

Sommario

- Introduzione
- Percezione
- Formazione delle immagini
- **Elaborazione delle immagini a basso livello**
- Estrazione di informazione 3D da un'immagine
- Riconoscimento di oggetti
- Manipolazione e navigazione
- Conclusioni

Elaborazione delle immagini a basso livello

- La luce riflessa dagli oggetti presenti in una scena forma un'immagine composta da milioni di pixel da tre byte
 - Due problemi
 - presenza di rumore
 - grande mole di dati
 - Operazioni iniziali o “di basso livello” (prime di una serie)
 - *smoothing* per la riduzione del rumore
 - *identificazione dei bordi*
 - Caratteristiche delle operazioni iniziali di visione sono
 - natura locale
 - mancanza di informazione
- Ne consegue la possibilità di una loro esecuzione in parallelo

Elaborazione delle immagini a basso livello

- *Smoothing*: predire il valore di un pixel dati quelli che lo circondano
- Un modo di eseguire lo *smoothing* di un'immagine è assegnare a ogni pixel il valore medio dei suoi vicini
- Per cancellare il *rumore gaussiano* si calcola una media pesata per mezzo di un *filtro gaussiano*.

La *funzione gaussiana* in 2D con deviazione standard σ è

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

Applicare un *filtro gaussiano* significa sostituire l'intensità $I(x_0, y_0)$ con la somma, su tutti i pixel (x, y) , di $I(x, y)G_{\sigma}(d)$, dove d è la distanza tra (x_0, y_0) e (x, y) .

Tale tipo di somma pesata prende il nome di *convoluzione*

Elaborazione delle immagini a basso livello

- Si dice che la funzione h è la *convoluzione* delle due funzioni f e g (e la si indica con $h=f* g$) se abbiamo

$$h(x, y) = \sum_{u=-\infty}^{+\infty} \sum_{v=-\infty}^{+\infty} f(u, v)g(x-u, y-v)$$

- Lo *smoothing* è quindi ottenuto mediante la convoluzione dell'immagine con la gaussiana, cioè come $I* G_{\sigma}$
- Un σ pari a 1 pixel è sufficiente a “smorzare” una piccola quantità di rumore, mentre 2 pixel saranno più efficaci, ma causeranno la perdita di qualche dettaglio
- L'influenza di una gaussiana diminuisce rapidamente con la distanza, per cui possiamo sostituire i $\pm\infty$ nelle sommatorie con $\pm 3\sigma$

Elaborazione delle immagini a basso livello

- Il passo successivo della visione di basso livello è il *rilevamento dei bordi* sul piano d'immagine
- *Bordi*: linee dritte o curve che marcano un “significativo” cambiamento nella luminosità dell'immagine
- Lo scopo del rilevamento dei bordi è eseguire un'*astrazione* dell'immagine originale (che è complessa e occupa diversi megabyte) verso una rappresentazione più compatta
- I bordi dell'immagine corrispondono a importanti separazioni tra oggetti nella scena
- In realtà esistono diversi tipi di *discontinuità* nella scena che danno luogo a bordi nell'immagine; il rilevamento dei bordi si interessa solo dell'immagine, e quindi non distingue tra i diversi tipi di discontinuità nella scena, ma l'elaborazione successiva lo farà

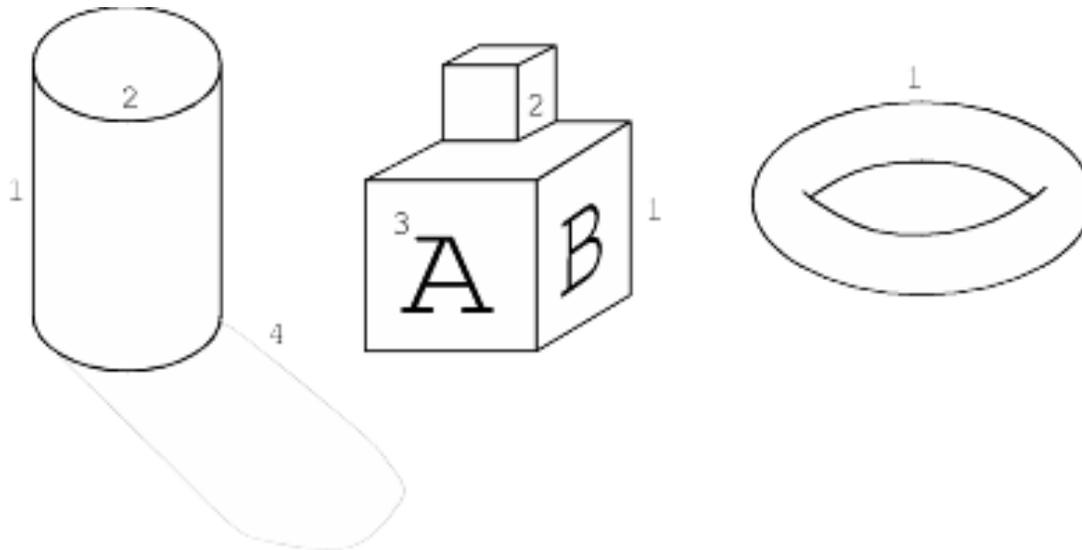
Elaborazione delle immagini a basso livello

- *Rilevamento dei bordi (edge detection)*

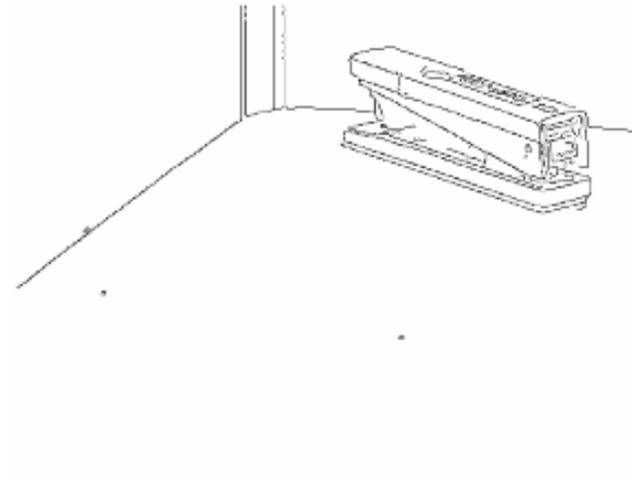
Discontinuità nella scena \Rightarrow *bordi nell'immagine*

Esistono diversi tipi di bordi, relativi a

- discontinuità di profondità (1)
- discontinuità di orientazione delle superfici (2)
- discontinuità di riflettanza (3)
- discontinuità di illuminazione (ombre) (4)

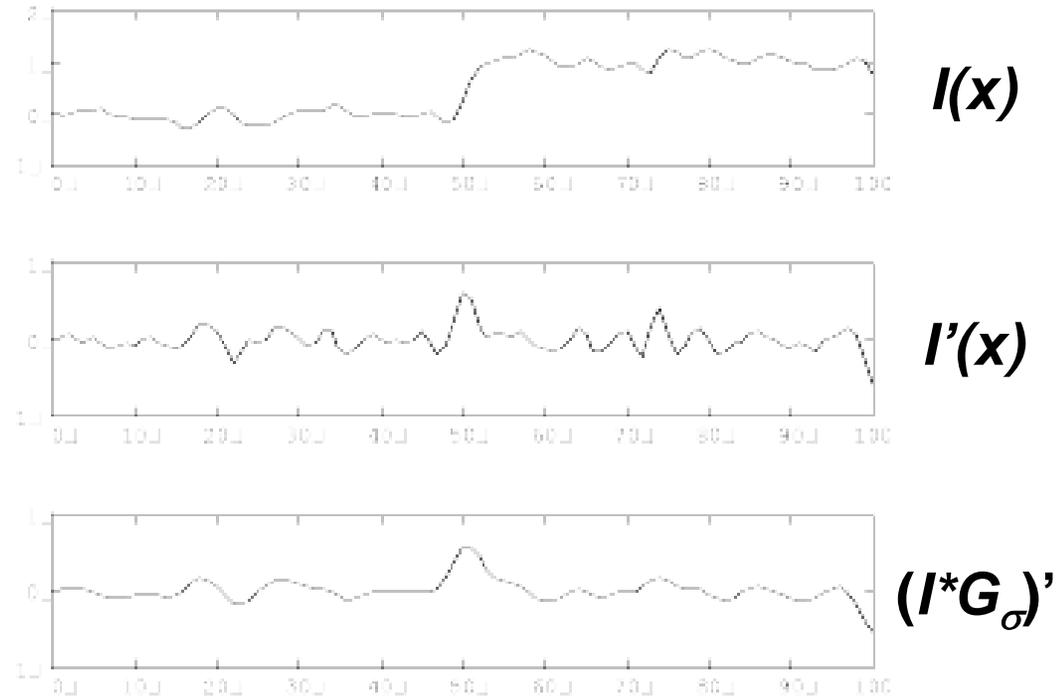


Elaborazione delle immagini a basso livello



Elaborazione delle immagini a basso livello

- Consideriamo il profilo della luminosità di un'immagine lungo una sezione monodimensionale perpendicolare a un bordo
- La posizione del bordo è $x=50$
- I bordi corrispondono a posizioni in cui la luminosità subisce un cambiamento repentino \Rightarrow differenziamo l'immagine e cerchiamo i punti in cui il modulo della derivata $I'(x)$ è grande
- Nel profilo della derivata compaiono, però, anche dei picchi minori in altre direzioni, che sono in realtà dovuti alla presenza di rumore nell'immagine: se eseguiamo uno *smoothing*, la dimensione dei picchi spuri diminuisce
- Ottimizzazione: possiamo combinare lo *smoothing* e il rilevamento dei bordi in una singola operazione, operando la convoluzione dell'immagine con la derivata della funzione gaussiana di smoothing G'_σ



Elaborazione delle immagini a basso livello

Algoritmo di Rilevamento di Bordi in 1D

1. Si calcola la convoluzione dell'immagine I con G'_σ per ottenere R
2. Si marcano come bordi i picchi in $\|R(x)\|$ che superano una soglia T specificata (la soglia serve a eliminare i picchi spuri dovuti al rumore)

Elaborazione delle immagini a basso livello

Algoritmo di Rilevamento di Bordi verticali in 2D

In 2D i bordi potrebbero avere qualsiasi angolo θ rispetto agli assi dell'immagine.

Per rilevare bordi verticali, si può fare la convoluzione con $G'_\sigma(x)G_\sigma(y)$

L'algoritmo per il rilevamento di bordi verticali è il seguente

1. Si calcola la convoluzione dell'immagine $I(x,y)$ con $f_V = G'_\sigma(x)G_\sigma(y)$ per ottenere $R_V(x,y)$
 - in direzione y l'effetto è un semplice *smoothing* (dovuto alla convoluzione gaussiana)
 - in direzione x l'effetto è differenziazione + *smoothing*
2. Si marcano come bordi i picchi in $\|R_V(x,y)\|$ che superano una soglia T specificata

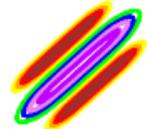
Elaborazione delle immagini a basso livello

Algoritmo di Rilevamento di Bordi qualsiasi in 2D

Per rilevare un bordo che ha un orientamento qualsiasi, la convoluzione va effettuata con due filtri $f_V = G'_\sigma(x)G_\sigma(y)$ e $f_H = G'_\sigma(y)G_\sigma(x)$, con f_H uguale a f_V ruotato di 90° .

Per rilevare bordi con orientamenti qualsiasi, l'algoritmo è dunque il seguente

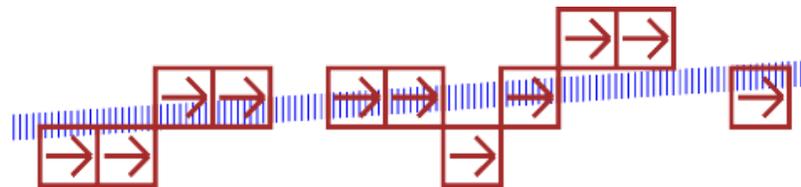
1. Si calcola la convoluzione dell'immagine $I(x,y)$ con i filtri spazialmente orientati (possibilmente multi-scala) $f_V(x,y)$ e $f_H(x,y)$ per ottenere rispettivamente $R_V(x,y)$ e $R_H(x,y)$; si definisce

$$R(x, y) = R_V^2(x, y) + R_H^2(x, y)$$


Elaborazione delle immagini a basso livello

Algoritmo di Rilevamento di Bordi qualsiasi in 2D (segue)

2. Si marcano i picchi in $\|R(x, y)\|$ che superano una soglia T specificata
3. Si collegano fra loro i pixel di bordo ottenuti che appartengono alle stesse curve (si presume che due pixel adiacenti che fanno parte di un bordo con lo stesso orientamento appartengano alla stessa curva)



Tale processo è detto *Rilevamento dei Bordi di Canny*

Elaborazione delle immagini a basso livello

- *Segmentazione dell'immagine in regioni*: è l'unica operazione di livello intermedio che vedremo
- Questa fase opera ancora a livello di immagine e non di scena, ma include elaborazioni non locali
- La *segmentazione* è il processo di suddivisione di una immagine in gruppi sulla base della somiglianza dei pixel che li compongono
- Idea base: a ogni pixel si possono associare determinate proprietà visive, come *luminosità*, *colore* e *texture*; all'interno di un oggetto, o di una sua singola parte, queste caratteristiche variano relativamente poco, mentre al confine tra un oggetto e un altro si può riscontrare un cambiamento significativo di almeno uno di questi attributi
- Scopo: suddividere l'immagine in insiemi di pixel in modo da soddisfare il più possibile questi vincoli

Elaborazione delle immagini a basso livello

- Le intuizioni precedenti possono essere formalizzate matematicamente in diversi modi
- Ad esempio, Shi e Malik (2000) lo descrivono come un problema di *partizionamento di grafi*: i nodi del grafo corrispondono ai pixel, gli archi ai collegamenti tra pixel (ossia i bordi); il peso $w_{i,j}$ su un arco che collega due pixel i e j dipende dalla loro somiglianza in termini di luminosità, colore, texture, etc. L'algoritmo si basa sulla definizione di *partizioni* che minimizzano un *criterio di taglio normalizzato*. A grandi linee, si deve minimizzare la somma dei pesi delle connessioni tra gruppi diversi e massimizzare quella delle connessioni interne a ogni gruppo
- La segmentazione basata unicamente su attributi locali di basso livello (come luminosità e il colore) è destinata a commettere molti errori. Serve conoscenza di livello più elevato, riguardante i tipi di oggetti che ci si può aspettare di incontrare nella scena