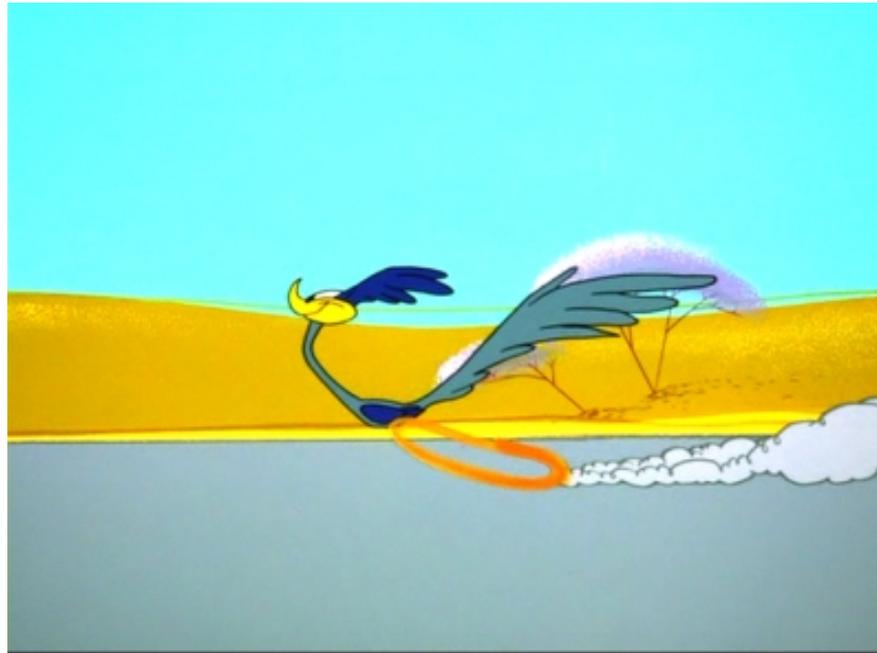


Sistemi Avanzati per il Riconoscimento



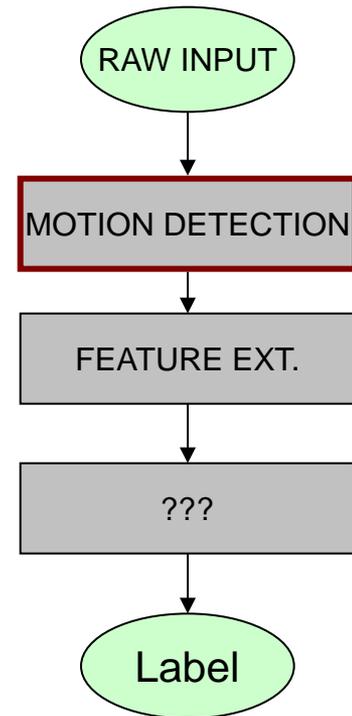
Motion Detection

Prof. Marco Cristani



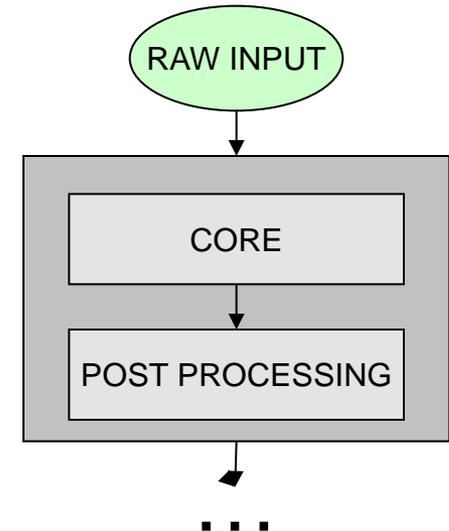
Introduzione

- Motion Detection - operazione necessaria per la maggior parte delle applicazioni di sorveglianza, HCI avanzate, etc. che operano mediante movimento
 - Face-X
 - Tracking (face-hand-gesture-body)
- Tutte le applicazioni di cui sopra sono organizzate come architetture seriali
 - è importante non introdurre errori nei primi stage dell'architettura, pena la loro propagazione amplificata nei successivi
- Campo di ricerca attivo dal 1970, tuttora fervido
- Sinonimi di motion detection:
 - Sottrazione del background
 - Estrazione del foreground



Il problema

- Scopo (classico): Data una sequenza di frame acquisita da camera fissa, trovare tutti gli oggetti in movimento
- Meglio: data una scena acquisita da una telecamera mobile o fissa, evidenziare tutti gli oggetti inattesi (foreground, FG, visualizzato come pixel bianchi) distinguendoli da ciò che è atteso, la scena (background, BG, visualizzato come pixel neri)
- Motion detection di solito ha solo *post-processing*



Come valutare le soluzioni

- Generalmente, è difficile avere un ground-truth (risultato corretto) per confrontare le soluzioni
- Non hanno molto senso esperimenti su dati sintetici
- Per valutare la bontà di un approccio di motion detection
 - falsi negativi *FN*
 - devono essere minimizzati se la perdita di un soggetto in movimento è grave
 - falsi positivi *FP*
 - devono essere minimizzati se l'identificazione di un oggetto in movimento corrisponde ad una scelta drastica da parte della macchina (lanciare un allarme nel caso della video-sorveglianza)
- Errore da valutare: $E = FN + FP$



Soluzione intuitiva

- Identifico gli oggetti di foreground tramite la differenza tra il frame corrente $z^{(t)}$ e un'img $b^{(t)}$ rappresentante la scena

$$|z_i^{(t)} - b_i^{(t)}| > Th, \quad i \text{ pixel} = 1, \dots, I$$

- Primo problema: come ottenere l'immagine della scena in modo automatico
- Problema della **stima del background** (o background initialization)



Soluzione intuitiva - difetto

- L'immagine di background non è fissa ma si deve adattare a :
 - Cambi di illuminazione
 - graduali
 - repentini (lampi, nuvole etc.)
 - Movimenti
 - Oscillazioni della telecamera
 - Oggetti ad alta frequenza appartenenti alla scena (come rami di alberi, onde etc.)
 - Cambiamenti nella geometria della scena
 - Auto parcheggiate etc., ...
- Problema del **mantenimento del background** (o BG adaption)



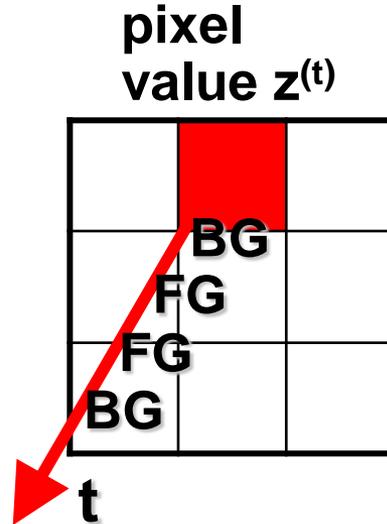
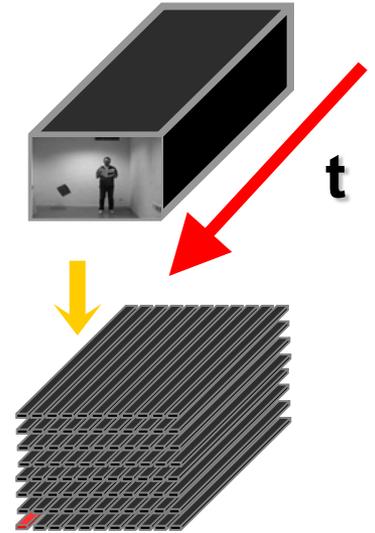
Metodi di base

- Approcci
 - per pixel
 - per regione
 - per frame



Metodi di base – approcci per-pixel

- Ogni pixel rappresenta un processo indipendente
- Ad ogni istante temporale t ogni pixel viene classificato come **FG** or **BG**



Metodi di base

- Differenza tra frame:

$$|z_i^{(t)} - b_i^{(t)}| > Th$$

- Il background stimato è semplicemente l'immagine precedente
- Lavora solo in particolari condizioni (velocità degli oggetti in movimento e frame rate – fattori collegati)
- Difficile trovare una soglia Th adatta (sensibilità)



Metodi di base

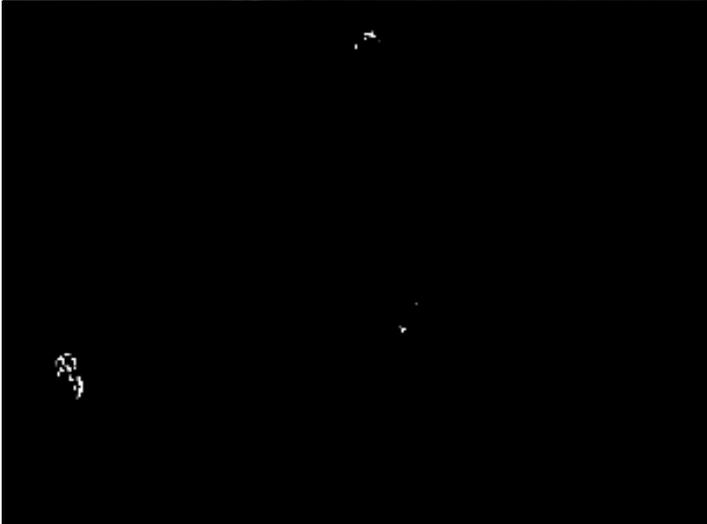
Sequenza



Diff.
assoluta



Th: alta



Th:
bassa



Metodi di base: approccio basato su mediana

- Il background è la media o la mediana (Velastin, 2000; Cucchiara, 2003) degli n frame precedenti:
 - piuttosto veloce, ma esoso in termini di spazio: i requisiti di memoria sono $n * \text{size}(\text{frame})$
- Modello il background come una *media mobile*:

$$b^{(t+1)}_i = \alpha * z^{(t+1)}_i + (1 - \alpha) * b^{(t)}_i$$

- α , il learning rate, è tipicamente basso - 0.05
- nessun requisito di memoria



Metodi di base: considerazioni

- Il modello di background ad ogni locazione di pixel è basato sulla storia recente del pixel stesso
- In molti lavori, tale storia è:
 - Semplicemente i primi n frame
 - Una media pesata in cui i valori più recenti hanno peso più piccolo
- In questi metodi non viene modellata alcuna correlazione tra pixel adiacenti (approcci per pixel)



Metodi di base: selettività

- Ad ogni frame, un pixel viene classificato come BG o FG
- Che feedback puo' essere ricavato da questa operazione?
- →se il pixel viene identificato come foreground, esso non viene incluso nel modello di BG
- In questo modo il modello di BG non viene inquinato da valori che logicamente non appartengono alla scena
- Media mobile con selezione

$$b_i^{(t+1)} = \alpha z_i^{(t)} + (1 - \alpha) B_i^{(t)} \quad \text{if } z_i^{(t)} \in \text{BG}$$

$$b_i^{(t+1)} = b_i^{(t)} \quad \text{if } z_i^{(t)} \in \text{FG}$$

- Accorgimento usato largamente
- Problemi
 - il BG modellato è monomodale
 - come scegliere la soglia Th



Metodi di base: selezione della soglia

- Pfinder (Wren, Azarbayejani, Darrell, Pentland, 1997):
 - viene fittata una distribuzione gaussiana (μ, σ) sull'istogramma generato dalla storia di ogni pixel: questo restituisce la distribuzione (PDF) del background
 - aggiornamento dei parametri: media mobile

$$\mu_i^{(t+1)} = \alpha z_i^{(t)} + (1 - \alpha) \mu_i^{(t)}$$

$$\sigma_i^{2(t+1)} = \alpha (z_i^{(t)} - \mu_i^{(t)})^2 + (1 - \alpha) \sigma_i^{2(t)}$$

- ciò risolve il problema della soglia: il *Foreground test* risulta

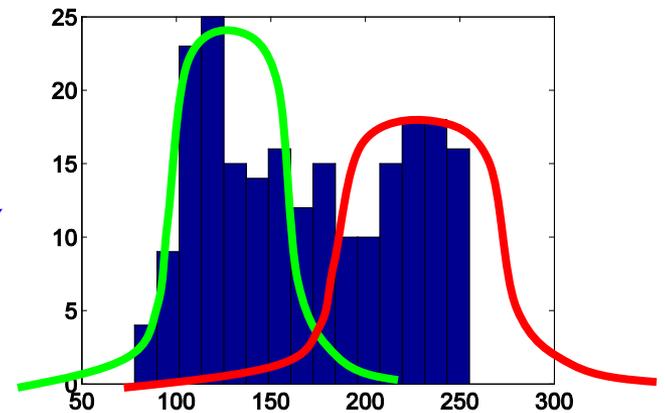
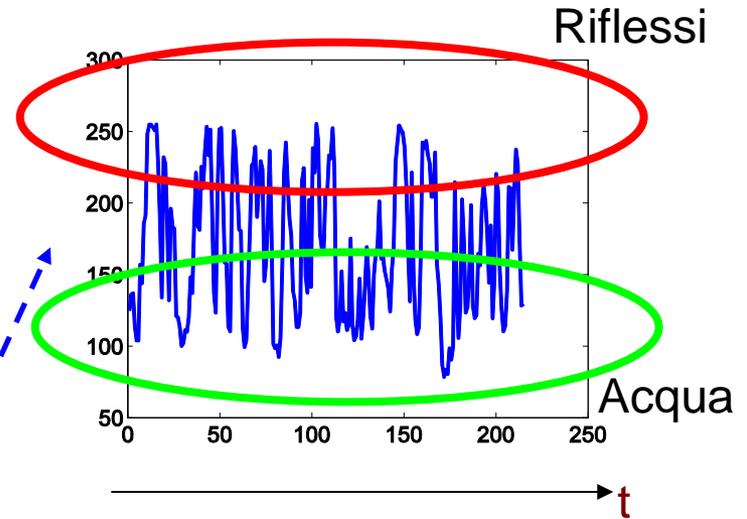
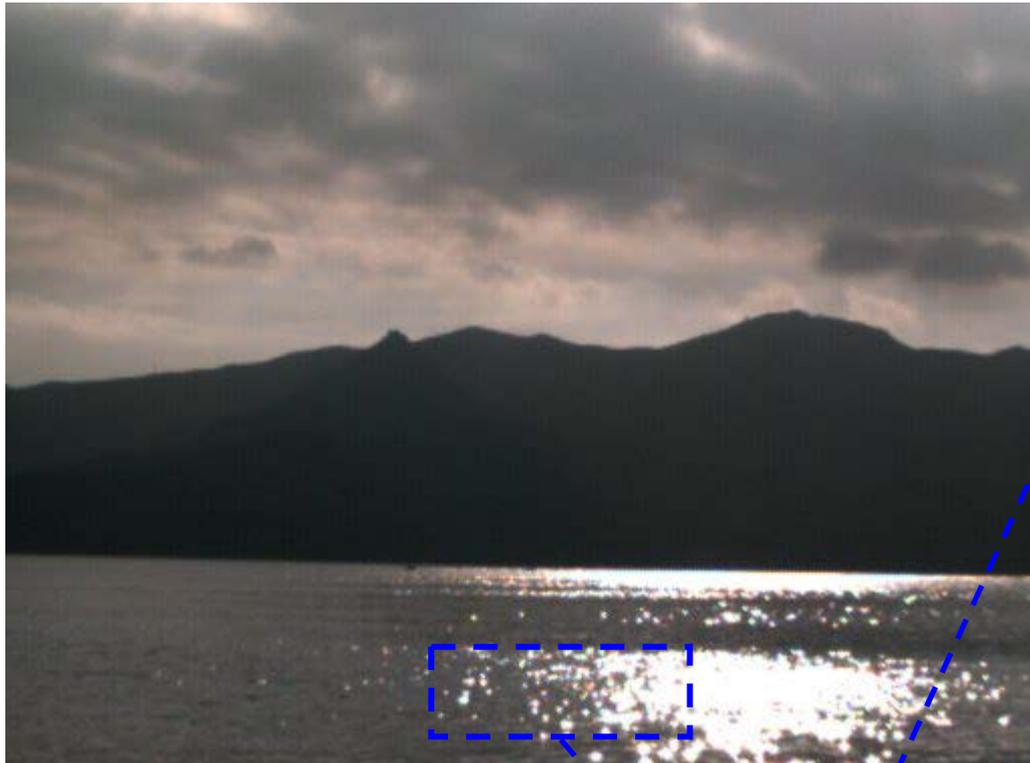
$$z_i^{(t)} \in FG \quad \text{if } \left| z_i^{(t)} - \mu_i^{(t)} \right| > 2.5 \sigma_i^{(t)} = \mathbf{Th}$$

$$z_i^{(t)} \in BG \quad \text{altrimenti}$$

NO MULTIMODALITA'



Background bimodale



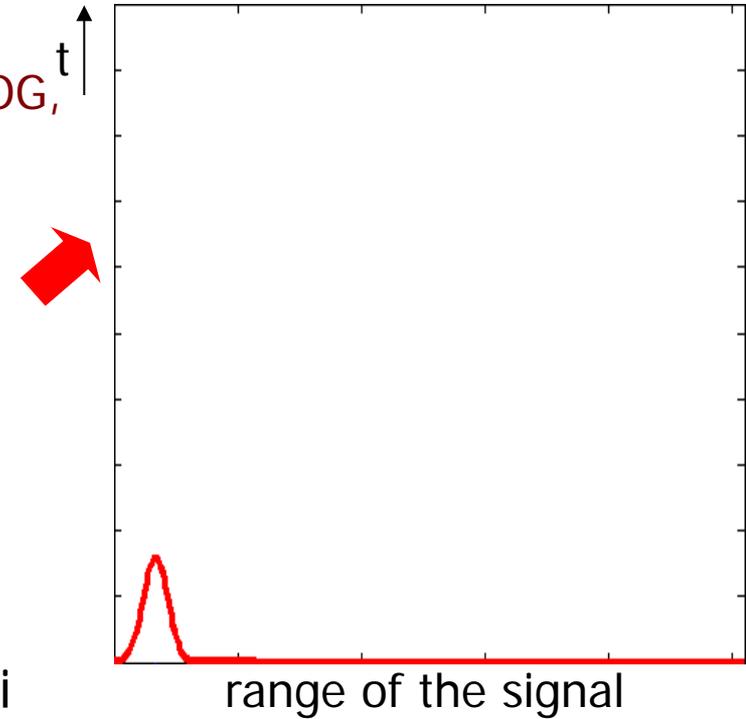
TAPPMOG

- Modello statistico *generativo*: Time Adaptive Mixture Of Gaussian (TAPPMOG, Stauffer and Grimson, 1999)
- la probabilità di osservare il valore di pixel $z_i^{(t)}$ è

$$P(z_i^{(t)}) = \sum_{k=1}^M w_{ik}^{(t)} \mathcal{N}(z_i^{(t)}; \mu_{ik}^{(t)}, \Sigma_{ik}^{(t)})$$

dove

- $(\mu_{ik}^{(t)}, \Sigma_{ik}^{(t)})$ identificano le componenti gaussiane
- $w_{ik}^{(t)}$ = *grado di importanza*; se alto, indica una componente che modella un segnale persistente, quindi di BG; altrimenti abbiamo un valore di FG;



Mixture di gaussiane

- Ad ogni nuovo frame, alcune Gaussiane associate al pixel i -esimo z_i possono “matchare” il valore del pixel corrente, ossia

$$\left| z_i^{(t)} - \mu_{ik}^{(t)} \right| < 2.5\sigma_{ik}^{(t)}$$

con k indice di componente

- considero come *matching component* la componente a distanza minore
- Tale gaussiana (e il rispettivo valore di pixel) viene classificata come BG o FG, mediante il *FG test* (ignoro l'indice i del pixel)

$$FG \text{ if } \sum_{k=1}^{\text{matched}} w_k^{(t)} > Th$$

BG otherwise

- Quindi $B = \operatorname{argmin}_b \sum_{k=1}^b w_k^{(t)} > Th$ è il numero di comp che modellano il BG



Misture di gaussiane

- Nota importante: le componenti Gaussiane sono ordinate in maniera decrescente su $w_k^{(t)} / \sigma_k^{(t)}$
- Componenti con peso maggiore (viste più volte) con varianza minore (più stabili e regolari nel tempo) si trovano nelle prime posizioni



Misture di gaussiane

- I parametri vengono addestrati on-line – il training avviene interfogliato con la classificazione
- I pesi di tutte le componenti di tutti i pixel vengono aggiornati come segue

$$w_k^{(t)} = (1 - \alpha)w_k^{(t-1)} + \alpha M_k^{(t)}$$
$$\begin{cases} M_k^{(t)} = 1 & \text{if } k \text{ è "matching comp."} \\ M_k^{(t)} = 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- Per un dato pixel, la *matching component* aumenta di peso, le altre diminuiscono



Misture di gaussiane

- I parametri della matching component, μ_k, σ_k , vengono aggiornate mediante media mobile, con le seguenti eq. di rinnovo:

$$\begin{aligned}\mu_k^{(t)} &= (1 - \alpha) \mu_k^{(t-1)} + \rho z^{(t)} \\ \sigma_k^{2(t)} &= (1 - \rho) \sigma_k^{2(t-1)} + \rho (z^{(t)} - \mu_k^{(t)})^T (z^{(t)} - \mu_k^{(t)}) \\ \rho &= \alpha N(z^{(t)} | \mu^{(t)}, \sigma^{2(t)})\end{aligned}$$

- Se per un dato pixel non ho componenti che matchano, inserisco una nuova componente con

$$\begin{aligned}\mu_k^{(t)} &= z^{(t)} \\ \sigma_k^{2(t)} &= \text{valore alto}\end{aligned}$$



Considerazioni importanti

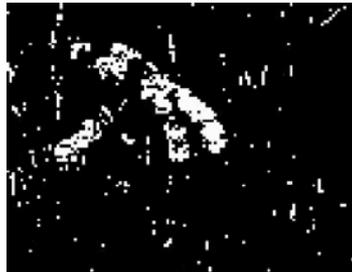
- Il parametro α è detto learning rate, $\in [0,1]$
 - α alto:
 - PRO
 - recupero veloce degli errori
 - un oggetto inizialmente mobile, poi statico, viene “assorbito” presto dal modello di BG
 - CONTRO
 - comparsa di buchi in un oggetto mobile lento
 - α basso:
 - PRO
 - alta sensibilità verso oggetti lenti
 - CONTRO
 - poca adattività (difficoltà con cambi di illuminazione)



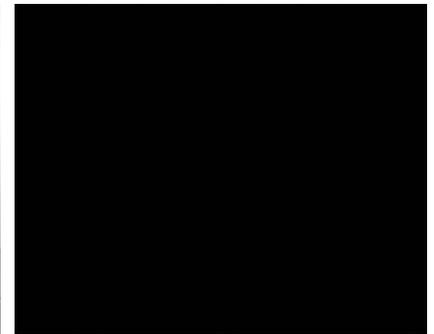
Considerazioni importanti

- il numero di mode è definito una volta per tutte a priori (di solito da 3 a 5)
 - esistono metodi di scelta on-line per le componenti [Zivkovic@ICPR04]
- come inizializzare le Gaussiane (μ_{ik}, Σ_{ik}) ?

Risultati (difficili)



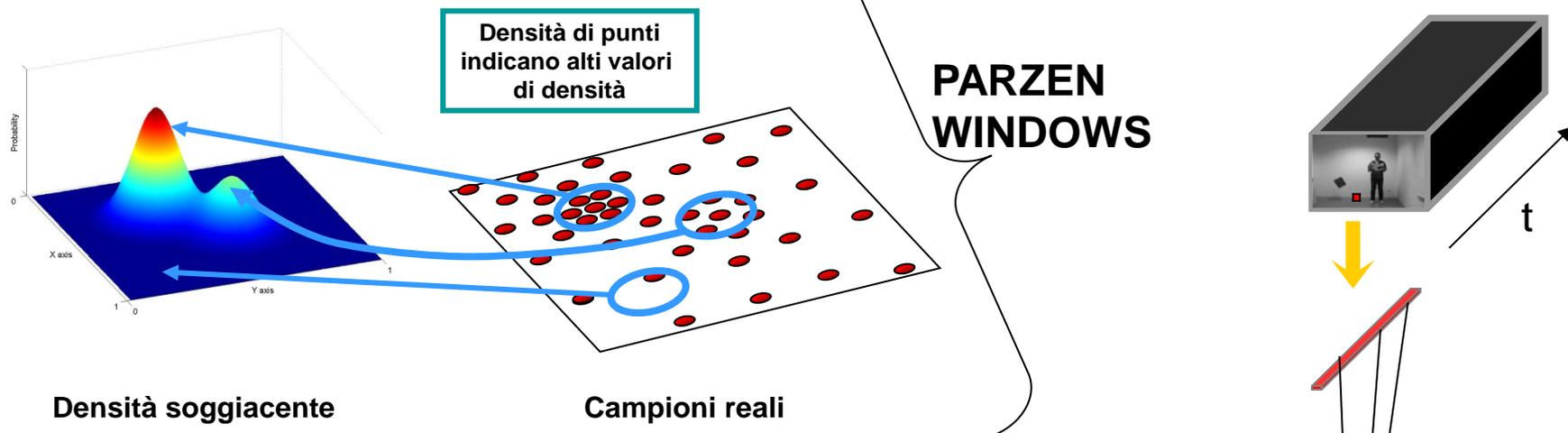
rumore!!!



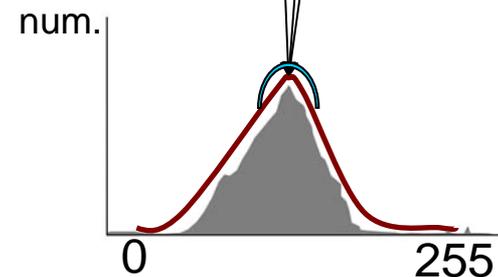
α (troppo) basso



Stimatori non parametrici di BG (stimatori kernel, [Elgammal, Harwood, Davis, 99])



- La distribuzione sui valori di BG per un pixel è data dall'istogramma degli n valori di pixel più recenti
- Ogni valore della pdf
 - viene valutato puntualmente (stima *Parzen Windows*)
 - viene filtrato con una funzione particolare (*kernel*) in modo che la pdf risultante sia smooth



Stimatori non parametrici di BG (stimatori kernel, [Elgammal, Harwood, Davis, 2000])

$$p(z^{(t)}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(z^{(t)} - z_i^{(t)})$$

- K funzione kernel
- If $p(z^{(t)}) > Th$, il pixel z è classificato come BG
 - questo perchè il valore del pixel nel tempo non è cambiato “di molto”
- Gestisce multimodalità, e selettività
- Problema: i requisiti di memoria sono pesanti, ossia

$(n * \text{size}(\text{frame})) * \text{il tempo di calcolo della probabilità}$



Limiti degli approcci per-pixel

- Benchmark
 - Set di sequenze, ognuna delle quali contiene un problema tipico
 - Wallflower sequences



bootstrap



camouflage



foreground



light switch



time of day



moved object



waving tree

Kentaro Toyama, John Krumm, Barry Brumitt, Brian Meyers, "Wallflower: Principles and Practice of Background Maintenance", *Seventh International Conference on Computer Vision*, September 1999, Kerkyra, Greece, pp. 255-261, IEEE Computer Society Press.



moved object

time of day

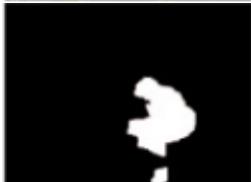
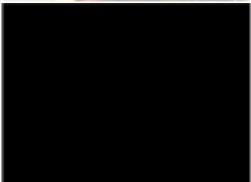
light switch

waving tree

camouflage

bootstrap

GT



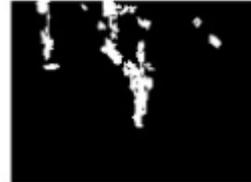
Differenza consecutiva



Media + soglia



Media + std

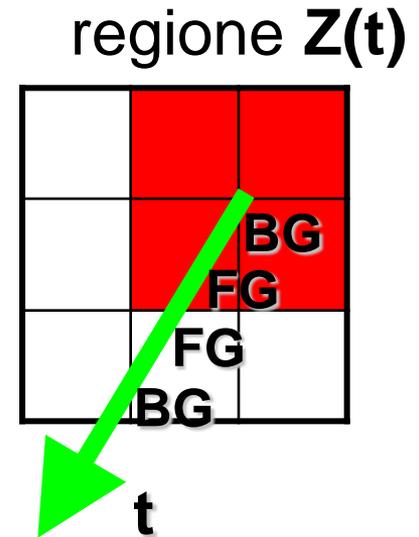


TAPPMOG

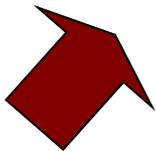


Approcci per regione

- *Patch* di pixel sono classificate come BG o FG via block-matching
 - cross-correlazione normalizzata
 - confronti tra istogrammi locali
 - in genere, ogni regione ha il proprio modello di BG
 - mediana su una coda di patch
- **PRO**: più robusti dei modelli per-pixel
- **CON**: -non precisi spazialmente
-esosi computazionalmente



Approcci per regione

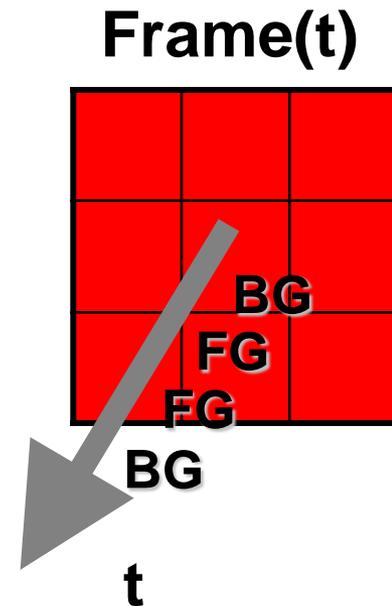


block-matching



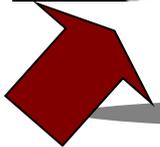
Approcci per frame

- Vengono effettuate elaborazioni sull'intera matrice dei pixel, ed i pixel non sono considerati come processi indipendenti
- in genere, agiscono come supporto per i metodi per pixel o per regione
- vengono applicati per cercare cambi globali della scena che non devono essere identificati come FG – esempio, cambi di illuminazione
- Esempi:
 - Eigenbackgrounds
 - Librerie



Eigenbackgrounds (N. M. Oliver, B. Rosario, and A. P. Pentland, 2000)

- PCA può essere applicato ad una sequenza di n frame per calcolare gli eigenbackground
- Buon funzionamento, comparabile a TAPPMOG



Eigenbackgrounds (N. M. Oliver, B. Rosario, and A. P. Pentland, 2000)

- Gli n frames (meno la loro media) sono organizzati come colonne di una matrice A
- Calcolo la matrice $A'A$ ($M \times M$)
- Estraggo M autovettori $\{\tilde{\mathbf{e}}\}$, li trasformo negli autovettori per la matrice di covarianza AA' mediante $\mathbf{e} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{e}}$ e li organizzo come colonne di una matrice U
- Quando è disponibile una nuova immagine, z , viene prima sottratta della media, ottenendo $\tilde{\mathbf{z}}$, che viene proiettata nello spazio a bassa dimensionalità mediante $\boldsymbol{\omega} = \mathbf{U}'\tilde{\mathbf{z}}$ e ricostruita via $\tilde{\mathbf{g}} = \mathbf{U}\boldsymbol{\omega}$
- Calcolo la differenza $|\tilde{\mathbf{g}} - \tilde{\mathbf{z}}|$: poiché il sottospazio ben rappresenta solo la parte statica della scena (ossia quello che si è visto di più) la differenza sono solo gli oggetti di foreground



Librerie

- Si basano su una fase di bootstrapping [Ohta 2001]
 - si addestra un modello per-pixel ordinario
 - si valuta l'errore globale E su ogni frame
 - se l'errore supera una determinata soglia per più di N frame, seleziono quei frame per addestrare un altro modello
 - Ottengo così M modelli, formanti una libreria di modelli
 - Ad ogni time step costruisco la funzione $E_g(t) := \text{numero globale di pixel di FG}$
 - Valuto $\frac{\partial E_g(t)}{\partial t}$: se è oltre una certa soglia, cambiamento brusco della scena
 - In tal caso, seleziono dalla libreria il modello per cui $E_g(t)$ è minimo



Approcci misti

- Classificano pixel basandosi su valutazioni di regioni locali
- Approcci più in voga
- [Elgammal 2000] - schema

1.

Esegui FG test sul valore di pixel i considerato come segnale indipendente

YES

NO



2.

Controlla nei pixel vicini $\{j\}$ se il valore di pixel i possa essere valutato come valore di BG

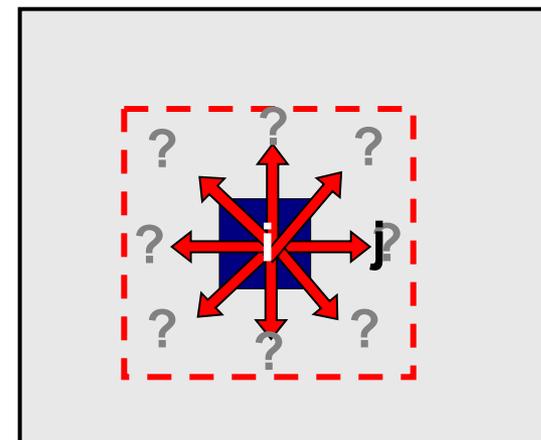
$i = \text{BG}$

YES

NO

$i = \text{BG}$

$i = \text{FG}$



Elgammal - risultati



-Vengono minimizzati i falsi negativi



Spazi colore per la sottrazione del BG

- Il setting più semplice (e veloce computazionalmente) è quello di avere sequenze a livelli di grigio
 - Poco preciso (vedasi mascheramento del FG)
- Considerando input a colori, i risultati, naturalmente, migliorano. Gli spazi colore che si considerano abitualmente sono
 - RGB [Wallflower 2001]
 - RGB normalizzato

$$\tilde{R} = \frac{R}{R + G + B} \quad \tilde{G} = \frac{G}{R + G + B} \quad \tilde{B} = \frac{B}{R + G + B}$$

meno sensibile a leggeri cambi di illuminazione, ma anche meno sensibile alla *lightness*, ossia alla differenza tra bianco-grigio-nero

- HSV utilizzato soprattutto per l'eliminazione delle ombre (a seguire)



Spazi colore per la sottraizione del BG

- Nel caso di RGB e RGB normalizzato ogni canale può essere valutato in maniera indipendente (anche se non è corretto)
 - Dato FG_x il foreground trovato nel canale x , il FG finale è

$$FG = \vee(FG_R, FG_G, FG_B)$$

- Alternativamente, un singolo valore di pixel può essere modellato come unico segnale a covarianza diagonale (anche questa è una semplificazione scorretta teoricamente – c'è dipendenza tra i singoli canali colore – ma funzionalmente vantaggiosa)

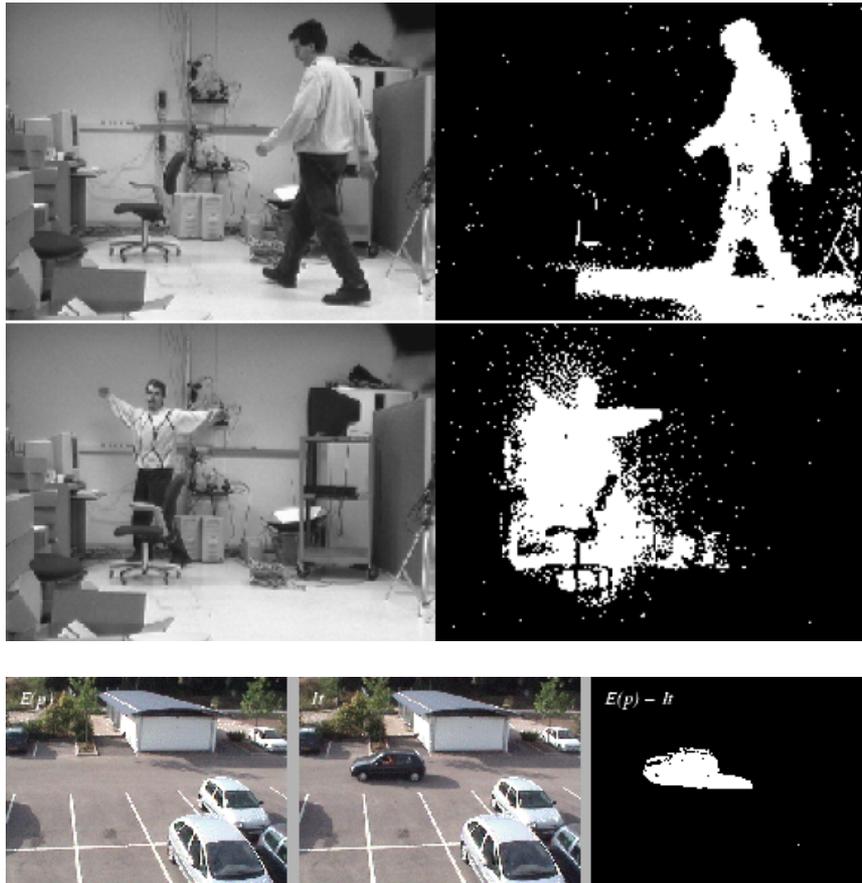
$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_R^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_G^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_B^2 \end{bmatrix}$$



Il problema delle ombre

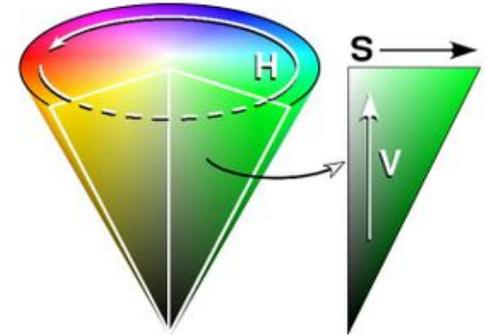
- Problema grave: soprattutto nelle interfacce di HCI è basilare acquisire la forma esatta dell'oggetto in movimento

Esempi:



Il problema delle ombre

- La maggior parte delle soluzioni lavora utilizzando delle soglie sullo spazio colore HSV
- Approccio semplice ma effettivo [Cucchiara 2003]



$$S_i^{(t)} = \begin{cases} 1 & \text{se } \alpha \leq \frac{z_i^{(t)} \cdot V}{b_i^{(t)} \cdot V} \leq \beta \wedge |z_i^{(t)} \cdot S - b_i^{(t)} \cdot S| \\ & \leq \tau_S \wedge D_i^{(t)} \cdot H \leq \tau_H \quad \alpha \in [0,1], \beta \in [0,1] \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

flag di ombra

$$D_i^{(t)} \cdot H = \min \left(\left| z_i^{(t)} \cdot H - b_i^{(t)} \cdot H \right|, 360 - \left| z_i^{(t)} \cdot H - b_i^{(t)} \cdot H \right| \right)$$



Il problema delle ombre



“Retro”-applicazioni

- Motion detection come pre-processing per
 - face detection
 - dopo motion detection → metodi di proiezione
 - face recognition
 - risulta più semplice fare allineamento
 - risultati migliori dell'operazione di masking



Nuove sequenze "difficili" e di test

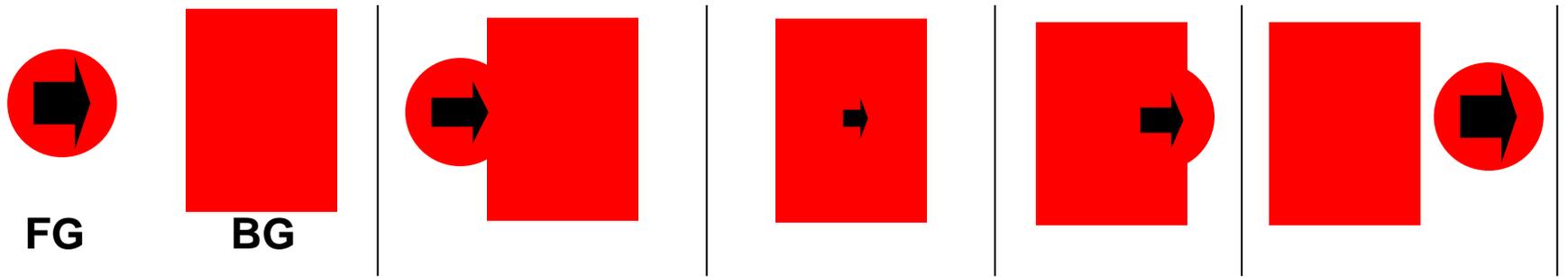
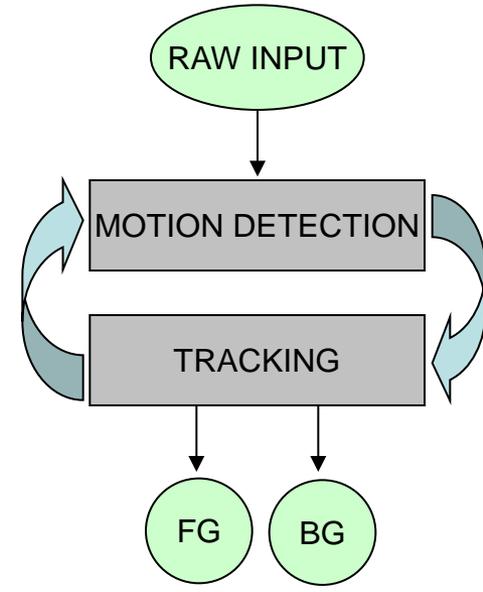


TAPPMOG



Considerazioni finali

- Non può esistere un metodo infallibile di background subtraction
- In un metodo di sottrazione del BG, si modellano la formazione e l'updating di un modello di background, ignorando il FG
- Spesso il FG ha le stesse caratteristiche del BG → problema
- Soluzione: si connettono in feedback approcci per la modellazione del FG → tracking (modellano l'appearance e la dinamica di un oggetto di FG)
- la dinamica è discriminante



(la grandezza della freccia è proporzionale al peso dato alla dinamica nella definizione del FG)

Materiale aggiuntivo

- Review di metodi di sottrazione del BG
 - Piccardi.pdf
- Rimozione delle ombre
 - Cucchiara03detecting.pdf
- TAPPMOG
 - vsam-pami-tracking.pdf

