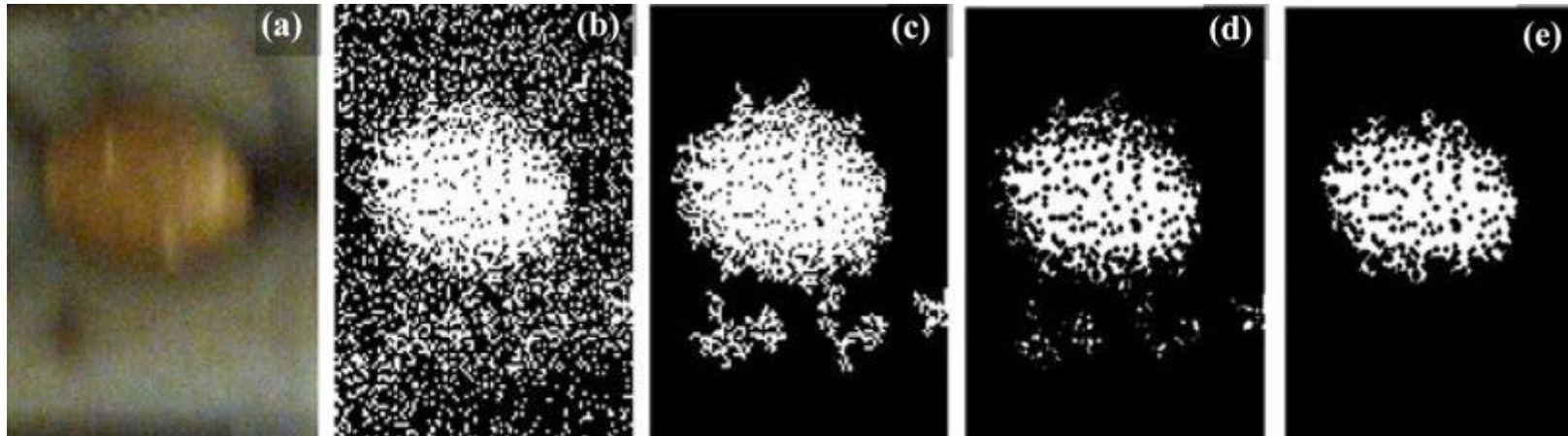


Morfologie a tvarové charakteristiky

Strojové vidění a zpracování obrazu
BI-SVZ

Šum v obraze (noise)



a) Leena Image with Gaussian Noise



b) Leena with Salt Pepper Noise

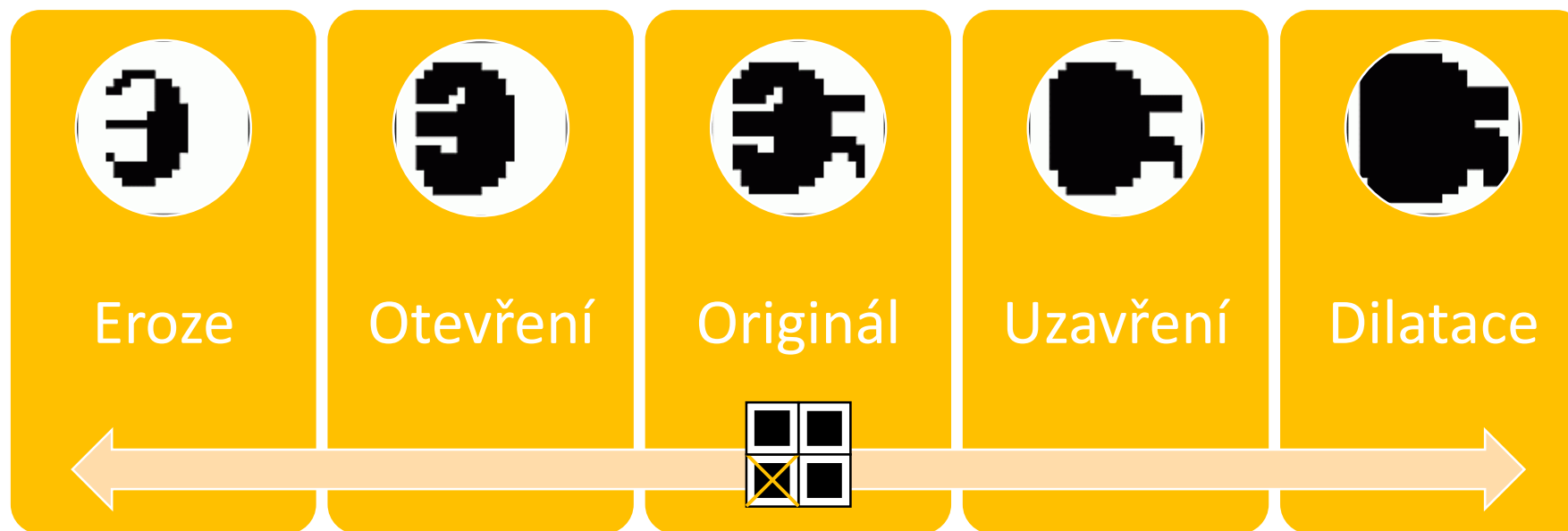
Morfologie v biologii

Studium velikosti, tvaru a vnitřní struktury zvířat, rostlin a mikroorganismů a hledání souvislostí mezi jejich vnitřními částmi.

Morfologie ve zpracování obrazu

Způsob, jak odhalit a získat znalosti z diskrétního obrazu pomocí jeho postupné analýzy malou sondou – strukturním elementem.

Metody binární morfologie



SMITH, W. *Digital signal processing: scientist and engineer's guide*. Vyd. 1. California: California Technical Publishing, 1997, 626 s. ISBN 09-660-1763-3.

Eroze

- Kontrakce (smrštění) objektů – může vést k oddělení objektů od sebe

The diagram illustrates the erosion operation. It shows a 14x14 binary image (left) being eroded by a 3x3 binary mask (middle) to produce a 12x12 binary image (right). The erosion operation is represented by the symbol \ominus .

Input Image (14x14):

```
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

Mask (3x3):

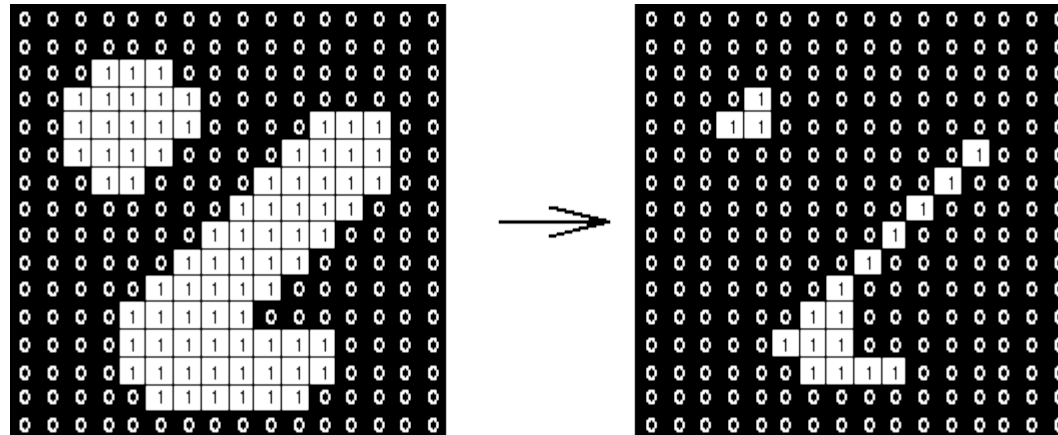
```
1 1 1
1 1 1
1 1 1
```

Output Image (12x12):

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

- Výstupní (středový) pixel bude 1, jen pokud všechny pixely pod maskou budou 1.

Eroze



Dilatace

- Expanze (zvětšení) objektů – může vést ke „slití“ objektů do sebe

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

 \ominus

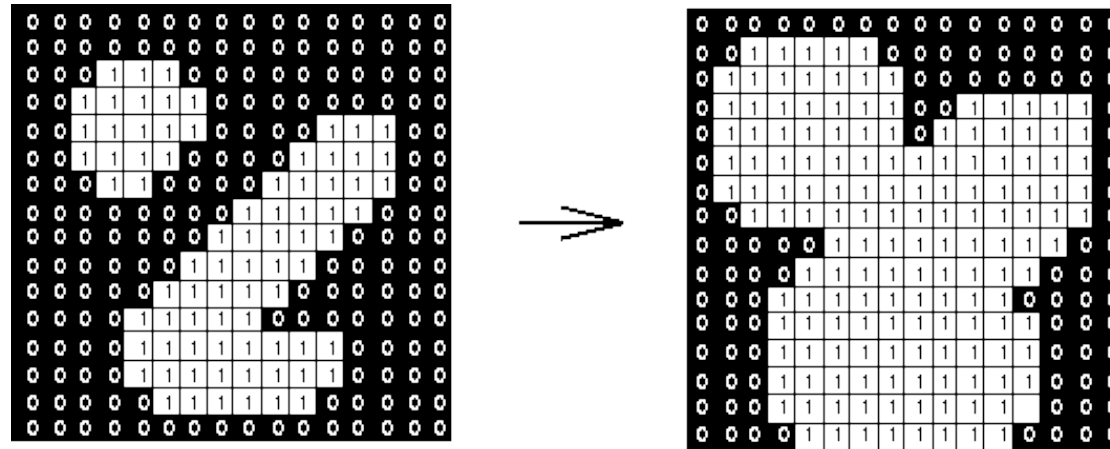
| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

 $=$

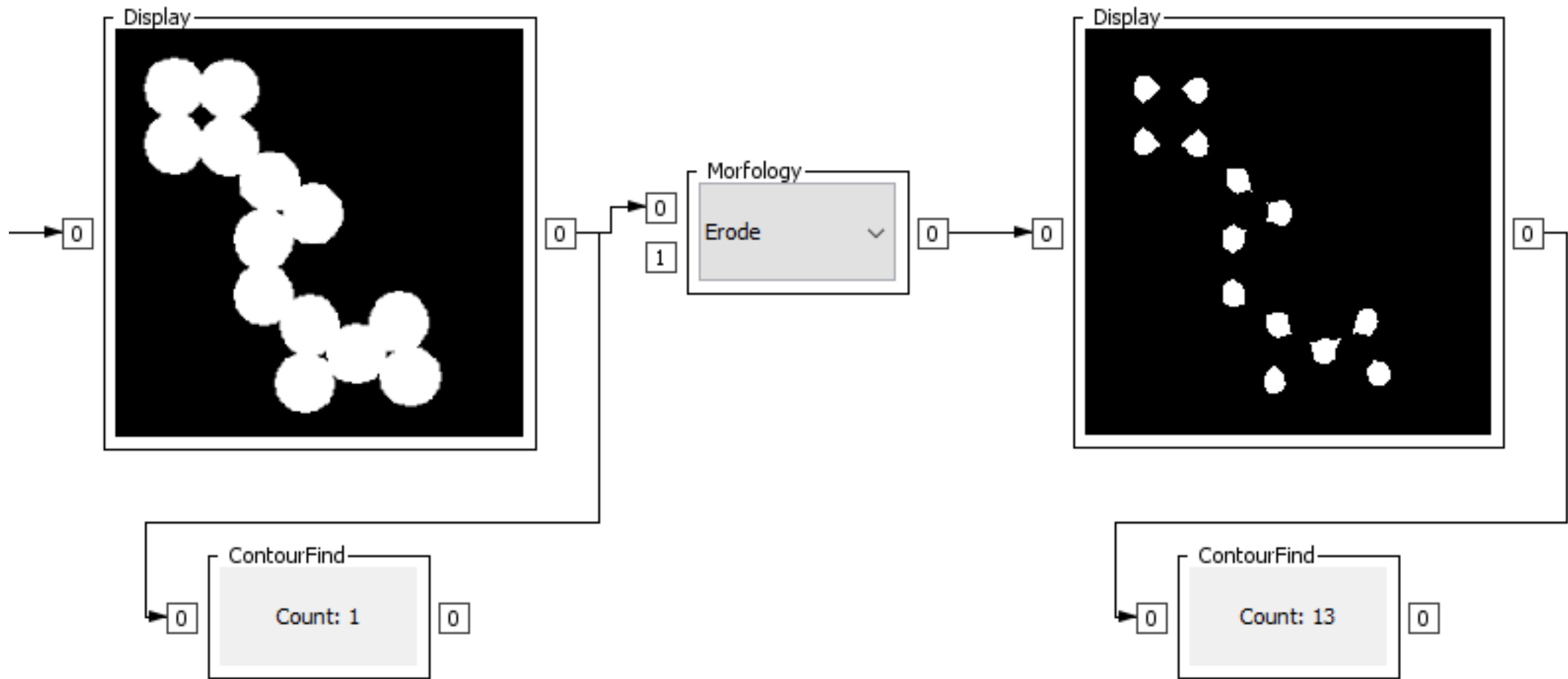
| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|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

- Výstupní (středový) pixel bude 1, pokud aspoň jeden pixel pod maskou bude 1.

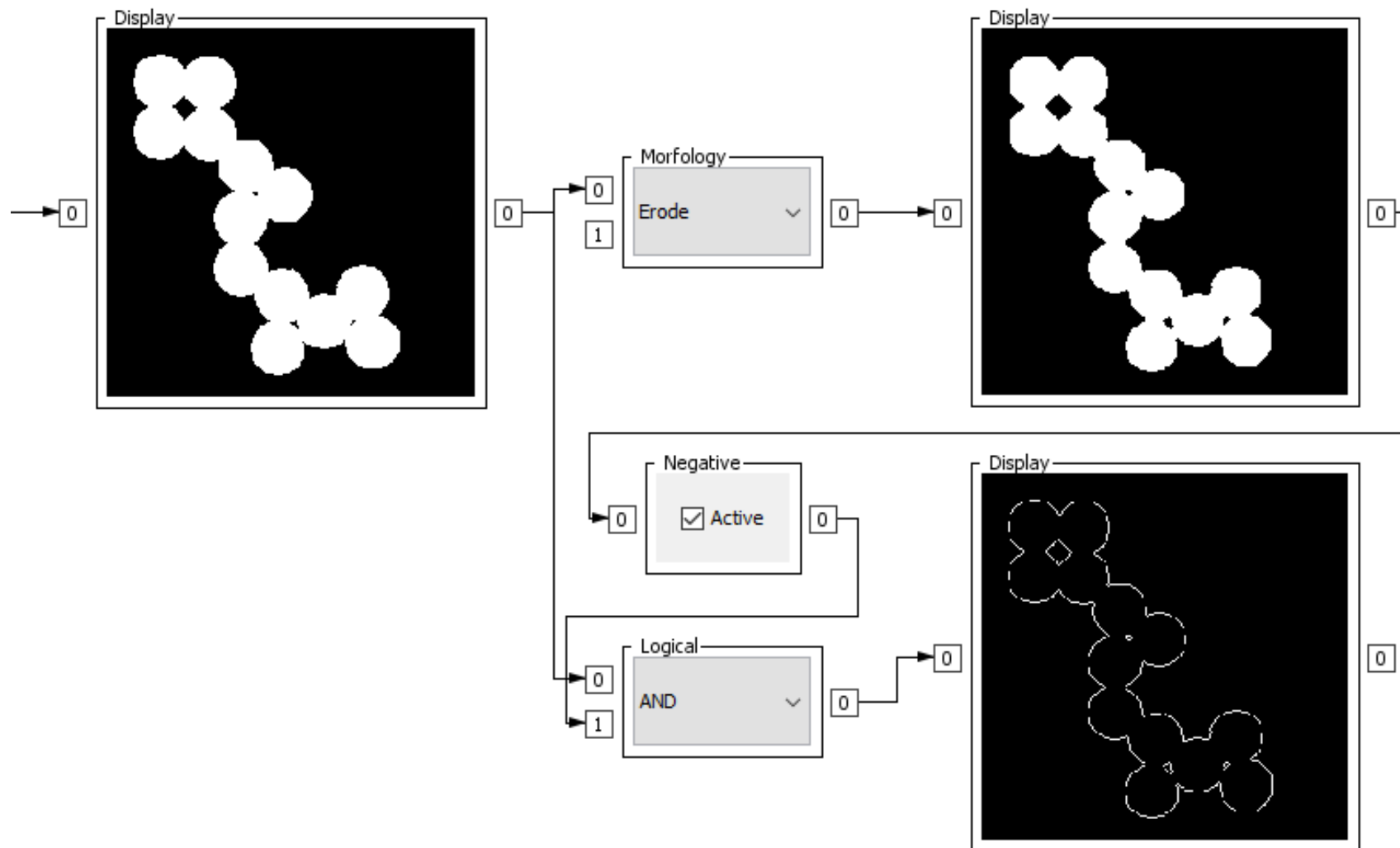
Dilatace



Eroze

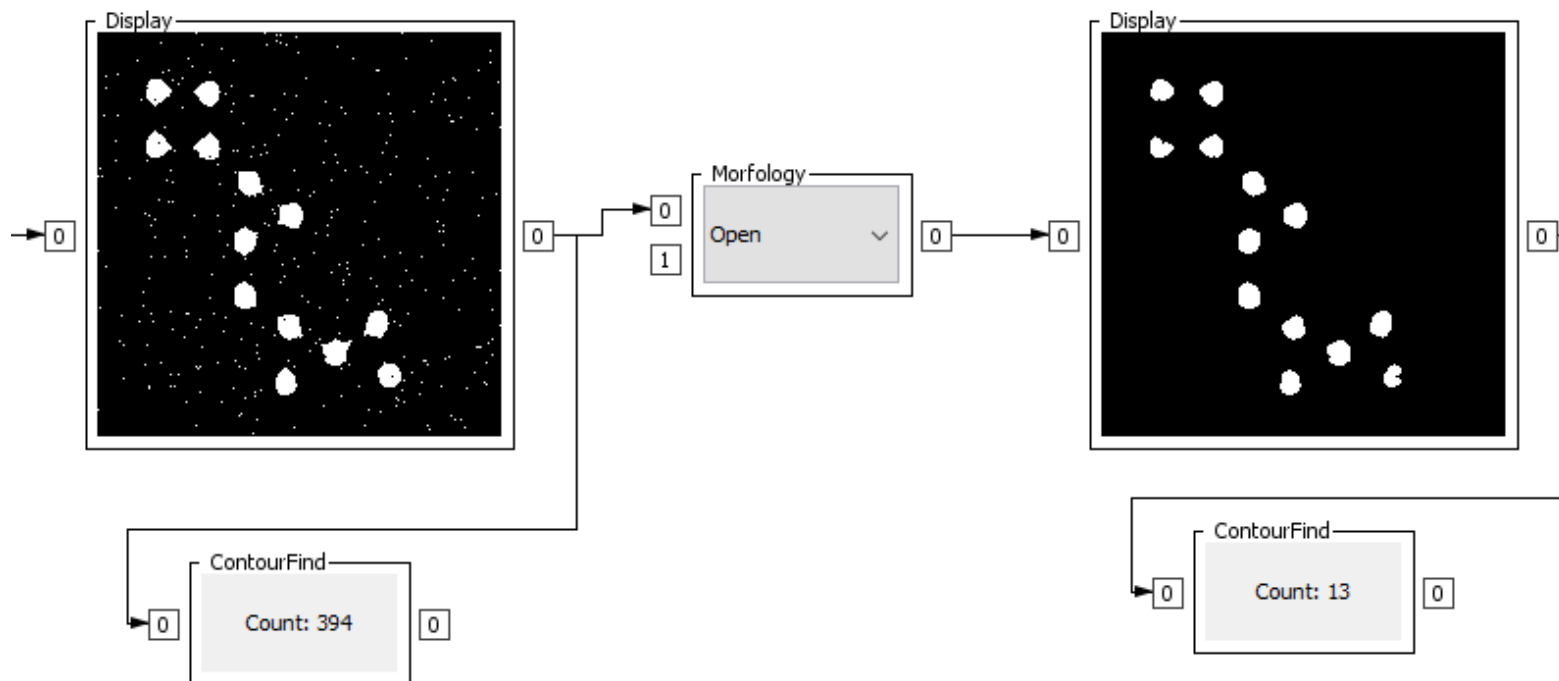


Eroze – zisk kontur



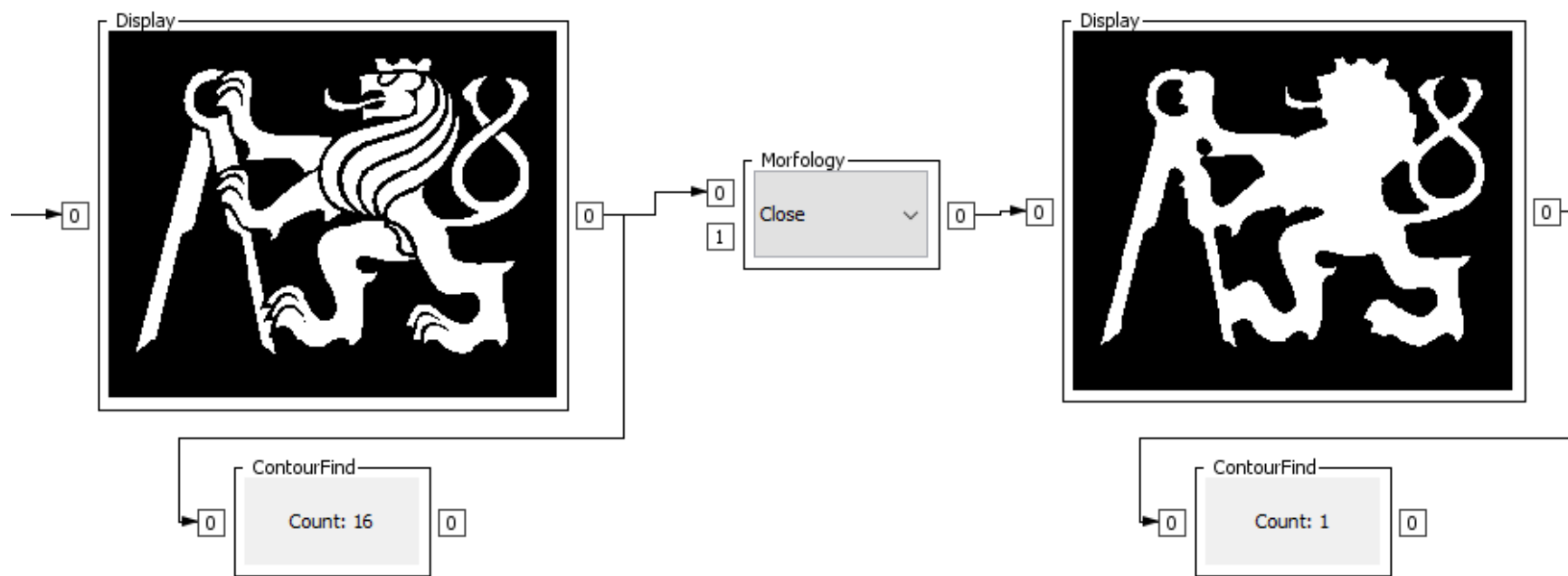
Otevření

- Zbavení se šumu
- Nejdřív eroze, potom dilatace



Uzavření

- Spojení objektů, zaplnění děr
- Nejdřív dilatace, potom eroze



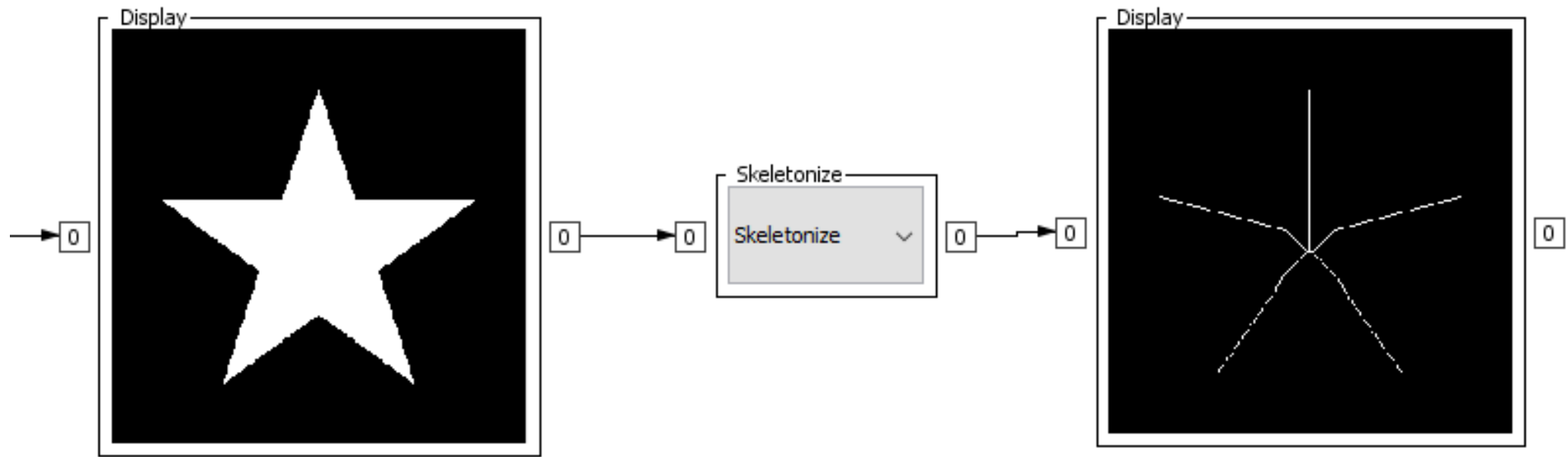
Skeletonizace (kostra tvaru)

- Cílem skeletonizace je vytvoření zjednodušené reprezentace objektu, která zachycuje základní topologii a tvar
- Vytvoření skeletonu **spojením středů vepsaných kružnic**
 - V každém bodě uvnitř tvaru si představíme největší možný kruh, který je celý uvnitř objektu.
 - Tento kruh se musí dotýkat hranice objektu alespoň ve dvou bodech.
 - Střed takového kruhu je považován za bod kostry.
 - Když spojíme všechny tyto středy, dostaneme skeleton (kostru) objektu.

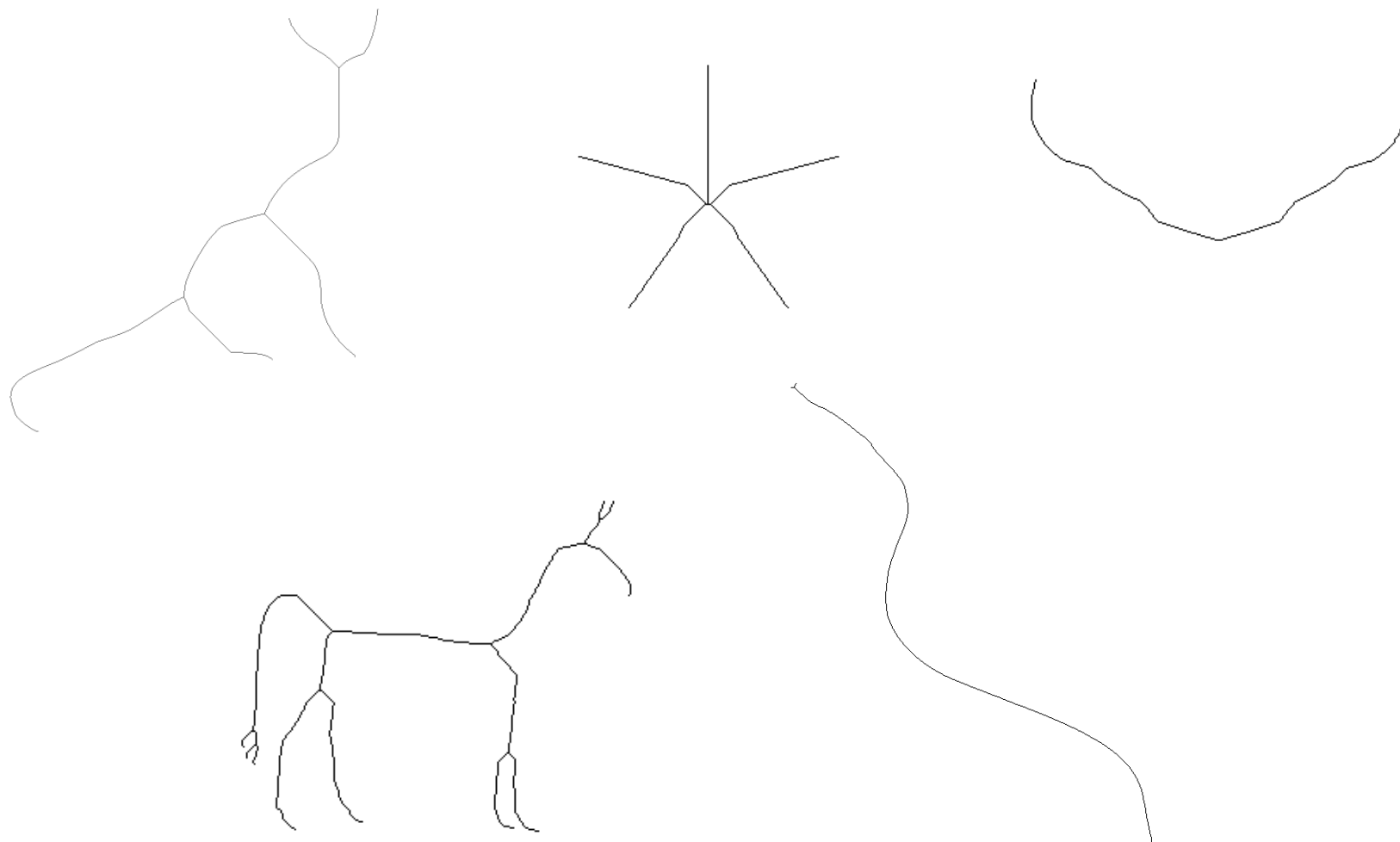


<https://stock.adobe.com/cz/images/cartoon-illustration-of-human-skeleton-of-dead-businessman-sitting-in-front-of-computer/166967190>

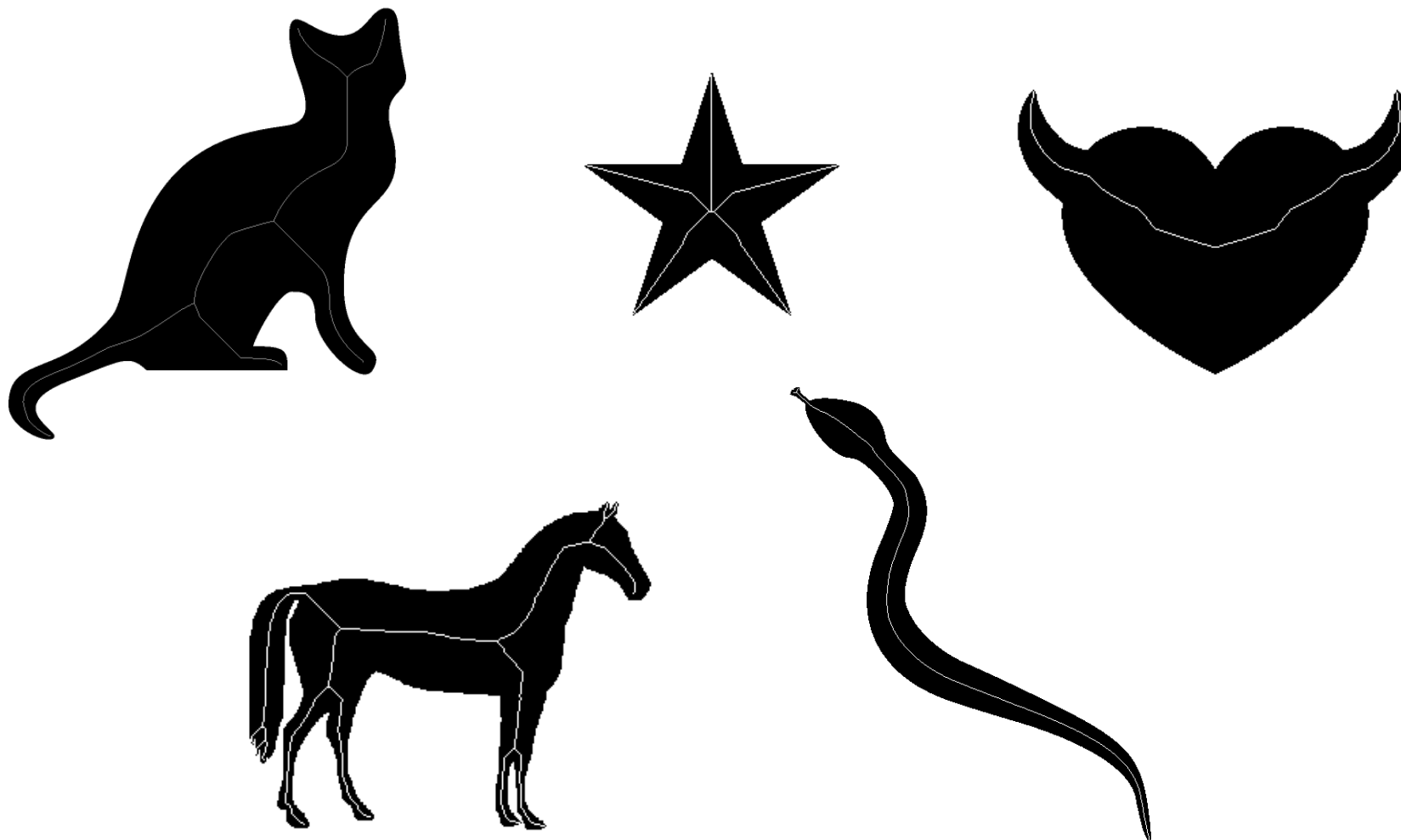
Skeletonizace (medial-axis transform)



Skeletonizace



Skeletonizace

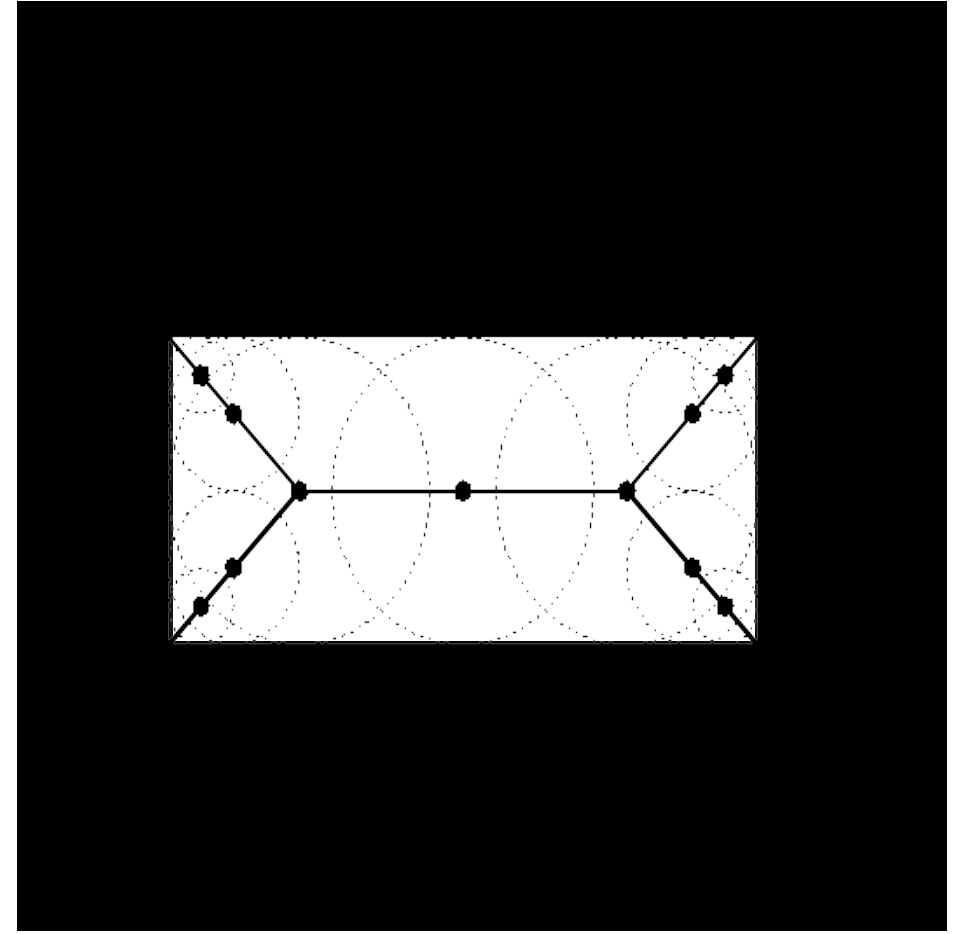
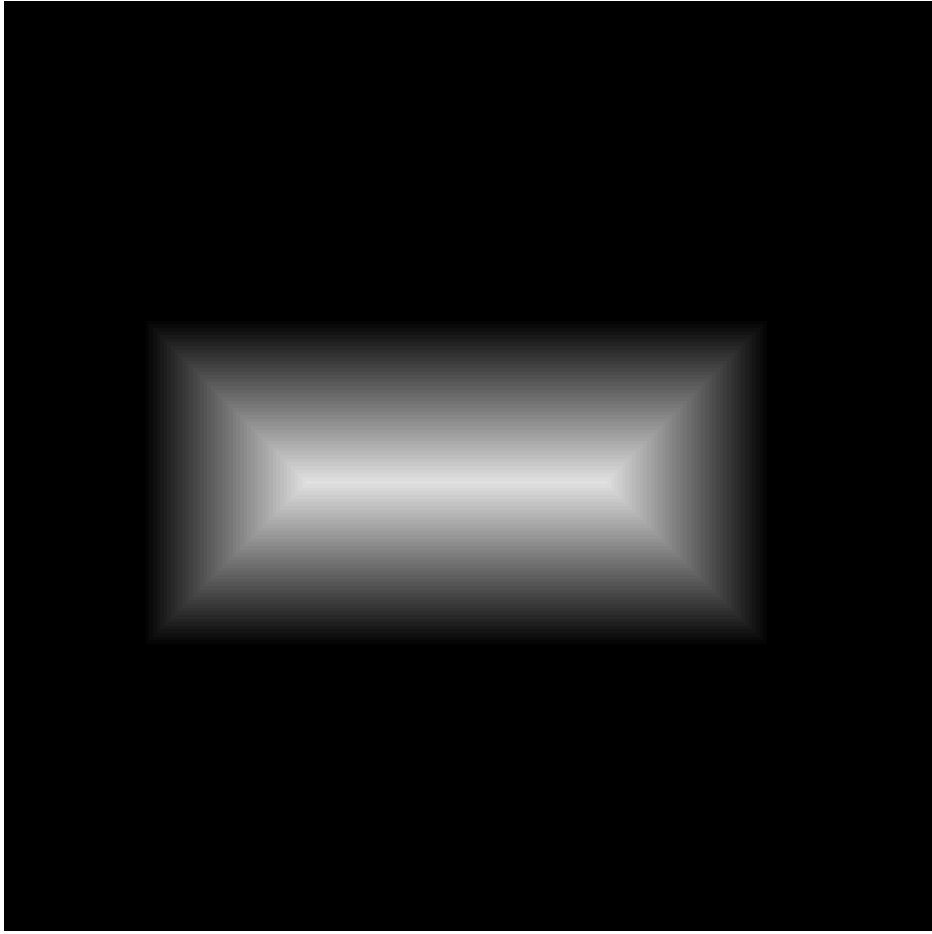


Skeletonizace (kostra tvaru)

- **Vzdálenostní transformace** (Distance Transform)

- Každému pixelu uvnitř objektu přiřadí hodnotu jak daleko je tento bod od nejbližšího okraje objektu
- Body blízko hranice mají malou hodnotu.
- Body hluboko uvnitř objektu mají velkou hodnotu.
- Místa s lokálními maximy odpovídají středům největších vepsaných kruhů.
- Skeleton lze tedy získat následným spojením těchto lokálních maxim.

Vzdálenostní transformace (Distance Transform)

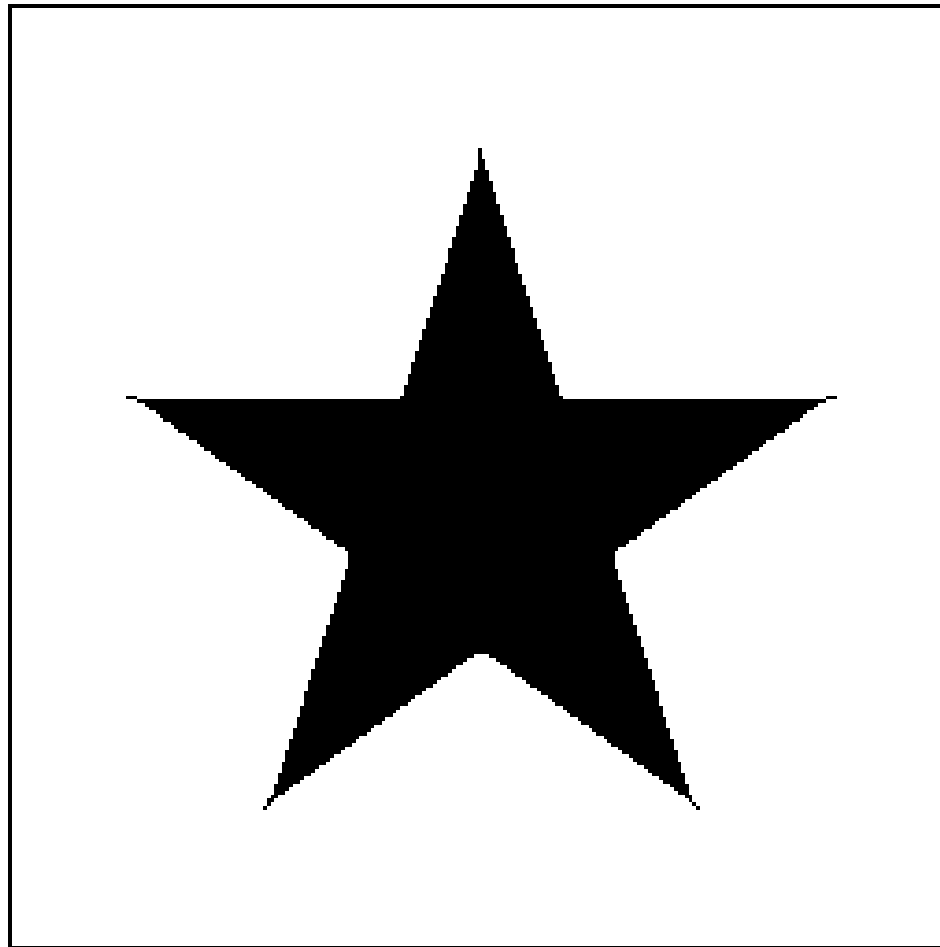


Skeletonizace (kostra tvaru)

- Tenčení (Thinning) - morfologická operace, která
 - postupně odstraňuje pixely z hran objektu, ale
 - zachovává topologii (tzn. objekt zůstane souvislý a neporušený),
 - dokud nezůstane jednopixelová kostra.
- Výsledek je velmi podobný skeletonu získanému vzdálenostní transformací, ale vzniká čistě morfologicky, bez nutnosti počítat vzdálenosti.
- Oproti metodě se vzdálenostní transformací je rychlejší, ale méně přesný (kostra může být méně hladká).

Skeletonizace (kostra tvaru)

- Tenčení (Thinning)

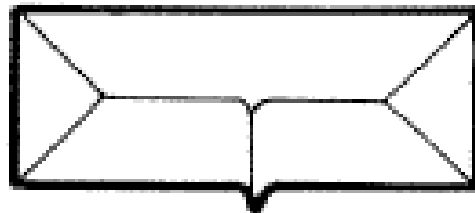
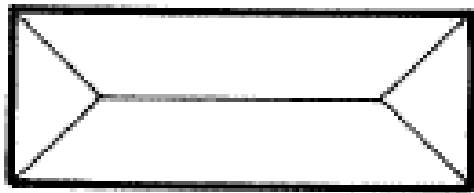


Skeletonizace (kostra tvaru)

- Následné operace po skeletonizaci
 - Aproximace přímkami
 - Vektorizace, další zjednodušení reprezentace tvaru
 - Možnost extrahovat příznaky (parametry přímek)
 - Detekce a odstranění artefaktů na koncích (pruning), aby kostra byla
 - Hladší
 - Stablnější
 - Topologicky správná (nepřerušená, bez slepých větví)

Skeletonizace (kostra tvaru) - pruning

- Po skeletonizaci může být výsledná kostra
 - nepravidelná,
 - obsahovat krátké výběžky (ostruhy, „větvičky“),
 - mít malé smyčky nebo špičky, které neodpovídají skutečnému tvaru objektu.
- Tyto nežádoucí výběžky vznikají obvykle kvůli
 - šumu na hranicích původního objektu,
 - malým výstupkům nebo zubatosti hran,
 - kvantizačním chybám při digitalizaci obrazu.

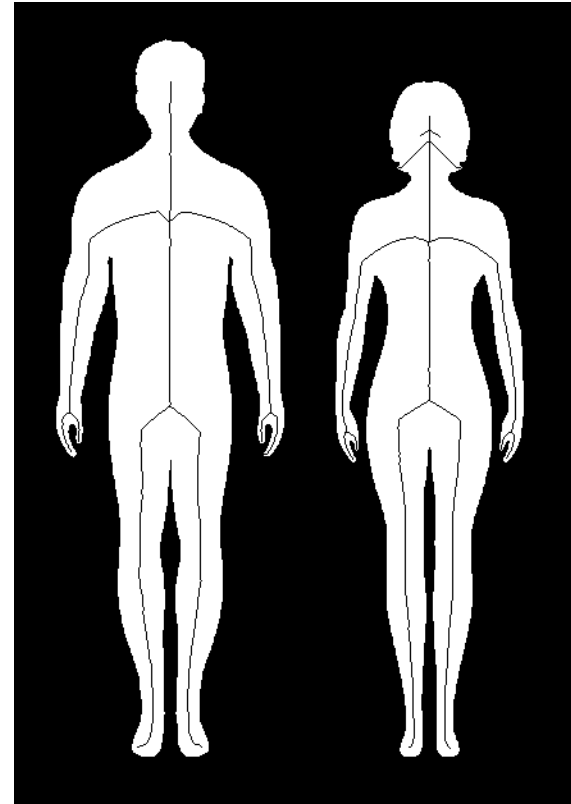
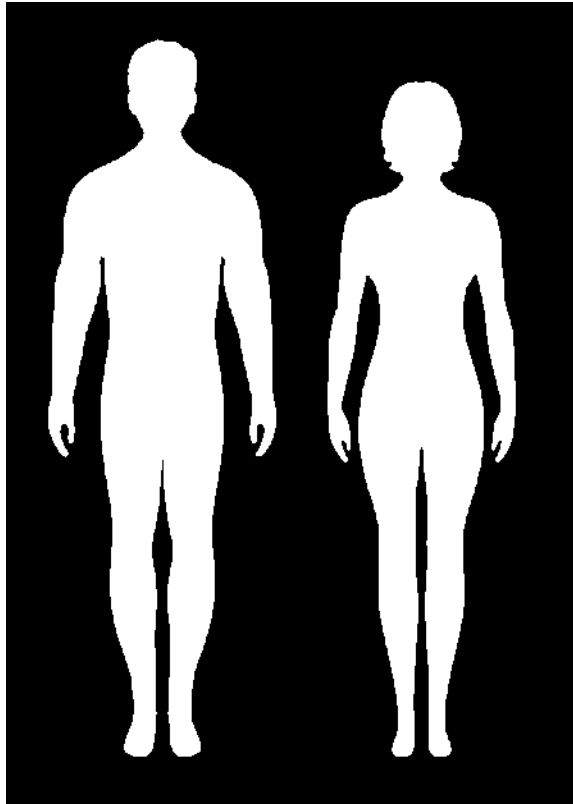


Skeletonizace (kostra tvaru) - pruning

- Morfologické metody
 - Používají opakované aplikace morfologických operací (např. hit-or-miss transf.) k odstranění pixelů, které:
 - mají jen jednoho souseda (koncové body krátkých větví) a
 - jsou kratší než určitá délka.
 - Tím se odstraní drobné větve, ale hlavní linie kostry zůstane.
- Grafové metody
 - Kostra se interpretuje jako graf:
 - uzly = body větvení nebo koncové body,
 - hrany = spojnice mezi nimi.
 - Pak lze jednoduše:
 - změřit délky jednotlivých větví a
 - odstranit ty, které jsou kratší než zvolený práh.
- Heuristické metody
 - Prořezávání může být založeno i na:
 - zakřivení větví,
 - úhlu odbočení od hlavní osy nebo
 - na frekvenci šumu v okolí hranice.

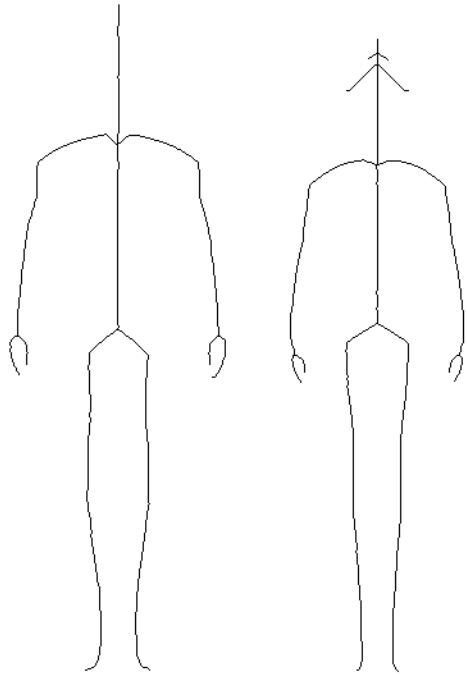
Pruning

- Ořezání volných konců



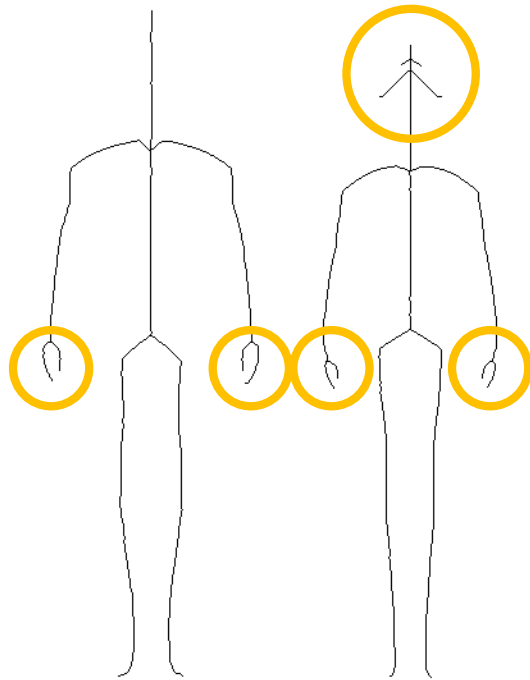
Pruning

- Ořezání volných konců



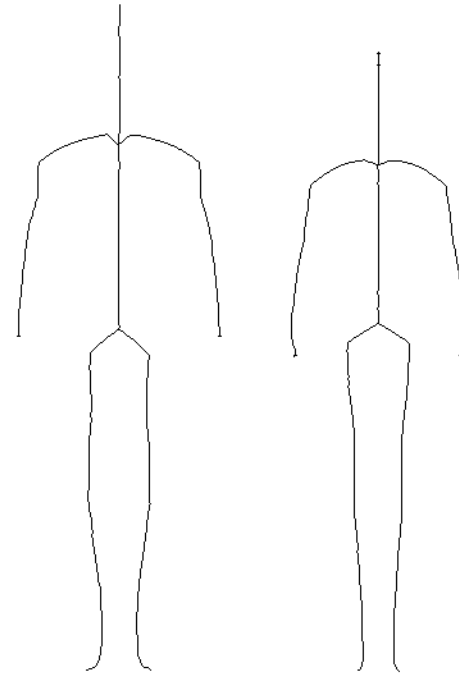
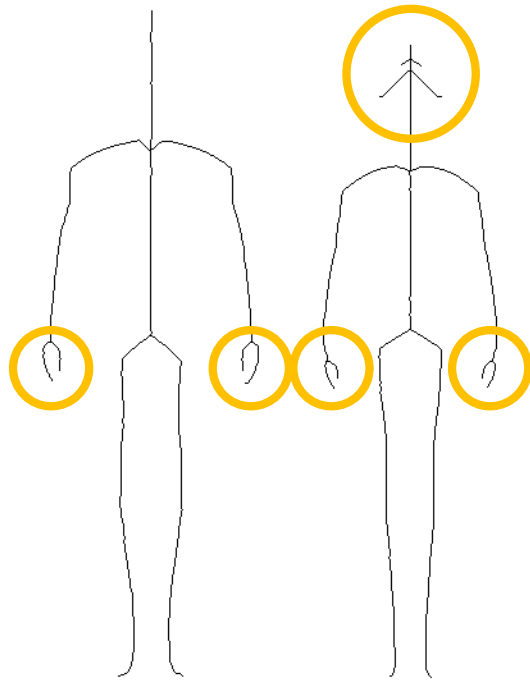
Pruning

- Ořezání volných konců



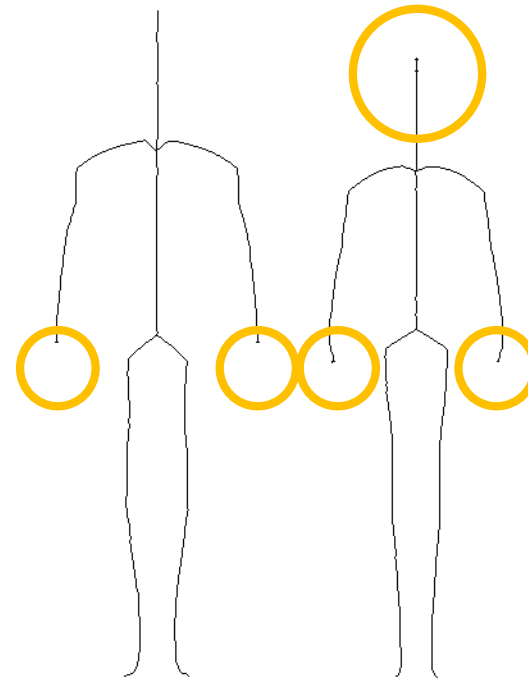
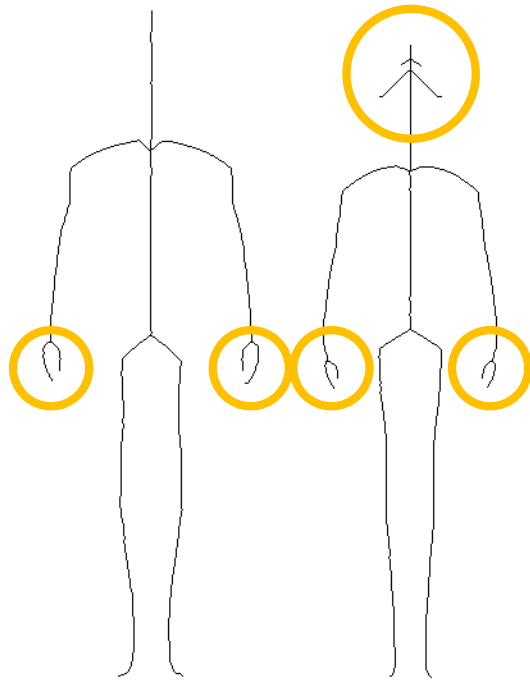
Pruning

- Ořezání volných konců



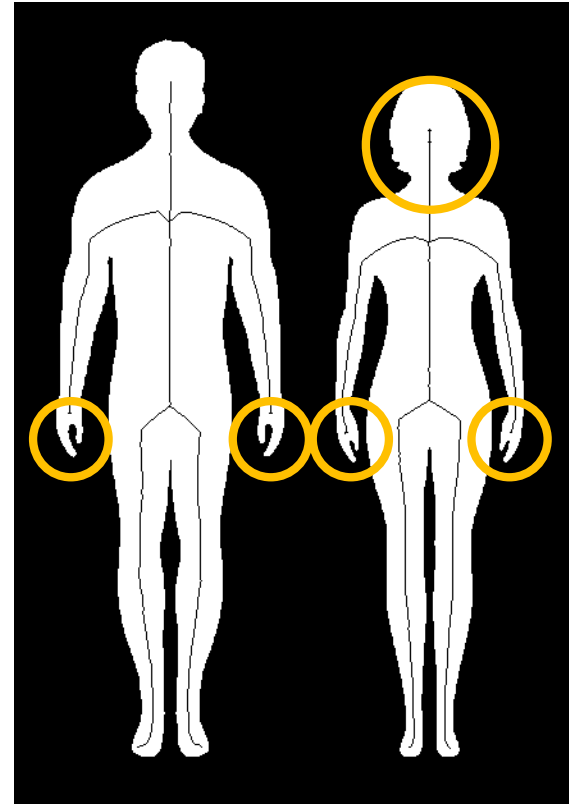
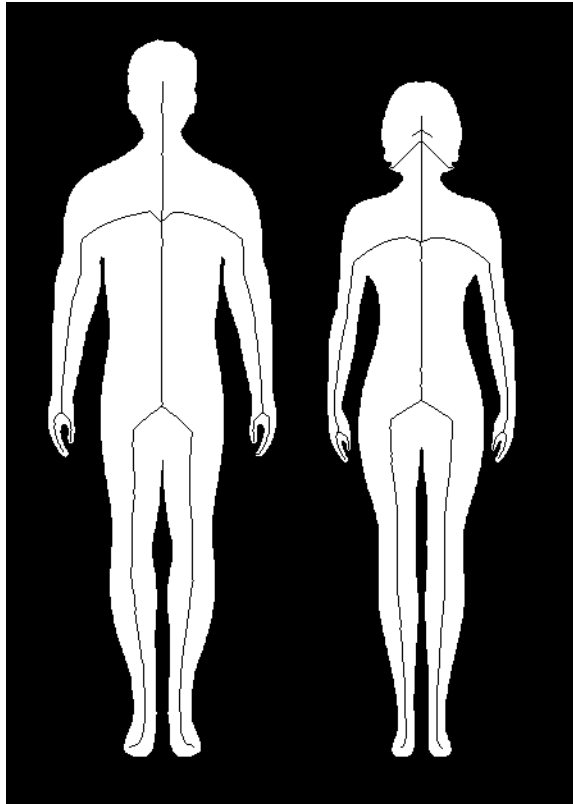
Pruning

- Ořezání volných konců

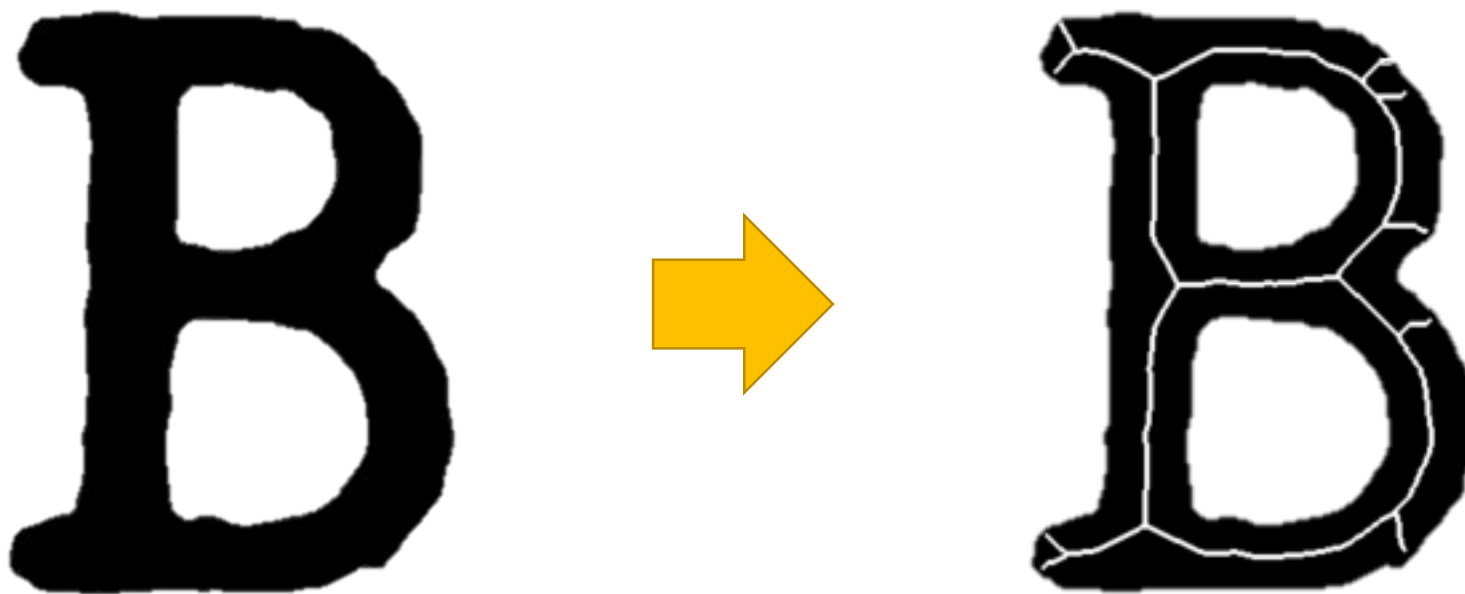


Pruning

- Ořezání volných konců



Zpracování textu (typický příklad)



Hit-or-miss transformace

- **Morfologická operace**, která detekuje výskyt určitého předepsaného tvaru v obrazu.
- Předepsaný tvar se nazývá **strukturní element** nebo **maska**
- Obsahuje informaci, kde musí být pozadí (0), popředí (1) a případně, kde je to jedno (X).

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

Maska pro pravý
dolní roh

Hit-or-miss transformace

- Detekce koncových bodů skeletonu

| | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 |
| <div>-1</div> | <div>1</div> | <div>-1</div> |
| <div>-1</div> | <div>-1</div> | <div>-1</div> |

Speciální případ pro opencv

- 0 : nezámek
- 1 : popředí
- -1 : pozadí

Hit-or-miss transformace

- Detekce koncových bodů skeletonu

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

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

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

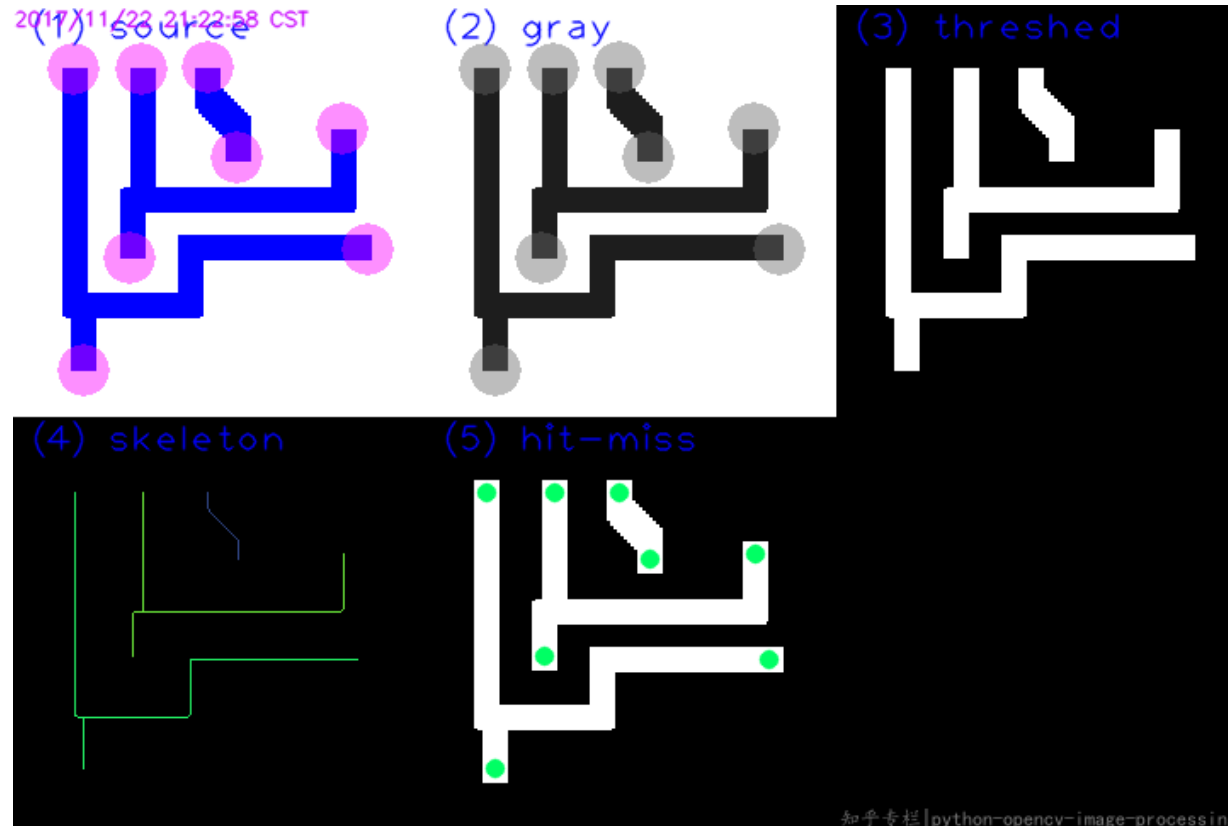
| | | |
|----|--------------|---|
| -1 | -1 | 0 |
| -1 | 1 | 0 |
| -1 | -1 | 0 |

Speciální případ pro opencv

- 0 : nezámek
- 1 : popředí
- -1 : pozadí

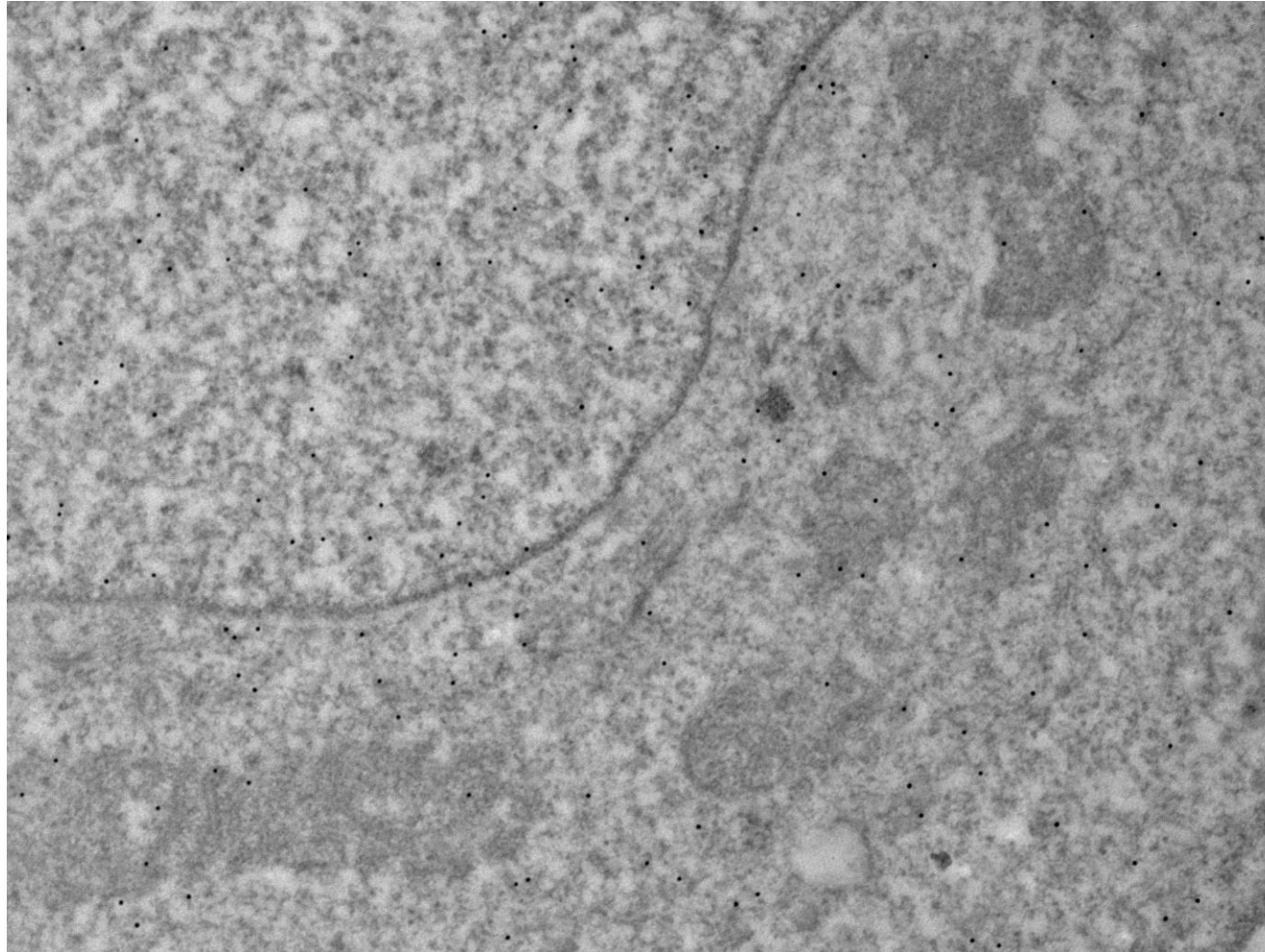
4x

Hit-or-miss transform



<https://stackoverflow.com/a/47430038/1398955>

Metody šedotónové morfologie



Top-hat transformace

- Top-hat transformace je
 - **morfologická operace**, která se používá hlavně ke **zvýraznění** malých, světlých nebo tmavých **detailů** v obraze — tedy objektů, které jsou menší než zvolený strukturální prvek (okno).
 - Top-hat transformace **porovnává původní obraz a morfologicky otevřený (nebo uzavřený) obraz**.
 - Proto rozlišujeme dva typy:
 - (White) Top-hat transformace
 - Black Top-hat transformace (Bottom-hat transformace)

Top-hat transformace

- **White Top-hat transformace**

$$T_{white}(f) = f - (f \circ b)$$

- f = původní obraz
- $f \circ b$ = morfologické **otevření** obrazu pomocí strukturálního prvku b (tj. eroze → dilatace)
- Zvýrazňuje malé světlé (jasné) objekty, které zmizí při otevření.
- Používá se např. k detekci malých světlých bodů, teček, zrn, prachových částic apod.

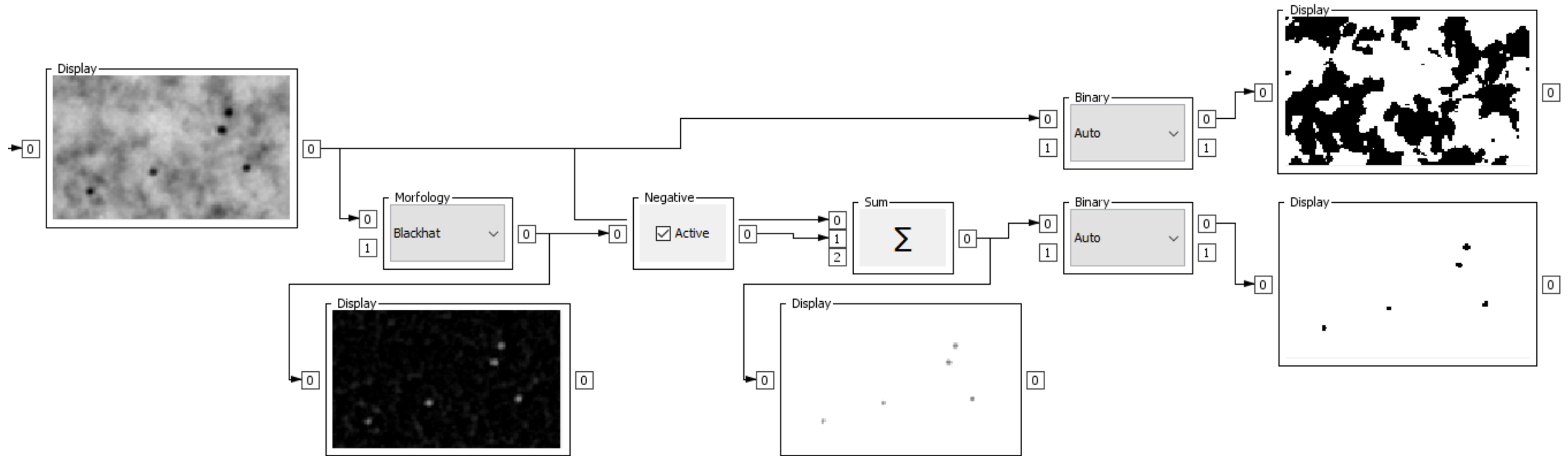
Top-hat transformace

- **Black Top-hat transformace (Bottom-hat)**

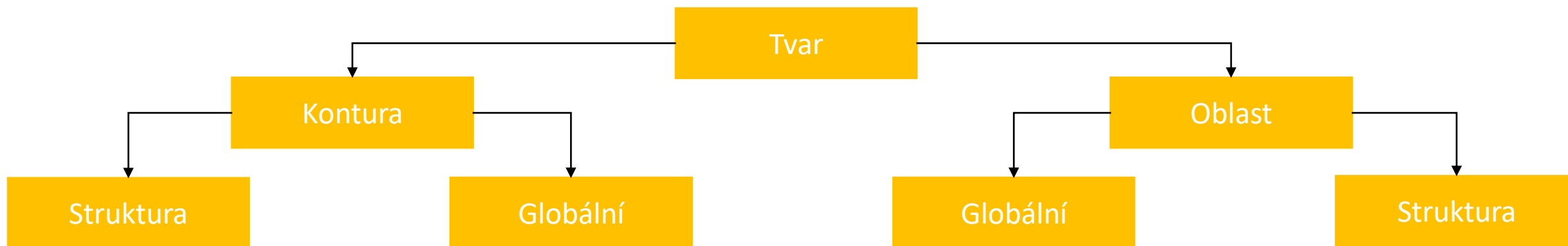
$$T_{black}(f) = (f \bullet b) - f$$

- f = původní obraz
- $f \bullet b$ = morfologické **uzavření** obrazu (dilatace \rightarrow eroze)
- Zvýrazňuje malé tmavé (černé) oblasti, které zmizí při uzavření.
- Hodí se pro detekci tmavých teček, trhlin, rýh nebo stínů.

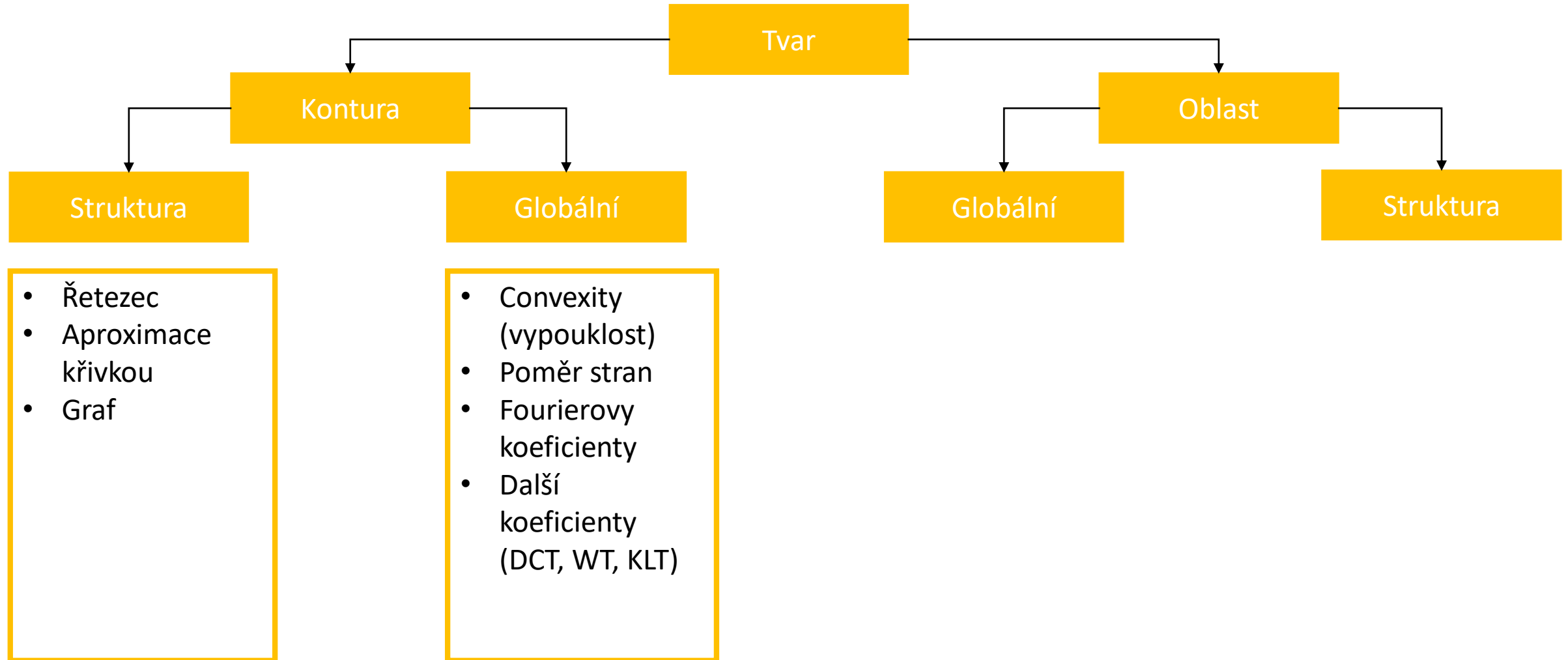
Top-hat / Black Top-hat (Bottom-hat)



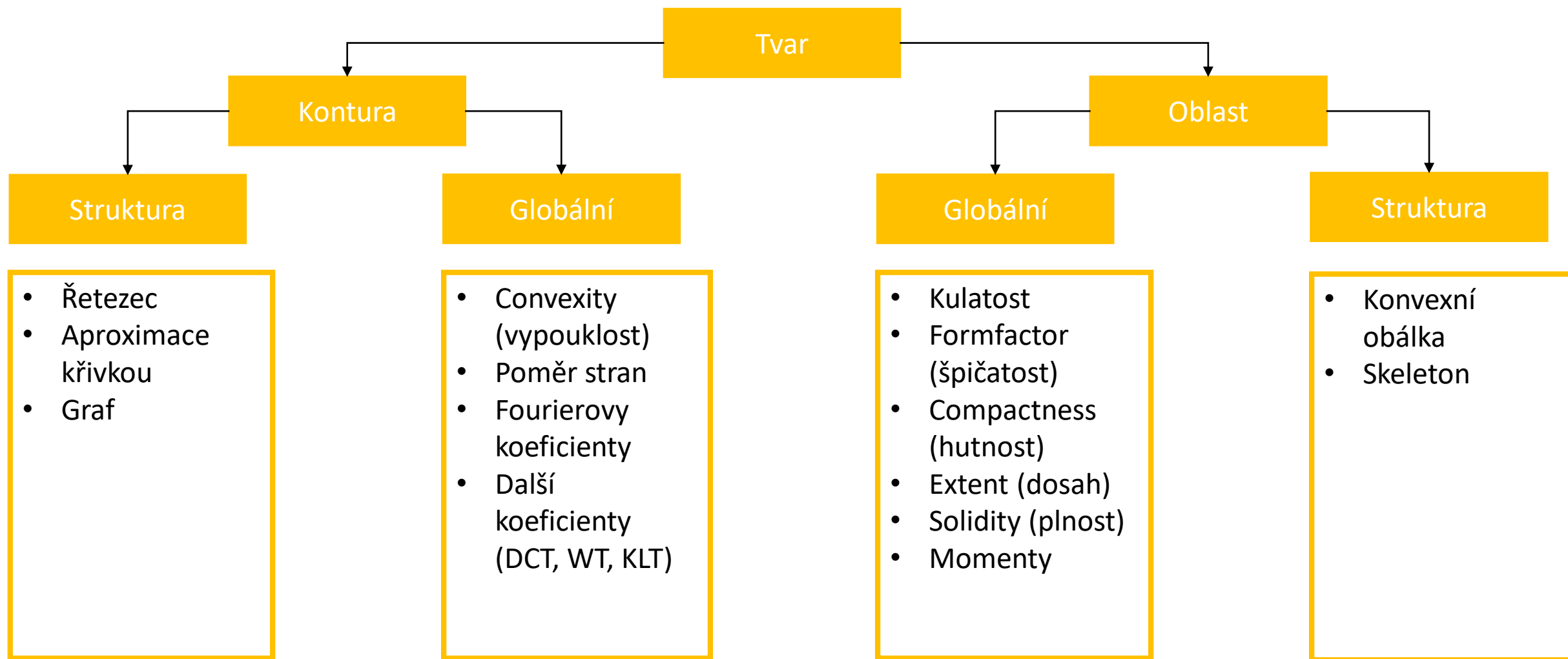
Tvarové charakteristiky



Tvarové charakteristiky



Tvarové charakteristiky



Popis objektů v obrazu

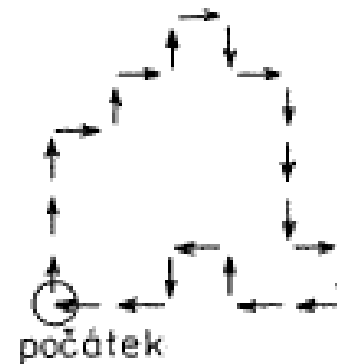
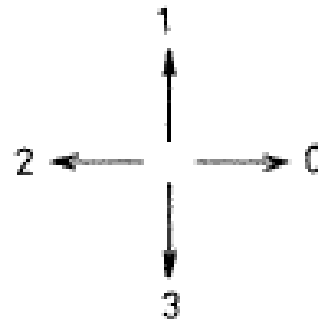
- Rozpoznávání
 - Příznakové – základem je **vektor číselných příznaků**
 - Strukturální – základem je **primitivum** (část obrazu s určitými vlastnostmi)
- Cíl popisu objektů
 - Získ vektoru číselných příznaků nebo primitiva

Reprezentace hranic

- Aproximace hranice úsečkami
 - Hranice určena spojováním bodů
 - **Uzavřená křivka** – první a poslední bod společný
 - Někdy místo přímky používáme polynom
 - Teoreticky lze dosáhnout libovolné přesnosti, v praxi jsme omezeni diskretizační mřížkou
- Fourierovské popisovače
 - Hranice brána jako periodická funkce, kterou lze rozložit ve Fourierovu řadu
 - Využití koeficientů Fourierova rozvoje

Reprezentace hranic

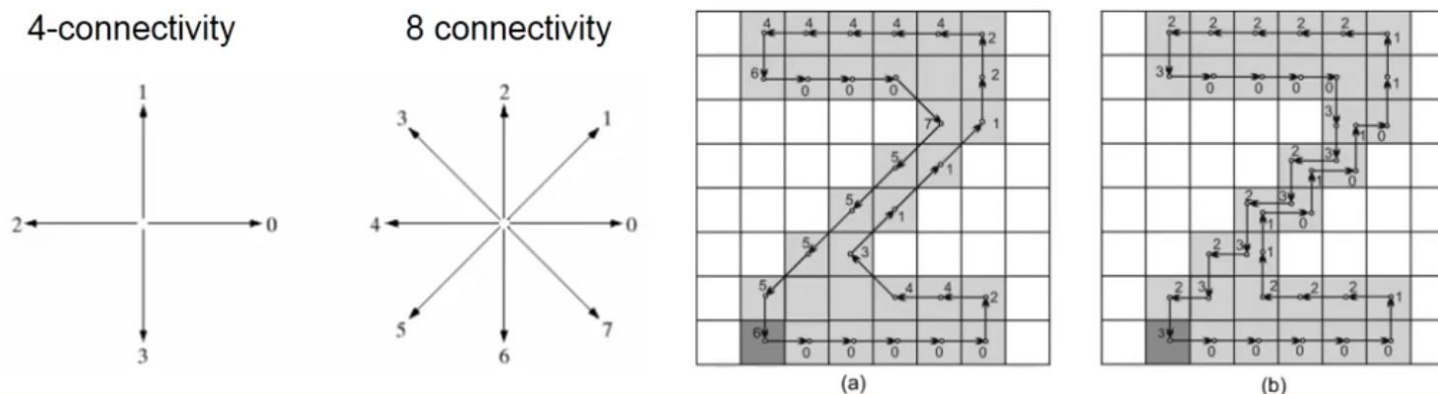
- Řetězové kódy
 - Skládají se z úseček jednotkové délky, které mají pevnou orientaci
 - U počátečního bodu nutné udat souřadnice v obrazu
 - Ostatní body hranice jsou popsány přírůstk



kód: 1110 1010 30333032212322
derivative: 100 3131331300133031130

Reprezentace hranic

- Řetězové kódy

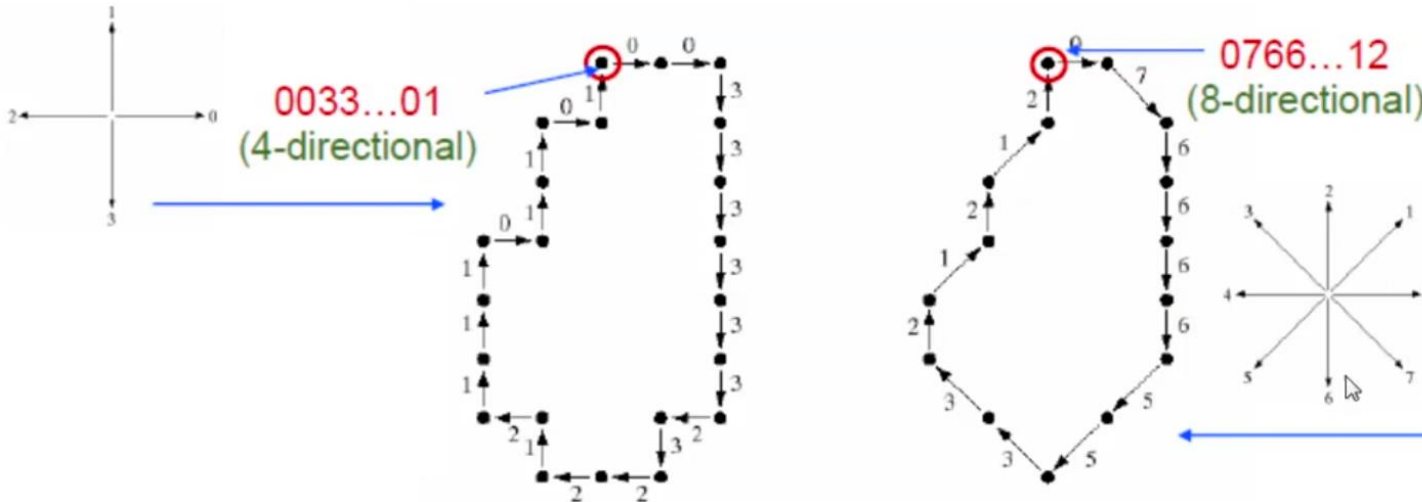
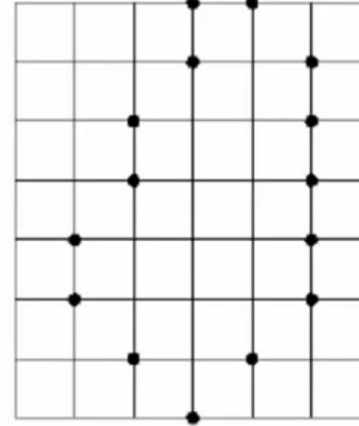
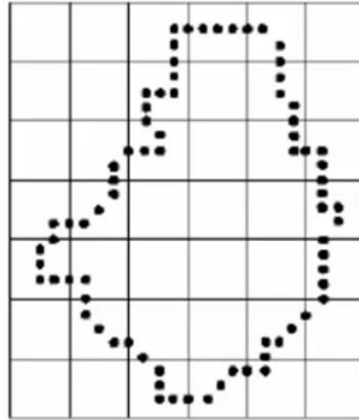


- **Počátek** volíme např. tak, že řetězový kód rotujeme (posouváme v kruhu) tak, až dostaneme nejmenší celé číslo (tzv. **normalizace**), např.

1010033322 → 003333222101

Reprezentace hranic

- Řetězové kódy
 - Převzorkování
- Reprezentace

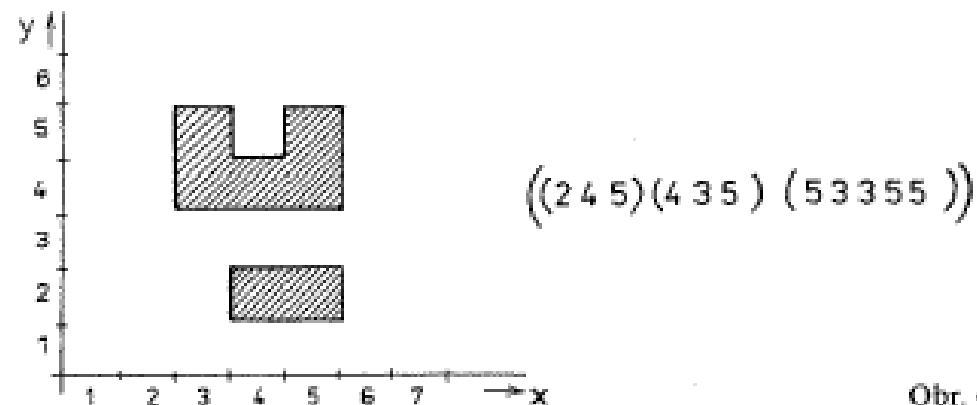


Reprezentace oblastí – pole příslušnosti k oblasti

- Body jedné oblasti jsou označeny jedním přirozeným číslem (TRUE / FALSE)
- + informace je v poli snadno dostupná,
- + snadná realizace sjednocení a průniku oblastí
- - velké paměťové nároky,
- - hranice oblasti není explicitně popsána

Reprezentace oblastí – úseky řádků

- Komprimace informace z pole predikátů příslušnosti k oblasti
- Oblast je představována seznamem seznamů
 - Prvek hlavního seznamu ~ situace v jednom řádku
 - 1. položka podseznamu ~ vertikální souřadnice
 - Další položky podseznamu ~ dvojice sloupcových souřadnic (vstup a výstup z oblasti)



Obr. 4

Jednoduché tvarové vlastnosti

- **Velikost V (Plocha objektu)** – počet obrazových elementů, které přísluší danému objektu
- Jasové vlastnosti - **Střední jas μ** a jeho **rozptyl D**

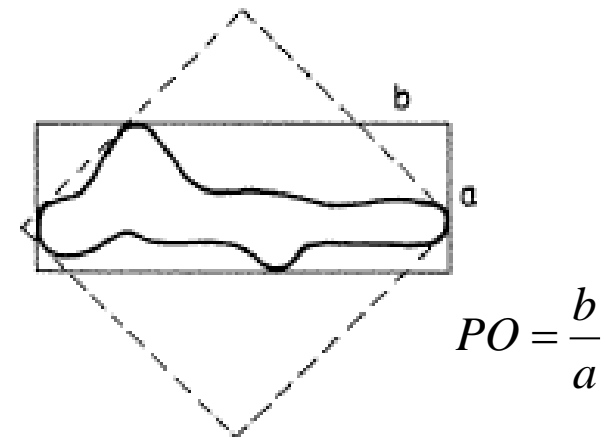
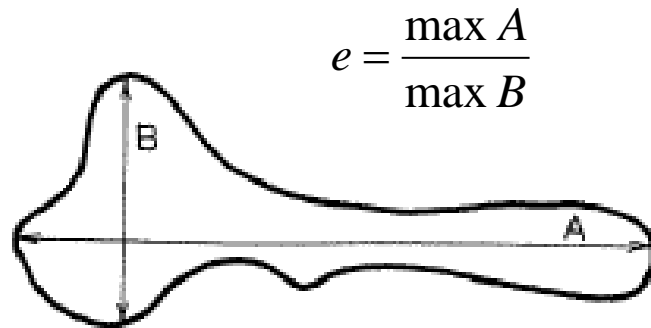
$$\mu = \frac{\sum_{(i,j) \in R} f(i,j)}{V}$$

$$D = \frac{\sum_{(i,j) \in R} (f(i,j) - \mu)^2}{V}$$

$f(i,j)$ je obrazová funkce, R je daná oblast

Jednoduché tvarové vlastnosti

- **Výstřednost (excentricita)** – poměr délek nejdelších na sebe kolmých tětiv
- **Podlouhlost** – poměr mezi délkou a šířkou pravoúhelníku opsaného oblasti.
Různá možná natočení – vybereme to s nejmenší plochou
 - U složitějších tvarů oblastí výpočet pomocí operací **eroze** (bod oblasti změní na pozadí, když se v okolí bodu 3 x 3 vyskytuje aspoň jeden bod pozadí) a **dilatace** (naopak)



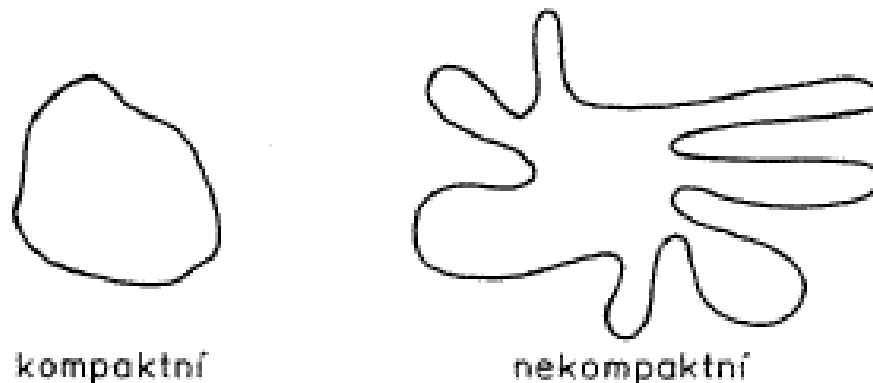
Jednoduché tvarové vlastnosti

- **Pravoúhlost** – F_k míra pravoúhlosti, poměr velikosti oblasti k ploše opsaného pravoúhelníku. Různá možná natočení – vybereme F_k max
 - Nabývá hodnot z intervalu $(0,1>$, 1 značí pravoúhelník
- **Směr** – směr delší strany opsaného pravoúhelníku použitého pro výpočet pravoúhlosti
 - Má smysl jen pro podlouhlé oblasti

Jednoduché tvarové vlastnosti

- **Nekompaktnost NK** – dána vzorcem:

- B je délka hranice oblasti, V je velikost oblasti $NK = \frac{B^2}{V}$
- V Euklidově metrice je nekompaktnější kruh



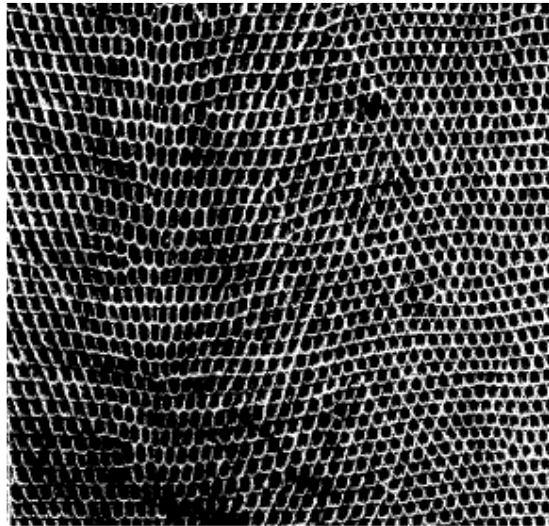
- **Přímot hranice** – poměr mezi celkovým počtem bodů hranice a počtem bodů, kde hranice mění směr
 - Čím více hraničních bodů bez změny směru, tím je hranice přímější

Textury

- **Textura** – obraz, který vykazuje specifické vlastnosti
- Oblast vykazuje texturu – soubor místních vlastností obrazu je v oblasti konstantní, pomalu se měnící nebo periodický
- Texturní **primitivum** – základní prvek textury
 - Popis min, max nebo průměrnou intenzitou jasu, velikostí, tvarem apod.
- Textura dána počtem a typy primitiv a jejich plošným uspořádáním

Texture

- Hierarchie texturních rozlišovacích úrovní
 - Hrubší – elementem textury je např. cihla
 - Jemnější – elementem jsou např. drobné nerovnosti na povrchu jediné cihly



Popis a rozpoznávání textur

- Příznakové přístupy:
 - 1) Výpočet plošných frekvencí
 - vysoké frekvence ~ jemné textury,
 - nízké frekvence ~ hrubé textury
 - 2) Počet hran na jednotku plochy v obrazu
 - Velký počet hran ~ jemné textury,
 - malý počet hran ~ hrubé textury
- Strukturální přístupy: textury jsou složeny z pravidelně uspořádaných primitiv