

AoI
109

Gerardo Iovane

Metodi matematici e tecnologie
informatiche per l'analisi delle
immagini in biometria e sicurezza



Copyright © MMVIII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-1695-4

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: ottobre 2008

*A tutti gli irrequieti di spirito
che ancora non hanno trovato una sedia per la
loro povera ma meravigliosa anima perché si
sentono come viaggiatori senza biglietto*

La realtà è ciò che vediamo, ma quanto sono miopi i nostri occhi visto che ogni volta che crediamo di aver compreso come è realmente la Natura che ci circonda ci accorgiamo che basta cambiare la risoluzione della lente di osservazione per capire che ci sbagliavamo e che la realtà seppure rimanendo meravigliosa è qualcosa di diverso da quello che credevamo fino ad un attimo prima. La Natura con le sue leggi fisiche e matematiche è dipendente dalla risoluzione; pertanto, solo occhi che sapranno guardarla da punti diversi e soprattutto a livelli di risoluzione e di astrazione diversa potranno percepirla nella sua interezza, estrema bellezza ed armonia.

Gerardo IOVANE

Indice

- 11 *Presentazione*
- 13 *Introduzione*
- 17 Capitolo I
Nozioni Fondamentali e Proprietà delle Immagini
- 35 Capitolo II
Elaborazioni e Filtri nel Dominio dello Spazio
- 73 Capitolo III
Morfologia di Pattern nelle Immagini
- 87 Capitolo IV
Analisi dei Segnali nel Dominio del Tempo e della Frequenza
- 107 Capitolo V
Fondamenti della Trasformata Wavelet
- 137 Capitolo VI
Dai Segnali unidimensionali alle Immagini
- 181 Capitolo VII
Introduzione alla Biometria
- 203 Capitolo VIII
Biometria delle Impronte Digitali
- 223 Capitolo IX
Biometria del Volto
- 273 Capitolo X
Metodologie e Tecnologie per l'Image Tracking
- 299 *Bibliografia*

Presentazione

Nello scenario internazionale nei Corsi di Laurea piu' specialistici prima di affrontare il tema dell'Analisi delle Immagini e della Biometria vengono trattati aspetti disciplinari riguardanti la Teoria e l'Analisi dei Segnali. Le due discipline suddette tipicamente vengono affrontate con almeno due moduli distinti il primo riguardante i segnali unidimensionali ed il secondo riguardante i segnali multidimensionali (immagini, etc.). Inoltre, i precedenti corsi sono successivi ad una formazione di base matematica che riguarda l'Analisi Matematica, ovvero lo studio di funzioni reali di una e più variabili, l'Algebra Lineare, nonché la trattazione di temi più avanzati dell'Analisi Matematica, con specifico riferimento all'Analisi Funzionale ed all'Analisi Armonica.

Data l'importanza e la rilevanza applicativa che sta assumendo l'Analisi delle Immagini con specifico riferimento alla Sicurezza ed alla Biometria, nell'Ordinamento Italiano per affrontare con pienezza gli aspetti piu' propri di tale disciplina si richiederebbe un corso di Laurea specialistico ad hoc; invece attualmente tale disciplina viene affrontata solo ad un livello alto, ovvero all'interno di Master o di Dottorati di Ricerca. In attesa, quindi, che tali studi trovino la giusta collocazione all'interno della Scienza e dell'Ingegneria dell'Informazione si rende necessaria la formazione seppure ad un livello base di giovani discenti degli attuali Ordinamenti di Studi.

Per far fronte alle carenze suddette degli Ordinamenti degli Studi il seguente testo si propone di fornire un'introduzione ai temi dell'Analisi dell'Immagine in ambito Security con specifico riferimento alla Biometria. In esso, dopo aver introdotto gli aspetti di base dell'analisi delle immagini nello spazio ordinario, vengono trattati alcuni elementi essenziali della teoria e dell'analisi numerica dei segnali uni- e bi-dimensionali, nonché viene fornita una breve introduzione all'Analisi Funzionale atta ad affrontare solo gli aspetti di specifico interesse relativi all'Analisi di Segnali in Spazi Trasformati (come ad esempio la Trasformata di Fourier o le wavelet). Nella seconda parte del testo, a partire dai risultati presentati relativamente all'analisi delle immagini in spazi ordinari e trasformati, vengono introdotti i temi propri della biometria con specifico riferimento alle impronte digitali, al volto ed al tema del tracciamento.

Il risultato è un testo introduttivo all'analisi dell'immagini in ambito sicurezza autoconsistente che solo raramente rimanda a concetti trattati in altri corsi se non per approfondimenti di interesse da parte del lettore. Pertanto, il testo si rivolge ad un pubblico della laurea di primo o secondo livello, ma anche per la formazione post-laurea mirata ad acquisire elementi introduttivi sull'Analisi delle Immagini in ambito Security con specifico riferimento alla Biometria.

Introduzione

La gran parte delle infrastrutture che presidiano i fondamentali settori delle società moderne, Economia, Energia, Trasporti, Telecomunicazioni, sono dipendenti e interconnesse mediante sistemi di rete che garantiscono il corretto svolgimento della vita della società civile.

Tali reti devono permettere l'operatività della CNI (Critical Network Infrastructure) in normali condizioni di funzionamento, ma anche e soprattutto garantire un'adeguata capacità operativa in caso di eventi critici. Per il loro funzionamento, tali infrastrutture si basano sempre di più su sistemi di telecomunicazione, identificazione e riconoscimento.

Fino ad un decennio fa, ognuna di queste infrastrutture poteva considerarsi come un sistema autonomo sostanzialmente indipendente, gestito da operatori verticalmente integrati. Per una serie di ragioni tale struttura si è profondamente modificata al punto che sempre di più le varie infrastrutture tendono a essere interdipendenti, soprattutto a causa della condivisione del cosiddetto cyberspace, ovvero lo spazio virtuale prodotto dall'interconnessione di calcolatori, sistemi di telecomunicazioni, applicazioni e dati. Ciò comporta che un guasto (di natura accidentale o dolosa) in una di tali infrastrutture può facilmente propagarsi, con un effetto domino, ad altre infrastrutture amplificando i suoi effetti e provocando disfunzioni e malfunzionamenti anche ad utenti remoti, sia dal punto di vista geografico che funzionale, rispetto al punto ove si è verificato il guasto iniziale. Il black-out che ha afflitto buona parte della costa nord-orientale degli Stati Uniti nell'agosto del 2003 è un evidente esempio di come un guasto ad alcuni moduli del sistema informatico di controllo di una società di distribuzione, unito ad altri eventi fortuiti, possa indurre la quasi totale paralisi di tutte le infrastrutture esistenti nell'area provocando danni dell'ordine di miliardi di euro/dollari.

Questo anche in considerazione del fatto che, soprattutto in seguito alla diffusione delle tecnologie proprie della Società dell'Informazione, le Infrastrutture Critiche hanno sviluppato una crescente interdipendenza per cui azioni svolte in un settore possono avere immediate ripercussioni in tutti gli altri. In particolare, eventi naturali o azioni delittuose che colpiscano una CNI comportano una moltiplicazione ed amplificazione degli effetti per cui anche eventi di limitata entità possono produrre un impatto notevole e geograficamente non circoscritto.

L'attuale scenario è caratterizzato, pertanto, sia da accresciute e differenziate minacce nei confronti delle CNI sia da un mutato contesto infrastrutturale che induce, a causa delle interdipendenze esistenti, nuove tipologie di vulnerabilità. Ciò impone una maggiore e diversa attenzione a tutti gli aspetti di protezione, sicurezza e robustezza sia specificatamente per ogni singola CNI, che complessivamente ed unitariamente per l'insieme delle CNI nazionali ed internazionali.

In questo scenario diventa di particolare interesse il contesto dell'analisi delle immagini sia per costruire sistemi di sicurezza di nuova generazione, ovvero intelligenti ed automatici, sia per realizzare meccanismi di identificazione e riconoscimento basati su dati legati al singolo e non trasferibili. La risposta più idonea a questa seconda

richiesta è sicuramente la biometria. Relativamente, invece, al primo punto ovvero al trattamento di immagini per attività di videosorveglianza, bisogna osservare che giorno per giorno sta diventando impossibile una sorveglianza da parte degli operatori, poiché le infrastrutture e le loro aree di pertinenza da monitorare stanno rapidamente aumentando. Si rende quindi evidente la necessità di sviluppare sempre più a livello macchina un'intelligenza hardware/software che permetta al sistema di supervisione di individuare in automatico possibili minacce ed avvertire gli organi di polizia e controllo preposti. In altre parole si rende necessario un cambio di punto di vista, ovvero sarà la macchina ad effettuare un monitoring h24 richiedendo l'intervento umano solo quando si verifica un evento di alert o failure.

L'evoluzione tecnologica dei sistemi di visione e le ricerche sui temi dell'imaging intelligente/automatizzato e della visione artificiale hanno portato la comunità scientifica a studiare e proporre strumenti e tecnologie di analisi dell'immagine in molti ambiti (automazione industriale, recupero artistico, diagnostica medica, trasporti, ...) con buoni risultati.

Tali esperienze propongono l'analisi dell'immagine quale elemento di ottimizzazione dei processi dove l'occhio umano può essere sostituito in modo efficace dalla visione artificiale, migliorando così specifiche azioni, con una relativa ottimizzazione delle risorse umane.

Dopo i tragici accadimenti dell'11 Settembre 2001 a New York, ed i successivi a Madrid e Londra, si è drammaticamente evidenziata la necessità di strumenti di supervisione di aree, profilazione, identificazione e riconoscimento automatico, atti a suggerire decisioni operative e strategie antiterrorismo. Così l'analisi dell'immagine trova la sua massima espressione in sinergia con i sistemi di monitoraggio. La sinergia di tecnologie di imaging e di telecontrollo migliorerà molto l'efficacia, sia decisionale sia gestionale, delle attività di monitoraggio e telesorveglianza.

A questo fine tali sistemi devono coniugare una alta efficacia (= capacità di profilare/identificare correttamente dei soggetti e/o individuare correttamente pattern di interesse nelle scene telesorvegliate), con una adeguata velocità degli algoritmi, tale da consentire una operatività in tempo reale o quasi-reale. Il tutto a costi contenuti per favorirne la indispensabile diffusione.

In conclusione, seppure esistano già tecnologie specifiche, ad esempio in ambito biometrico (l'esempio classico è il riconoscimento delle impronte digitali), in grado di svolgere specifiche funzioni, ad oggi esse non si collocano ancora in architetture integrate capaci di dare una adeguata risposta alle richieste di sicurezza per la Collettività. Allo stato dell'arte, infatti, le tecnologie da impiegare sono molto eterogenee (sistemi di visione, di image processing, di supporto alle decisioni, di telecontrollo) e mai integrate in sistemi real time di costo relativamente basso. Inoltre, le stesse tecnologie e metodologie di imaging risultano essere spesso eterogenee in relazione al tema in studio. Obiettivo, quindi, di questo testo è l'introduzione omogenea ed autoconsistente dei metodi matematici utili al trattamento delle immagini in ambito sicurezza con specifico riferimento alle tecnologie abilitanti all'identificazione ed al riconoscimento basate su metodiche biometric oriented.

Capitolo I

Nozioni Fondamentali e Proprietà delle Immagini

1.1 Funzione Immagine

Un'immagine rappresenta una riproduzione bidimensionale di una scena reale, ottenuta raccogliendo l'energia irradiata o riflessa dagli oggetti presenti nella scena stessa. In prima approssimazione, essa può essere rappresentata, analiticamente da una funzione di due variabili, $f : A \subset N \times N \rightarrow B \subset R$, non negativa, definita in un sottoinsieme compatto di N^2 , detto piano dell'immagine ed avente codominio limitato, dove N è l'insieme dei numeri naturali ed R l'insieme dei numeri reali. Il valore assunto dalla funzione f , in relazione alle coppia di coordinate (x,y) , $z = f(x,y)$ fornisce l'intensità luminosa dell'immagine in quel punto.

La funzione $f(x,y)$ generalmente si esprime come il prodotto di due sue componenti, la componente d'illuminazione $i(x,y)$, che definisce la quantità di luce, che dalla sorgente incide sulla scena vista e la componente di riflessione $r(x,y)$, che definisce la quantità di luce riflessa dagli oggetti presenti nella scena stessa

$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y), \quad (1.1)$$

dove $0 < i(x,y) < +\infty$ e $0 < r(x,y) < 1$. La componente di riflessione è pari a zero quando si ha un totale assorbimento della luce, mentre è pari ad uno quando la luce è completamente riflessa.

Spesso in letteratura al posto dell'espressione $z = f(x,y)$ si trova la sua rappresentazione matriciale $z_{ij} = f(x_i, y_j)$, $\forall i = 1, \dots, h$ e $\forall j = 1, \dots, k$, che rappresenta un'immagine di dimensioni $k \times h$, dove z_{ij} rappresenta la tonalità di grigio o di colore dell'immagine. La coppia ordinata (x_i, y_j) individua univocamente la cella elementare dell'immagine detta *pixel* o *pel* (picture element).

In tal modo, l'immagine ottenuta è un insieme di pixel di coordinate (x_i, y_j) , al variare di i e j ;

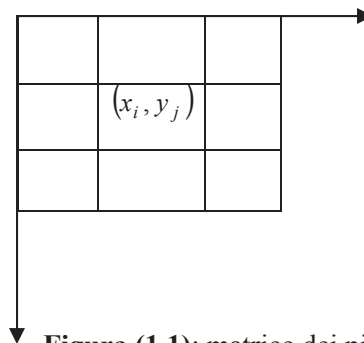


Figura (1.1): matrice dei pixel.

per convenzione il verso positivo con cui vengono definiti i pixel dell'immagine è quello indicato in figura, infatti il pixel d'origine è posto in alto a sinistra.

In generale, la luminosità di un pixel è in relazione al suo intorno; si dice che un pixel è legato ad un altro quando, indipendentemente dal fatto che sia confinante o meno con esso, il valore di luminosità in esso contenuto influisce sull'analisi dei pixel, appartenenti al suo intorno:

$$x_{ij} R x_{st} \Leftrightarrow x_{st} \in I_{ij} \cap I_{st}.$$

Per analizzare i pixel di bordo in relazione al loro intorno, bisogna costruire un contorno sintetico: definito il pixel di bordo da analizzare, si costruisce intorno ad esso un kernel di convoluzione, che può, ad esempio essere una matrice 3×3 , realizzata in modo che il pixel di interesse sia sempre al suo centro.

Per far ciò si utilizza una delle tecniche seguenti:

1. La tecnica *zero padding*: aggiunge degli zeri nei pixel di contorno. Ad esempio se il pixel d'interesse è quello con il valore 10 al suo interno, allora si ottiene:

0	0	0	
0	10	11	
0	12	13	

2. La tecnica *fixed value padding*: attribuisce ai pixel di contorno il valore del pixel considerato.

10	10	10	
10	10	11	
10	12	13	

3. La tecnica *diagonal symmetric padding*: attribuisce al pixel corrente il valore del pixel speculare rispetto a quello di bordo.

13	12	10	
11	10	11	
10	12	13	

1.2 Proprietà e Classificazione delle Immagini

Le tre proprietà caratteristiche di un'immagine sono le seguenti:

1. *La risoluzione spaziale*, che rappresenta il minimo numero di righe e di colonne della matrice che definisce l'immagine discreta; ad esempio un'immagine a k righe e h colonne avrà una risoluzione $k \times h$.
2. *La definizione di un'immagine* che rappresenta l'insieme Z dei valori che può assumere la tonalità z_{ij} .

La definizione di un'immagine, ossia la cardinalità dell'insieme Z dipende dalla profondità di bit dell'immagine, vale a dire dal numero di bit utilizzati per codificare il valore del pixel; per cui se un'immagine ha profondità di bit pari a n la sua definizione sarà 2^n , essendo $|Z| = 2^n$. Ad esempio la definizione di un'immagine a profondità di bit pari ad 8 è $2^8 = 256$, questo significa che ciascun pixel potrà assumere 256 tonalità differenti, comprese tra 0 e 255.

3. *Numero di piani*, che rappresenta il numero delle componenti dell'array, che definisce la tonalità o il colore dei pixel. Un'immagine in scala di grigio ha solo un piano, mentre un'immagine a colori ha 3 piani.

Appare quindi chiaro, che tali proprietà sono caratteristiche del tipo di immagine considerata; in effetti le immagini possono essere classificate in tre diverse categorie.

Immagine in scala di grigio.

Un'immagine in scala di grigio ha un numero di piani pari ad uno, vale a dire che ogni pixel è codificato utilizzando soltanto un numero; tale numero può essere un intero positivo, un intero negativo o addirittura un numero decimale, così come illustrato nella Tabella (1.1).

Immagine a colori

Un'immagine a colori ha un numero di piani pari a tre e può essere codificata come RGB (Red, Green, Blue) oppure come HSL (Hue, Saturation, Luminance); in modo tale da associare ad ogni pixel 4 valori:

il primo, corrispondente all'*alfa value* (indica un valore di formattazione), i tre rimanenti valori corrispondenti ad R, G, B per immagini RGB, indicano la tonalità di rosso, di verde e di blu presente in quel particolare pixel dell'immagine; la composizione tra il piano R, G, e B definisce il colore del pixel. Per immagini HSL, invece, i rimanenti tre valori corrispondenti ad H, S, L indicano rispettivamente la tonalità, il livello di saturazione del colore e la luminosità.

La Tabella (1.2) illustra graficamente quanto detto.