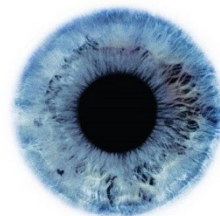


Rozpoznávanie na základe dúhovky

Ľuboš Omelina

lubos.omelina@etro.vub.ac.be

31.3.2018, Institute of Computer Science and Mathematics, FEEIT, SUT BA



Obsah

- Vlastnosti dúhovky
- Lokalizácia dúhovky v obraze
 - Používané obrazové transformácie
- Rozpoznávanie, kódovanie dúhovky
 - Daugmanova metóda
 - Gaborove Wavelety
 - Štatistické informácie o dúhovkárke



Prečo dúhovka?

- Medzitriedna variabilita je mešia ako variabilita v rámci triedy
- 2D objekt (približne)
 - napr. v tvárach je problém s natočením
- Možnosť využiť viacero príznakov
- Časová stálosť
- Komplikované zneužitie
- Relatívne jednoduché snímanie



Prečo nie?

- Potreba kvalitného obrazu dúhovky
 - Kamera s dobrým rozlíšením
 - Obmedzenia z technológií existujúcich s enzorov
- Vzdialenosť zachytávania (do 1 metra)
- Potreba dobrého osvetlenia
 - Používa sa IR osvetlenie na neinvazívne snímanie
- Problémy zachytenia v neznámom prostredí
 - Uhol kamery
 - Potreba priameho pohľadu
 - Problém zachytávania pohyblivých cieľov

Vlastnosti dúhovky

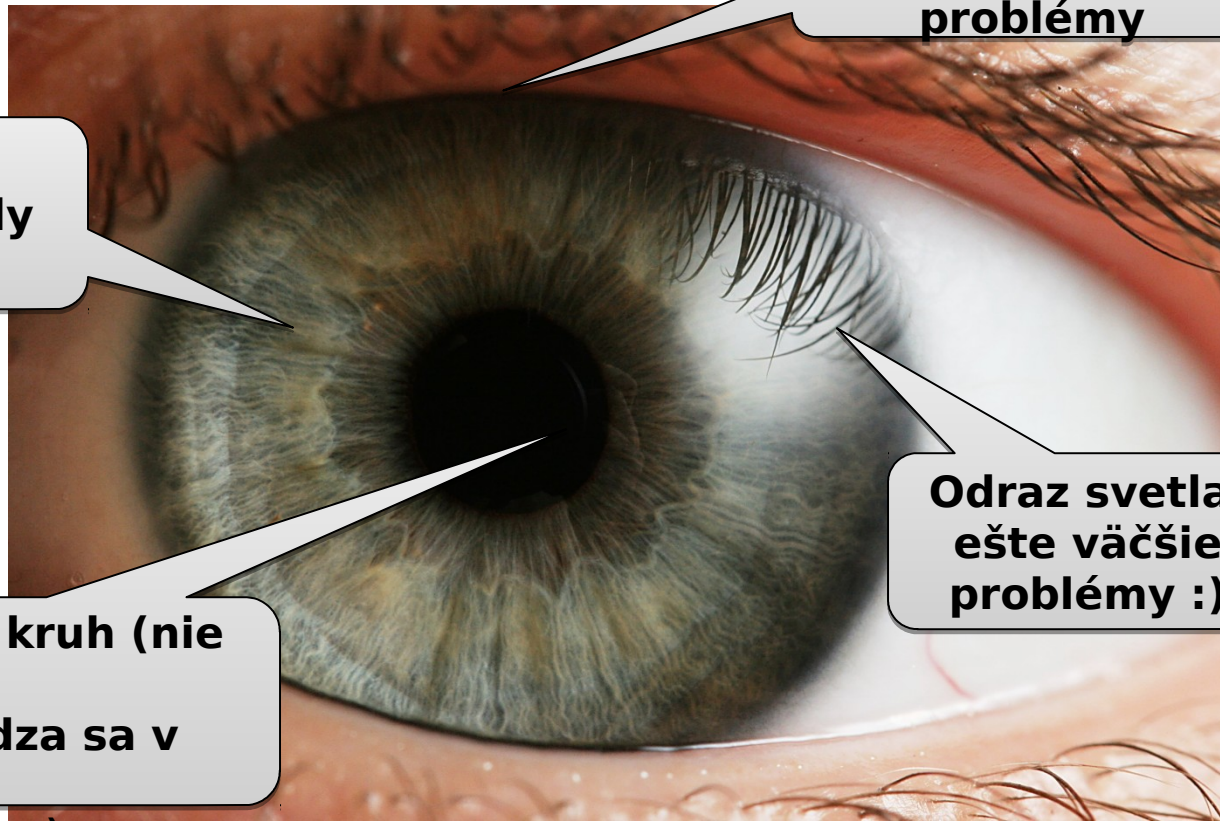


**Prekrytie,
spôsobuje
problémy**

**Dúhovka,
- má okrúhly
tvar**

**Zrenička,
- približne kruh (nie
úplne)
- nenachádza sa v
strede
- (iba približne)**

**Odras svetla,
ešte väčšie
problémy :)**





Príznaky v dúhovke

- Väzivo (ligaments)
- Vrásky (ridges)
- Vyvýšenia (furrows)
- Kruhy (rings)
- Okolie dúhovky (corona)
- Škvvrny (freckles)
- Zig-zag prstenec (zigzag collarette)
- Farba (colour)

Nároky na reprezentáciu



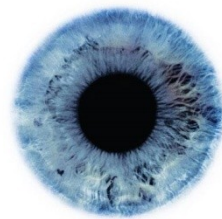
- Robustná reprezentácia voči zmenám
 - veľkosti obrazu
 - veľkosti zreničky
 - pozície dúhovky v obraze
 - orientácie vzorov (natočenie)

Identifikácia objektov v digitálnom obraze



- Ako opísať objekt v programe
- Ako súvisí objekt s obrazovou informáciou
- Ako objekt vyhľadať
 - Aké transformácie použiť
 - Ako generalizovať vyhľadávanie
 - Ako optimalizovať proces hľadania
 - Pamať, čas/výpočtový výkon
- Ako pracovať s nájdeným objektom

Objekty v digitálnom obra



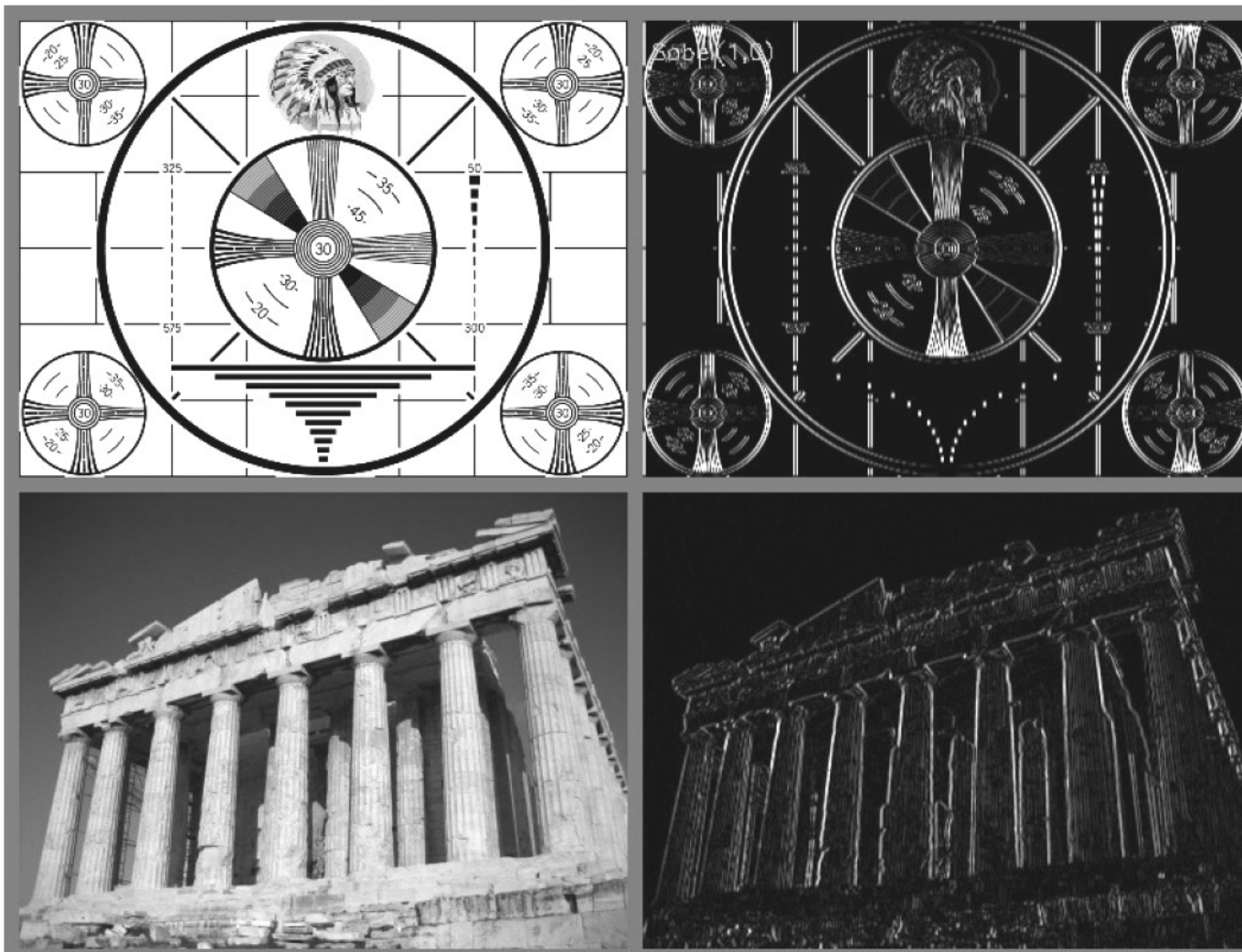
- Jednoduché
 - Kružnica
 - Čiara
 - Elipsa
 - Trojuholník
 - Polygón
 -
- Zložité
 - Tvár
 - Zložené objekty
 - 3D objekty
 - ...

Sobel - transformácia

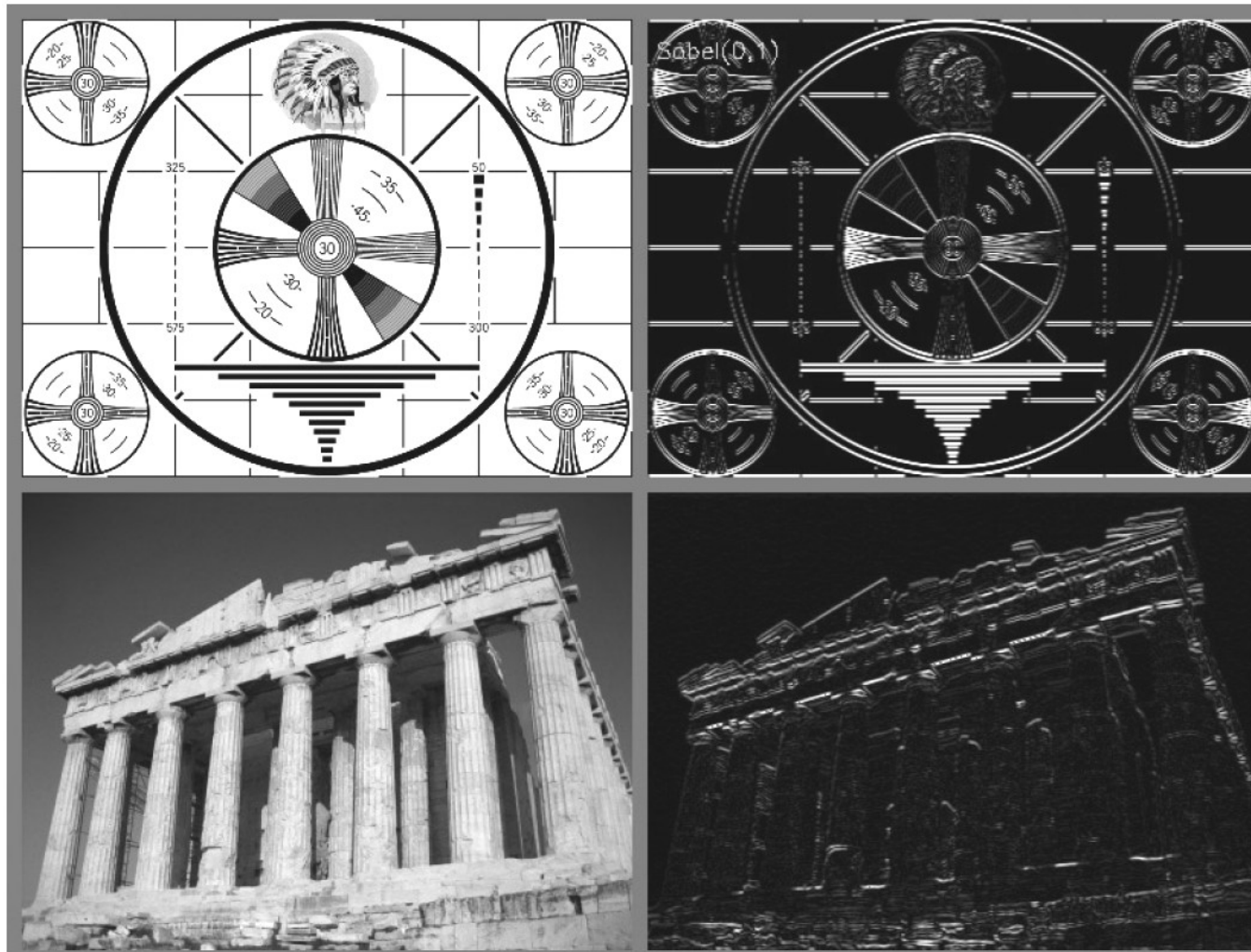


- Aproximácia derivácie
- Použiteľná pre akýkoľvek stupeň derivácie
- Relatívne rýchla
- Iteratívny algoritmus
- Jadro
 - Akékoľvek veľké
 - Väčšie – lepšie výsledky
 - Menšie – náchylné na šum

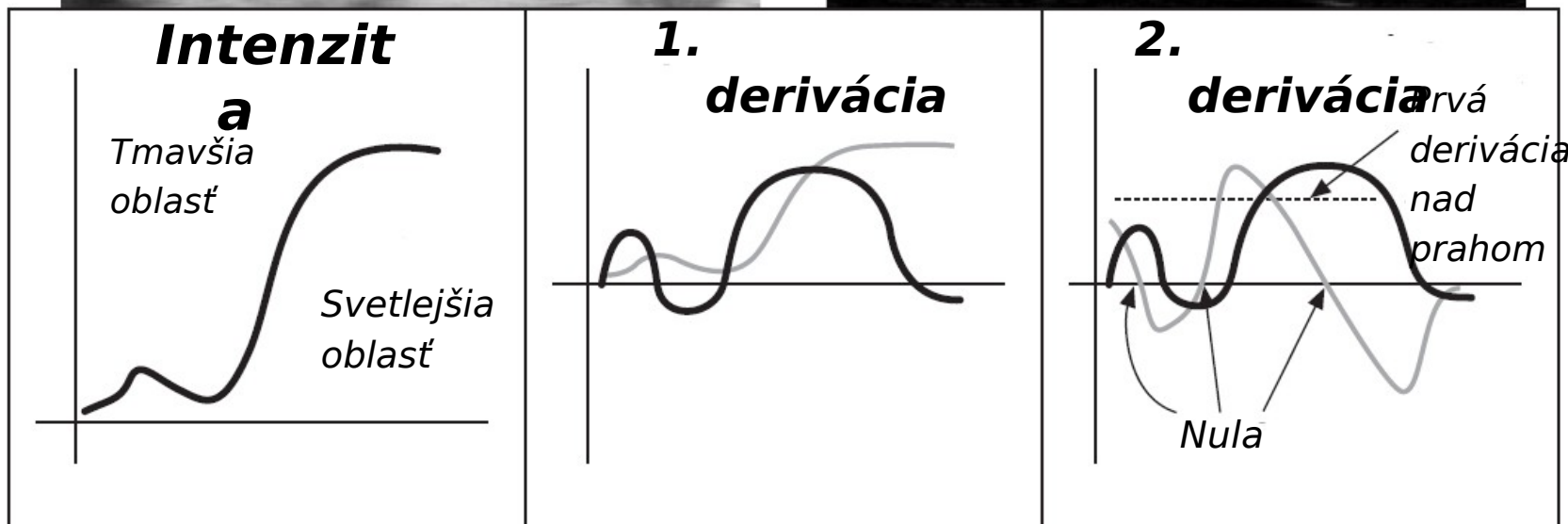
Sobel - podľa osi X



Sobel - podľa osi Y



Laplace-ov operátor

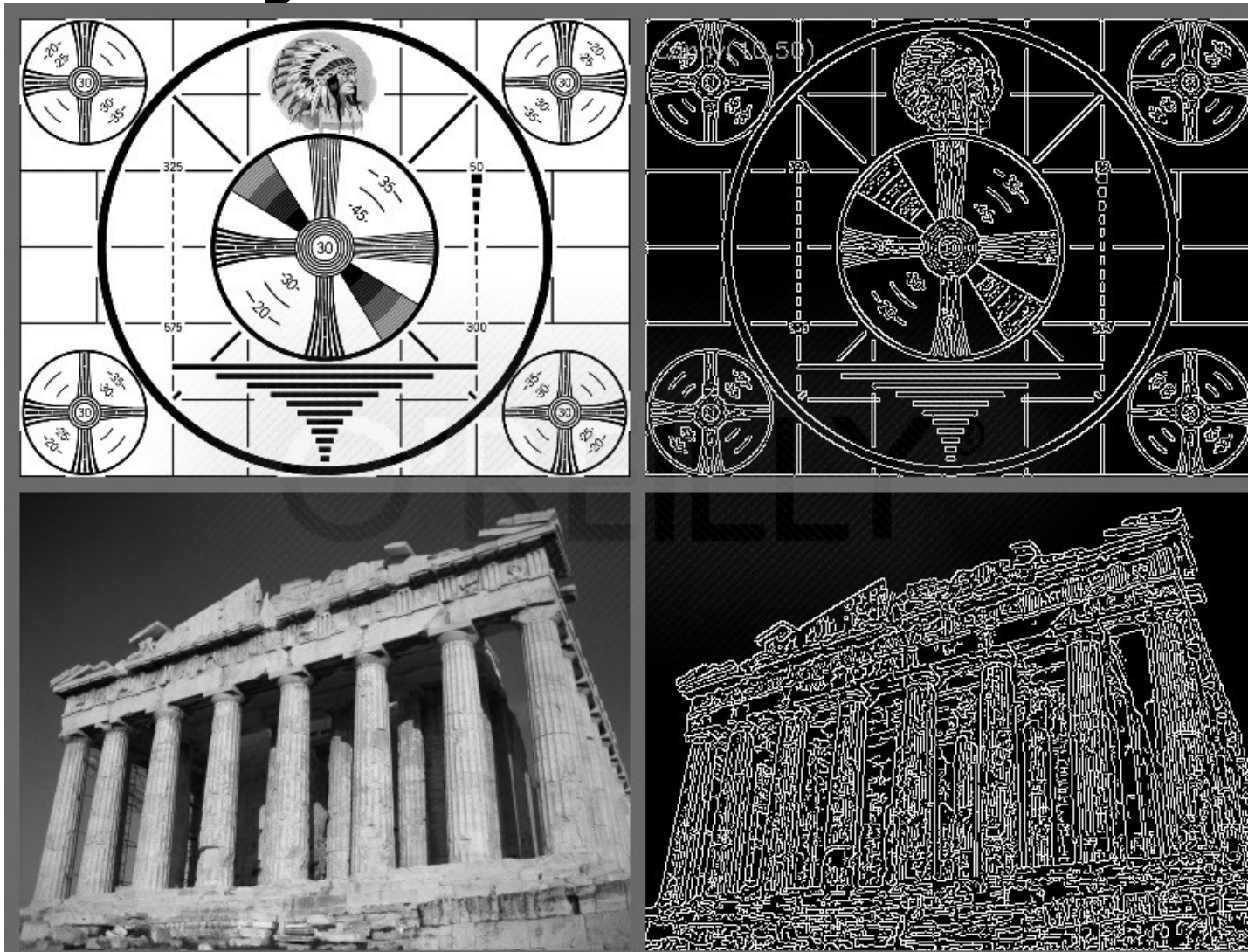


Canny-ho transformácia



- J. Canny (1986)
- Canny-ho detektor hrán
- Detekcia hrán
- Druhá derivácia
- OpenCv
- Výsledok
 - Množina bodov vyznačujúcich okraj objektov
 - Množina bodov nie je objekt □

Canny transformácia



Gary Bradski and Adrian Kaehler. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly, Cambridge, MA, 2008.



Hough transformácia

- Paul Hough (1962) (patentované IBM)
- Štandardný nástroj v CV
- Hľadanie priamok, kruhov a iných jednoduchých tvarov
- Relatívne rýchla metóda
- Robustná a odolná voči chybám
- Generalizovateľné z čiar na viacero iných tvarov
 - Akékoľvek iné tvary ktoré sú parametricky vyjadriteľné



Problém

- Nájsť objekt určitého matematického typu, ktorý reprezentuje reálnu scénu
- Objekt – množina bodov v obraze, ktorá spĺňa požadované vlastnosti
- Vlastnosti množiny sa dajú explicitne vyjadriť
- Vzťah medzi bodmi a objektami v obraze
 - Parametrické vyjadrenie



Idea

- Akýkoľvek bod (pixel) na obrázku by mohol patriť do množiny bodov objektu
- Hľadanie parametrov do parametrického vyjadrenia geometrického objektu
- Iba jedna kombinácia parametrov definuje všetky body patriace objektu



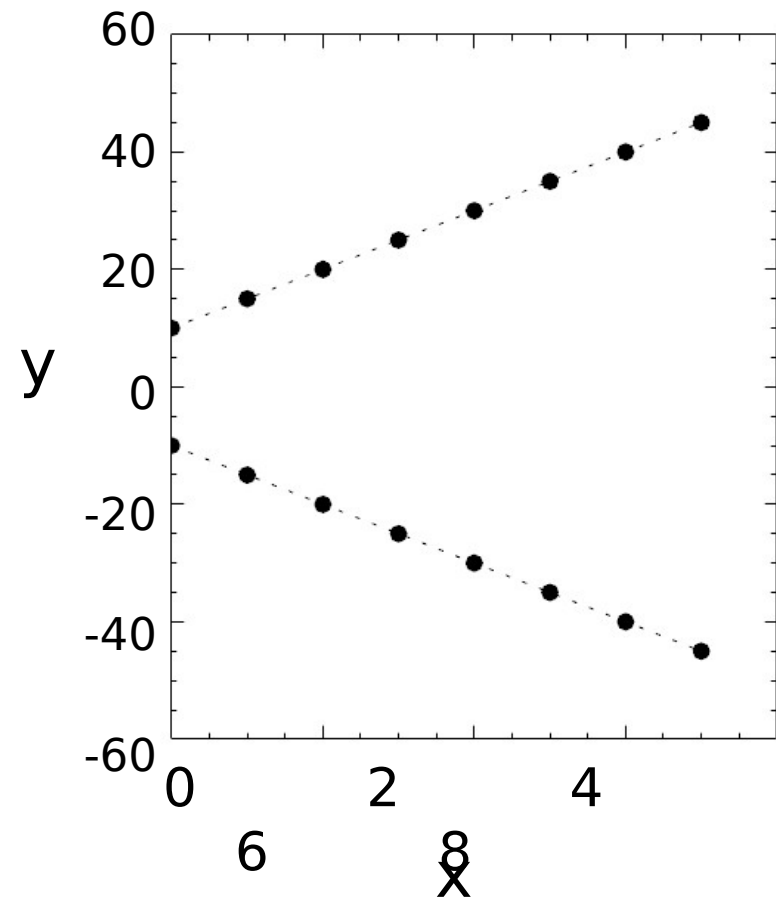
Hough - čiara

- Parametrické vyjadrenie

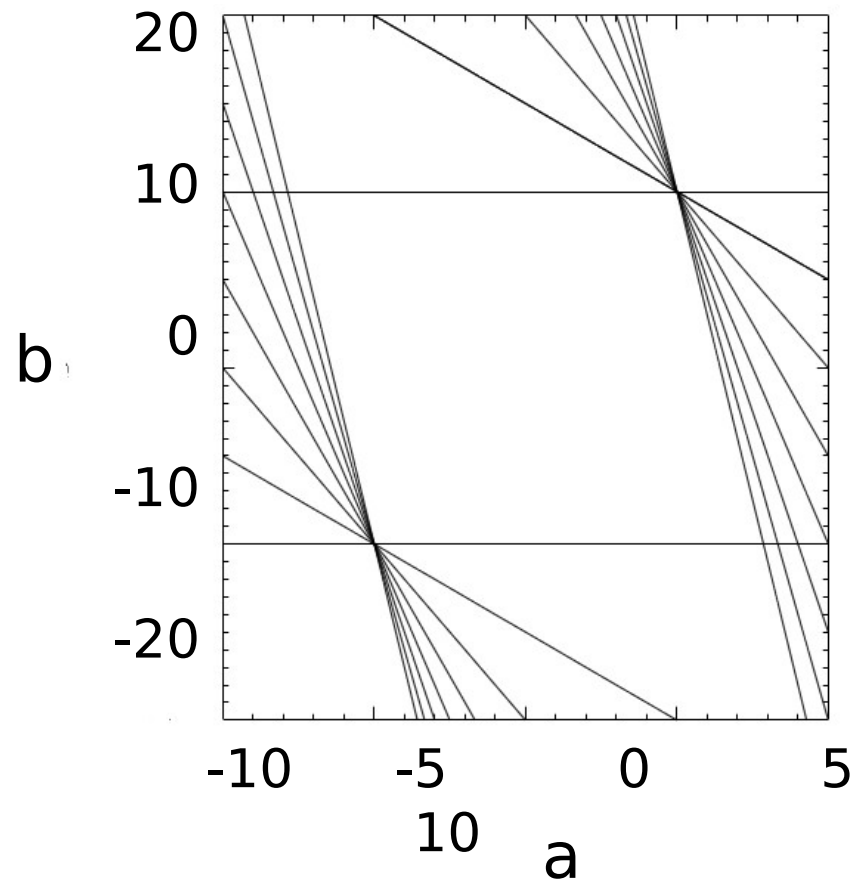
$$y = ax + b$$

- Úloha: nájsť ***a*** a ***b***
- Ako napísať automatický program na hľadanie koeficientov?

Hough - číara



$$y = ax + b$$



$$b = y - ax$$



Algorithmus

For each point (x_n, y_n)

For each a_i compute $b = -a_i x_n + y_n$

Find the point (a_i, b_j) closest to (a_i, b)

Increment counter for (a_i, b_j)



Praktický problém

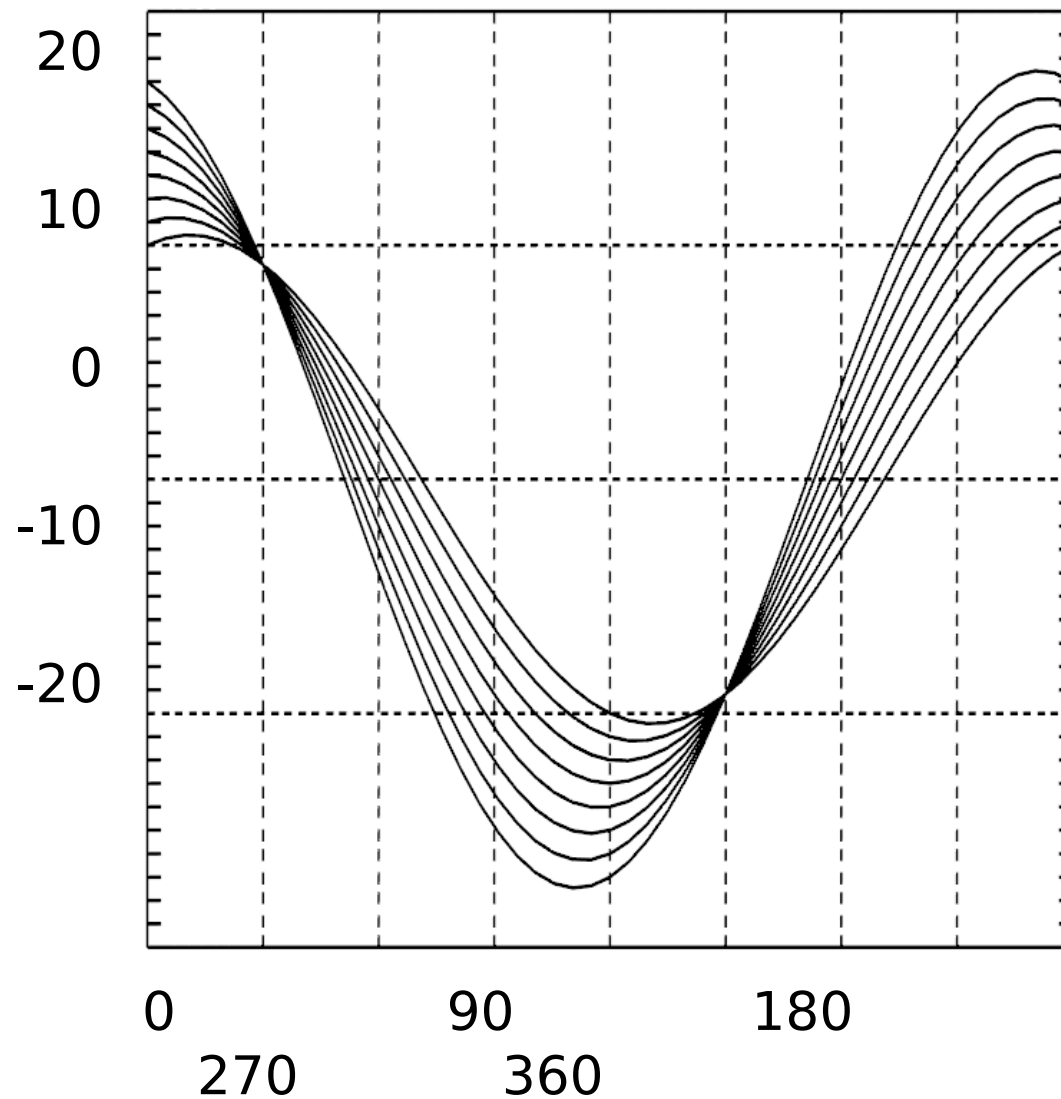
- Veľké hodnoty a pre zvislé čiary

$$y = ax + b$$

- Riešenie: normálna forma

$$\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$$

Normálna forma





Hough a kružnica

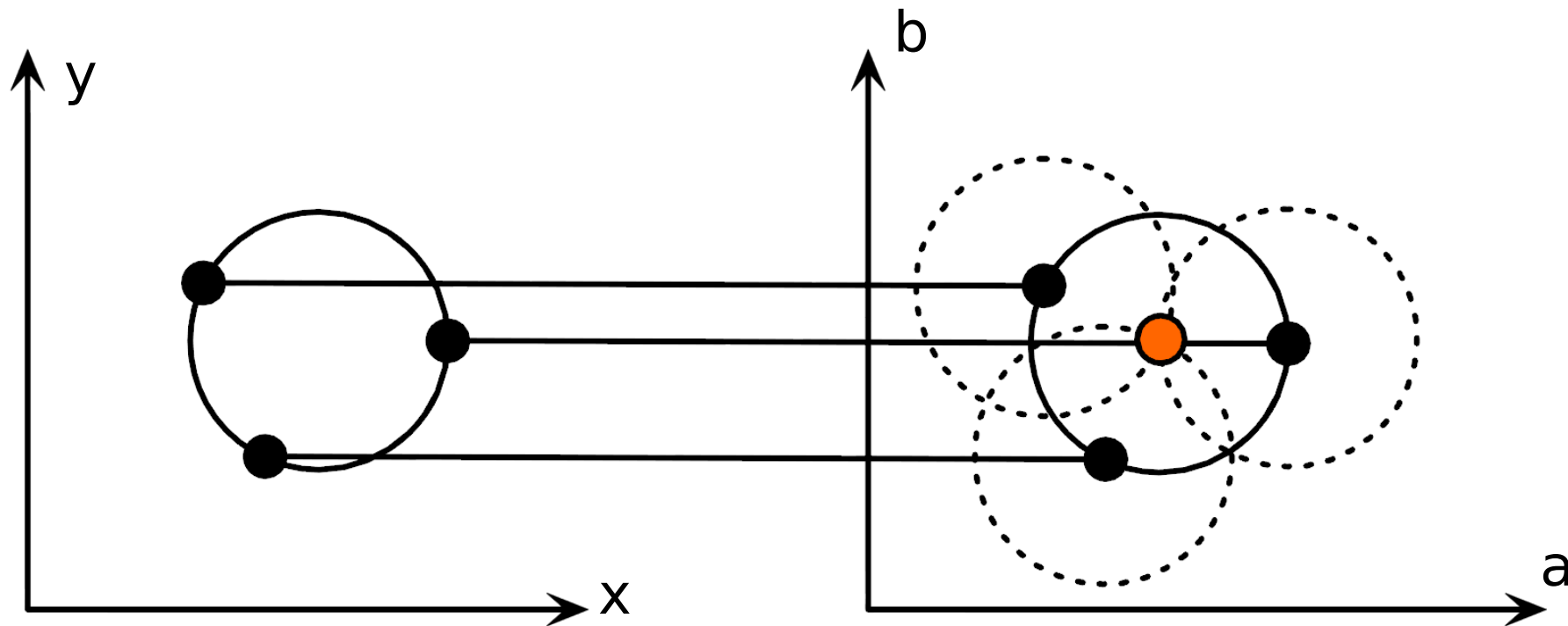
- Parametrické vyjadrenie

$$x = a + R \cos(\theta)$$

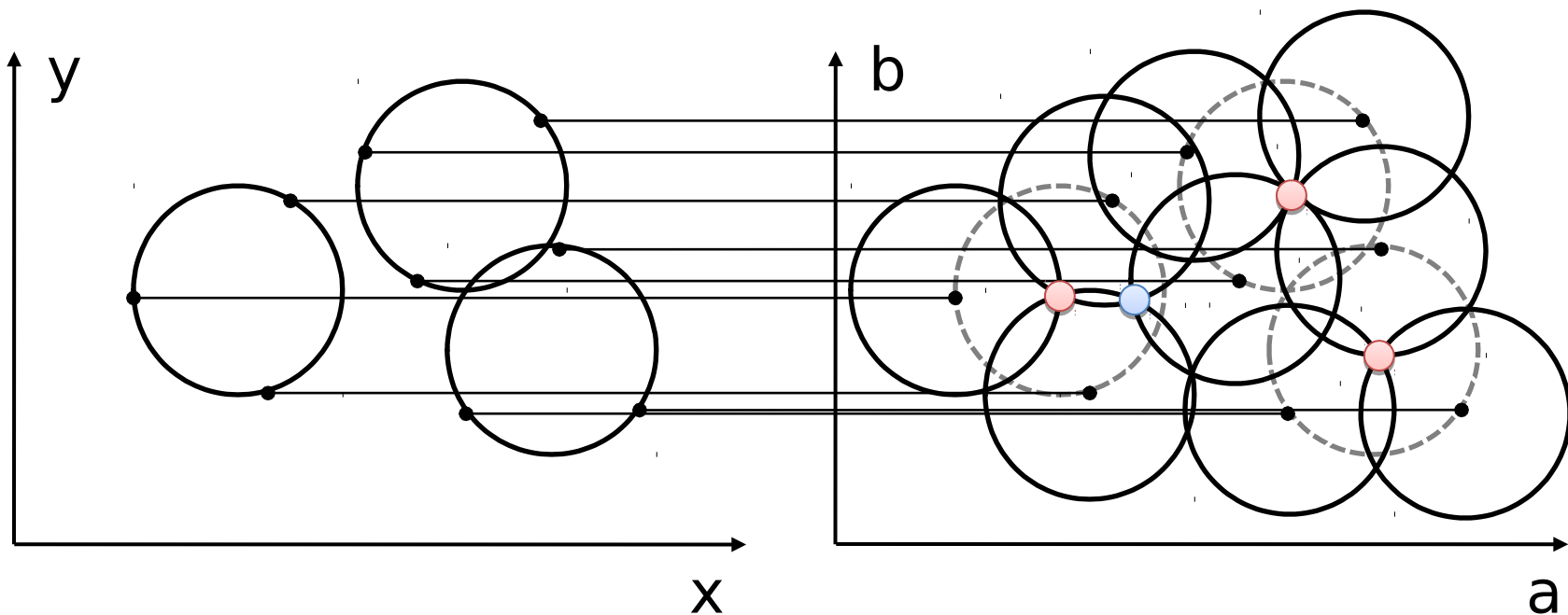
$$y = b + R \sin(\theta)$$

- Ak R je neznáma vyhl'adárame trojice
 - Hľadanie v 3D priestore
 - Náročnejšie na pamäť a čas

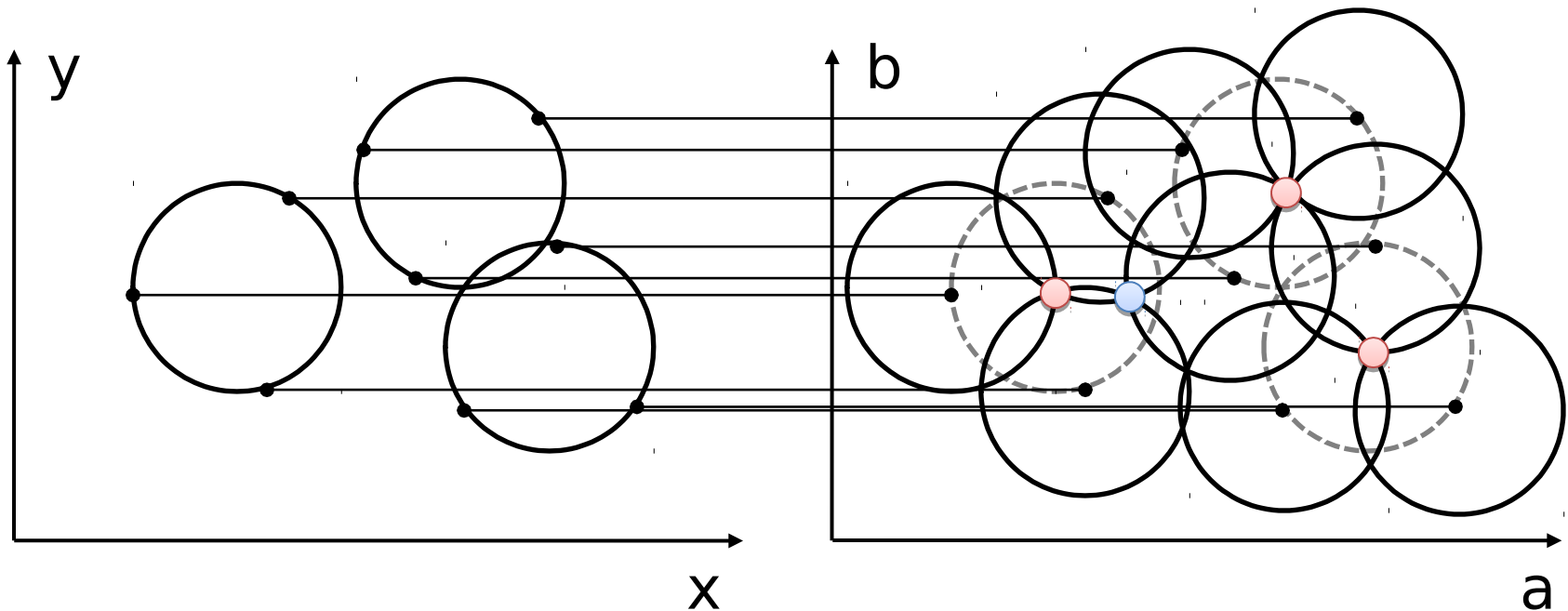
Hľadanie s fixným R



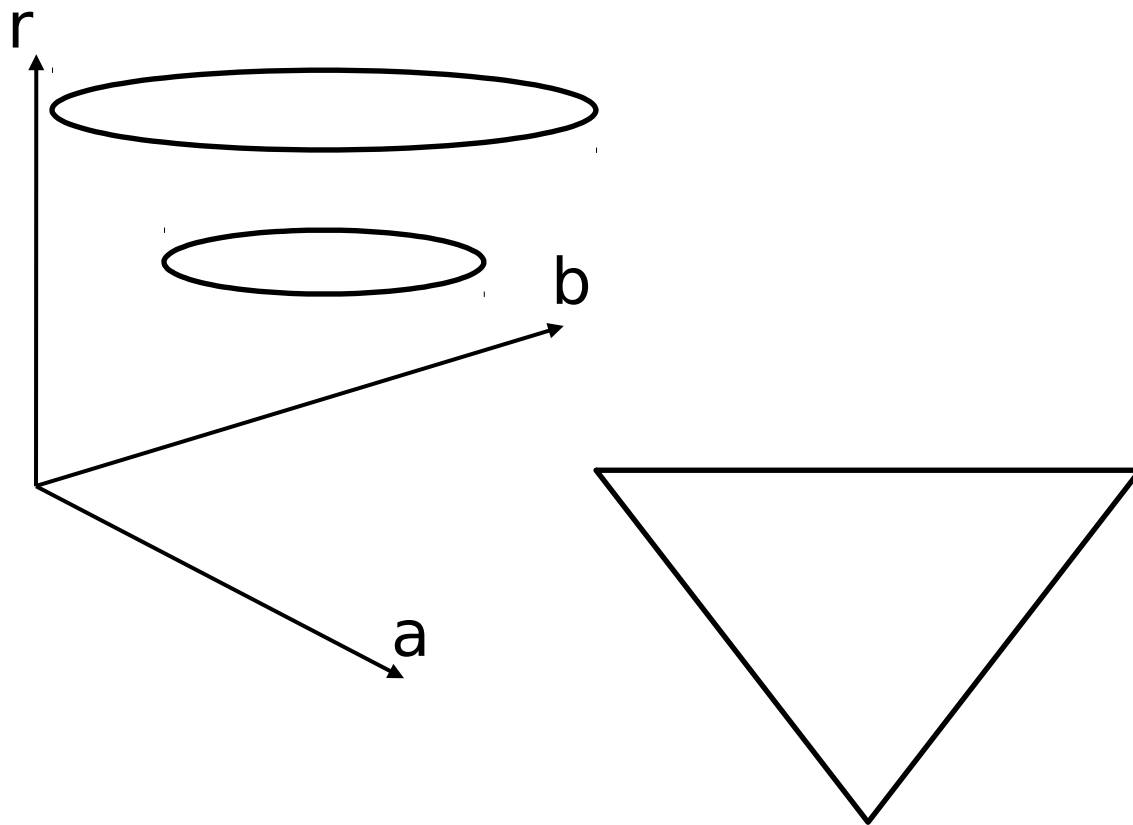
Viacero kružníc so známym R



Viacero kružníc so známym R



Kružnice s neznámým R





Algoritmus

Predspracovanie

- Smooth (5x5 px)
- Canny transformácia na určenie základnej množiny bodov

Algoritmus - jadro



```
...
for(int x=0;x<width;x++) {
    for(int y=0;y<height;y++) {
        if((input[y*width+x] & 0xff)== 255) {
            for(int theta=0; theta<360; theta++) {
                t = (theta * Math.PI) / 180;
                a = Convert.ToInt32(x - r * Math.Cos(t));
                b = Convert.ToInt32(y - r * Math.Sin(t));
                if( a < width  && a > 0 &&
                    b < height && b > 0) {
                    acc[a + (b * width)] += 1;
                }
            }
        }
    }
}
...
```

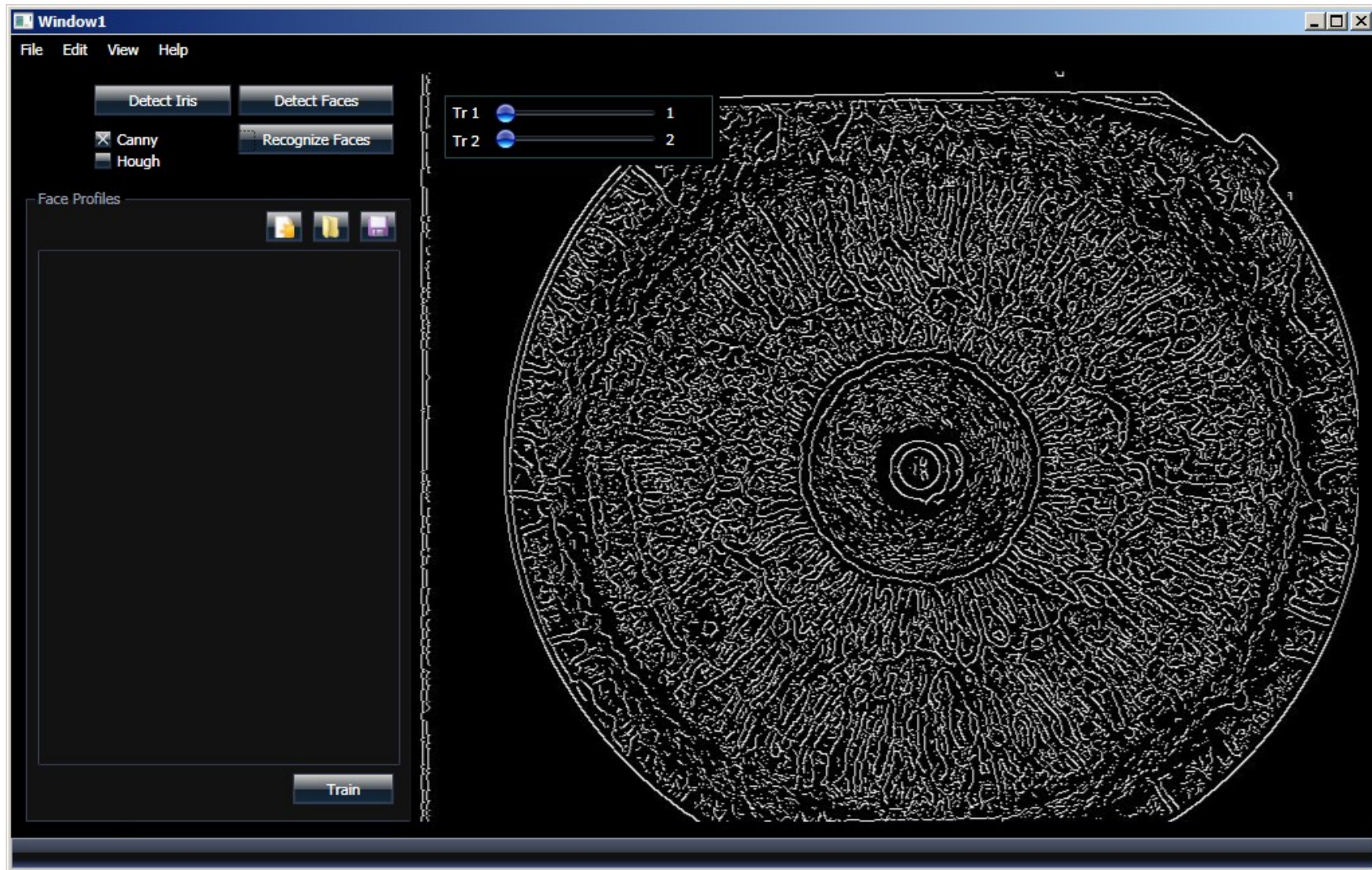


Algoritmus

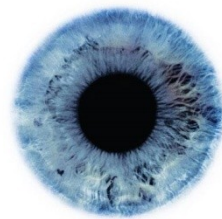
Postspracovanie

- Hľadanie objektov s najvyšším počtom bodov
 - Akumulátor s najväčším číslom
- Filtrovanie na základe vzdialenosti kružníc
- Normalizácia
- Vytvorenie výstupného vektora trojíc

Ukážka

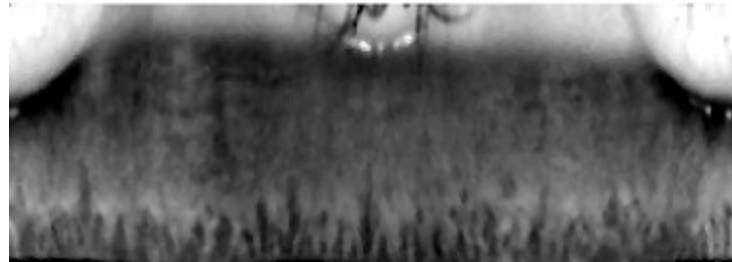
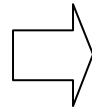
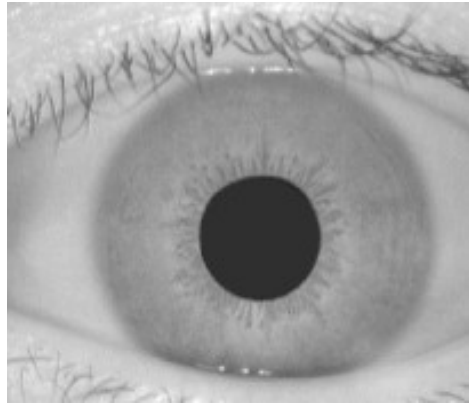


Daugmanova metóda



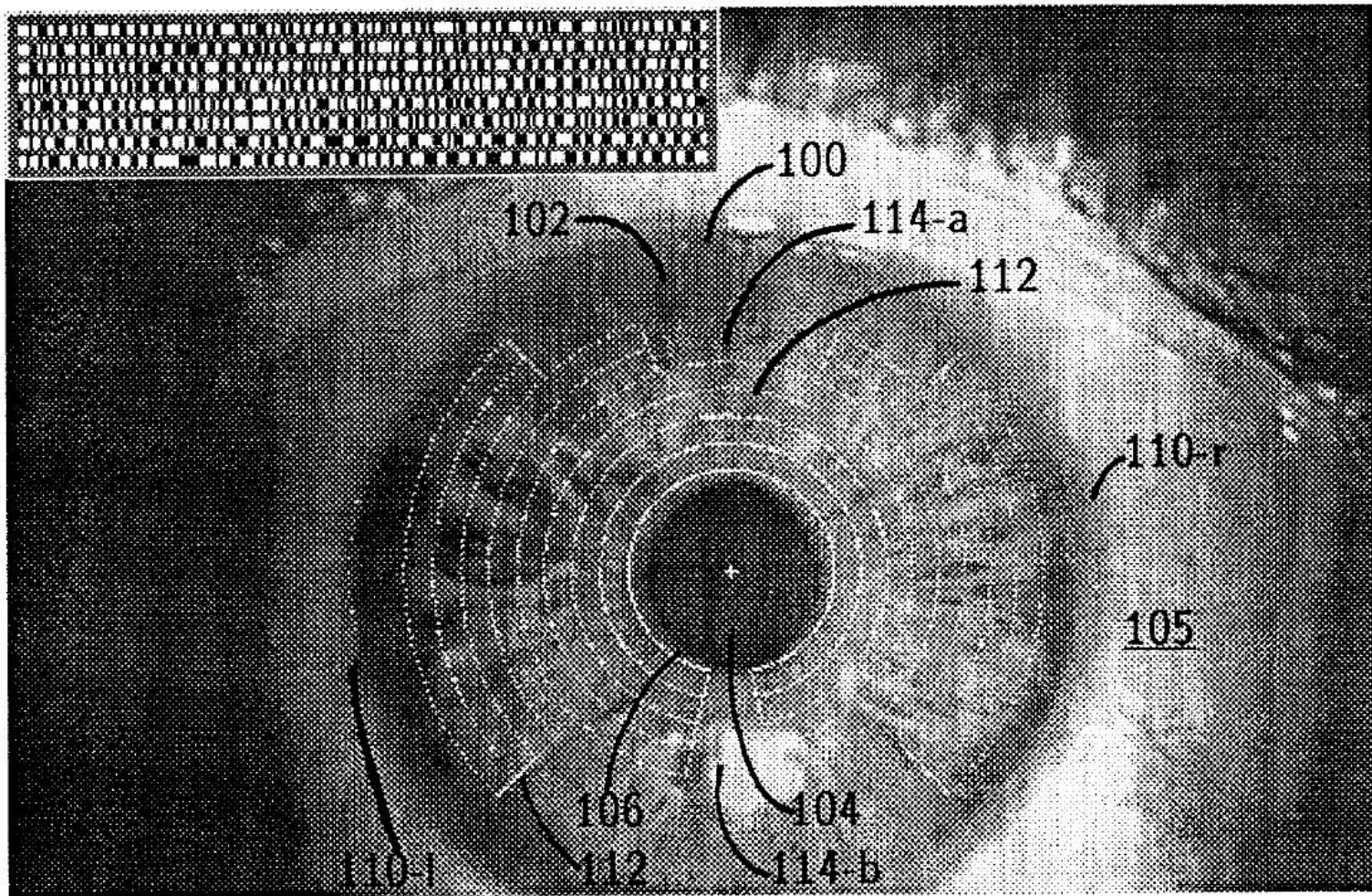
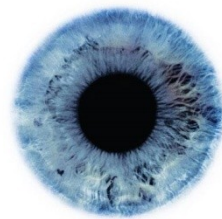
- 2D Gáborove wavelety
- Zostrojenie 2048 bitového reťazca
- Rozpoznanie v reálnom čase
- False Accept Rate: 0

Rubbersheet model



- Každý pixel (x,y) je mapovaný na „polar pair“ (r, θ)
- Kruhová oblast je rozdělená do 8 rovnako hrubých oblastí

Rubbersheet model



J. Daugman, *United States Patent No. 5,291,560* (issued on March 1994). Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis, *Washington DC: U.S. Government Printing Office*, 1994.

Kódovanie

- **2D Gáborove wave**

$$g(x, y) = s(x, y)w_r(x, y)$$

$$s(x, y) = e^{j(2\pi(u_0x + v_0y) + P)}$$

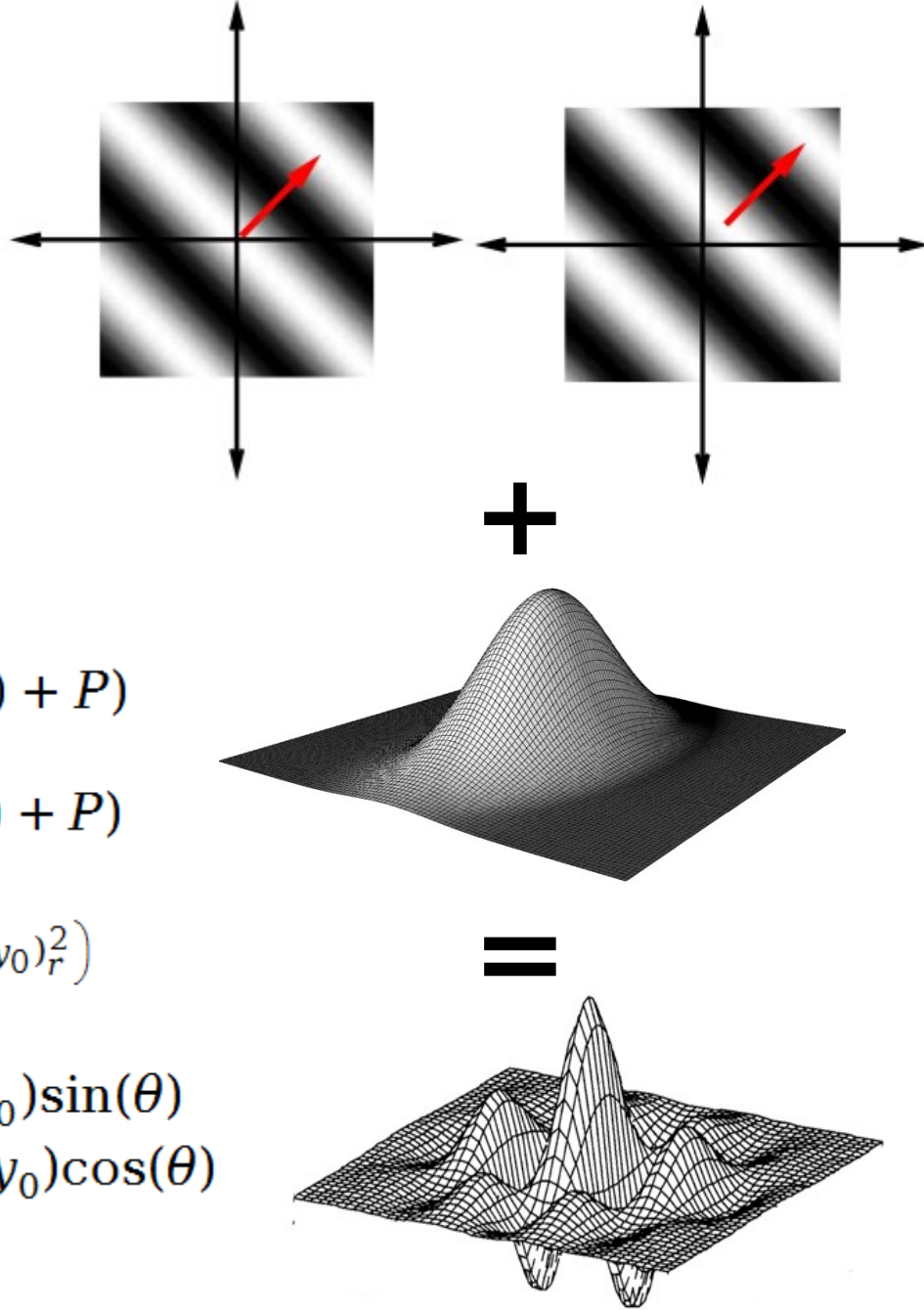
$$\text{Re}(s(x, y)) = \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + P)$$

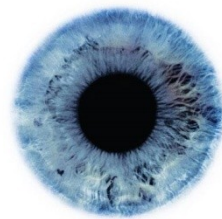
$$\text{Im}(s(x, y)) = \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + P)$$

$$g(x, y) = Ke^{-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)}$$

$$(x - x_0)_r = (x - x_0)\cos(\theta) + (y - y_0)\sin(\theta)$$

$$(y - y_0)_r = -(x - x_0)\sin(\theta) + (y - y_0)\cos(\theta)$$





Kódovanie

- **2D Gáborove filtre** v polárnych

koordinátoch

$$G(r, \theta) = \exp \left(-2\pi i \omega (\theta - \theta_0) - \frac{(r - r_0)^2}{a^2} - \frac{(\theta - \theta_0)^2}{b^2} \right)$$

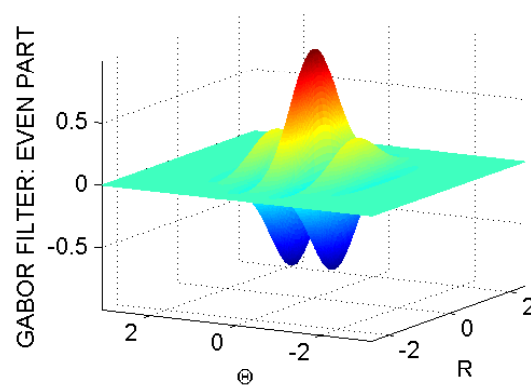
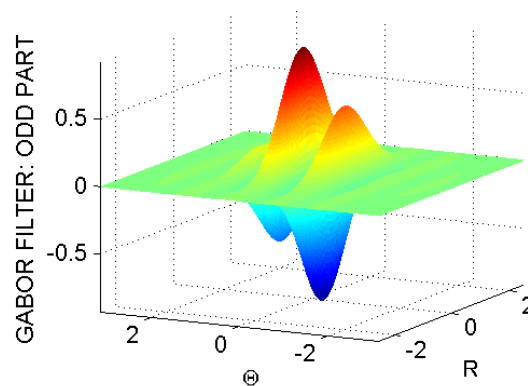
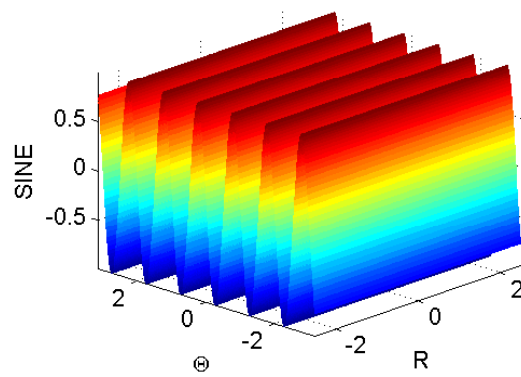
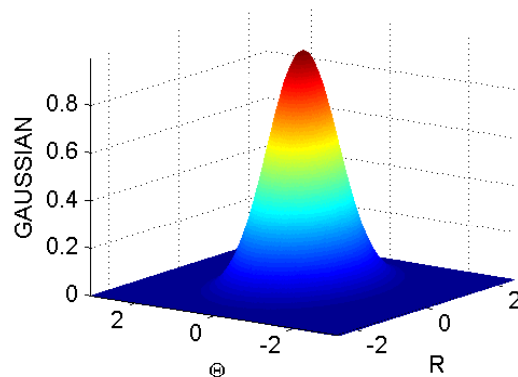
$$a = 1$$

$$b = 0.9$$

$$r_0 = 0$$

$$\theta_0 = 0$$

$$\omega = 1$$



Kódovanie



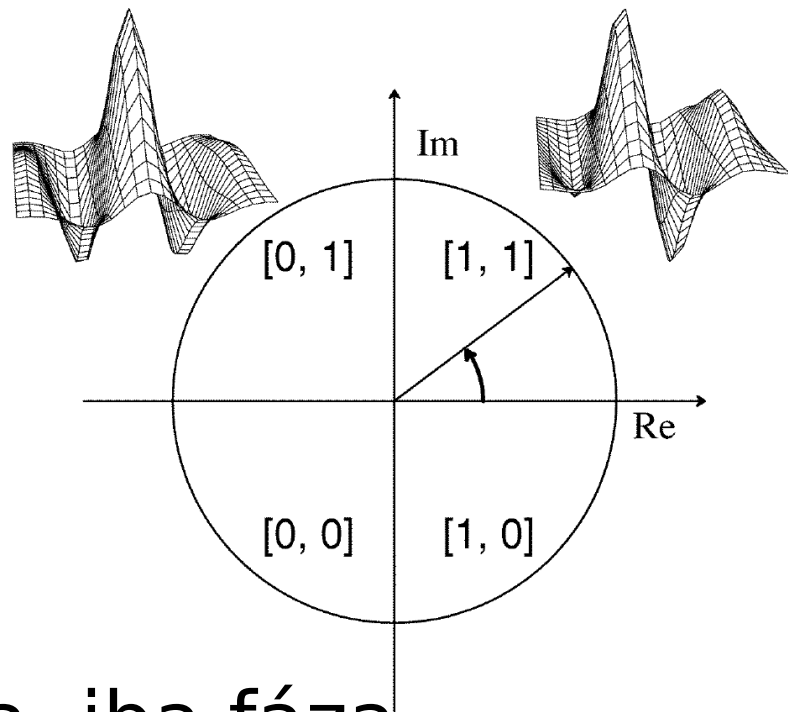
Setting the Bits in an IrisCode

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

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

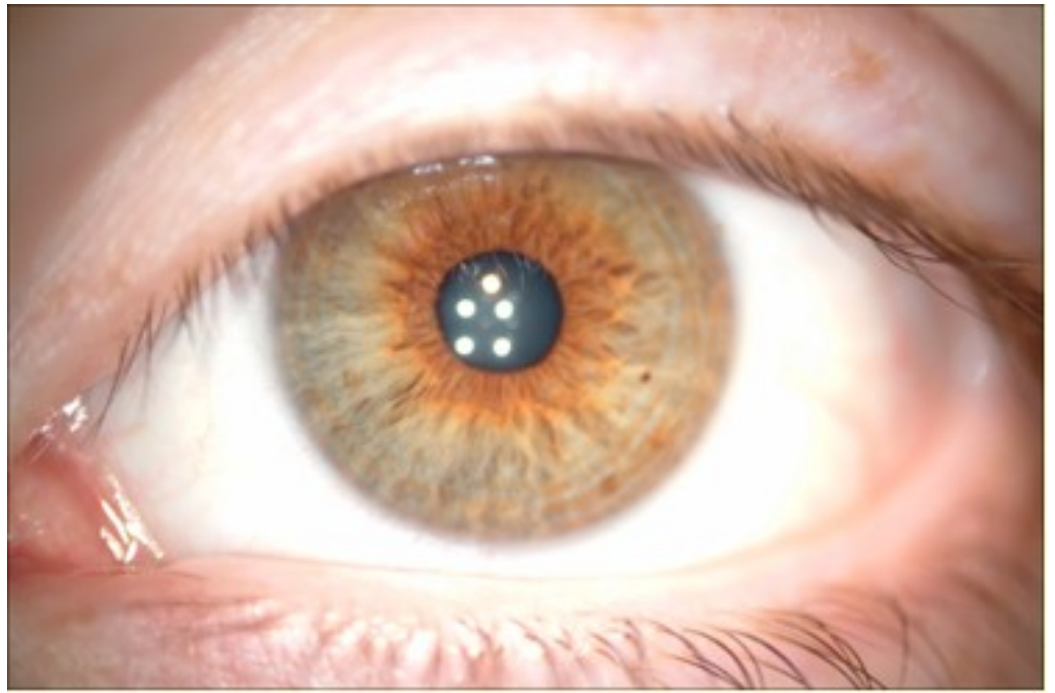
$$h_{Im} = 1 \text{ if } \operatorname{Im} \int_{\rho} \int_{\phi} e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} I(\rho, \phi) \rho d\rho d\phi \geq 0$$

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



- Neuvažuje sa intenzita, iba fáza
– (kvadrant, v ktorom sa nachádza)
- Ako by vyzeral obrázok po transformácii pomocou 2D Gáborových filtrov?

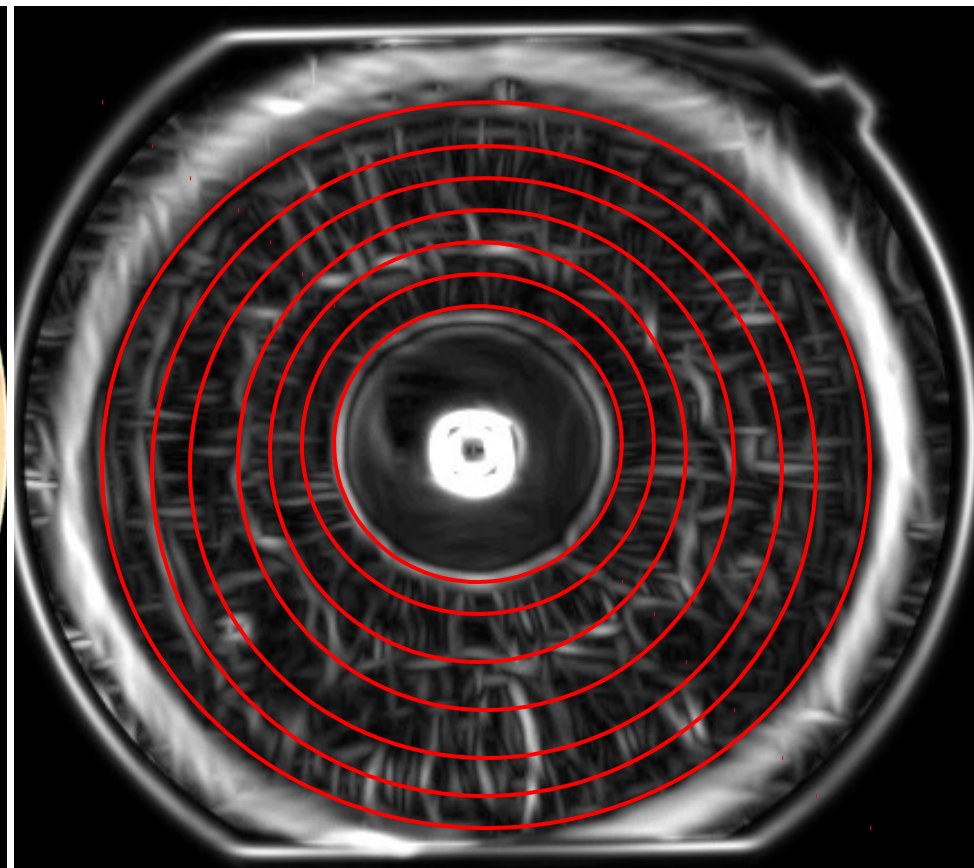
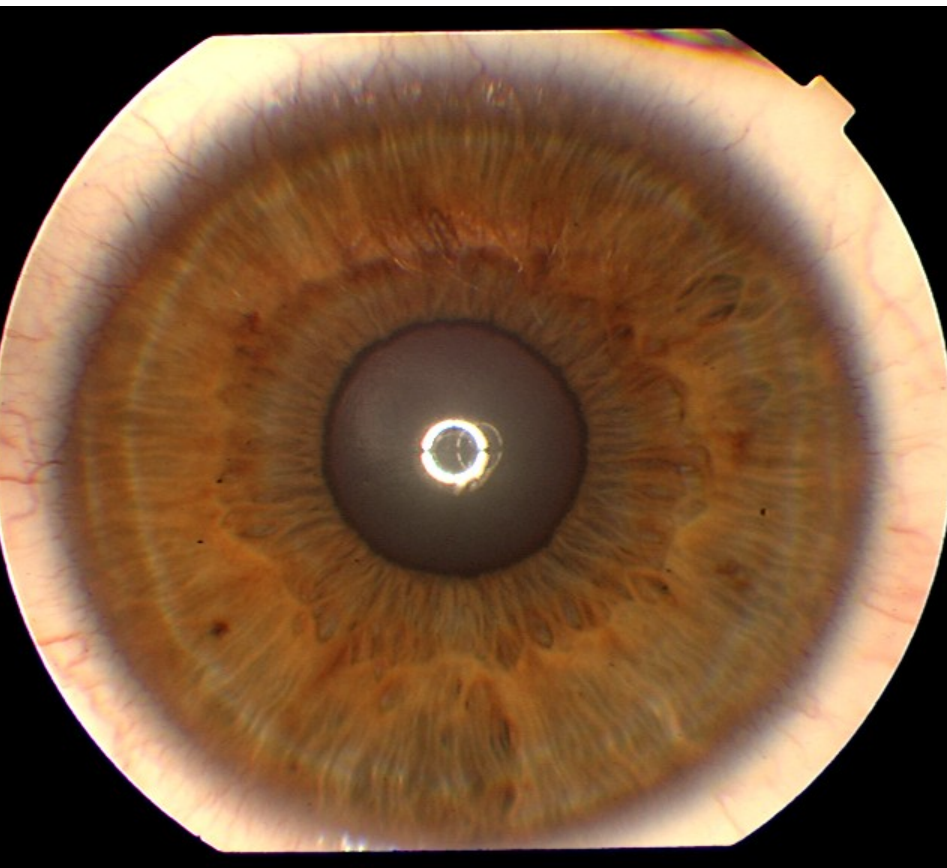
Pred:



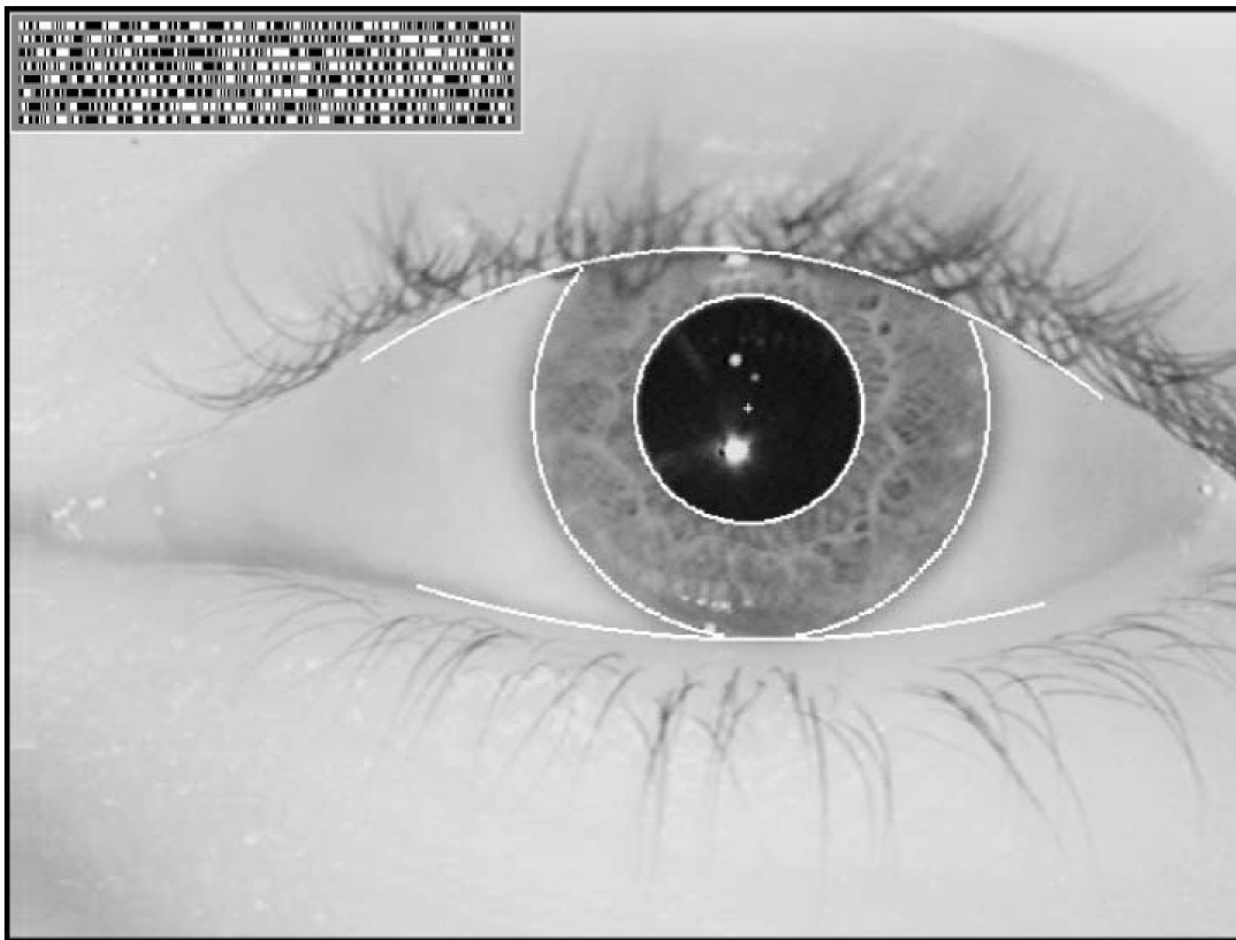
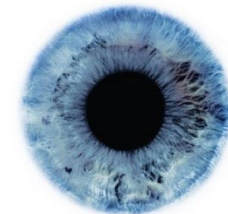
Po:



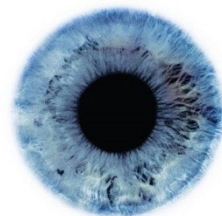
Príklad z ukážky



Kódovaná dúhovka



J. Daugman, "The Importance of Being Random: Statistical Principles of Iris Recognition,"
Pattern Recognition, vol. 36, no. 2, pp 279-291, 2003.



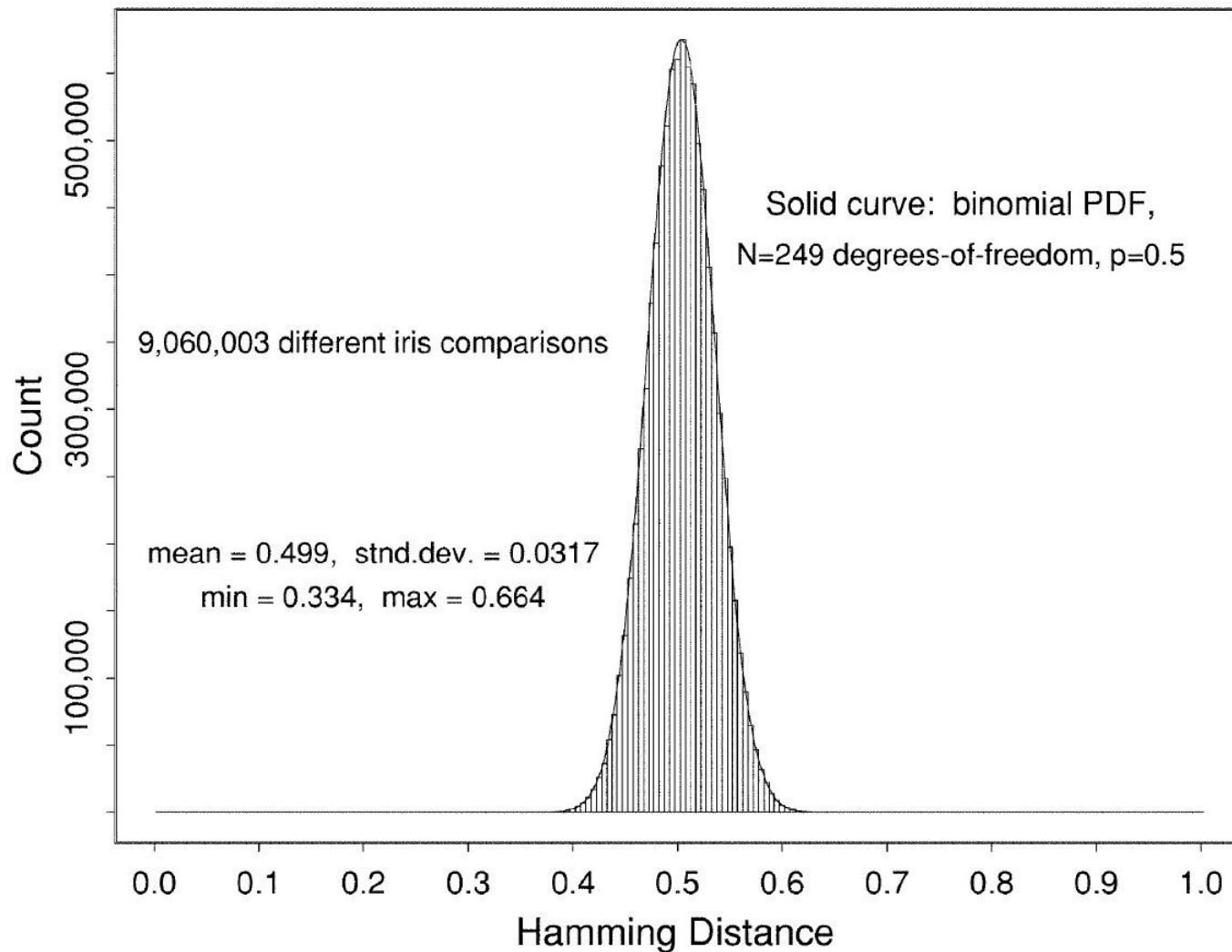
Meranie úspešnosti

Hammingova vzdialenosť

- Štandardný spôsob na porovnávanie binárnych (nie len) reťazcov
- Miera akou sa reťazce odlišujú
- \oplus a \ominus sú kódované dúhovky
- eXclusive OR operátor

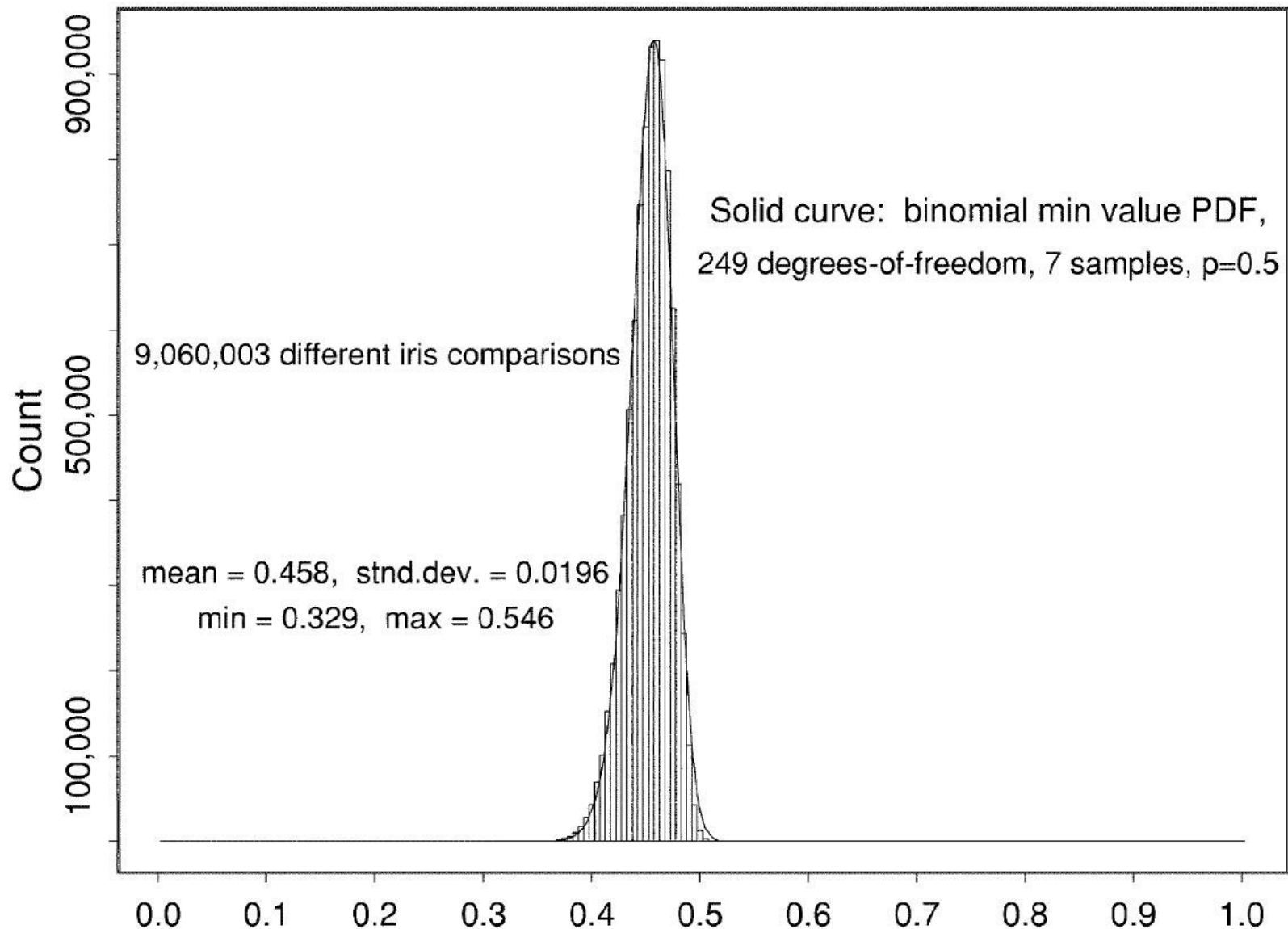
$$D = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \oplus y_k$$

Hamingova vzdialenosť

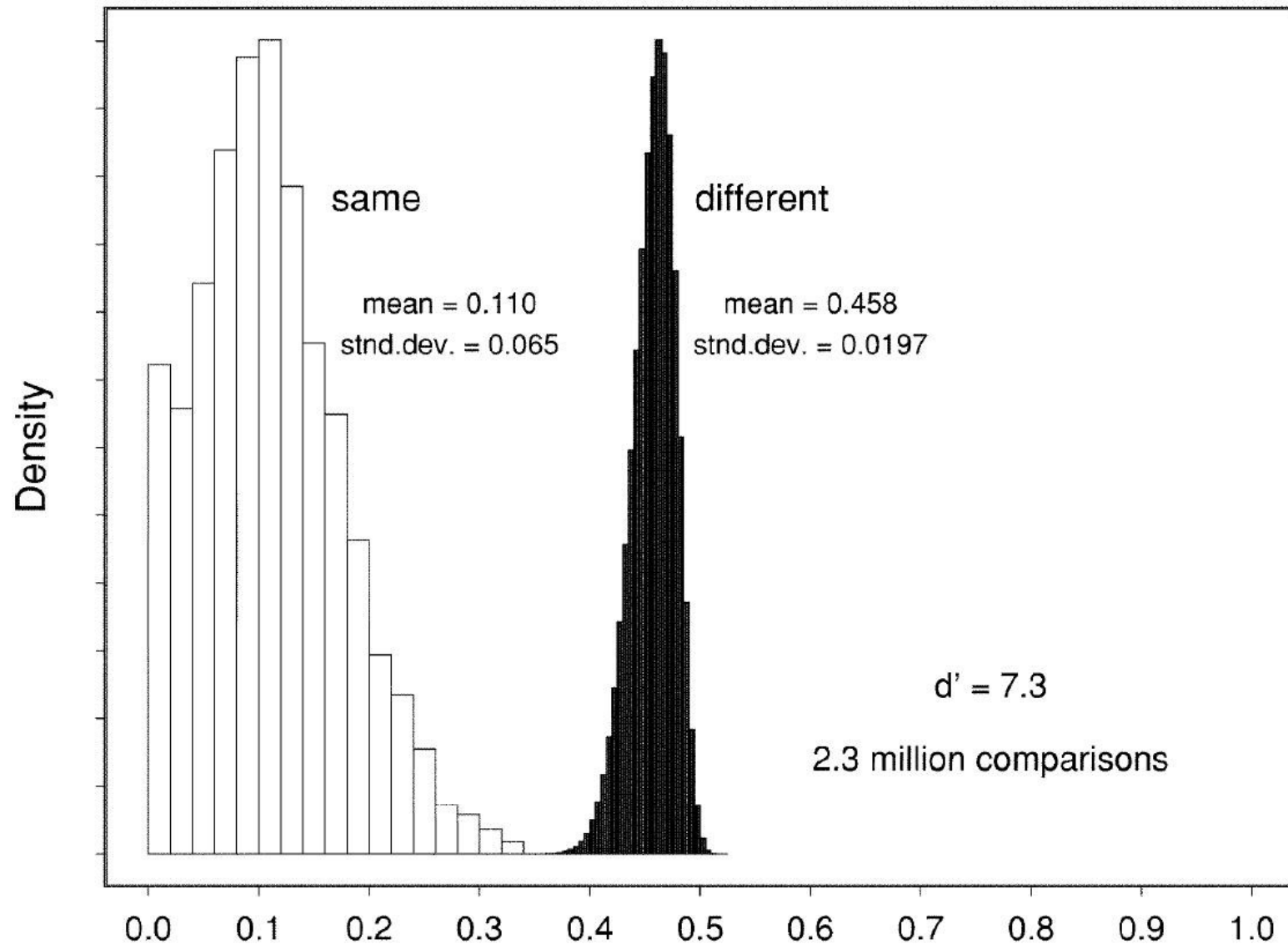


J. Daugman, "The Importance of Being Random: Statistical Principles of Iris Recognition," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp 279-291, 2003.

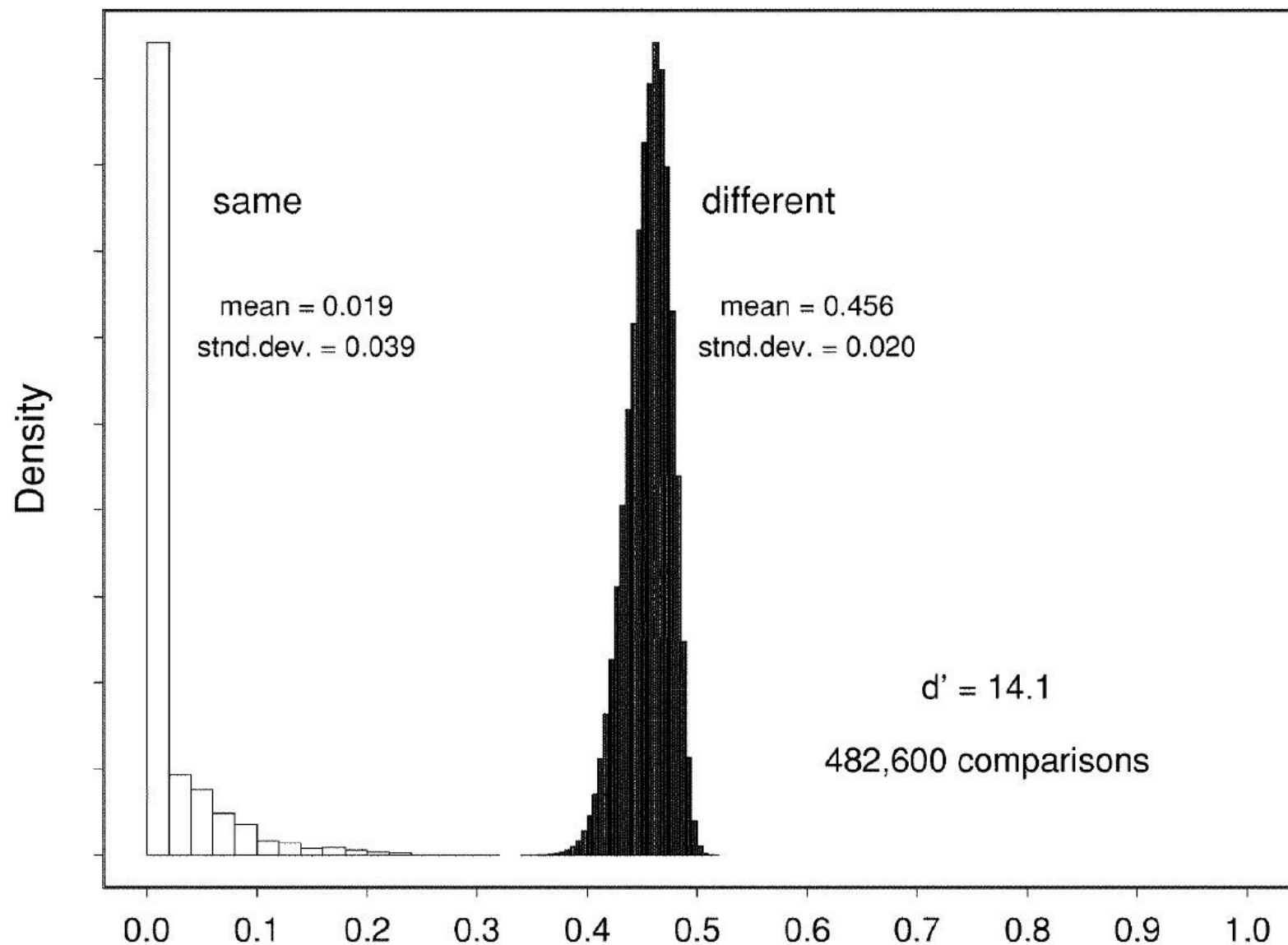
IrisCode Comparisons after Rotations: Best Matches



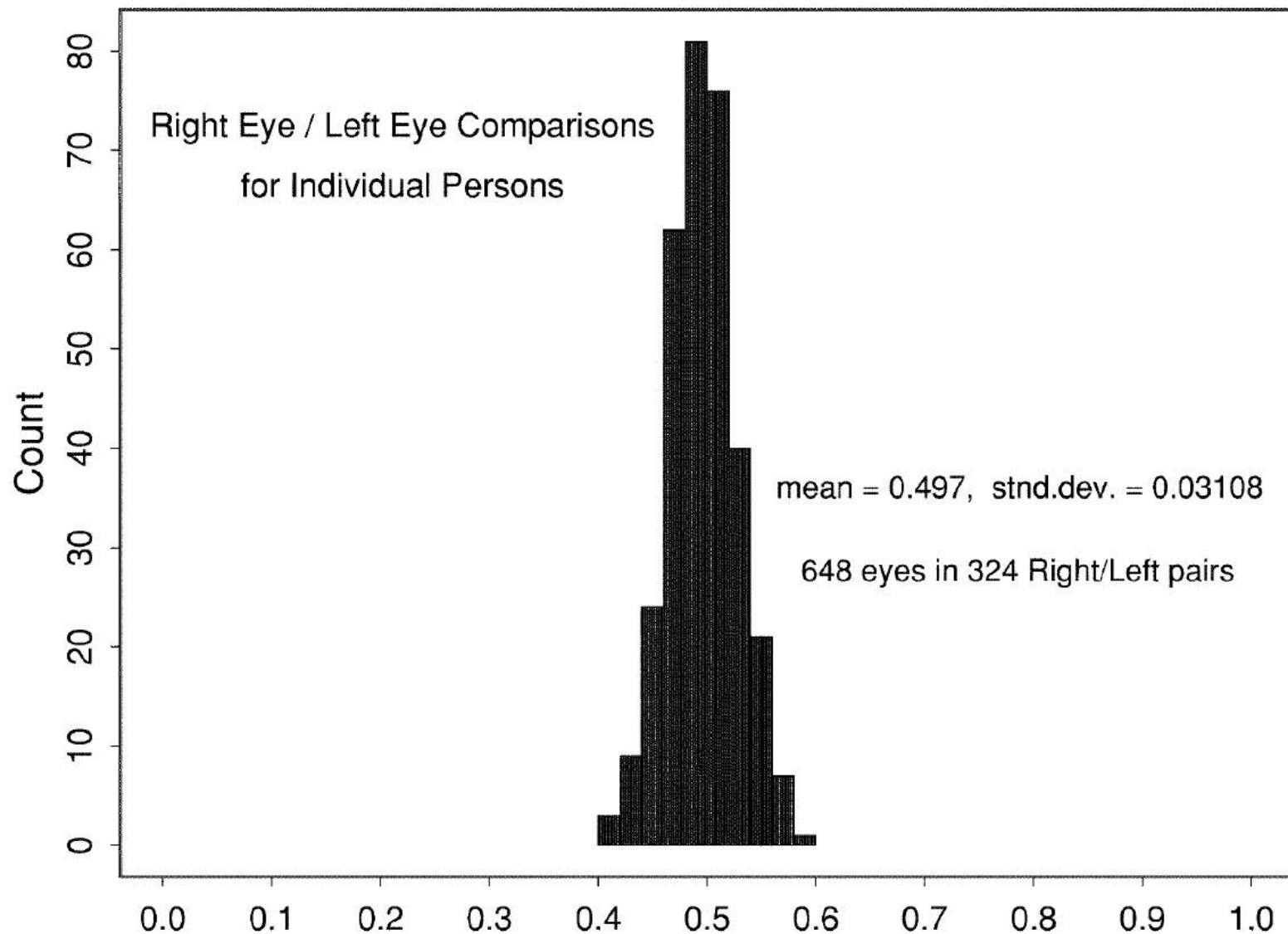
Decision Environment for Iris Recognition: Non-Ideal Imaging



Decision Environment for Iris Recognition: Ideal Imaging



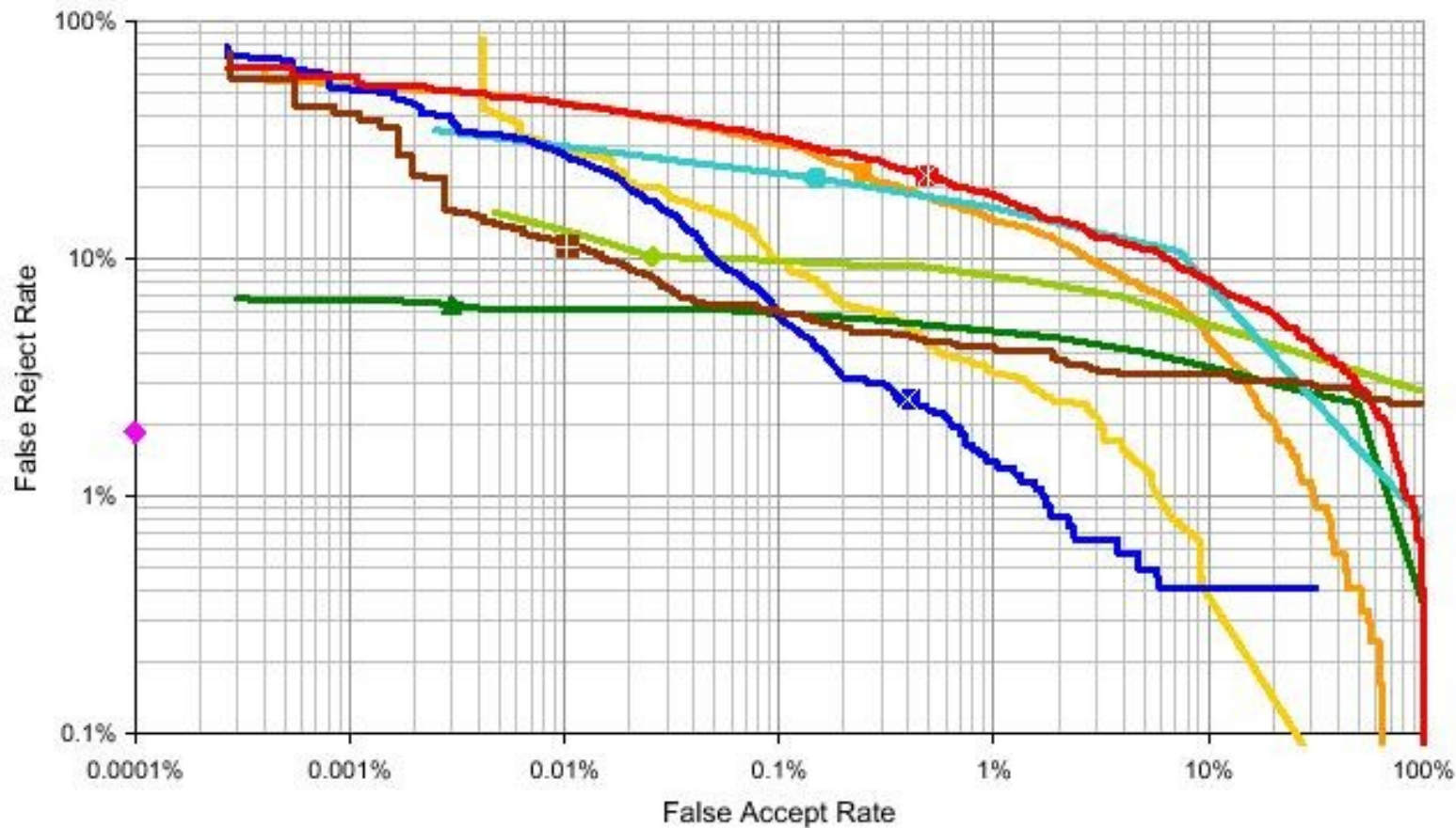
Genetically Identical Eyes Have Uncorrelated IrisCodes



Dúhovka vs. Iné biometrie



Face Face(2) FP-chip FP-chip(2) FP-optical Hand Iris Vein Voice



UK National Physical Laboratory test report, 2001.

<http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/NPLsummary.gif> (15. 03. 2010)

Výsledky testov

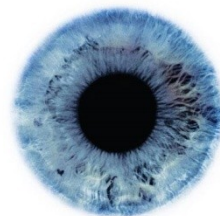
<i>Testing Organisation</i>	<i>Number of Cross-Comparisons</i>	<i>False Matches</i>
Sandia Labs ¹ , USA (1996)	19,701	0
British Telecom Labs ² , UK (1997)	222,743	0
Sensar Corp. ³ , USA (2000)	499,500	0
Joh.Enschedé ⁴ , NL (2000)	19,900	0
EyeTicket ⁵ , USA (2001)	300,000	0
National Physical Lab ⁶ , UK (2001)	2.73 million	0
J. Daugman ⁷ , UK (2003)	9.1 million	0
Iridian Technologies ⁸ , USA (2003)	984 million	0

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

Budúcnosť „Iris recognition



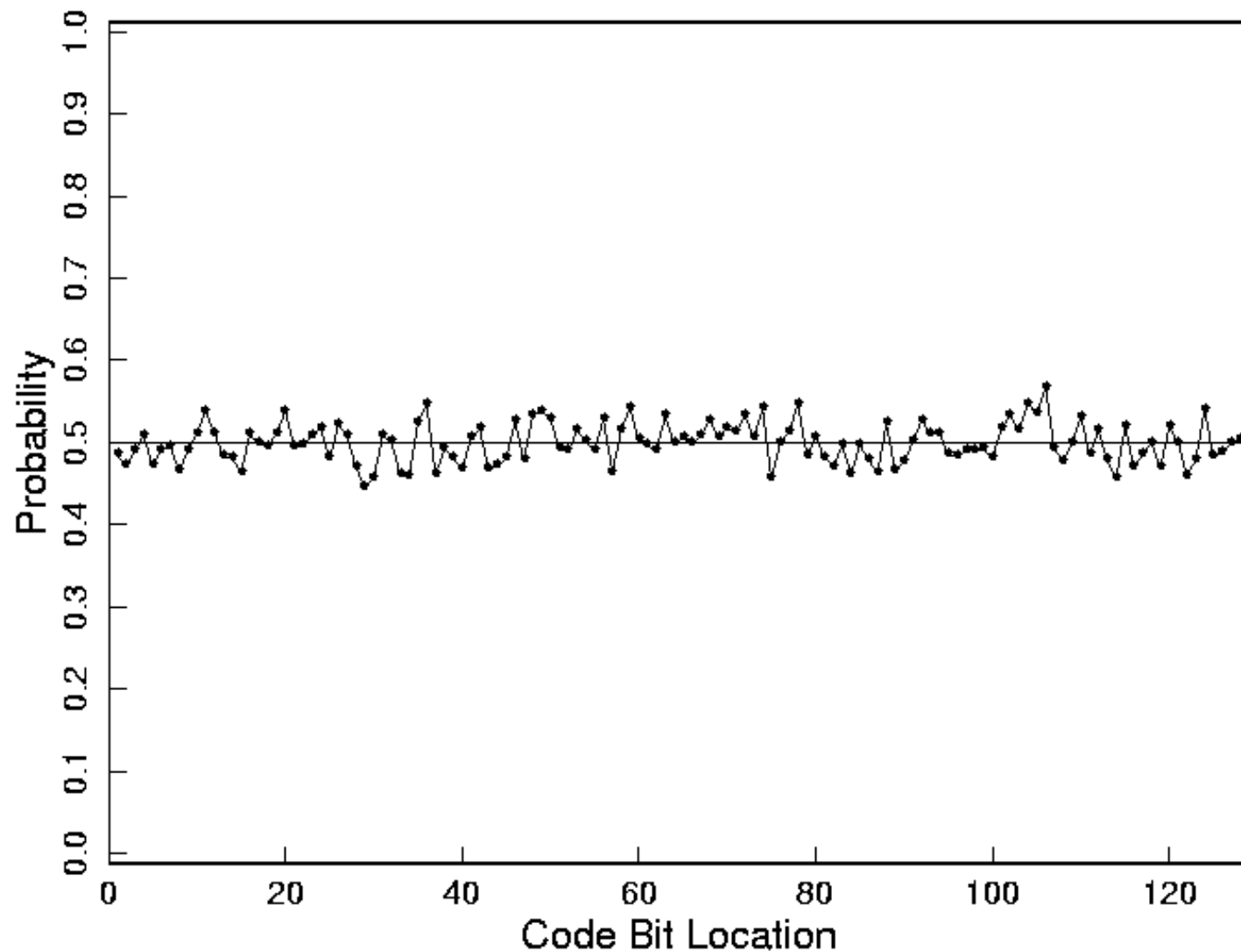
- Zvýšenie vzdialenosti od snímaného objektu
- Odolnosť voči natočeniu
- Odolnosť voči pohybu
- Doplnok/náhrada k otlačkom prstov



Literatúra

- J. Daugman's web site. URL: <http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/>
- J. Daugman, "How Iris Recognition Works", *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology*, 2004
- J. Daugman, *United States Patent No. 5,291,560* (issued on March 1994). Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis, *Washington DC: U.S. Government Printing Office*, 1994.
- J. Daugman, "The Importance of Being Random: Statistical Principles of Iris Recognition," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp 279-291, 2003.
- R. P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," *Proc. of the IEEE*, vol. 85, no. 9, 1997, pp. 1348-1363.
- Iris Recognition (Gabor Filtering): <http://cnx.org/content/m12493/latest/>
- R. O. Duda and P. E. Hart: *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*, *Communications of Association for Computing Machinery*, 15(1):11-15, 1972.
- Hough Transform (nice presentation): <http://www.cs.jhu.edu/~misha/Fall04/GHT1.pdf>
- Preprocessing and edge detectors: <http://dip.sccg.sk/predspra/predspra.htm>
- Gary Bradski and Adrian Kaehler. *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O'Reilly, Cambridge, MA, 2008.

Independence of Bits across IrisCodes



J. Daugman, "The Importance of Being Random: Statistical Principles of Iris Recognition," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp 279-291, 2003.