



Segmentazione di immagini



Introduzione

Segmentazione: processo di partizionamento di un'immagine in regioni disgiunte e omogenee.



Esempio di segmentazione. Tratta da [2]

Introduzione (def. formale) (1)

Sia R l'intera regione spaziale occupata dall'immagine. Il processo di segmentazione può essere visto come il partizionamento di R in n sottoregioni, R_1, R_2, \dots, R_n tali che:

$$\bigcup_{i=1}^n R_i = R.$$

R_i è un insieme connesso, $i = 1, 2, \dots, n$.

$R_i \cap R_j = \emptyset$ per tutti i valori i e j , $i \neq j$.

$Q(R_i) = \text{TRUE}$ per $i = 1, 2, \dots, n$.

$Q(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ per ogni coppia di regioni adiacenti R_i, R_j .

Con $Q(R_k)$ predicato definito sui punti di un insieme R_k .

Introduzione (def. formale) (2)

- Ogni pixel deve appartenere ad una regione;
- I punti appartenenti ad una regione devono essere connessi (es. 4-connessi, 8-connessi);
- Le regioni devono essere disgiunte;
- I pixel appartenenti ad una regione devono soddisfare un certo predicato Q ;
- Due regioni adiacenti devono essere diverse nel senso del predicato Q ;

Ad esempio il predicato Q potrebbe essere il seguente:

$Q(R_i) = \text{TRUE}$ se l'intensità media dei pixel di R_i è inferiore a m e la loro deviazione standard è minore di σ (con m e σ parametri costanti).

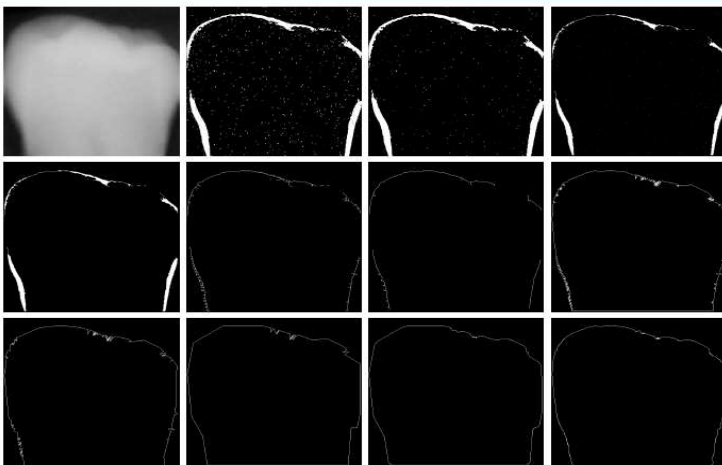
Strategie di segmentazione

Nel corso degli anni sono state sviluppate svariate tecniche di segmentazione. Tuttavia una soluzione generale al problema non è stata trovata. Alcune delle principali strategie di segmentazione sono:

- Edge-based;
- Thresholding;
- Region Merging;
- Region Splitting and Merging.
- ...

Strategie di segmentazione: edge-based

- Estrazione degli edge (Sobel, Canny, ...)
- Edge Linking e Boundary detection (trasformata di Hough,...).



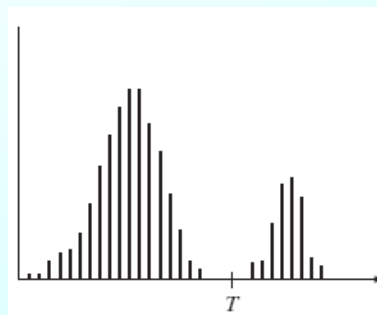
Esempio di immagine segmentata con un approccio edge-based.
Tratta da [1].

Strategie di segmentazione: thresholding (1)

- I metodi di segmentazione basati sull'analisi dell'istogramma sono spesso utilizzati grazie alla loro semplicità implementativa ed efficienza computazionale.
- Queste tecniche calcolano un istogramma a partire dai pixel (es. intensità) e utilizzano i suoi picchi e le sue valli per localizzare i cluster dell'immagine.

Strategie di segmentazione: thresholding (2)

Supponiamo di avere un oggetto chiaro su sfondo scuro e che il suo istogramma sia quello mostrato in figura. I pixel dell'oggetto e del background sono raggruppati in due mode dominanti.



Istogramma con due mode dominanti. Tratto da [1].



Strategie di segmentazione: thresholding (3)

- Scelta una soglia T che separa le due mode, un punto (x,y) tale che $f(x,y) > T$ sarà un punto dell'oggetto, altrimenti verrà assegnato allo sfondo.
- Se T è una costante che può essere applicata all'intera immagine, si parla di sogliatura globale. Se il valore di T varia sull'immagine si utilizza il termine sogliatura variabile.
- Nel caso in cui sia necessario discriminare più di due classi la segmentazione è piuttosto complessa. In tali casi, tipicamente si ottengono migliori risultati con altri approcci (soglia variabile e region merging).

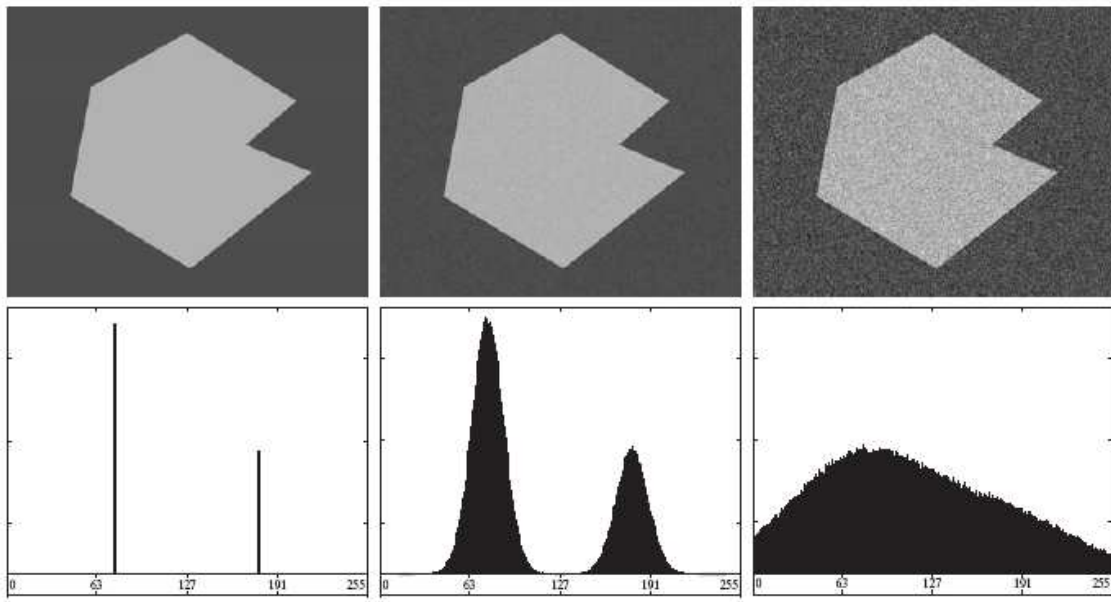


Strategie di segmentazione: thresholding (4)

La buona riuscita degli algoritmi basati sugli istogrammi dipende dalla larghezza e dalla profondità delle valli che separano le mode dell'istogramma. I fattori che influenzano le proprietà delle valli sono:

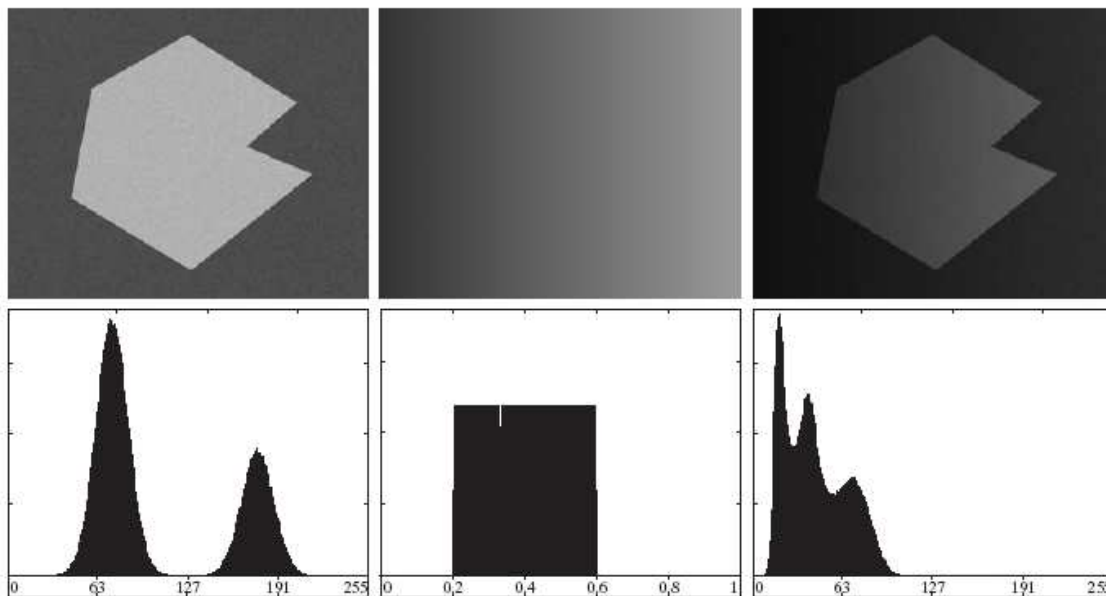
- La separazione tra i picchi;
- Il rumore presente nell'immagine;
- La dimensione relativa dell'oggetto rispetto allo sfondo;
- L'uniformità della sorgente luminosa;
- L'uniformità delle proprietà di riflettanza dell'immagine.

Ruolo del rumore



All'aumentare del rumore presente nell'immagine, il processo di segmentazione diventa sempre più complesso. Tratta da [1].

Ruolo dell'illuminazione



Una sorgente luminosa non uniforme può rendere molto complessa la segmentazione. In figura viene mostrato un esempio di immagine illuminata con una sorgente non uniforme (una rampa) ed il suo istogramma.



Metodo di Otsu

- Tecnica automatica di selezione della soglia T .
- Il metodo massimizza la varianza inter-classe;
- E' basato solo su operazioni effettuate sull'istogramma dell'immagine (vettore 1-D).



Metodo di Otsu (2)

Consideriamo un'immagine di dimensioni $M \times N$ con L livelli distinti di intensità e sia n_i il numero di pixel di intensità i . Il suo istogramma normalizzato ha componenti $p_i = n_i / MN$.

Supponiamo si selezionare una soglia $T(k) = k$, $0 < k < L-1$, e di dividere in base ad essa l'immagine in due classi, C_1 (tutti i pixel con intensità $[0, k]$) e C_2 (tutti i pixel con intensità $[k+1, L-1]$).

Con tale soglia, la probabilità che un pixel sia assegnato alla classe C_1 è:

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i$$

Per la classe C_2 si ha:

$$P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i = 1 - P_1(k)$$



Metodo di Otsu (3)

Il valore medio di intensità dei pixel appartenenti alla classe C_1 è:

$$m_1(k) = \sum_{i=0}^k iP(i/C_1) = \sum_{i=0}^k iP \frac{P(C_1/i)P(i)}{P(C_1)} = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k ip_i$$

In maniera simile si ricava:

$$m_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} iP(i/C_2) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} ip_i$$

Si definisce media cumulativa fino al livello k :

$$m(k) = \sum_{i=0}^k ip_i$$

La media delle intensità dell'intera immagine è data da:

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$$



Metodo di Otsu (4)

Per valutare la bontà della soglia k si utilizza la metrica normalizzata:

$$\eta = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_G^2}$$

Con σ_G^2 varianza globale dei pixel dell'immagine:

$$\sigma_G^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m_G)^2 p_i$$

e σ_B^2 varianza inter-classe:

$$\sigma_B^2 = P_1(m_1 - m_G)^2 + P_2(m_2 - m_G)^2$$



Metodo di Otsu (5)

La varianza inter-classe può essere riscritta come:

$$\sigma_B^2 = P_1 P_2 (m_1 - m_2)^2 = \frac{(m_G P_1 - m)^2}{P_1 (1 - P_1)}$$

Più distanti sono le due medie, più la varianza inter-classe è elevata.

Questa formulazione della varianza inter-classe permette una più efficiente implementazione.

La soglia ottimale viene dunque calcolata:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_B^2(k)$$

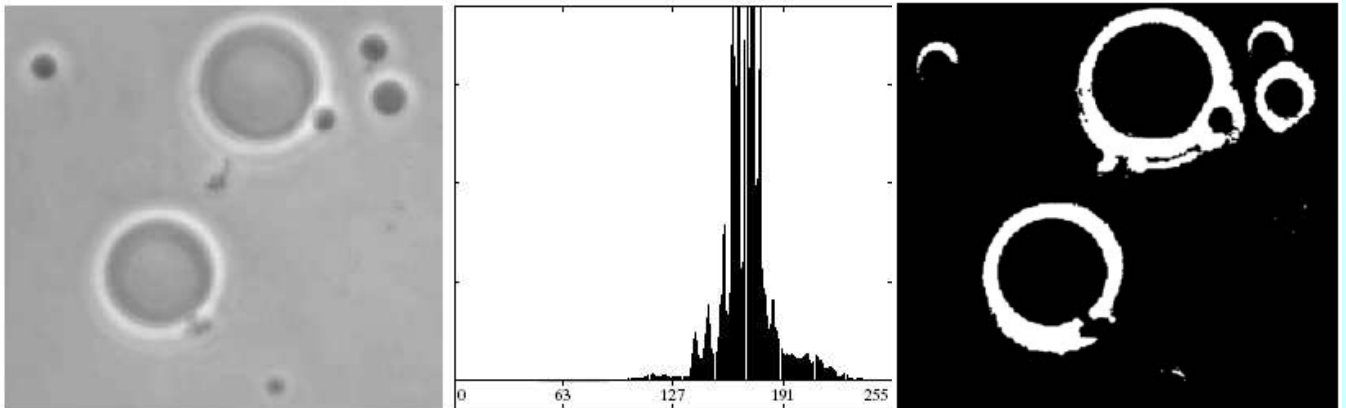


Metodo di Otsu (6)

L'algoritmo di Otsu può essere riassunto come segue:

- Calcolare l'istogramma normalizzato dell'immagine;
- Calcolare le somme cumulative $P_1(k)$ per $k=0, 1, \dots, L-1$;
- Calcolare le medie cumulative $m(k)$ per $k=0, 1, \dots, L-1$;
- Calcolare la media globale delle intensità, m_G ;
- Calcolare la varianza inter-classe per $k=0, 1, \dots, L-1$;
- Ottenere la soglia k^* che massimizza la varianza inter-classe;
Se il massimo non è unico, ricavare k^* come media dei valori di k corrispondenti ai vari massimi trovati;
- Ricavare la misura di separabilità η^* per $k=k^*$.

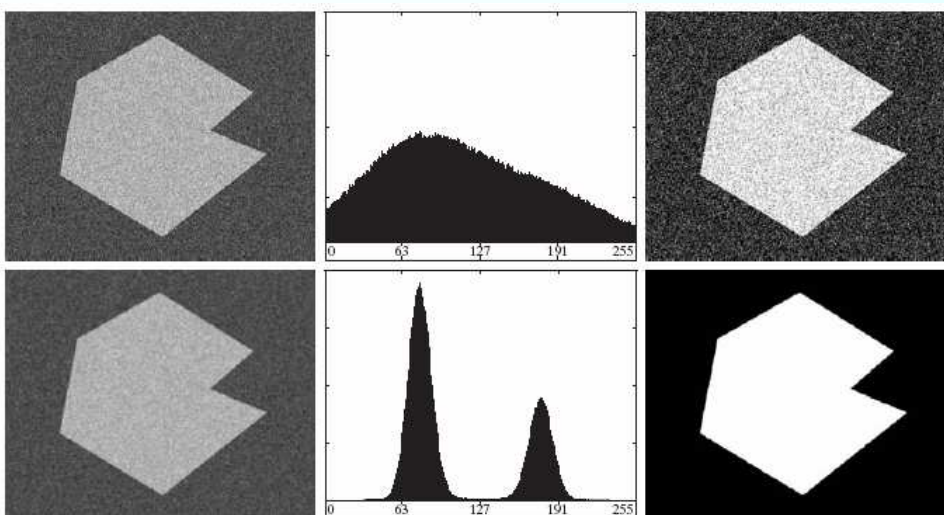
Metodo di Otsu (esempio)



Esempio di immagine segmentata con il metodo di Otsu. Tratta da [1]

Ruolo del rumore

In alcuni casi l'immagine presenta un livello di rumore tale da rendere complessa la segmentazione tramite sogliatura. Spesso l'applicazione di un filtro di smoothing permette di ridurre il problema.



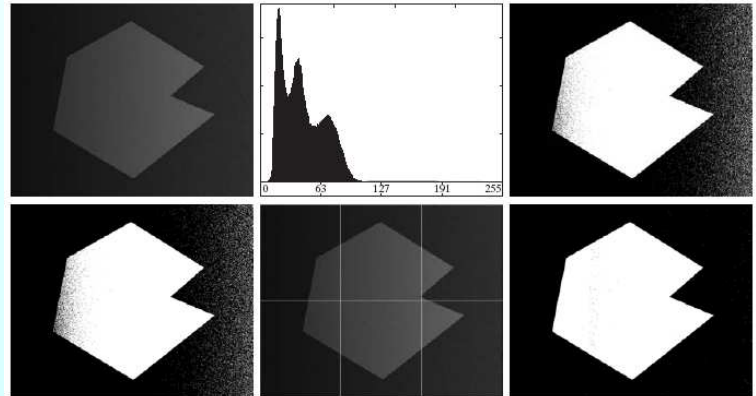
L'applicazione di una maschera di smoothing ha semplificato la segmentazione rendendo l'istogramma bimodale. Tratta da [1].

Illuminazione non uniforme

Nel caso in cui l'immagine sia illuminata in maniera non uniforme o abbia delle non uniformità nella riflettanza, la segmentazione tramite thresholding può risultare piuttosto complessa.

Una soluzione semplice al problema consiste nel partizionare l'immagine in rettangoli non sovrapposti e su di essi effettuare la segmentazione.

L'istogramma relativo ad ogni rettangolo è bimodale, e permette dunque la segmentazione dell'immagine. Tratto da [1]



Soglia variabile (cenni)

Quando il valore della soglia T varia sull'immagine si utilizza il termine soglia variabile. Alcune tecniche sono le seguenti:

- Partizionamento dell'immagine: l'immagine viene divisa in rettangoli non sovrapposti e su di essi vengono calcolate le soglie per la segmentazione;
- Soglie basate su proprietà locali dell'immagine: viene calcolata una soglia per ogni punto in base a delle proprietà calcolate in un suo intorno (es. media, varianza...);
- Media mobile.



Region Merging

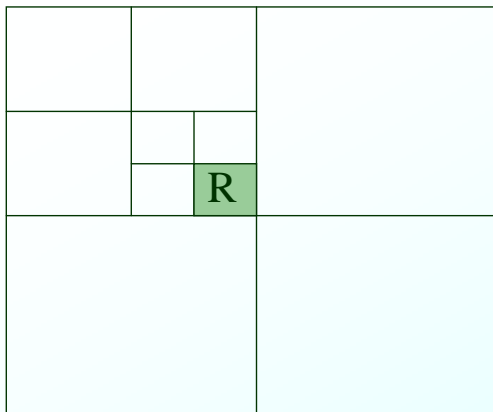
- A partire da un pixel detto *seed* si agglomerano ad esso i pixel a lui vicini che soddisfano un certo criterio di omogeneità formando così una regione.
- Combinando successivi processi di *growing*, o procedendo con *growing* simultaneo da più *seed*, si ottiene la segmentazione dell'intera immagine.



Region Splitting and Merging (1)

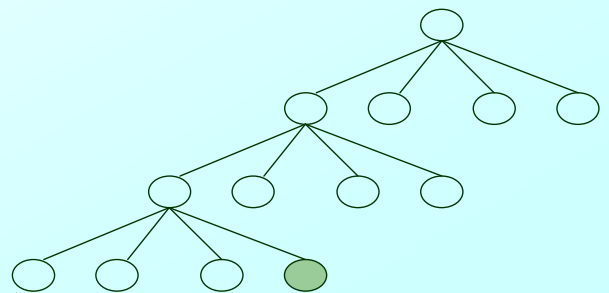
- E' possibile eseguire una segmentazione partizionando (*splitting*) ricorsivamente una immagine, fino ad ottenere componenti uniformi.
- Si dovrà effettuare una successiva operazione di aggregazione (*merging*) delle regioni adiacenti che dovessero risultare compatibili in base ad un criterio di fusione.

Region Splitting and Merging (2)



La suddivisione ricorsiva dell'immagine in quadranti viene rappresentata con una struttura ad albero chiamato quad tree: ogni nodo contiene le informazioni relative a ciascun quadrante e i suoi figli sono associati ai quadranti in cui è ulteriormente suddiviso. Un nodo foglia è un quadrante sufficientemente uniforme da non richiedere ulteriori partizionamenti

Dopo la fase di splitting si procederà alla fase di merging delle regioni adiacenti "compatibili"; regioni adiacenti verranno aggregate in una unica regione se quest'ultima risulterà sufficientemente uniforme.



References

- [1] Elaborazione delle Immagini Digitali – R.C. Gonzales, R.E. Woods – Pearson Italia - 2008.
- [2] R. Nock, F. Nielsen: Statistical Region Merging. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 26(11): 1452-1458 (2004).