

Segmentace

Ilona Janáková



Rozvrh přednášky:

1. Úvod do segmentace.
2. Segmentace prahováním.
3. Segmentace z obrazu hran.
4. Segmentace z obrazu hran - Houghova transformace.

Segmentace

Ilona Janáková



Machine Vision Group

Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

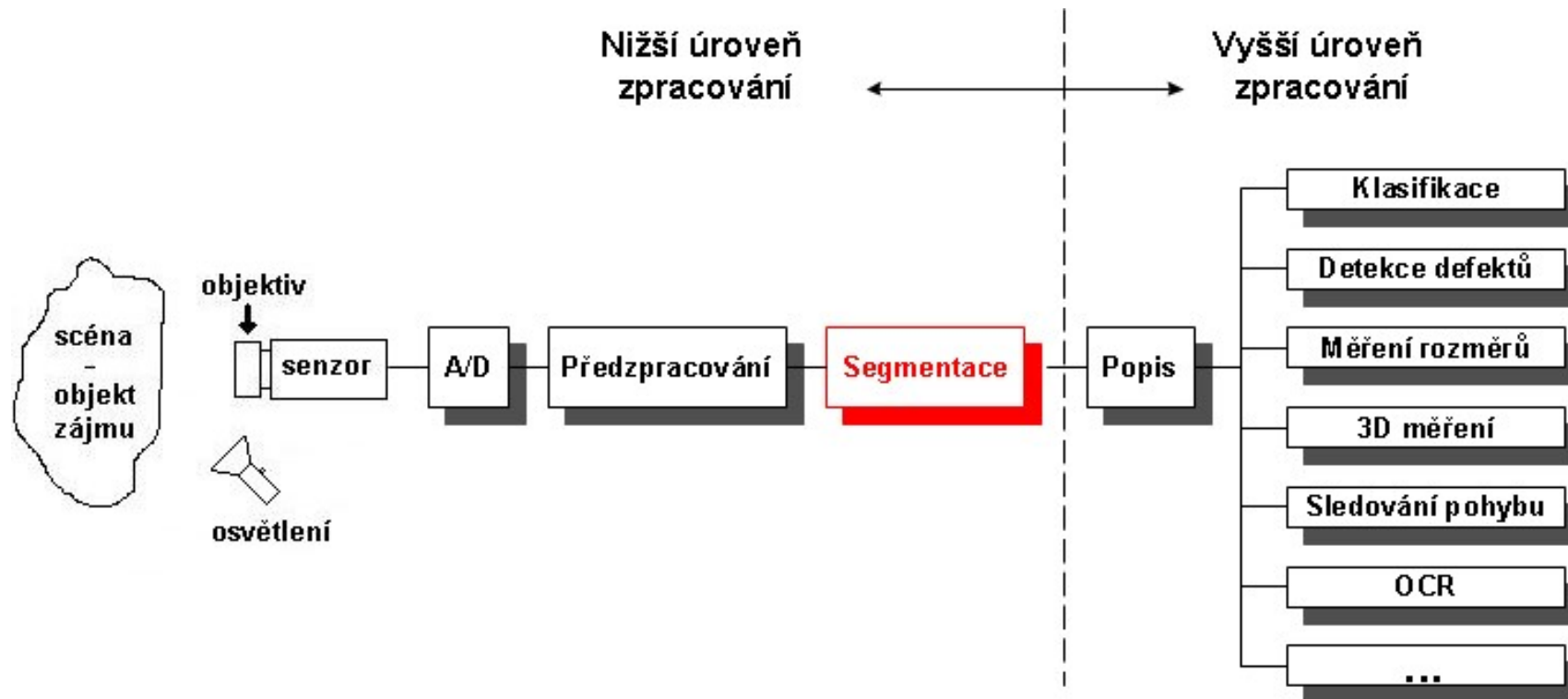
Rozvrh přednášky:

- 1. Úvod do segmentace.**
2. Segmentace prahováním.
3. Segmentace z obrazu hran.
4. Segmentace z obrazu hran - Houghova transformace.

Úvod do segmentace

► Cíl segmentace:

- rozčlenit obraz do částí, které souvisí s předměty či oblastmi reálného světa = oddělení objektů od pozadí, každému pixelu je přiřazen index segmentu představující určitý objekt v obraze
- analýza obsahu obrazu
- obraz chystáme pro další krok = popis
- redukce dat, zjednodušení



Úvod do segmentace

▸ Segmentace vychází z:

- globální znalosti obrazu – barva, tvar, poloha, bod objektu,...
- určování hranic mezi oblastmi
- určování / vytváření oblastí

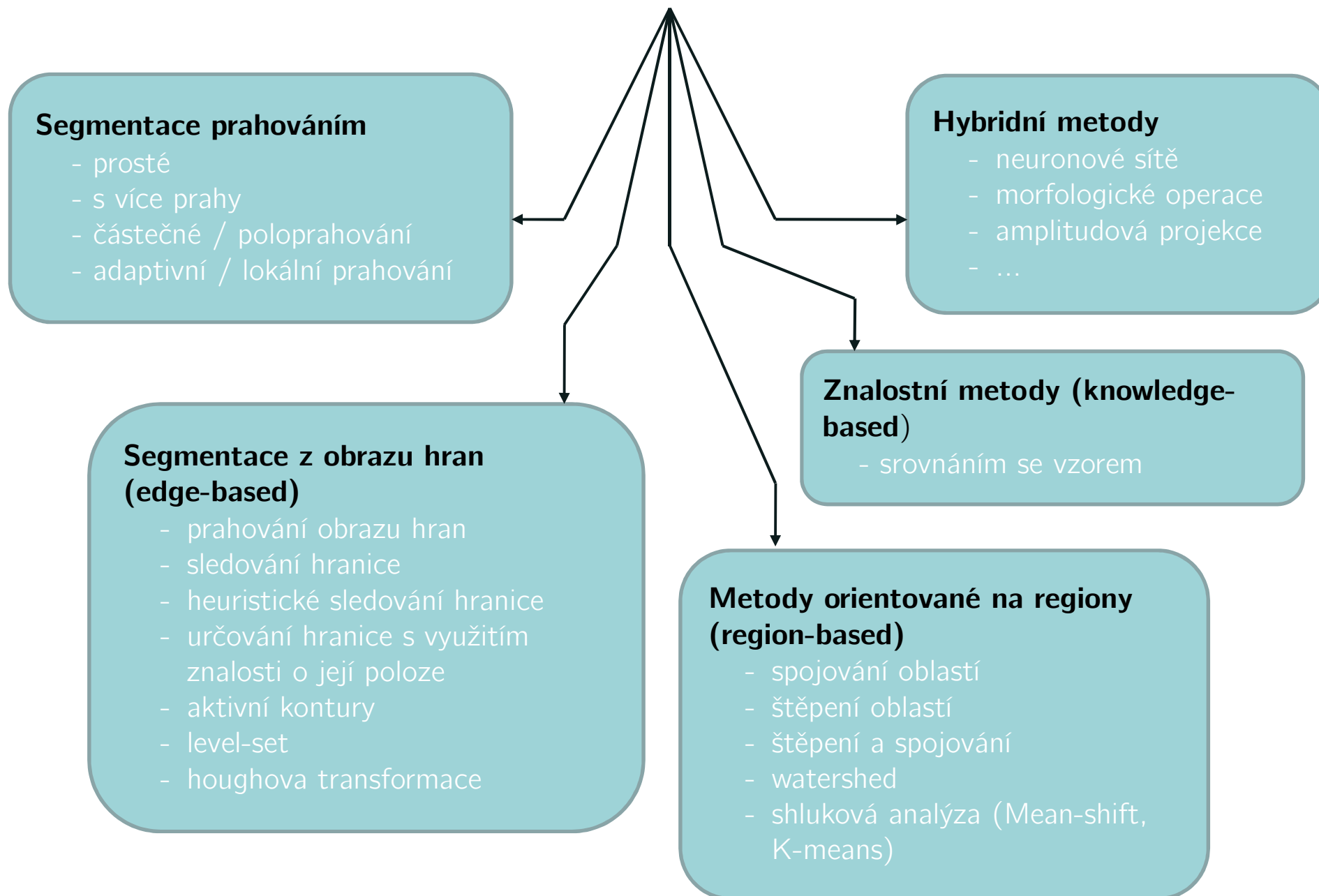
▸ Výsledek segmentace:

- postupem by měl být soubor vzájemně se nepřekrývajících oblastí (samostatné části homogenní vzhledem k určitým vlastnostem jako např. jas, barva, textura), které
 - jednoznačně korespondují s objekty (kompletní segmentace)
 - nemusí přímo korespondovat s objekty (částečná segmentace)
- výstup může být různý podle dalšího využití, např.: binární obraz, část/i obrazu, poloha objektu v obrazu atd.
- záleží na složitosti scény, na použité metodě, na dalších krocích řetězce zpracování, ...

▸ Problémy:

- při procesu pořízení obrazu – šum, nerovnoměrné osvětlení,...
- nejednoznačnost obrazových dat, složitost scény, překrývající se objekty
- různé metody nebo stejná metoda s různými parametry (počátek, práh, ...) dávají různé výsledky
- jedna metoda není vhodná pro všechny typy úloh (snímky)

Úvod do segmentace – segmentační metody



Segmentace

Ilona Kalová



Rozvrh přednášky:

1. Úvod do segmentace.
- 2. Segmentace prahováním.**
3. Segmentace z obrazu hran.
4. Segmentace z obrazu hran - Houghova transformace.

Segmentace prahováním

- ▮ objekty či oblasti jsou charakterizovány konstantní odrazivostí či pohltivostí svého povrchu – barva, jas X objekt a pozadí mají rozdílné vlastnosti
- ▮ Prahování - bodová jasová transformace vstupního obrazu g na výstupní binární obraz f s prahem T
 - obrazové elementy náležející objektu (jas větší než práh) mají hodnotu 1
 - pixely náležející k pozadí mají hodnotu 0:

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } g(i, j) \geq T \\ 0 & \text{pro } g(i, j) < T \end{cases}$$

▮ Prahování:

- prosté
- s více prahy
- částečné / poloprahování
- adaptivní / lokální prahování
- prahování s hysterezí

Způsoby určení prahu:

- experimentálně
- z histogramu
- procentní
- ze statistik
- z globální znalosti

Segmentace prahováním – prosté prahování



originál



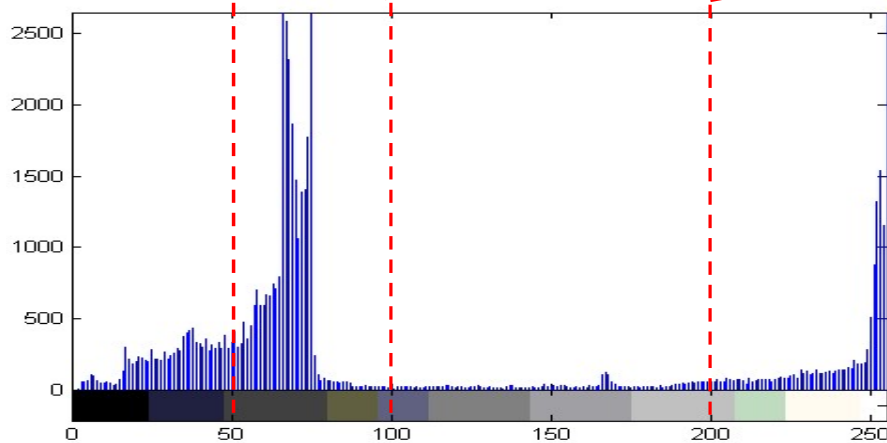
práh = 50



práh = 100



práh = 200



10

Segmentace prahováním – prahování s více prahy

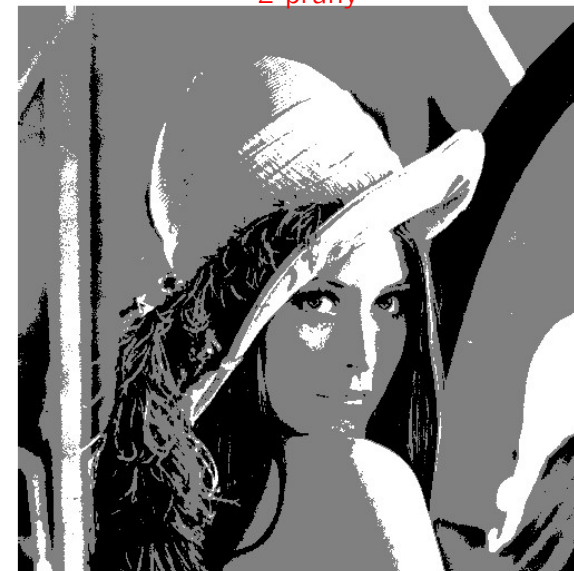
$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } g(i, j) \in A_1 \\ 2 & \text{pro } g(i, j) \in A_2 \\ \dots & \\ n & \text{pro } g(i, j) \geq A_n \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

A_i jsou podmnožiny jasových úrovní

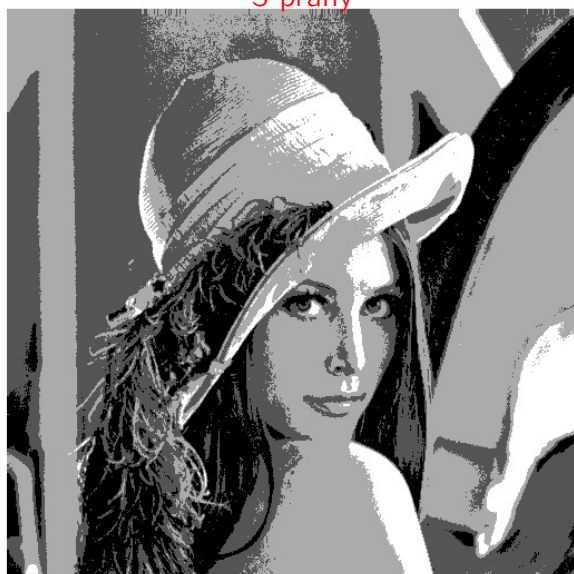
1 práh



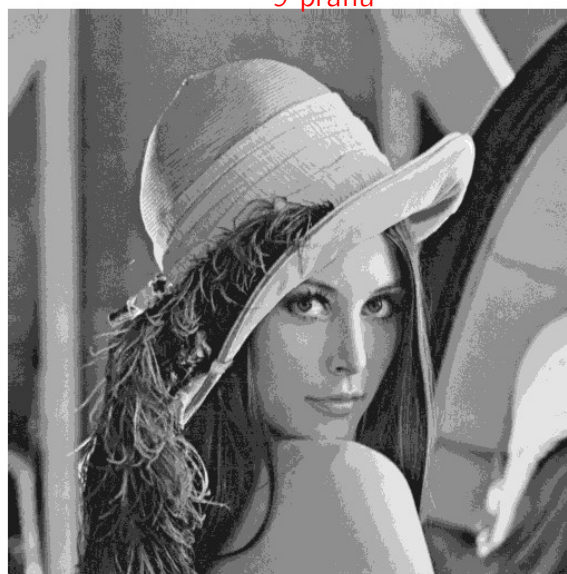
2 prahy



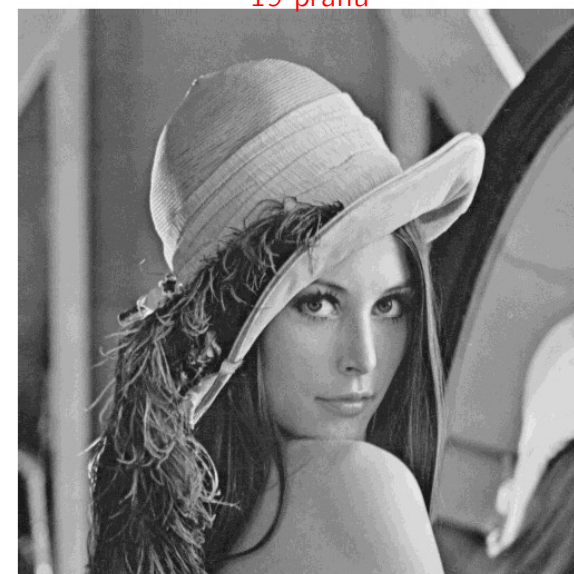
3 prahy



9 prahů



19 prahů



Segmentace prahováním – částečné prahování

Original



$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } g(i, j) \geq T \\ g(i, j) & \text{pro } g(i, j) < T \end{cases}$$

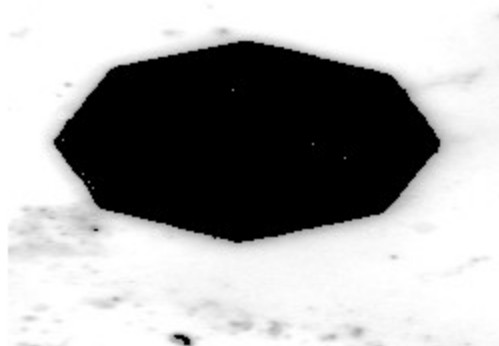
$$f(i, j) = \begin{cases} g(i, j) & \text{pro } g(i, j) \geq T \\ 0 & \text{pro } g(i, j) < T \end{cases}$$

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{pro } g(i, j) \geq T1 \\ g(i, j) & \text{pro } g(i, j) \in (T1, T2) \\ 0 & \text{pro } g(i, j) \leq T2 \end{cases}$$

jednostranne, < 150 zustava



jednostranne, > 150 zustava



oboustranne, 50 - 200 zustava

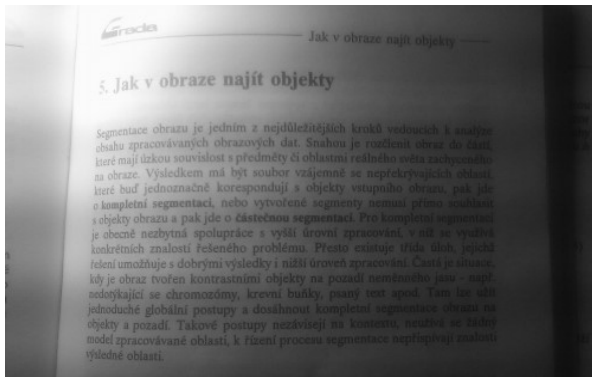


Segmentace prahováním – adaptivní prahování

- ▶ Při adaptivním prahování je práh funkcí polohy v obrazu, tj. je určován vždy pro část obrazu
- ▶ Problém jak správně určit velikost oblastí
- ▶ Pokud obraz rozdělen do několika daných oblastí mohou vznikat artefakty na přechodech

Řešení: - částečně se překrývající oblasti
 - interpolace hodnot mezi oblastmi
 - lokální oblast kolem každého pixelu – výpočetně náročné

- ▶ Vhodné např. pro snímky s nerovnoměrným osvětlením (pokud není vyřešeno v rámci předzpracování)



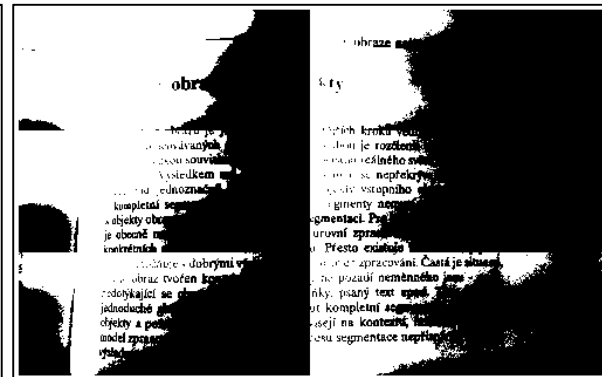
Originální obraz

každý pixel: oblast 11x11pxl – stř.hod.



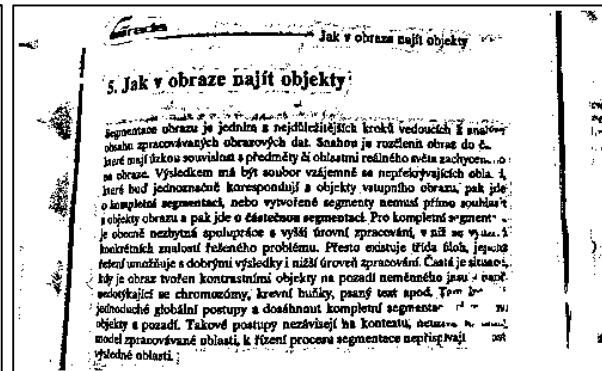
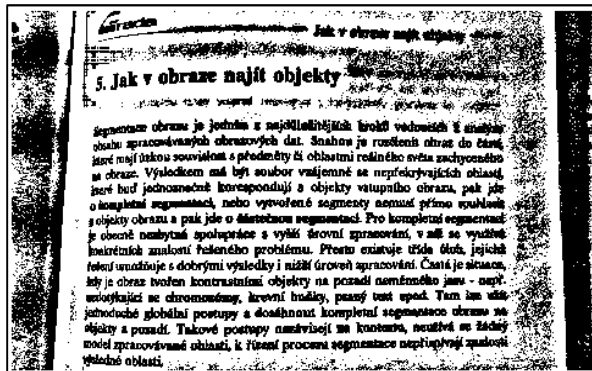
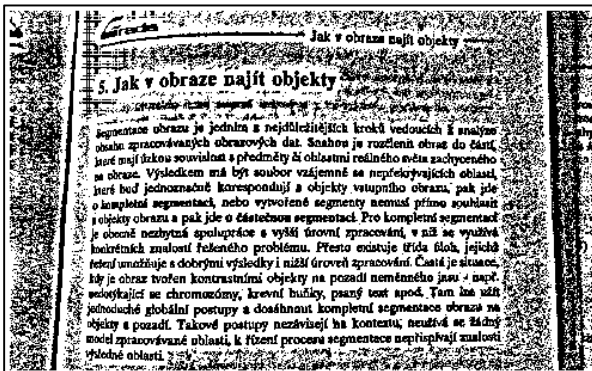
globální práh

oblast 21x21pxl – stř.hod.



obraz rozdělen na šestiny

oblast 11x11pxl – stř.hod. + 1 pokud malý rozptyl

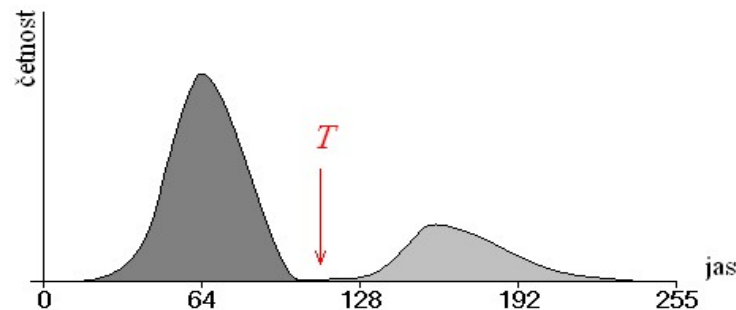


Segmentace prahováním – určení prahu

► a) experimentálně

► b) z histogramu (graf četností výskytu jednotlivých jasových úrovní v obrazu)

- vhodné pro bi-modální histogramy (se dvěma dobře separovatelnými maximy)
 - lokální minimum mezi dvěma maximy
 - polovina vzdálenosti mezi dvěma maximy
 - překrývající se rozsahy – Otsu prahování



Otsu prahování

minimalizace vnitřního rozptylu (w)

$$\sigma_w^2(T) = n_0(T)\sigma_0^2(T) + n_1(T)\sigma_1^2(T)$$

nebo maximalizace mezi-rozptylu (b)

$$\sigma_b^2(T) = n_0(T)n_1(T)[\mu_0(T) - \mu_1(T)]^2$$

$$n_0(T) = \sum_{i=0}^{T-1} p(i) \quad \mu_0(T) = \sum_{i=0}^{T-1} i \frac{p(i)}{n_0}$$

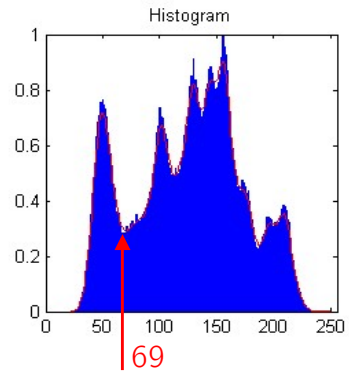
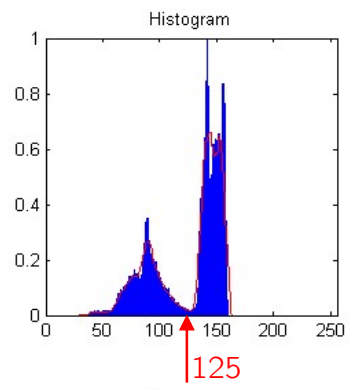
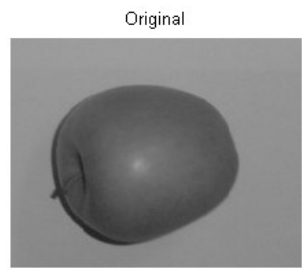
$$n_1(T) = \sum_{i=T}^{N-1} p(i) \quad \mu_1(T) = \sum_{i=T}^{N-1} i \frac{p(i)}{n_1}$$

T ... zvažovaný práh

p(i)... počet pixelů o dané intenzitě

μ_0 a μ_1 ... průměrná hodnota intenzity pozadí a popředí

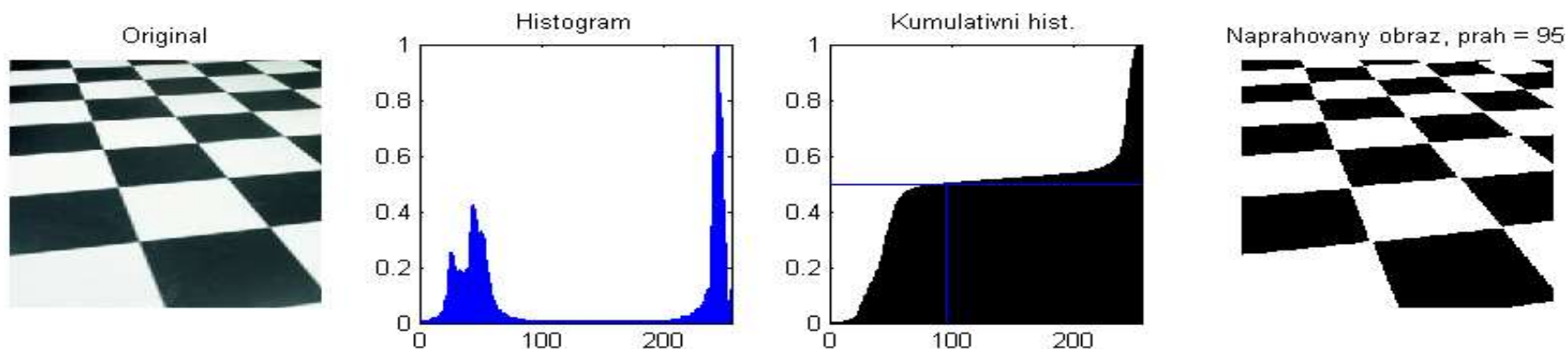
σ_0 a σ_0 ... rozptyly pozadí a popředí



Segmentace prahováním – určení prahu

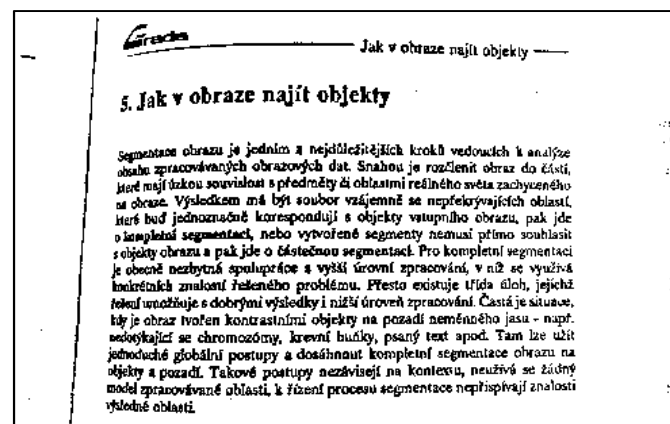
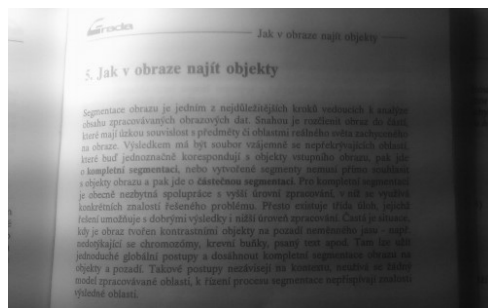
c) procentní

- vychází z odhadu plochy, kterou objekt zaujímá vzhledem k celému snímku
- pokud např. víme, že objekt pokrývá 20 %, zvolím prahovou hodnotu T tak, aby právě 20 % plochy histogramu mělo úroveň jasu menší než T – relativní kumulativní histogram
- např. pokrytí stránky tištěným textem, objekt dané velikosti v daném zorném poli



d) ze statistik

- práh T určen jako statistika z dané oblasti např.:
- střední hodnota, medián, $(\max + \min) / 2$, ...



Medián – oblast 11x11pxl

e) z globální znalosti

- prahování na základě jiné apriorní znalosti – např. barva kůže

Segmentace

Ilona Kalová



Rozvrh přednášky:

1. Úvod do segmentace.
2. Segmentace prahováním.
- 3. Segmentace z obrazu hran.**
4. Segmentace z obrazu hran - Houghova transformace.

Segmentace z obrazu hran

► **Využívá se:**

- hrana nalezena některým z hranových operátorů (předzpracování) – hranice oblastí objektu sestávají z hran
- hrana detekována postupně jako krajní pixely oblasti s jasnem jiným než je pozadí
- apriorní informace (víme předem něco o objektech např. přibližný tvar, polohu nebo barvu) – lepší segmentace, ověření kvality segmentace

► **Požadavky:**

- minimální počet chyb (žádná opomenutá významná hrana; žádná detekována místa, která hranami nejsou)
- přesnost (rozdíl mezi skutečnou a nalezenou hranou by měl být minimální)
- jednoznačnost (na jednu hranu nesmí reagovat vícenásobně)

► **Problémy:**

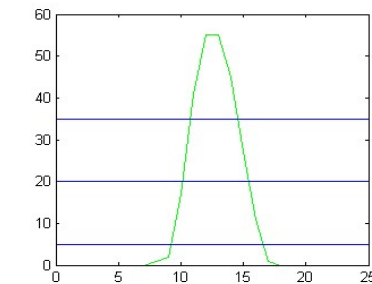
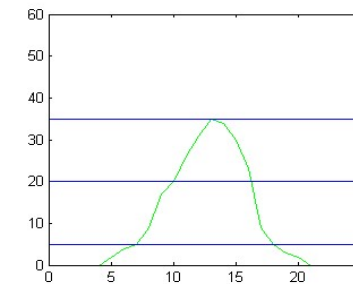
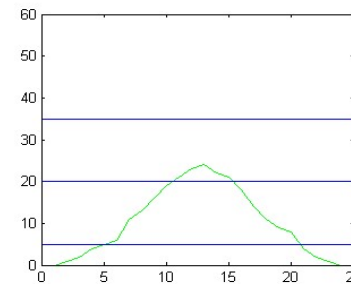
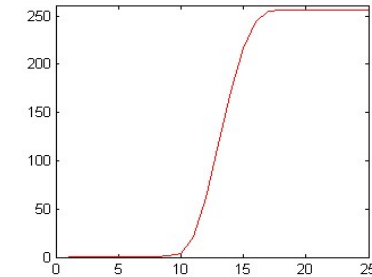
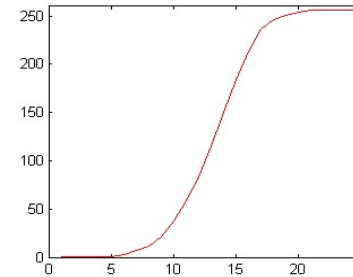
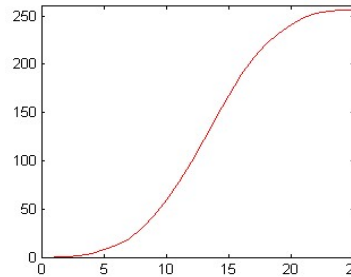
- absence hran tam, kde hranice probíhá
- výskyt hran tam, kde hranice být nemá, dvojité hrany

Segmentace z obrazu hran (edge-based)

- prahování obrazu hran
- sledování hranice
- heuristické sledování hranice
- určování hranice s využitím znalosti o její poloze
- aktivní kontury
- level-set
- houghova transformace

Segmentace z obrazu hran – prahování

- hranové operátory – Sobel, Prewitt, Roberts, Kirsch, Laplacián, ...
- velikost hrany = difference
- ostrá hrana může s nízkým prahem dávat menší příspěvek



Original



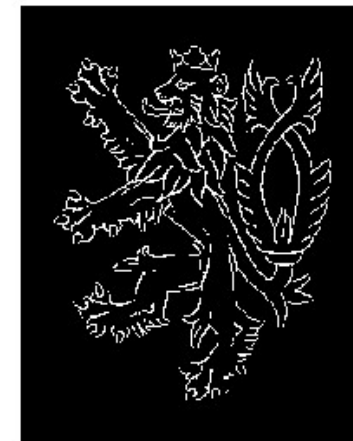
Laplacian, osmiokoli



Laplacian s prahem 40



Laplacian s prahem 220



Segmentace z obrazu hran – Cannyho detektor

- Postup, který zahrnuje několik kroků pro co nejlepší splnění požadavků:

Doporučený postup:

1. Eliminace šumu (nejčastěji Gaussův filtr)
2. Určení velikosti a směru gradientů (první derivace, např. Sobel)
3. Ztenčení – nalezení lokálních maxim
4. Prahování s hysterezí – eliminace nevýznamných hran

Prahování s hysterezí:

Předem stanoveny dva prahy – vyšší (T_H) a nižší (T_L).

- hodnoty hran $> T_H$ jsou ihned uznány jako hrany
- hodnoty $< T_L$ nejsou uznány
- v intervalu $< T_L; T_H >$ jsou uznány jen, pokud již dříve byl uznán jako hrana některý z okolních bodů

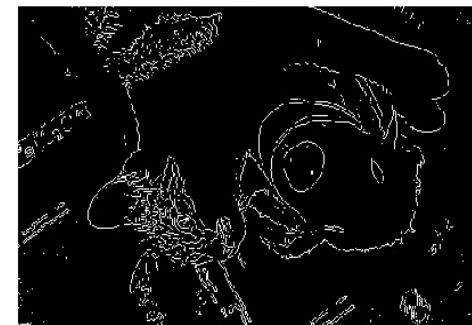
Original



Roberts, prah = 10



Prewitt, prah = 10



Canny, TL = 25, TH = 80, sigma = 1



Canny, TL = 25, TH = 80, sigma = 3

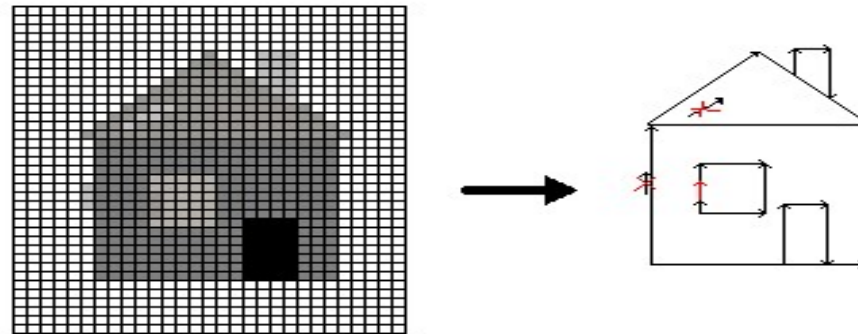


Canny, TL = 10, TH = 125, sigma = 3



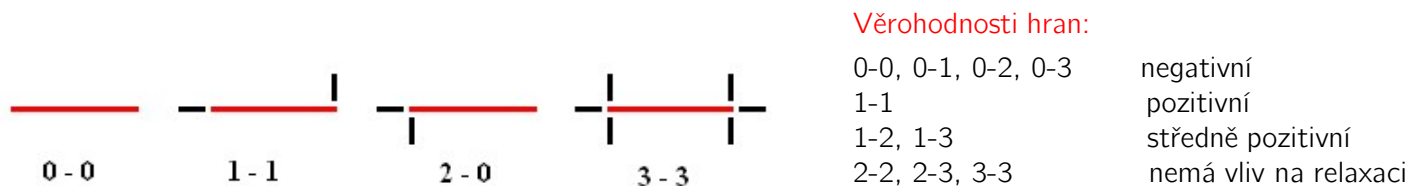
Segmentace z obrazu hran – heuristické sledování hranice

- využívá postupů prohledávání grafů, hrany jsou spojovány do řetězů lépe odpovídajících průběhu hranic
- graf = struktura sestávající z množiny uzlů $\{n_i\}$ a z orientovaných spojnic mezi uzly $\{n_i, n_j\}$, hrany mohou být i ohodnoceny (cena - např. velikost změny jasu, délka hrany atd.)
- generování grafu – soubor pravidel na základě údajů o velikosti a směru hrany v každém bodě obrazu
- prohledávání grafu – zjednodušení, ucelení grafu – relaxace hran, hledání nejkratší cesty, cesta s nejmenší cenou atd.



Relaxace hran

- cílem je vytvořit souvislé hranice
- všechny vlastnosti hranice včetně té, zda hrana má či nemá existovat, jsou postupně iteračním způsobem zpřesňovány, dokud není hranový kontext zcela zřejmý
- podle pozice a velikosti hran ve vhodně zvoleném okolí se věrohodnost každé hrany buď zvětšuje nebo zmenšuje



Segmentace z obrazu hran – Aktivní kontury (snakes)

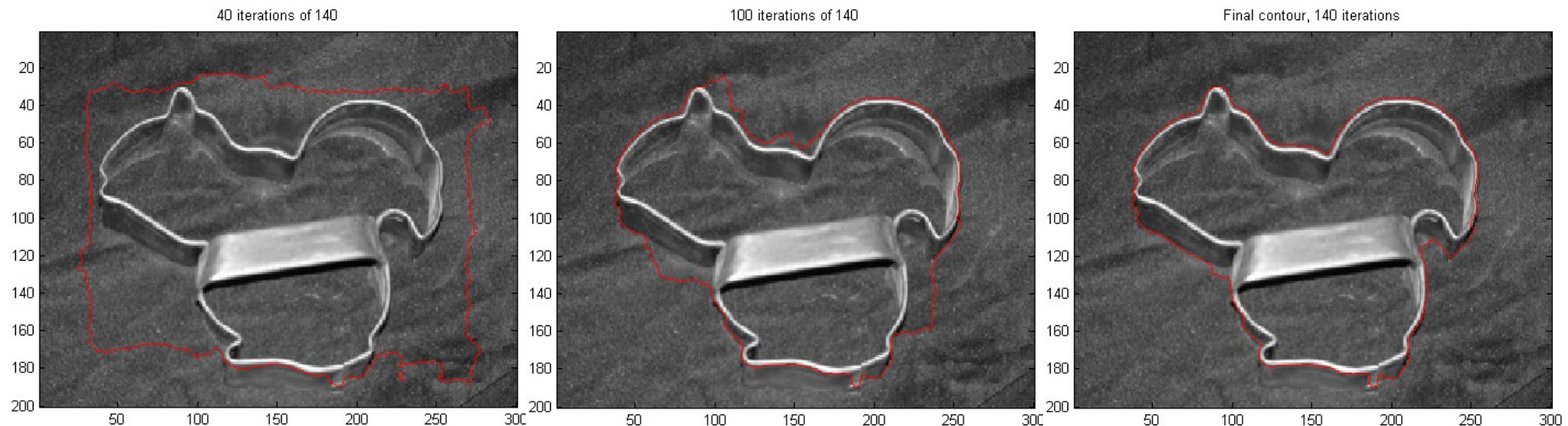
- ▶ Metoda postupného tvarování kontur až ke hraně objektu v obrazu:
 - iterativní postup minimalizace energie
 - aktivní kontura je řízená uzavřená kontura, která se deformuje vlivem tzv. vnitřních, obrazových a vnějších sil.
 - vnitřní síly kontrolují hladkost průběhu (ohyb, zlom) E_N
 - obrazové síly směřují tvarování kontury směrem ke hraně objektu E_I
 - vnější síly jsou výsledkem počátečního umístění kontury E_T

Kontura - diskrétní sada bodů: $p_n = [x_n, y_n]$, pro $n = 0, 1, \dots, N$

Výsledná pozice kontury = lokální minimum energie kontury:

$$E_s = \sum_{n=1}^N E_N \{p_n\} + \sum_{n=1}^N E_I \{p_n\} + \sum_{n=1}^N E_T \{p_n\}$$

Existuje mnoho navržených postupů měření výše uvedených energií

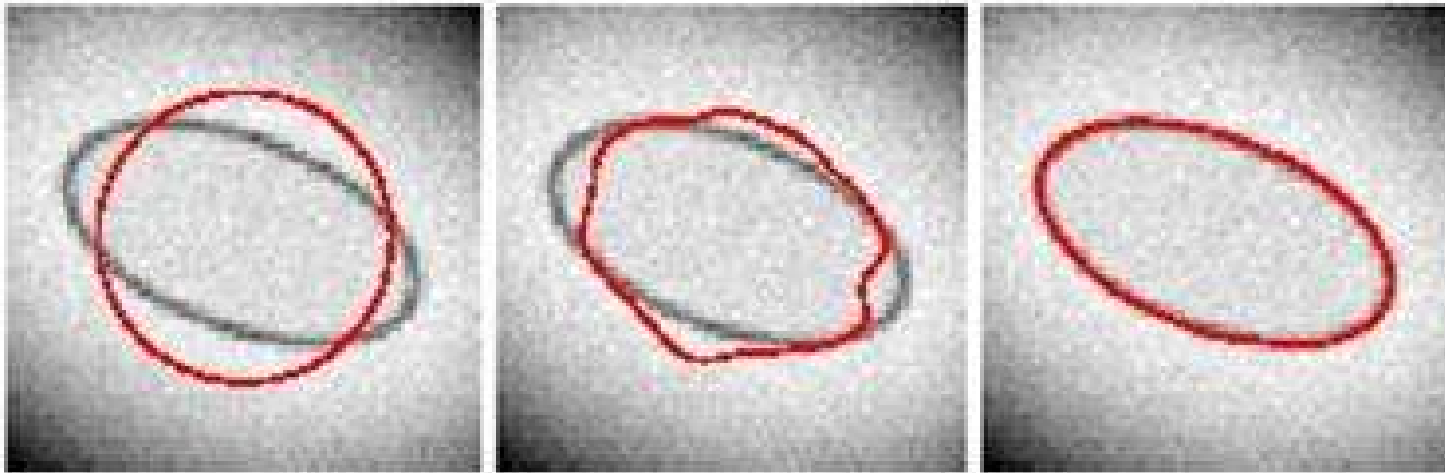
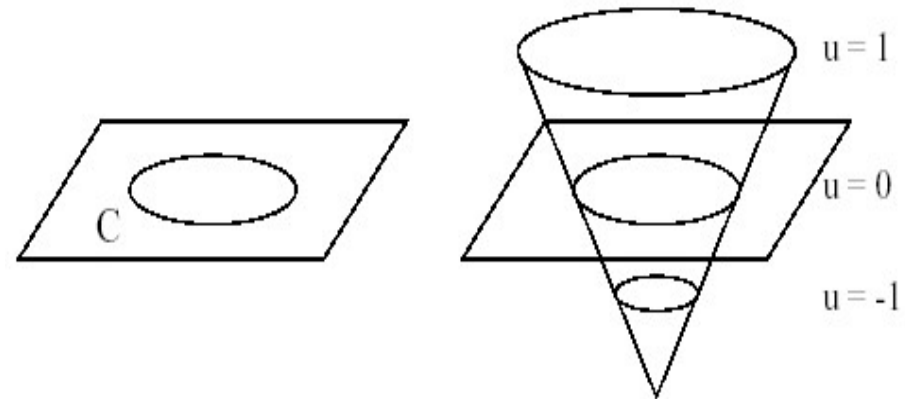


Segmentace z obrazu hran – Level-set

- Obdobný přístup jako aktivní kontury - tvar křivky však neměníme přímo, ale prostřednictvím level-set funkce (*level set function*)

Level-set funkce

- vícedimenzionální funkce (např. tvaru jehlanu), kdy řez nulovou hladinou – řez v rovině xy (*zero level set*) definuje počáteční křivku
- přiřazuje každému bodu roviny xy jeho výšku u nad nebo pod nulovou hladinou = povrch funkce se postupně adaptuje vzhledem k zadaným metrikám křivosti a obrazovým gradientům
- level-set segmentace může být efektivnější pro komplexní objekty se složitými tvary



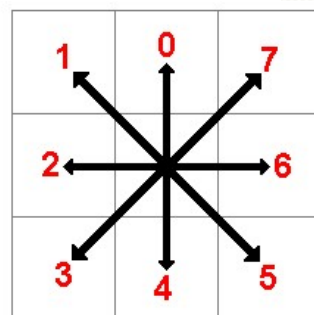
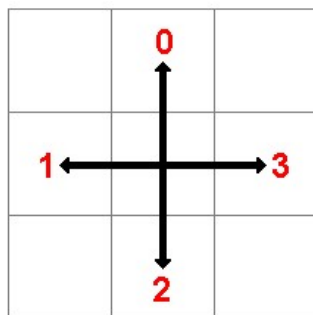
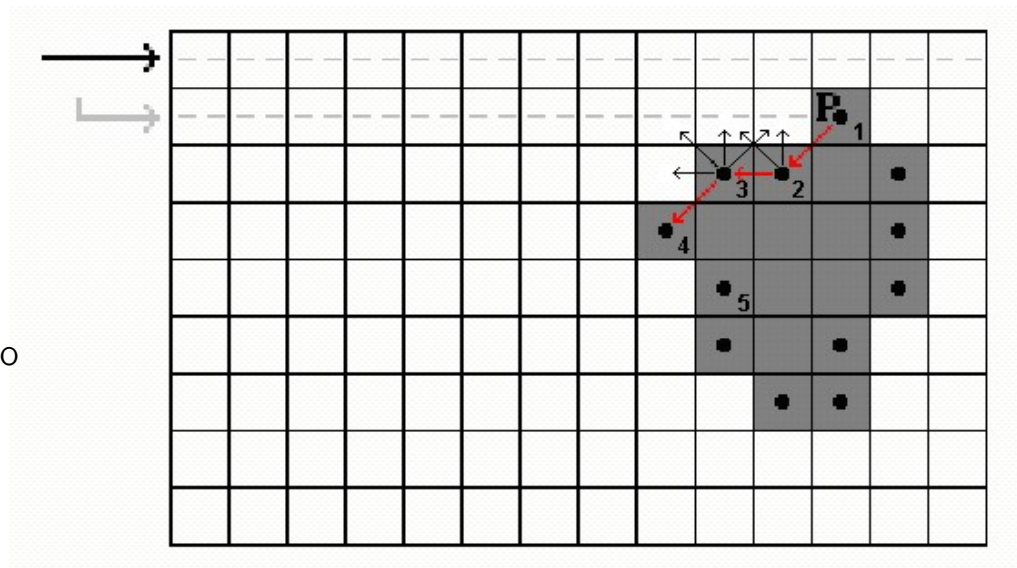
Nahoře: Příklad Level-set funkce (vpravo) pro uzavřenou 2D křivku C
 Dole: Počáteční, průběžný a koncový stav segmentace testovacích obrázků elipsy metodou Level-set,
 převzato z <http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/.cs.iso-8859-2>

Segmentace z obrazu hran – sledování hranice

- ▶ není znám tvar hranice jen např. barva objektu nebo barva hranice
- ▶ hranice je hledána postupně „obkroužením“ objektu - čtyřokolí x osmiokolí
- ▶ zápis hranice např. pomocí Freemanova kódu

Algoritmus:

1. Procházíme obraz po řádcích dokud nenarazíme na barvu objektu
2. V okolí 3x3 hledáme další elementy objektu – nalezený bod se stává novým výchozím
3. Skončíme až pokud se vrátíme do prvního výchozího bodu

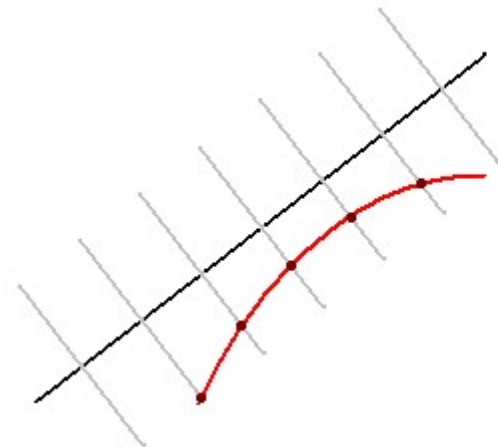


Zápis hranice: 323545607001

Segmentace z obrazu hran – ze znalosti o poloze

▸ a) máme informace o pravděpodobné poloze a tvaru hranice

- skutečná hranice je hledána jako poloha významných hranových buněk v blízkosti předpokládaného umístění hranice s podobným směrem, nalezené buňky jsou proloženy vhodnou aproximační křivkou



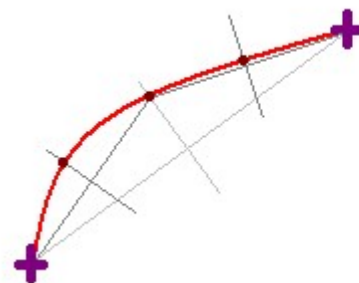
skutečná hranice

odhadovaná hranice

**detekované body
hranice**

▸ b) známe počáteční a koncové body hranice

- iterativně postupně dělíme spojnice již detekovaných sousedních elementů hranice a vyhledáváme další hraniční elementy na normálách vedených středy spojnic (Zlatý řez)



skutečná hranice

první krok

druhý krok

**detekované body
hranice**

Segmentace

Ilona Kalová



Rozvrh přednášky:

1. Úvod do segmentace.
2. Segmentace prahováním.
3. Segmentace z obrazu hran.
- 4. Segmentace z obrazu hran - Houghova transformace.**

Segmentace z obrazu hran – Houghova transformace

► Použití:

- metoda pro nalezení objektů v obraze, vyhledávání hranic nebo určování orientace objektů
- pokud známe analytický popis tvaru hledaného objektu - detekce známého jednoduchého tvaru
 - přímka, kružnice, elipsa, trojúhelník, ...
- lze ji ale použít i tam, kde není možný jednoduchý, analytický popis objektu – detekce libovolného tvaru = zobecněná Houghova transformace (*generalized HT*)
- nejvhodnější aplikace na binární (napřahovaný) vyhranovaný snímek

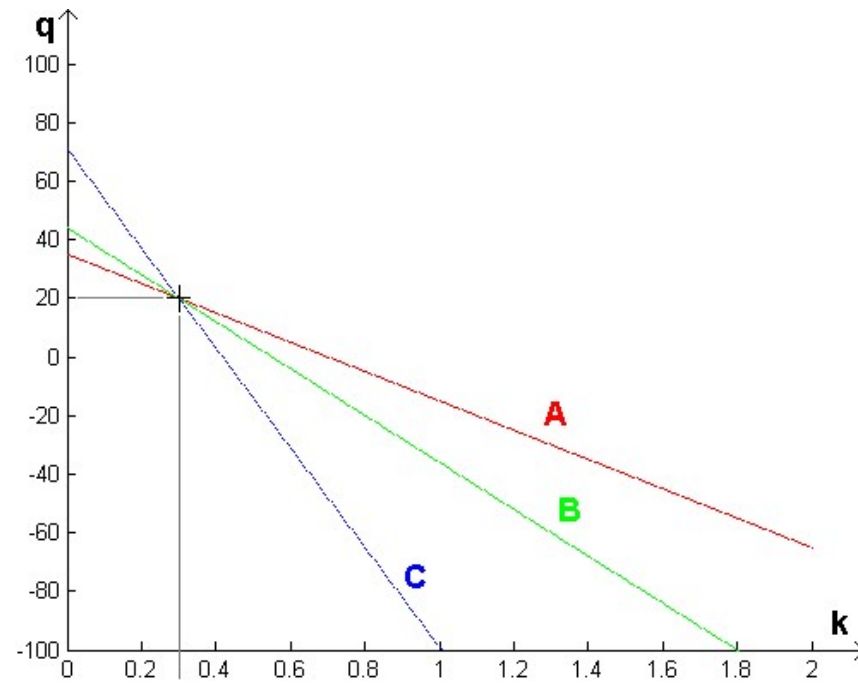
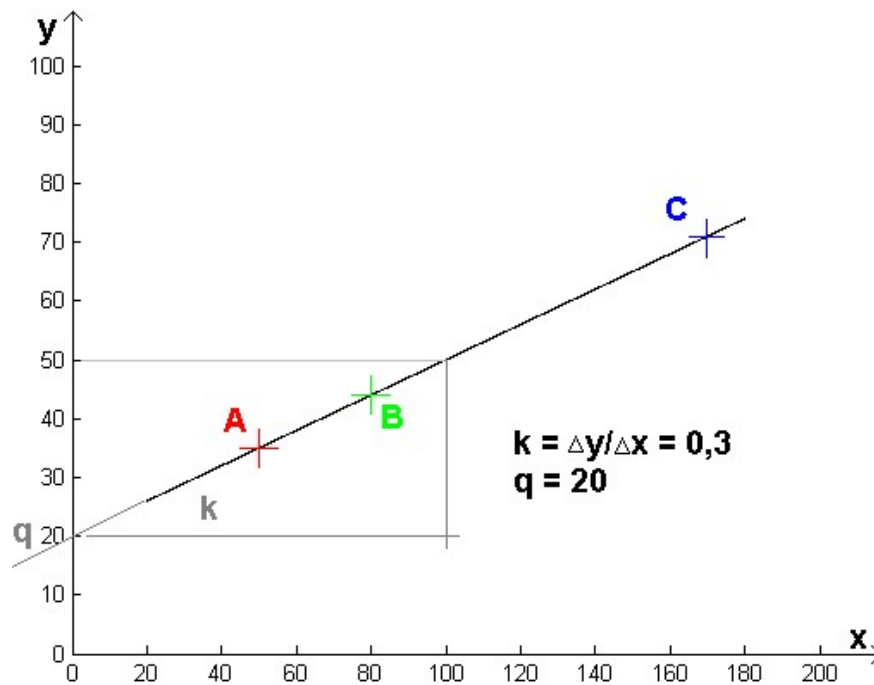
► Princip:

- mapování obrazového prostoru do prostoru parametrů = body se mapují na křivku a naopak křivky na body
- sčítací buňky (hlasování) - sčítají kolik bodů patří k přímce, kružnici, ... = akumulární prostor
- hledání maxima

Houghova transformace – detekce přímek

► Rovnice přímky ve tvaru $y = k \cdot x + q$,

- transformace z prostoru xy (obrázek) na prostor kq

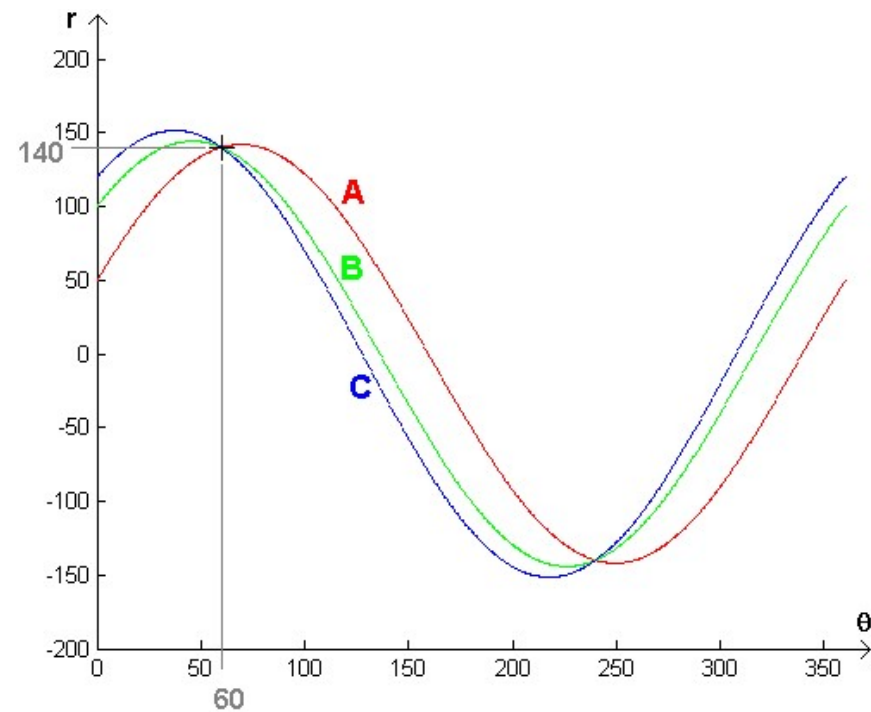
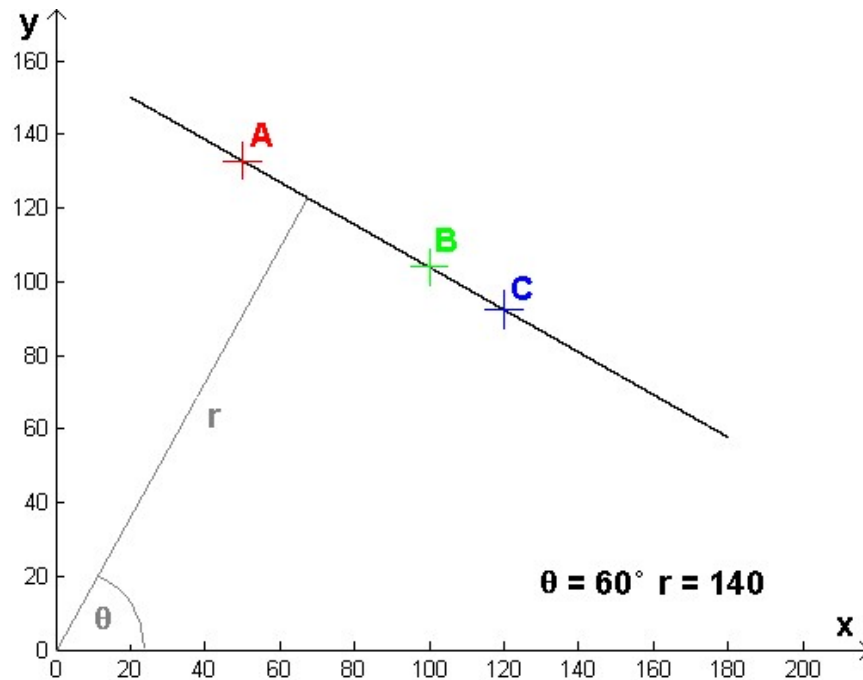


- vše co patřilo v obrazu jedné přímce se mapuje v prostoru kq na bod a naopak, každý bod se mapuje na přímku
- pro nalezení přímky v obrazu hledáme tedy v prostoru kq průsečík přímek (jednodušší řešit pomocí sčítacích buněk – příspěvek do bodu $[k,q]$ od každé přímky)
- méně vhodná, protože intervalem možných hodnot parametru k (směrnice) je celá množina reálných čísel

Houghova transformace – detekce přímek

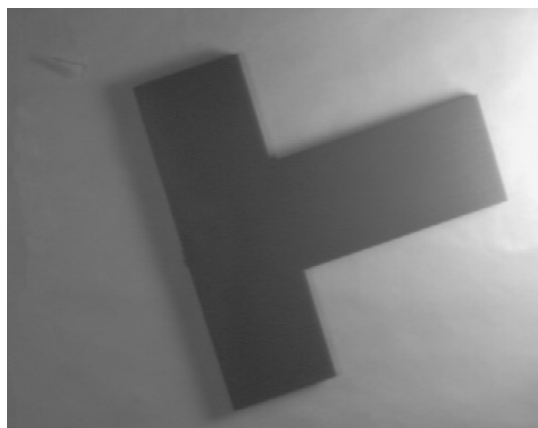
► Rovnice přímky ve tvaru $r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$,

- kde r je délka normály přímky od počátku, θ je úhel mezi normálou a osou x

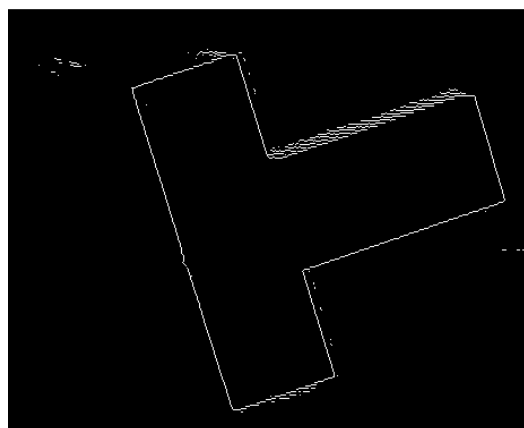


- přímka se mapuje na bod, bod na křivku
- interval hodnot např. $\theta \in \langle 0; 360^\circ \rangle$ a $r \in \langle 0; \text{velikost úhlopříčky obrázku} \rangle$

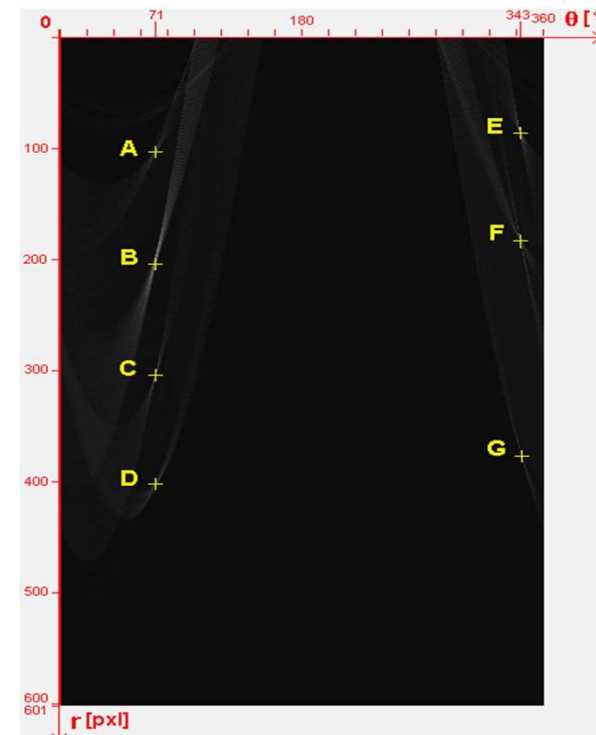
Houghova transformace – detekce přímek



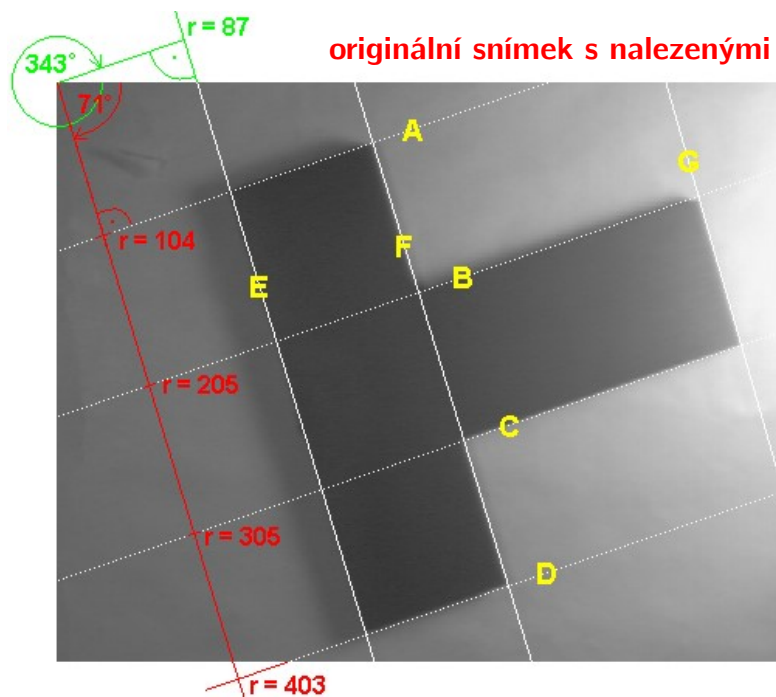
originální snímek 470x374 pxl



naprahovaný Sobel



Houghův prostor s vyznačenými maximy



originální snímek s nalezenými přímkami

Algoritmus:

1. Pro všechny body binárního vyhranovaného snímku I , pro které $I(x, y) = 1$:

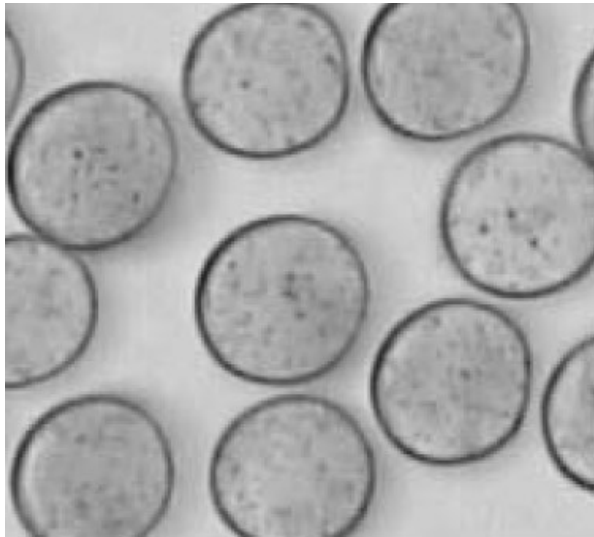
a. Pro úhly θ od 0 do 359

- urči r : $r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$

- do akumulátoru H o rozměrech $(0:359;0:\sqrt{x^2 + y^2})$ na pozici θ, r přičti jedničku

2. Nalezni maximum (maxima) akumulátoru H

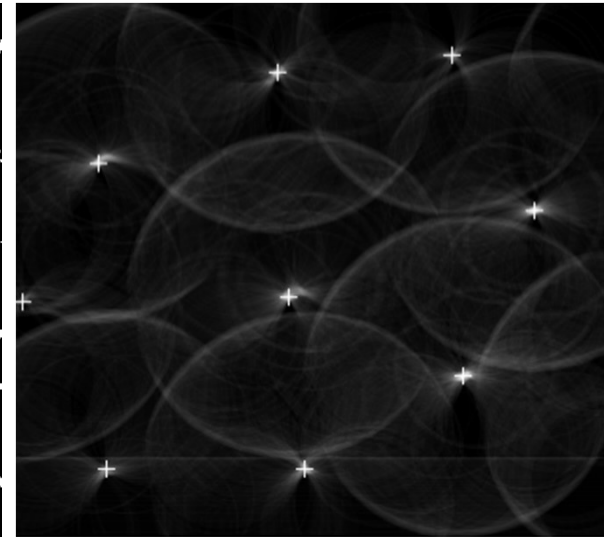
Houghova transformace – detekce kružnic



šedotónový snímek

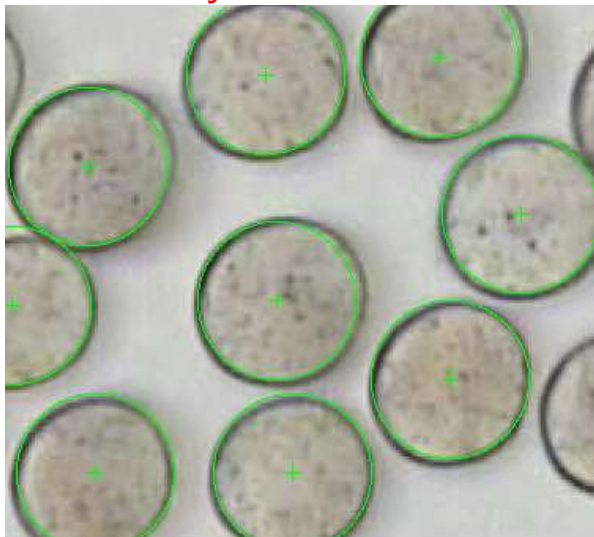


naprahaný Sobel



Houghův prostor s vyznačenými maximy, $r = 50$

originální snímek s nalezenými středy a kružnicemi



nejčastěji pracuje s rovnicí: $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$

nebo parametrickým vyjádřením: $x = a + r \cdot \cos \alpha$

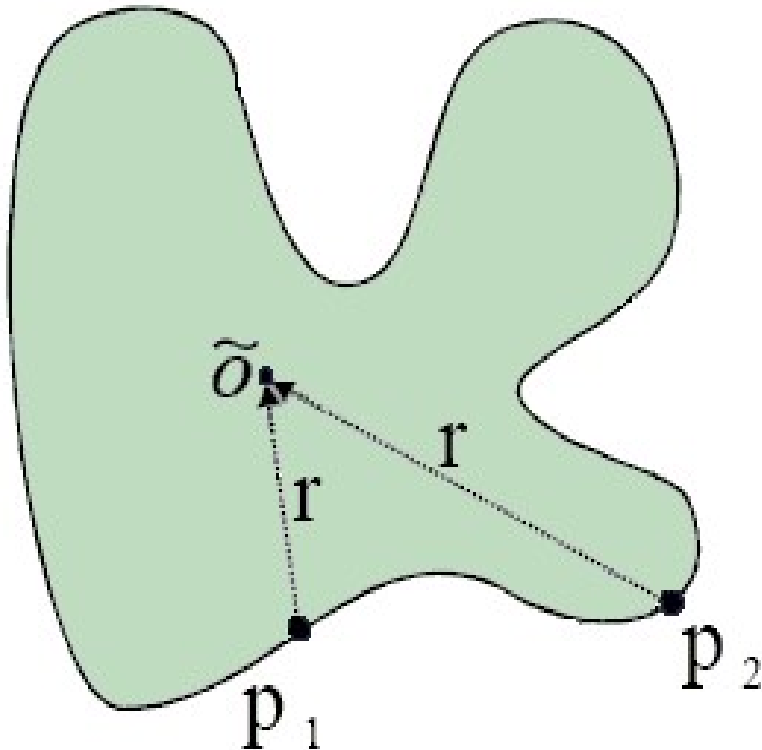
$$y = b + r \cdot \sin \alpha$$

- hledané parametry jsou \mathbf{a} , \mathbf{b} a $\mathbf{r} \Rightarrow$ Houghův prostor má dimenzi 3
 \Rightarrow vzroste výpočetní náročnost
- výhodou je znalost alespoň jednoho parametru (nebo odhad = omezení intervalu hledání)

Houghova transformace - zobecnění

► pro objekty, které není možné jednoduše analyticky popsat

- popis hranice hledaného vzoru pomocí explicitního seznamu (LUT – *look up table*) všech bodů hranice (tvaru)
- pozice všech pixelů vztažená relativně k nějakému referenčnímu bodu (např. těžiště)



Vzor - seznam:

p_1 : např. Δx , Δy (rozdíl souřadnic)
nebo r, θ (vzdálenost a natočení)

p_2 :

p_3 :

.

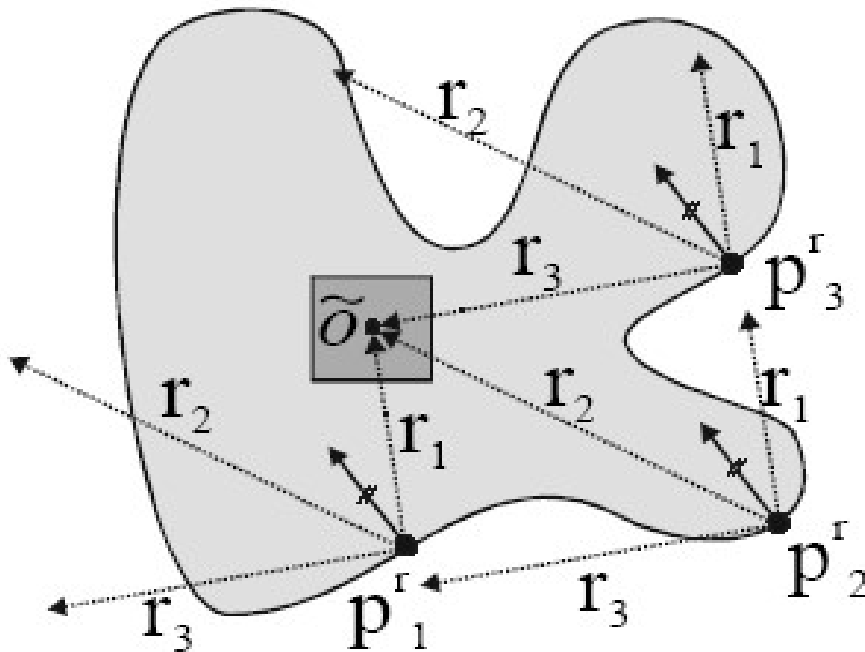
.

p_n :

Houghova transformace - zobecnění

Algoritmus:

1. Pro všechny body binárního snímku I , pro které $I(x, y) = 1$:
 - a. Pro každý pixel p_i hranice vzoru (pro každou položku seznamu)
 - ze seznamu získej relativní pozici bodu p_i od referenčního bodu
 - přidej tento offset k pozici p_i
 - inkrementuj tuto pozici v akumulátoru
2. Urči lokální maxima v akumulátoru



- obrázek naznačuje jednoduchý případ, kdy je uvažována pouze translace vzoru
- pokud chceme řešit i změnu měřítka nebo/a rotaci, musíme přidat další parametry (dimenze, vnořené cykly):

s ... scale – měřítko

α ... natočení celého objektu

Houghova transformace – výhody X nevýhody

► Výhody:

- málo citlivá na šum
- necitlivá k porušení hranic
- použitelná i při částečném zakrytí objektů

► Nevýhody:

- problém přesnosti - blízké rovnoběžné čáry mohou vlivem diskretizace vytvořit jen jedno maximum
- zkreslení „zakříví“ přímky -> ve výsledku několik maxim = několik přímek
- „tlustá“ hrana = několik přímek
- neříká nic o počátku a konci křivek, např. získáváme přímky místo úseček
- pracnost - vícenásobné vnořené cykly = časová náročnost

Metody pro snížení výpočetní náročnosti:

- RHT (*randomized HT*) Monte Carlo – náhodný výběr bodů
- pyramidy – postupné zpřesňování (v „zajímavých“ oblastech) - každá další má dvojnásobné rozlišení, kvadrantové stromy