

# Matematická morfologie

Václav Hlaváč

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická, katedra kybernetiky  
Centrum strojového vnímání

<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac>, [hlavac@fel.cvut.cz](mailto:hlavac@fel.cvut.cz)

## Osнова přednášky:

- ◆ Bodové množiny. Morfologická transformace.
- ◆ Eroze, dilatace, vlastnosti.
- ◆ Otevření, uzavření, tref či miň.
- ◆ Kostra oblasti.
- ◆ Ztenčování, sekvenční ztenčování.
- ◆ Vzdálenostní transformace.

# Morfologie

Matematická morfologie je teorie studující prostorové struktury.

V **biologii**: studium velikosti, tvaru a vnitřní struktury zvířat, rostlin a mikroorganismů a hledání souvislostí mezi jejich vnitřními částmi.

V **jazykovědě**: studium vnitřní stavby slov.

V **digitálním zpracování obrazů**: matematický nástroj pro předzpracování i segmentaci obrazů.

---

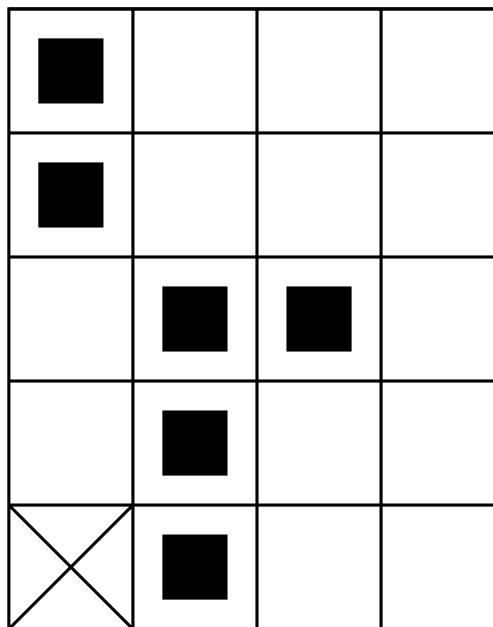
Otcové zakladatelé:

- ◆ Matheron, G. Elements pour une Theorie del Milieux Poreux Masson, Paris, 1967.
- ◆ Serra, J. Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, London 1982.

# Bodová množina

- ◆ Obrázky lze modelovat pomocí *bodových množin* libovolné dimenze (např.  $N$ -rozměrný euklidovský prostor).
- ◆ 2D euklidovský prostor  $\mathbb{E}^2$  a systém jeho podmnožin je přirozeným definičním oborem pro popis rovinných útvarů.
- ◆ Digitální protějšek euklidovského prostoru.
- ◆ Binární matematická morfologie – množina dvojic celých čísel ( $\in \mathbb{Z}^2$ ).
- ◆ Šedotónová matematickou morfologii – trojice ( $\in \mathbb{Z}^3$ ).

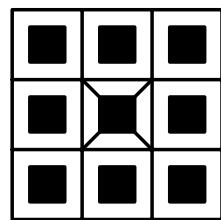
# Bodová množina, příklad



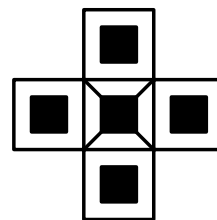
$$X = \{(1, 0), (1, 1), (1, 2), (2, 2), (0, 3), (0, 4)\}$$

# Morfologická transformace $\Psi$

- ◆ Je dána relací mezi *obrazem* (bodovou množinou  $X$ ) a typicky menší bodovou množinou *strukturním elementem*  $B$ .
- ◆ Strukturní element  $B$  je vztažen k “lokálnímu” počátku.



(a)



(b)



(c)

- ◆ Aplikace morfologické transformace  $\Psi(X)$  na obraz  $X$  odpovídá systematickému posunu  $B$  po obraze. Výsledek transformace v každé poloze odpovídá relaci.

# Dualita vzhledem k množinovému doplňku

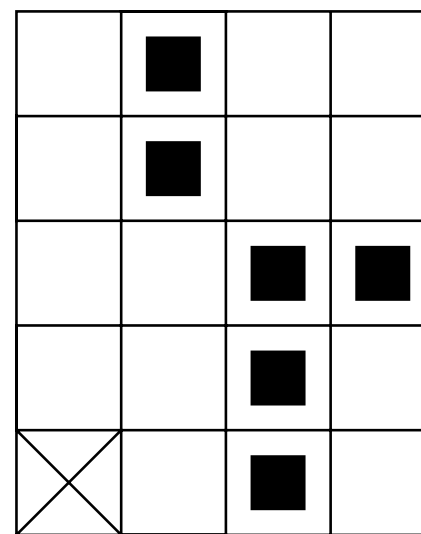
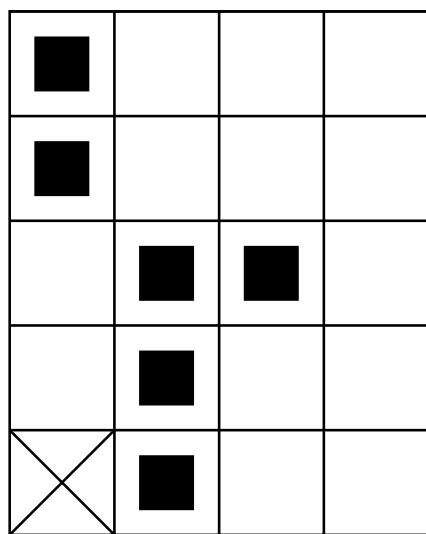
Ke každé morfologické transformaci  $\Psi(X)$  existuje duální transformace  $\Psi^*(X)$ ,

$$\Psi(X) = (\Psi^*(X^c))^c .$$

# Translace množiny o radiusvektor

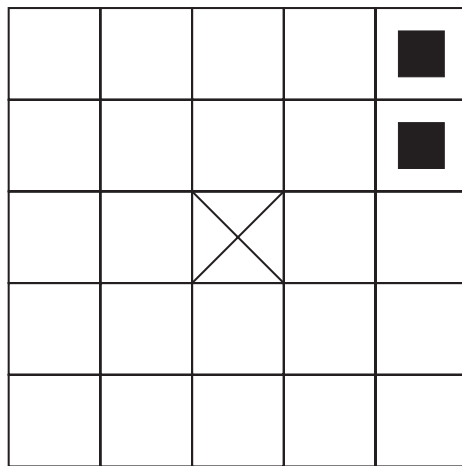
*Translace*  $X_h$  bodové množiny  $X$  o radiusvektor  $h$

$$X_h = \{p \in \mathbb{E}^2, p = x + h \text{ pro některá } x \in X\} .$$

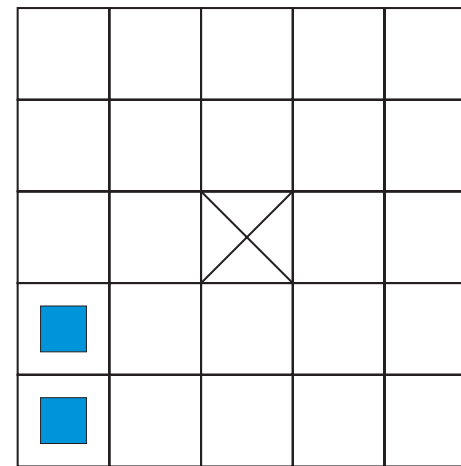


# Symetrická bodová množina

- ◆ Vůči reprezentativnímu bodu  $\mathcal{O}$ .
- ◆ Někdy se také říká transponovaná bodová množina.
- ◆ Definice:  $\check{B} = \{-b : b \in B\}$ .
- ◆ Příklad:  $B = \{(2, 1), (2, 2)\}$ ,  $\check{B} = \{(-2, -1), (-2, -2)\}$ .



Originál



Po transpozici



- ◆ Pracuje s binárními obrázky. Definiční obor  $\mathbb{Z}^2$ . Obor hodnot  $\{0, 1\}$ .
- ◆ 2 základní operace: dilatace a eroze. Nejsou invertovatelné.
- ◆ 2 používané formalismy pro součet a rozdíl
  - Ve školské aritmetice obvyklé sčítání a odečítání.
  - Minkowského součet, rozdíl (do morfologie zavedli G. Matheron (kniha 1967), J. Serra (kniha 1982)).
  - Rozdílnost obou přístupů hraje roli u eroze.

# Minkowského součet, rozdíl

Minkowského součet (Hermann Minkowski 1864-1909, geometrie čísel 1889)

$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} X_b .$$

Minkowského rozdíl (pojem zavedl až H. Hadwiger 1957)

$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_{-b} .$$

## Binární dilatace $\oplus$

Sčítá dvě bodové množiny.

$$X \oplus B = \{p \in \mathbb{E}^2 : p = x + b, x \in X \text{ and } b \in B\}$$

---

Dilataci můžeme vyjádřit jako sjednocení posunutých bodových množin

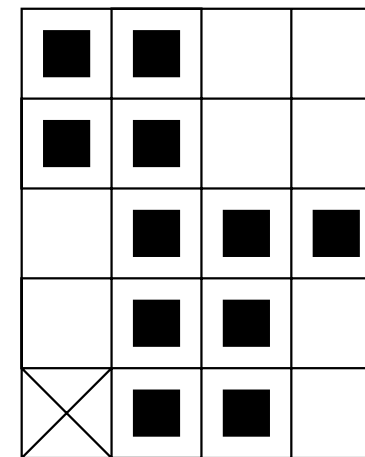
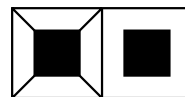
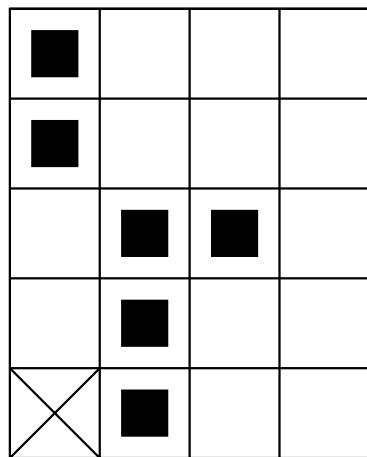
$$X \oplus B = \bigcup_{b \in B} X_b .$$

# Binární dilatace $\oplus$ , příklad

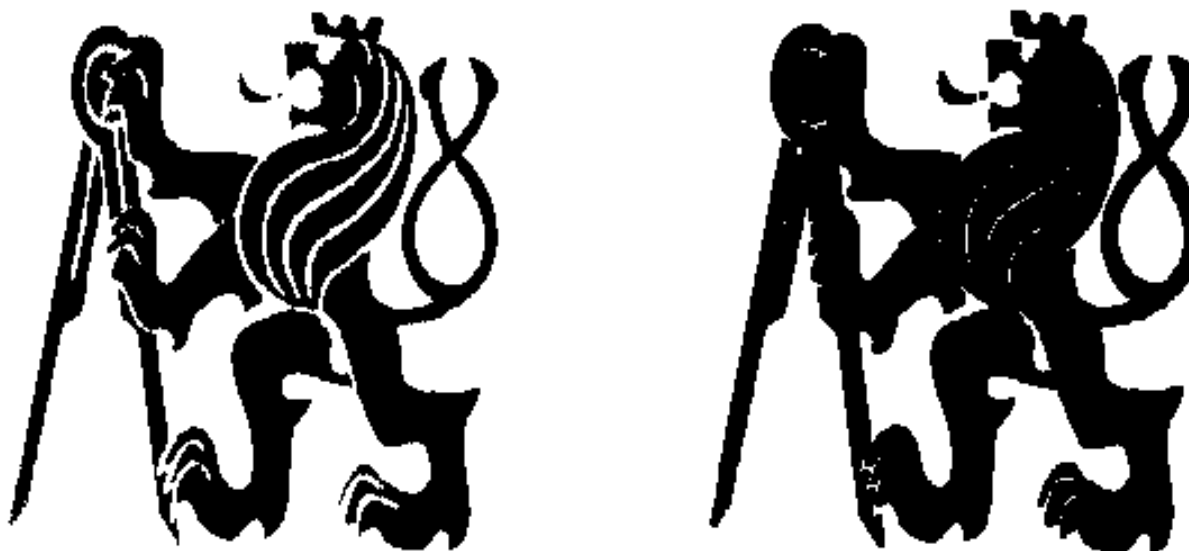
$$X = \{(1, 0), (1, 1), (1, 2), (2, 2), (0, 3), (0, 4)\}$$

$$B = \{(0, 0), (1, 0)\}$$

$$X \oplus B = \{(1, 0), (1, 1), (1, 2), (2, 2), (0, 3), (0, 4), \\ (2, 0), (2, 1), (2, 2), (3, 2), (1, 3), (1, 4)\}$$



# Binární dilatace isotropickým strukturálním elementem $3 \times 3$



vlevo – originál,      vpravo – dilatace.

Dilatace se používá k zaplnění malých děr a úzkých zálivů v objektech. Zvětší původní velikost objektu. Má-li být velikost zachována, potom se dilatace s erozí, viz dále.

# Vlastnosti dilatace

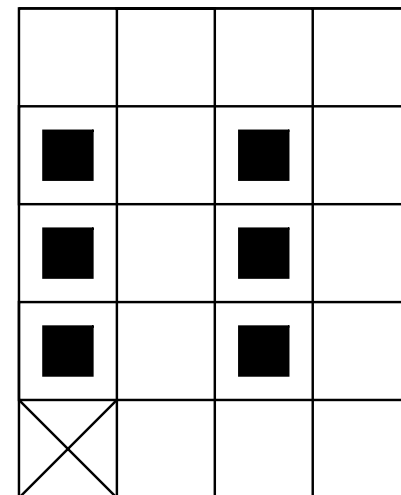
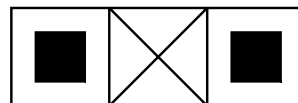
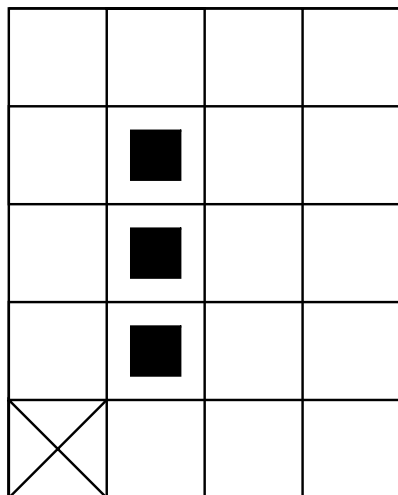
**Komutativní:**  $X \oplus B = B \oplus X$ .

**Asociativní:**  $X \oplus (B \oplus D) = (X \oplus B) \oplus D$ .

**Invariantní vůči posunu:**  $X_h \oplus B = (X \oplus B)_h$ .

**Rostoucí transformace:** Je-li  $X \subseteq Y$  a  $(0, 0) \in B$ , potom  $X \oplus B \subseteq Y \oplus B$ .

*Protipříklad při prázdném počátku  $(0, 0) \notin B$*



## Binární eroze $\ominus$

Skládá dvě množiny pomocí Minkovského rozdílu. Jde o duální morfologickou transformaci k dilataci.

$$X \ominus B = \{p \in \mathbb{E}^2 : p = x + b \in X \text{ pro každé } b \in B\} .$$

Pro každý bod obrazu  $p$  se ověřuje, zda pro všechna možná  $x + b$  leží výsledek v  $X$ . Pokud ano, je výsledek 1, jinak 0.

---

Erozi můžeme vyjádřit jako průnik všech posunů obrazu  $X$  o vektory  $-b \in B$

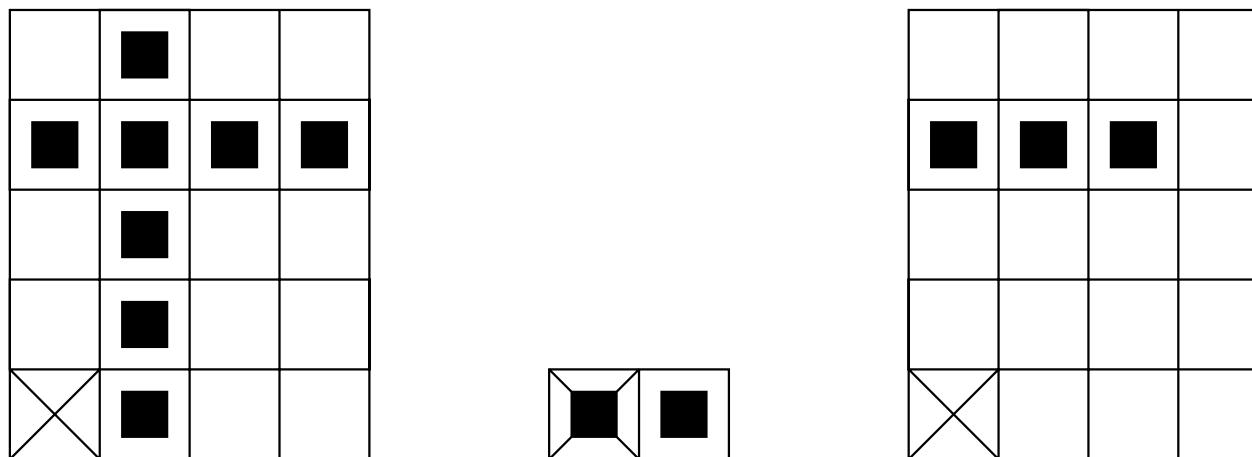
$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_{-b} .$$

# Binární eroze $\ominus$ , příklad

$$X = \{(1, 0), (1, 1), (1, 2), (0, 3), (1, 3), (2, 3), (3, 3), (1, 4)\}$$

$$B = \{(0, 0), (1, 0)\}$$

$$X \ominus B = \{(0, 3), (1, 3), (2, 3)\}$$





# Binární eroze isotropickým strukturálním elementem $3 \times 3$



vlevo – originál, vpravo – eroze.

Objekty menší než než strukturální element vymizí (např. čáry tloušťky 1).

Eroze se používá ke zjednodušení struktury (rozložení objektu na jednodušší části).

# Obrys pomocí binární eroze

Obrys (matematicky okraj, v našem významu hranice oblasti v binárním obraze)  
 $\partial X$  (hranice oblasti  $X$ , přirozeně tloušťky 1).

$$\partial X = X \setminus (X \ominus B).$$



vlevo – originál  $X$ ,

vpravo obrys  $\partial X$ .

## Vlastnosti eroze

**Antiextenzivní:** Je-li  $(0, 0) \in B$ , potom  $X \ominus B \subseteq X$ .

**Invariantní vůči posunu:**  $X_h \ominus B = (X \ominus B)_h$ ,  $X \ominus B_h = (X \ominus B)_{-h}$ .

**Zachovává inkluzi:** Je-li  $X \subseteq Y$ , potom  $X \ominus B \subseteq Y \ominus B$ .

**Dualita eroze a dilatace:**  $(X \ominus Y)^C = X^C \oplus \check{Y}$ .

**Kombinace eroze a průniku:**  $(X \cap Y) \ominus B = (X \ominus B) \cap (Y \ominus B)$ ,  
 $B \ominus (X \cap Y) \supseteq (B \ominus X) \cup (B \ominus Y)$ .

## Vlastnosti dilatace a eroze (2)

**Lze zaměnit pořadí dilatace a průniku:**

$$(X \cap Y) \oplus B = B \oplus (X \cap Y) \subseteq (X \oplus B) \cap (Y \oplus B).$$

Dilatace průniku dvou obrazů je obsažena v průniku jejich dilatací.

**Možná záměna pořadí eroze a množinového sjednocení** (umožňuje rozložit složitější strukturní elementy na sjednocení jednodušších):

$$B \oplus (X \cup Y) = (X \cup Y) \oplus B = (X \oplus B) \cup (Y \oplus B),$$

$$(X \cup Y) \ominus B \supseteq (X \ominus B) \cup (Y \ominus B),$$

$$B \ominus (X \cup Y) = (X \ominus B) \cap (Y \ominus B).$$

## Vlastnosti dilatace a eroze (3)

**Postupná dilatace (resp. eroze)** obrazu  $X$  nejdříve strukturním elementem  $B$  a potom strukturním elementem  $D$  je totožná jako dilatace (resp. eroze) obrazu  $X$  pomocí  $B \oplus D$

$$(X \oplus B) \oplus D = X \oplus (B \oplus D),$$

$$(X \ominus B) \ominus D = X \ominus (B \oplus D).$$

## Transformace tref či miň $\otimes$

- ◆ Anglicky Hit or Miss.
- ◆ Používá složený strukturní element  $B = (B_1, B_2)$ ,  $B_1 \cap B_2 = \emptyset$ .

$$X \otimes B = \{x : B_1 \subset X \text{ a } B_2 \subset X^c\}.$$

- ◆ Indikuje shodu složeného strukturního elementu a části obrazu.  $B_1$  testuje objekty,  $B_2$  pozadí.
- ◆ Transformaci  $\otimes$  lze vyjádřit pomocí erozí a dilatací

$$X \otimes B = (X \ominus B_1) \cap (X^c \ominus B_2) = (X \ominus B_1) \setminus (X \oplus \check{B}_2).$$

# Příklad: detekce konvexních rohů

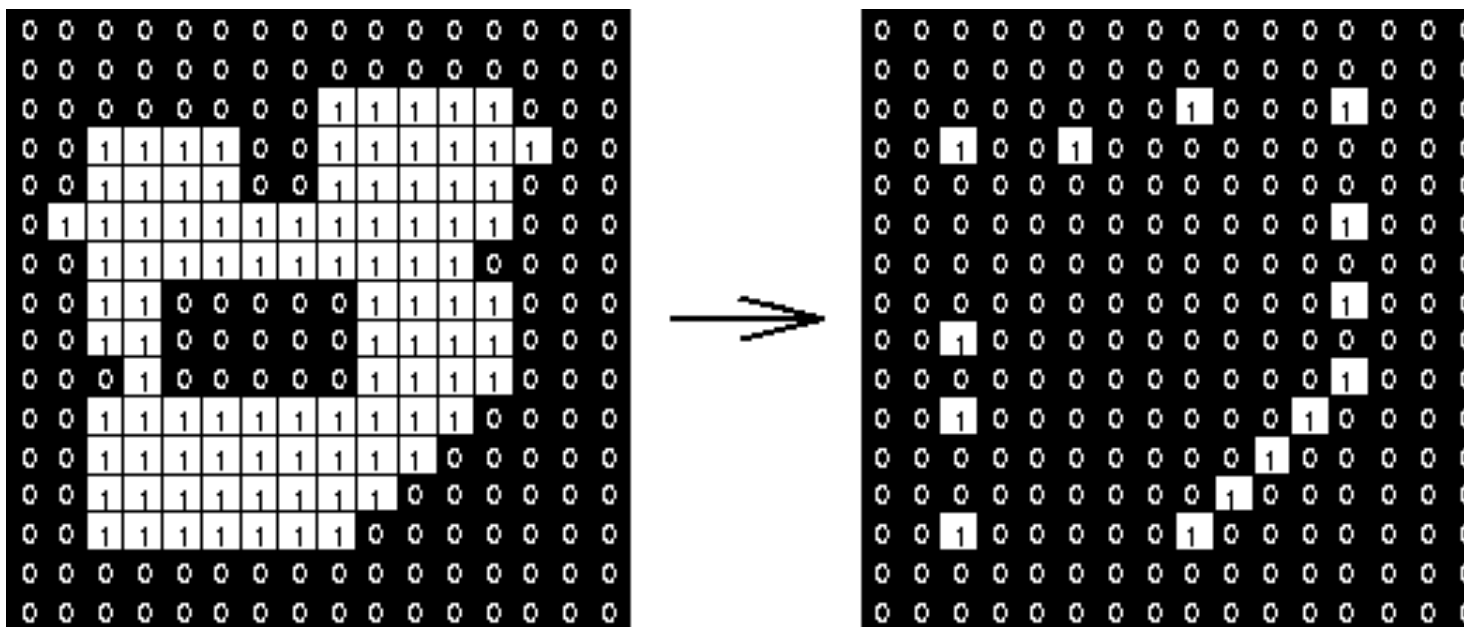
|   |   |   |
|---|---|---|
|   | 1 |   |
| 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 |   |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | 1 |   |
| 1 | 1 | 0 |
|   | 0 | 0 |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |
|   | 1 |   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 0 | 0 |   |
| 0 | 1 | 1 |
|   | 1 |   |

Masky detekující 4 možné konfigurace rohů pomocí tref či miň.



Výsledek detekce rohů.

## Binární otevření $\circ$

Eroze následovaná dilatací.

$$X \circ B = (X \ominus B) \oplus B$$

Pokud se obraz  $X$  nezmění po otevření strukturálním elementem  $B$ , říkáme, že je otevřený vzhledem k  $B$ .



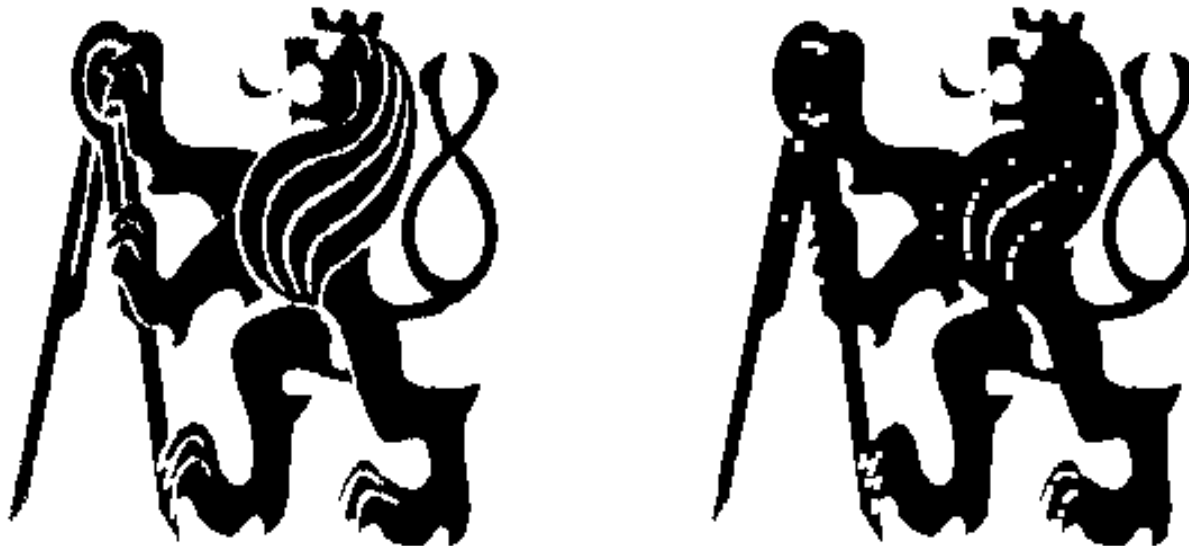


## Binární uzavření ●

Dilatace následovaná erozí.

$$X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B$$

Pokud se obraz  $X$  nezmění po uzavření strukturním elementem  $B$ , říkáme, že je uzavřený vzhledem k  $B$ .



## Vlastnosti otevření, uzavření

Otevření a uzavření jsou duální morfologické transformace

$$(X \bullet B)^C = X^C \circ \check{B}$$

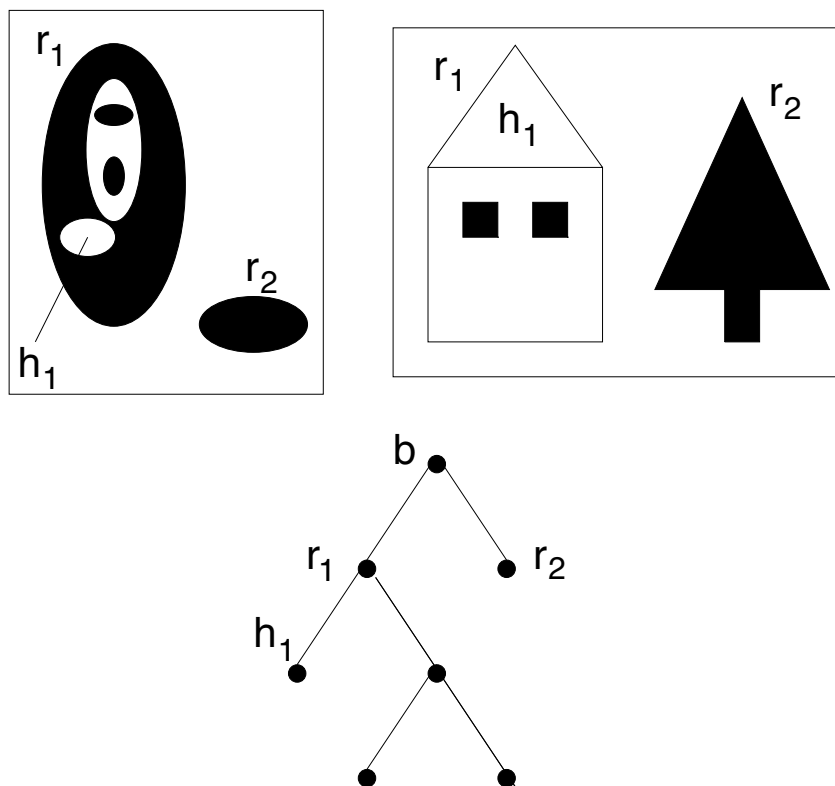
**Idempotence** - důležitá vlastnost v matematice. Zde: po jednom otevření, resp. uzavření, je množina již otevřena, resp. uzavřena. Další použití těchto transformací již nic nezmění.

$$X \circ B = (X \circ B) \circ B$$

$$X \bullet B = (X \bullet B) \bullet B$$

# Homotopické transformace

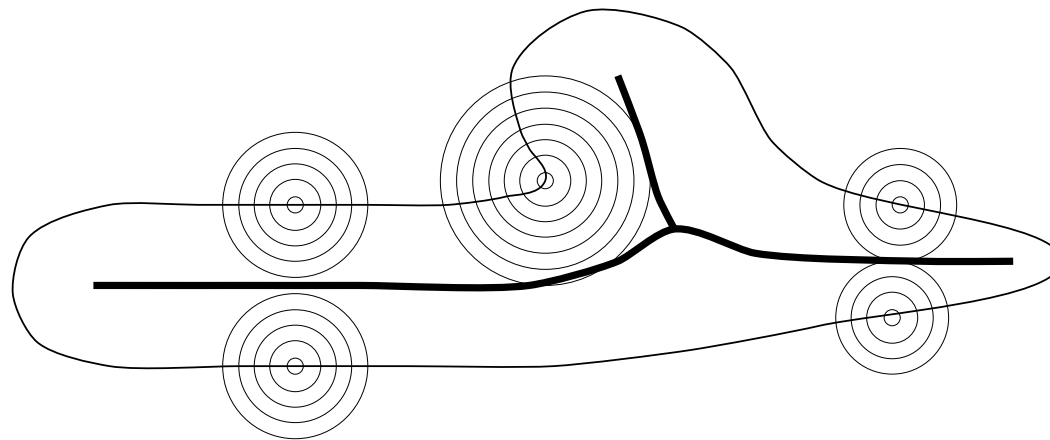
Opírají se o souvislost v obraze. Homotopické transformace nemění homotopický strom.



Příklad: dvěma různým obrázky odpovídá stejný homotopický strom.

## Kostra (skelet)

- ◆ Podlouhlé objekty má smysl reprezentovat kostrou (viz animace člověka v počítačové grafice zachycující kinematiku).
- ◆ Blum v roce 1964 navrhl “Medial axis transformation” (analogie, vypalování trávy).



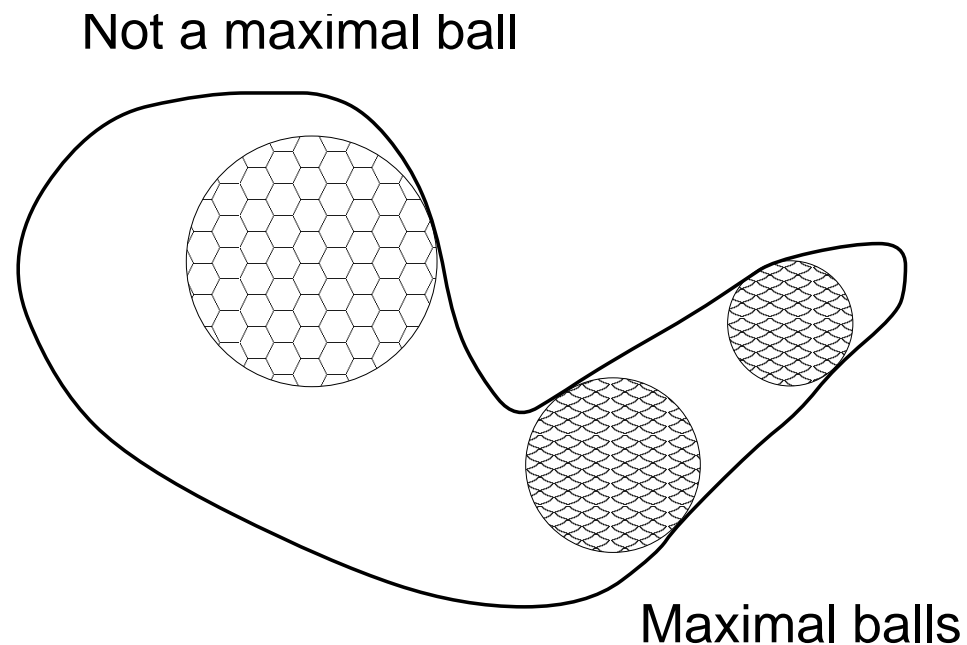
- ◆ Formální definice kostry se opírá o pojem maximálního kruhu (koule ve 3D).

# Kostra pomocí maximálních kruhů

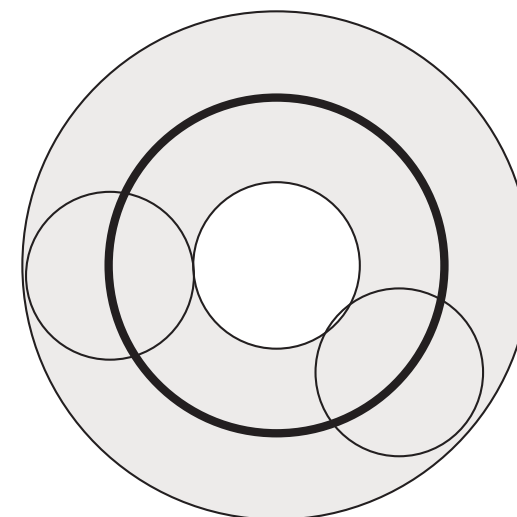
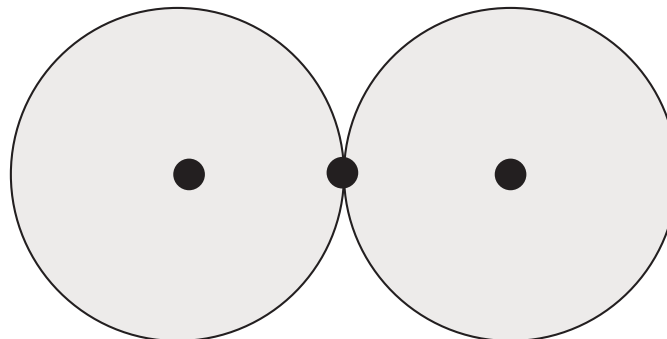
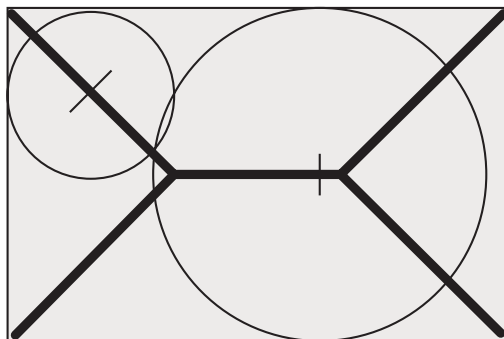
**Kruh**  $B(p, r)$  se středem  $p$  a poloměrem  $r$ ,  $r \geq 0$  je množina bodů, pro něž je vzdálenost  $d \leq r$ .

**Maximální kruh**  $B$  vepsaný do množiny  $X$  se dotýká hranice  $\partial X$  ve dvou a více bodech.

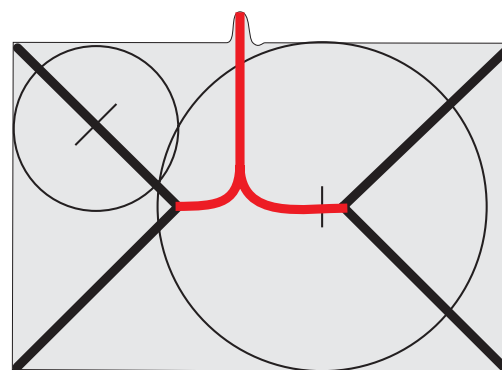
**Kostra** je sjednocením středů maximálních kruhů.



# Příklad koster, spojitý případ



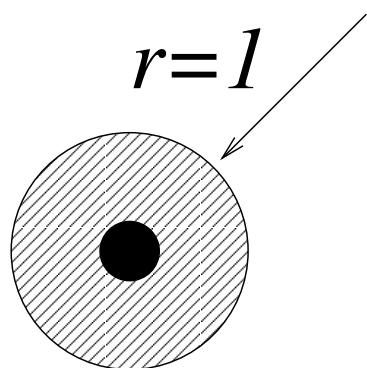
Problémy se šumem.



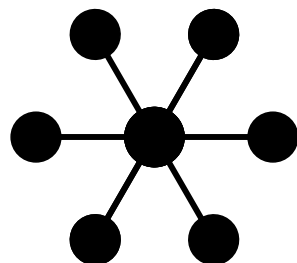
# Diskrétní kruhy o poloměru 1

V diskretním rastru mohou kruhy vypadat různě, a to díky několika možným způsobům zavedení vzdálenosti.

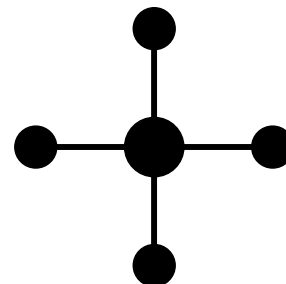
Příklady:



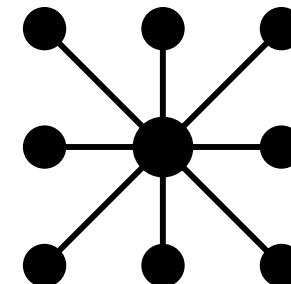
$B_E$



$B_H$



$B_4$



$B_8$

# Třídění algoritmů binární skeletonizace oblastí

**Vpisování kruhů** podle definice se prakticky nepoužívá. Přílišná výpočetní složitost. Porušuje se souvislost. Skelet tloušťky  $> 1$ .

**Sekvenční ztenčování.** Oblast se eroduje vhodným strukturním elementem, který zaručí, aby nebyla porušena souvislost. Obvykle homotopické ztenčování, s využitím strukturních elementů z Golayovy abecedy.

**Přes vzdálenostní transformaci.** Rychlý výpočet. Nejčastěji používané.

**V koutkové reprezentaci.** Napřed se oblasti bezeztrátově komprimují (koutky). Skelet se počítá vpisováním maximálních obdélníků přímo v komprimovaných datech (Schlesinger M.I., 1986).



## Ztenčování a ztlušťování

Nechť  $X$  je obraz a  $B = (B_1, B_2)$  je složený strukturní element zavedený v transformaci třef či miň.

**Ztenčování**  $X \oslash B = X \setminus (X \otimes B)$ .

Část ztenčované oblasti určená strukturním elementem  $B$  množinově odečítá od objektu samého.

**Ztlušťování**  $X \odot B = X \cup (X \otimes B)$ .

Oblast se sjednocuje s částí pozadí danou strukturním elementem  $B$ .

Ztenčování a ztlušťování jsou **duální transformace**

$$(X \odot B)^c = X^c \oslash B, \quad B = (B_2, B_1).$$

## Sekvenční ztenčování a ztlušťování

Nechť  $\{B_{(1)}, B_{(2)}, B_{(3)}, \dots, B_{(n)}\}$  je posloupnost složených strukturních elementů  $B_{(i)} = (B_{i_1}, B_{i_2})$ .

**Sekvenční ztenčování** může být pro čtvercový rastr vyjádřeno pomocí posloupnosti strukturních elementů (např. 8 elementů  $3 \times 3$ , jak uvidíme v Golayově abecedě).

$$X \oslash \{B_{(i)}\} = (((X \oslash B_{(1)}) \oslash B_{(2)}) \dots \oslash B_{(n)}) .$$

**Sekvenční ztlušťování** (analogicky)

$$X \odot \{B_{(i)}\} = (((X \odot B_{(1)}) \odot B_{(2)}) \dots \odot B_{(n)}) .$$

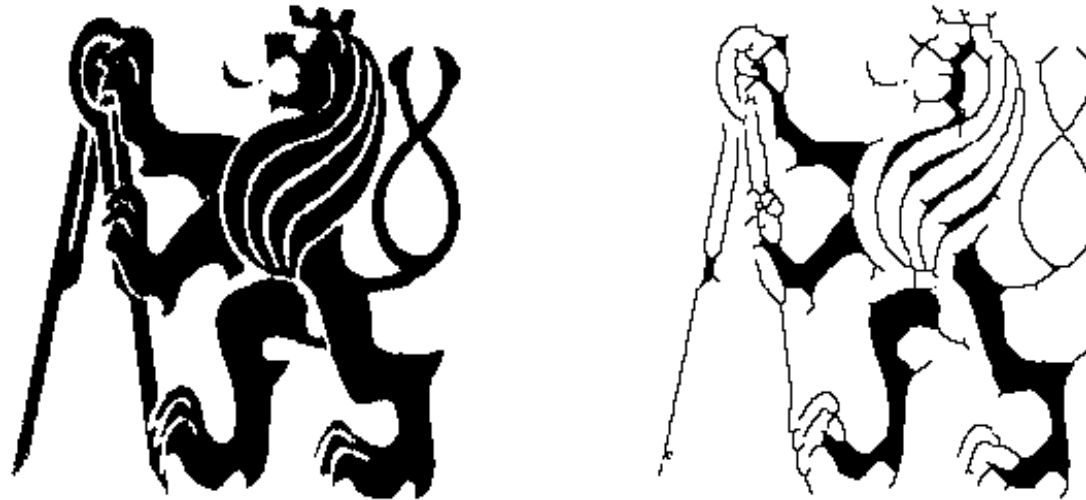
## Užitečné sekvence z Golayovy abecedy

- ◆ Existuje několik posloupností strukturních elementů  $\{B_{(i)}\}$ , které jsou z praktického pohledu užitečné.
- ◆ Ukažme jen dvě z nich z [Golayovy abecedy](#) (1969) pro oktagonální rastr. Strukturní elementy rozměru  $3 \times 3$  uvedeme ve dvou základních polohách, ostatní si domyslete pootočením.
- ◆ Stručný zápis složeného strukturního elementu: 1 ověřuje příslušnost k objektu, 0 ověřuje příslušnost k pozadí a konečně hodnota \* znamená, že prvek nehraje roli.
- ◆ Ztenčování a ztlušťování prvky Golayovy abecedy je [idempotentní](#).

# Ztenčování elementem $L$ , homotopická náhrada skeletu tl. 1

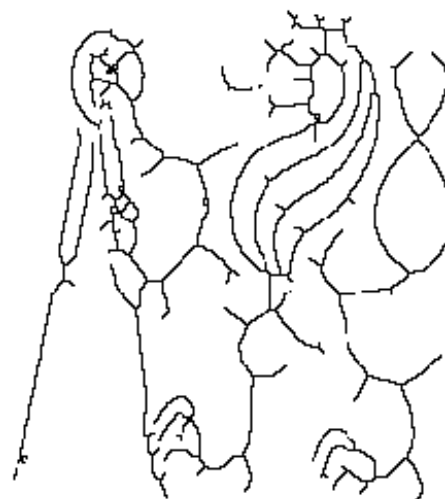
$$L_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ * & 1 & * \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad L_2 = \begin{bmatrix} * & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ * & 1 & * \end{bmatrix} \dots$$

5 iterací



## Ztenčování elementem L (2)

Ztenčování až do dosažení idempotence.

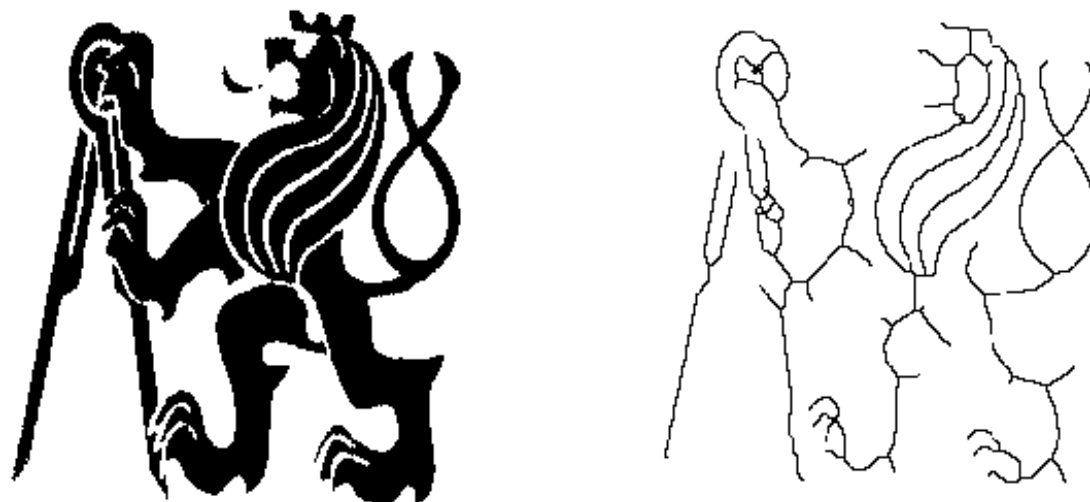


# Ořezání volných konců elementem E

$$E_1 = \begin{bmatrix} * & 1 & * \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad E_2 = \begin{bmatrix} 0 & * & * \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots$$

Pokud by se ztenčování nechalo běžet až do dosažení idempotence, zůstaly by v obraze pouze uzavřené linie.

5 iterací



# Motivace pro rekurzivní morfologii

## Vzdálenostní transformace

- ◆ Dosud nezáleželo na pořadí, v jakém byly použity morfologické transformace v různých místech obrazu. Mohly být použity v náhodném pořadí, po řádcích, paralelně.
- ◆ Speciálnější případ, kdy je vhodně předepsáno pořadí operací v obrazu, přináší zrychlení výpočtu. Výsledek operace totiž bude záviset nejen na vstupním obraze a transformaci, ale na předchozích výsledcích.
- ◆ Tím se může při výpočtu akumulovat potřebná globální informace, a tak lze algoritmy výpočetně zjednodušit.
- ◆ Vzdálenostní transformace a algoritmus jejího výpočtu je jedním důležitým příkladem tohoto přístupu.

## Vzdálenostní transformace

- ◆ Nechť je dána bodová množina  $A$ .
- ◆ Vzdálenostní transformace přiřazuje každému bodu  $p \in X$  číslo, které je vzdáleností bodu  $p$  od pozadí  $A^c$  (též od hranice oblasti).
- ◆ Existuje morfologický postup výpočtu vzdálenostní transformace (funkce)  $dist_X(p)$ , který přiřazuje každému pixelu  $p$  z množiny  $X$  velikost první eroze množiny, která už neobsahuje pixel  $p$ , tj.

$$\forall p \in X, \quad dist_X(p) = \min \{n \in \mathbb{N}, p \text{ not in } (X \ominus nB)\} .$$

$dist_X(p)$  je nejkratší vzdáleností mezi pixelem  $p$  a doplňkem množiny  $X^C$ .



# Vzdálenostní transformace, DT

- ◆ DT se někdy nazývá vzdálenostní funkcí (analogie s řezbářstvím).
- ◆ DT poskytuje v každém pixelu vzdálenost od zadaných podmnožin obrazu (např. objektů).
- ◆ Výsledný DT “obraz” má hodnoty 0 v pixlech zadaných podmnožin, nízké hodnoty pro pixly blízko k nim a vyšší hodnoty pro vzdálené pixly..
- ◆ V binárním obraze, DT poskytuje vzdálenost v každém pixelu od nejbližšího nenulového pixelu (objektu).

výchozí obraz

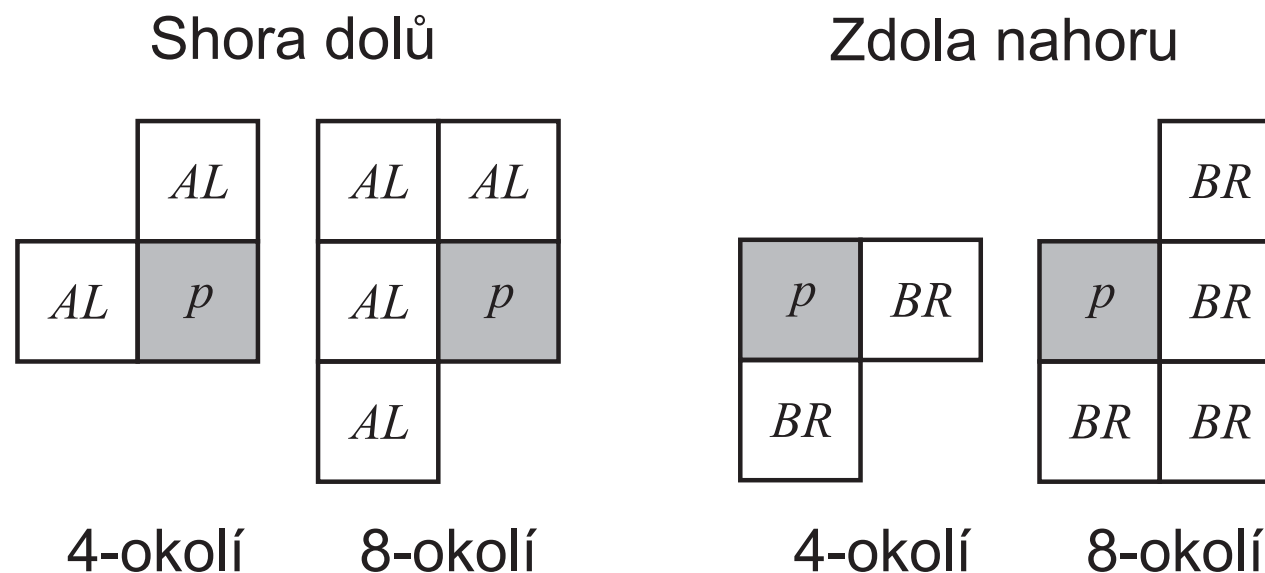
|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

výsledek DT

|   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 |

# Algoritmus vzdálenostní transformace neformálně

- ◆ Slavný dvojprůchodový algoritmus výpočtu DT navrhli Rosenfeld, Pfaltz (1966), původně pro vzdálenosti  $D_4$ ,  $D_8$ .
- ◆ První průchod je shora dolů, zleva doprava. Druhý průchod je zdola nahoru, zprava doleva.
- ◆ Obraz je procházen systematicky malou maskou.  $p$  je okamžitý pixel.



- ◆ Efektivita algoritmu DT je umožněna šířením hodnot viděných maskou z již dříve prozkoumaných pozic. Šíření informace připomíná šíření vlny.

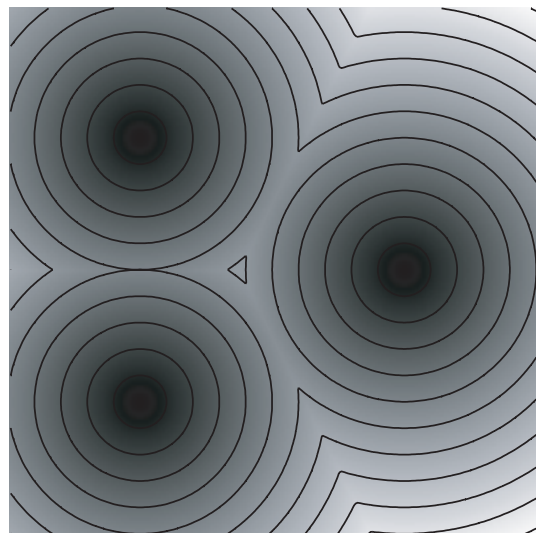
# Algoritmus vzdálenostní transformace DT

Cíl: výpočet DT pro podmnožinu  $S$  obrazu rozměru  $M \times N$  vzhledem k vzdálenosti  $D$ , která ovlivňuje prvky masky.

1. Inicializace: Vytvoř pole  $F$  rozměru  $M \times N$ . Pro prvky  $p$  obrazu odpovídající  $S$  nastav  $F(p) = 0$  a pro ostatní nastav  $F(p) = \infty$ .
2. První průchod: Projdi obraz  $F$  po řádcích shora dolů, zleva doprava. Pro prvky vlevo nad vzhledem k okamžitému prvky  $p$  (dané prvky  $AL$  v obrázku masky na předchozím slajdu) nastav
$$F(p) = \min_{q \in AL} (F(p), D(p, q) + F(q)).$$
3. Druhý průchod: Projdi  $F$  po řádcích zdola nahoru, zprava doleva. Pro prvky vpravo dole vzhledem k  $p$  (dané prvky  $BR$  v obrázku masky na předchozí průsvitce) nastav  $F(p) = \min_{q \in BR} (F(p), D(p, q) + F(q))$ .

Nyní pole  $F$  obsahuje výsledek DT pro zadaný obraz a podmnožinu  $S$ .

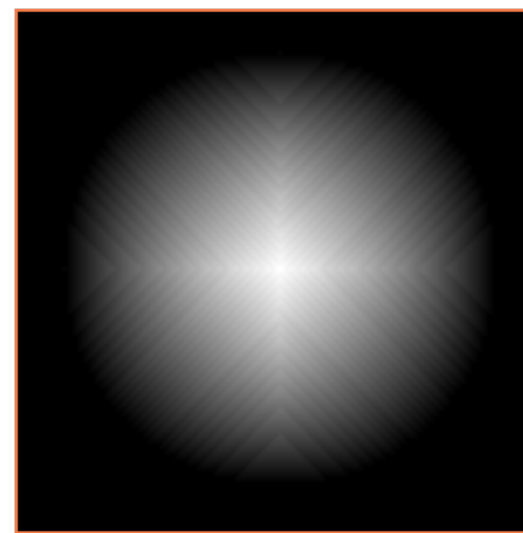
# Ilustrace DT pro tři definice vzdáleností



Euklidovská



$D_4$

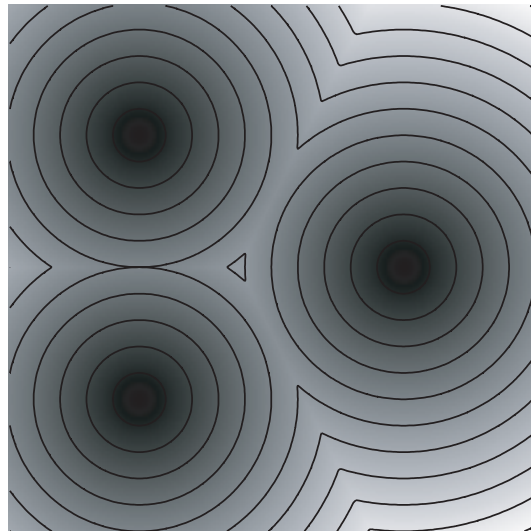


$D_8$

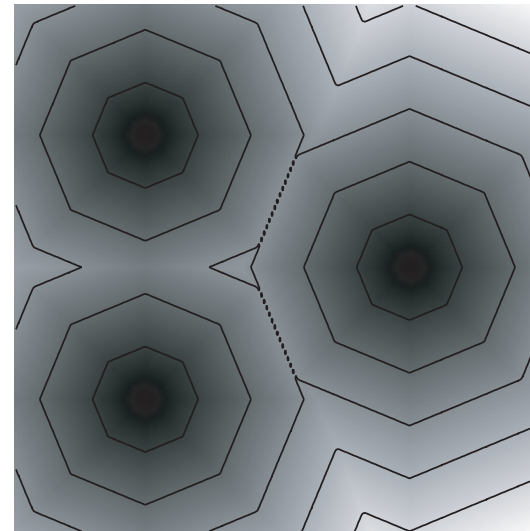
# Kvazieukleidovská vzdálenost

Eukleidovskou DT nelze snadno spočítat jen na dva průchody. Často se používá kvazieukleidovská aproximace vzdálenosti, která se na dva průchody spočítat dá.

$$D_{\text{QE}}((i, j), (h, k)) = \begin{cases} |i - h| + (\sqrt{2} - 1) |j - k| & \text{for } |i - h| > |j - k|, \\ (\sqrt{2} - 1) |i - h| + |j - k| & \text{otherwise.} \end{cases}$$

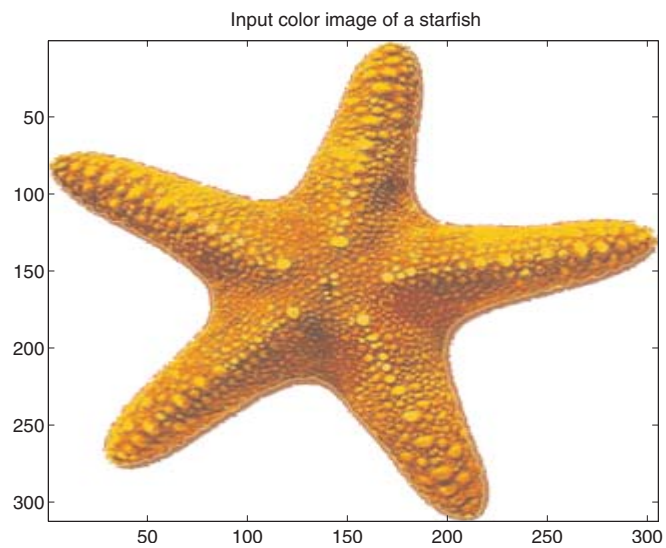


Euklidovská

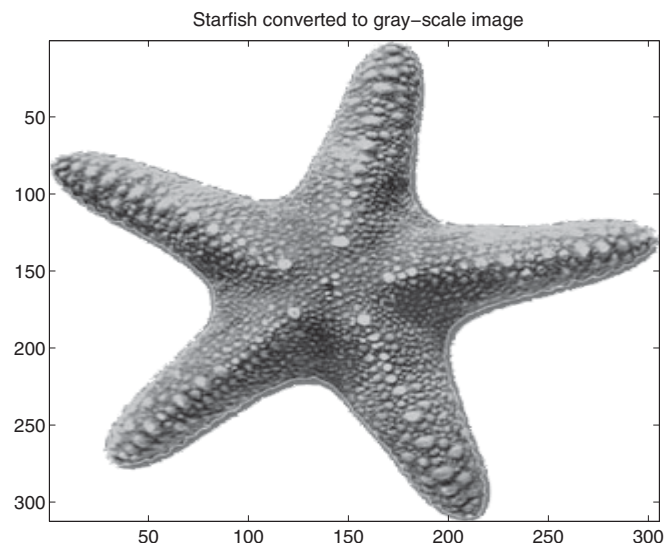


kvazieuklidovská

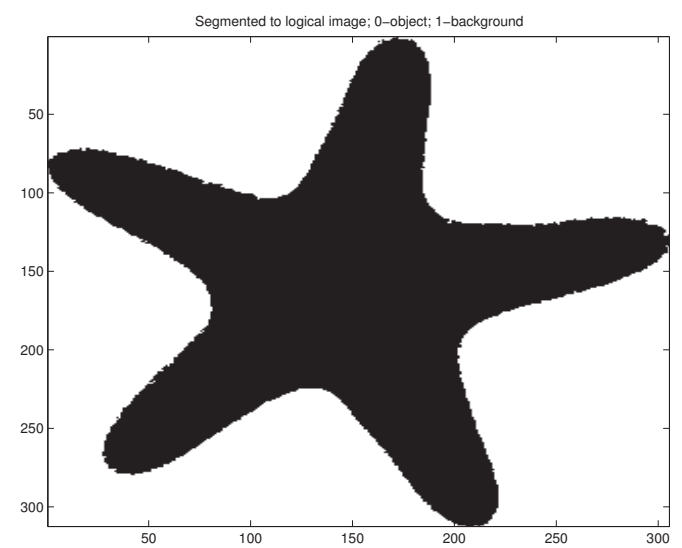
# DT příklad hvězdice, vstupní obrázek



barevný

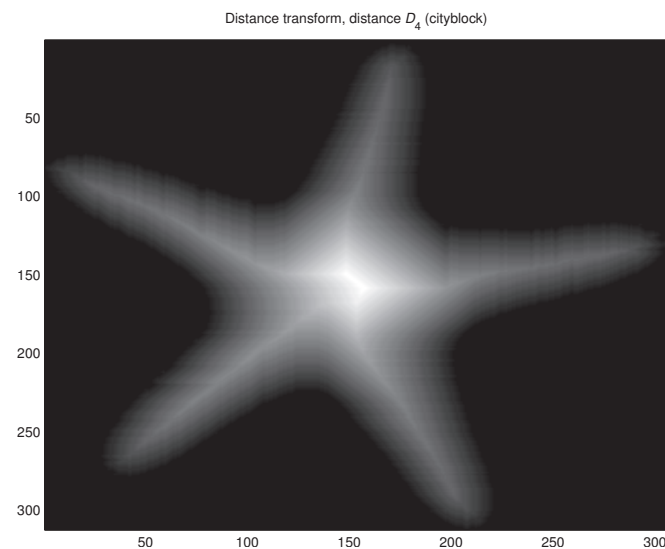


šedotónový

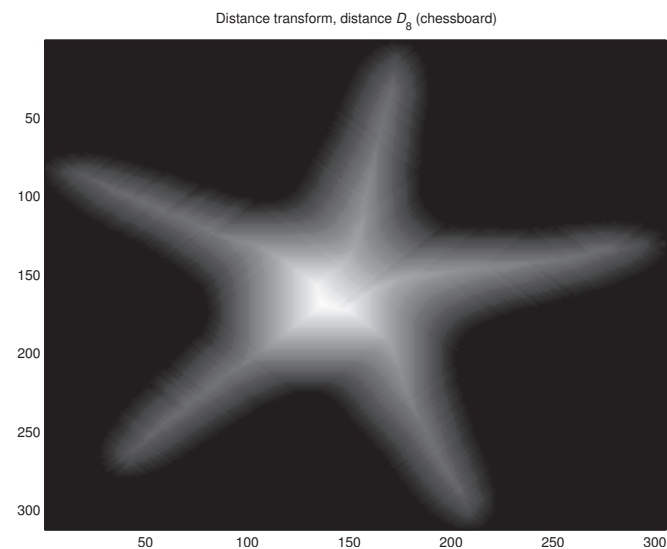


binární

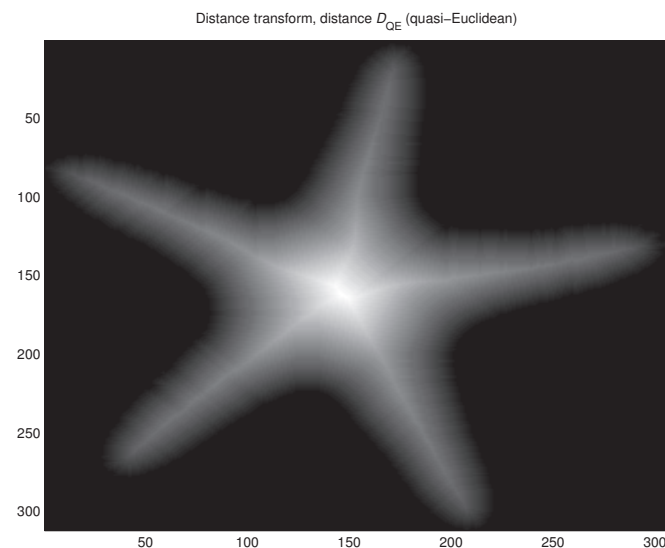
# DT příklad hvězdice, výsledky



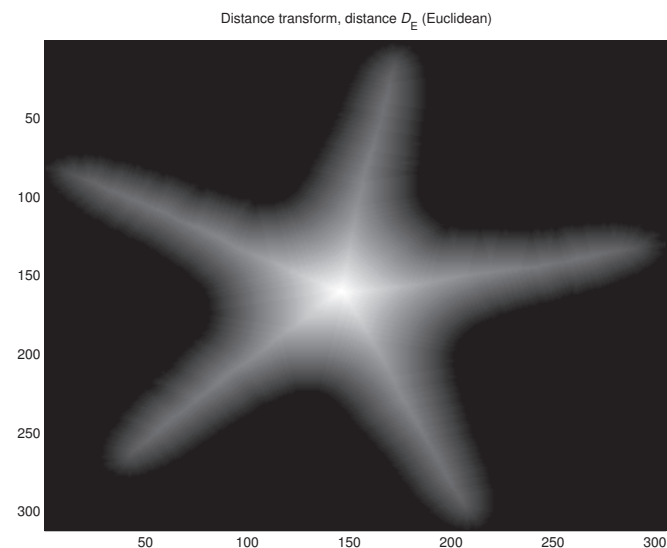
D4



D8



kvazieuklidovská



euklidovská