

3. Teorie zpracování zvukových a obrazových informací

BIO – Biometrické systémy, FIT VUT v Brně

Martin Dražanský 2005
Štěpán Mráček 2013
Michal Dvořák 2020

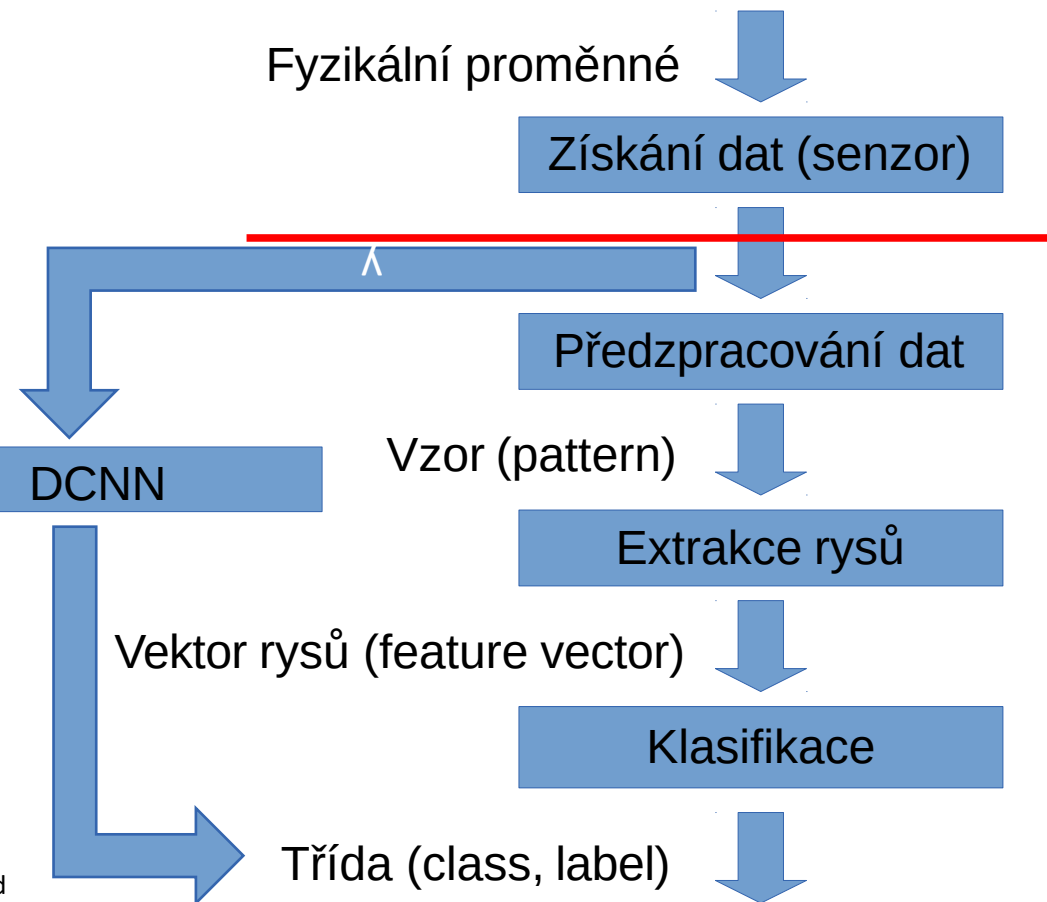
Obsah

1. Senzory
2. Předzpracování a digitální filtry
3. Extrakce rysů
4. Klasifikace

Technologie senzorů

Senzor – zařízení, které převádí vstupní fyzikální jev na elektrický či jiný užitečný signál

Rodrigues LF, Naldi MC, Mari JF. Comparing convolutional neural networks and preprocessing techniques for HEP-2 cell classification in immunofluorescence images. *Comput Biol Med.* 2020;116:103542. doi:10.1016/j.combiomed.2019.103542



Ideální senzor

- 1. Citlivý na změnu měřené veličiny**
- 2. Necitlivý na změnu jiných veličin**
- 3. Neovlivňující měřenou veličinu**
- 4. (Levný)**

Klasifikace senzorů

- Externí
 - Snímají informace vně systému
 - Obraz, Vzdálenost, Zvuk, Přítomnost, Teplota
 - Kamera, LIDAR, mikrofon, mikropínač, teploměr/termokamera
- Interní
 - Snímají informace o systému
 - Pozice, Rychlost, Zrychlení, Teplota, Elektrické veličiny
 - GPS, tachometr, akcelerometr, termistor, voltmetry, ampérmetry..., modulator
- Kontaktní
 - Jsou ve fyzickém kontaktu s měřeným objektem
 - Silové [N], Dotekové[1/0], Momentové [Nm]
 - Teplotní, poloha...
- Bezkontaktní
 - Mikrofon, vzdálenost, vidění



FT-AXIA SCHUNK

<https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0024734.PDF>

Detekční schopnosti senzorů

- Chemické

- Chemická informace převedena do užitečného signálu
- Pomocí recepce, transdukce zachycen a postoupen
- Převodník změny informací na užitečný signál
 - Elektrochemický
 - Optický
 - Mechanický (měříme změnu)
 - Kaliometrický

<https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/celec.201800848>

- Biologické

- Podtyp chemických senzorů
- Biochemická transformace
 - Biokatalitická – Měření glukózy
 - Bioafinitní
- Impedanční spektroskopie

- Fyzikální

- To ostatní
 - EMR, teplota, el. veličiny, orientace, poloh
 - Mechanika (pevnost, tvrdost, poruchy)



Snímání vs. Vzorkování

Snímání - capturing

- A/D konverze diskrétní fyzikální charakteristiky
- Časová informace není důležitá

Příklady:

Zvuk: spojitá sekvence skalárních hodnot akustického tlaku

Obraz: 2D matice hodnot barev plochy

Video: sekvence audia a obrazu s časovou proměnnou

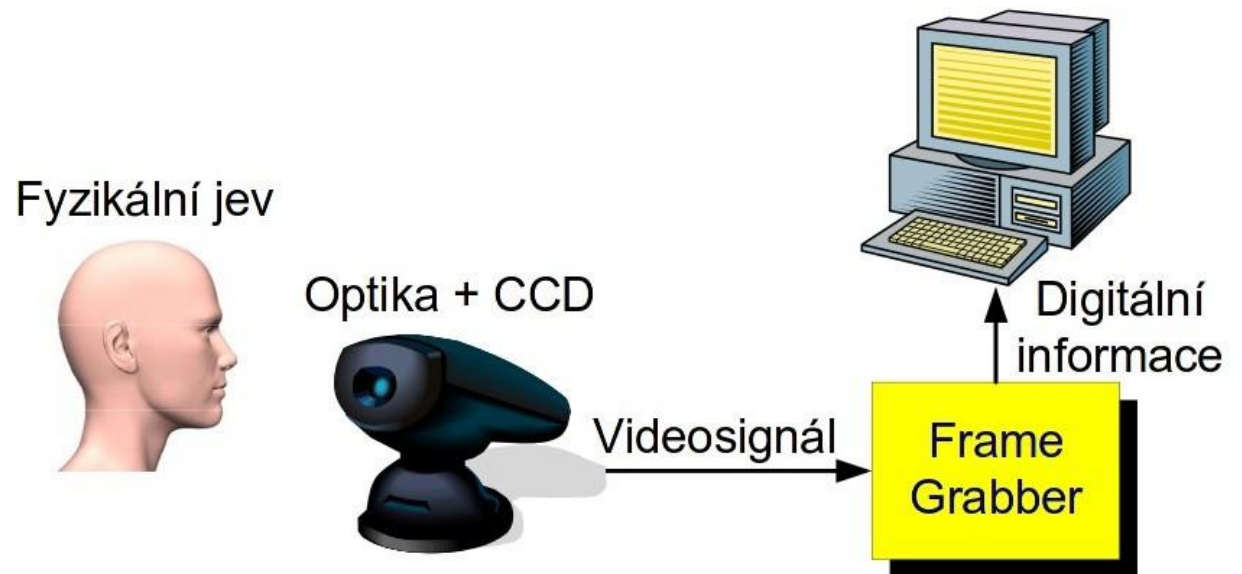
Vzorkování- sampling

- A/D konverze spojité fyzikální charakteristiky
- Časová informace je důležitá



Snímání

- Generování počítačové reprezentace fyzikální charakteristiky bez analýzy časových údajů
 - Otisky prstů, sítnice, duhovka, geometrie dlaně, DNA, podpis ...



Vzorkování

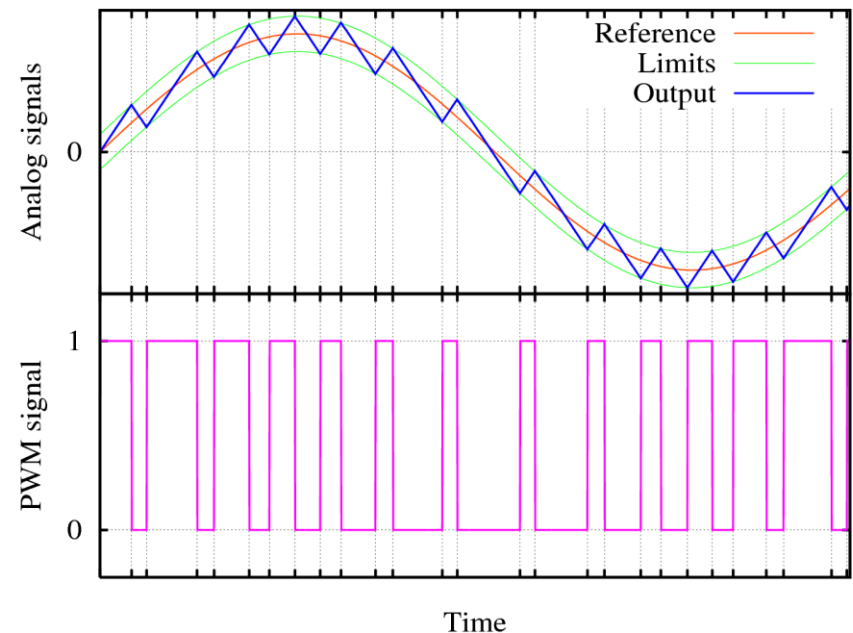
- Generování počítačové reprezentace fyzikální charakteristiky v čase
 - Hlas, charakteristika chůze, dynamika podpisu, tep...



<http://www.mar-systems.co.uk/wp-content/uploads/2016/11/Gait-Characteristics.jpg>

Vzorkování

- **ADC, Analog-Digital-Converter:** mechanismus konverze spojitého signálu na sekvenci digitálních vzorků
 - Komparační, Kompenzační, Integrační, Sigma Delta
- **DAC, Digital-Analog-Converter:** mechanismus konverze sekvence digitálních vzorků na spojitý signál
- **Vzorek:** sekvence zaznamenaných hodnot amplitudy signálu v konkrétních diskrétních časech
- **Přenosová funkce:** senzor vykazuje na výstupu specifickou charakteristiku při A/D konverzi. Tato charakteristika bývá většinou nelineární.

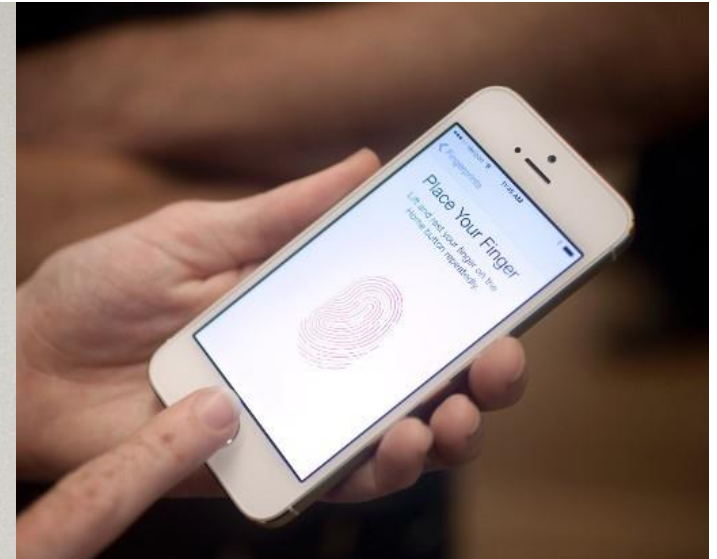


Relevantní vlastnosti senzorů

- Relevantní pro biometrii:
 - Rozlišení (např. DPI pro scannery)
 - Vzorkovací frekvence (prodleva mezi 2 vzorky)
 - Provozní podmínky
 - Teplota,
 - Prašnost, vlhkost (IPXX)
 - Reprezentace dat na výstupu senzoru
 - Analogový výstup
 - Digitální výstup
 - Komunikační rozhraní
 - Cena

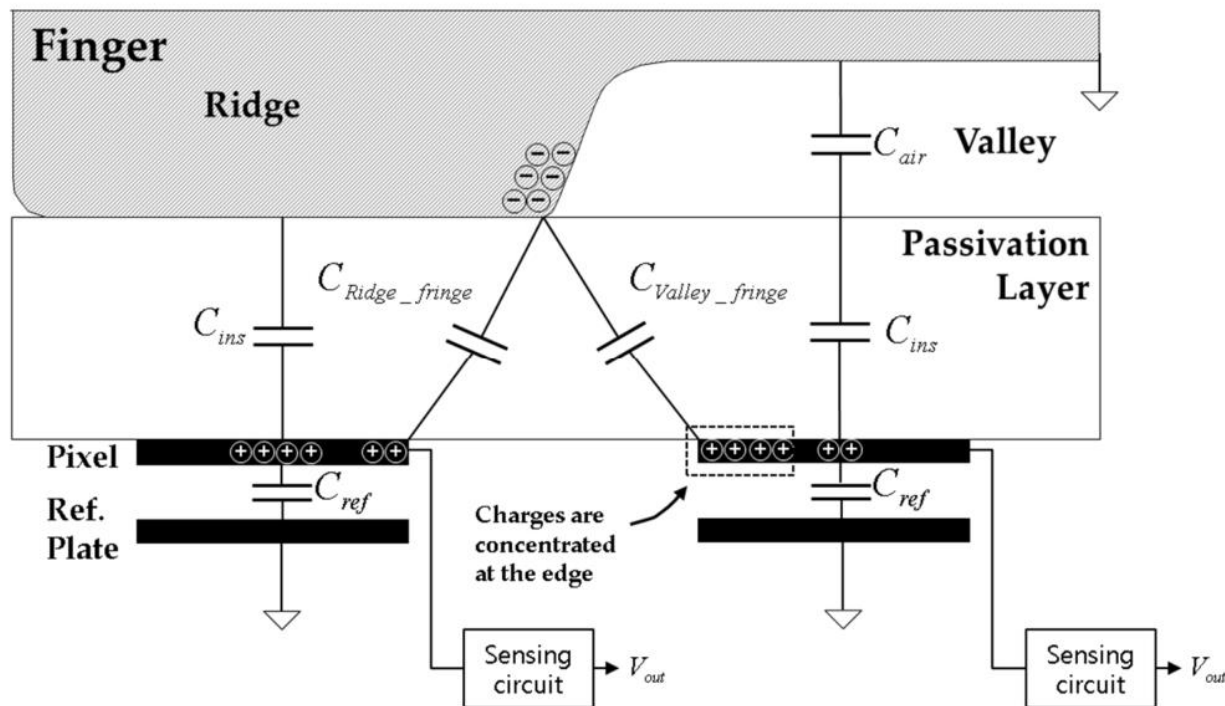
Typy biometrických senzorů

- Optické
- Kapacitní
- Termální
- Tlakové
- Ultrazvukové
- 3D scannery
- Mikrofon
- Dig. tablety



Typy biometrických senzorů

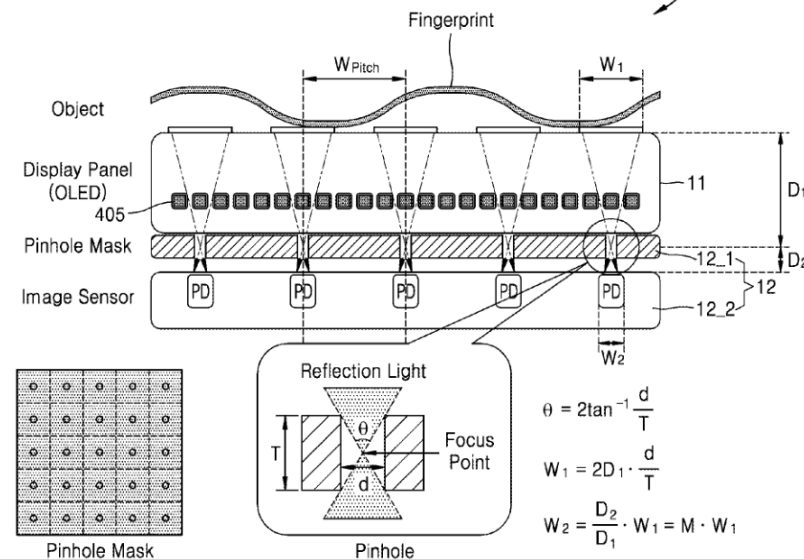
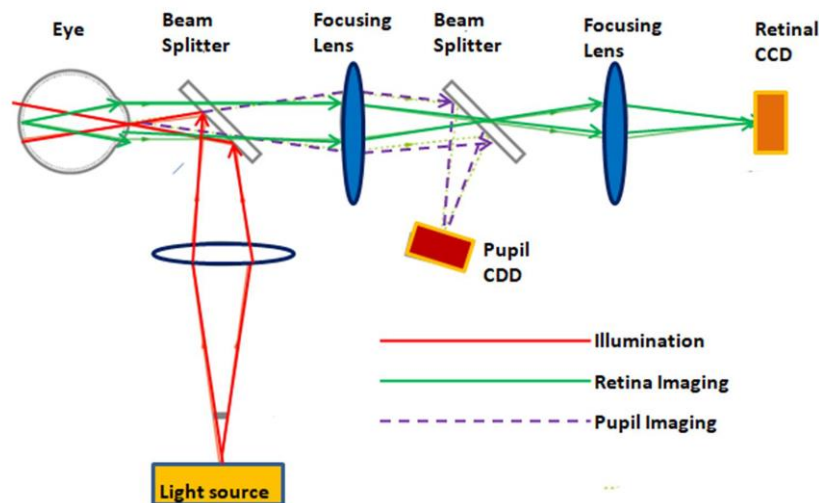
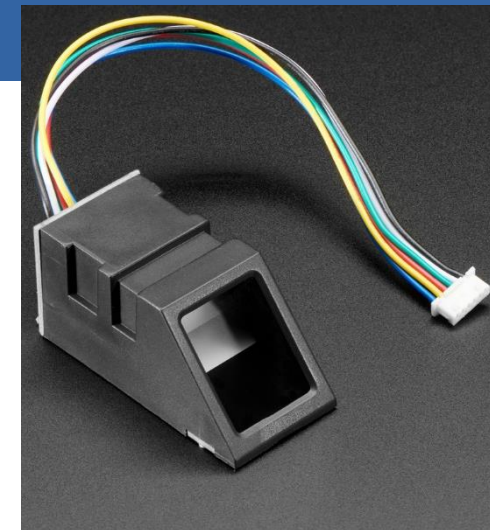
- Kapacitní
 - Otisky prstů
 - Song, Kyung-Hoon & Choi, Jaehuk & Chun, Jung-Hoon. (2017). A Method for Enhancing the Sensing Distance of a Fingerprin Sensor. Sensors. 17. 2280. 10.3390/s17102280.



Typy biometrických senzorů

- Optické

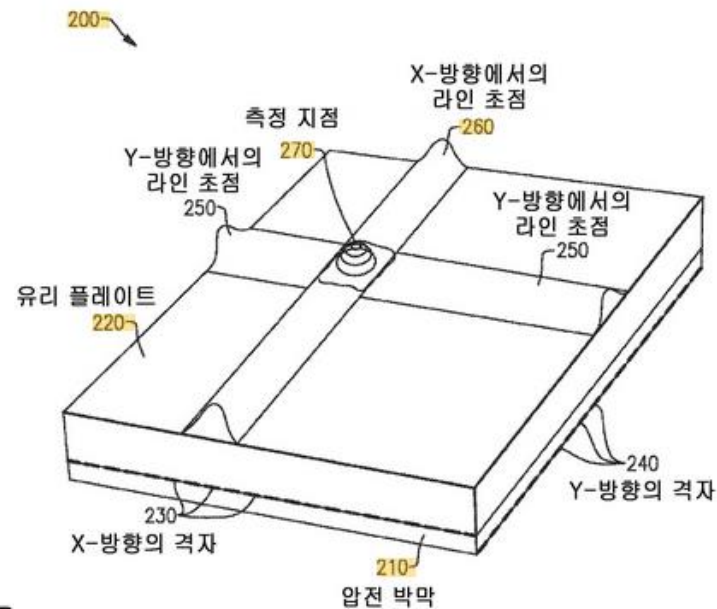
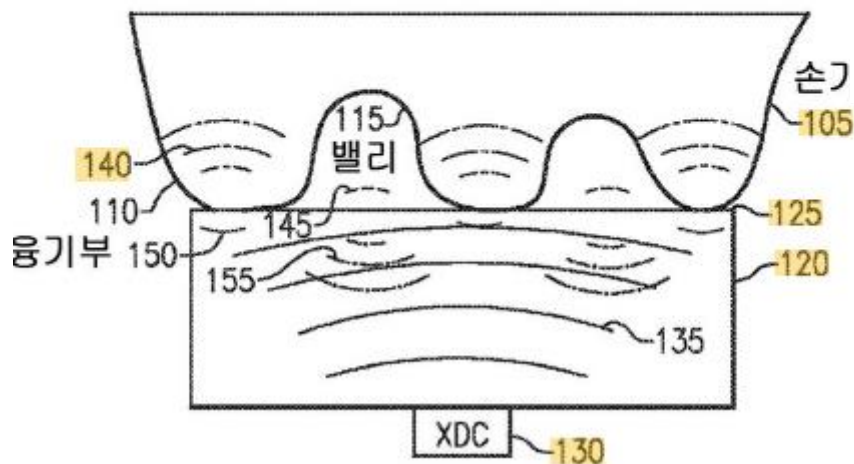
- Otisky prstů, geometrie ruky, sítnice, duhovka, (podpis), charakteristika chůze (gait), 3D charakteristiky...
- US20180012069A1
- Rostom Kachouri, Mohamed Akil, Yaroub Elloumi. Retinal image processing in Biometrics. AmineNait-Ali. Hidden Biometrics _ When Biometric Security Meets Biomedical Engineering, 2019, 978-981-13-0956-4.



Typy biometrických senzorů

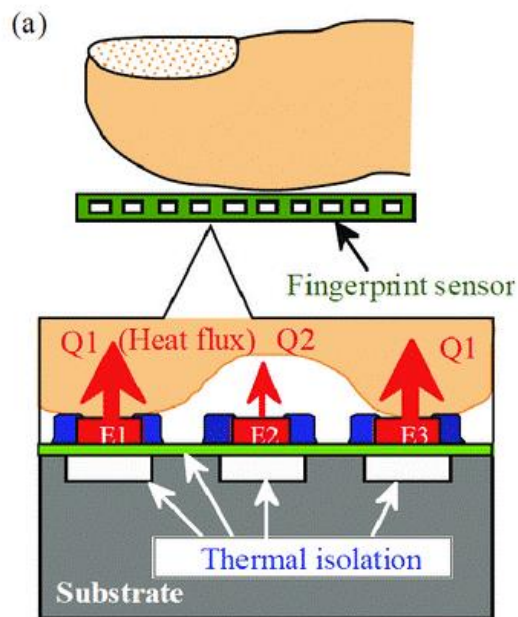
- Ultrazvukové
 - Otisky prstů,
 - KR20190137171A

————— 방출된 파
 - - - - - 강하게 송신된 파
 - - - - - 약하게 송신된 파
 ————— 강하게 송신된 파
 - - - - - 약하게 송신된 파

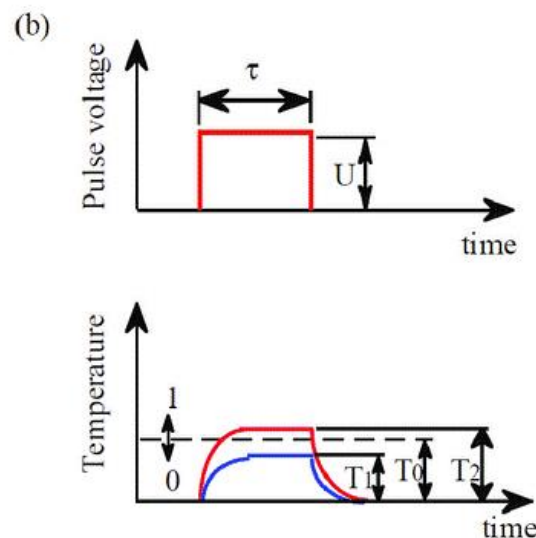


Typy biometrických senzorů

- Termální
 - Otisky prstů (první sweep), termograf obličeje/ruky
 - Aktivní, pasivní
 - NEXT Active Thermal™ sensing



E1, E2 and E3: arrayed heater elements



T_0 : Threshold

T_1 : The state of fingerprint ridge-contacting

T_2 : The state of fingerprint valley-contacting

Typy biometrických senzorů

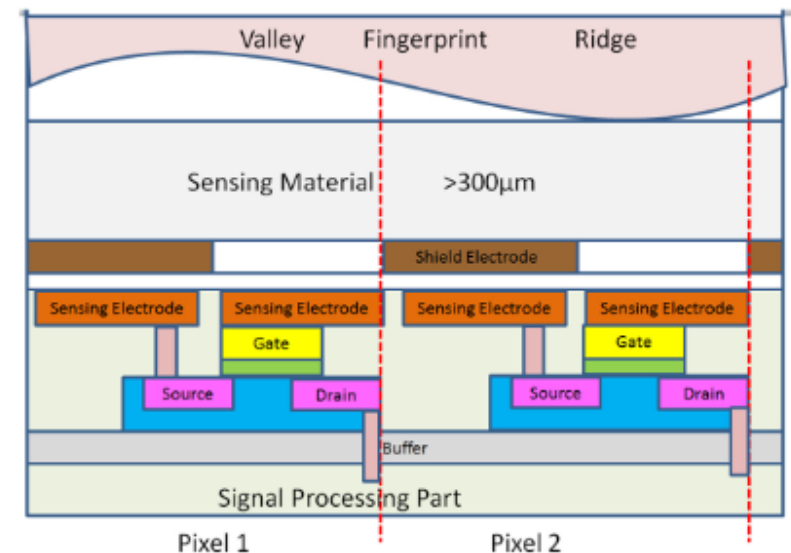
- Tlakové

- Nejstarší nápad, meň realizace
 - Citlivost piezomateriálů je nízká
 - Ochranný materiál, dále snižuje

- Technologie

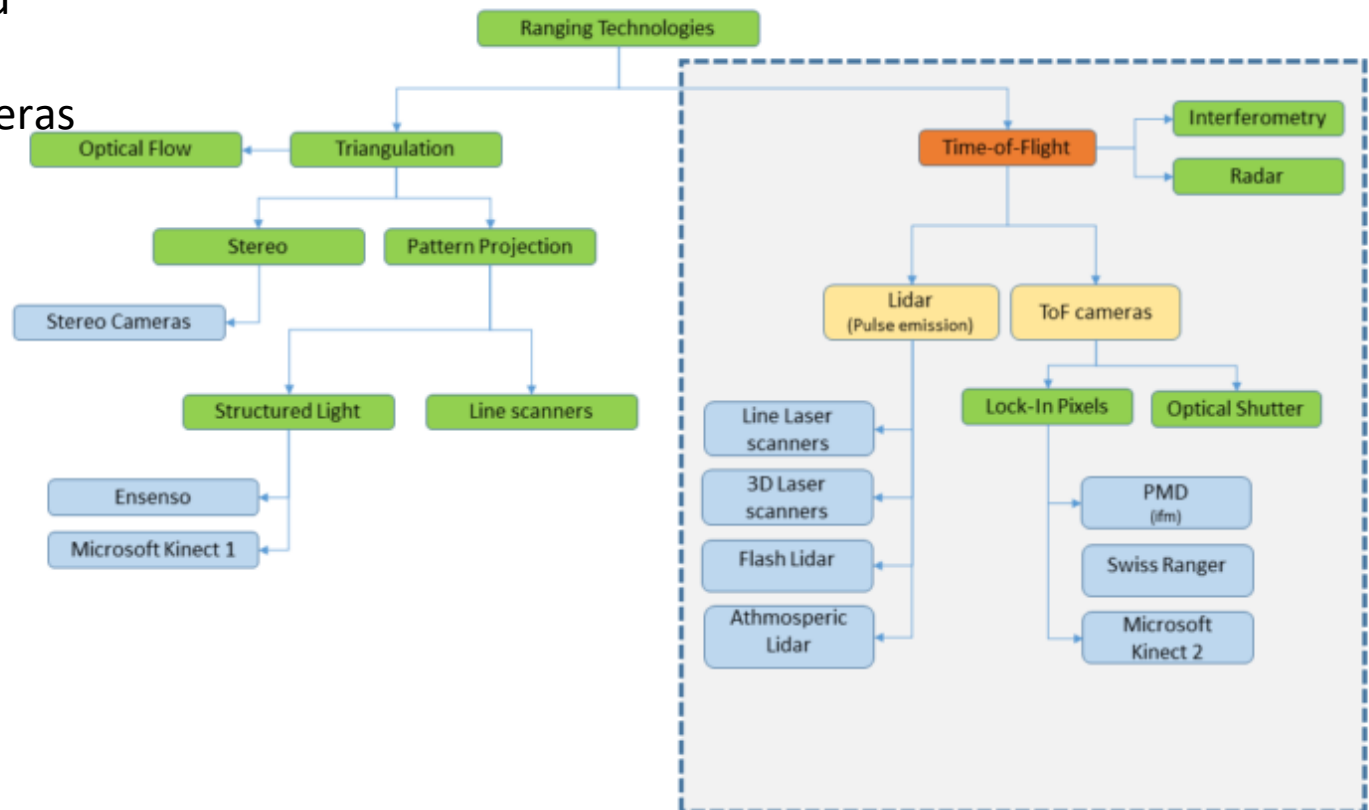
- Vodivá membrána na křemíkovém čipu
- Vodivá membrána na TFT
- Dotykové MEMS (Pouze laboratorní)
- MEMS +elektrostatické měření

- A Novel Fingerprint Sensing Technology Based on Electrostatic Imaging Kai Tang, Aijia Liu, Wei Wang, Pengfei Li, Xi Chen Sensors (Basel) 2018 Sep; 18(9): 3050. Published online 2018 Sep 12. doi: 10.3390/s18093050



Typy biometrických senzorů

- 3D scannery
 - Ruka, obličej, chůze
 - Aktivní triangulace
 - Projekce vzoru
 - Pasivní triangulace
 - Time of Flight Cameras
 - LIDAR



Typy biometrických senzorů

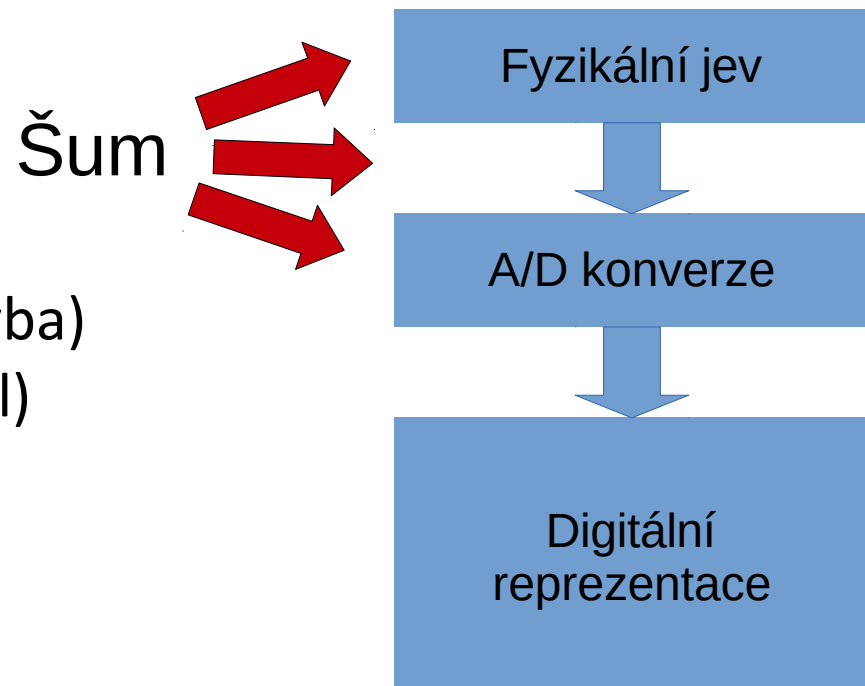
- Mikrofon
 - 44.1kHz/16-bit: = 1,411,200 bits per second (1.4Mbps)
 - 192kHz/24bit: = 9,216,000 bits per second (9.2Mbps)
- Dig. tablety
 - Aktivní pero
 - Přidaná hodnota (moment síly, zrychlení, orientace)
 - Aktivní plocha
 - Aktivní displej

Měření – záznam

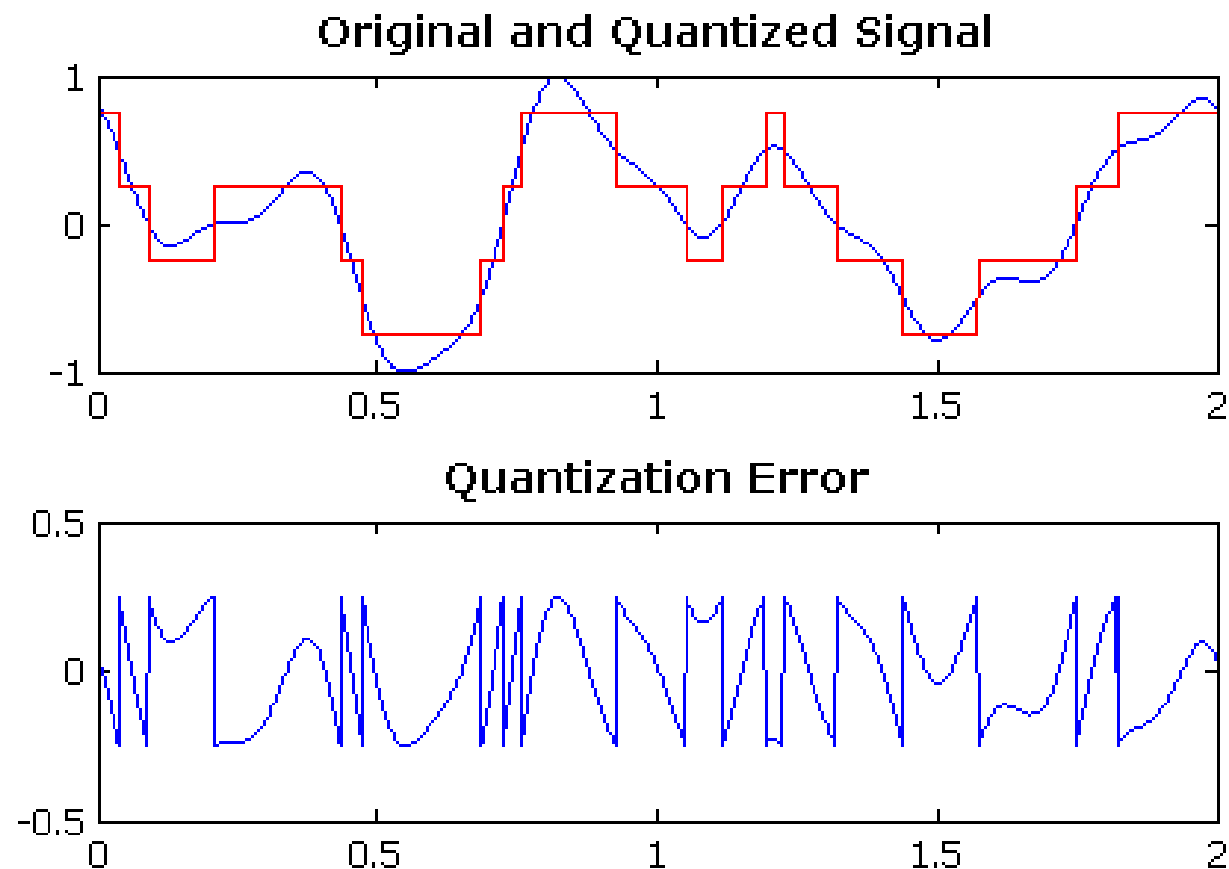
A/D konverze = redukce informace

Zdroje šumu:

- Šum prostředí
 - V závislosti na médiu
- Šum senzoru
 - SNR
- Kvantizační šum (systémová chyba)
- Přenosový šum (analogový kanál)
- Další druhy šumu



Kvantizace měření I

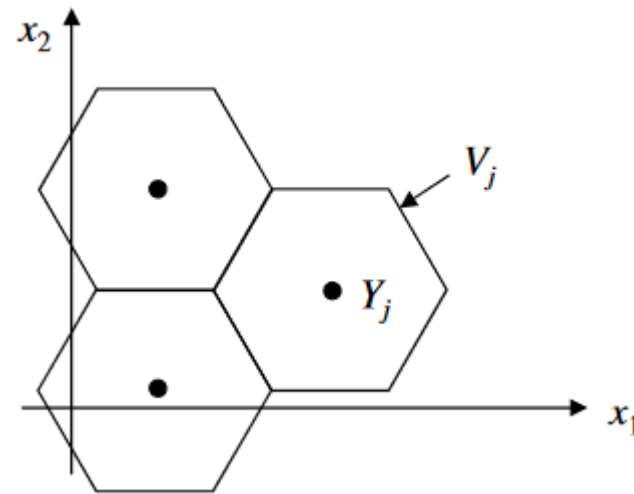


Kvantizace měření II

- Je nutné definovat rozlišení diskrétních hodnot
- Počet bitů pro uložení jedné hodnoty dat
 - 3 bity $\sim$ 8 hodnotám průběhu
 - 8 bitů $\sim$ 256 hodnotám průběhu
 - 16 bitů $\sim$ 65536 hodnotám průběhu

Kvantizace měření III

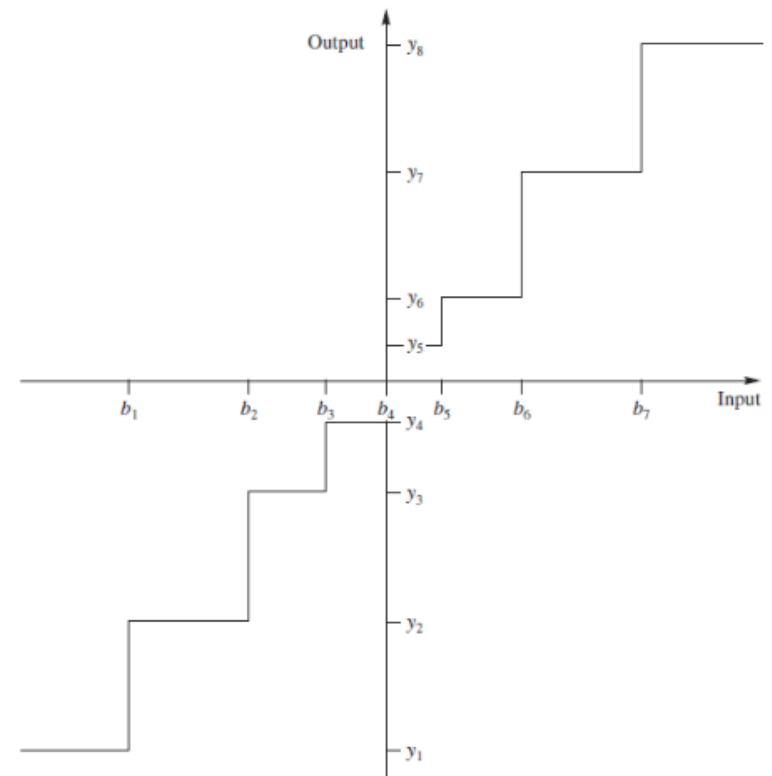
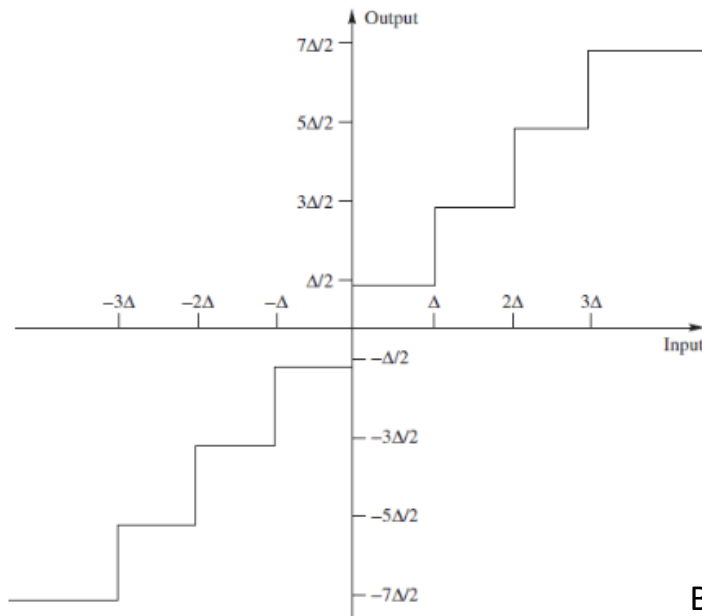
- Skalární kvantizace $y = Q(x)$
 - Jedna vstupní hodnota odpovídá jedné výstupní hodnotě
- Vektorová kvantizace $\mathbf{Y}_j = Q(\mathbf{X})$
 - Jedna vstupní hodnota odpovídá (množině) vektorů, dle návrhu.



https://people.cs.nctu.edu.tw/~cjtsai/courses/imc/classnotes/imc14_08_Quantization.pdf

Kvantizace měření III

- Uniformní kvantizace
 - Rovnoměrně rozložené dle kroku Δ
 - Max/min intervaly mohou být odlišné
 - 0 může být úroveň a nemusí
- Neuniformní kvantizace
 - Velikost kroku definujeme sami



Rozhraní biometrických senzorů

- Sériová komunikace
 - USB 2.0, USB 3.0/3.1/3.2, USB3 Vision, COM
- Ethernet
 - Industrial Ethernet (EtherCAT, EtherNet/IP, PROFINET, POWERLINK, SERCOS III, CC-Link IE, Modbus TCP)
 - GigE Vision (v. 2.1 2018)
- Bluetooth (v. 5.2 2019)
 - Bluetooth Classic
 - Bluetooth Bluetooth LE
- Camera Link (v. 2.0 2012)
- Smart karty (nejčastěji pro otisky prstů)
- FireWire (v. S800T 2007)
 - De facto mrtvé
- Paralelní komunikace (LPT, EPP)
 - LPT občas CNC
 - EPP de facto mrtvé

Interface	Cable Lengths	Bandwidth max. in MB/s.	Multi-Camera	Cable Costs	"Real-time"	"Plug & Play"
 USB 2.0	5m	40				
 FireWire	4.5m	64				
 GiGE VISION	100 m	100				
 USB3 VISION	8 m	350				
 CAMERA Link	10 m	850				

Comparison of Interfaces

Matematické a statistické základy

- Požadavky na biometrické vlastnosti:
 - Měřitelnost
 - Variabilita
 - Biometrické vzory (biometric patterns)
- Biometrie – problém rozpoznávání vzorů
 - Model systému
 - Předzpracování (filtrování)
 - Výběr markantní informace
 - Výběr vzdálenostní metriky
 - Klasifikace

Měřitelnost I

- Měření slouží k:
 - Extrakci správného biom. vzoru ze senzoru
 - Uchování opakovatelných informací k rozlišení
 - Ignorování informací, které takové nejsou
- Problémy:
 - Prezentace
 - Charakteristika senzoru
 - Šum
 - Tlumení/ztráta signálu

Měřitelnost II

Adekvátní biometrické vlastnosti vyžadují pro automatické zpracování:

- Automatické kvantitativní zaznamenávání
- Časovou efektivnost
- Dostatečný prostor hodnot
- Rozlišovací schopnost
- Cenovou efektivnost

Měřitelnost III

Variabilita:

- Změřené biometrické markanty se budou odlišovat při každém novém nasnímání i u autentické osoby.
- Nastává jak změnou používání samotným uživatelem, tak i systematickými chybami (např. vzorkováním).

Požadavky

Základní požadavky na variabilitu

- Nízká „intra-osobní“ variabilita
- Vysoká „inter-osobní“ variabilita

Biometrické vzory musí poskytovat:

- Robustnost
- Rozlišovatelnost
- Dostupnost
- Přijatelnost uživateli
- Vhodnost



Rozpoznávání vzorů

Pattern Recognition

Rozpoznávání vzorů:

přiřazení značky (label)

vstupním datům

Příkladem je **klasifikace**

ručně psaných číslic a znaku

„+“ do 11 tříd.

Biometrie vs. Klasifikace

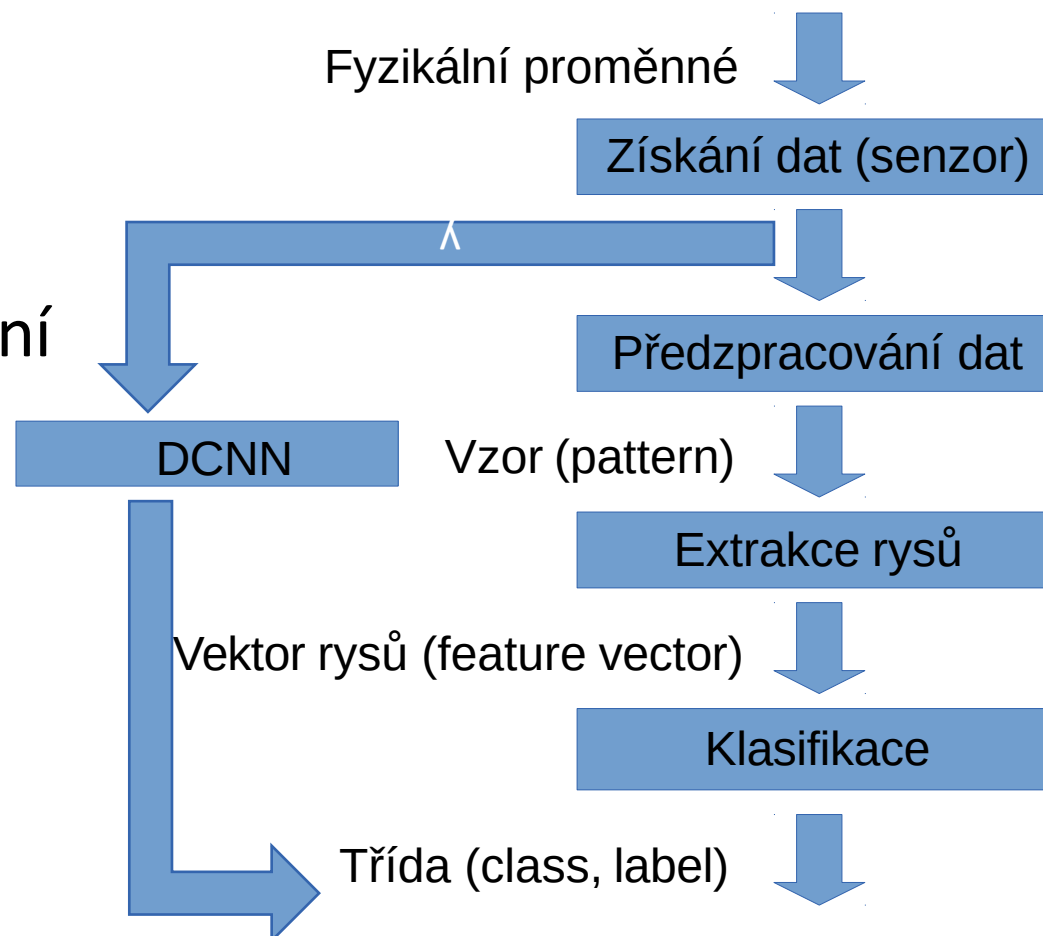
- Mnoho tříd, málo dat
- Málo tříd, hodně dat

0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9
+	+	+	+	+	+	+	+	+

Rozpoznávání vzorů II

Základní kroky:

- Získání dat
- Předzpracování
- Extrakce rysů
- Klasifikace



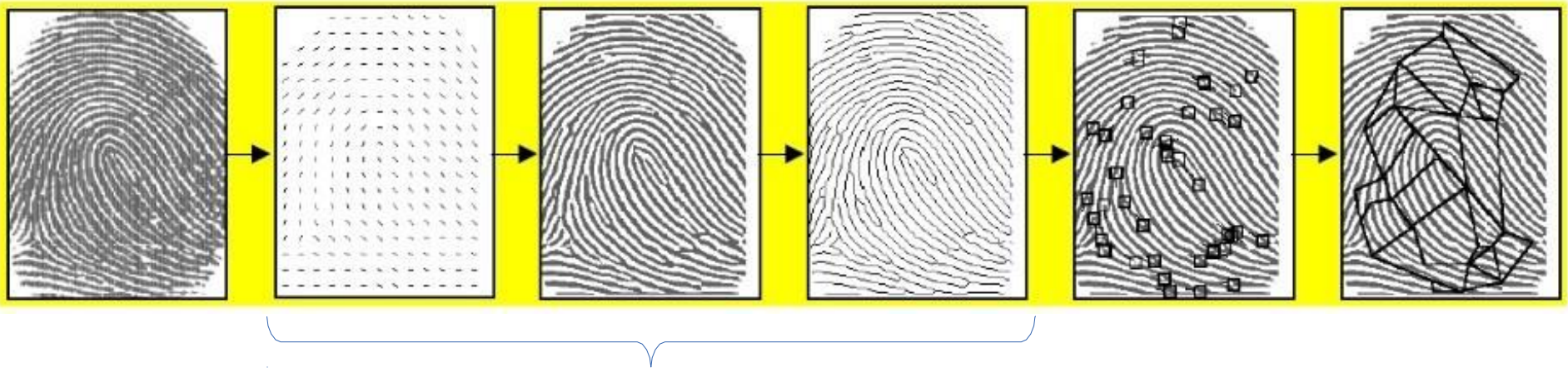
Předzpracování

Problém:

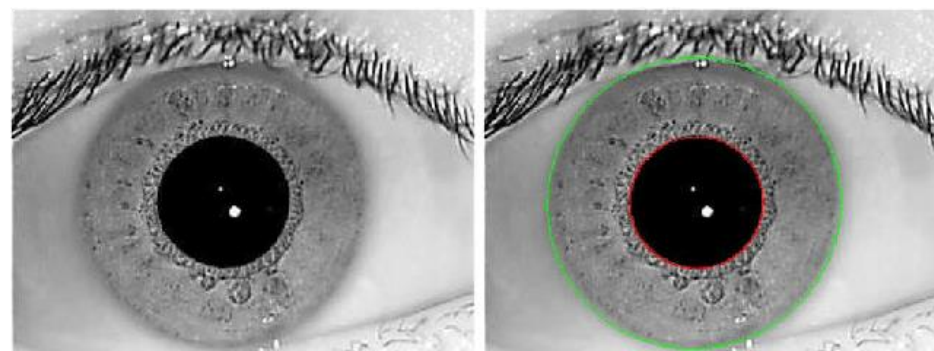
- Šum (data obsahují elementy, které narušují proces klasifikace / rozpoznání)

Příklad:

- Binarizování a ztenčení papilárních linií
- Filtrování hluku při detekci hlasu

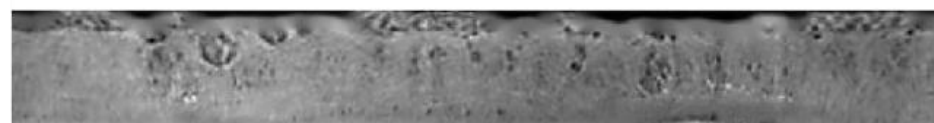


Předzpracování



(a) Acquisition

(b) Detection



(c) Iris texture



(d) Enhanced iris texture



(e) Iris-code 1-D Log-Gabor wavelet



(f) Iris-code quadratic spline wavelet

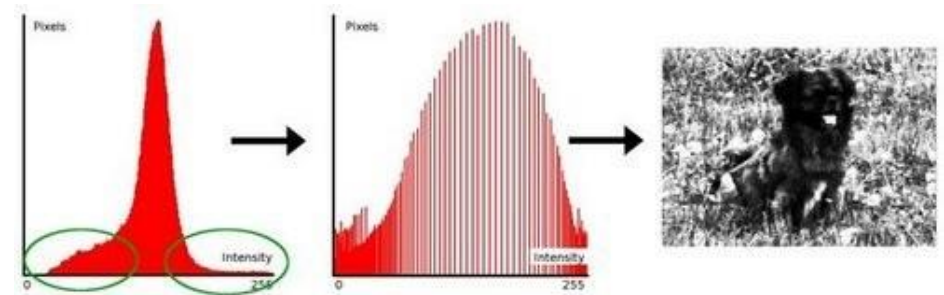
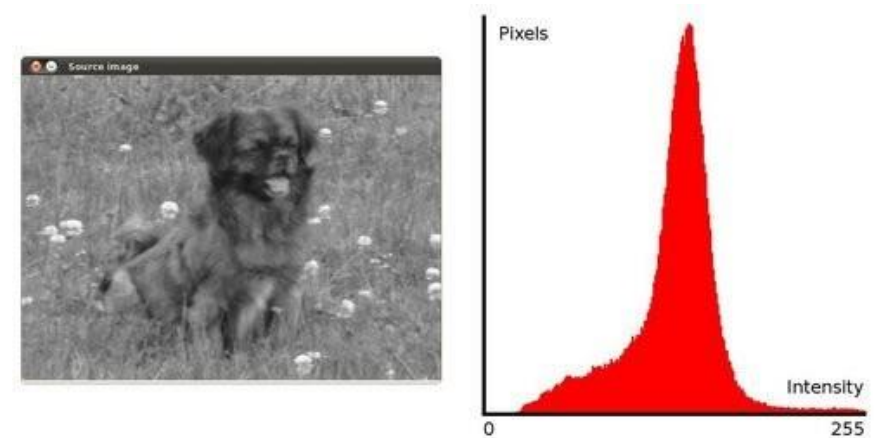
Digitální filtry

Digitální filtr (def): zařízení, které přenáší pouze část příchozí energie a může tím změnit spektrální rozložení energie

- Ve filtru je implementována filtrovací funkce
- Filtrovací funkce je závislá od účelu:
 - Otisk prstu: chtěným výstupem jsou papilární linie, filtr musí potlačit všechno ostatní
 - Detekce řeči: chtěným výstupem je hlas řečníka, filtr musí potlačit veškerý hluk v pozadí

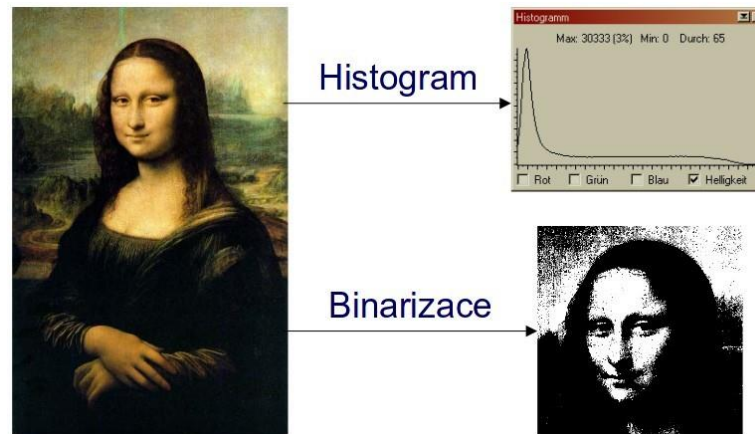
Histogram

- Histogram je grafické znázornění distribuce dat (zastoupení frekvencí, intenzit pixelů apod.)
- V biometrii se často setkáváme s filtry pro úpravu histogramu



Histogram

- Diskrétní médium $\rightarrow$ spektrální distribuce
- Spojité médium $\rightarrow$ spektrální distribuce jako funkce času



Digitální filtry III

Zjemnění a/nebo převzorkování signálů:

- Lineární splinová interpolace
- Kubická splinová interpolace
- Bikubická splinová interpolace
- Bèzierovy křivky
- B-Spliny

Digitální filtry IV

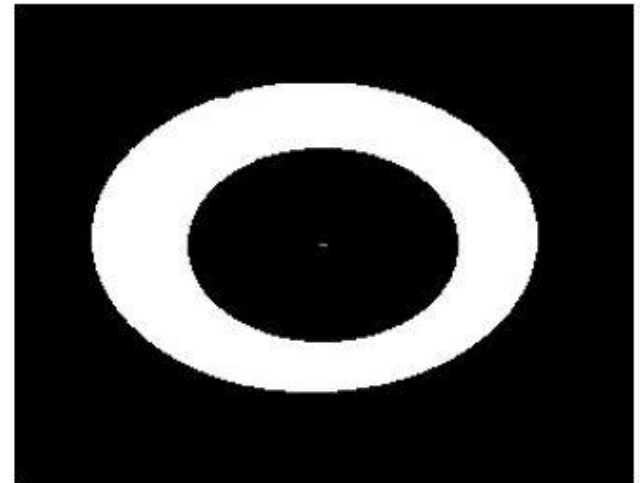
Fourierova analýza:

- Časová reprezentace $\leftrightarrow$ Frekvenční reprezentace
- Idea: Každý signál je superimpozicí signálů s proměnnou frekvencí
- Fourierovy koeficienty: a_i, b_i

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + \dots + a_n \cos(n\omega t) + \dots + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + \dots + b_n \sin(n\omega t)$$

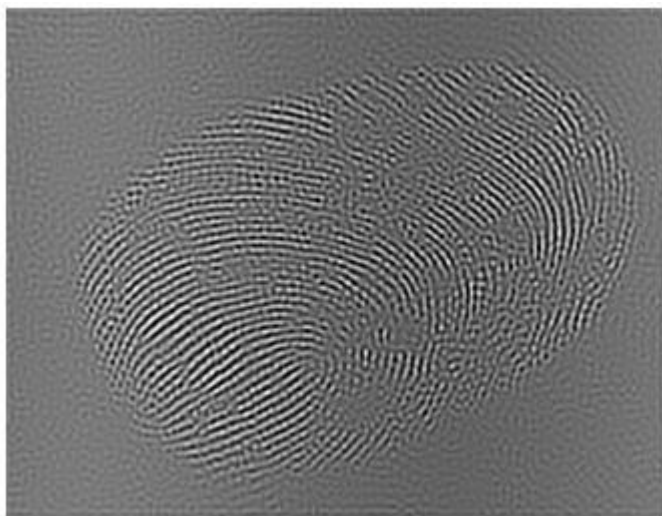
Digitální filtry V

- Spojitá Fourierova transformace
- Diskrétní Fourierova transformace (DFT)
 - Pokud zpracováváme naměřené hodnoty (vzorky) z konečného intervalu
- Rychlá fourierova transformace (FFT)
 - Efektivní algoritmus pro spočtení DFT

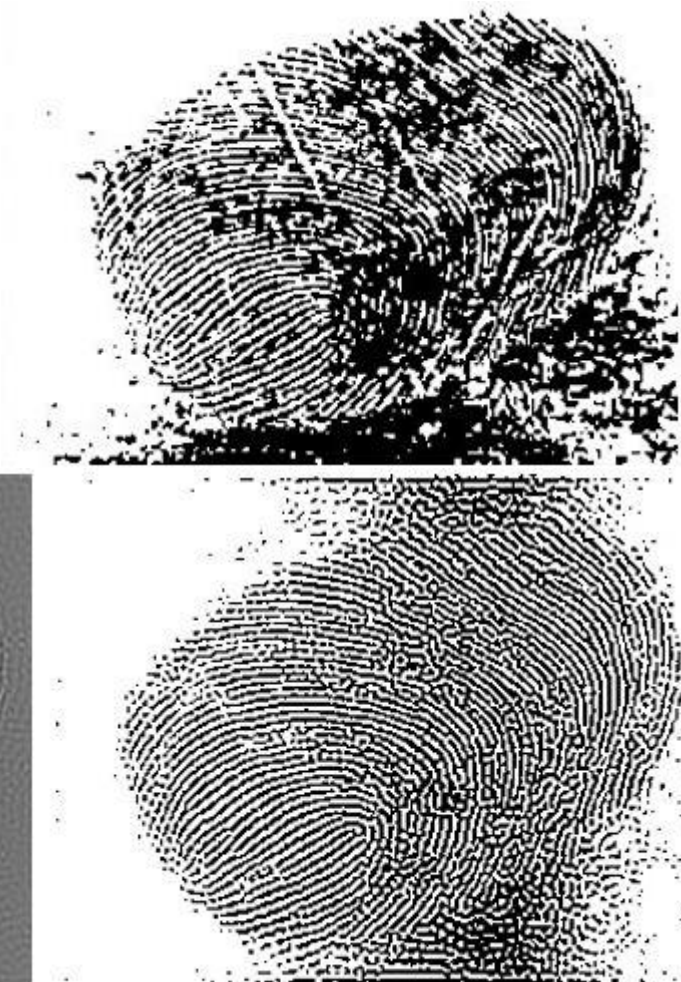


Digitální filtry V

Result:



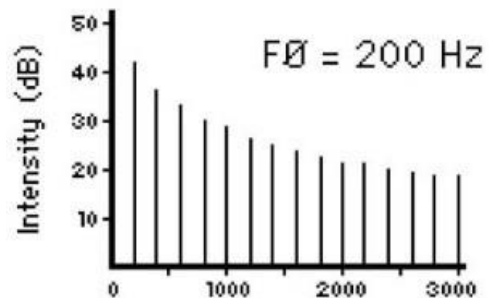
(a)



BIO (b)

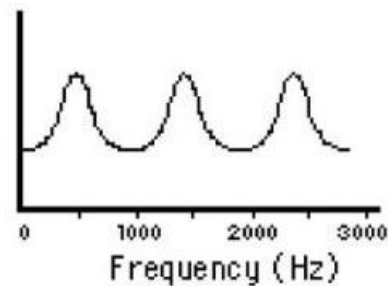
Digitální filtry VI

Hlasivkové pulsy



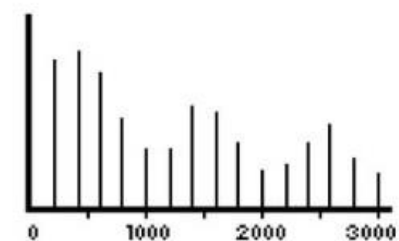
SOURCE SPECTRUM

Vokální trakt



FILTER FUNCTION

Řečový signál

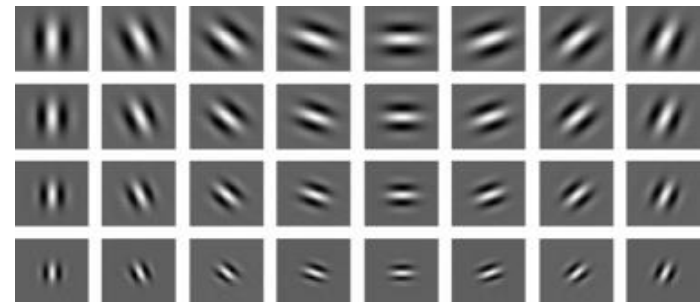
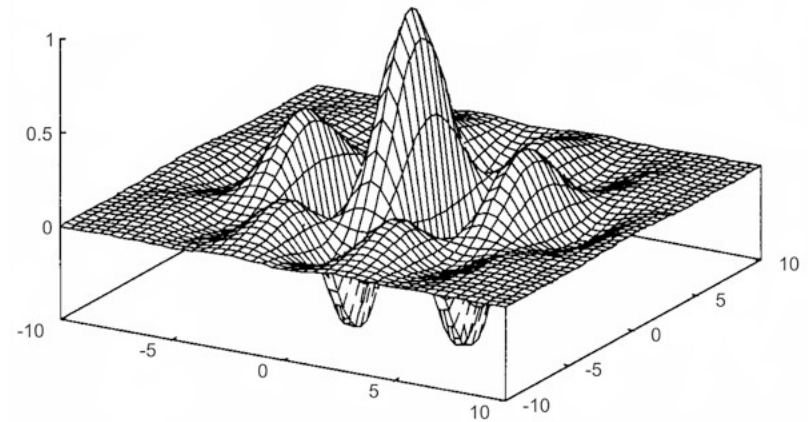


OUTPUT ENERGY SPECTRUM

Digitální filtry VII

Gaborův filtr – 2D obrazové informace

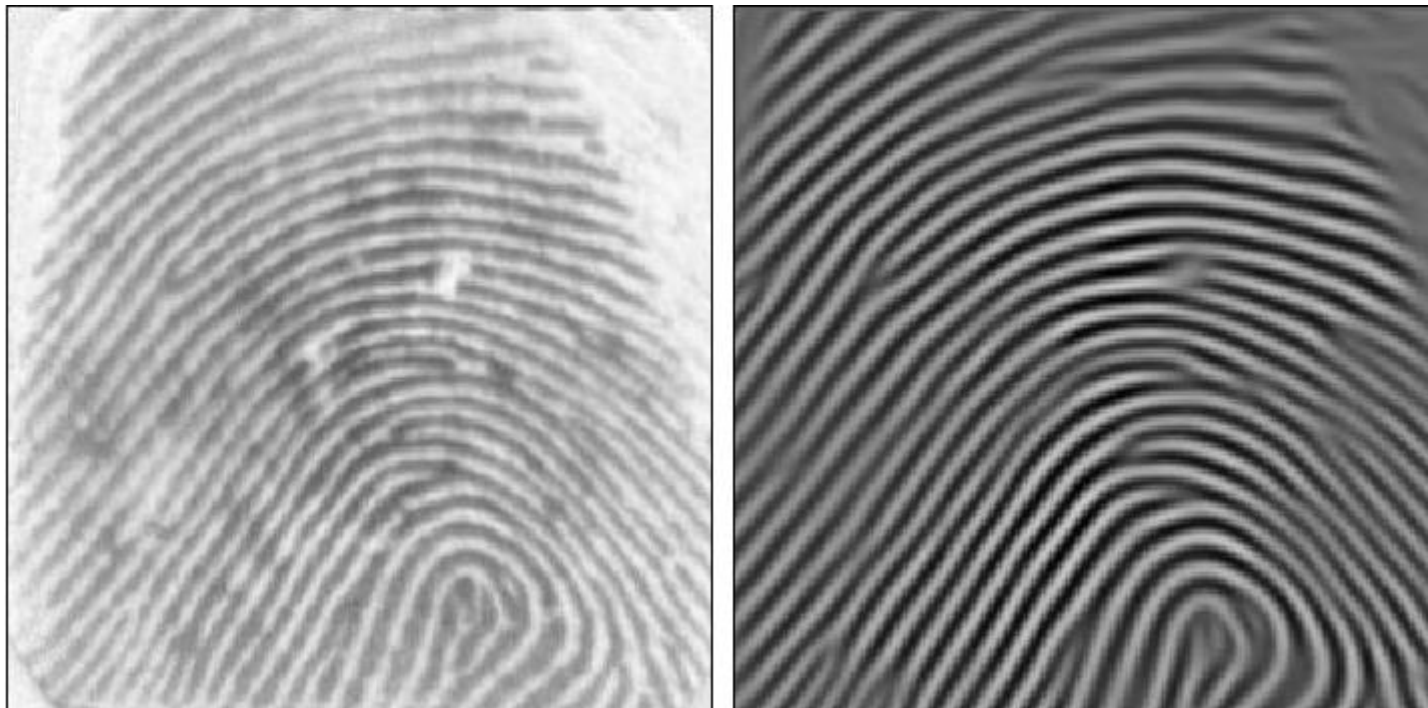
- Detekce frekvencí v různých směrech
- Využití: otisky prstů, duhovka, obličeje



$$g(x, y; \lambda, \vartheta, \psi, \sigma, \gamma) = e^{-\frac{(x \cos \vartheta + y \sin \vartheta)^2 + \gamma^2 (-x \sin \vartheta + y \cos \vartheta)^2}{2\sigma^2}} e^{i(2\pi \frac{x \cos \vartheta + y \sin \vartheta}{\lambda} + \psi)}$$

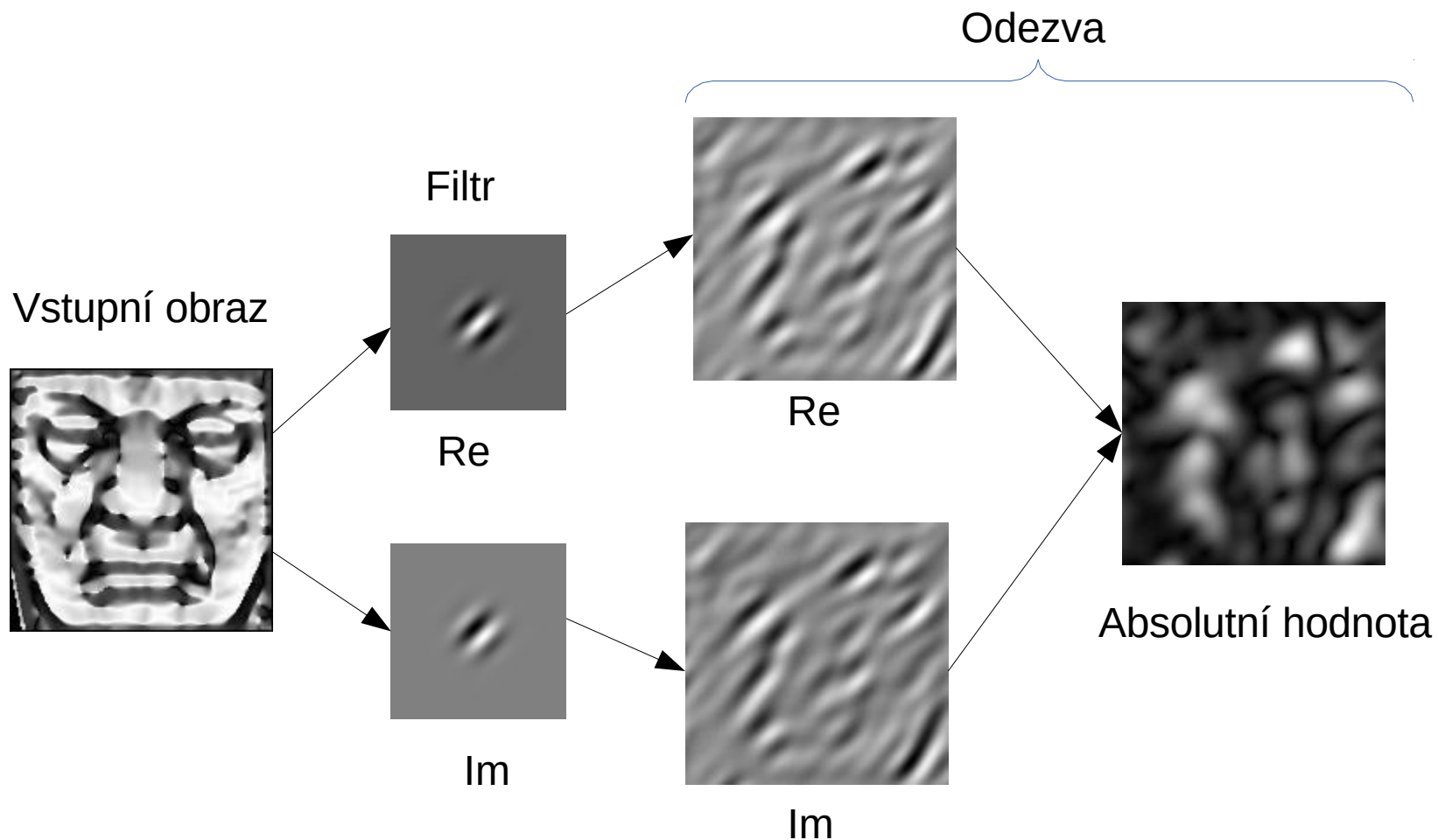
Digitální filtry VII

Gaborův filtr aplikace



https://web.media.mit.edu/~msaveski/assets/projects/2010_fingerprint-verification/gabor.png

Digitální filtry VIII



Extrakce rysů I

Vhodné rysy mají následující vlastnosti:

- Diskriminace: signifikantně odlišné hodnoty pro objekty patřící do jiné třídy
- Spolehlivost: podobné hodnoty pro objekty stejné třídy
- Nezávislost: žádná korelační závislost
- Malý počet (dimenze): důvodem je komplexita systémů na rozpoznávání vzorů
 - Učení klasifikátorů narůstá exponenciálně
 - Rušivé rysy mohou degradovat celkovou schopnost systému

Extrakce rysů II

Rysy mohou být determinovány na základě:

- Reprezentace dat: signály, obrazy, struktury, ...
- Účelu: globální / lokální analýza (segmentace)

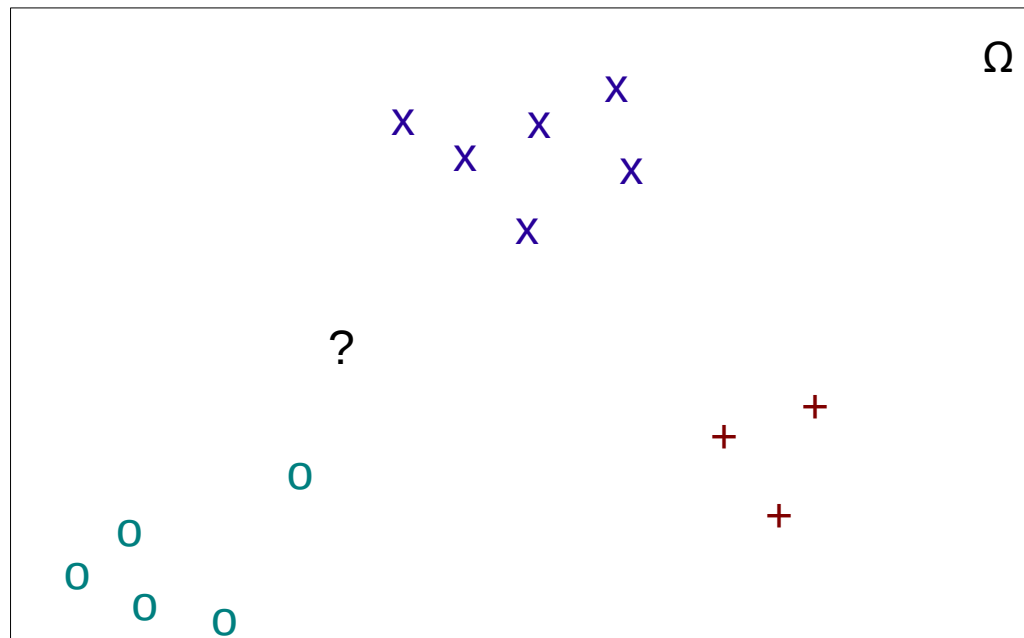
Příklady rysů:

- Frekvenční spektrum (charakteristiky hlasu)
- Waveletové koeficienty (kód duhovky)
- Metrika (geometrické rysy písma)
- Struktura (markanty otisků prstů)

Problematika klasifikace

Formální popis problematiky:

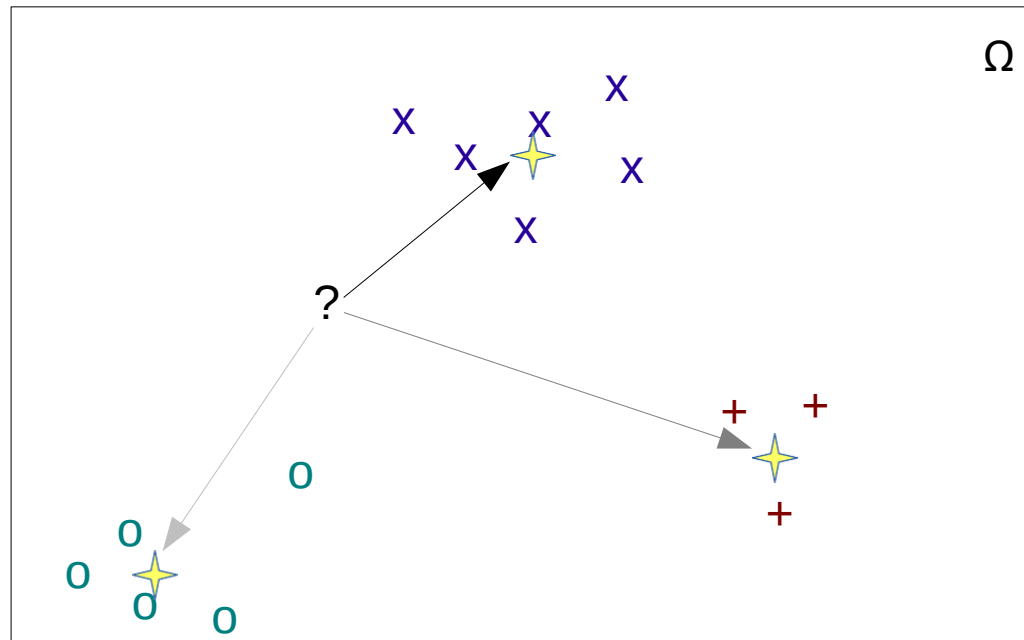
- Vektor rysů x , dimenzionalita N v prostoru Ω Parametrické
- (Bayes) vs. Neparametrické (KMV, kNN)



Problematika klasifikace

Klasifikátor minimální vzdálenosti

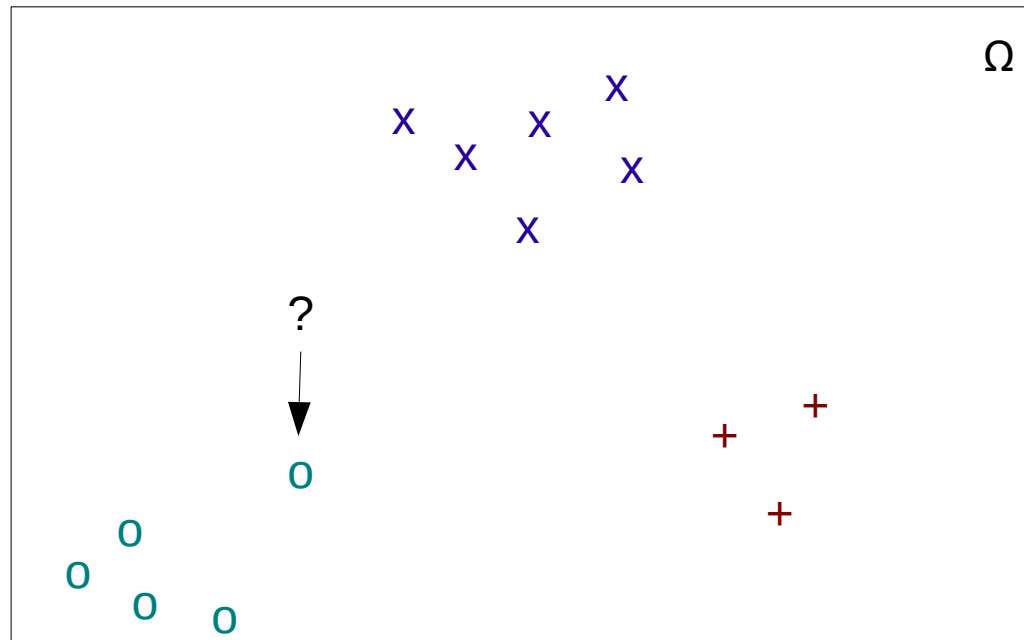
- Každému vzoru je přiřazena jeho třída
- Třída je reprezentována jedním referenčním vzorem



Problematika klasifikace

Klasifikátor nejbližšího souseda

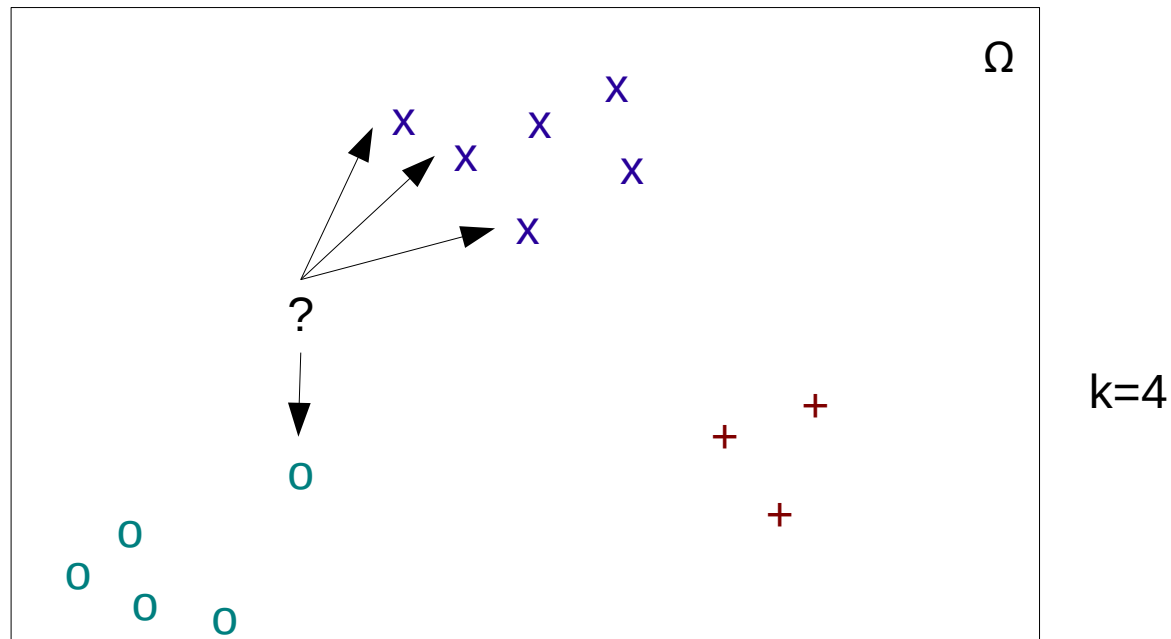
- Každému vzoru je přiřazena jeho třída



Problematika klasifikace

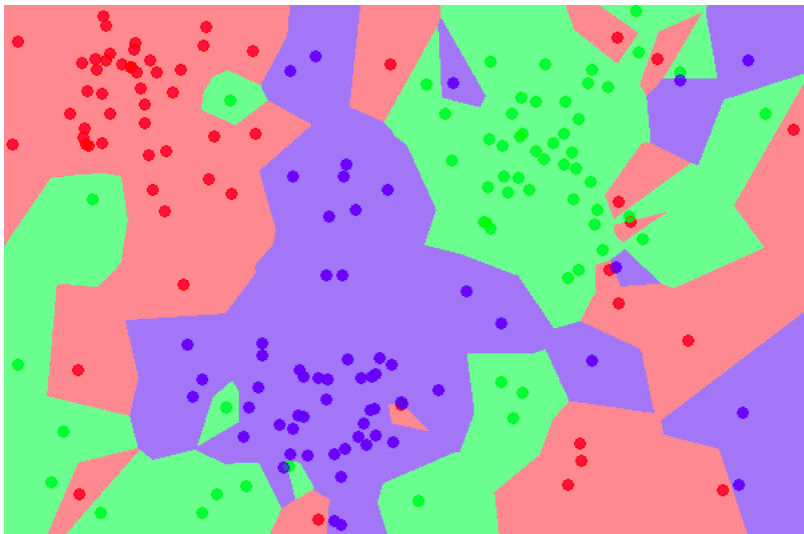
K-nejbližších sousedů (k-nearest neighbours)

- Přiřadíme do třídy, která je nejčetnější v rámci k-sousedů

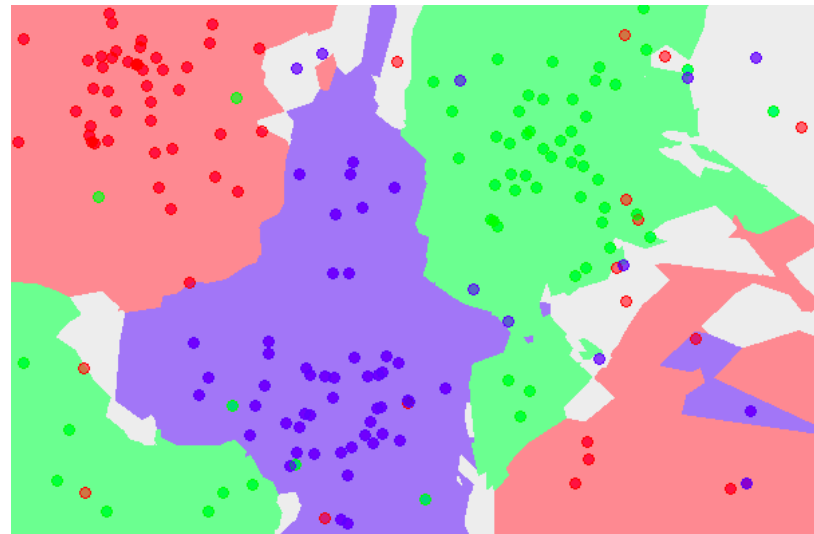


Problematika klasifikace

K-nejbližších sousedů (k-nearest neighbours)



$k = 1 \sim \text{KNS}$



$k = 5$

Bayesův klasifikátor I

- Vychází z Bayesova vzorce

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

- Pro jeho aplikaci potřebujeme znát:

- Pravděpodobnost výskytu jednotlivých tříd (prior probability): $p(\omega_i)$
- Podmíněné pravděpodobnosti (class conditional): $p(\mathbf{x} | \omega_i)$
- Vyžaduje nezávislost prvků vektoru $\mathbf{x}$ $P(\mathbf{x}|\omega_j) = \prod_i P(x_i|\omega_j)$

$$\omega = \arg \max_{\omega_j} P(\omega_j) \prod_i P(x_i | \omega_j)$$

Bayesův klasifikátor II

Outlook	Temperature	Humidity	Wind	Tennis
Sunny	Hot	High	Weak	No
Sunny	Hot	High	Strong	No
Overcast	Hot	High	Weak	Yes
Rain	Mild	High	Weak	Yes
Rain	Cool	Normal	Weak	Yes
Rain	Cool	Normal	Strong	No
Overcast	Cool	Normal	Strong	Yes
Sunny	Mild	High	Weak	No
Sunny	Cool	Normal	Weak	Yes
Rain	Mild	Normal	Weak	Yes
Sunny	Mild	Normal	Strong	Yes
Overcast	Mild	High	Strong	Yes
Overcast	Hot	Normal	Weak	Yes
Rain	Mild	High	Strong	No

Bayesův klasifikátor III

Půjdeme na tenis?

.Outlook=sun; Temp=cool; Humid=high; Wind=strong

Spočítáme parametry:

- $P(\text{yes}) = 9/14$ $P(\text{no}) = 5/14$
- $P(\text{Wind} = \text{strong} \mid \text{yes}) = 3/9$
- $P(\text{Wind} = \text{strong} \mid \text{no}) = 3/5$
- ...

Máme dvě třídy, vybereme maximum:

- $P(\text{yes}) \cdot P(\text{sun} \mid \text{yes}) \cdot P(\text{cool} \mid \text{yes}) \cdot P(\text{high} \mid \text{yes}) \cdot P(\text{strong} \mid \text{yes}) = 0.005$
- $P(\text{no}) \cdot P(\text{sun} \mid \text{no}) \cdot P(\text{cool} \mid \text{no}) \cdot P(\text{high} \mid \text{no}) \cdot P(\text{strong} \mid \text{no}) = 0.021$