REPREZENTACIJA I DESKRIPCIJA

Nakon segmentacije slike na regione od interesa, potrebno je pronaći način kako predstaviti i opisati region u formi pogodnoj za daljnju obradu. Region se može opisati osobinama svoga ruba kao sto su dužina, orijentacija duži koja spaja ekstremne tačke, broj konkavnosti u rubu i slično, ili osobinama koje opisuju unutrašnjost objekta, kao što je tekstura.

REPREZENTACIONE ŠEME

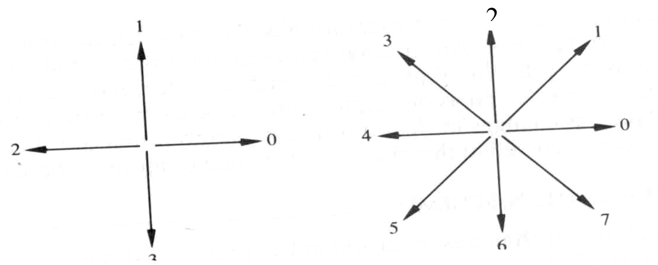
Reprezentacione šeme koje se koriste za opis regiona mogu biti:

1. vanjska, na osnovu osobina granica regiona (dužina ruba, orijentacija prave linije koja spaja ekstremne tačke, konkavnost; primarni fokus je na obliku regiona);
2. unutrašnja, na osnovu osobina piksela koje region sadrži (boja, tekstura; fokus je na refleksivnim osobinama regiona).

U oba slučaja, deskriptori trebaju biti tako odabrani da budu neosjetljivi na varijacije u veličini regiona, translaciju i rotaciju.

Lančani (Chain) kodovi

Lančani kod se dobije obilaženjem po rubu regiona. Zavisno od smjera u kom se kreće, lančani kod se popunjava prema Slici 173(a) ili prema Slici 173(b).



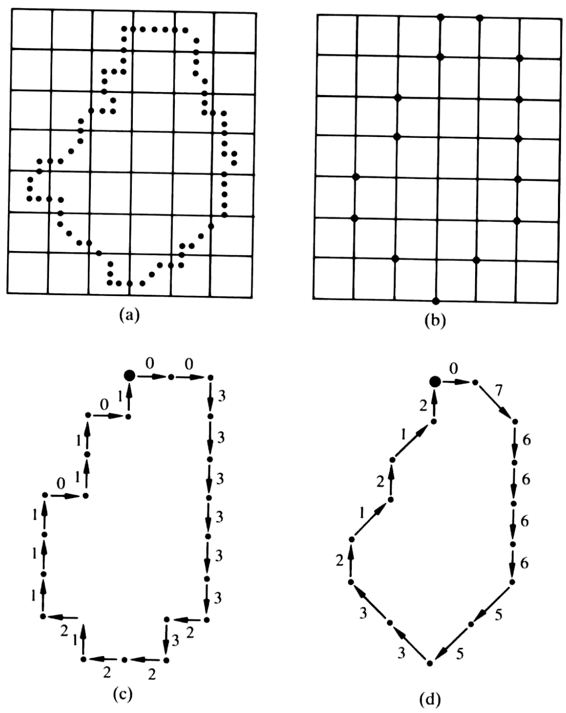
(a) (b)

Slika 173. Smjerovi sa pridruženim brojevima za formiranje lančanog koda

Direktno praćenje ruba regiona piksel po piksel, u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto, je neefikasno jer:

1. kod je predug,
2. mala promjena (usljed šuma) generiše drugačiji kod.

Zbog toga se obično uradi se ponovno odmjeravanje sa grubljom podjelom (mrežicom), a zatim generiše lančani kod. Ilustracija formiranja lančanog koda je data na Slici 174.



Slika 174. [1] (a) Odmjeravanje sa finom mrežicom. (b) Odmjeravanje sa grubljom mrežicom. (c) Formiranje lančanog koda na osnovu usvojenih smjerova sa Slike 173(a), (b), (d) Formiranje lančanog koda na osnovu usvojenih smjerova sa Slike 173(b).

Da bismo učinili lančani kod neovisnim od startne tačke, vrši se normalizacija na sljedeći način. Lančani kod koji se generiše iz bilo koje startne pozicije se posmatra kao cirkularna sekvenca. Startna tačku se odredi tako da rezultujuča sekvenca brojeva formira cio broj najmanje vrijednosti.

Moguća je normalizacija i na rotaciju. Umjesto samog lančanog koda posmatraju se prve diferencije koje se dobiju jednostavnim brojanjem (u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na satu) promjena smjera između dva susjedna elementa koda. Npr. za lančani kod 10103322 dobije se 3133030. Ako kod posmatramo kao cirkularnu sekvencu, prvi element se posmatra kao prelaz sa poslednjeg na prvi element koda, tako da je konačan rezultat 33133030.

Normalizacija veličine se postiže promjenom veličine podjele (mrežice).

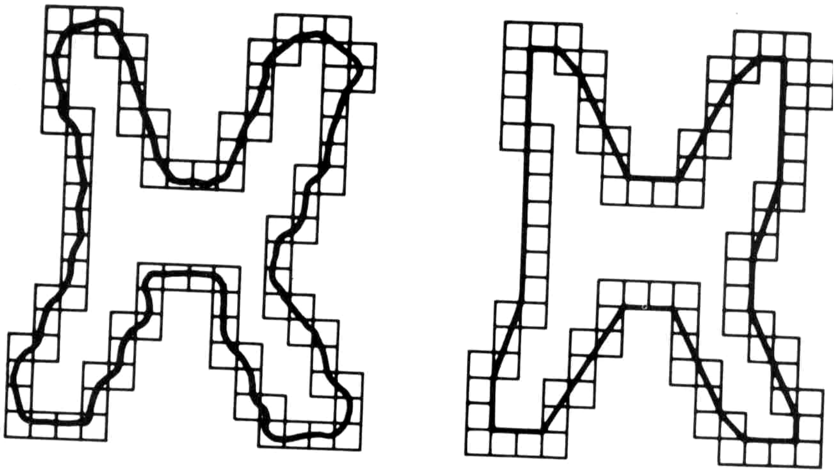
Ove normalizacije su efikasne samo ukoliko je oblik ruba regiona ivarijantan na rotaciju i promjenu skale.

Poligonalna aproksimacija

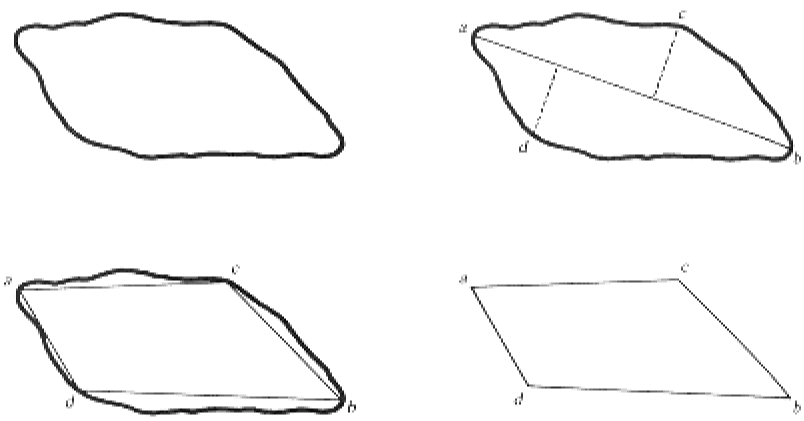
Rub regiona se može sa proizvoljnom tačnošću opisati zatvorenom mnogougaonom linijom. Opis je egzaktan ako je broj segmenata mnogougla jednak broju piksela ruba regiona. U praksi je cilj što bolje opisati oblik regiona sa što manje mnogougaonih segmenata.

Jedna od procedura traženja odgovarajućeg mnogougla zasniva se na traženju mnogougla najmanjeg obima, Slika 175. Zamislimo rub kao gumu između dva zida.

Ako se dopusti njeno širenje, dobije se mnogougao najmanjeg obima. Drugi pristup se zasniva na cijepanju segmenata. Ovaj postupak je ilustrovan na Slici 176. Prvo se odrede dvije najudaljenije tačke i spoje jednom duži. Zatim se pronađu nove dvije tačke koje imaju najveće rastojanjje od te duži. Ove četiri tačke tvore četvorougao. Postupak se nastavlja tako što se svaka stranica novodobijenog mnogougla dijeli na isti način kao opisana duž.



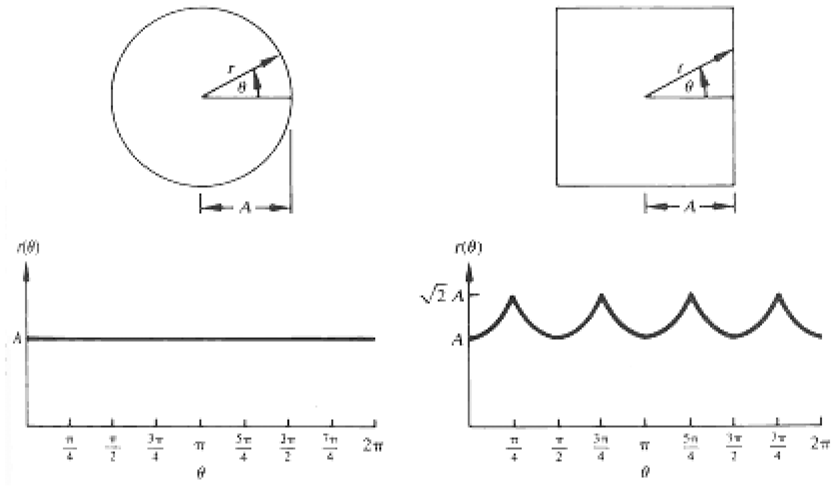
Slika 175. [1]   Pronalaženje mnogougla najmanjeg obima koji opisuje rub regiona



Slika 176. [1]   Cijepanje segmenata

Potpisi

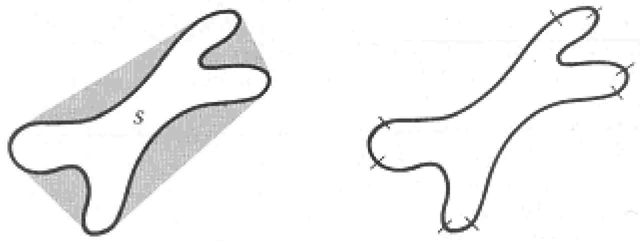
Potpis objekta je jednodimenzionalna funkcija rastojanja svake rubne tačke od centroida, data u funkciji ugla, Slika 177. Potpisi su invarijantni na translaciju, ali ne i na rotaciju niti skaliranje.



Slika 177. [1]   Formiranje potpisa objekta

Rubni segmenti

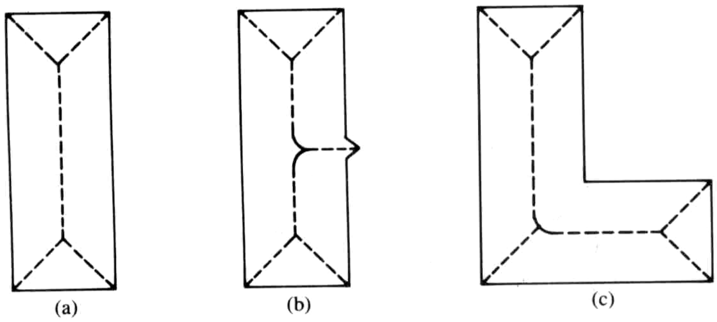
Dijeljenje ruba na segmente umanjuje njegovu složenost i pojednostavljuje deskripciju. Ovaj pristup je posebno interesantan kad rub sadrži jedan ili više značajnih konkavnih dijelova koji nose informaciju o obliku regiona. *Konveksna košuljica H* proizvoljnog skupa *S* je najmanji konveksan skup koji sadrži skup *S*, Slika 178. Posmatrajući razliku skupova $D = H\text{-}S$ rub regiona je moguće podijeliti prateći konturu skupa *S* i markirajući tačke gdje dolazi do promjene u smislu da li tangenta povučena na rub ulazi ili izlazi iz *D*. Ova šema je neovisna o veličini i orijentaciji regiona. Zbog šuma i neregularne digitalizacije, korisno je prije primjene ove šeme uraditi smoothing ili aproksimaciju ruba poligonom. Informaciju u ovoj šemi nosi broj konveksnih regiona i njihov relativni položaj.



Slika 178. [1]   (a) Region *S* i njegova konveksna košuljica.
(b) Izdvojeni konveksni dijelovi ruba.

Skelet regiona

Skelet se može dobiti tzv. *srednje-osnom* (*medial axis*) *transformacijom (MAT)*. MAT regiona R sa rubom B se definiše na sljedeći način: za svaku tačku p iz R se pronalazi najbliži susjed u B. Ako postoji više od jednog takvog susjeda, onda kažemo da tačka pripada srednjoj osi (skeletu) od R (zavisi od definicije mjere udaljenosti). Ilustracija određivanja srednih osa je data na Slici 179. Procedura je računski veoma zahtijevna.



Slika 179. [1] Srednje ose jednostavnih objekata

DESKRIPTORI

Među najvažnije deskriptore spadaju rubni deskriptori i regionalni deskriptori.

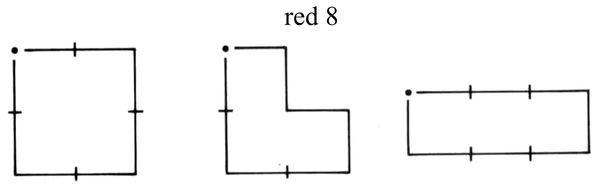
Rubni deskriptori

Osnovni rubni dedskriptori treba da uzmu u obzir:
- dužinu konture (približno jednaka broju piksela ruba),
- zakrivljenost (brzina promjene nagiba, problemi sa lokalnom reckavošću ruba),

Shape numbers

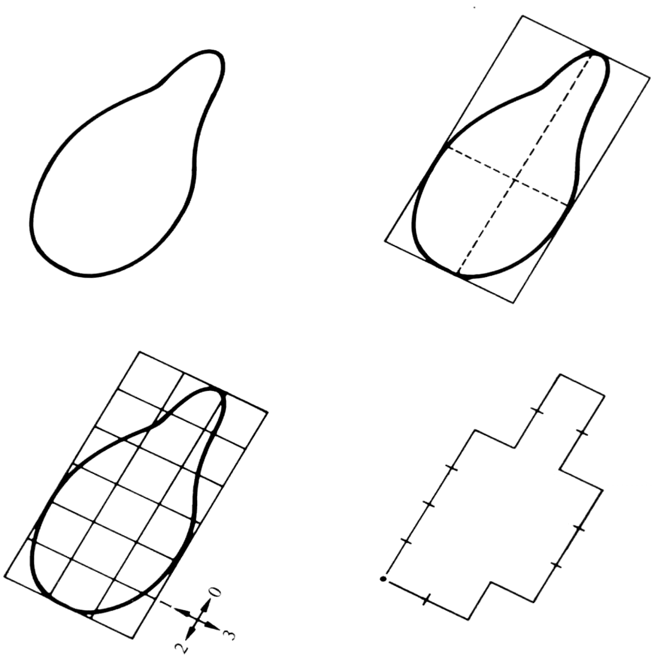
Prve diferencije lančanog koda zavise od startne tačke. *Brojevi oblika*, zasnovani na četvorosmjernom kodu, definišu se kao prve diferencije lančanog koda najmanje magnitude. Red n se definiše kao broj digita neophodan za prikaz i određuje broj mogućih različitih oblika. Ilustracija ovog deskriptora data je na slikama 180 i 181.

	red 4	red 6
lančani kod	0 3 2 1	0 0 3 2 2 1
diferencije	3 3 3 3	3 0 3 3 0 3
broj oblika	3 3 3 3	0 3 3 0 3 3



		red 8	
lančani kod	0 0 3 3 2 2 1 1	0 3 0 3 2 2 1 1	0 0 0 3 2 2 2 1
diferencije	3 0 3 0 3 0 3 0	3 3 1 3 3 0 3 0	3 0 0 3 3 0 0 3
broj oblika	0 3 0 3 0 3 0 3	0 3 0 3 3 1 3 3	0 0 3 3 0 0 3 3

Slika 180. Svi oblici reda 4,6 i 8



lančani kod	0 0 0 0 3 0 0 3 2 2 3 2 2 2 1 2 1 1
diferencije	3 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0
broj oblika	0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0 3

Slika 181. [1] Određivanje brojeva oblika za proizvoljnu strukturu

Furijeovi deskriptori

Obilazeći rub možemo formirati sekvencu koordinata:

$$s(k) = [x(k), y(k)],\ k = 1,2,...,N-1\ .$$

Pored toga, svaki uređeni par se može posmatrati kao kompleksan broj:

$$s(k) = x(k) + jy(k),\ k = 1,2,...,N-1\ .$$

Nakon primjene DFT dobijamo kompleksne koeficijente koje zovemo *Furijeovi deskriptori* ruba:

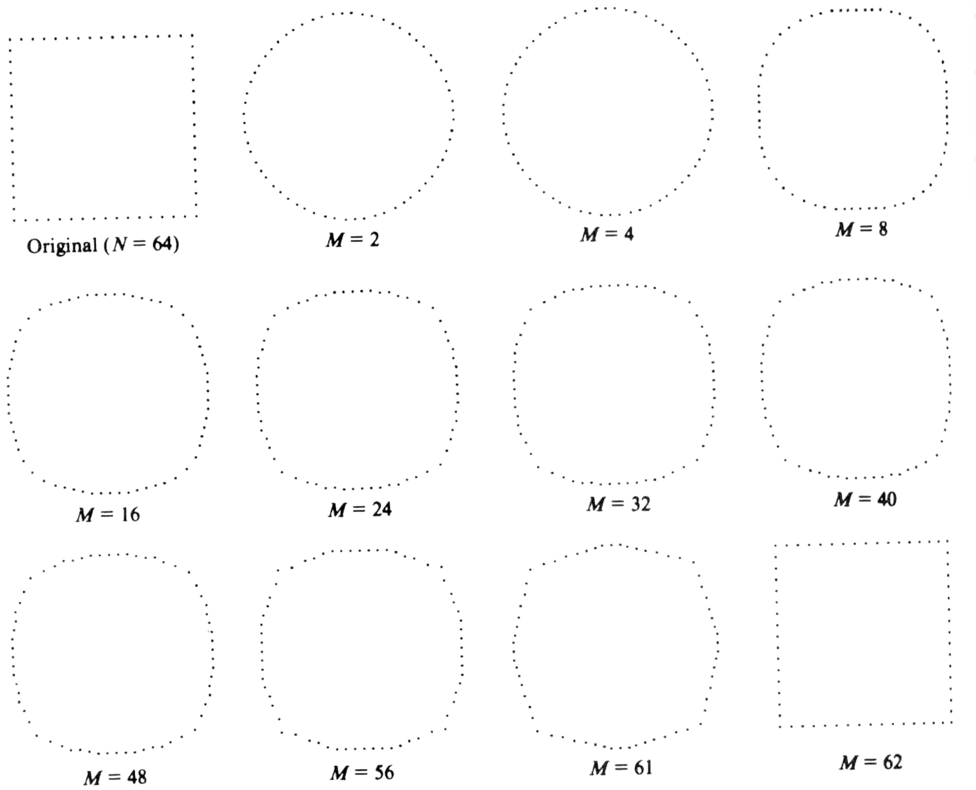
$$a(u) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} s(k)\exp(-j2\pi uk/N),\ u = 1,2,...,N-1\ ,$$

$$s(k) = \sum_{u=0}^{N-1} a(k)\exp(j2\pi uk/N),\ k = 1,2,...,N-1\ .$$

Ako se za rekonstrukciju koristi prvih M koeficijenata:

$$\hat{s}(k) = \sum_{u=0}^{M-1} a(k)\exp(j2\pi uk/N),\ k = 1,2,...,N-1\ ,$$

gube se detalji ruba, ali osnovna informacija o izgledu ruba ostaje sačuvana i u prvih nekoliko koeficijenata, Slika 182.



Slika 182. [1] Rekonstrukcija iz Furijeovih deskriptora za različite vrijednosti M

Furijeovi deskriptori nisu direktno neosjetljivi na translaciju, rotaciju, promjenu skale i startnu tačku. Međutim, promjene u deskriptorima nisu velike.

Translacija:

$$s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy} = [x(k) + \Delta x] + j[y(k) + \Delta y], \Delta_{xy} = \Delta x + j\Delta y$$

utiče na promjenu dekriptora na samo u ishodištu:

$$a_t(u) = a(u) + \Delta_{xy}\delta(u).$$

Rotacija za ugao θ dovodi do množenja koeficijenata deskriptora sa faktorom $e^{j\theta}$, skaliranje skalira deskriptore, dok promjena startne tačke:

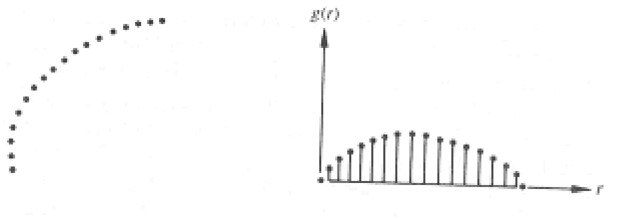
$$s_p(k) = x(k - k_0) + jy(k - k_0)$$

dovodi do množenja eksponencijalnim faktorom:

$$a_p(u) = a(u)e^{-j2\pi k_0 u/N}.$$

Momenti

Oblik rubnog segmenta (njegov potpis) se može kvantitativno opisati koristeći momente, Slika 183.



Slika 183. [1] (a) Rubni segment. (b) Predstavljanje rubnog segmenta u obliku jednodimenzionalne funkcije.

Neka je $g(r)$ potpis objekta. Ako posmatramo amplitudu od $g(r)$ kao slučajnu varijablu v i formiramo amplitudni histogram $p(v_i), i = 1,2,...,K$, gdje je K broj diskretnih amplitudskih inkremenata, n-ti moment je dat sa:

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

gdje je $m = \sum_{i=1}^{K} v_i p(v_i)$ srednja vrijednost a μ_2 varijansa. U opštem slučaju, samo nekoliko prvih momenata je dovoljno da se napravi razlika u potpisima regiona jasno razgraničenih oblika.

Alternativni pristup je da se izvrši normalizacija $g(r)$ na jediničnu površinu i $g(r)$ se tretira kao histogram. U tom slučaju r postaje slučajna varijabla, a momenti su:

$$\mu_n(r) = \sum_{i=1}^{L} (r_i - m)^n g(r_i), \quad m = \sum_{i=1}^{L} r_i g(r_i).$$

U ovoj notaciji L je broj tačaka ruba, a momenti su direktno vezani sa oblikom $g(r)$. Tako drugi moment μ_2 daje mjeru rasipanja oko srednje vrijednosti, a treći moment μ_3 daje mjeru simetrije krive u odnosu na srednju vrijednost. Jasno se vidi da su ovi deskriptori invarijantni na rotaciju, dok se normalizacija s obzirom na veličinu postiže promjenom skale r.

Regionalni dekriptori

Kao najvažnije regionalne deskriptore treba pomenuti grupu osnovnih regionalnih deskriptora, topološke deskriptore i teksture.

Osnovni regionalni deskriptori

Osnovni regionalni deskriptori su:

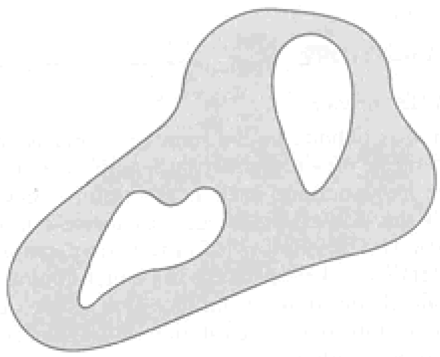
- površina,
- obim,
- kompaktnost regiona = (obim)^2/površina (minimalna za regione oblika diska),
- odnos glavnih osa (sopstveni vektori kovarijansne matrice, pokazuju smjer maksimalnog protezanja regiona, pod uslovom ortogonalnosti),
- srednja vrijednost nivoa sivog,
- minimalna i maksimalna vrijednost nivoa sivog,
- broj piksela sa nivoima sivog ispod i iznad srednje vrijednosti.

Topološki deskriptori

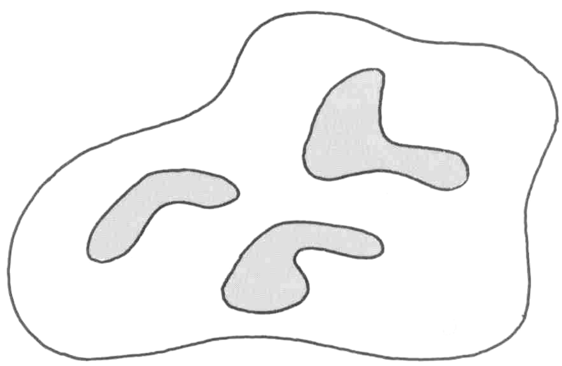
Pod topologijom se podrazumijevaju takve osobine objekata koje se ne mijenjaju niti jednom deformacijom, sve dok se ne uradi cijepanje ili spajanje objekata. U topološke deskriptore spadaju:

- broj šupljina u regionu (H),
- broj povezanih komponenti (C),
- Euler-ov broj E=C-H.

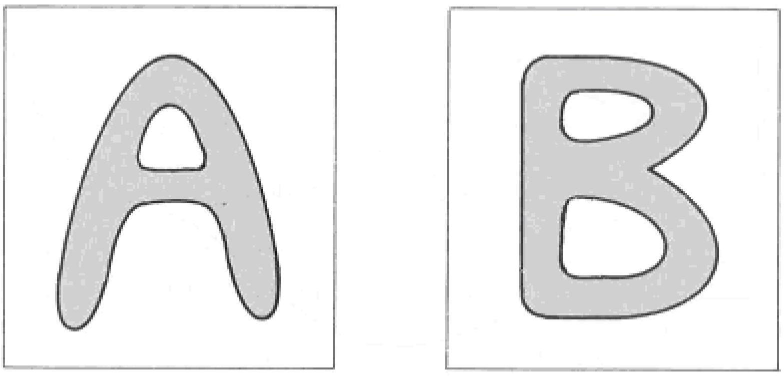
Na slikama 184-186 dati su primjeri topoloških deskriptora.



Slika 184. [1] Region sa 2 šupljine



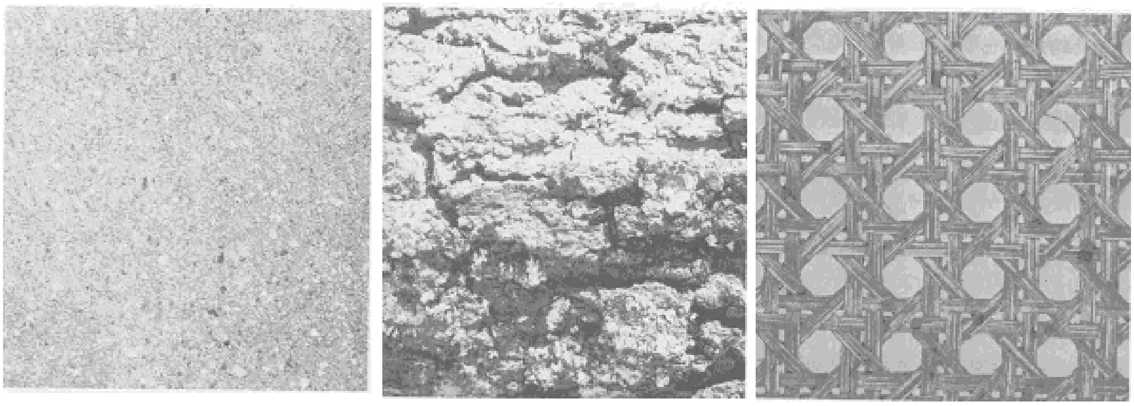
Slika 185. [1] Region sa 3 povezane komponente



Slika 186. [1] Regioni sa Ojlerovim brojem: (a) 0 i (b) -1

Teksture

Važan pristup kvantitativnom opisu regiona je *tekstura.* Iako ne postoji formalna definicija teksture, intuitivno ovaj deskriptor daje mjeru osobina kao što su: glatkoća, hrapavost i regularnost strukture. Na Slici 187 dati su regioni sa različitim teksturama.



Slika 187. [1] Primjeri tekstura: (a) fina, (b) gruba, (c) pravilna

Postoje tri osnovna pristupa u opisu teksture: statistički, strukturalni i spektralni. Statistički pristup opisuje teksturu kao glatku, hrapavu, zrnastu itd... Strukturalne tehnike barataju sa rasporedom tzv. primitivnih slika, kao što je opis teksture zasnovan na regularno razmaknutim paralelnim linijama. Spektralne tehnike su zasnovane na osobinama Furijeovog spektra i primarno se koriste da otkriju globalnu periodičnost u slici identifikujući visokoenergetske uske pikove u spektru.

Statistički pristup

Ako je L broj diskretnih nivoa svjetline, $p(z_i)$, $i = 1,2,...,L$ histogram, momeni su dati sa:

$$\mu_n(z) = \sum_{i=1}^{L} (z_i - m)^n p(z_i), \quad m = \sum_{i=1}^{L} z_i p(z_i).$$

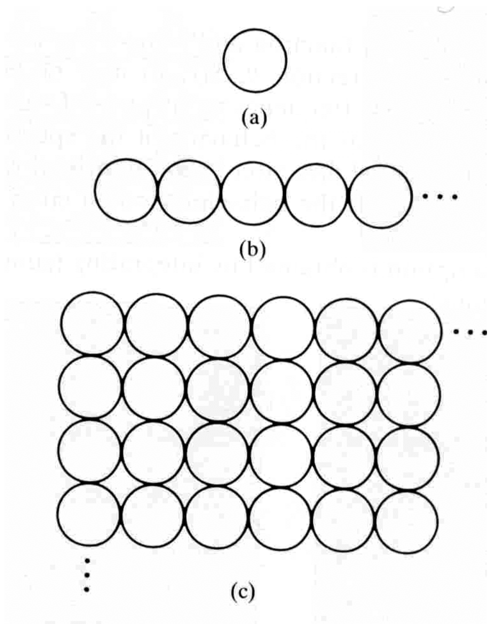
Od posebnog značaja je drugi moment, odnosno varijansa. Ona predstavlja mjeru gray-level kontrasta koja se može koristiti kao deskriptor relativne glatkoće. Npr., mjera:

$$R = 1 - \frac{1}{1+\sigma^2(z)}$$

je jednaka nuli za područja konstantnog intenziteta, a približava se jedinici u područjima gdje postoje velika odstupanja intenziteta od srednje vrijednosti. Treći moment je mjera iskrivljenosti histograma. Loša strana statističkog pristupa je da ne nosi informaciju o relativnoj poziciji piksela.

Strukturalni pristup

Strukturalni pristup zahtijeva određivanje primitivnog elementa, te definisanje osnovnih elemenata i zakonitosti ponavljanja. Npr. osnovni elementi mogu biti: *a–primitivni element udesno*, *b-primitivni element prema dole* i *c-primitivni element ulijevo*, dok se zakonitosti mogu zadati npr. sa: $S \to bA$, $A \to cA$, $A \to c$, $A \to bS$, $S \to a$. Pri tome su A i S varijable koje mogu biti zamijenjene po ovim zakonitostima. Tako posmatrano zaključujemo da jednostavno pravilo $S \to aS$ generiše niz primitivnih elemenata, krugova sa Slike 188(a), sa pridruženim stringom *aaa*...., Slika 188(b). Ako na osnovu prethodnih pravila generišemo string *aaabccbaa*, dati string odgovara matrici krugova dimenzija 3x3, Slika 188(c). Osnovna ideja opisivanja teksture dakle leži u određivanju primitivnih elemenata, zakonitosti ponavljanja i redoslijeda primjene pojedinih zakona ponavljanja. Na taj način se formiraju relacioni deskriptori.



Slika 188. [1] (a) Primitivni element *a*, (b) tekstura generisana po pravilu $S \to aS$, (c) tekstura generisana složenijim zakonitostima ponavljanja

Spektralni pristup

Tri osobine Furijeovog spektra su posebno interesantne za rad sa teksturama:

1. istaknut pik u spektru označava postojanje teksture
2. lokacija pika u frekvencijskom domenu određuje osnovni prostorni period ponavljanja mustre
3. uklanjanje periodičnih komponenti iz spektra (filtriranjem) ostavlja u slici samo neperiodične elemente slike za čiji opis se mogu koristiti statistički metodi

Spektar realne slike je simetričan oko ishodišta. Ako se spektar predstavi u polarnim koordinatama, onda je moguće posmatrati ponašanje spektra po smjerovima (uglovi) i koncentričnim krugovima (radijalna udaljenost od ishodišta). Za svaki smjer (ugao), spektar se posmatra kao 1D funkcija radijalne udaljenosti (frekvencije) $S_\theta(r)$, a za svaku radijalnu udaljenost od ishodišta (frekvenciju) kao 1D funkcija ugla $S_r(\theta)$.

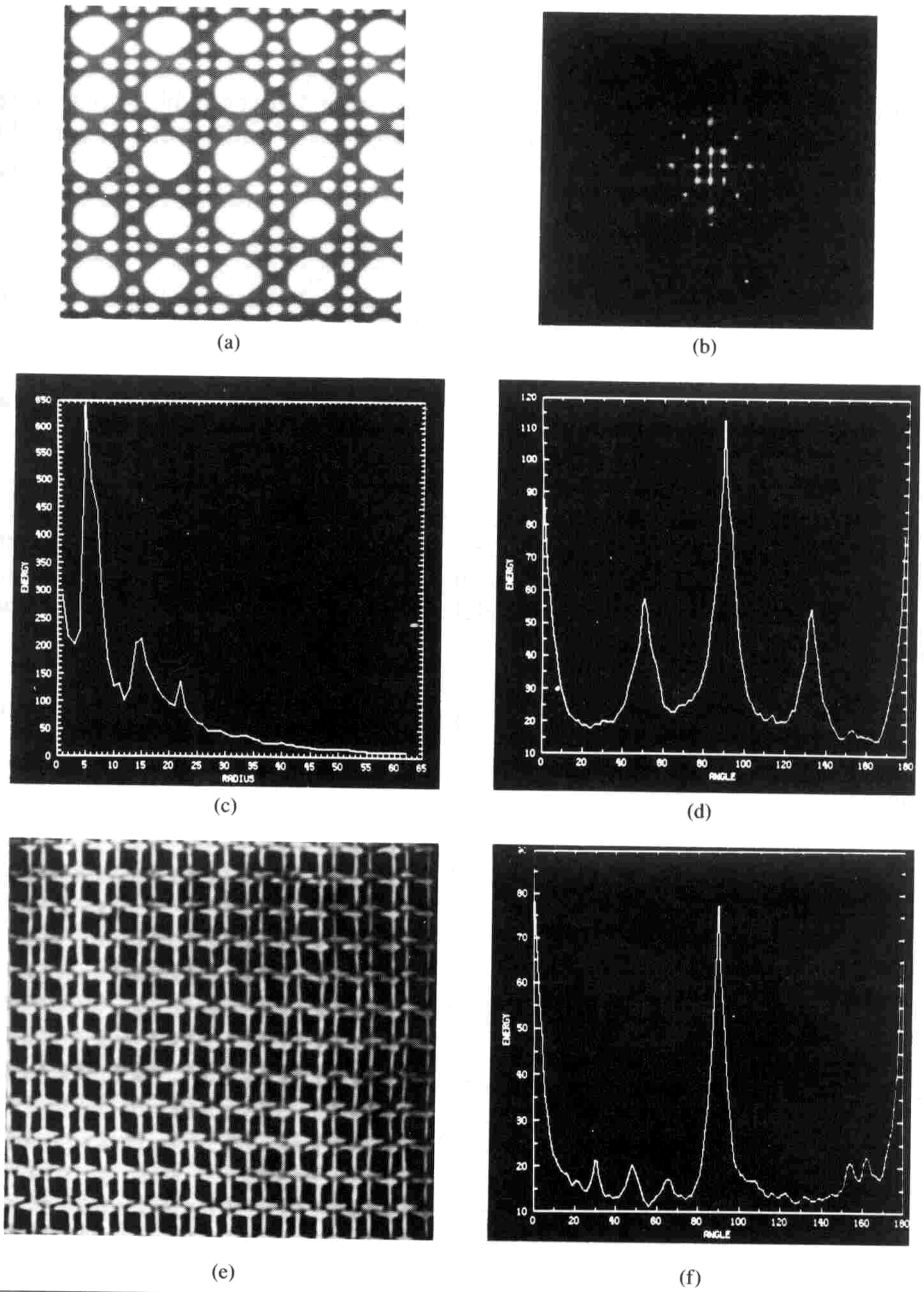
Sumirajući po svim uglovima jednog radijusa, a zatim po svim radijusima pod jednim uglom imamo:

$$S(r)=\sum_{\theta=0}^{\pi} S_\theta(r),$$

$$S(\theta)=\sum_{r=1}^{R} S_r(\theta).$$

Ove dvije jednačine generišu uređeni par $[S(r),S(\theta)]$ za svaku koodinatu (r,θ). Varirajući ove koordinate, dobijamo dvije 1D funkcije koje opisuju spektralnu energiju teksture. Najčešće se koriste deskriptori koji određuju lokaciju maksimalne vrijednosti, srednju vrijednost i varijansu, kao i odstupanje najveće od srednje vrijednosti za obe funkcije.

Primjer Furijeovih deskriptora je dat na Slici 189. Slika 189(a) pokazuje osobinu periodičnosti horizontalno, vertikalno i dijagonalno što se očitava pikovima u odgovarajućem $S(\theta)$ za vrijednosti uglova $0^0, 45^0, 90^0, 135^0$ i 180^0, dok region na Slici 189(e) ima osobinu periodičnosti samo horizontalno i vertikalno, te se pikovi u $S(\theta)$ pojavljuju za vrijednosti uglova $0^0, 90^0$ i 180^0.



Slika 189. [1] (a) Region sa teksturom koja pokazuje svojstvo periodičnosti horizontalno, vertikalno i dijagonalno. (b) Amplitudni spektar slike (a). (c) Grafički prikaz $S(r)$ za sliku (a). (d) Grafički prikaz $S(\theta)$ za sliku (a). (e) Region sa teksturom koja pokazuje svojstvo periodičnosti horizontalno i vertikalno. (f) Grafički prikaz $S(\theta)$ za sliku (e).

Momenti

Momenti se također mogu koristiti kao regionalni deskriptori. Za dvodimenzionalne kontinualne funkcije centralni moment reda $(p+q)$ se definiše sa:

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

gdje je:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \ \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}.$$

Za digitalne slike momenti postaju:

$$m_{pq} = \sum_x\sum_y (x-\bar{x})^p(y-\bar{y})^q f(x,y).$$

Hu je 1962 pokazao da postoji set od sedam momenata koji se formiraju od momenata drugog i trećeg reda, koji su invarijantni na translaciju, rotaciju i promjenu skale, te su pogodni da budu regionalni deskriptori.