

Popis objektů

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Popis objektů

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.

2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Úvod – definice

- ▶ Popis objektů = získání příznaků ze segmentovaných dat



- ▶ Příznaky (deskriptory, popisovače) slouží pro následnou klasifikaci objektů – musí vystihovat charakteristické rysy objektů
- ▶ Zásadní problém = volba příznaků je obtížná – rozpoznávání objektů lidským organismem není postaveno na explicitním výpočtu konkrétních hodnot příznaků a jejich klasifikaci (neuronová síť)
- ▶ Intuitivní požadavky na hodnotu příznaku:
 - hodnota podobná pro objekty téže třídy
 - hodnota rozdílná pro objekty různých tříd

Úvod – požadavky na příznaky

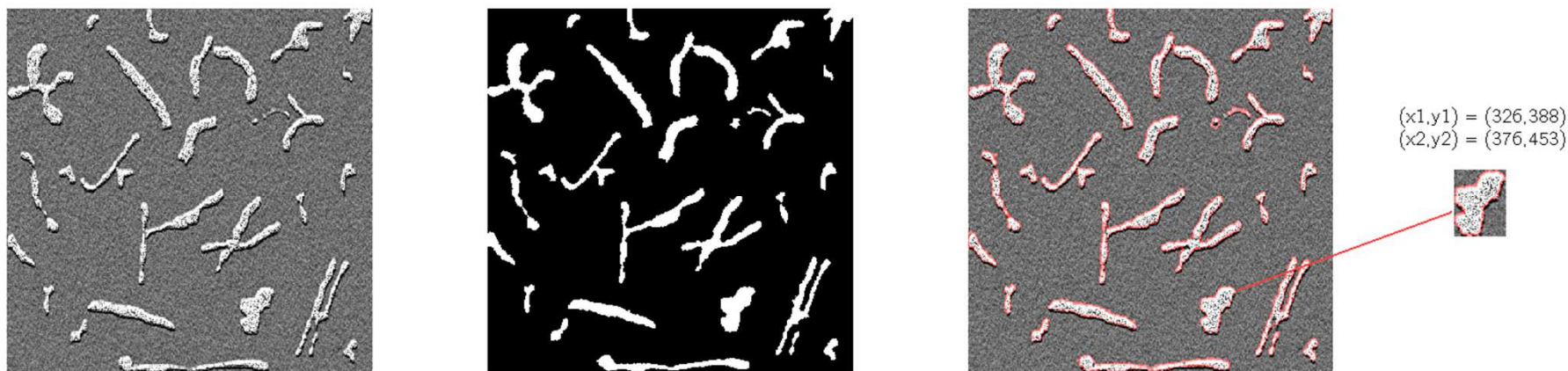
- ▶ Invariantnost
 - nezávislost příznaku na změně jasu, kontrastu, translaci, rotaci, změně měřítka apod.
- ▶ Spolehlivost
 - objekty téže třídy vykazují podobné hodnoty příznaku
- ▶ Diskriminabilita
 - objekty odlišných tříd vykazují různé hodnoty příznaku
- ▶ Efektivita výpočtu
 - dobrá detekovatelnost příznaku
- ▶ Časová invariance
 - stabilní hodnota příznaku při zpracování dynamických obrazů

Úvod – příprava obrazu pro popis

- Podmínkou provedení popisu objektů je segmentace (neplatí pro globální deskriptory obrazu, které popisují obraz v celku):



- Vstupními daty pro popis jsou v ideálním případě informace o poloze a tvaru objektů v obrazu:
- Původní obraz (např. 256 úrovní) → segmentovaný obraz (např. 2 úrovně) → poloha objektů



Popis objektů

Karel Horák

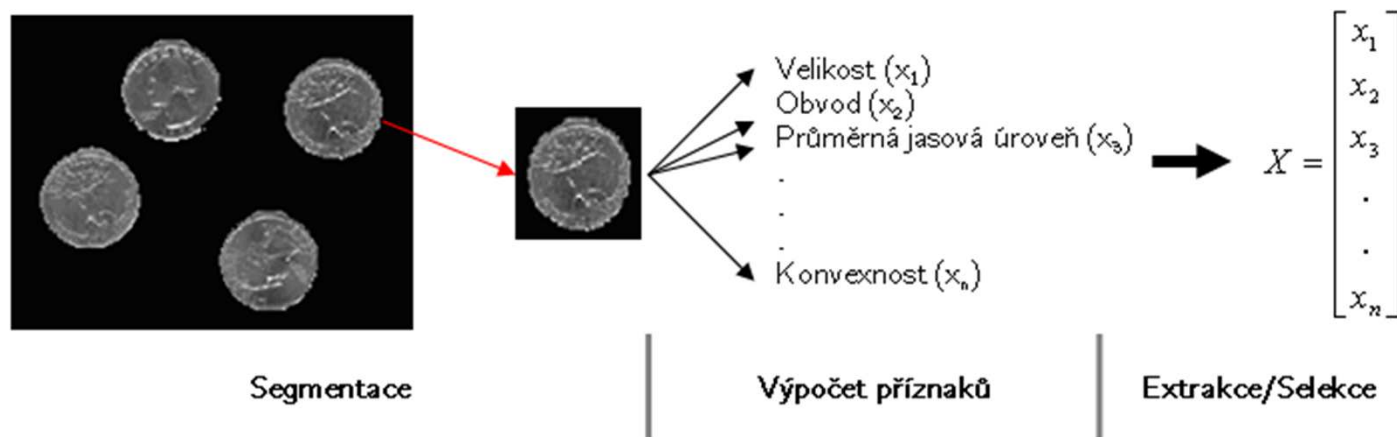


Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
- 2. Příznakový vektor.**
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Příznakový vektor – definice

- Cílem popisu je matematicky reprezentovat objekt vektorem X , jehož prvky jsou symboly definované abecedy nebo častěji číselné charakteristiky:



- Tento vektor X se nazývá příznakový vektor a může mít teoreticky libovolnou dimenzi (počet příznaků)
- Zpravidla lze snadno sestavit X vysoké dimenze, ale jen některé příznaky jsou relevantní → nelze však a-priori stanovit, které to jsou ⇒ je třeba provést redukci dimenze příznakového vektoru
- Redukci je možné provést buďto metodami selekce nebo extrakce

Příznakový vektor – redukce dimenze

- ▶ Redukce dimenze příznakového vektoru = transformace T příznakového vektoru X na příznakový vektor Y s nižším počtem prvků:

$$X \xrightarrow{T} Y \quad T : \dim(X) > \dim(Y)$$

- ▶ Selekcce příznaků:

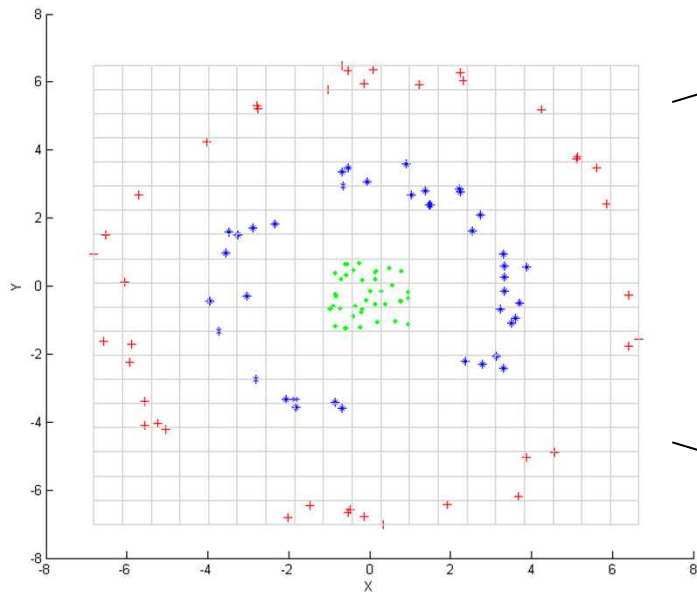
- taková transformace T , po níž mají příznaky v Y totožný význam jako původní příznaky v X
- selekcce je přímý výběr konečné podmnožiny příznaků z vektoru X do vektoru Y
- výhoda: zůstává původní význam příznaků (obvod je stále obvod apod.)
- nevýhoda: ztráta informací o objektu nevyužitím méně relevantních příznaků

- ▶ Extrakce příznaků:

- taková transformace T , po níž mají příznaky v Y odlišný význam od původních příznaků v X
- každý nový příznak je lineární/nelineární funkcí několika původních příznaků
- výhoda: nový příznak je silnější (efektivnější z hlediska klasifikace)
- nevýhoda: ztráta fyzikálního významu příznaků (např. kompaktnost=obvod²/velikost)
- např. PCA (= analýza hlavních komponent, původně Karhunen-Loèvova transformace)

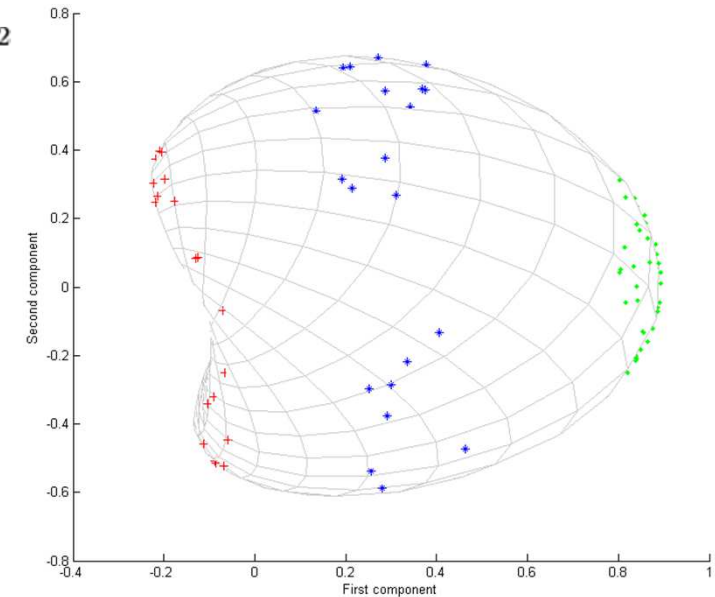
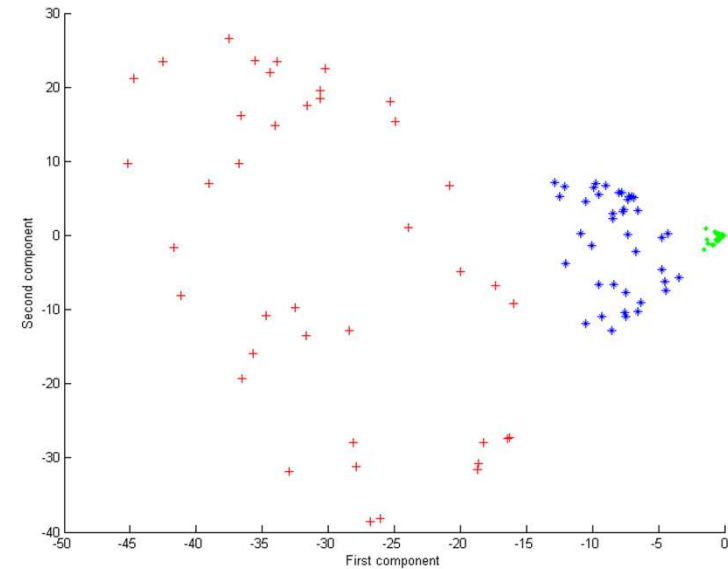
Příznakový vektor – redukce dimenze

- ▶ PCA = de Korelace dat minimalizující ztrátu informace
- ▶ Matematicky jde o transformaci vstupního příznakového vektoru X na tzv. komponenty pomocí zvoleného jádra
- ▶ Příklad: objekty $+$, $+$ a $+$ lze buďto třídit přímo v souřadném systému (x,y) nelineárním klasifikátorem např. $J: d_i < (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 < d_{i+1}$ nebo použít PCA:



$$k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (\mathbf{x}^T \mathbf{y} + 1)^2$$

$$k(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = e^{-\frac{\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|^2}{2\sigma^2}},$$



Popis objektů

Karel Horák

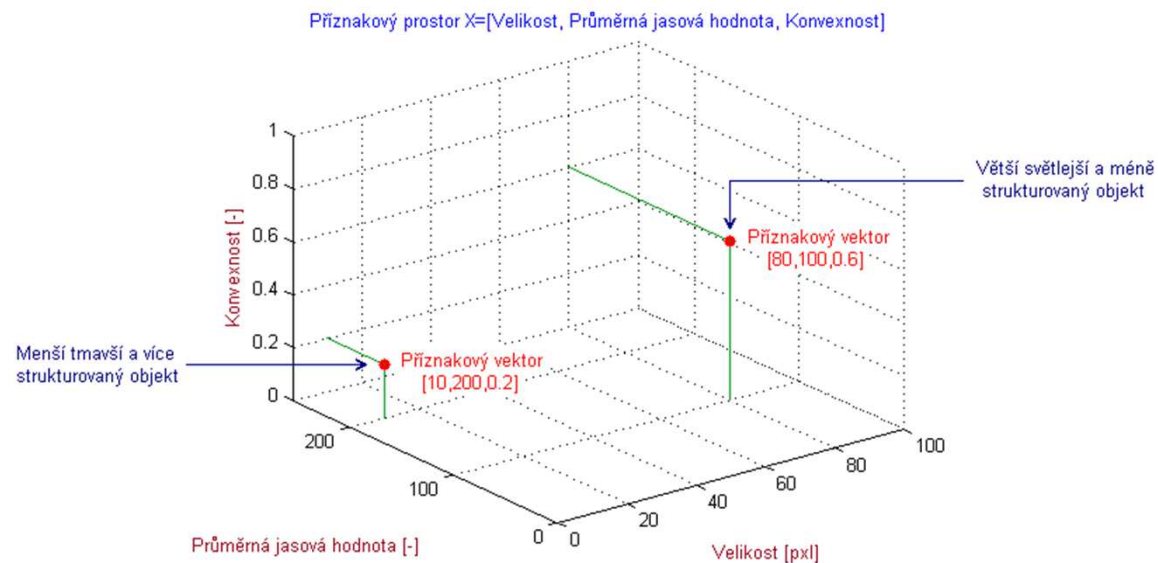


Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
- 3. Příznakový prostor.**
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Příznakový prostor – definice

- ▶ Příznakový prostor je grafické vyjádření příznakového vektoru
- ▶ Podmínka zobrazení: musí existovat metrika vzdálenosti příznaků (nejčastěji číselné charakteristiky, méně často symbolické hodnoty)



- ▶ Grafické zobrazení je vhodné např. pro volbu reprezentantů tříd

Popis objektů

Karel Horák

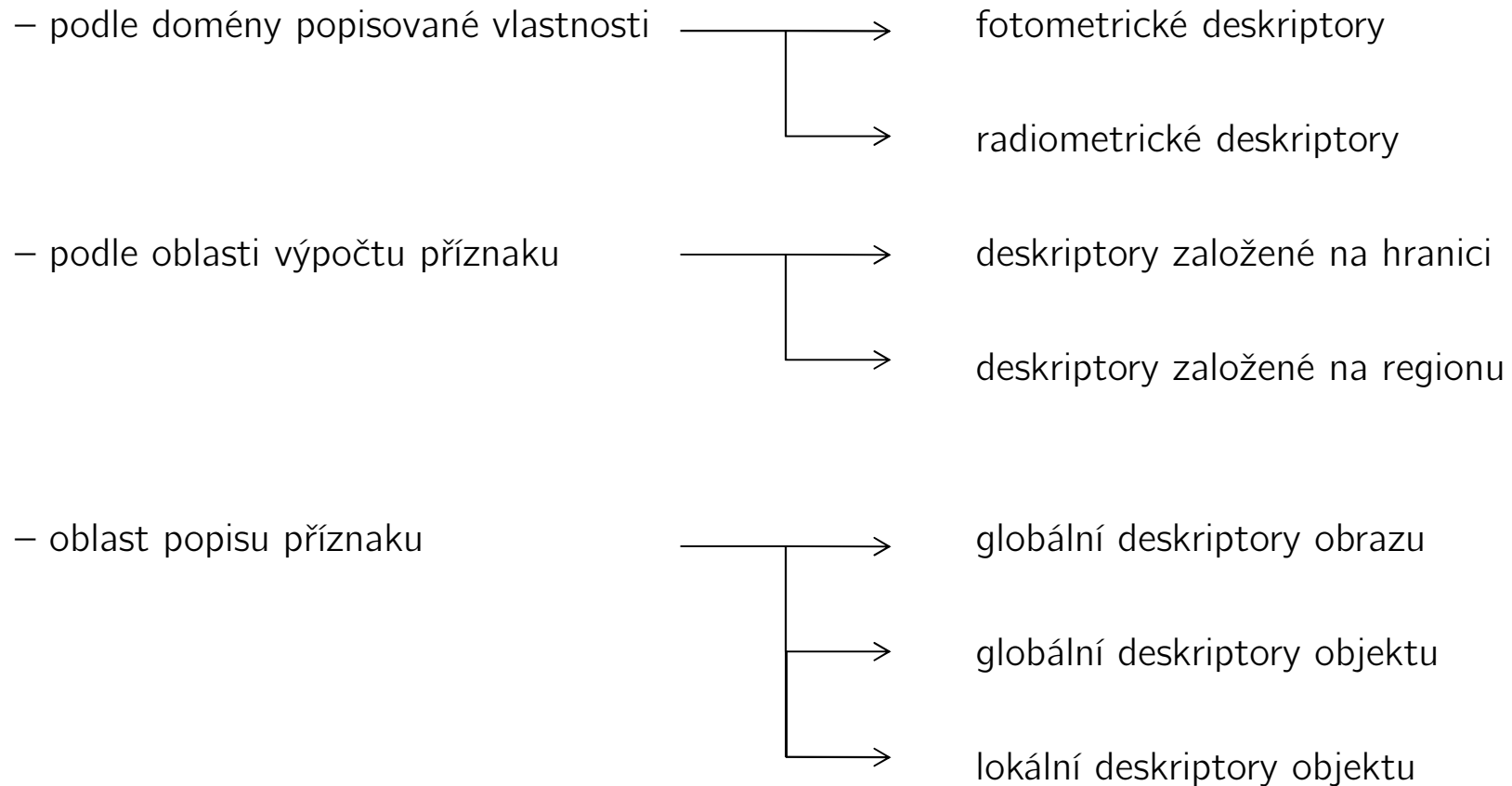


Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
- 4. Členění příznaků.**
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Členění příznaků

- ▶ Příznaky segmentovaných objektů lze členit podle několika hledisek:

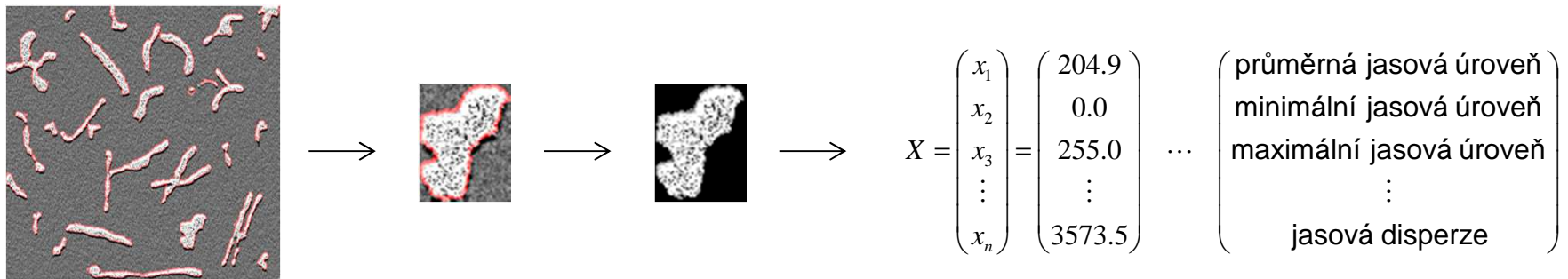


- ▶ pozn.: lokální deskriptory obrazu neexistují, nelze je sestavit

Členění příznaků

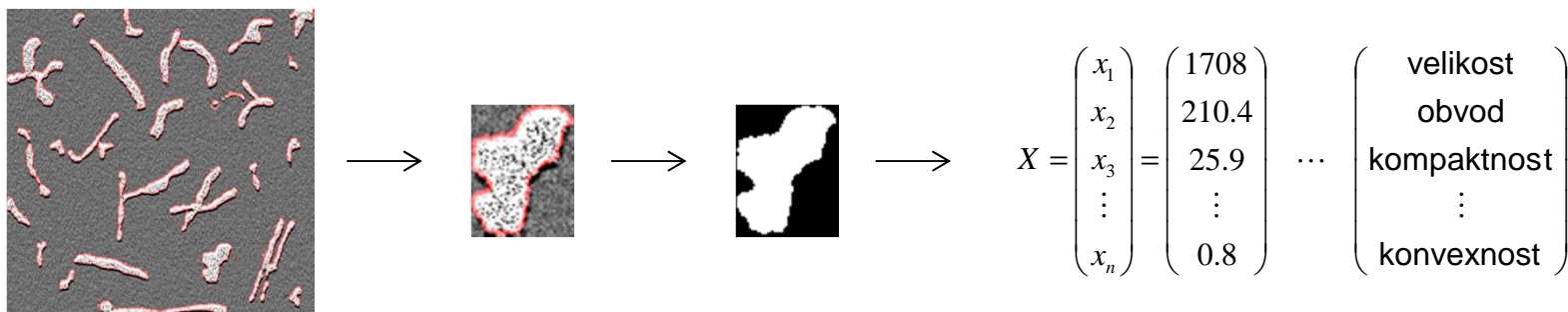
► Fotometrické deskriptory

- odráží optické vlastnosti objektu
- průměrná jasová úroveň, difference jasové úrovně objektu a blízkého okolí, jasová disperze atd.



► Radiometrické deskriptory

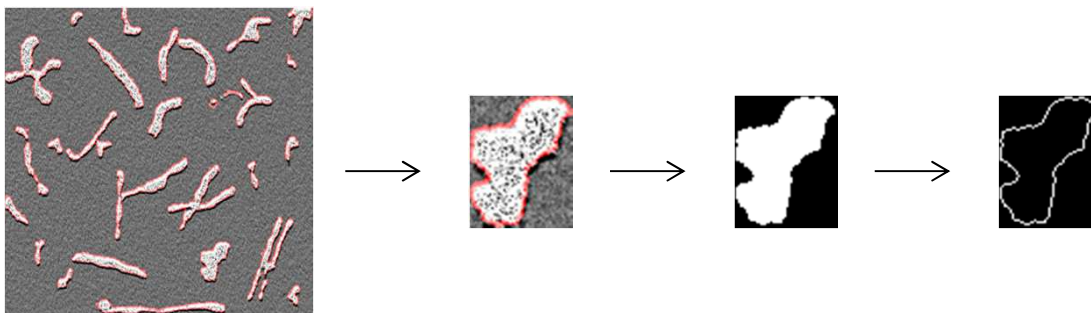
- odráží geometrické vlastnosti objektu
- velikost (tj. počet pixelů), obvod, konvexnost atd.



Členění příznaků

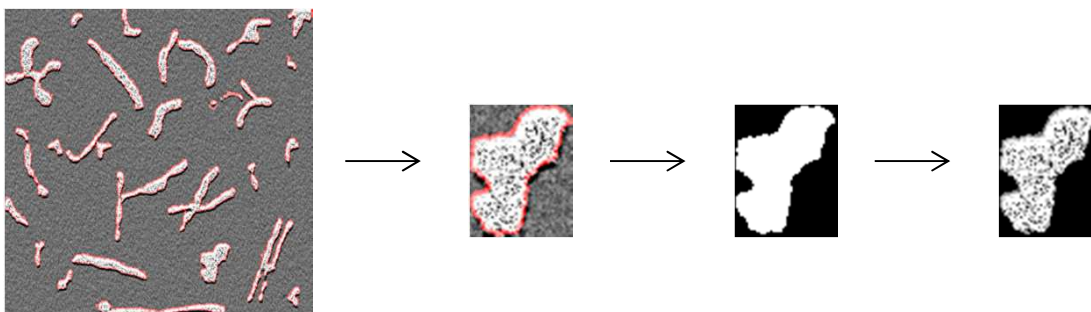
▸ Deskriptory založené na hranici

- hodnota příznaku vypočtena na základě hraniční reprezentace (např. Freemanův kód)
- nutná znalost hranice objektu určená buď implicitně indexovaným seznamem nebo explicitně funkčním předpisem (méně častá varianta)



▸ Deskriptory založené na regionu

- hodnota příznaku vypočtena na základě hodnot pixelů objektu



Členění příznaků

- ▶ Globální deskriptory obrazu
 - popisují charakteristické vlastnosti celého obrazu
 - např. lineární integrální transformace (FT, DCT, Wavelet)
 - nevýhoda: nepřítomnost individuálních znaků konkrétního objektu
- ▶ Globální deskriptory objektu
 - jeden příznak je přiřazen celému segmentovanému objektu
 - např. velikost, konvexnost, geometrické momenty atd.
 - nevýhoda: nutnost precizní segmentace objektu, citlivost příznaků na aditivní šum
- ▶ Lokální deskriptory objektu
 - příznak je vypočten jen z určité lokální části objektu
 - např. významné body (hrany, rohy), textura, zakřivení objektu
 - výhoda: není třeba segmentace

Popis objektů

Karel Horák

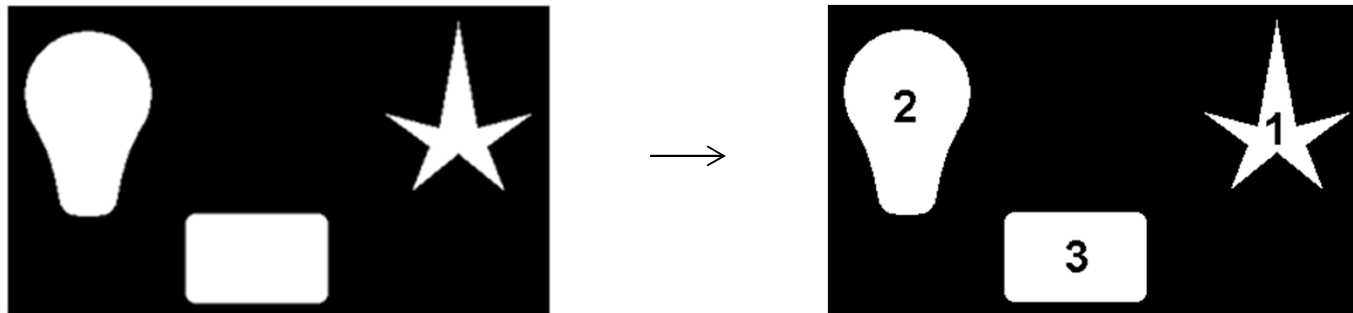


Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
- 5. Identifikace oblastí.**
6. Radiometrické deskriptory.
7. Fotometrické deskriptory.

Identifikace oblastí

- ▶ Výsledkem segmentace je v nejjednodušším případě binární obraz obsahující objekty:



- ▶ Binární obraz obsahuje neidentifikované oblasti spojené ve 4-okolí nebo v 8-okolí → indexace oblastí
- ▶ Identifikace = algoritmus pro označení objektů unikátním číslem (indexace nebo barvení oblastí)
- ▶ Základní algoritmy indexování oblastí:
 - rekurzivní vyplňování
 - dvouprůchodový algoritmus

Identifikace oblastí

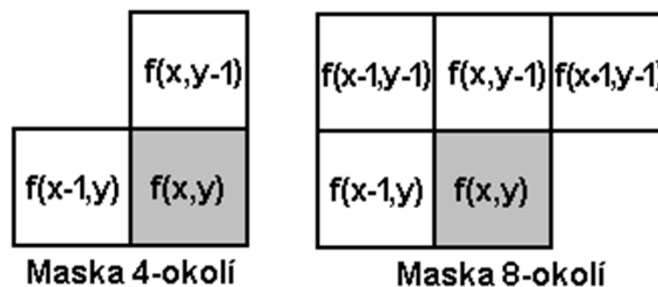
▸ Rekurzivní vyplňování oblastí:

- I. semínkové hraniční vyplňování = rekurzivní vyplnění oblasti od zvoleného semínka až po hranici určené barvy
- II. semínkové záplavové vyplňování = rekurzivní vyplnění spojitě oblasti určené barvy od zvoleného semínka
- III. ostatní metody vyplňování – optimalizace algoritmu vyplňování odstraněním rekurzivního výpočtu apod.

Identifikace oblastí

- ▶ Dvouprůchodový algoritmus:
- ▶ První průchod → značí souvislé části oblastí pomocí posunu masky

- ▶ Algoritmus:
 1. posuň se v obrazu na následující pixel, v případě začátku na první
 2. pokud není hodnota aktuálního pixelu jedna (nejde o objekt) pokračuj od bodu 1
 3. pokud je alespoň jeden pixel obrazu odpovídající masce již opatřen indexem i , označ aktuální pixel indexem i , v opačném případě použij nový index $i_{\max}+1$
 4. Pokračuj od bodu 1. dokud nejsou zpracovány všechny pixely obrazu



Popis objektů

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
- 6. Radiometrické deskriptory.**
7. Fotometrické deskriptory.

Radiometrické deskriptory založené na regionech

- ▶ Popisují metrické vlastnosti objektů vypočítané z plošného rozložení pixelů objektu:

- ▶ Velikost

- počet pixelů spojitě oblasti určující plochu objektu
- s rostoucím rozlišením obrazu se příznak velikosti blíží skutečné hodnotě obsahu fyzického objektu

Velikost = 9290 pxl



Velikost = 10253 pxl



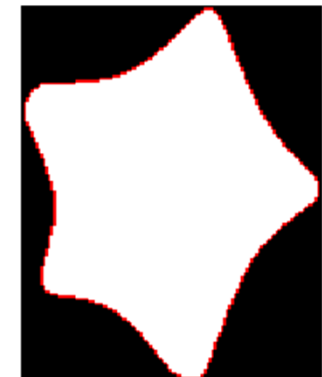
- ▶ Obvod

- počet hraničních pixelů ve 4-okolí nebo 8-okolí
- zrovnoprávnění míry 4-okolí a 8-okolí lze řešit koeficientem $\sqrt{2}$ pro 8-okolí (délka diagonálního přechodu mezi pixely)
- hodnota deskriptoru je závislá na rozlišení snímku (se vzrůstajícím rozlišením roste obvod k nekonečnu)

Obvod = 783 pxl



Obvod = 443 pxl



Radiometrické deskriptory založené na regionech

► Kompaktnost

- $\text{obvod}^2 / \text{velikost}$
- vyjadřuje míru podobnosti oblasti k ideálnímu kruhu
- kruh má minimální možnou kompaktnost = $4 \cdot \pi$
- nižší hodnota příznaku \Rightarrow vyšší podobnost objektu s ideálním kruhem

Kompaktnost = 66



Kompaktnost = 19



► Konvexnost

- velikost / plocha konvexního obalu
- vyjadřuje míru podobnosti objektu ke své konvexní schránce
- nabývá hodnot v intervalu $\langle 0;1 \rangle$
- hodnota 1 je platná pro konvexní (vypouklé) objekty

Konvexnost = 0.75



Konvexnost = 0.86



Konvexní obal



Konvexní obal



Radiometrické deskriptory založené na regionech

► Hlavní osa

- délka hlavní osy elipsy, jejíž centrální moment druhého řádu má stejnou hodnotu jako centrální moment druhého řádu segmentovaného objektu

Délka hlavní osy = 145



Délka hlavní osy = 130



► Vedlejší osa

- délka vedlejší osy elipsy, jejíž centrální moment druhého řádu má stejnou hodnotu jako centrální moment druhého řádu segmentovaného objektu

Délka vedlejší osy = 99



Délka vedlejší osy = 106

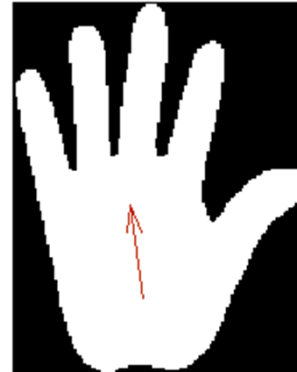


Radiometrické deskriptory založené na regionech

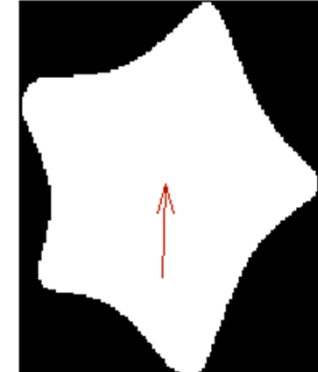
► Orientace

- úhel hlavní osy objektu se souřadnicovou osou (zpravidla osou x)
- neplatí invariance na rotaci
- použití: např. hlídání správnosti uložení výrobku na transportním pásu

Orientace = -82°



Orientace = 88°



► Výstřednost

- excentricita elipsy, jejíž centrální moment druhého řádu má stejnou hodnotu jako centrální moment druhého řádu segmentovaného objektu
- formálně je rovna poměru vzdáleností ohnisek elipsy a délky její hlavní osy

Výstřednost = 73 %



Výstřednost = 58 %



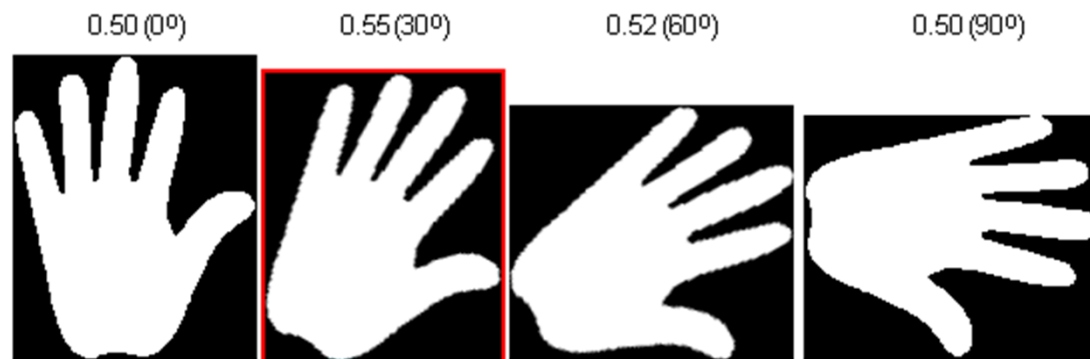
Radiometrické deskriptory založené na regionech

► Podlouhlost

- poměr stran obdélníka opsaného objektu
- opsaný obdélník musí splňovat podmínku minimálního obsahu
- nalezení optimální hodnoty otočení opisujícího obdélníku z hlediska minimálního obsahu je řešeno postupným natáčením v diskrétních krocích

► Pravoúhlost

- maximální poměr velikost / plocha opsaného obdélníka
- postupným otáčením objektu se hledá minimální plocha opsaného obdélníka
- čím se poměr plochy oblasti k ploše obdélníku blíží 1, tím vyšší je pravoúhlost



Radiometrické deskriptory založené na regionech

► Eulerovo číslo (genus)

- rozdíl počtu souvislých částí objektu (černá barva) a počtu děr (bílá barva)
- topologicky invariantní příznak objektu (nemění se s geometrickými transformacemi)



$$E = \text{oblastí} - \text{děr} = 1 - 1 = 0$$



$$E = \text{oblastí} - \text{děr} = 1 - 3 = -2$$

► Vektor tvaru

- z těžiště objektu jsou vysílány paprsky všemi směry
- délky paprsků od těžiště k hranici objektu tvoří vektor tvaru
- cyklický posun prvků vektoru = invariance na rotaci
- normalizace prvků vektoru na hodnotu jedna = invariance na změnu měřítka

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

- ▶ Popisují metrické vlastnosti objektů vypočítané z rozložení hraničních pixelů objektu

- ▶ Hranice může být reprezentována:
 - implicitně ... seznam hraničních pixelů, binární obraz
 - explicitně ... geometrické entity (úsečky, křivky, ...)

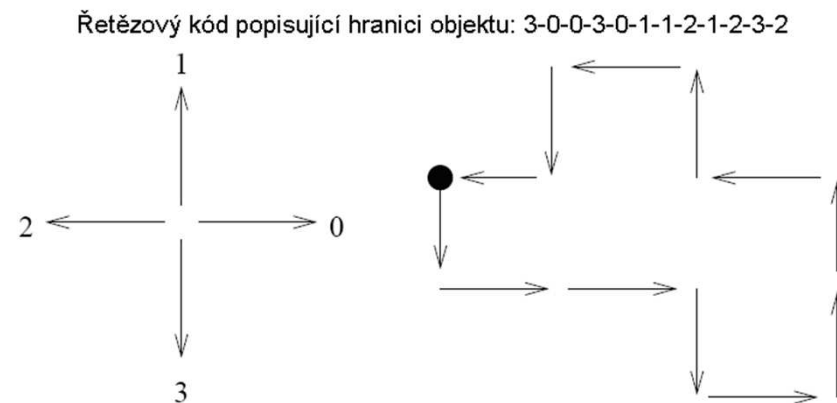
- ▶ Základní hraniční radiometrické deskriptory:
 - řetězový (Freemanův) kód

 - Fourierovy deskriptory

 - B-spline deskriptory

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

- ▶ Řetězový (Freemanův) kód
 - popisuje hranici objektu řetězcem symbolů s určenými směry
 - čtyři symboly pro 4-okolí nebo 8 symbolů pro 8-okolí
- ▶ Hraniční reprezentace tvaru pomocí řetězového kódu ve 4-okolí:

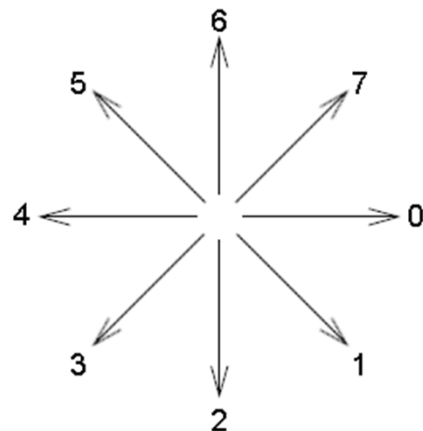


- ▶ Klasifikace = korelace řetězového kódu neznámého objektu s řetězovým kódem vzoru

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

- Hraniční reprezentace tvaru pomocí řetězového kódu v 8-okolí:

Řetězový kód popisující hranici objektu:
0-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-2-4-6-6-6-6-6-6-6-6-6-6-6-4-3-4-3-6-7-7-7-7



- Délka hranice = délka řetězového kódu
- V případě 8-okolí je třeba diagonální směry (zde 1,3,5 a 7) normalizovat koeficientem $\sqrt{2}$

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

► Fouriérový deskriptory:

- z obrazu hranice objektu je sestavena sekvence komplexních čísel
- souřadnice x = reálná část, souřadnice y = imaginární část komplexního čísla
- souřadnice těžiště objektu $P_t = (x_t, y_t)$, N = počet hraničních pixelů
- sekvence komplexních čísel se nazývá radiální funkce $s(n)$:

$$s(n) = x(n) - x_t + j \cdot (y(n) - y_t), \quad n = 1..N$$

► Aplikací FT na radiální funkci $s(n)$ periodickou s 2π jsou získány spektrální koeficienty $z(u)$:

$$z(u) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N s(n) \cdot e^{-\frac{jun}{N}}, \quad u = 1..N$$

► Koeficienty $z(u)$ ale nesplňují požadavky nezávislosti příznaků

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

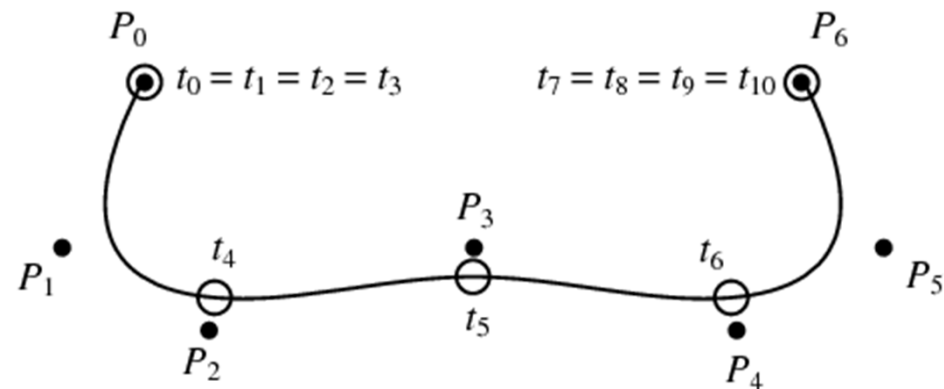
- ▶ Nezávislost na translaci:
 - dána přesnou segmentací
- ▶ Nezávislost na rotaci:
 - otočení objektu v obrazu se projeví cyklickým posunem prvků radiální funkce (souřadnice hranice objektu)
 - posun prvků radiální funkce se projeví změnou fáze $z(u)$ \Rightarrow amplituda zůstává beze změny \Rightarrow absolutní hodnoty $z(u)$ jsou nezávislé na rotaci
- ▶ Nezávislost na změně měřítka:
 - použití Fourierových deskriptorů $F(u)$ odvozených od spektrálních koeficientů $z(u)$
 - invariance je zajištěna normalizací stejnosměrnou složkou $z(1)$

$$F(u-2) = \frac{z(u)}{z(1)}, \quad u = 2..N$$

Radiometrické deskriptory založené na hranicích

► B-spline deskriptory:

- hranice objektu je aproximována po částech spojitými B-spline křivkami (nejčastěji třetího stupně)



- Tvar křivky je jednoznačně dán jejími koeficienty P_i (řídící body) a t_i (váhy)
- Klasifikace = korelace koeficientů B-spline křivek neznámého objektu ($P_i^?$, $t_i^?$) s koeficienty B-spline křivek vzoru (P_i^S , t_i^S)

Popis objektů

Karel Horák



Rozvrh přednášky:

1. Úvod.
2. Příznakový vektor.
3. Příznakový prostor.
4. Členění příznaků.
5. Identifikace oblastí.
6. Radiometrické deskriptory.
- 7. Fotometrické deskriptory.**

Fotometrické deskriptory

- ▶ Fotometrické deskriptory pracují s jasovými hodnotami segmentovaných objektů:

- ▶ Průměrná jasová úroveň objektu (Ω):

$$B_{mean} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{(x,y) \in \Omega} f(x, y)$$

- ▶ Maximální a minimální jasová úroveň:

$$B_{max} = \max(f(x, y)), \quad B_{min} = \min(f(x, y), \quad (x, y) \in \Omega)$$

- ▶ Diference extrémů jasové funkce:

$$B_{range} = B_{max} - B_{min}$$

- ▶ Diference jasové úrovně objektu (Ω) a okolí (Φ):

$$B_{diff} = B_{mean(\Omega)} - B_{mean(\Phi)}$$

Fotometrické deskriptory

- ▶ Fotometrické deskriptory pracují s jasovými hodnotami segmentovaných objektů:
- ▶ Deskriptory histogramu:
 - průměrná hodnota H_{mean}
 - kontrast H_{con}
 - energie H_{energy}
 - entropie H_{entropy}
- ▶ Geometrické momenty:
 - základní m_{pq}
 - centralizované μ_{pq}
 - normované v_{pq}
- ▶ Momentové invarianty:
 - základní ϕ_1 až ϕ_7
 - komplexní ψ_n

Fotometrické deskriptory – histogram

► Histogram:

- histogram $h(q)$ udává četnost zastoupení jasových úrovní q v obrazu
- ve spojitě oblasti se jedná o statistickou veličinu hustoty pravděpodobnosti $p(q)$, udávající pravděpodobnost, že náhodně vybraný pixel se vyznačuje právě jasovou úrovní q

► Deskriptory histogramu:

► Průměrná hodnota:

$$H_{mean} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{q=1}^N q \cdot h(q)$$

► Kontrast:

$$H_{con} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{q=1}^N (q \cdot h(q) - H_{mean})^2$$

► Energie:

$$H_{energy} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{q=1}^N h(q)^2$$

► Entropie:

$$H_{entropy} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{q=1}^N h(q) \cdot \log_2 h(q)$$

Fotometrické deskriptory – geometrické momenty

- ▶ Geometrické momenty:
 - fotometrické deskriptory založené na regionech
 - geometrický moment m_{pq} řádu $p+q$ obrazového segmentu $s(x,y)$ je dán relací:

$$m_{pq} = \sum_Y \sum_X x^p y^q s(x, y).$$

- ▶ Geometrických momentů lze teoreticky sestavit nekonečně mnoho → řád momentu $p+q$ není omezen (u vyšších řádů se výrazně projevuje šum)
- ▶ Geometrické momenty nejsou samy o sobě invariantní na obecně afinní transformaci:
 - kombinace translace, rotace a změny měřítka
- ▶ Nezávislost na změně měřítka:
 - výpočet v_{pq} normalizací m_{pq}
 - normalizace pomocí momentu nultého řádu m_{00} (součet jasových hodnot objektu)

$$v_{pq} = \frac{m_{pq}}{m_{00}^{\frac{p+q}{2}+1}}.$$

Fotometrické deskriptory – geometrické momenty

- ▶ Nezávislost na translaci:
 - přesná segmentace + výpočet centralizovaných geometrických momentů μ_{pq}
 - μ_{pq} vztažené zpravidla k těžišti objektu (x_t, y_t)

$$\mu_{pq} = \sum_Y \sum_X (x - x_t)^p \cdot (y - y_t)^q \cdot s(x, y).$$

- ▶ Těžiště objektu:
 - výpočet (x_t, y_t) pomocí geometrických momentů nultého a prvního stupně:

$$x_t = \frac{\sum_Y \sum_X x \cdot s(x, y)}{\sum_Y \sum_X s(x, y)} = \frac{m_{10}}{m_{00}}.$$

$$y_t = \frac{\sum_Y \sum_X y \cdot s(x, y)}{\sum_Y \sum_X s(x, y)} = \frac{m_{01}}{m_{00}}.$$

Fotometrické deskriptory – momentové invarianty

► Momentové invarianty:

- deskriptory složené z geometrických momentů
- sledují potřebu nezávislosti na obecně afinní transformaci, zejména rotaci
- základní sada sedmi momentových invariantů (M.K.Hu – 1962):

$$\phi_1 = \mu_{20} + \mu_{02}.$$

$$\phi_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2.$$

$$\phi_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2.$$

$$\phi_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2.$$

$$\phi_5 = (\mu_{30} - 3\mu_{12}) \cdot (\mu_{30} + \mu_{12}) \cdot [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3 \cdot (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + (3\mu_{21} - \mu_{03}) \cdot (\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot [3 \cdot (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2].$$

$$\phi_6 = (\mu_{20} - \mu_{02}) \cdot [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + 4\mu_{11}^2 \cdot (\mu_{30} + \mu_{12}) \cdot (\mu_{21} + \mu_{03}).$$

$$\phi_7 = (3\mu_{21} - \mu_{03}) \cdot (\mu_{30} + \mu_{12}) \cdot [(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3 \cdot (\mu_{21} + \mu_{03})^2] - (\mu_{30} - 3\mu_{12}) \cdot (\mu_{21} + \mu_{03}) \cdot [3 \cdot (\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2].$$

- Invariance translace – dána segmentací a centralizací → převod m_{pq} na μ_{pq}
- Invariance měřítka – dána normalizací → převod m_{pq} na v_{pq}
- Invariance rotace – dána momentovými invarianty → sestavení ϕ_n