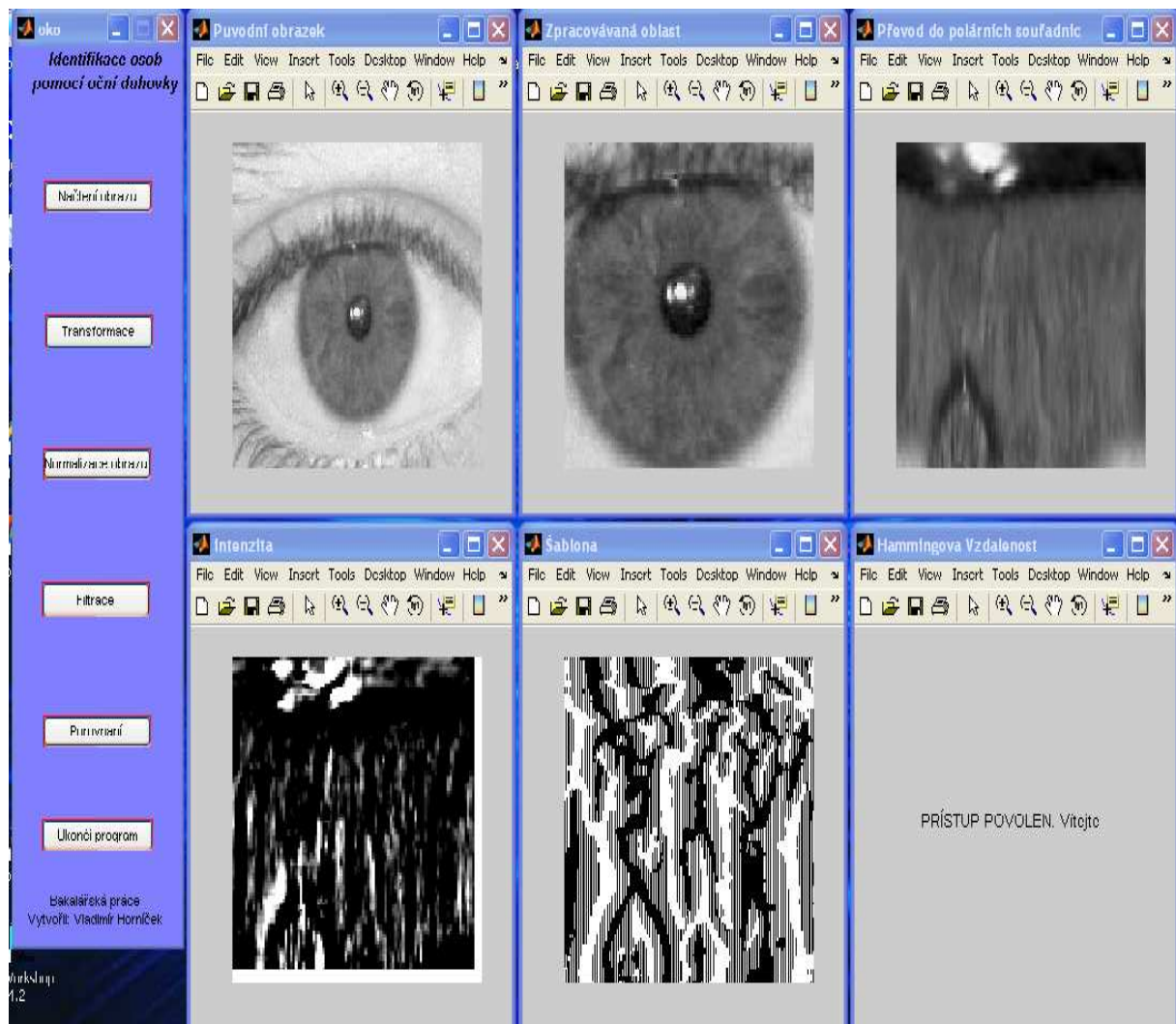
MATLAB je interaktivní systém, jehož základním datovým prvkem je matice, u které se nezadáva rozměr. To vám umožňuje řešit mnoho numerických problémů podstatně rychleji než při použití klasických programovacích jazyků (Fortran, Basic nebo C). Snad nejoceňovanější vlastností MATLABu je jeho snadná rozšiřitelnost, která vám umožňuje doplňovat systém o vámi napsané funkce (M-soubory) i celé aplikace. K MATLABu si můžete navíc pořídit celou řadu specificky zaměřených nadstaveb, tzv. toolboxů, což je kolekce M-souborů, která je určena pro řešení jistých tříd problémů.

A co je GUIDE? GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) je nástroj pro interaktivní tvorbu grafického rozhraní. Po jeho spuštění nás tento GUIDE vede interaktivním způsobem a my si vybíráme grafické objekty, myši je umisťujeme a zadáváme jejich parametry. Jde o řešení univerzální a časově nenáročného. Za všechno se však platí. Při použití GUIDE najdeme i jisté nevhodné vlastnosti. Jde zejména o to, že výsledný zdrojový kód nemusí a často ani není optimální, což je daň za univerzálnost řešení. Systém GUIDE produkuje delší zdrojové texty a také poněkud odlišnou strukturu celého kódu, na niž si musí uživatel zvyknout. Předností je pak, že si nemusíte pamatovat jednotlivé položky grafických objektů.

Na následujících obrázcích je uvedeno jednoduché blokové schéma funkce mého programu (obr. 8.1) a je zde i ukázka jak vypadá praktická realizace v prostředí GUIDE (obr. 8.2) programu Matlab.



Obr. 8.1: Blokové schéma funkce programu



Obr. 8.2: Praktická realizace v Guide

## 1) Databáze vzorků

Shromáždění použitelných vzorků pro mou práci nebylo snadné. Jelikož jsem neměl k dispozici odpovídající snímací zařízení, které je součástí každého identifikačního systému na rozpoznávání osob pomocí oční duhovky. Po domluvě s vedoucím práce jsem měl pořídit tyto vzorky pomocí digitálního fotoaparátu. Zde nastal problém, jelikož snímací zařízení identifikačního systému je pevně přiděláno ke zdi a uživatel k němu přiloží oko na dobu asi 1-2sec. je minimální možnost, že pořízená fotografie oka bude rozostřená. Ale pokud se tyto fotografie fotí digitálním fotoaparátem, tak v mém případě byla jen minimální možnost, že fotografie bude ostrá nebo alespoň trochu použitelná. I na makro režim jsem nebyl schopen zaostřit oko, a pokud se mi to podařilo tak jsem buď fotoaparátem pohnul já, nebo se pohnula focená osoba. V nejlepším případě mrkla. Proto jsem databázi rozšířil o fotografie z internetu [10].

Všechny obrázky, které jsou v pracovním adresáři work, již mají vytvořenou odpovídající šablonu v tomto adresáři. Na úpravu obrázků byl použit program JPEG resampler [11].

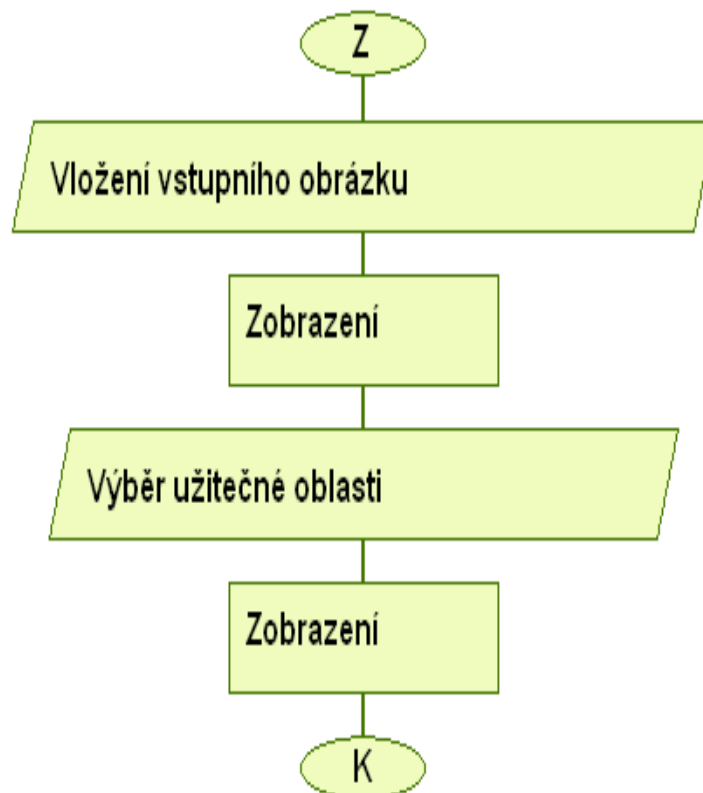


## 2) Načtení obrazu duhovky

V prvním kroku, tedy tlačítko „Načtení obrazu“ v operační oblasti programu jsem vytvořil funkci pro načtení obrázku a jak jsem již uvedl v úvodu, vybrání užitečné oblasti, tedy duhovky, pro další zpracování k identifikaci.

V tomto kroku pomocí pushbuttonu a funkce `uigetfile` vstoupíme do adresáře `Work` a načteme si obrázek duhovky lidského oka, který chceme porovnávat. Jakmile se námi zvolený obrázek zobrazí v grafickém objektu figure „Původní obrázek“. Ihned v něm vybereme pomocí ukazatele užitečnou oblast pro naše další zpracování. Tato vybraná oblast se ihned zobrazí ve vedlejším grafickém objektu figure „Zpracovávaná oblast“ a uloží se do adresáře `work` jako výřez.bmp.

Níže je uveden jednoduchý vývojový diagram pro první krok (obr 8.3).



Obr. 8.3: Vývojový diagram pro první krok programu

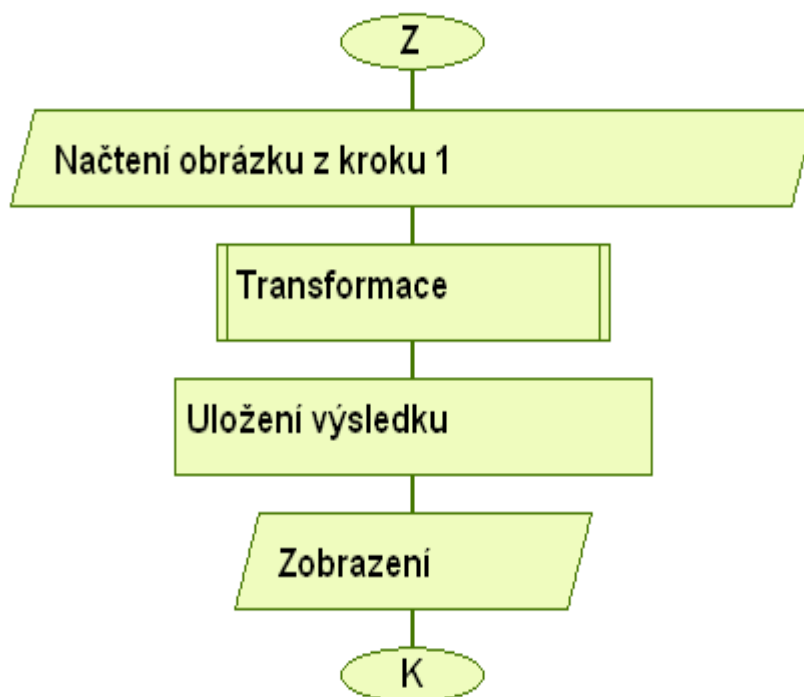
### 3) Transformace souřadnic neboli narovnání duhovky

V další části jsem řešil problém s narovnáním duhovky oka pro její další zpracování, tedy tlačítko „Transformace“ v operační oblasti programu.

Toto si můžeme pro názornost představit jako disk CD, který musíme v jednom místě rozřezat a natáhnout, abychom mohli nadále s duhovkou oka pracovat.

Realizace této části programu se ovládá pushbuttonem2. Je provedeno načtení „výřez.bmp“, který jsme si uložili v minulém kroku a zavolán podprogram transformace. V tomto podprogramu zadávám X, Y souřadnice a poloměr duhovky, X, Y souřadnice a poloměr zornice, poloměr, úhel a vstupní obraz. Po skončení transformace dojde k zobrazení v grafickém objektu figure „Převod do polárních souřadnic“ a uložení do adresáře work jako narovnaní. bmp. Po provedení tohoto kroku už máme k dispozici narovnanou duhovku, kterou můžeme zpracovávat dále.

Na obrázku (obr 8.4) je uveden pro představu základní vývojový diagram tohoto kroku.



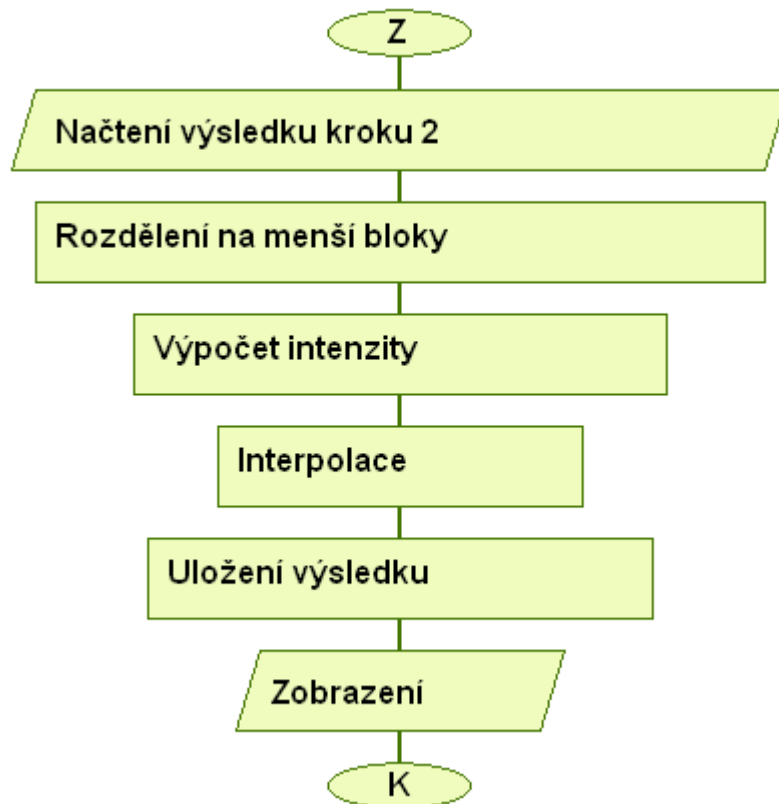
Obr. 8.4: Vývojový diagram pro transformaci souřadnic

#### 4) Normalizace obrazu duhovky

Po vybrání užitečné oblasti a narovnání obrazu duhovky jsem provedl normalizaci obrázku, kde vlastně vyvážíme ne vždy stejné světelné podmínky při pořizování obrazu oka a zvýrazníme jednotlivé rysy dané duhovky. V operační oblasti programu je to pushbutton3 „Normalizace obrazu“.

Po načtení obrazu „narovnaní.bmp“ z minulého kroku a vypsání jeho velikosti jsem rozdělil obrázek na menší části, velikost těchto částí je v proměnné vel\_bloku. Program spočítá výslednou intenzitu jednotlivých částí a následně interpoluje sousední hodnoty na původní velikost transformovaného obrázku, abych mohl odečíst intenzitu pozadí od transformovaného obrázku, musím mít stejnou velikost obrázků transformovaného a interpolovaného. Pokud vyšla při odečítání hodnota menší než nula, tak je tato hodnota posunuta na nulovou úroveň.

Po zobrazení v grafickém objektu figure „Intenzita“ je provedeno uložení do adresáře work jako normalizace. bmp. Vývojový diagram normalizace (obr. 8.5).



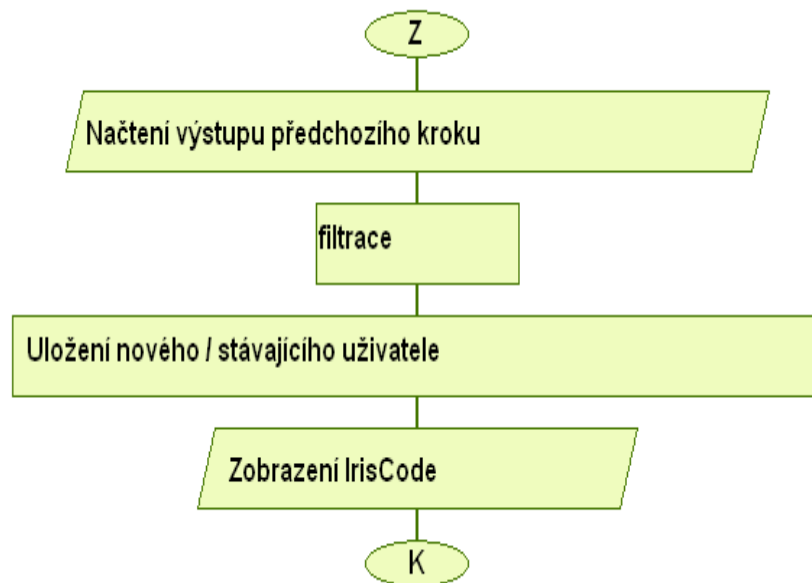
Obr. 8.5: Vývojový diagram normalizace

## 5) Filtrace normalizované duhovky

Pro filtraci jsem zvolil logaritmický gabor filtr. Během filtrace, která je vyvolána pushbuttonem4 spustím funkci kódování, která pomocí gaborova filtru ve frekvenční oblasti vytvoří šablonu dané duhovky, nám již známý IrisCode.

Z kroku 4. načtu z pracovního adresáře work obrázek „normalizace.bmp“ a pomocí funkce gaborfiltr z ní vytvořím šablonu, kterou pak uložím opět do worku k dalšímu použití, to už je šablona mojí databáze, pokud chci uživatele porovnat s již existující databází, musím při první výzvě k uložení zadat sablona.bmp a ihned následuje výzva k dalšímu uložení, zde se musí zadat šumové pozadí obrázku jako maska.bmp, nyní je program nachystán k poslednímu kroku mého programu, k porovnání.

Pokud by se chtěl uživatel do systému přidat, je postup stejný jak je již popsáno výše. Jen při první výzvě k uložení se musí zadat sablona\_x.bmp, kde x představuje pořadové číslo právě se registrujícího uživatele. Při další výzvě k uložení je postup identický jen se musí zadat maska\_y.bmp, kde y je taktéž pořadové číslo právě se registrujícího uživatele a  $x = y$ . Aby k dané šabloně byla i odpovídající maska. Na obrázku (obr. 8.) je velmi zjednodušený vývojový diagram filtrace.



Obr. 8.6: Vývojový diagram filtrace

## 6) Porovnání vytvořené šablony s databází

Pro porovnání šablon jsem se rozhodl použít metodu Hammingovy vzdálenosti.

V posledním kroku programu se provede porovnání aktuálního uživatele, který se pokouší o přístup do systému. Pomocí pushbuttonu5 se spustí funkce hammvzdal, která porovná všechny šablony, v pracovním adresáři work, ve správném formátu s poslední vloženou šablonou. Zde se postupně načítají již zmíněné sablona\_x.bmp a maska\_y.bmp, pokud tedy platí, že  $x=y$  pak není problém pomocí cyklu for tyto hodnoty měnit a postupně automaticky porovnávat. Všechny hodnoty Hammingovy vzdálenosti jsou ukládány a po skončení porovnání je nalezena nejmenší hodnota, která se porovná s minimální hranicí pro oprávněný přístup do systému. Dle následující tabulky (tab. 8.1) a literatury [2] jsem hranic stanovil na 0,3.

HD criterion	Odds off else match
0.26	1 in $10^{13}$
0.27	1 in $10^{12}$
0.28	1 in $10^{11}$
0.29	1 in 13 billion
0.30	1 in 1.5 billion
0.31	1 in 185 million
0.32	1 in 26 million
0.33	1 in 4 million
0.34	1 in 690,000
0.35	1 in 133,000
0.36	1 in 28,000
0.37	1 in 6750
0.38	1 in 1780
0.39	1 in 520
0.40	1 in 170

Tab.8.1: Hammingova vzdálenost a jí odpovídající pravděpodobnost chybného přijetí do systému[2]

## 9. Závěr

V mé bakalářské práci jsem prováděl pouze praktickou realizaci semestrálního projektu 2. Cílem tohoto projektu bylo seznámení se základními metodami a postupy užívanými při identifikaci a verifikaci osob pomocí oční duhovky a z obrázku oka obdržného ze snímacího zařízení získat jen vlastní obrázek duhovky, z něhož je pak možné vytvořit šablonu duhovky, která nám slouží k identifikaci osoby. To vše na základě jedinečných znaků oční duhovky identifikované osoby. Problematikou identifikace oční duhovky se zabývají iridolog J.Daugman a Richarda P.Wildes, z jejichž prací jsem hlavně čerpal podklady pro tento semestrální projekt.

Takže během bakalářské práce jsem už jen minimálně shromažďoval informace již získané během předchozí práce. Z toho plyne, že převážná část teoretického zpracování je čerpána z již zmiňovaného projektu.

System obsahuje několik desítek testovacích vzorků, jejichž počet je pevně dán v posledním kroku mého projektu, tedy porovnání vytvořené šablony s databází. Pokud byl obrázek ostrý a byla-li načtena převážná část duhovky oka uživatele, tak během testování program nikdy neurčil oprávněného uživatele jako „neregistrovaného uživatele“. Problémy nastaly jen u rozmazaných obrázků a pokud chyběla větší část duhovky, např. pokud se oko během focení přivřelo. Změna počtu uživatelů je možná v posledním kroku u poznámky změna počtu uživatelů.

Jak je již uvedeno výše, vše je realizováno v prostředí GUIDE, které i přes své nevýhody pro mou práci plně stačilo.

# 10. Seznam literatury

- [1] Stránky profesora Johna Daughmana [online]. 2-2008  
Dostupné z WWW: <<http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/>>
  
- [2] J. G. Daugman, The importance of being random: Statistical principles of iris recognition. Pattern Recognition, vol. 36, no. 2, pp 279-291 [online]. 10-2005  
Dostupné z WWW: <<http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/patrec.pdf> >
  
- [3] Wildes Richard P., Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology [online]. vol 85, no. 9, pp. 1348-1363, 1997. 3-2008  
Dostupné z WWW:<<http://www.cse.unr.edu/~bebis/CS790Q/Lect/Chang.ppt>>
  
- [4] J. G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(11):1148–1161, Nov. 1993. [online]. 10-2005  
Dostupné z WWW: <<http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/PAMI93.pdf> >
  
- [5] Stránky společnosti secunet. [online]. 5-2008  
Dostupné z WWW: <[www.secunet.cz/biometrieTop.html](http://www.secunet.cz/biometrieTop.html)>
  
- [6] Stránky o Matlabu [online]. 3-2008  
Dostupné z WWW: <<http://matlab.euweb.cz/> >
  
- [7] BioFS, Biometrické identifikační a forenzní systémy [online]. 5-2008  
Dostupné z WWW: <<http://www.biofs.com/cs/s4.php>>
  
- [8] Karel Zaplatílek, Bohuslav Doňar - MATLAB tvorba uživatelských aplikací. Vydalo nakladatelství BEN-technická literatura ISBN 80-7300-133-0, 216s
  
- [9] Daugman John, Demodulation By Complex-Valued Wavelets For Stochastic Pattern Recognition, [online]. 5-2008  
Dostupné z WWW: <<http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/complex.pdf> >
  
- [10] Databáze duhovek UBIRIS, [online]. 5-2008  
Dostupné z WWW: <[http://iris.di.ubi.pt/index\\_arquivos/Page374.html](http://iris.di.ubi.pt/index_arquivos/Page374.html) >
  
- [11] Program na úpravu obrázků JPEG resampler [online]. 5-2008  
Dostupné z WWW: <<http://www.slunecnice.cz/sw/jpeg-resampler/> >