Funzioni per la descrizione delle immagini

Problemi della rappresentazione in pixel

- Visti i limiti del template matching, non è pensabile di realizzare un sistema efficiente di riconoscimento che si basa sul confronto diretto tra le matrici di pixel.
- La rappresentazione in pixel è infatti
  - ridondante
  - estremamente sensibile a modifiche anche insignificanti

Altri tipi di rappresentazione

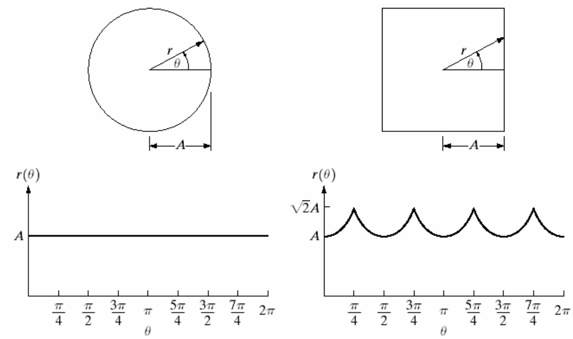
- Oltre alla matrice di pixel, esistono altri tipi di rappresentazione più compatte e più utili ai fini del riconoscimento.
- Alcune di queste sono basate sul contorno dell’oggetto:
  - Chain code
  - Approssimazione poligonale
  - Signatures

Signatures

- Una *signature* è una rappresentazione monodimensionale del contorno di un oggetto e può essere valutata in vari modi.
- L’idea di base è di ridurre la rappresentazione del contorno (tipicamente bidimensionale) ad una funzione monodimensionale, presumibilmente più facile da gestire.

Signatures

- Un tipico esempio di signature è data dall'andamento della distanza dei punti del contorno dal baricentro dell'oggetto al variare di un angolo θ.



Signatures

- Questo tipo di rappresentazione è indipendente rispetto alla traslazione e può essere realizzata in modo da poter essere poco sensibile rispetto a
  - Rotazione
    - Scegliendo sempre lo stesso punto di inizio (es. il punto del contorno più lontano dal baricentro o l'intersezione con l'asse principale di inerzia)
  - Scala
    - Normalizzando i valori della funzione rispetto al valore massimo o alla deviazione standard

Dalla rappresentazione alla descrizione

Sebbene altri tipi di rappresentazione siano più efficaci rispetto alla semplice matrice di pixel, ai fini del riconoscimento risultano essere ancora ridondanti e sensibili a variazioni non significative.

Dalla rappresentazione alla descrizione

- E' quindi opportuno considerare, invece della *rappresentazione* dell'oggetto di interesse, una sua *descrizione*, cioè <u>un insieme di misure o di proprietà qualitative che</u>
  - <u>permette di caratterizzare completamente l'oggetto ai fini del riconoscimento</u>
  - <u>è insensibile a variazioni non significative presenti sulle istanze dell'oggetto</u>
  - <u>consente di discriminare tra istanze di oggetti diversi</u>

Caratteristiche della descrizione

- Non esiste una descrizione “buona per tutte le occasioni”
- La tipologia di descrizione va scelta in base
  - agli oggetti che si trattano
  - al contesto applicativo
  - al sistema di decisione
- Il discorso riguarda tutto l’ambito del Pattern Recognition, non solo quello dell’interpretazione delle immagini

Proprietà di invarianza

- Nel caso di oggetti definiti all’interno di immagini, la definizione di descrittori dovrà tener conto di variazioni che possono intervenire sulle istanze degli oggetti quali:

- **Traslazione**
- **Rotazione**
- **Cambiamento di scala**

Tipologie di descrizioni

- Esistono due tipologie principali di descrittori:
  - Descrittori basati sul contorno
  - Descrittori globali (o basati sulla regione)

Descrittori basati sul contorno

Alcuni semplici descrittori di tipo geometrico basati sul contorno sono:

- **Lunghezza del contorno**

  Viene valutata tramite il numero di attraversamenti tra pixel successivi compiuti attraversando il contorno dell'oggetto e contando 1 per gli attraversamenti orizzontali e verticali e $\sqrt{2}$ per quelli diagonali.

- **Diametro del contorno**

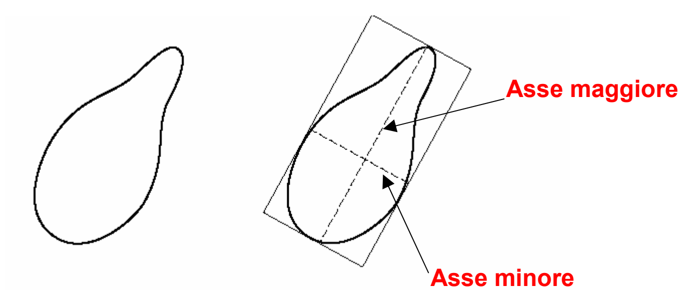
  è definito come $\max_{i,j} d(P_i, P_j)$ dove P_i e P_j sono punti del contorno e d(.,.) è una distanza sul piano digitale

Descrittori basati sul contorno

- **Asse maggiore, asse minore, eccentricità**

  L'asse maggiore coincide con la linea su cui è stato valutato il diametro del contorno; l'asse minore è una linea perpendicolare all'asse maggiore e di lunghezza tale che il rettangolo passante per i quattro estremi dei due assi contiene completamente il contorno.
  Il rapporto asse maggiore/asse minore viene definito eccentricità del contorno.

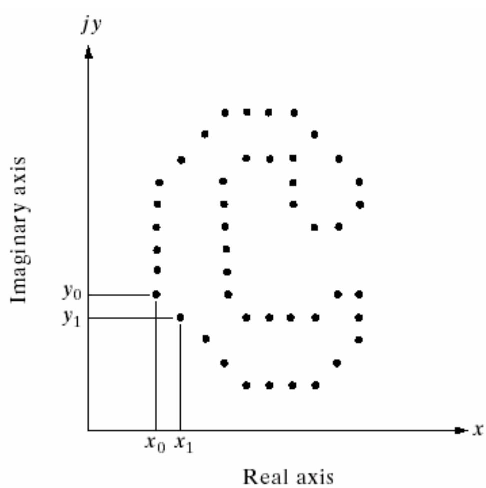
Descrittori basati sul contorno



Descrittori basati sul contorno: descrittori di Fourier

- Dato il contorno di un oggetto e fissato un punto P_0 su di esso, si consideri la sequenza di punti $P_k = (x(k),y(k))$ che si ottiene attraversando il contorno a partire da P_0.
- Se si assume l'asse x come asse reale e l'asse y come asse immaginario, la sequenza dei punti del contorno può essere assunta come sequenza di numeri complessi:

  $s(k) = x(k)+jy(k) \quad k=0,1,\dots,K-1$



Descrittori di Fourier

- Se si applica la trasformata discreta di Fourier (DFT) a s(k) si ottiene:

$$a(u) = \frac{1}{K}\sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-j\frac{2\pi uk}{K}} \qquad u = 0,1,\ldots,K-1$$

dove i coefficienti a(u) si definiscono *descrittori di Fourier* del contorno.

Descrittori di Fourier

- Per riottenere la sequenza di partenza, si deve applicare la trasformazione inversa:

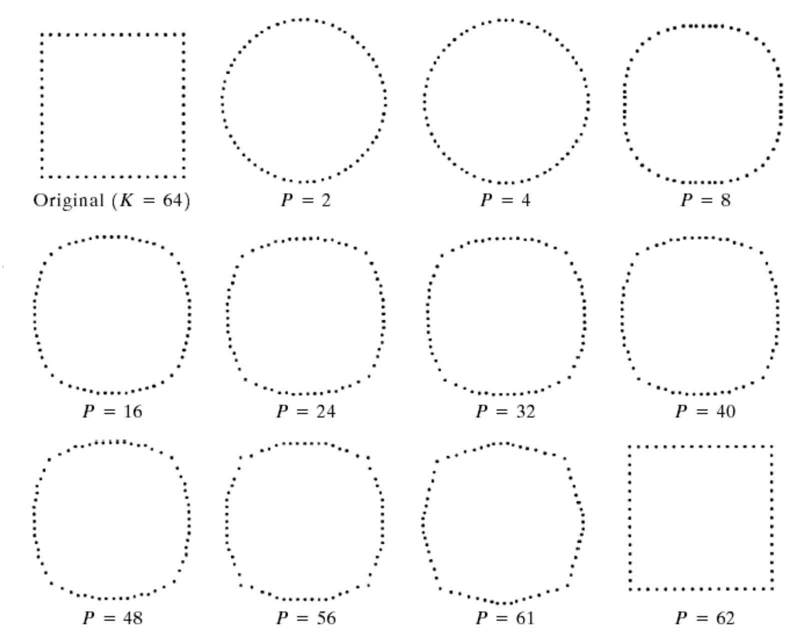
$$s(k) = \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{j\frac{2\pi uk}{K}} \qquad k= 0,1,\ldots,K-1$$

- Nel caso si considerino solo una parte dei coefficienti, si ottiene un'approssimazione di s(k):

$$\hat{s}(k) = \sum_{u=0}^{H} a(u) e^{j\frac{2\pi uk}{K}} \qquad k= 0,1,\ldots,K-1$$

Descrittori di Fourier

- Si noti che la sequenza approssimata contiene lo stesso numero di punti della sequenza originaria.
- La differenza tra le due è nel minor numero di dettagli presenti nella sequenza approssimata, dovuto al fatto di aver trascurato delle componenti ad alta frequenza nella ricostruzione.



Descrittori di Fourier

- Grazie alle proprietà della DFT è possibile predire quali siano gli effetti sui descrittori dei Fourier di traslazioni, rotazioni, variazioni di scala:

Transformation	Boundary	Fourier Descriptor
Identity	$s(k)$	$a(u)$
Rotation	$s_r(k) = s(k)e^{j\theta}$	$a_r(u) = a(u)e^{j\theta}$
Translation	$s_t(k) = s(k) + \Delta_{xy}$	$a_t(u) = a(u) + \Delta_{xy}\delta(u)$
Scaling	$s_s(k) = \alpha s(k)$	$a_s(u) = \alpha a(u)$
Starting point	$s_p(k) = s(k - k_0)$	$a_p(u) = a(u)e^{-j2\pi k_0 u/K}$

Descrittori globali

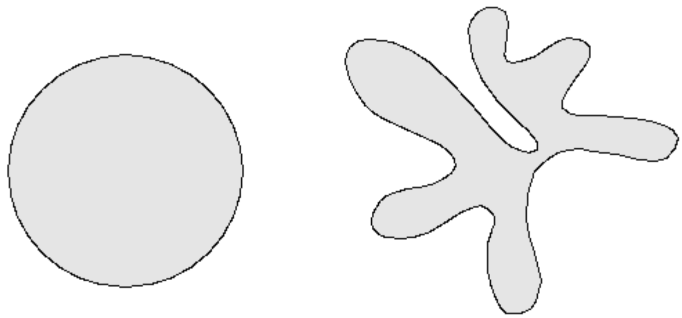
- **Area**

  L'area di una regione si valuta tramite il numero di pixel appartenenti alla regione
- **Perimetro**

  Come perimetro di una regione si assume la lunghezza del contorno (vista prima)
- **Compattezza**

  è definita come $\frac{4\pi A}{P^2}$. Tende a 1 per forme vicine al cerchio

Descrittori globali: compattezza



Compattezza = 1

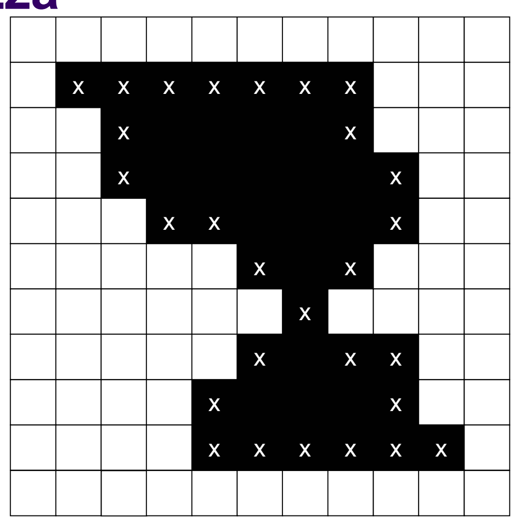
Compattezza << 1

Descrittori globali: compattezza

$P = 18+11\sqrt{2}$

A = 41

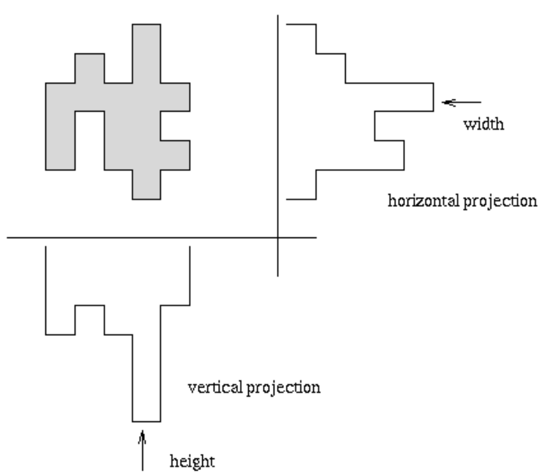
Compattezza = 0.458



Descrittori globali: proiezioni

- Un'utile descrittore di tipo globale è fornito dalle *proiezioni*, che forniscono la distribuzione dei pixel della regione secondo alcune direzioni.
- La *proiezione verticale* è definita come il numero di pixel appartenenti alla regione in ogni colonna. La *proiezione orizzontale* è definita come il numero di pixel appartenenti alla regione in ogni riga. E' possibile definire anche *proiezioni diagonali*, che contano il numero di pixel appartenenti alla regione sulle diagonali.

Descrittori globali: proiezioni



Descrittori globali: proiezioni

- Oltre ad essere impiegate come descrittori globali, le proiezioni possono essere usate per separare regioni differenti. La presenza di un intervallo a valore nullo identifica, infatti, un gap tra regioni distinte.
- In una tecnica nota come *signature parsing* le proiezioni verticali vengono usate per separare regioni orizzontali distinte (es. righe di un testo); successivamente, si considerano, su ogni regione, le proiezioni orizzontali per separare regioni verticali distinte (es. caratteri su una riga di testo). Alternando queste due fasi in maniera ricorsiva è possibile identificare singoli oggetti distribuiti orizzontalmente e verticalmente in una regione ampia, come caratteri e disegni in una pagina di testo.

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Una regione può essere descritta tramite una funzione a due variabili f(x,y).
- Sia f(x,y) una funzione che descriva quali punti appartengono alla regione di interesse:

$$f(x,y) = \begin{cases} 1 \text{ se } (x,y) \in \text{all'oggetto} \\ 0 \text{ se } (x,y) \notin \text{all'oggetto} \end{cases}$$

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Il *momento geometrico* di ordine (p+q) è definito come:

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

- Al variare di p e q i momenti geometrici forniscono delle informazioni su come sono distribuiti i punti all'interno dell'oggetto.

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Di particolare interesse sono i momenti di ordine inferiore

- Per p=q=0, si ottiene l'area dell'oggetto:

$$m_{00} = \sum_x \sum_y f(x,y)$$

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Con i momenti di ordine 1 si individuano le coordinate del centroide o baricentro dell'oggetto.

$$m_{10} = \sum_x \sum_y x f(x,y) \qquad m_{01} = \sum_x \sum_y y f(x,y)$$

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \qquad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Se si fissa l'origine nel centroide, si ottengono i momenti centrali, invarianti alla traslazione:

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x,y)$$

$$\mu_{00} = m_{00} \qquad \mu_{10} = \mu_{01} = 0$$

Descrittori globali: Momenti geometrici

- Per ottenere dei momenti invarianti alla variazioni di scala, si considerano i *momenti centrali normalizzati*:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^{\gamma}} \qquad \text{dove} \qquad \gamma = \frac{p+q}{2} + 1$$

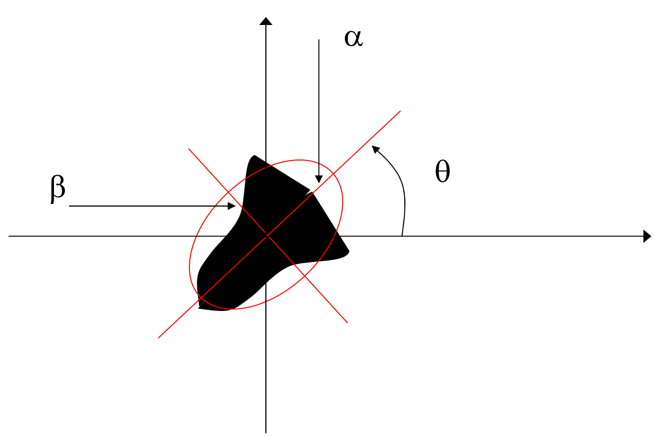
Descrittori globali: Momenti geometrici

- I momenti del secondo ordine sono usati per determinare gli *assi principali d'inerzia* dell'oggetto.
- Questi forniscono utili indicazioni sull'orientazione dell'oggetto e sulla sua forma.

Descrittori globali: Momenti geometrici

- In particolare, i momenti del secondo ordine definiscono un'approssimazione dell'oggetto definita *image ellipse*.
- Questa è un'ellisse avente la stessa area, orientazione, eccentricità dell'oggetto ed è centrata in corrispondenza del suo centroide.

Momenti geometrici: l'*image ellipse*



Momenti geometrici

- I parametri dell'image ellipse sono forniti da:

$$\alpha = \left(\frac{2\left[\mu_{20} + \mu_{02} + \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}} \right]}{\mu_{00}} \right)^{1/2}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right)$$

$$\beta = \left(\frac{2\left[\mu_{20} + \mu_{02} - \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}} \right]}{\mu_{00}} \right)^{1/2}$$