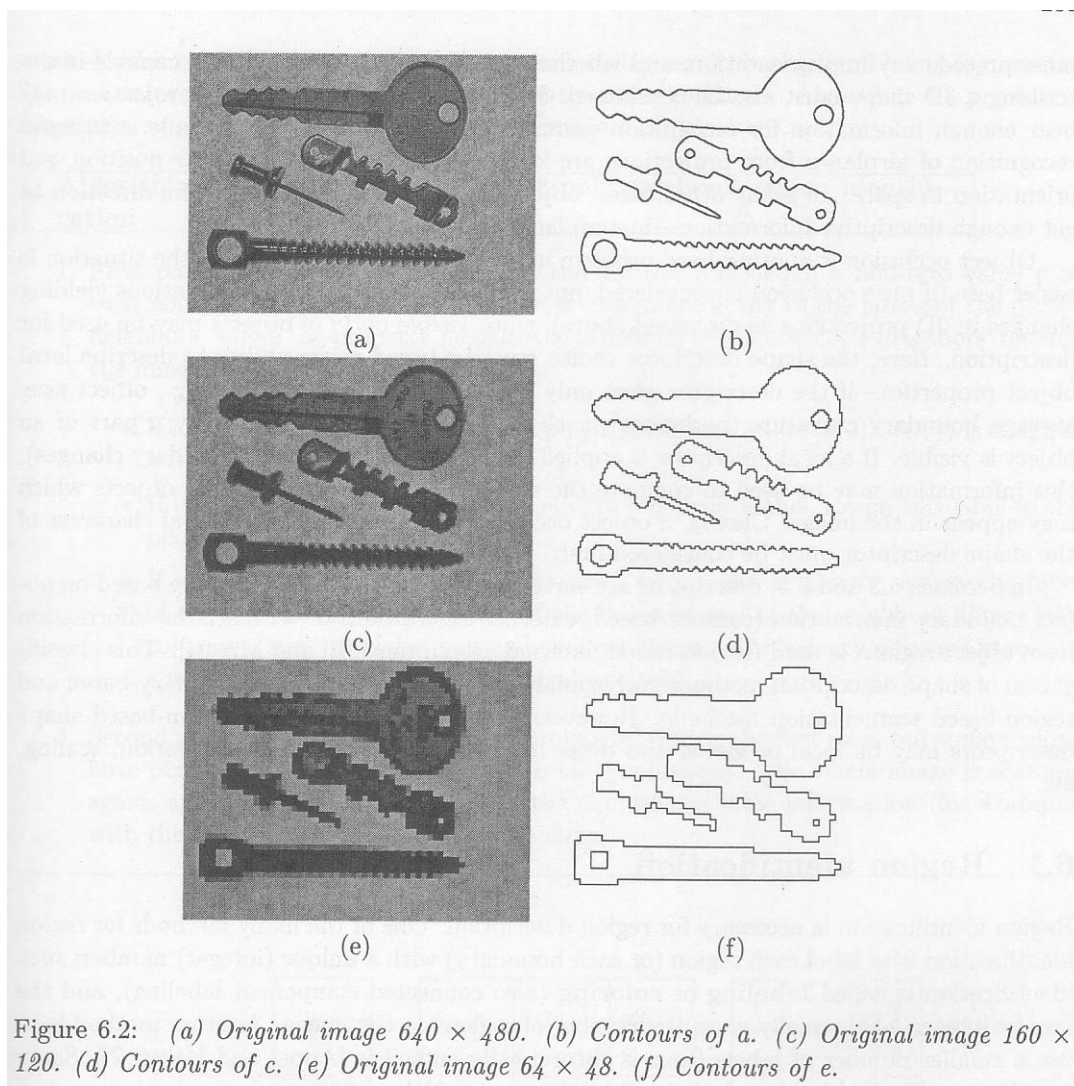


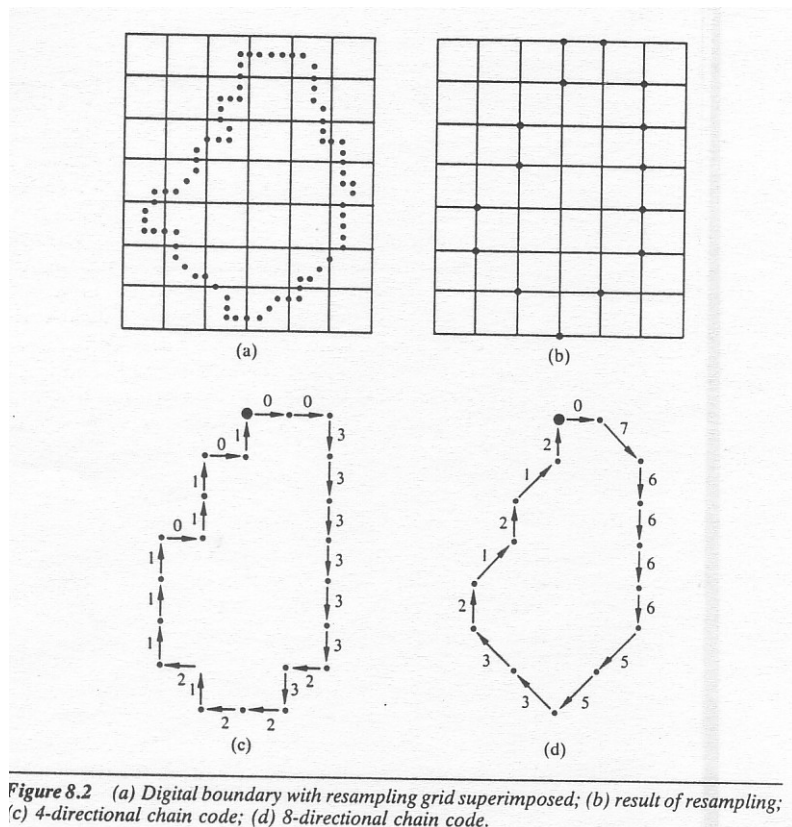
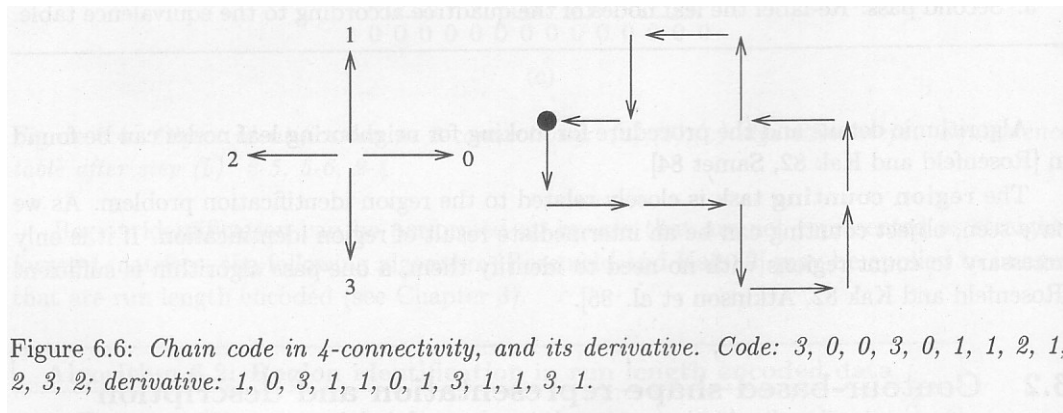
REPREZENTÁCIA A POPIS

- Toto je fáza medzi segmentáciou a rozpoznávaním, pričom popis slúži ako vstup pre rozpoznávacie algoritmy.
- Reprezentácia segmentovanej oblasti vyžaduje voľbu, či to urobiť a) externou charakteristikou, t.j. hranicou b) internou charakteristikou, t.j. obrazovými bodmi, ktoré oblasť tvoria. Počítaču nestačí len reprezentácia, potrebuje aj popis založený na zvolenej reprezentácii. Externú reprezentáciu vyberáme, ak kladieme dôraz na tvarové charakteristiky, internú reprezentáciu, ak dôraz kladieme na charakteristiky odrazivosti, ako napr. farbu alebo textúru.
- *Metódy popisu tvaru* sa delia podľa nasledovných kritérií:
 - vstupná reprezentácia: hranica alebo oblasť
 - schopnosť rekonštrukcie objektu – či z popisu tvaru možno zrekonštruovať objekt a do akej miery
 - schopnosť určiť neúplné tvary – pri zakrytých objektoch
 - lokálny/globálny charakter popisu – globálne vyžadujú úplnú informáciu, lokálne pracujú aj s čiastočnou informáciou
 - matematické alebo heuristické techniky – matematické sú napr. Fourierove popisy a príkladom heuristickej techniky je pozdĺžnosť.
 - štatistické alebo syntaktické popisy – súvisí s voľbou rozpoznávacieho algoritmu
 - robustnosť popisu - vzhľadom na posunutie, otočenie, škálové transformácie a vzhľadom na rozlíšenie obrazu.
- Tvar sa môže výrazne meniť podľa rozlíšenia obrazu. Hranica určená pri vysokom rozlíšení môže byť ovplyvnená šumom, pri nižšom rozlíšení sa malé detaily strácajú. Tradičné popisy tvaru sa menia nespojito v závislosti od rozlíšenia. Prístup založený na škálovaní sa snaží získať spojité popisy tvaru pre spojité zmeny v rozlíšení.



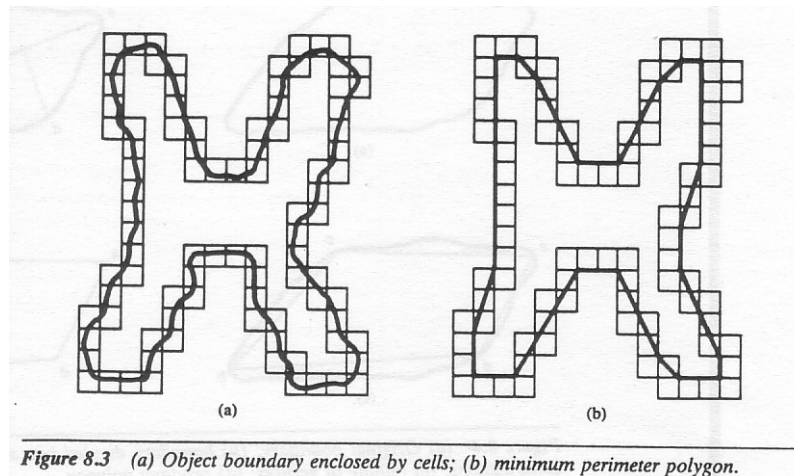
Spôsoby reprezentácie tvaru

- 1) **Reťazcové kódy** popisujú objekt postupnosťou čiarových segmentov jednotkovej dĺžky s danou orientáciou (nazývajú sa aj Freemanove kódy). Ak sa majú reťazcové kódy použiť pri matchingu, musia byť nezávislé od voľby prvého bodu v postupnosti. Jedna možnosť je zobrať taký bod, pri ktorom reťazec reprezentuje najmenšie číslo so základom 4. Druhá možnosť je urobiť **odvodený kód**, ktorý reprezentuje relatívne zmeny o 90° (alebo 45°) proti smeru hodinových ručičiek.

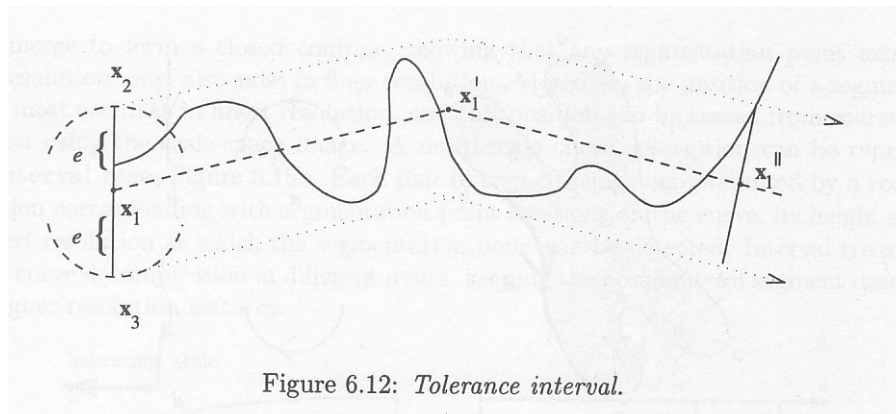


2) Polygonálne aproximácie

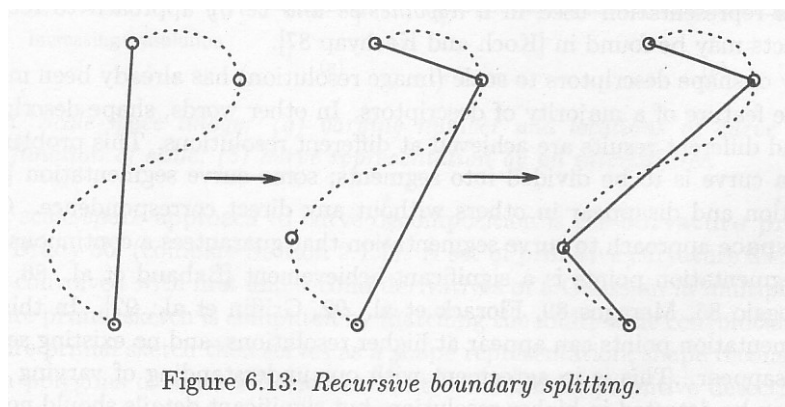
- Každú digitálnu hranicu možno aproximovať polynómom s ľubovoľnou presnosťou. Snažíme sa zachovať tvar s čo najmenším počtom polygónových segmentov.
- Jedna možnosť je nájsť **polygón s najmenším polomerom** (ako keď natiahneme gumu v priestore medzi dvoma stenami).

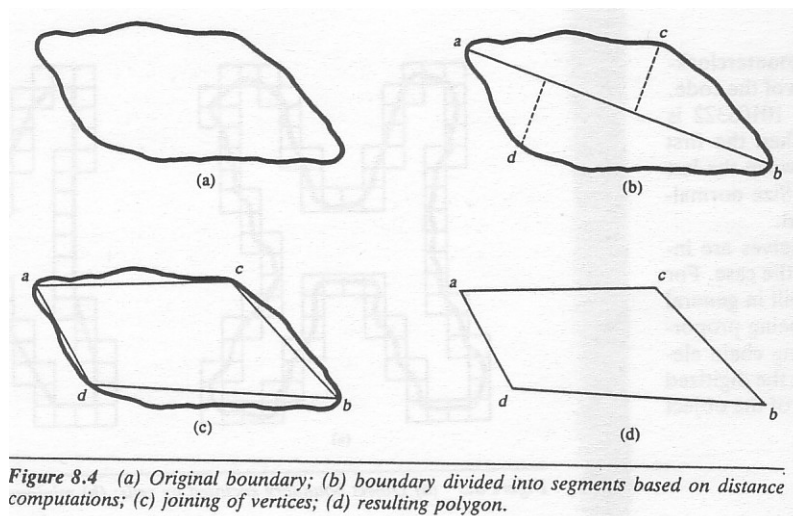


- Druhá možnosť je **spájať body pozdĺž hranice**, kým štvorec chyby úsečky preloženej doteraz zoskupenými bodmi vytvorenej a skutočnej hranice nepresiahne nejaký prah.



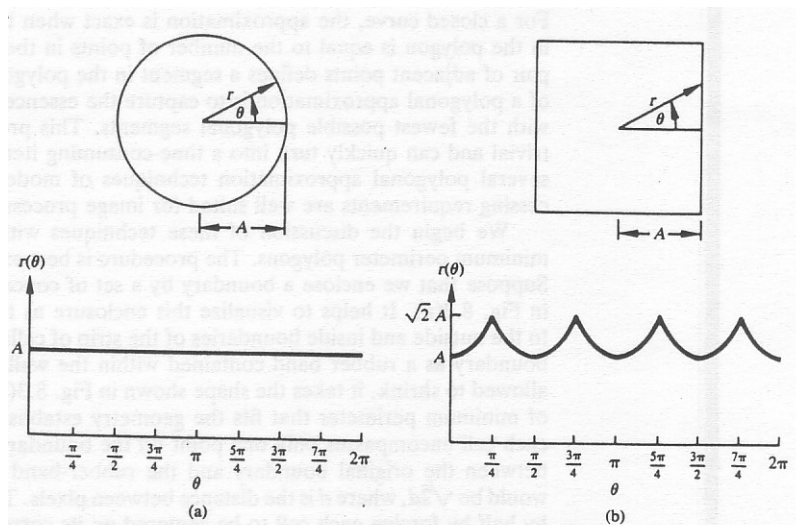
- Tretia možnosť je deliť hranicu na segmenty, kým sa nedosiahne nejaké kritérium (napr. najdlhšia kolmica zo segmentu ku skutočnej hranici nie je menšia ako nejaký prah).





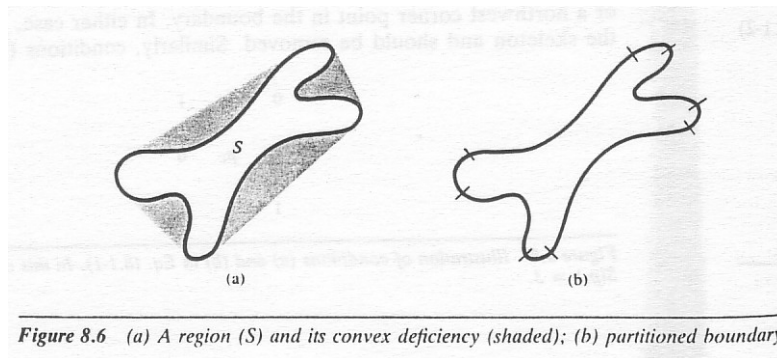
3) Signatúry

- Signatúra je jednorozmerná reprezentácia hranice a možno ju získať napr. ako vzdialenosť od centroidu oblasti ku krajnici ako funkciu uhla, čím sa zredukuje rozmer reprezentácie z 2D na 1D.



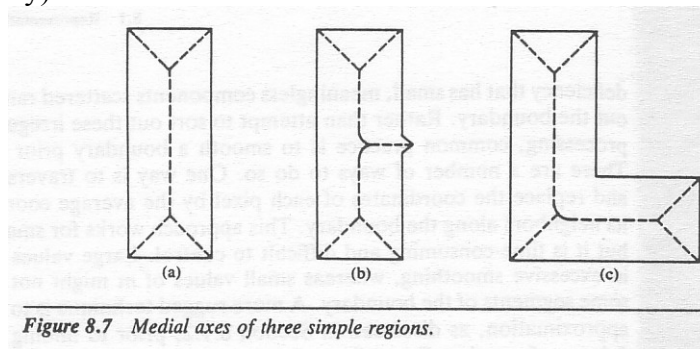
4) Segmenty hranice

- Rozložiť hranicu na segmenty je vždy užitočné. Na to je možné využiť konvexnú obálku H oblasti S a oblasti, ktoré sa nazývajú konvexné deficiencie $D = H - S$. Segmenty získame tak, že označíme miesta, kde pri prechádzaní hranice začína D alebo kde končí. Pri takomto prístupe sa môže vzhľadom na šum, digitalizáciu apod. objaviť veľa drobných častí v D , ktoré sa neodstraňujú dodatočným spracovaním, ale predspracovaním spočívajúcim vo vyhladení hranice.

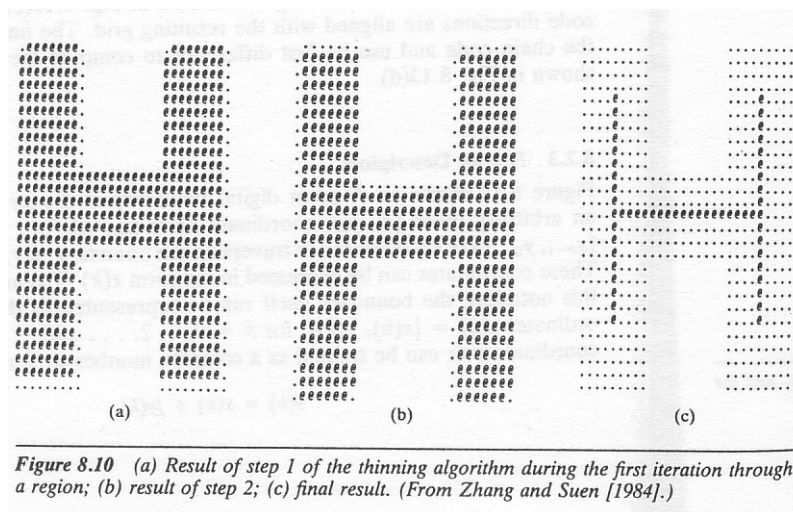


5) Kostra oblasti

- Dôležitým prístupom pri reprezentovaní štruktúry oblasti je redukovať ju na graf. To môžeme dosiahnuť, ak získame kostru. Tá sa definuje cez transformáciu stredovej osi nasledovne: nech oblasť R má hranicu B . Pre každý bod v R určíme najbližšieho suseda v B . Ak bod má viac ako jedného takého suseda, hovoríme že patrí do stredovej osi (kostry) oblasti R .



- Kostru možno získať algoritmami stenšovania oblasti.



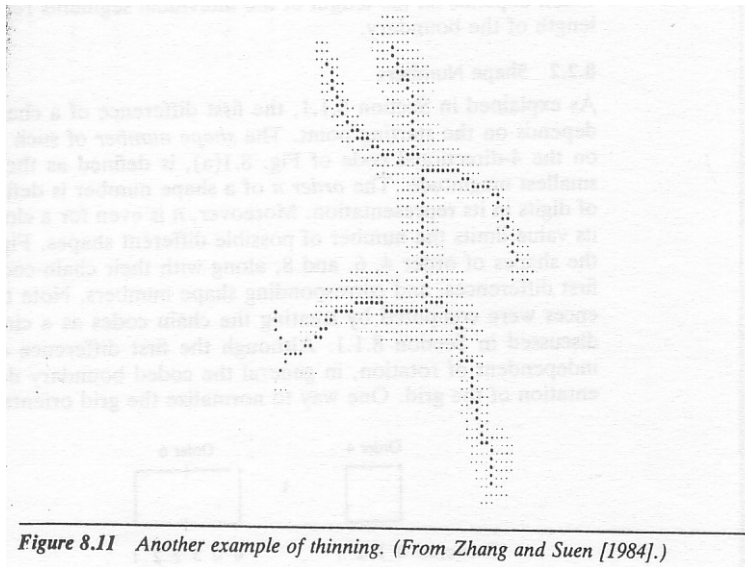


Figure 8.11 Another example of thinning. (From Zhang and Suen [1984].)

Popisy hranice

- Hranice musia byť vyjadrené v nejakej matematickej forme. Môže to byť karteziánska, polárna alebo tangenciálna reprezentácia. Pri prvej sa poloha bodu hranice udáva dvojicou navzájom kolmých súradníc, pri druhej uhlom a vzdialenosťou a pri tretej forme tangenciálnym smerom $\theta(x_n)$, kde x_n sú body hranice s dĺžkou n .

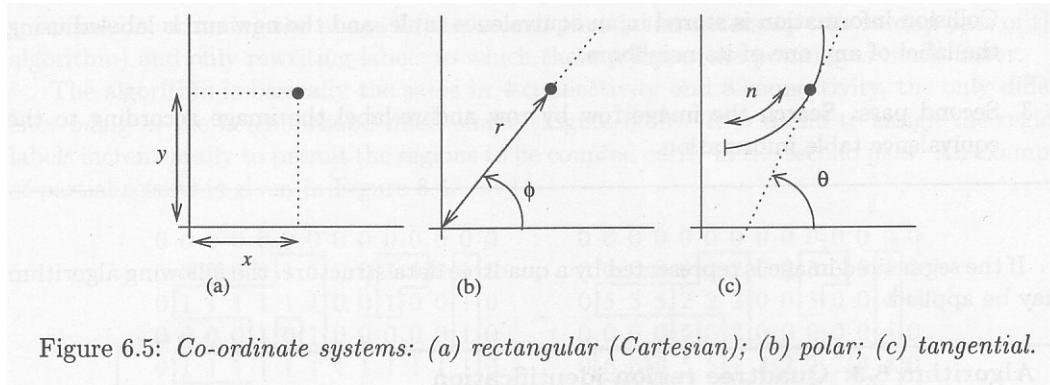


Figure 6.5: Co-ordinate systems: (a) rectangular (Cartesian); (b) polar; (c) tangential.

- **Jednoduché geometrické popisy hranice** sú založené na geometrických vlastnostiach popisovanej oblasti, napr.
 - dĺžky hranice
 - zakrivenie
- **dĺžka hranice** je elementárna vlastnosť, ktorá sa dá ľahko určiť z reťazcového kódu, alebo z RL kódu alebo tiež z kvadrantového stromu. Požíva sa vonkajšia alebo rozšírená hranica, namiesto vnútornej hranice.
- **zakrivenie** v spojitom prípade sa definuje ako podiel zmeny smeru. V diskretnom prípade sa určuje ako pomer medzi počtom bodov hranice a počtom bodov, v ktorých

sa hranica výrazne mení (čím je tento podiel nižší, tým je hranica rovnejšia). Algoritmus je založený na určovaní uhla medzi čiarovými segmentami, ktoré pozostávajú z b bodov na obe strany od hodnoteného pixla, pričom uhly nemusíme určovať numericky, stačí relatívna poloha segmentov.

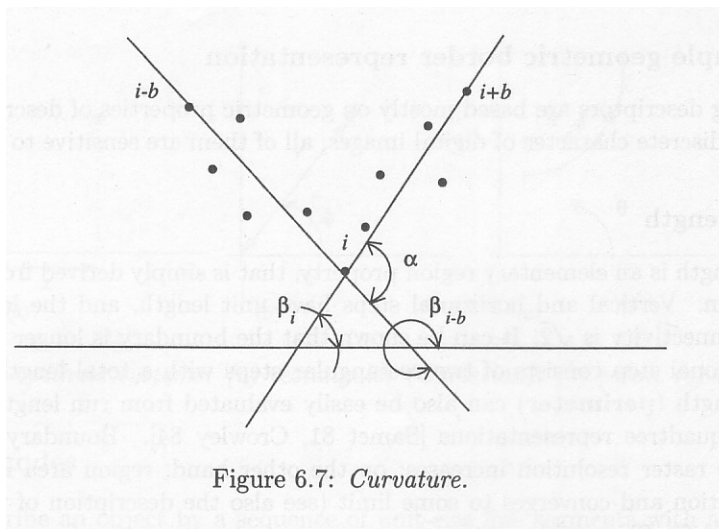
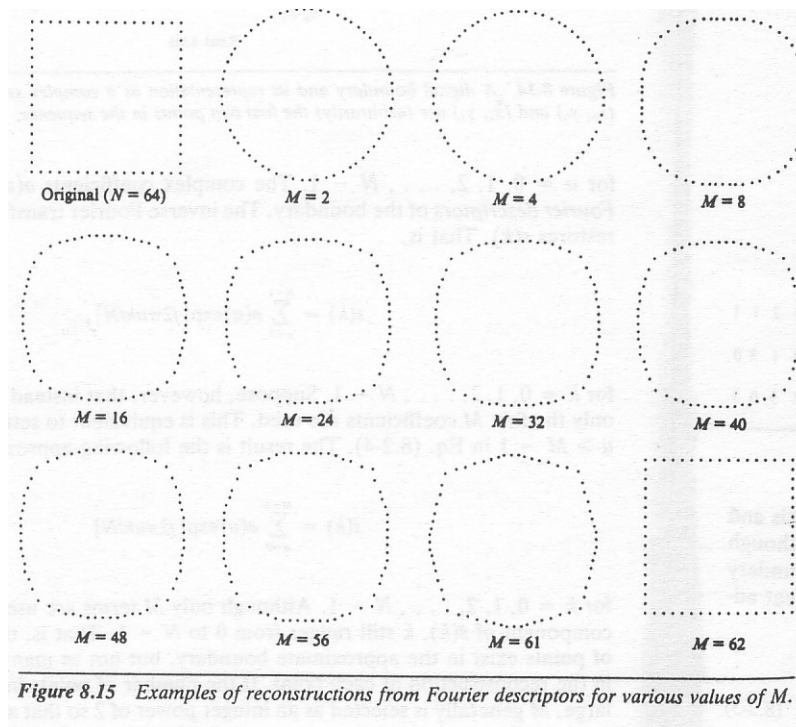


Figure 6.7: Curvature.

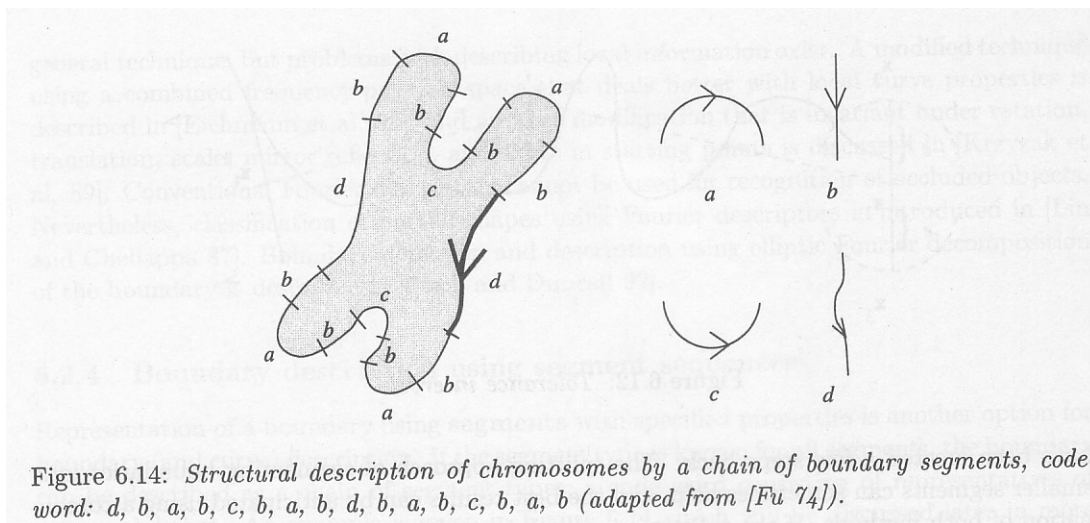
- **Fourierove popisy tvaru** možno použiť na uzavreté krivky, ktorých súradnice môžu byť považované za periodické signály. Postupujeme proti smeru hodinových ručičiek konštantnou rýchlosťou tak, aby sme precestovali celú hranicu za 2π . Ak body hranice majú súradnice $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{N-1}, y_{N-1})$, potom ich možno vyjadriť v tvare $x(k) = x_k$ a $y(k) = y_k$. Hranicu potom možno vyjadriť ako postupnosť $s(k) = [x(k), y(k)]$, pre $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Každá dvojica súradníc môže byť chápaná ako komplexné číslo $s(k) = x(k) + i y(k)$. Táto reprezentácia prevádza 2D zápis hranice na 1D. Ak urobíme Fourierovu transformáciu

$$a(u) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k) \exp[-i 2\pi u k / N],$$

tak koeficienty $a(u)$ sa nazývajú Fourierove popisy tvaru. Inverznou transformáciou získame $s(k)$ a ak namiesto všetkých koeficientov $a(u)$ zoberieme len prvých M , dostaneme aproximáciu $s(k)$.



- **Štruktúrálny popis** - rozdelenie hranice na časti konštantného zakrivenia – napr. na kruhové, eliptické, parabolické, priame, pričom segmenty sú ako primitíva pre syntaktické rozpoznávanie



- **Štatistické momenty**
- Predstavme si, že prevedieme hranicu na 1D signál ako na nasledujúcom obrázku:

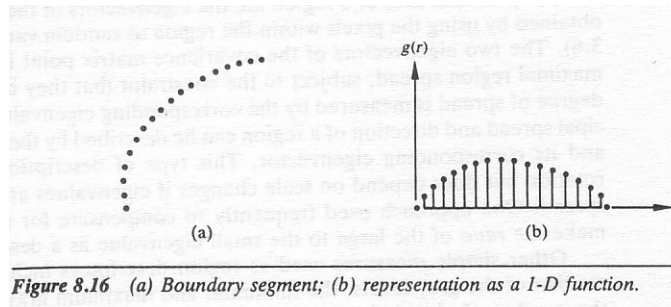


Figure 8.16 (a) Boundary segment; (b) representation as a 1-D function.

- Potom môžeme funkciu g interpretovať ako náhodnú premennú v a vytvoríme amplitúdový histogram $p(v_i)$, pre $i = 1, 2, \dots, K$, kde K počet diskrétnych amplitúdových prírastkov.
- Moment n -tého rádu premennej v okolo jej strednej hodnoty je

$$\mu_n(v) = \sum_{i=1}^K (v_i - m)^n p(v_i),$$

kde

$$m = \sum_{i=1}^K v_i p(v_i).$$

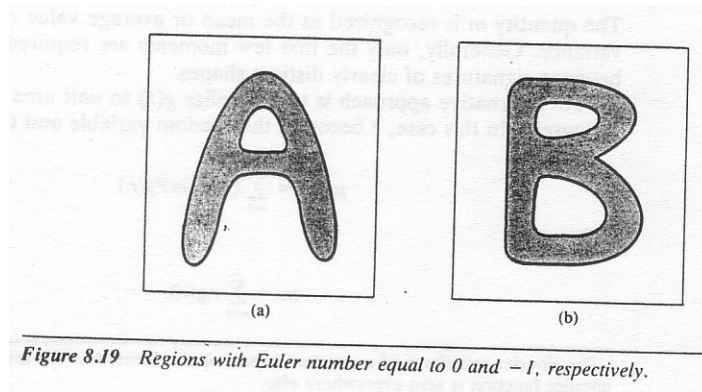
Veličina m je stredná hodnota premennej v a μ_n je smerodajná odchýlka. Vo všeobecnosti sa používajú iba momenty nízkych rádov na odlíšenie tvarov.

- **Iné metódy popisu tvaru založené na hranici** zahŕňajú Houghovu transformáciu, fraktálny prístup k tvaru, matematickú morfológiu (v súvislosti s kostrou) a určovanie tvaru pomocou neurónových sietí.

Popisy oblastí

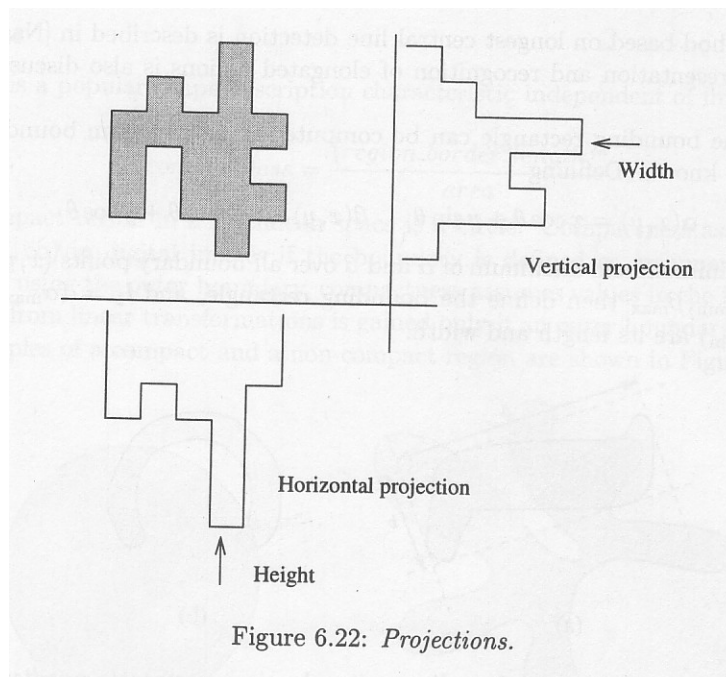
- **Jednoduché geometrické popisy** oblastí využívajú geometrické vlastnosti ako sú:
 - Plocha
 - Eulerovo číslo
 - Projekcie
 - Šírka, výška
 - Excentricita
 - Pozdĺžnosť
 - Pravoúhlosť
 - Smer
 - Kompaktnosť

- **Plocha** je počet pixlov, z ktorých sa skladá objekt. Ak sa zoberie reálna veľkosť pixla, dá sa vypočítať reálna veľkosť objektu. Sú vytvorené algoritmy na počítanie plochy pri rôznych reprezentáciách.
- **Eulerovo číslo** je založené na počte súvislých častí objektu N a počte dier S a rovná sa $N - S$.



- **Projekcie** horizontálne a vertikálne sú definované nasledovne

$$p_h(i) = \sum_j f(i, j) \quad p_v = \sum_i f(i, j)$$



- **Excentricita** je definovaná ako pomer medzi dĺžkou maximálnej chrbtice A ku maximálnej chrbtici B , ktorá je na ňu kolmá.

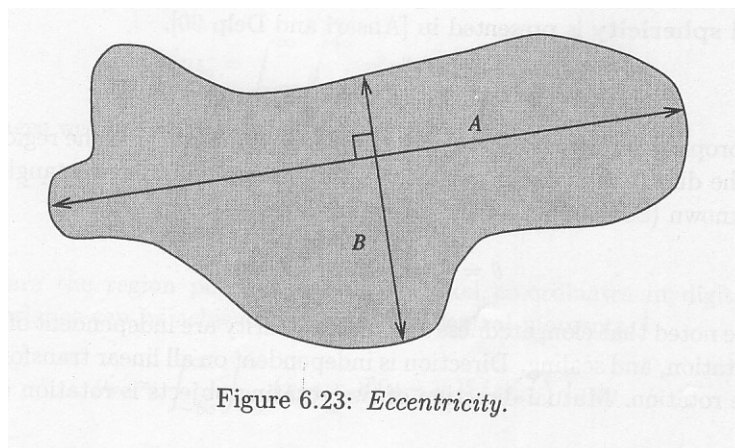


Figure 6.23: *Eccentricity.*

- **Pozdĺžnosť** je pomer medzi dĺžkou a šírkou obdĺžniku s minimálnou plochou opisujúceho oblasť. Dá sa definovať aj ako pomer medzi plochou a štvorcom jeho hrúbky.

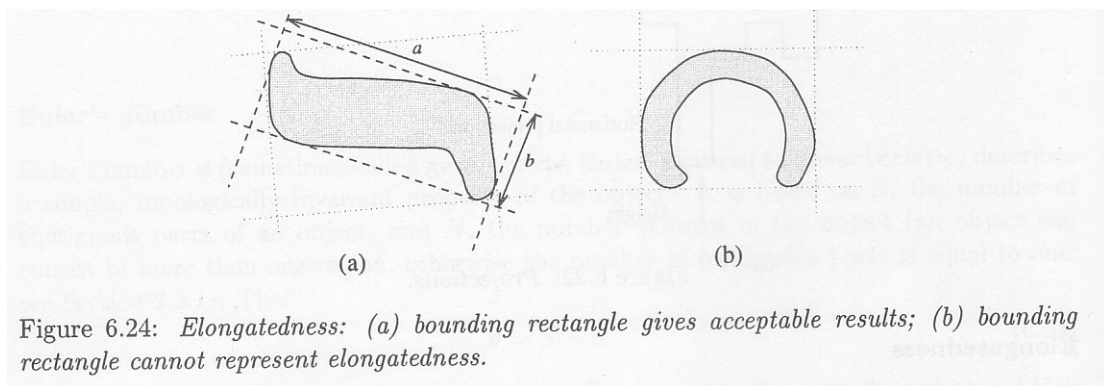


Figure 6.24: *Elongatedness: (a) bounding rectangle gives acceptable results; (b) bounding rectangle cannot represent elongatedness.*

- **Pravoúhlosť** je definovaná ako maximum pomeru plochy oblasti ku ploche obdĺžnika opisujúceho oblasť v možných diskretných smeroch.
- **Smer** je vlastnosť, ktorá má zmysel iba pre pozdĺžne objekty. Potom je smer definovaný ako smer dlhšej strany najmenšieho opisujúceho obdĺžnika.
- **Kompaktnosť** je definovaná ako pomer medzi štvorcom dĺžky hranice a plochou oblasti, čo vychádza v intervale $[1, \infty)$.

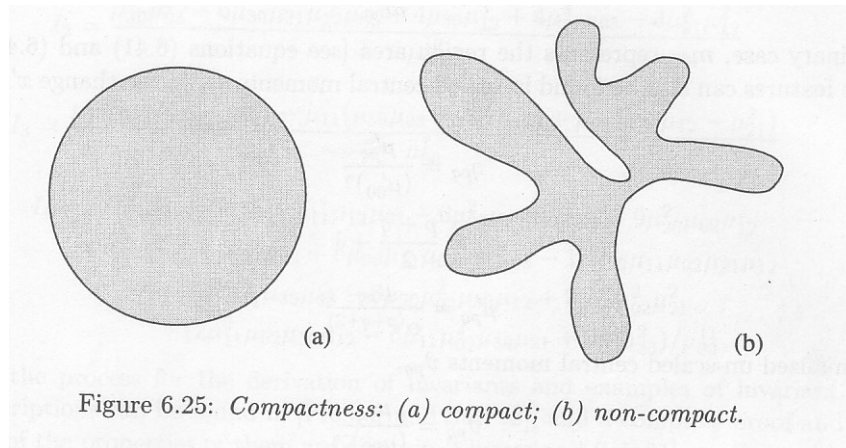


Figure 6.25: *Compactness: (a) compact; (b) non-compact.*

- **Štatistické momenty** interpretujú normalizovanú šedoúrovňovú obrazovú funkciu ako hustotu pravdepodobnosti 2D náhodnej premennej. Vlastnosti tejto náhodnej premennej možno popísať použitím štatistických charakteristických momentov. Popisy založené na momentoch možno definovať tak, aby boli nezávislé na škálovaní, posunutí a otočení.
- Moment rádu $(p+q)$ je definovaný ako

$$\blacksquare \quad m_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} i^p j^q f(i, j), \text{ avšak závisí na posunutí, otočení apod.}$$

- Centrálny moment je definovaný ako

$$\blacksquare \quad \mu_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} (i - x_c)^p (j - y_c)^q f(i, j),$$

kde x_c, y_c je ťažisko oblasti a dá sa vypočítať ako $x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ a $y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$.

V praxi sa používajú momenty maximálne (2+2)- rádu, pričom sa namerajú na známych objektoch a potom sa určujú na neznámych objektoch určených na rozpoznanie.