

Zpracování digitalizovaného obrazu (ZDO) - Popisy I Úvod

Ing. Zdeněk Krňoul, Ph.D.

Katedra Kybernetiky
Fakulta aplikovaných věd
Západočeská univerzita v Plzni



- ▶ IDENTIFIKACE OBLASTÍ
- ▶ POPIS TVARU NA ZÁKLADĚ HRANICE OBLASTÍ
 - ▶ geometrické popisy hranice
 - ▶ segmentální popisy hranice a kódové popisy
- ▶ REPREZENTACE A POPIS TVARU VYCHÁZEJÍCÍ Z OBLASTI OBRAZU
 - ▶ Jednoduché skalární popisy
 - ▶ Momentový popis
 - ▶ Popis textury

Cílem popisu je určit:

- ▶ číselný vektor příznaků
- ▶ nečíselný syntaktický popis

který charakterizuje **tvarové** i **jiné vlastnosti** popisovaného objektu.

- ▶ Takový popis objektu/oblasti je potom předkládán **klasifikátoru** k rozpoznání.
- ▶ Tvarové vlastnosti jsou ve většině případů určovány jen dvourozměrně (tedy bez 3D rekonstrukce).
- ▶ Technika popisu bývá v některých případech úzce spojena s technikou segmentace (jakožto podmiňující operace k popisu)

Problematika definice tvaru:

- ▶ dosud se o tvaru hovořilo nejčastěji slovně (kulatý, podlouhlý, s ostrými rohy) nebo pomocí obrázků.
- ▶ s nástupem ICT vyvstala potřeba popsat i složité tvary tak, aby s nimi mohla výpočetní technika pracovat.
- ▶ přes existenci řady prakticky použitelných metod popisu tvaru **nebyla dosud vytvořena** obecná metodologie, dosavadní přístupy mají své klady i zápory.



Rozdělení metod popisů:

Charakter vstupní reprezentace:

- ▶ oblast
- ▶ hranice

Zachování informace:

- ▶ lze rekonstruovat tvar objektu
- ▶ nelze

Metody:

- ▶ matematické
- ▶ heuristické

Způsob reprezentace vede k popisu

- ▶ příznakovému
- ▶ syntaktickému

IDENTIFIKACE OBLASTÍ

- ▶ Identifikace oblastí(i) je nutným předpokladem k popisu
- ▶ Poskytuje možnost jednoznačné odvolávky / ukazatele na každou oblast obrazu

Barvení - Connected Components Labeling:

- ▶ každou oblast opatříme neopakujícím se přirozeným číslem
- ▶ pozadí má číslo 0, oblastem jsou přiřazena čísla od 1,
- ▶ pak největší identifikační číslo oblasti udává počet oblastí v obraze;
- ▶ tato identifikace bývá nazývána **barvení**

Jiná technika barvení oblastí:

- ▶ použijeme menší počet identifikačních čísel;
- ▶ pouze zajistíme, aby žádné dvě **sousední** oblasti neměly **stejně** identifikační číslo;
- ▶ teoreticky stačí čtyři barvy / čísla pro takové obarvení;
- ▶ pro identifikaci oblastí je pak třeba mít pro každou oblast uloženou informaci o poloze některého jejího bodu.



Barvení je sekvenční proces - první průchod:

- ▶ procházíme obraz po řádcích
- ▶ každému nenulovému obrazovému elementu přiřadíme hodnotu podle hodnoty všech jeho již obarvených sousedů
- ▶ jsou-li všechny nulové, přiřadíme bodu dosud nepřidělenou barvu
- ▶ pokud je jeden nenulový, nebo je více nenulových, ale se stejnou barvou, přiřadíme bodu tuto jeho/jejich barvu
- ▶ maska pro 4-okolí a 8-okolí:



- pokud je více nenulových s různou barvou, přiřadíme bodu jednu z těchto barev a zaznamenáme barvy do tzv. tabulky ekvivalence barev (došlo k tzv. *kolizi barev*)

0	0	1	0	1
0	0	1	0	1
0	0	1	0	1
0	1	1	1	1

	•
•	x

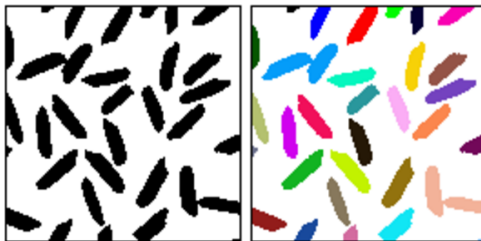
0	0	1	0	2
0	0	1	0	2
0	0	1	0	2
0	3	?	?	?

Pozn.: ke kolizi barev dochází v praxi velmi často u objektů tvaru:



Druhý průchod:

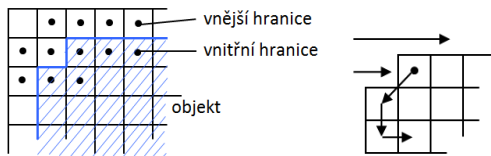
- ▶ projdeme znovu celý obraz po řádcích a přebarvíme obrazové body kolizních barev podle tabulky ekvivalence barev
- ▶ každé oblasti odpovídá označení jedinou, v jiné oblasti se nevyskytující barvou
- ▶ chceme-li barvením zároveň zjistit počet objektů, musí být při přebarvování přidělovány barvy z množiny přirozených čísel vzestupně tak, aby žádné nebylo vynecháno



POPIS TVARU NA ZÁKLADĚ HRANICE OBLASTÍ

Sledování hranice:

- ▶ používá se v případě, kdy není znám tvar hranice, ale kdy byly určeny oblasti (segmentace)
- ▶ cílem může být určení vnitřní nebo vnější hranice



Postup:

- ▶ procházíme obraz po řádcích, dokud nenalezneme obrazový element, náležící nové oblasti
- ▶ pak procházíme body, které jsou částí hranice proti směru hodinových ručiček

Jednoduché geometrické popisy hranice:

Délka – je základní vlastností hranice
nejjednodušší případ – založen na reprezentaci
Freemanovým kódem, sudé posuvy (horizontální a
vertikální) jsou ohodnoceny délkou 1, liché
(diagonální) délkou $\sqrt{2}$

Obvod oblasti - délka uzavřené hranice *Pozn.: délka bude větší v
4-okolí, protože diagonální posuvy jsou ohodnoceny 2*

Přímost hranice - Poměr mezi celkovým počtem buněk hranice a
počtem buněk, ve kterých hranice mění směr.



Popis hranice posloupností segmentů

Jednou z variant je popis posloupností segmentů daných vlastností. Je-li znám typ každého segmentu, je hranice popsána *řetězem typů segmentů*

Popis úseky konstantního zakřivení K přímkovým úsekům přibudou úseky, které lze nahradit polynomiální aproximací druhého řádu – **části kružnic, elips** atd. Výsledný popis je řetěz primitiv (typ úseků)¹;

Segmenty hranice Vychází z polygonálního popisu, který aproximuje oblast polygonální sítě, oblast je reprezentována její vrcholy² (např. významné body hranice). Segmenty hranice jsou v tomto případě úseky (okraj sítě), které lze nahradit úsečkou (lze použít aproximace s různou přesností).

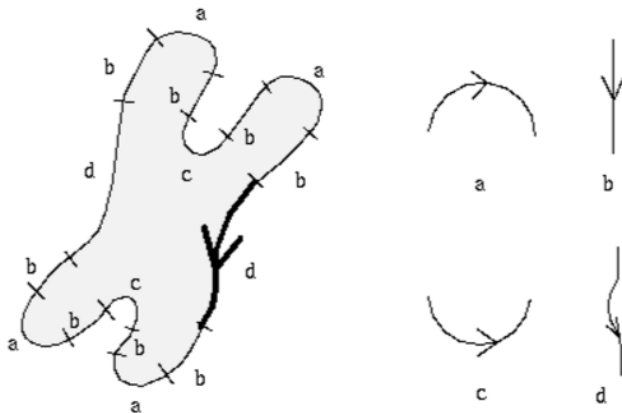
¹vhodný pro syntaktické rozpoznávání

²např. AAM model ... bude popsán později.

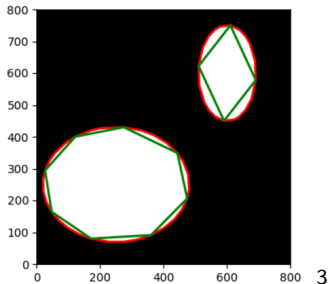
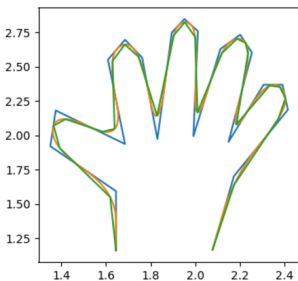
Technika nahrazování přímkovými úseky:

- ▶ Aglomerativní přístup: k segmentu jsou postupně přidávány body (úseky) hranice, dokud segment neztratí přímkový charakter. V tomto případě je založen nový segment.
- ▶ Divizní přístup: opačný přístup – rekurzivní štěpení. Vycházíme z koncových bodů a dělíme hranici na menší úseky tak dlouho, až všechny segmenty mají přímkový charakter (vyjádřený kritériem)





Obrázek: Příklad: Segmentový popis hranice objektu chromozonu
 posloupností 4 typů segmentů, získaný popis je
 (d, b, a, b, c, b, a, b, d, b, a, b, c, b, a, b)

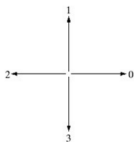


Obrázek: nalevo: aproximace hranice pomocí Douglas-Peucker algoritmu, napravo: rozdělení hranice na posloupnost křivek B-splines

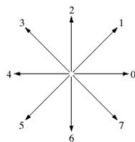
³<http://scikit-image.org>

Freemanovy řetězové kódy

- ▶ Hranice je určena počátečním bodem a posloupností symbolů odpovídajících úsečkám jednotkové délky.
- ▶ Přiřazení symbolů jednotlivým směrům je:



4-directional
chain code

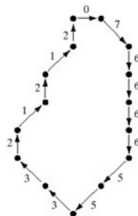


8-directional
chain code

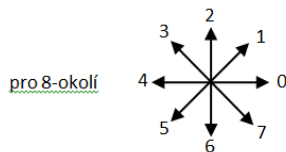
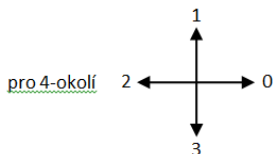
4-directional
chain code



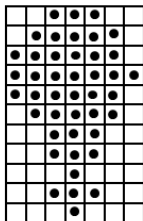
8-directional
chain code



Příklad:



Příklad:



5566776757131212132344

Má-li být Freemanův popis použit pro porovnání, může být :

Nezávislý na volbě počátečního bodu - jednou z užívaných metod je určit počáteční bod popisu tak, aby řetěz interpretovaný jako číslo v osmičkové (čtyřkové) soustavě bylo nejmenší číslo ze všech možných řetězů reprezentujících hranici. např.

5566776757131212132344 →

1212132344556677675713

Pevně natočený kód o k – násobek 45° (90°) – přičtení k ke každému symbolu řetězu modulo 8 (4)

Nezávislý na natočení - naopak má-li být popis nezávislý na natočení, lze použít derivaci (1. diferenci modulo 8 (4)), což je posloupnost čísel, která ukazují změny směru hranice. např.

5566776757131212132344 →

0101071622261717271101



Diferenční nezávislý - nezávislý na volbě počátečního bodu např.
0101071622261717271101 →
01010716222617172711

*pozn.: Freemanův řetězový kód lze použít také k popisu skeletu.
pozn. 2: Tento popis je vhodný pro syntaktické (strukturální)
metody rozpoznávání.*

[demo](#)

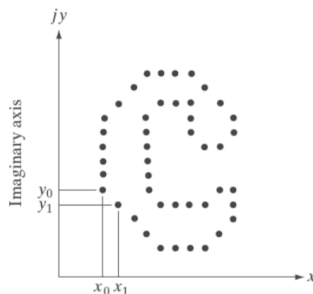
Fourier Descriptory

Popis tvaru z frekvenčního hlediska

- bod hranice vyjádřen jako komplexní číslo

$$s(k) = x(k) + jy(k) \quad k = 0, 1, 2 \dots K - 1 \quad (1)$$

x, y jsou souřadnice hranice



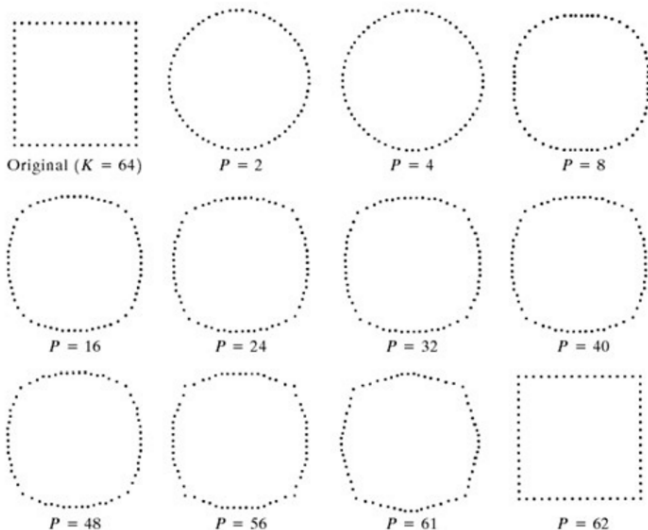
- Fourierův deskriptor je pak vyjádřen ve frekvenční oblasti jako:

$$a(u) = \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{\frac{-j2\pi uk}{K}} \quad u = 0, 1, 2 \dots K-1 \quad (2)$$

- a zpětná rekonstrukce (re-projekce) tvaru hranice do obrazové roviny je pak:

$$\hat{s}(k) = \frac{1}{K} \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{\frac{j2\pi uk}{K}} \quad k = 0, 1, 2 \dots K-1 \quad (3)$$

Fourierovy Descriptory



- Fourierovy descriptors nejsou invariantní k transformacím, ale jsou známy jejich vztahy k těmto transformacím:

- translate:

$$a_T(u) = a(u) + \Delta_{xy}\delta(u) \quad (4)$$

- rotace o úhel θ :

$$a_R(u) = a(u)e^{j\theta} \quad (5)$$

- změna měřítka α :

$$a_s(u) = \alpha a(u) \quad (6)$$

- změna volby počátku k_0 :

$$a_p(u) = a(u)e^{\frac{-j2\pi k_0 u}{K}} \quad (7)$$

REPREZENTACE A POPIS TVARU VYCHÁZEJÍCÍ Z OBLASTI OBRAZU

Jednoduché, heuristikami motivované postupy: např. velikost, pravoúhlost, podlouhlost, aj.

- ▶ Tyto charakteristiky jsou jednoduché a dávají dobré výsledky pro jednoduché tvary, pro složitější tvary však selhávají a je třeba volit postupy, které složité oblasti nejprve rozdělí na jednodušší části, které lze pospat samostatně.
- ▶ Objekt složený z takových částí lze popsat např. *rovinným grafem*, jehož uzly odpovídají částem vzniklým dekompozicí objektu.
- ▶ Dvě možné cesty – *kostra* nebo *dekompozice* (např. pomocí získávání konvexních podoblastí) → vytvoření grafu s uzly vázanými nějakou relací sousednosti



- Velikost - Area**
- ▶ nejjednodušší a zcela přirozená vlastnost
 - ▶ dána počtem obrazových elementů, obsažených v oblasti
 - ▶ při znalosti velikosti obrazového bodu lze zjistit i skutečnou velikost oblasti (velikost bodu nemusí být stejná pro všechny body obrazu – např. družicový snímek)
 - ▶ výpočet velikosti v obarveném obraze:

$$S_{area} = \sum_{i,j} g(i,j,p) \quad (8)$$

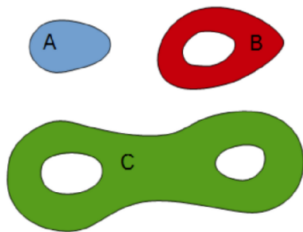
$$kde \ g(i,j,p) = \begin{cases} 1 & \text{pro } f(i,j) = p \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (9)$$

p je barva (identifikační číslo)

Eulerovo číslo ► nejjednodušší a zcela přirozená vlastnost

$$E = S - N \quad (10)$$

S - počet souvislých částí oblasti N - počet děr



Obrázek: Tři oblasti s Euler číslem $A=1$, $A=0$, $A=-1$ ⁴

⁴<http://imagej.net>

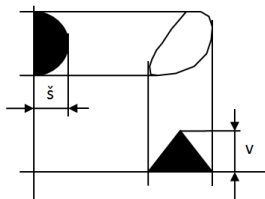
Horizontální projekce: promítnutí tvaru do y-sové osy obraz

$$p_H(i) = \sum_j g(i, j, p) \quad (11)$$

Vertikální projekce: promítnutí tvaru do x-nové osy obraz

$$p_V(j) = \sum_i g(i, j, p) \quad (12)$$

kde p je číslo oblasti



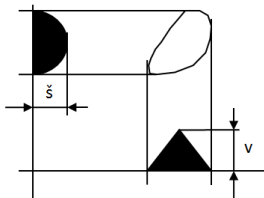
Výška:

$$vyska = \max_j p_V(j) \quad (13)$$

Šířka:

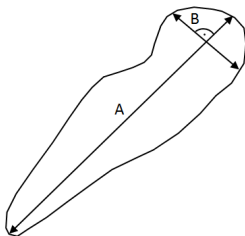
$$sirka = \max_i p_H(i) \quad (14)$$

Feretovy průměty – pro určitý úhel pohledu ► nejprve se provede rotace objektu o daný úhel
► pak se spočítá horizontální projekce

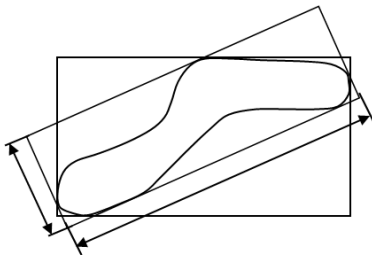


Popis tvaru:

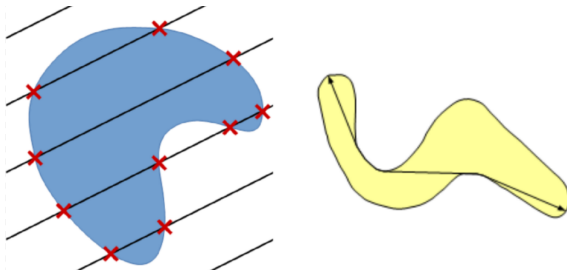
Výstřednost poměr délek nejdelší tětiny A a nejdelší k ní kolmé tětiny B



Podlouhlost poměr mezi délkou a šířkou pravouhelníku opsaného oblasti, který má nejmenší plochu ze všech pravouhelníků, které lze oblastí opsat



- Průměr a geodetický průměr**
- ▶ průměr - je vypočten postupným výpočtem průsečíků se sadou přímek;
 - ▶ geodetický průměr - je nejdelší ze vše nejkratších cest (spojnic) dvou bodů hranice nekonvexního objektu



Pravouhlost je maximum všech poměrů F_k mezi velikostí oblasti a plochou opsaného pravouhelníka v daném směru (natočení) k
 k měníme diskrétně, postačí měnit v rozmezí 0° až 90°

$$\text{pravouhlost} = \max_k F_k \quad ; \text{pravouhlost} \in (0, 1)$$

$\text{pravouhlost} = 1$ - popisuje dokonale pravouhlou oblast

- Směr**
- ▶ má smysl jen pro podlouhlé oblasti
 - ▶ směr delší strany opsaného obdélníku použitého pro výpočet podlouhlosti / pravouhlosti



Nekompaktnost je vlastnost daná poměrem obvodu oblasti a jejím obsahem

$$\text{nekompaktnost} = \frac{(o_{\text{area}})^2}{S_{\text{area}}}$$



kompaktní objekt



nekompaktní objekt

pozn. nejkompaktnější v Euklidově prostoru je kruh

- ▶ Interpretujeme normalizovanou jasovou funkci obrazu jako hustotu pravděpodobnosti dvojrozměrné náhodné veličiny.
- ▶ Vlastnosti této veličiny lze vyjádřit pomocí statistických vlastností – momentů.
- ▶ Lze použít pro binární i šedotónové obrazy.

Obecný moment

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy$$

v diskrétním případě (obrazu)

$$m_{pq} = \sum_{i,j} i^p j^q f(i, j)$$

pozn. není invariantní vůči změně velikosti, natočení, posunutí, ani šedotónovým transformacím



Centrální moment

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - x_t)^p (y - y_t)^q f(x, y) dx dy$$

v diskrétním případě (obrazu)

$$\mu_{pq} = \sum_{i,j} (i - i_t)^p (j - j_t)^q f(i, j)$$

kde $i_t = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ a $j_t = \frac{m_{01}}{m_{00}}$

pozn. je invariantní vůči posunu

Normovaný centrální moment

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{(\mu_{00})^\gamma}$$

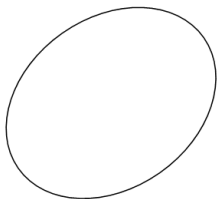
kde

$$\gamma = \text{cela cast} \left(\frac{p+q}{2} \right) + 1$$

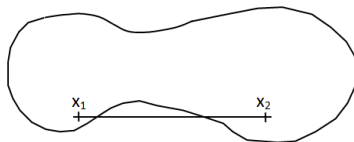
pozn. je navíc invariantní vůči změně měřítka

Další popisy tvaru - konvexní popisy

Oblast R je *konvexní* právě tehdy, když pro každé dva body $x_1, x_2 \in R$ platí, že všechny body úsečky x_1, x_2 také patří do R .

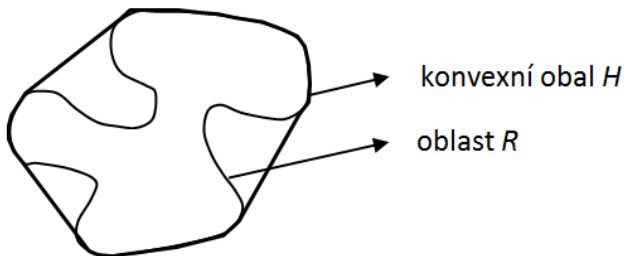


konvexní oblast

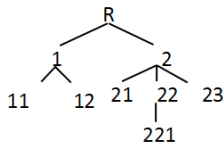
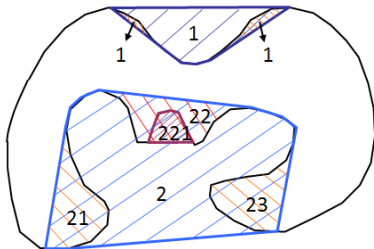


konkávní oblast

Konvexní obal ► nejmenší konvexní oblast H taková, že $R \subset H$



Strom konkávnosti oblastí ► vytváříme konvexní obal oblastí, konvexní obal konkávní části, obal konkávních částí těchto částí, atd.



Připomněme, že výše zmíněné popisy jsou jednoduché a primitivní a používají se vždy kombinovaně a pro popis pouze logických částí komplexního objektu

Výhody reprezentace oblastí grafem:

- ▶ nezávislost na poloze a natočení, přitom obě vlastnosti mohou být do popisu grafem zahrnuty
- ▶ necitlivost vůči konkrétnímu provedení daného tvaru
- ▶ nezávislost na velikosti (pokud nedochází ke kolizi s rozlišením obrazu)
- ▶ člověku blízká tvarová reprezentace, ze které lze snadno určit významné prvky popisu
- ▶ vhodná pro syntaktické rozpoznávání

Pozn. Z uvedených vlastností plyne i složitost získávání tvarového popisu. Chceme-li se přiblížit skutečnému počítačovému vidění, jiné cesty pravděpodobně není.



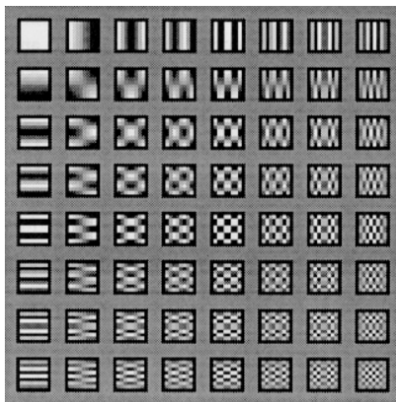
Diskrétní cosinová transformace - Discrete Cosine Transform (DCT)

- ▶ principiálně vychází z Fourierovy transformace (tam je dekompozice do sin a cos fcí.)
- ▶ vhodný popis např. pro textury
- ▶ v základu získáváme popis části (bloku) oblasti funkcí vyjádřenou jako suma consinových funkcí kmitajících na různých frekvencích a různou amplitudou
- ▶ pouze reálná koeficienty

$$F(u, v) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sqrt{\frac{2}{M}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \Lambda(i) \Lambda(j) \cos\left[\frac{\pi u}{2N}(2i+1)\right] \cos\left[\frac{\pi v}{2M}(2j+1)\right] f(i, j) \quad (15)$$

- ▶ kde M, N jsou rozměry bloku a $f(i, j)$ je jasová funkce

- ▶ princip je využít např. v JPEG kompresi, kdy kompresí jsou vysoké frekvence zahozeny
- ▶ oblast často rozložena např. na 8×8 px. bloky ($N = 8$) v kterých se DCT koeficienty Λ počítají
- ▶ ekvivalentní přístup je výpočet konvoluce s předpočítanými 2D cos bazovými funkcemi



Gaborovy filtry - Gabor filter

- ▶ Gaborovy filtry jsou popisy pro obecnou analýzu textury (reprezentaci nebo diskriminaci) nebo často pro popisy vhodné pro OCR, otisk prstů aj.
- ▶ 2D Gabor filtry jsou Gaussian kernel funkce modulované sinusovou rovinou vlnou.

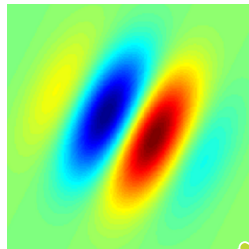
$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(i\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right)\right)$$

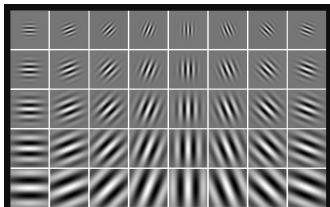
kde

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

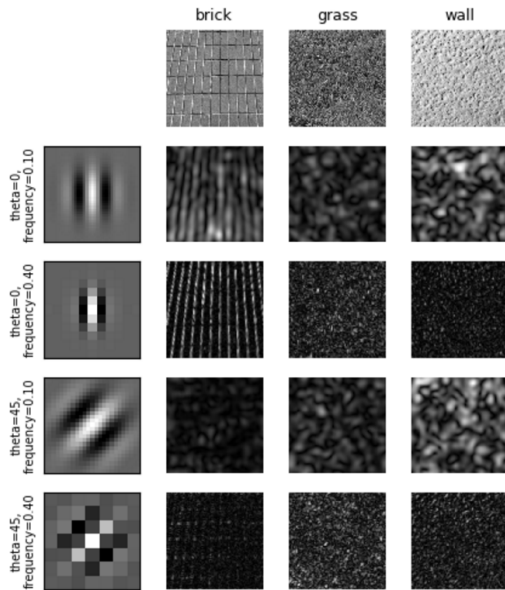
$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

λ reprezentuje délku vlnky, θ orientaci, ψ fázový posun, σ směrodatná odchylka modulační funkce a γ aspekt ratio (zploštění vlnky)





- ▶ Popisy textur založené na Gaborovém filtru využívají vždy nějakou sadu filtrů
- ▶ Obsažená frekvence a orientace filtrů se podobná postupu, které používá člověk
- ▶ Obrázky jsou filtrovány použitím reálné části různých kernel funkcí
- ▶ Střední hodnota a rozptyl filtrovaných obrázků jsou použity jako popisy přímo pro klasifikaci (v nejjednodušším případě podle nejmenší kvadratické chyby).



demo (<http://matlabserver.cs.rug.nl/cgi-bin/matweb.exe>)