

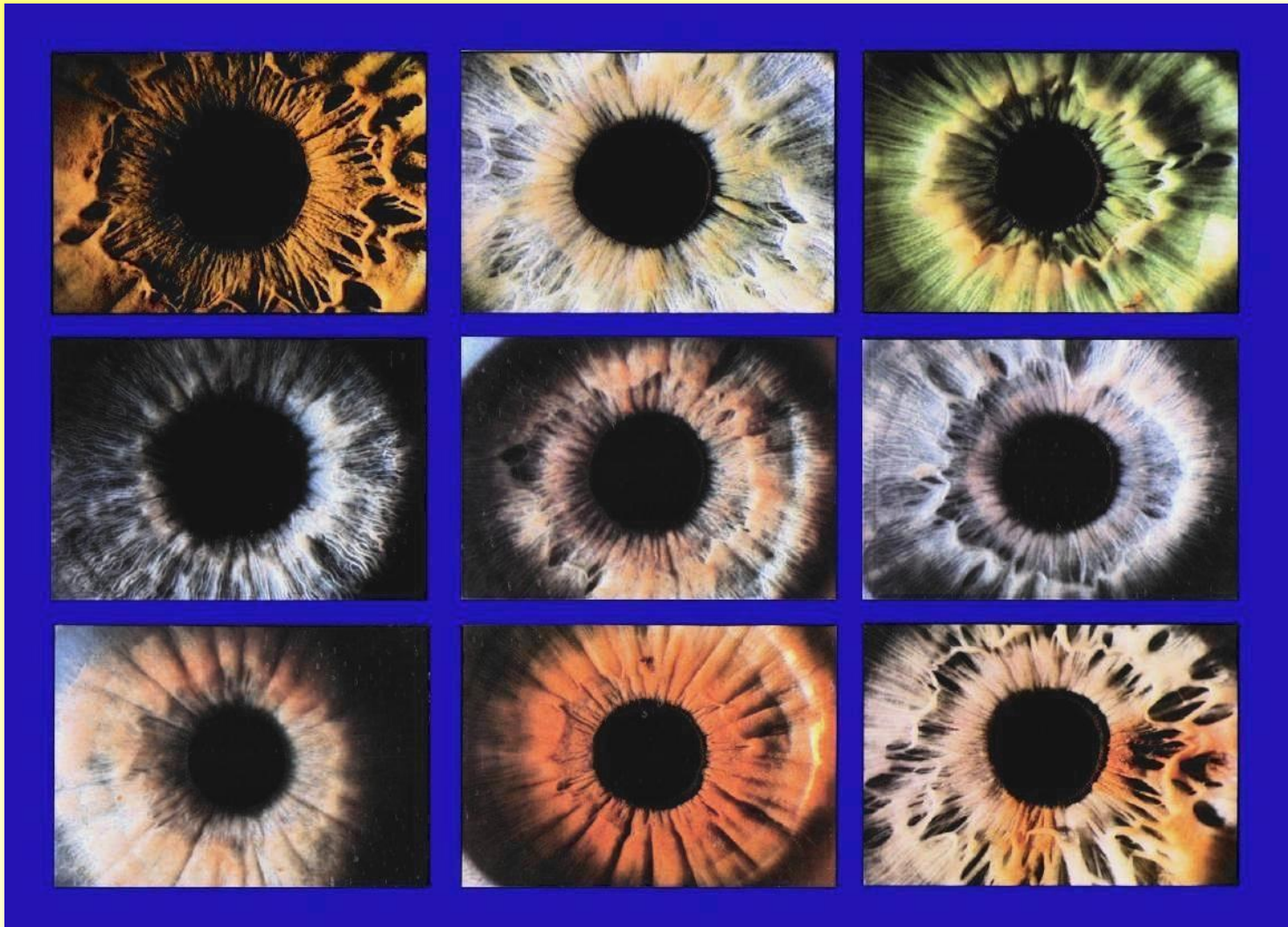


7. Rozpoznávání podle duhovky a sítnice



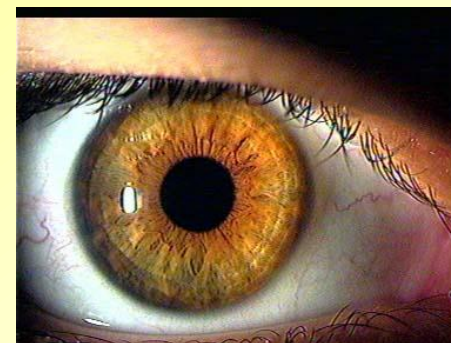
→ První část

Rozpoznávání podle duhovky oka



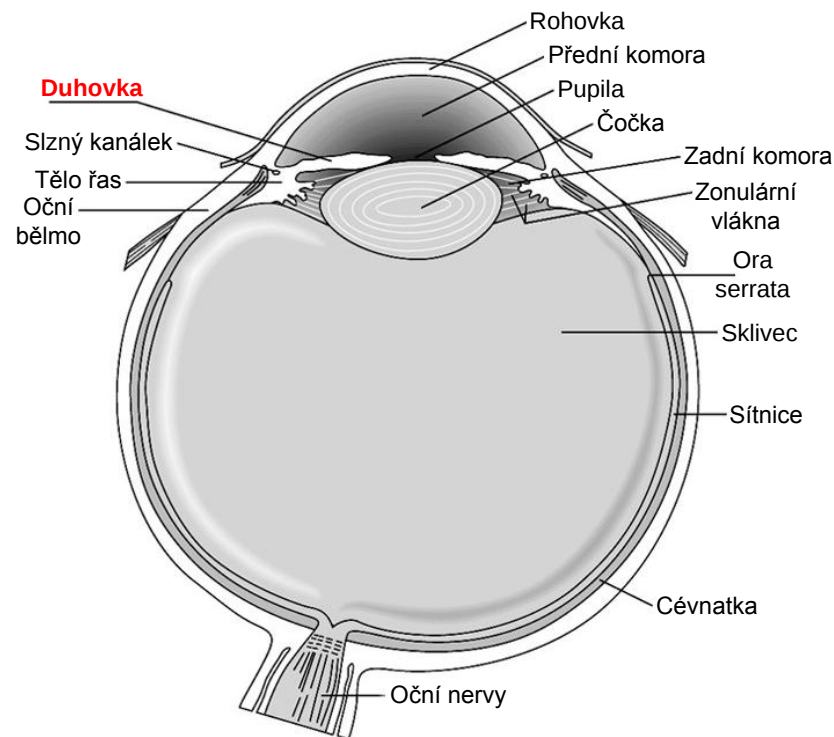
→ Základní údaje (I.)

- Duhovka je onou barevnou částí oka, kterou u jiných můžeme pozorovat pouhým pohledem
- Duhovka kontroluje úroveň světla, které vstupuje do oka – podobnost se clonou
- Černý otvor ve středu duhovky se nazývá pupila (panenka, zornice, zornička, zřítelnice)
- Duhovka je spojena s jemnými svaly, které duhovku buď rozšiřují a nebo zužují
- Barva, textura a vzor duhovky jsou u každé osoby jiné
⇒ lze porovnat s rozlišovací schopností otisků prstů



→ Základní údaje (II.)

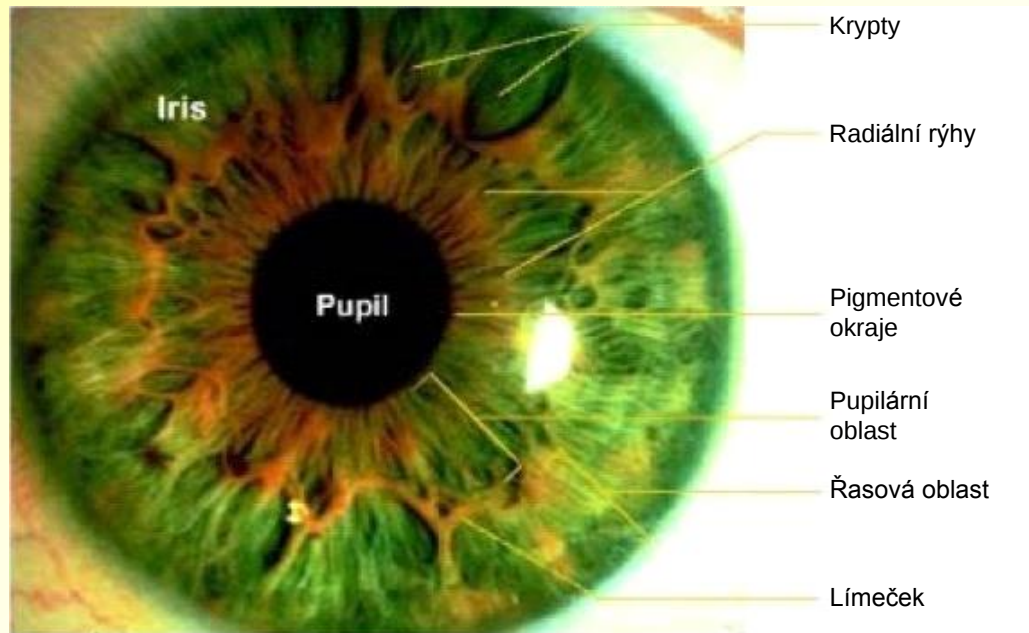
- Svírací sval leží podél hranice duhovky a stahuje duhovku při silnějším světle.
- Roztahovací sval leží příčně, podobně jako výplet jízdního kola, a roztahuje duhovku při slabším osvětlení.
- Duhovka je plochá a rozděluje oko na přední a zadní část.
- Barva duhovky je způsobena barvivem, které se nazývá *melanin*.





➔ Informace v duhovce

- ➔ Duhovka je přední částí oka a je zodpovědná za korekci množství světla vstupujícího do oka.
- ➔ Nachází se mezi pupilou a oční bělmou.
- ➔ Velikost duhovky se pohybuje kolem 11 *mm*.
- ➔ Vizuální textura se formuje během prvních dvou let života a základní struktura zůstává během života neměnná.
- ➔ Duhovka u dvojčat je odlišná!





→ Výhody a nevýhody použití duhovky

Výhody

- Stabilní během života jedince
- Pořízení snímku je neinvazivní
- Velikost šablony je malá (viz dále)
- Vnitřní orgán – malé možnosti změn
- Vysoká náhodnost informace uvnitř duhovky

Nevýhody

- Možnost podvrhu kontaktními čočkami
- Strach uživatelů z poškození oka
- Patentovaný spolehlivý algoritmus
- Možnost nasnímání bez vědomí nositele



Viditelné světlo

- Viditelné vrstvy
- Méně texturní informace
- Melanin absorbuje viditelné světlo



Infračervené světlo

- Melanin reflektuje většinu infračerveného světla
- Preferovaná technologie pro rozpoznávání duhovky





➔ Přístroje - historie

7. Rozpoznávání duhovky a sítnice





➔ Přístroje

7. Rozpoznávání duhovky a sítnice



→ Průmyslové aplikace (I.)

- Nejvíce rozšířené jsou tyto systémy ve Spojených arabských emirátech, kde se nachází na letištích a v přístavech (cca 3,8 miliónů porovnání denně).
- Dalším příkladem je např. systém na letišti *Schiphol* v Holandsku, který využívají lidé s vysokou frekvencí letů.
- V ČR zatím tento systém nebyl nasazen v praktické aplikaci.



→ Průmyslové aplikace (II.)

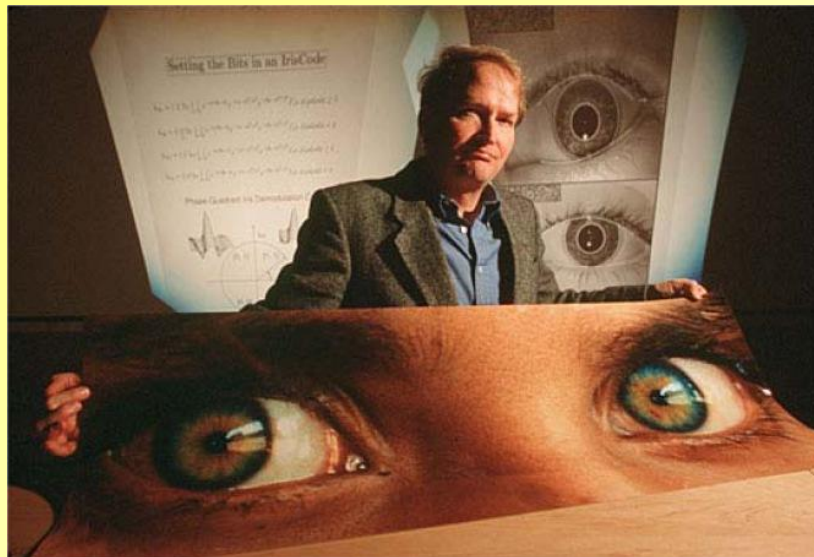
- Dalším příkladem je aplikace ve městě Tokyo. Pracovníci firmy *Condominum* používají tento systém ke vstupu a zároveň je přivolán výtah, který je odveze k jejich kanceláři.
- V Afgánistánu používá UNHC (*United Nations High Commision*) rozpoznávání duhovky ke kontrole přistěhovalců z okolních zemí.





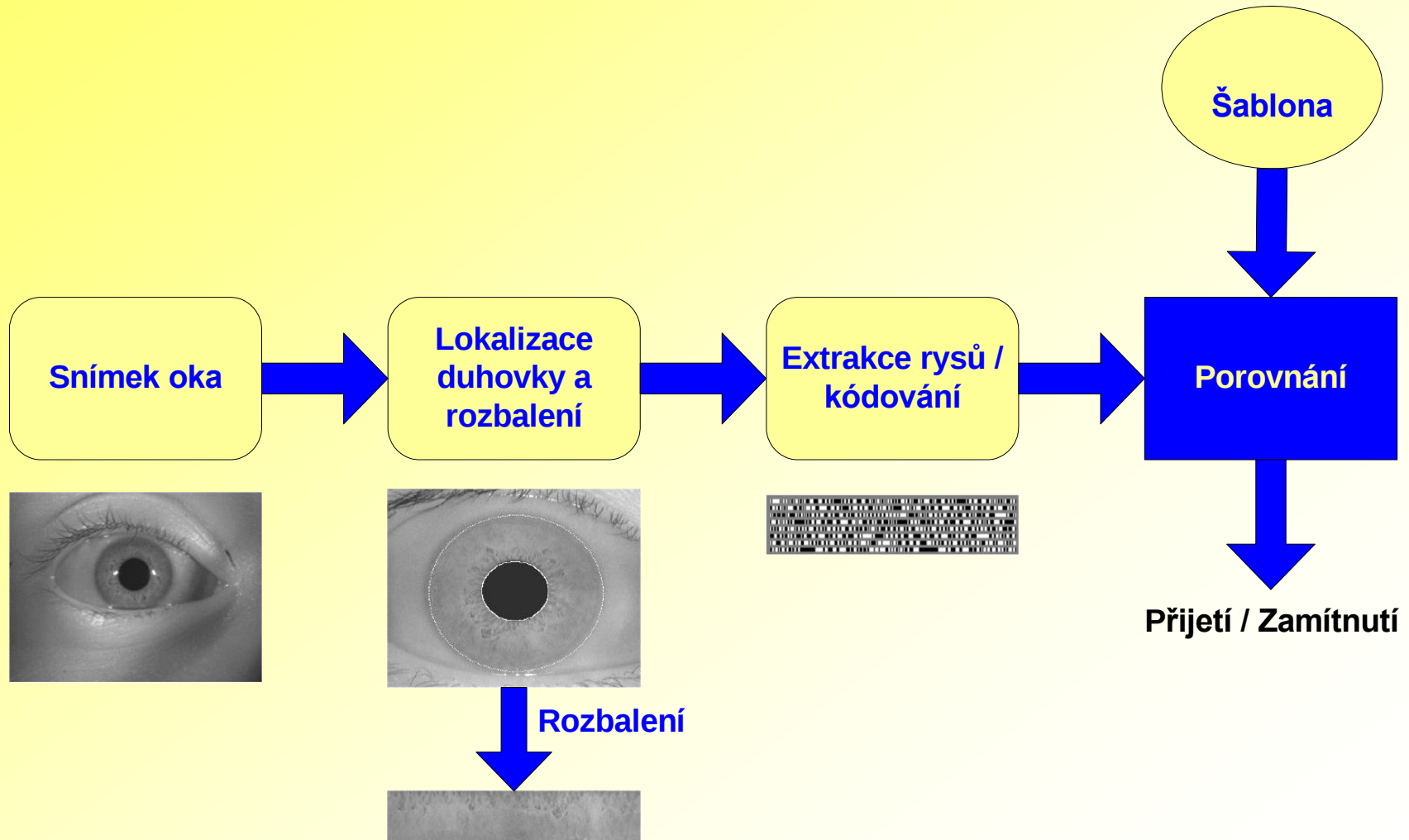
→ Schémata rozpoznávání duhovky

- Gaborova demodulace (Daugman, PAMI 1993)



- Waveletové rysy (Lim, Lee, Byeon, Kim, ETRIJ 2001)
- Analýza nezávislých komponent (Bae, Noh, Kim, AVBPA 2003)
- Variace lokálních klíčů (Ma, Tan, Wang, Zhang, IEEE TIP 2004)
- Genetické algoritmy (Hamdi Boukamcha, 2014)

→ Daugmanův algoritmus





→ Lokalizace duhovky – Hranice křivky

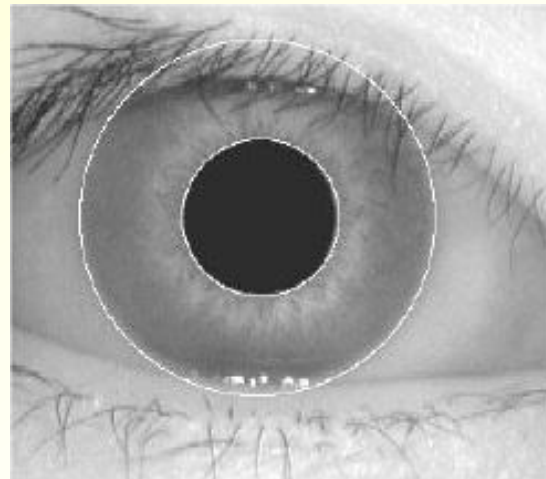
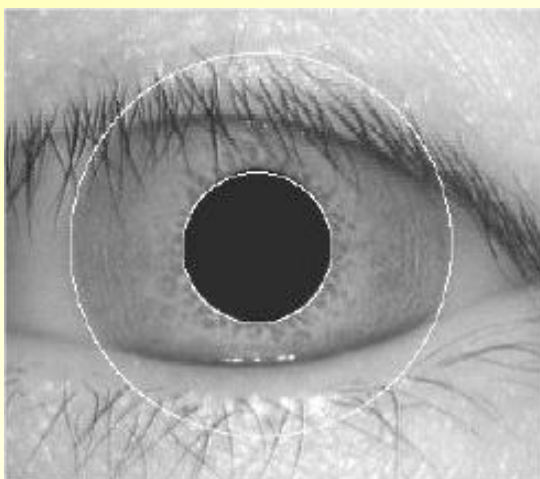
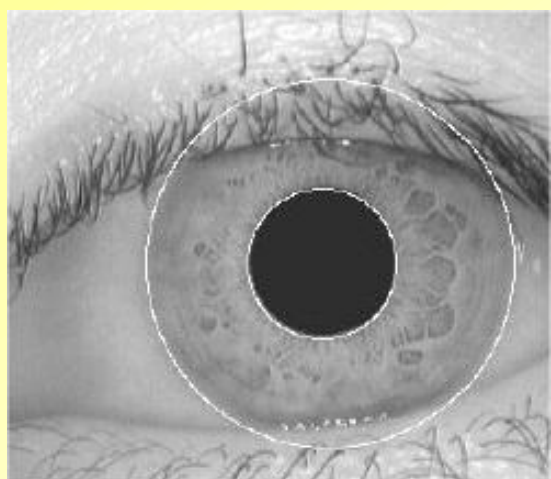
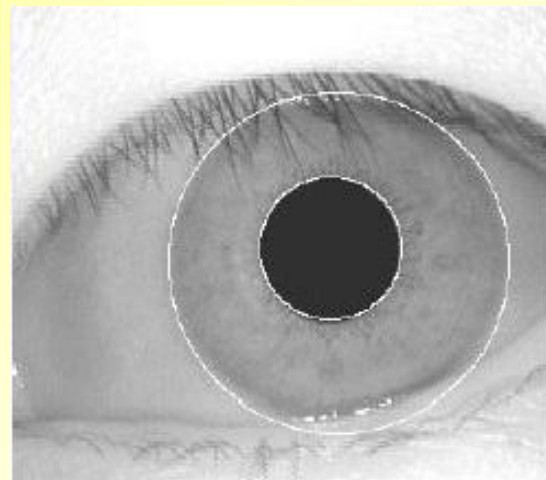
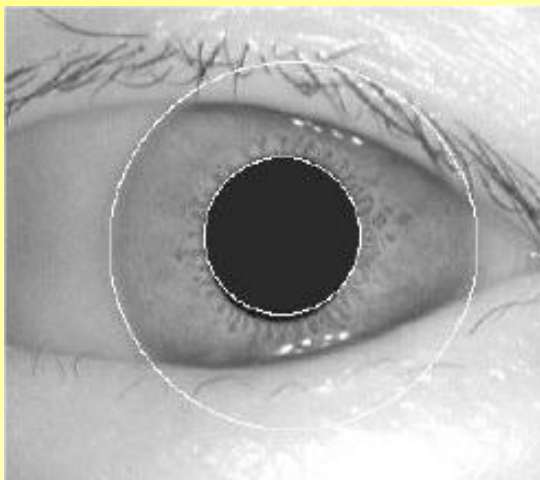
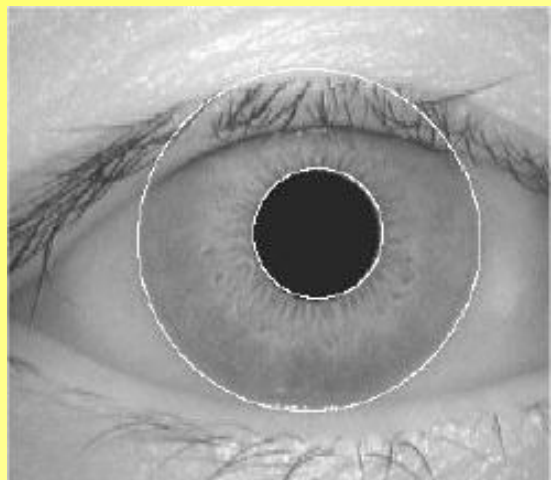
- Duhovka je lokalizována pomocí následujícího operátoru:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

- $G_{\sigma}(r)$ je gaussovská funkce uhlazení (*smooth*) dle σ
- $I(x, y)$ je hrubý vstupní obrázek a operátor hledá maximum v rozostřené parciální derivaci obrazu s ohledem na poloměr r a souřadnice středu (x_0, y_0)
- Operátor je v podstatě kruhovým detektorem hran a vrátí maximum, pokud sdílí kandidátská kružnice střed pupily a poloměr.



→ Příklady lokalizovaných duhovek



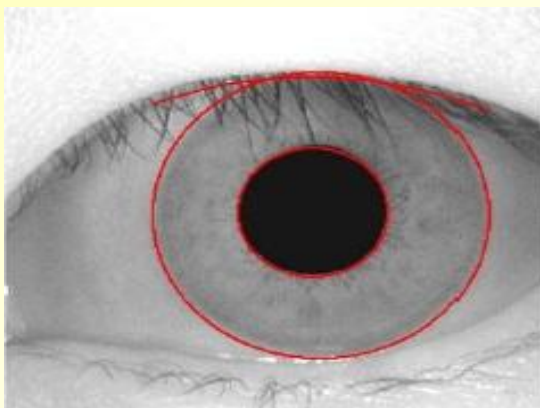
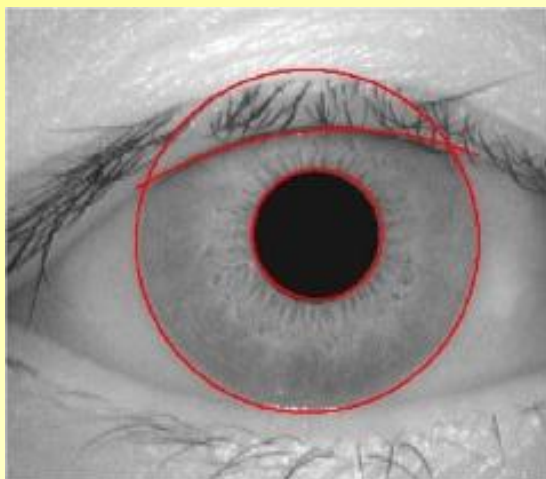
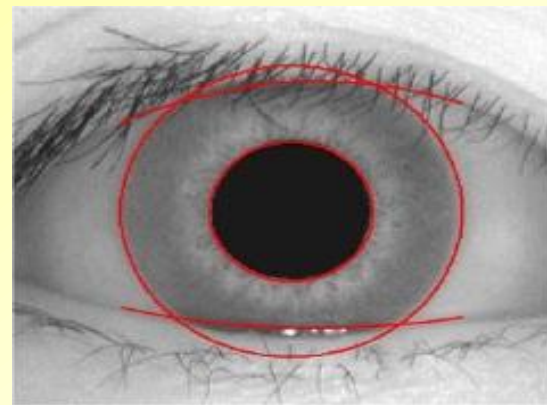
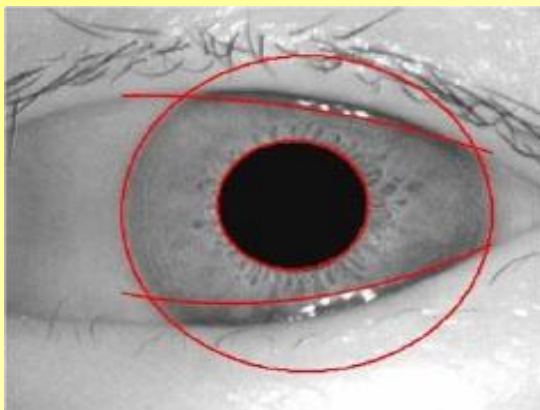
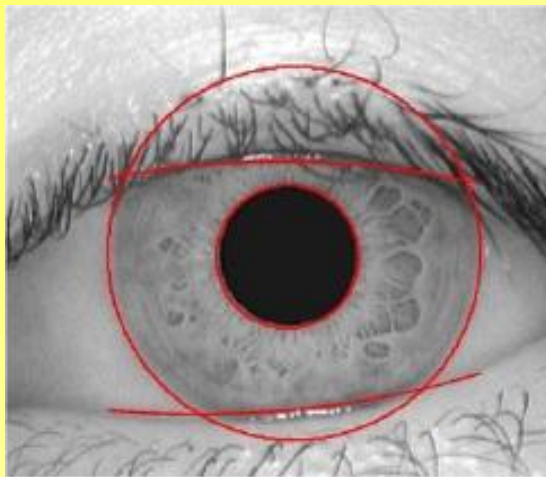


→ Lokalizace víčka oka

- Obdobným postupem, jakým se detekovala samotná duhovka, se určí pozice dolního a horní víčka oka.
- Část z předchozího vzorce, která slouží k detekci kontury se zamění z kruhové za obloukovou, přičemž splinové parametry jsou nastaveny dle standardních statistických metod odhadu, aby optimálně korespondovaly každé hranici očního víčka.



→ Příklady lokalizace víčka oka





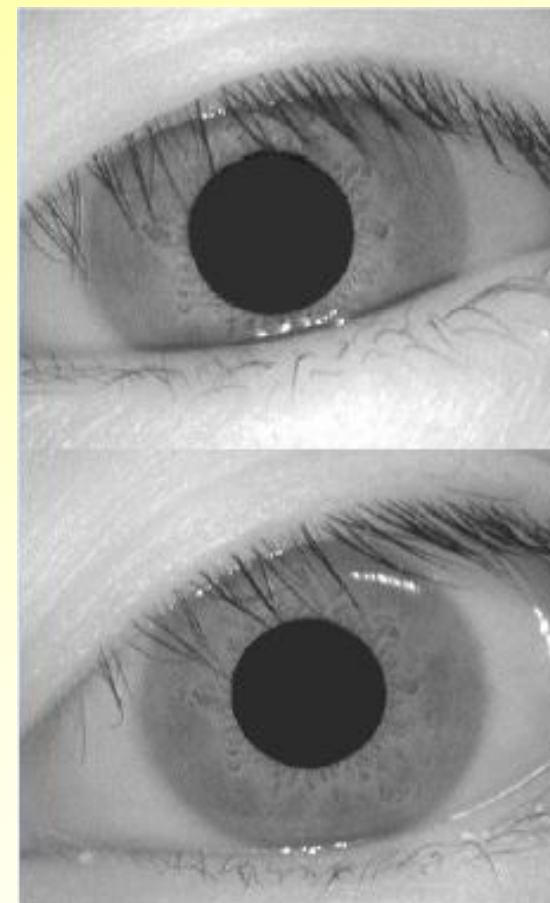
→ Vnitro-třídní variabilita



Rozšíření pupily
(změna osvětlení)



Různá velikost
(změna vzdálenosti
od kamery)



Rotace oka
(náklon hlavy)

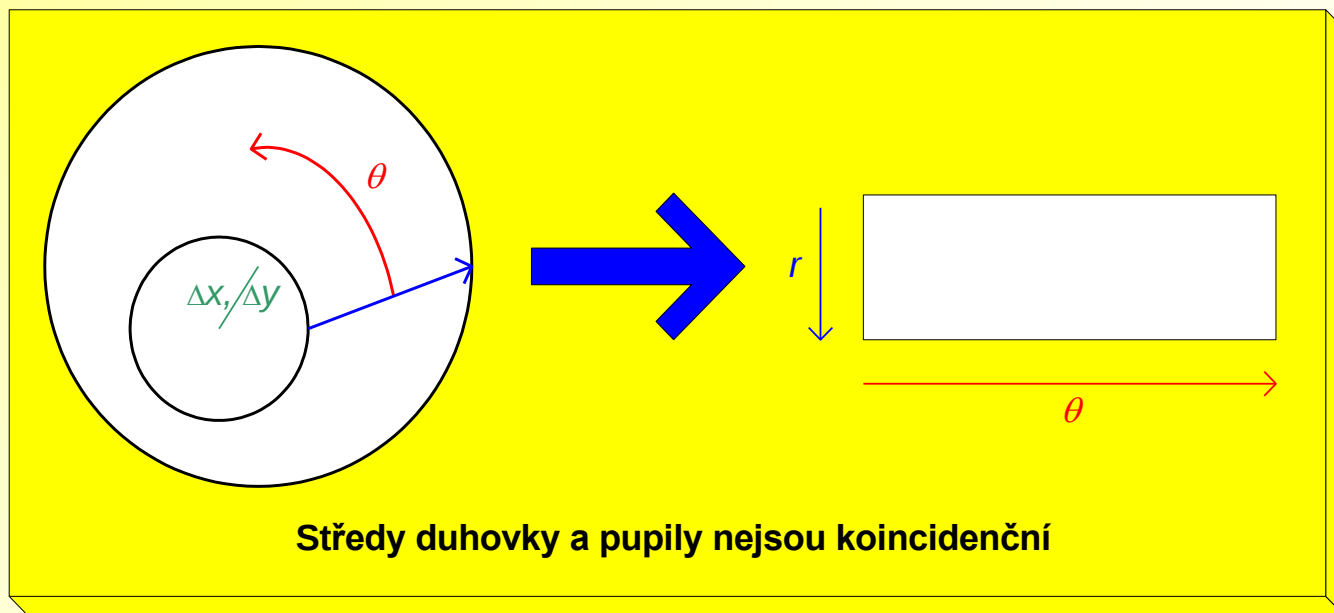
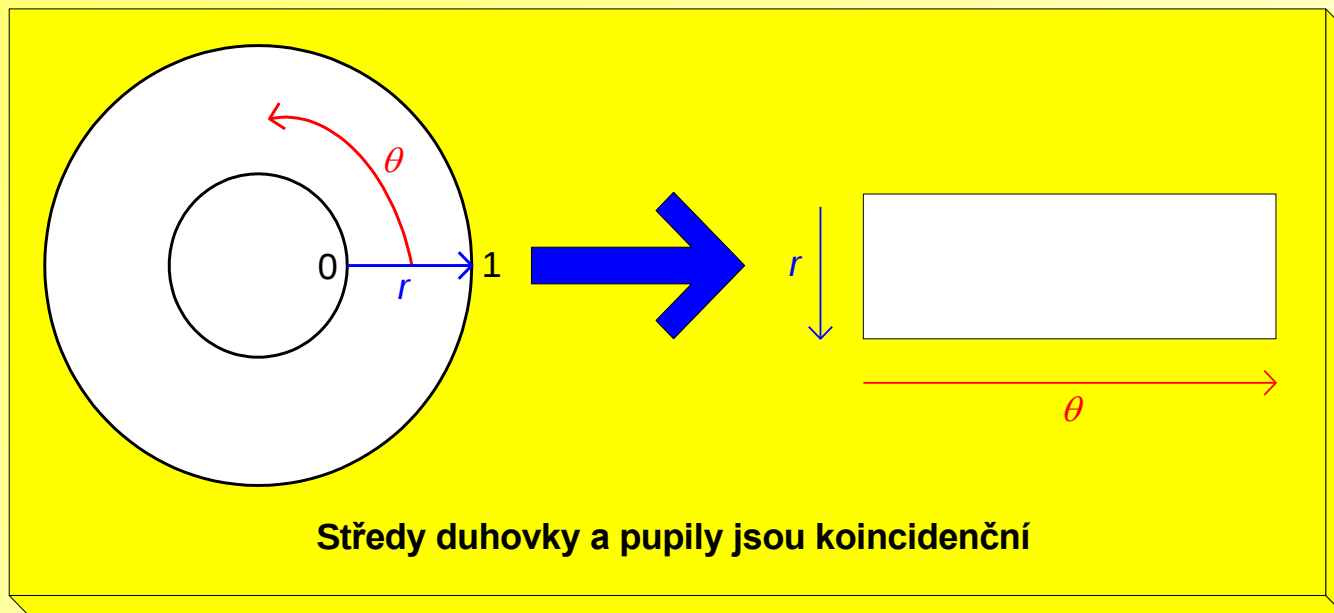


→ Zavedení souřadného systému (I.)

- Daugmanův model hrubého zarovnání
- Model mapuje každý bod uvnitř duhovky do polárních souřadnic (r, θ) , kde r je z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$ a θ je úhel z intervalu $\langle 0, 2\pi \rangle$.
- Model *kompensuje rozšíření (dilataci) pupily a nekonzistenci ve velikosti* díky reprezentaci v polárním souřadném systému, invariantnímu vůči velikosti a translaci.
- Model však *nekompenzuje rotační nekonzistenci*, která je řešena posunem šablony duhovky ve směru θ ve fázi porovnávání, dokud obě šablony nedosáhnou shody.



→ Zavedení souřadného systému (II.)



→ Kódování rysů duhovky

→ Gaborovo filtrování v polárním souřadném systému:

$$G(r, \theta) = e^{j\omega(\theta - \theta_0)} e^{-\frac{(r - r_0)^2}{\alpha^2}} e^{-\frac{j(\theta - \theta_0)^2}{\beta^2}}$$

→ (r, θ) udává pozici v obrazu, (α, β) určují efektivní výšku a délku a ω je frekvence filtru

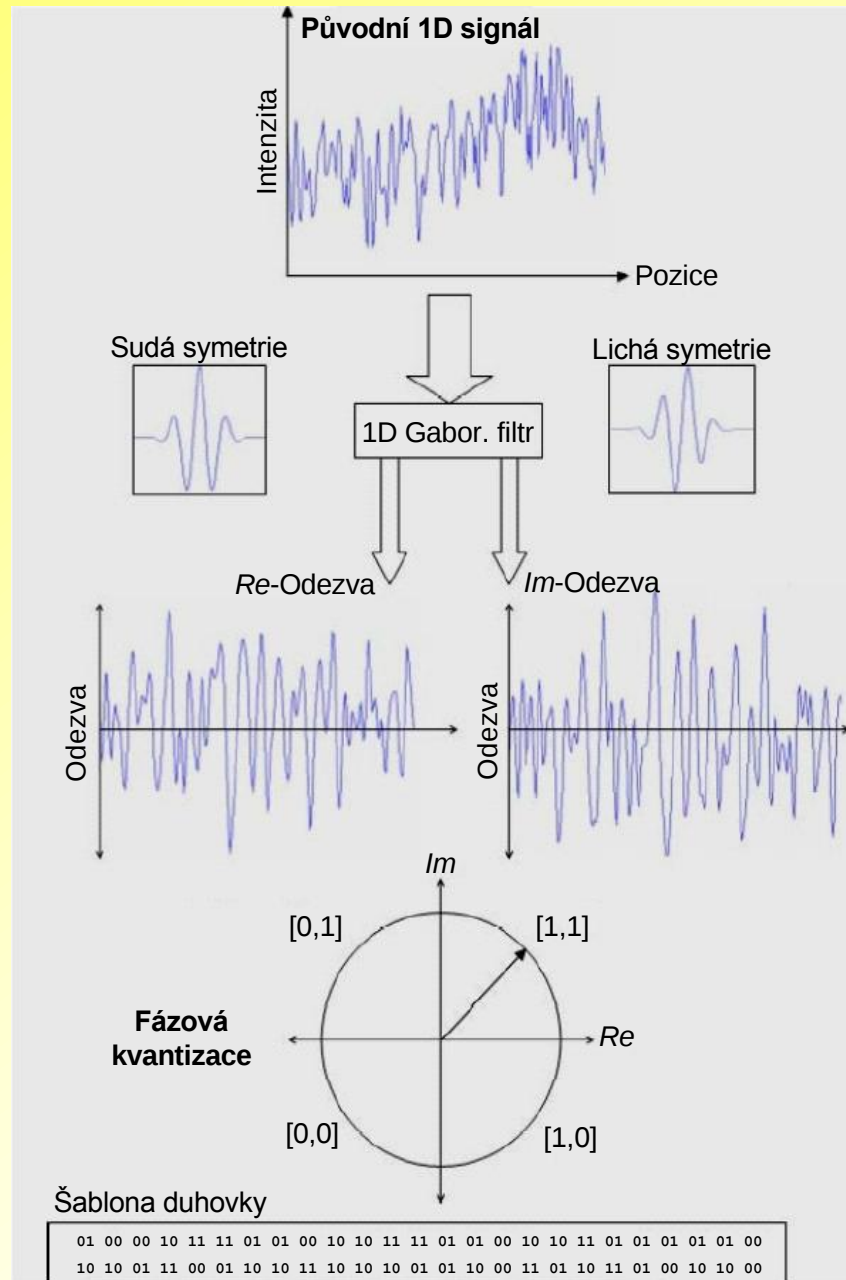
→ Demodulace a fázová kvantizace

$$g_{\{\text{Re}, \text{Im}\}} = \text{sgn}_{\{\text{Re}, \text{Im}\}} \iint_{\rho\phi} I(\rho, \phi) e^{j\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-\frac{(r_0 - \rho)^2}{\alpha^2}} e^{-\frac{(\theta_0 - \phi)^2}{\beta^2}} \rho d\rho d\phi$$

→ $I(\rho, \phi)$ je hrubý obrázek duhovky v polárním souřadném systému a $g_{\{\text{Re}, \text{Im}\}}$ je bit v komplexní rovině odpovídající znaménku reálné a imaginární části odezev filtru

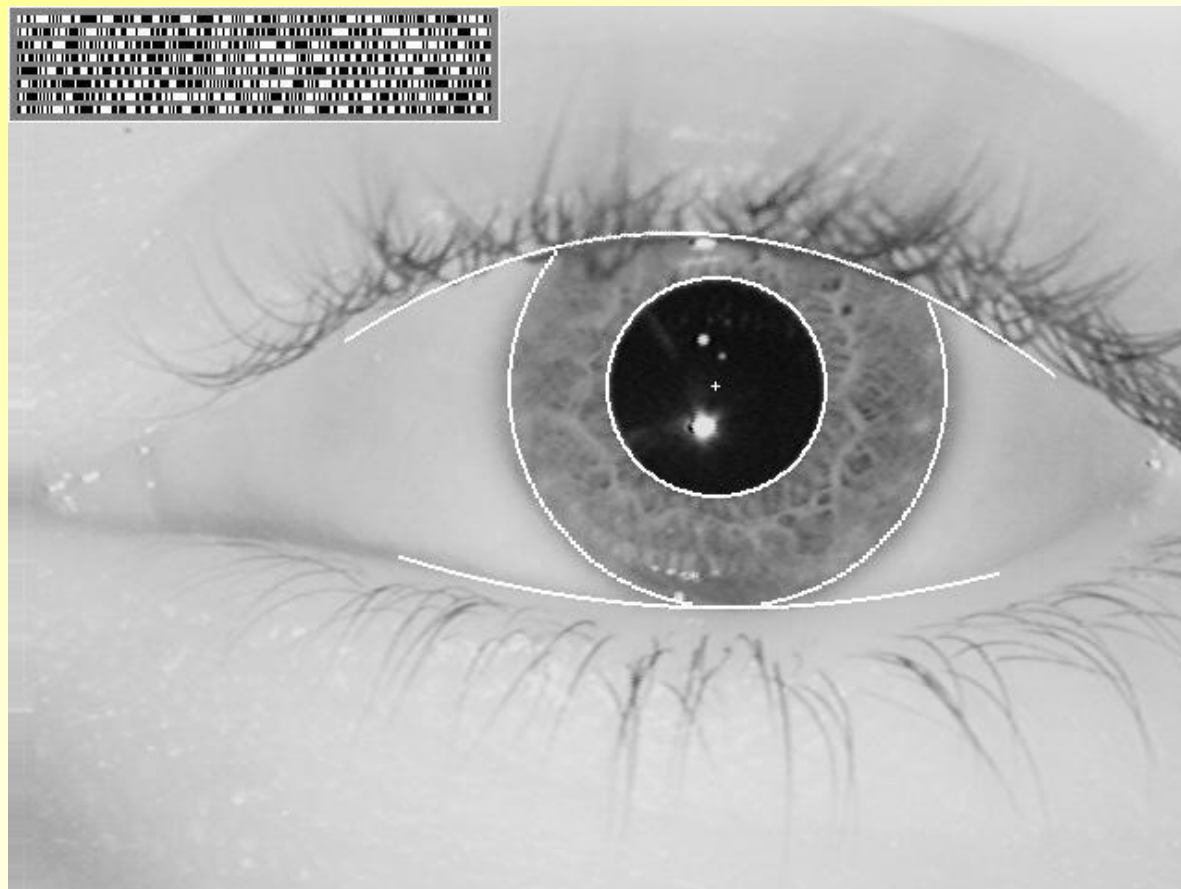


→ Ilustrace kódovacího procesu



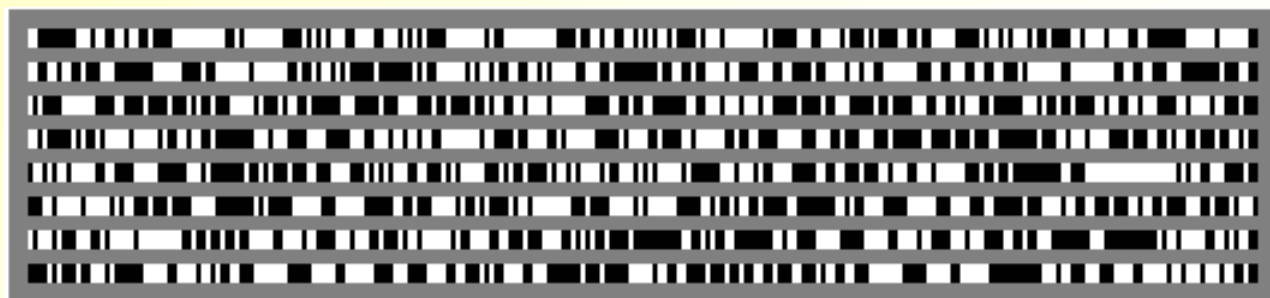
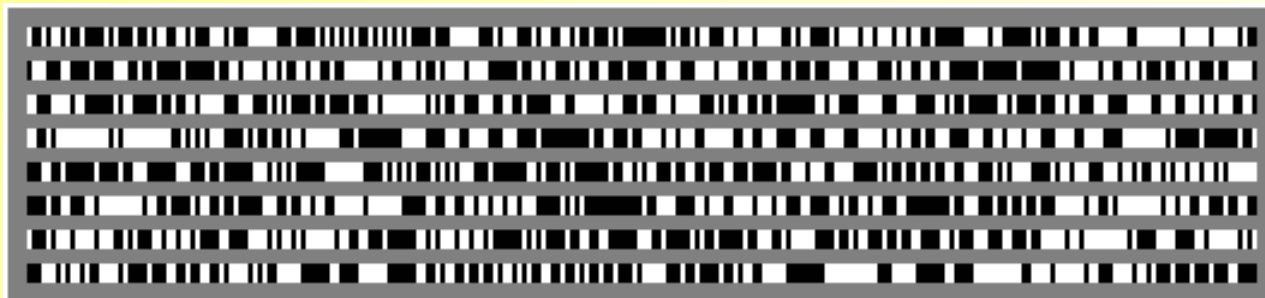
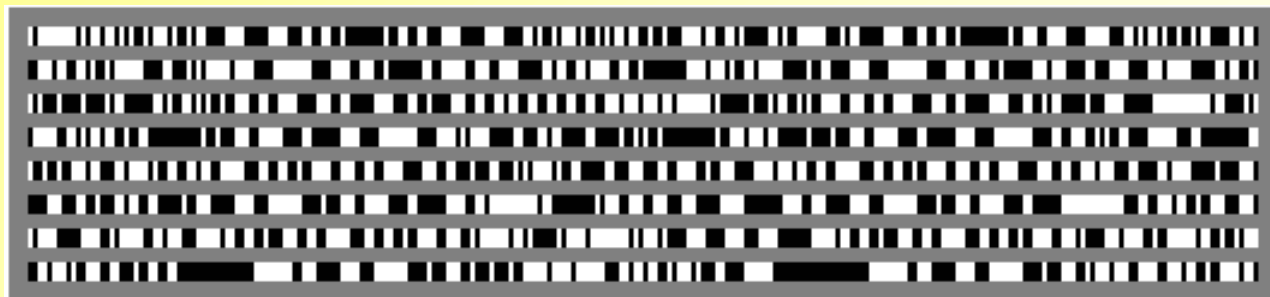
→ Kód duhovky

- Kód duhovky obsahuje 2.048 bitů, tj. 256 bytů.
- Velikost vstupního obrázku je 64×256 bytů, velikost kódu duhovky je 8×32 bytů a rozměr Gaborova filtru je 8×8 .





→ Příklady kódů duhovky





→ Porovnávání kódů duhovky (I.)

→ Porovnání je provedeno výpočtem *Hammingovy vzdálenosti* mezi oběma 256bytovými kódy duhovek

→ *Hammingova vzdálenost* mezi kódem duhovky A a B je dána:

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$

→ Kde $N=2.048$ (8×256), není-li duhovka zastíněna víčkem. V opačném případě jsou použity pro výpočet *Hammingovy vzdálenosti* pouze platné regiony.



→ Porovnávání kódů duhovky (II.)

- Hammingova vzdálenost: pro dané dva vzory A a B je to počet shodných bitů (suma XOR mezi jednotlivými bity) vydělený počtem N , tj.:
$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N A_j \otimes B_j$$
- Pokud jsou oba vzorky získány ze stejné duhovky, je *Hammingova vzdálenost* mezi nimi rovna či blízka nule (díky vysoké korelaci obou vzorků).
- K zajištění rotační konzistence je jeden ze vzorů shiftován doprava/doleva a vždy je spočtena odpovídající *Hammingova vzdálenost*.
- Nejnižší hodnota *Hammingovy vzdálenosti* je potom brána jako výsledné skóre porovnání s.

→ Porovnávání kódů duhovky (III.)

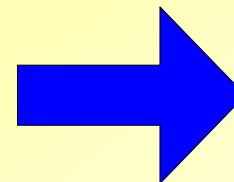
→ Příklad porovnání kódů duhovek za použití shiftování

Šablona 1

10 00 11 00 10 01

Šablona 2

00 11 00 10 01 10



HD = 0,83

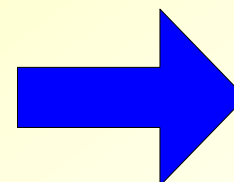
← Shift 2 bity doleva

Šablona 1

00 11 00 10 01 10

Šablona 2

00 11 00 10 01 10



HD = 0,00

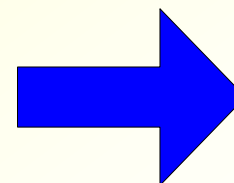
→ Shift 2 bity doprava

Šablona 1

01 10 00 11 00 10

Šablona 2

00 11 00 10 01 10



HD = 0,33



→ Rychlost systému

Přibližné hodnoty rychlostí v průběhu rozpoznávání

→ *Zaměření a zaostření oka*

→ *~3 sekundy*

→ *Nasnímání ~ max. desetina sekundy*

→ *Vytvoření IrisCode*

→ *Porovnávání ~ 1.000.000 vzorků/s při 3GHz CPU*

→ *Fáze registrace / verifikace / identifikace*



→ Národní programy

V srpnu 2014 byla zapsána přibližně miliarda osob v národních identifikačních programech

→ *Indie (1,2 mld. obyvatel)*

→ *Nasnímáno za 3 roky (cca milion lidí denně)*

→ *Kontrola duplicit = stovky bilionů porovnání denně*

→ *Pro bezpečné vyplácení sociálních dávek*

→ *<http://uidai.gov.in>*

→ *Indonésie (172 mil. obyvatel)*

→ *Elektronický občanský průkaz e-KTP*

→ *600 tisíc zapsaných osob denně*

→ *Mexiko (110 mil. obyvatel)*

→ *Paralelní program pro bezpečnost školních dětí*

→ *USA – 10 mil. pracovníků ve vojenství*



→ Limitace duhovky (I.)

- Pořízení snímku duhovky vyžaduje spolupráci uživatele; uživatel musí stát v předdefinované vzdálenosti a pozici před kamerou
- Náklady na systém s vysokou výkonností jsou nemalé
- Obrázky duhovky mohou mít nízkou kvalitu, což vede k chybám při registraci / verifikaci / identifikaci.
- Bylo zjištěno [NN], že až 7% snímků duhovek je nevhodných k rozpoznávání, díky anomáliím očí (slzy v očích, dlouhé řasy nebo tvrdé kontaktní čočky).



Řasy/Víčko



Rozostření



Zastření oka



Velká pupila



→ Limitace duhovky (II.)

- Duhovka se může změnit s přibývajícím časem:
 - Operace šedého zákalu
 - Nemoc *nystagmus* (třas oka)
 - Nemoc *anaridia* (zcela chybí duhovka)
- Slepí lidé jsou diskriminováni!
- Použití kontaktních čoček – viz. dále.



Šedý zákal



Krevní výron

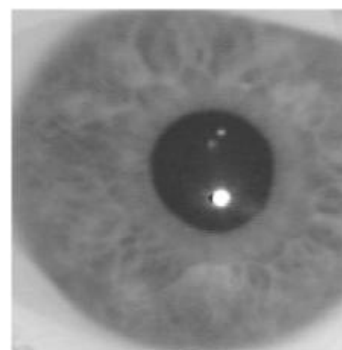


Iridodialýza

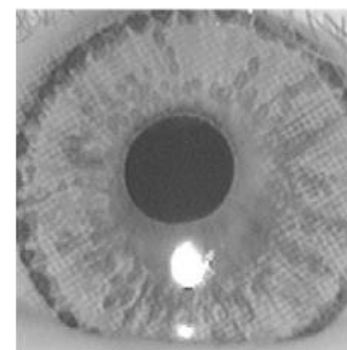


→ Limitace duhovky (III.)

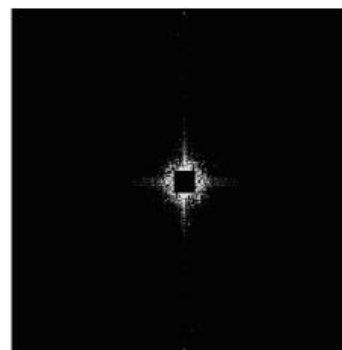
- K podvedení systému může být použita buď kontaktní čočka a nebo fotografie duhovky.



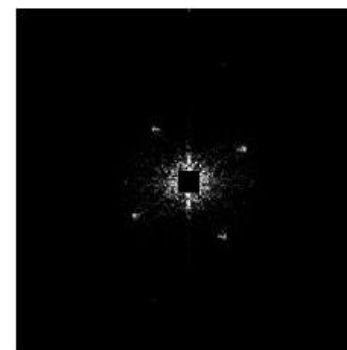
Přirozená duhovka



Vytištěná duhovka



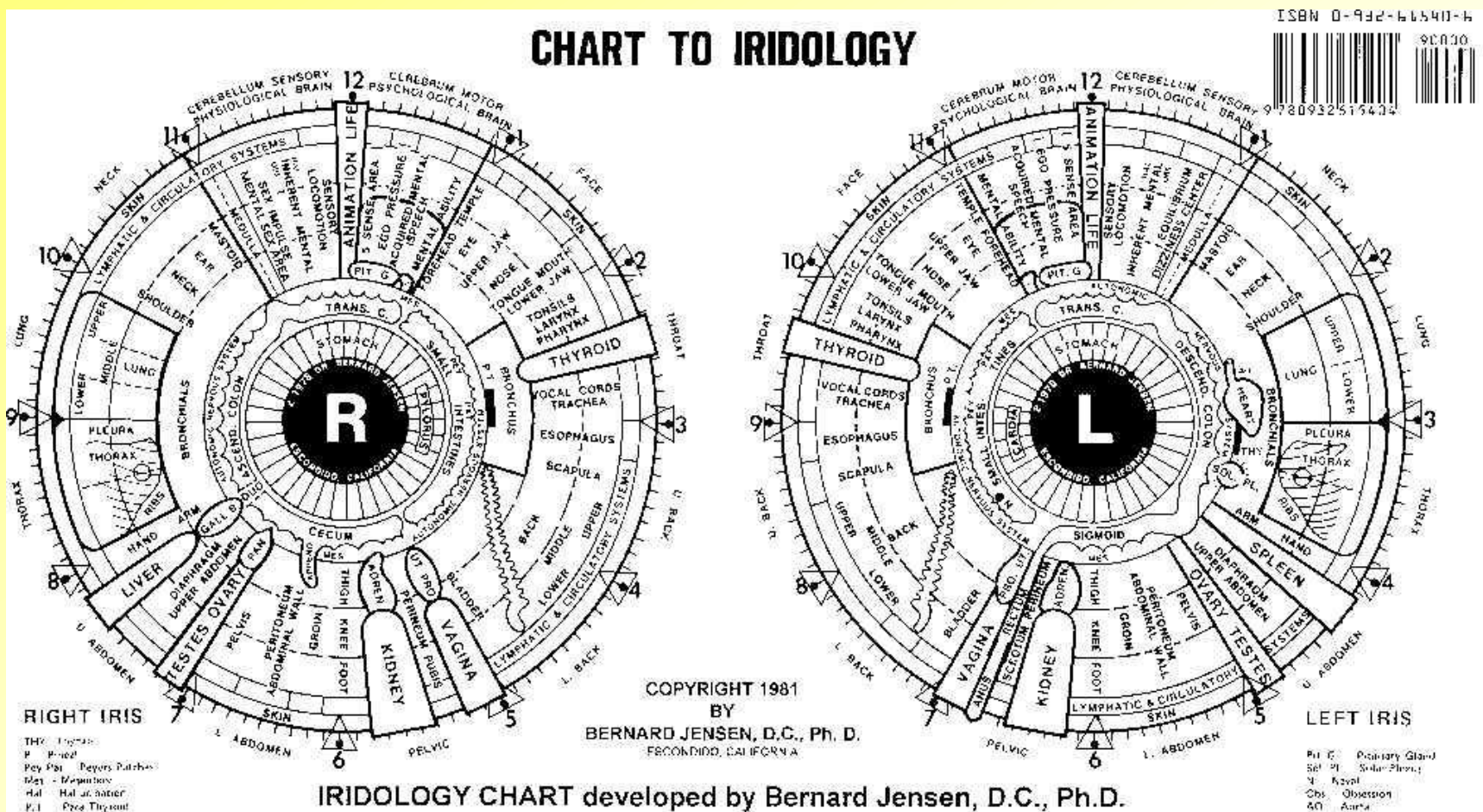
Frekvenční spektrum



Frekvenční spektrum

→ Schéma duhovky (I.)

→ Jednotlivé části duhovky se váží k různým vnitřním orgánům lidského těla → možnost zneužití ke zjištění zdravotního stavu osoby.



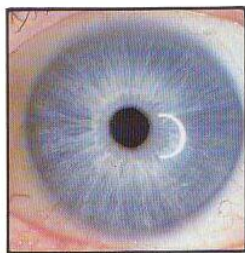


→ Schéma duhovky (II.)

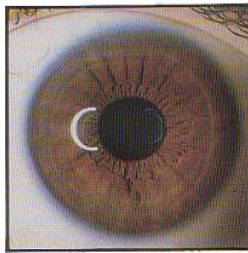
IRIDOLOGY SIMPLIFIED

Dr. Bernard Jensen

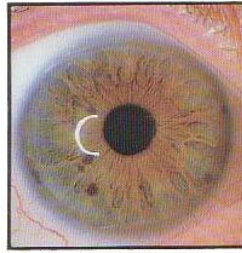
Page 1 of 3



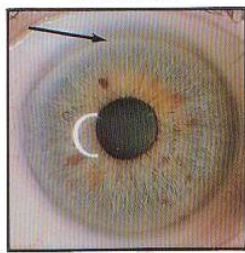
True Blue Iris



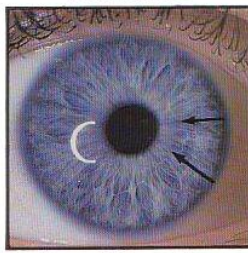
True Brown Iris



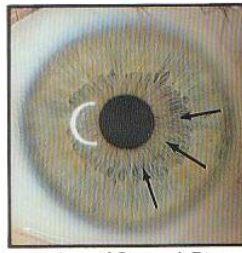
Genetically Mixed Iris



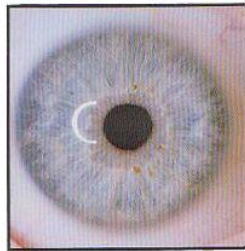
Arcus Senilis



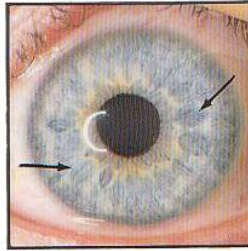
Overacid Stomach Ring



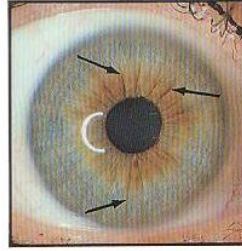
Underacid Stomach Ring



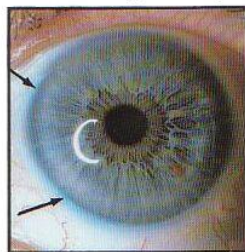
Overacid Body Chemistry



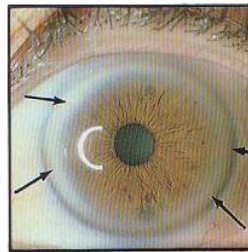
Catarrhal Eye



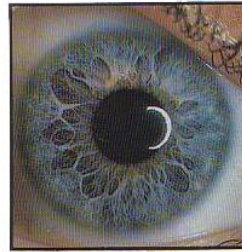
Radii Solaris



Venous Congestion



Cholesterol / Sodium Ring

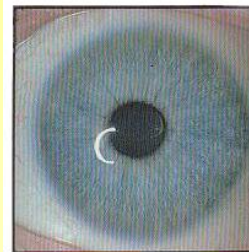


Neurogenetic Arc /
Reflex Syndrome

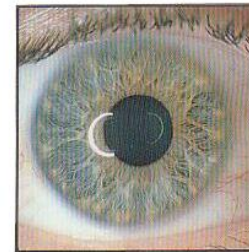
IRIDOLOGY SIMPLIFIED

Dr. Bernard Jensen

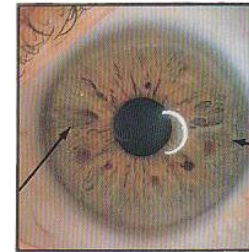
Page 2 of 3



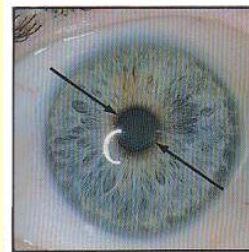
Strong Constitution



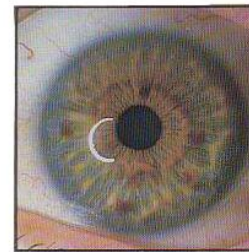
Weak Constitution



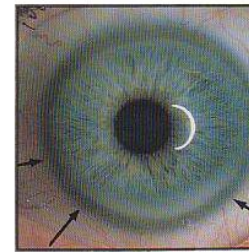
Open Lesion



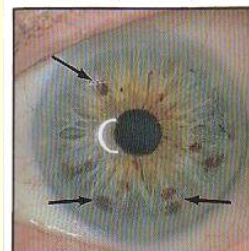
Absorption Ring



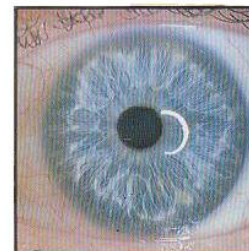
Miasmatic / Murky Eye



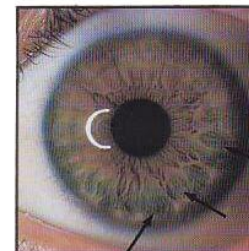
Anemia in Extremities



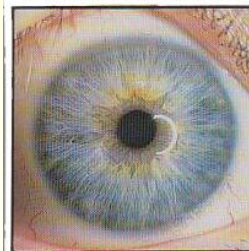
Psora / Hyperpigmentations



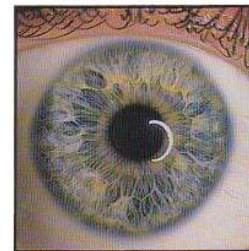
Acute Inflammation



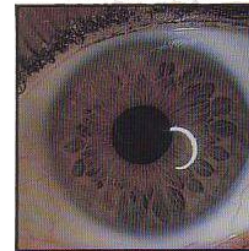
Subacute Lesion



Prolapsus



Ballooned Bowel

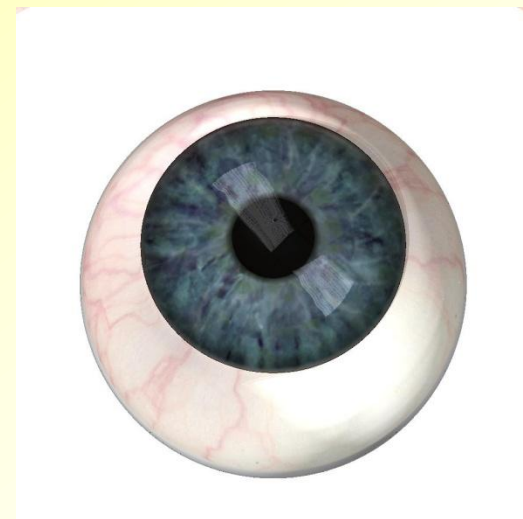
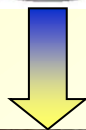
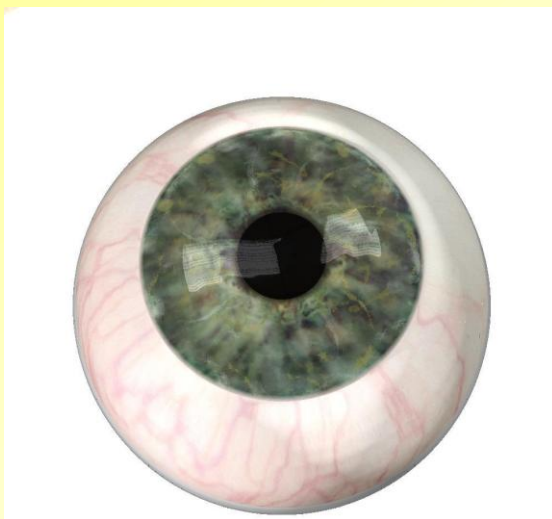
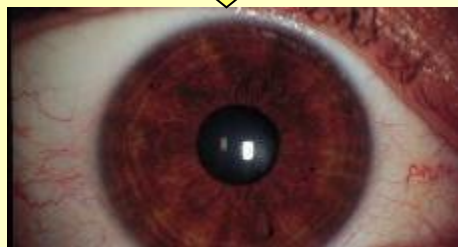
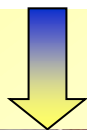


Bowel Pockets



→ Podvrhy – kontaktní čočky

- Kontaktní čočka může obsahovat matoucí informace a to nejen o barvě duhovky, ale může se jednat i o novou strukturu duhovky → podvedení systému.





→ Detekce živosti

Fotonická a spektrografická protiopatření

- Spektrografické vlastnosti tkání, tuků a krve
- Spektrografické vlastnosti barviva *melanin*
- Koaxiální zadní reflexe duhovky („červené oči“)
- 4 Purkyňovy reflexe z povrchu rohovky a čočky

Protiopatření pomocí reakcí (chování)

- Nekontrolovatelné:
 - Pohyby pupily
 - Reflex pupily na světlo
- Kontrolovatelné:
 - Pohyby oka / mrkání dle povelů



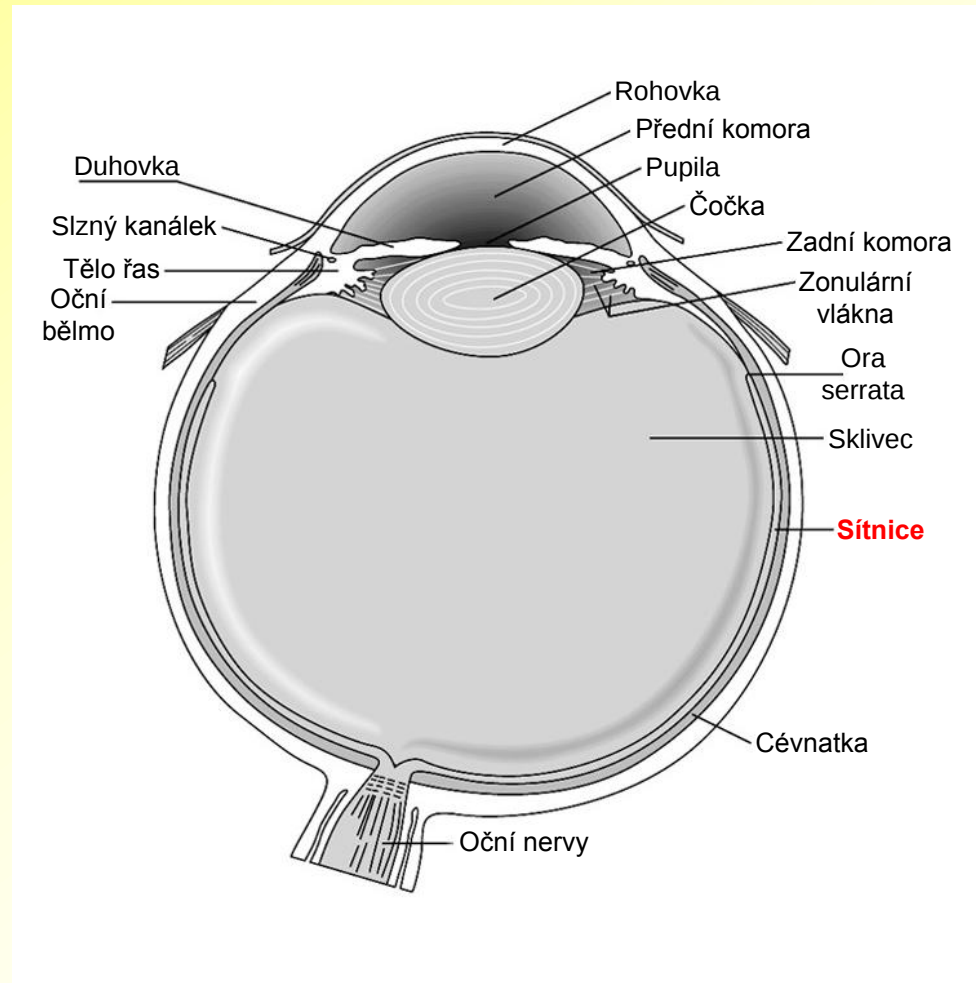
→ Druhá část

Rozpoznávání podle sítnice oka



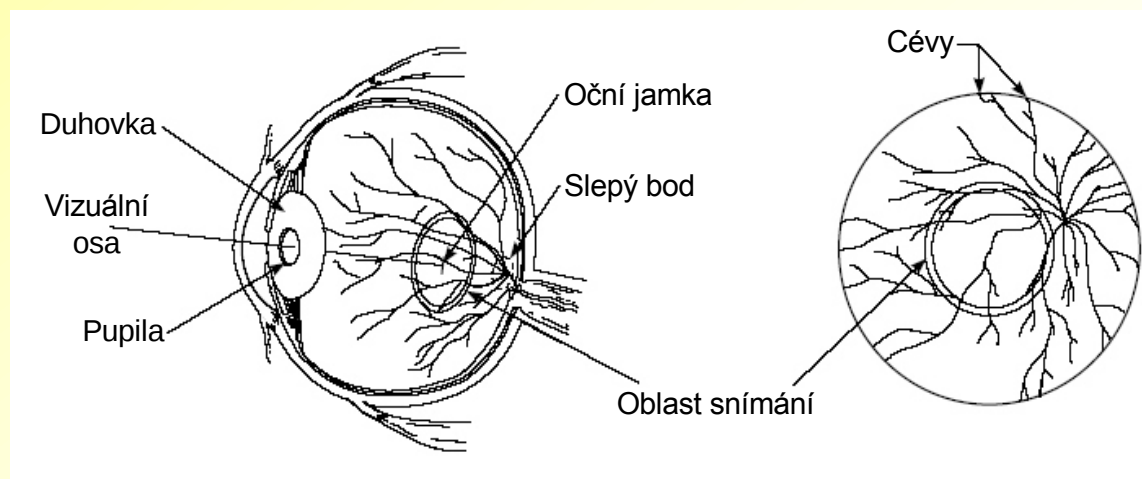
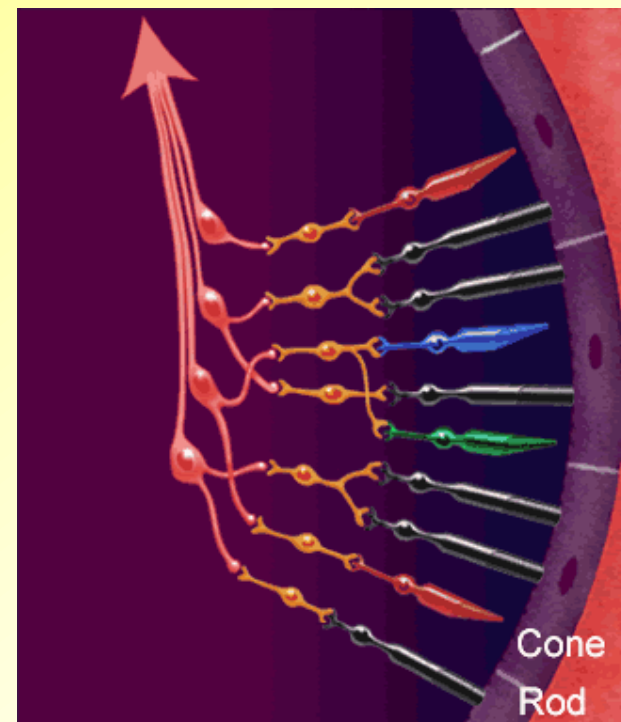
→ Základní údaje (I.)

- Roku 1935 zjistili lékaři **C. Simon** a **I. Goldstein**, že žíly oka jsou u různých jedinců odlišné.
- Oko vykazuje podobný aparát jako mozek – struktura a žilní spleť zůstávají neměnné.
- Díky pozici uvnitř oka je sítnice chráněna před vlivy prostředí a tím je velmi vhodná k biometrickým účelům.



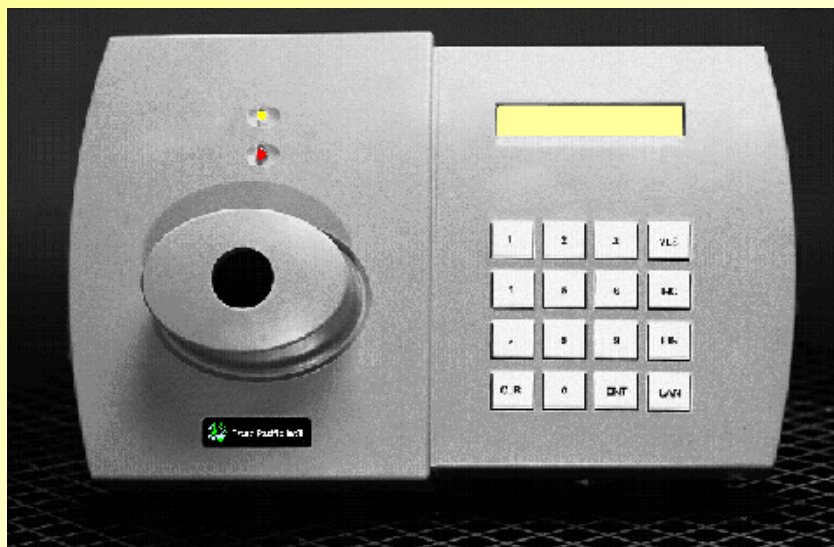
➔ Základní údaje (II.)

- ➔ Sítňice detekuje obraz, obdobně jako fotoaparát. Čočkou se upraví vstupní obraz a sítnicí je zachycen, podobně jako na film.
- ➔ Sítňice je zásobována krví, která je přiváděna cévami. Tyto cévy jsou připojeny k očnímu nervu.



→ Průmyslové systémy

- Použití rozpoznávání duhovky je v oblastech s vysokými nároky na bezpečnost, jako např. nukleární vývoj, firmy vyvíjející a vyrábějící zbraně, vládní a armádní základny, tajné organizace....
- Systémy: *EyeDentify*, *Retinal Technologies*, *TPI (Trans Pacific Int.)*, *RaycoSecurity*

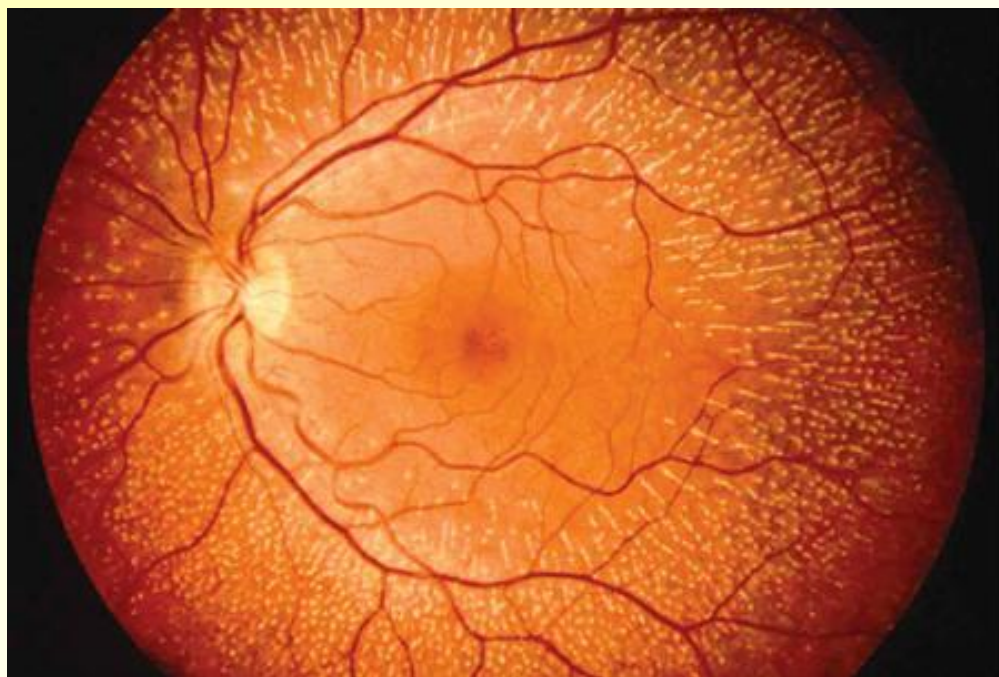
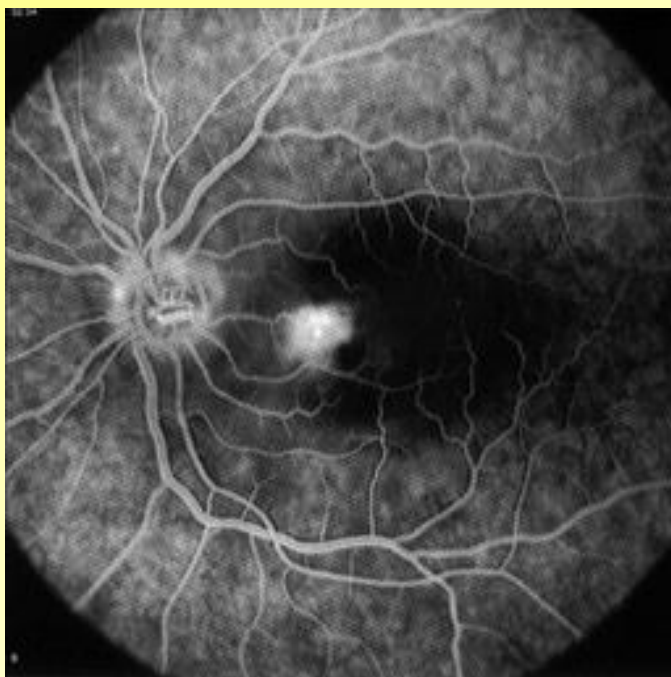


→ Princip (I.)

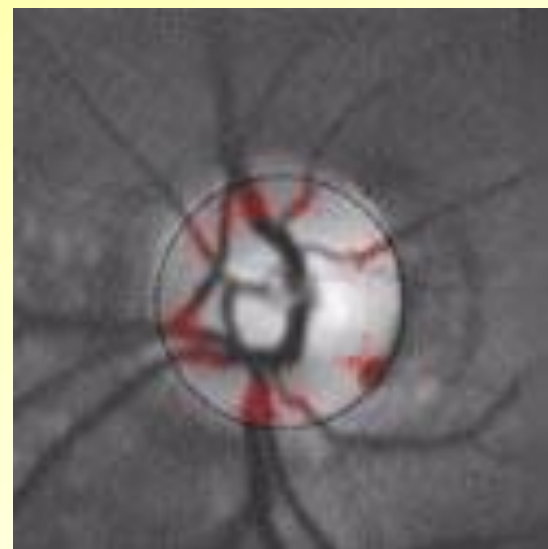
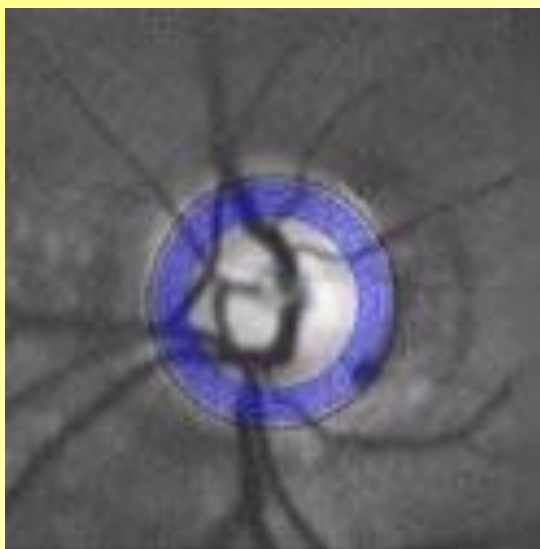
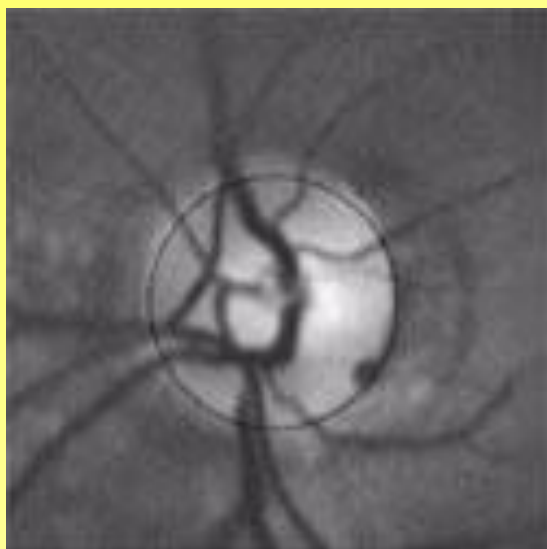
- K osvětlení sítnice se používá infračerveného světla, protože sítnice je u této vlnové délky průhledná, zatímco cévy sítnice infračervené světlo reflektují.
- První funkční systém byl vytvořen v roce 1975, firmou *EyeDentify*.
- Dvě možné reprezentace sítnice:
 - Původní reprezentace má 40 bytů. Jedná se o informace o kontrastu zakódované pomocí reálných a imaginárních souřadnic frekvenčního spektra (**FFT**).
 - Nová reprezentace má 48 bytů. Obsahuje informace o kontrastu v časové doméně. Je rychlejší a efektivnější.

→ Princip (II.)

- Šablona sítnice obsahuje pole 96 čtyřbitových čísel kontrastů z 96 scanů soustředných kruhů v časové oblasti, tj. $96 \times 4 = 48$ bytů.
- Intenzity v časové oblasti mohou nabývat hodnot v intervalu $<-8,7>$, přičemž se provádí normalizace na toto rozložení – úprava na 4 bity intenzitního rozložení.



→ Princip (III.)



- Pro porovnání dvou šablon se musí provést tyto kroky:
 - Zarovnání (zajištění překryvu).
 - Normalizace obou šablon (intenzit).
 - Korelace obou šablon v časové oblasti (příp. Fourierova korelace)

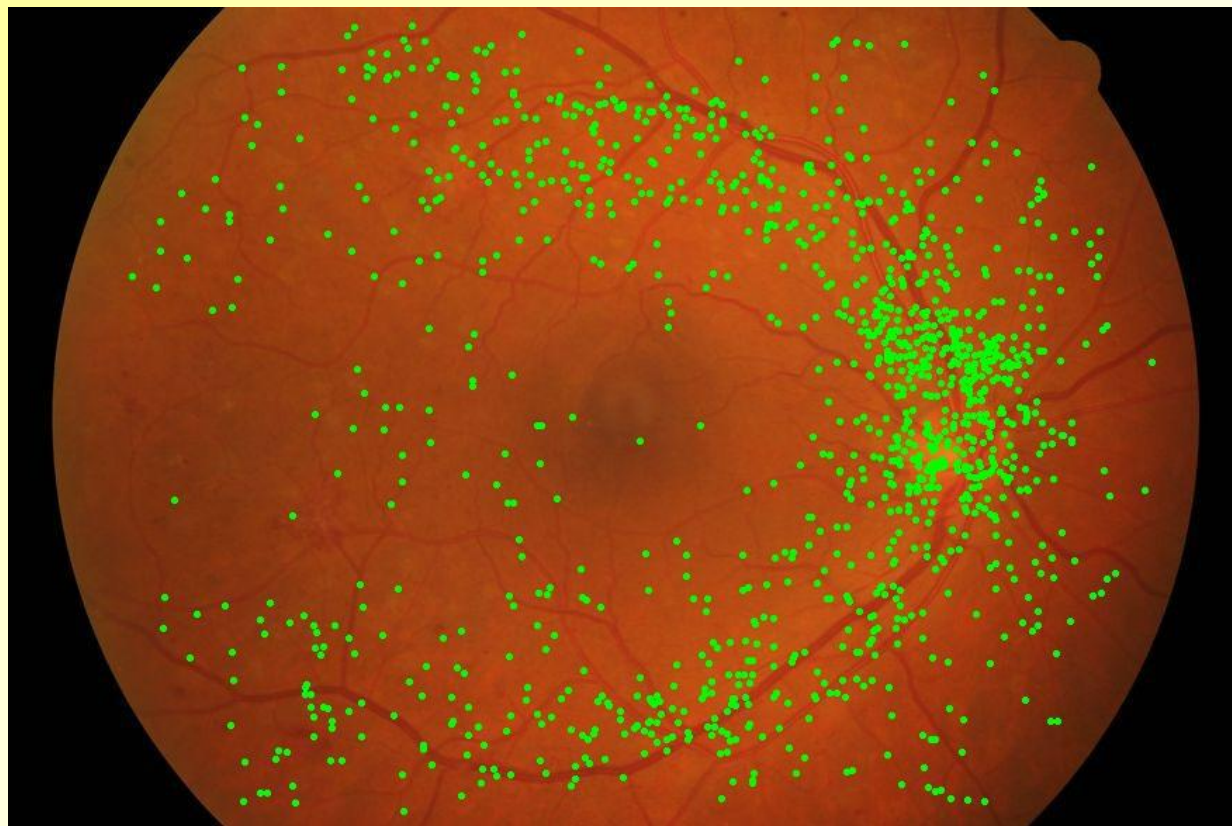
→ Limitace sítnice

- Strach uživatelů z poškození oka.
- Zjištění zdravotního stavu – kórnatění cév apod.
- Omezené možnosti pro venkovní použití.
- Vysoká cena zařízení.
- Lidé s poruchou zraku (astigmatismus) nejsou schopni zaostřit oko na bod (funkčnost srovnatelná s měřením zaostřovací schopnosti oka u očního lékaře) a tím nedojde ke správnému vygenerování šablony.
- Možné zdroje chyb: nedostatečná fixace oka, chybná vzdálenost oka od snímače, nedostatečně rozšířená pupila, špinavý okulár, kontaktní čočky, interference světla...



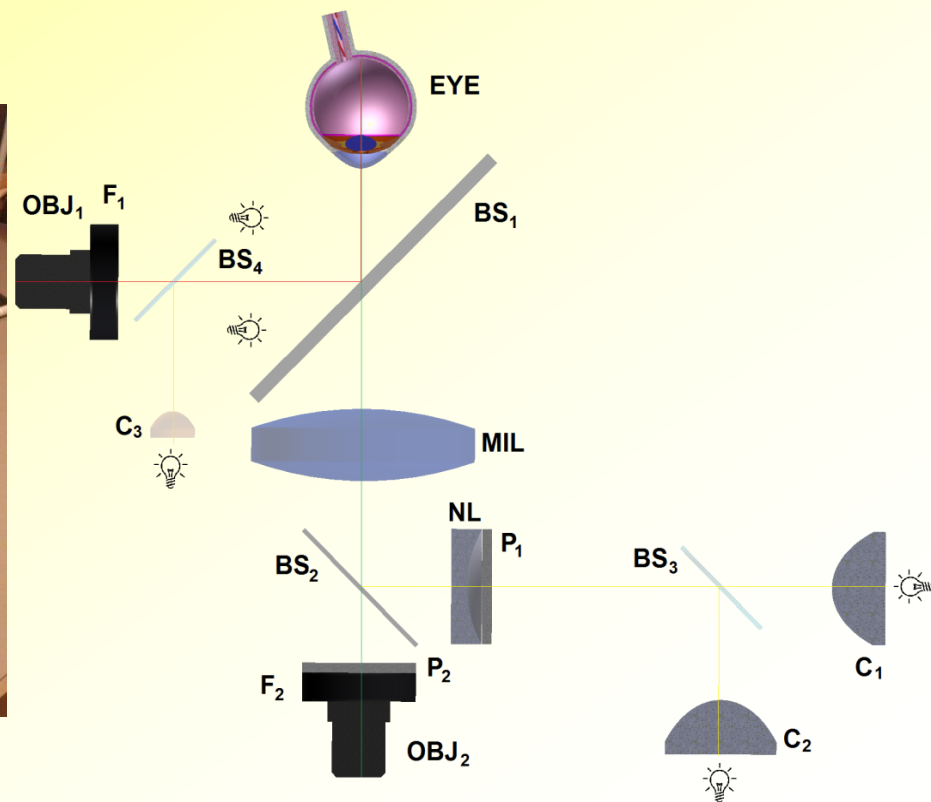
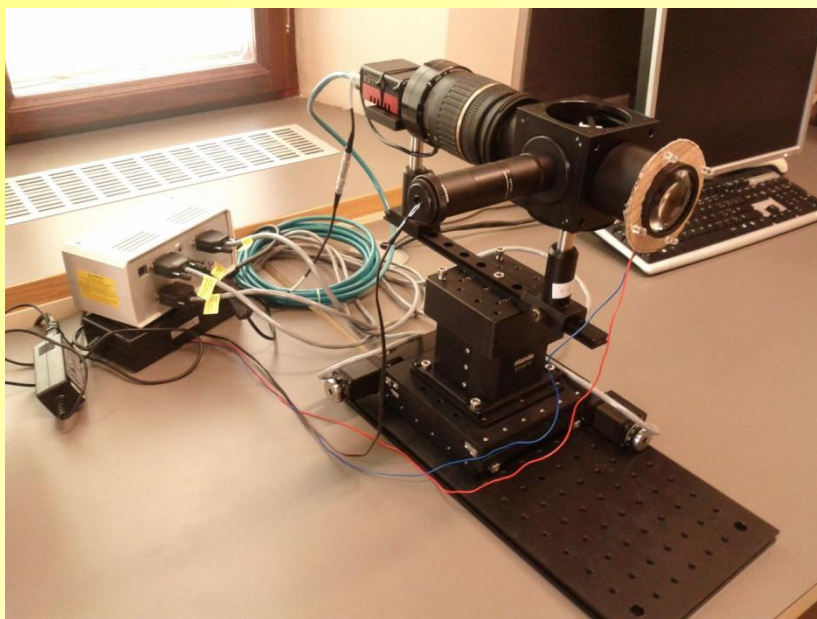
→ Zjištění množství biometrické entropie

- Po statistickém vyhodnocení lokalit výskytů markantů dojde k vytvoření vzorce pro zjištění počtu kombinací
- Teoretické limity dané biometriky



→ Zařízení pro snímání duhovky i sítnice

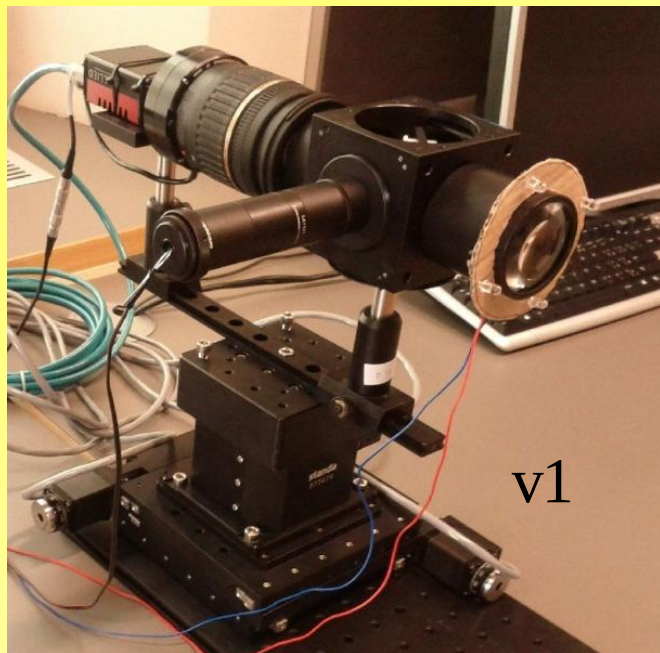
- Zařízení vyvíjené skupinou STRaDe na FITu
- Dokáže téměř v jednom okamžiku pořídit oba snímky
- Využití pro biomedicínské a biometrické účely



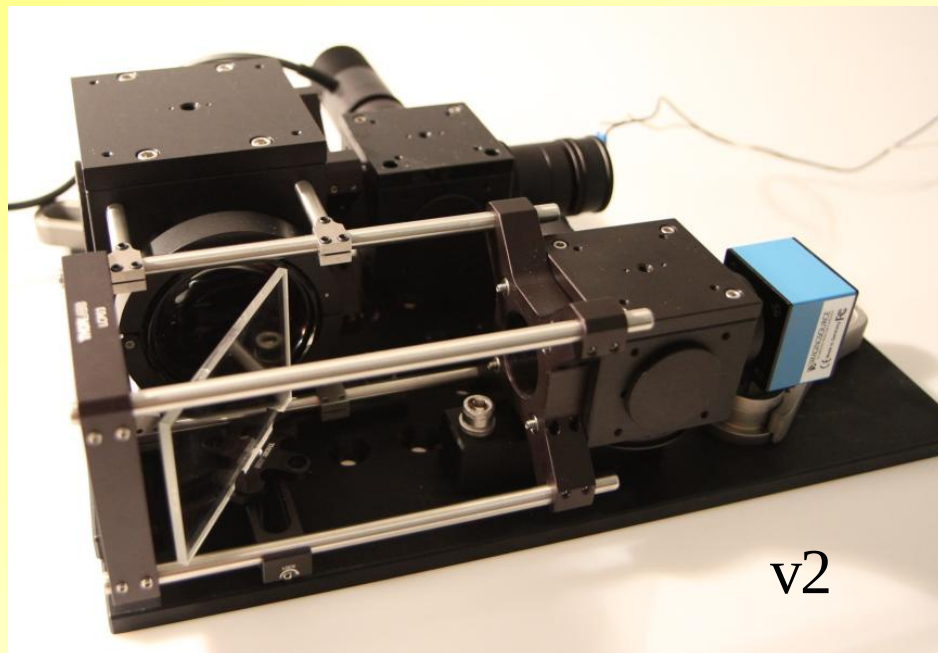


→ Zařízení pro snímání duhovky i sítnice

7. Rozpoznávání duhovky a sítnice



v1



v2



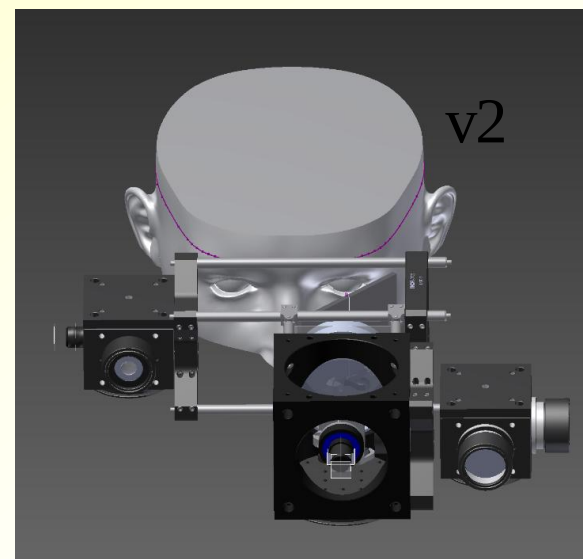
FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLGIÍ



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ



v2



v2



→ Děkuji za pozornost!

Použitá literatura: [Dau00], [Hil04], [NN], [Tot05]

<http://members.aol.com/wayneheim/eye.jpg>

http://www.personal.psu.edu/staff/t/r/trw1/emerging_tech/iris1.jpg

<http://www.healingfeats.com/eyechart.jpg>

<http://www.webnat.com/Irid/>

<http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/>