



Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISTITUTO DI ELABORAZIONE DELLA INFORMAZIONE
PISA

Pubblicazione n. A 73-11

M. AIELLO - C. LAMI - A. MARTELLI - U. MONTANARI

TEORIA ED APPLICAZIONI NELL'ELABORAZIONE DI IMMAGINI

Estratto da: Atti del Convegno UMI su « Rapporti tra ricerca matematica pura e ricerca matematica applicata » (Siena, settembre, 1973).

TEORIA ED APPLICAZIONI NELL'ELABORAZIONE DI IMMAGINI

M. Aiello, C. Lami, A. Martelli, U. Montanari

TEORIA ED APPLICAZIONI NELL'ELABORAZIONE DI IMMAGINI

M. Aiello, C. Lami, A. Martelli, U. Montanari

1. Introduzione

Nel campo della elaborazione di immagini è particolarmente importante disporre di un insieme coordinato di apparecchiature e di sistemi programmatici e di un repertorio di concetti astratti che soddisfino le molteplici necessità presenti nello studio di tali classi di problemi. In questa memoria descriviamo brevemente l'apparecchiatura per la digitalizzazione di immagini di tipo flying spot progettata e realizzata presso l'I.E.I.. Seguirà quindi una descrizione di massima del package interattivo di subroutines di utilità in corso di sviluppo. Come esempio di un grosso programma di riconoscimento di immagini verrà quindi presentato un programma per l'analisi automatica di cromosomi di grani recentemente portato a termine. Infine, tra i vari metodi di elaborazione sviluppati, verrà presentato quello basato sull'ottimizzazione di una cifra di merito, che permette un rapido adeguamento del programma a diverse caratteristiche dei dati di ingresso.

2. Il sistema flying spot SADAF

Il flying spot SADAF sviluppato presso l'I.E.I. consiste di un tubo catodico fornito di un fosforo a bassa persistenza. La posizione del pennello elettronico è comandata da un calcolatore mediante un convertitore digitale analogico. L'immagine dello schermo è quindi focalizzata da un sistema ottico su una diapositiva da esaminare: in questo modo resta illuminato soltanto il punto desiderato della diapositiva. Oltre alla diapositiva è sistemato un tubo fotomoltiplicatore per amplificare il segnale luminoso ottenuto e, al solito un convertitore analogico digitale [1]

L'apparecchiatura è controllata da un minicomputer PDP8/I con 8k parole da 12 bit. Il tubo catodico ed il convertitore DA sono incorporati in un display DEC il quale permette l'indirizzamento di 1024x1024 punti dello schermo. Le caratteristiche di focalizzazione del pennello elettronico sono però tali che soltanto 512 punti non sono sovrapposti. Una volta dato l'ordine di posizionamento del punto luminoso bisogna attendere un tempo di circa 40 μ sec prima di effettuare la lettura. Ciò è dovuto sia alla banda passante limitata degli amplificatori di deflessione sia alla persistenza del fosforo. Nel frattempo il calcolatore può procedere ad operazioni di controllo della scansione o a semplici elaborazioni dei valori già letti (circa 12 istruzioni macchina sono eseguibili in 40 μ sec). Ciò significa che la scansione completa di tutti i punti dell'immagine richiede meno di un minuto.

Il sistema ottico è fornito di un "canale di compensazione", cioè l'immagine dello schermo è duplicata mediante uno specchio semitrasparente. Le due immagini passano attraverso apparecchiature identiche, salvo che una di esse incontra la diapositiva. Anche i foto moltiplicatori e i convertitori AD dei due canali sono gemelli. In questo modo, prendendo la differenza dei due segnali si riescono a compensare le disomogeneità del fosforo, e, in generale, le variazioni di luminosità del tubo catodico. Per ora l'unico formato di diapositive leggibile è di 24x36 mm., ma l'avanzamento della pellicola è automatico.

I convertitori AD forniscono per ogni punto 6 bits, ma il valore del rapporto segnale-rumore suggerisce che soltanto 5 bits sono significativi: quindi si possono leggere 32 livelli di grigio.

Un pregio fondamentale del lettore di tipo flying spot è quello di potere effettuare la lettura dei punti in un ordine qualsiasi e non soltanto in un ordine predeterminato come ad esempio per una scansione di tipo televisivo. Tuttavia, non essendo per ora disponibile un collegamento tra il PDP8 e un calcolatore di maggiori dimensioni, il normale modo di operare è quello di far uscire l'intera immagine digitalizzata su un nastro magnetico compatibile. Per un tale caso [2] è in corso di sviluppo un programma monitor che permette di specificare in modo interattivo la posi-

ione, dimensione e definizione della matrice che deve essere letta, un semplice preprocessing e l'organo da utilizzare per l'uscita. Questo, oltre al nastro magnetico, può essere uno schermo video o una stampante veloce, in grado di riprodurre l'immagine mediante una matrice compensata di caratteri sovrapposti. Saranno inoltre disponibili una serie di sottoprogrammi ausiliari in grado ad esempio di calcolare l'istogramma dell'immagine letta o di suggerire possibili valori dei parametri dell'amplificatore differenziale che permettono di fissare la dinamica dell'immagine.

c) Un programma per il riconoscimento di cromosomi di grani.

L'analisi dei cromosomi è una tecnica molto potente in genetica dato che molte importanti sindromi ed aberrazioni sono correlate ad irregolarità del cariotipo. Il lavoro qui descritto [3,4] si riferisce all'analisi di cromosomi di grani⁽⁺⁾. In tal caso lo scopo è quello di esaminare gli effetti delle radiazioni per isolare mutazioni utili. Le cellule sono osservate ad uno stadio precoce della fase mitotica così che i cromosomi appaiono come bastoncini senza il caratteristico aspetto bipartito. Le metafasi vengono fotografate e digitalizzate usando il flying spot descritto precedentemente. L'elaborazione consiste delle seguenti fasi:

a) Preprocessing e prima segmentazione. L'immagine è qui scandita in sequenza e quando si trova un valore maggiore di una data soglia l'inseguitore di contorni tenta di isolare l'oggetto corrispondente. A questo vengono operati una serie di test che tendono a rifiutare macchie e impurità e a identificare cromosomi o gruppi di cromosomi contigui.

b) Separazione dei cromosomi contigui. Essa avviene mediante un semplice algoritmo che innalza il valore di soglia di cui sopra finchè l'oggetto non si spezza.

⁽⁺⁾ Questo lavoro procede in collaborazione con l'Istituto di Genetica della Facoltà di Agraria dell'Università di Pisa.

c) Misura. Qui si distingue tra cromosomi diritti e piegati. Per i primi viene calcolato l'asse principale di inerzia e su di esso si proiettano i livelli di grigio. Per i secondi viene calcolata una speciale linea di simmetria rispetto alla quale si calcolano tutti i parametri. Infatti per ogni cromosoma vengono qui calcolate alcune decine di parametri fra i quali una subroutine definita dall'utente identifica i più significativi.

d) Accoppiamento ottimo. I parametri (siano n) scelti dall'utente vengono considerati caratteristici del cromosoma e definiscono un punto in uno spazio a n dimensioni. Mediante un algoritmo di ricerca euristica guidata che tuttavia fornisce il risultato esatto, tali punti vengono accoppiati in modo tale da minimizzare la somma delle distanze tra tutte le coppie.

e) Stampa. I cromosomi vengono stampati a caratteri sovrapposti secondo l'accoppiamento così calcolato fornendo il cariotipo desiderato. Prima della stampa i cromosomi vengono ruotati e ravvicinati in modo da fornire un risultato grafico molto simile a quello cui il citologo è abituato.

4) Metodi di ottimizzazione nell'elaborazione di immagini.

Nella elaborazione di immagini è, in generale, conveniente sviluppare procedure "ad hoc" per una certa applicazione, perchè ciò permette di ottenere programmi efficienti. Sfortunatamente, la parte euristica della procedura è spesso dispersa nell'intero algoritmo in modo che piccoli cambiamenti possono portare a notevoli sforzi di riprogrammazione. I metodi di ottimizzazione [5], invece, concentrano l'euristica del problema nella determinazione di una figura di merito: una soluzione ottima sarà poi ottenibile usando normali metodi di ottimizzazione. In questo caso, un cambiamento del problema influenzerà solo la figura di merito.

In [6] è stato presentato un metodo di ottimizzazione per il riconoscimento di curve in figure contenenti rumore. Sono state considerate varie classi di figure di merito, per tenere conto di varie caratteristiche delle curve cercate, e il problema di ottimizzazione è stato risolto usando la programmazione dinamica. Poichè la figura di merito descrive proprietà globali delle curve, è possibile riconoscere le curve in figure molto rumorose, -per le quali non potrebbero

sono utilizzati metodi locali. I risultati ottenuti sono molto soddisfacenti; infatti è possibile estrarre dalla figura, con questo metodo, delle curve che non sono riconoscibili dall'occhio.

Oltre che per ottenere linee, questi metodi sono stati usati anche, con buoni risultati, per casi bidimensionali. In [7] è descritta una applicazione alle "smoothing" di figure. Le caratteristiche di una figura "smooth" sono tradotte in una funzione costo globale: la minimizzazione di questa funzione dà lo "smoothing" ottimo. Poiché la minimizzazione con la programmazione dinamica sarebbe risultata troppo inefficiente, è stata utilizzata una tecnica approssimata per trovare una soluzione.

La risoluzione di un problema di ottimizzazione con la programmazione dinamica può richiedere tempi di calcolo elevati, perciò può essere più conveniente usare altre tecniche di soluzione. In [8] e [9] sono stati usati metodi euristici di ricerca per il riconoscimento di contorni di oggetti in figure contenenti rumore. L'uso di metodi euristici permette di ottenere una soluzione "buona" con tempi di calcolo soddisfacenti ed inoltre il tempo di calcolo è dipendente dalla quantità di rumore presente nella figura.

Recentemente, alcuni gruppi di ricerca negli Stati Uniti hanno usato tecniche di ottimizzazione. Per esempio, in [10] è descritta una applicazione al riconoscimento di facce umane e scene di terreni e in [11] è presentato un metodo per l'estrazione da radiografie di contorni di cancro al polmone.

Bibliografia

- [1] Azzarelli L. and Panicucci R., Descrizione del Sistema S.A.D.A.F. per la Lettura e Digitalizzazione di Fotogrammi IEI, Nota Tecnica C72-2.
- [2] Carlesi, C., and Montanari U., Manuale d'uso dei Programmi di Utilità del Sistema S.A.D.A.F. per la Lettura e Digitalizzazione di Fotogrammi, I.E.I. in preparation.
- [3] Aiello M., Lami C., Montanari U., A System for Computer Measurement and Karyotyping of Wheat Metaphases, IEI, Nota Interna B72-20, accepted at the 1st International Joint Conference on Pattern Recognition, Washington, October 1973.
- [4] Aiello M., Lami C., and Montanari U., Documentation of Package CHROMO for the Automatic Analysis and Karyotyping of Wheat Chromosomes, IEI Nota Tecnica C72-8, Dec. 1972.

- [5] Montanari U., Optimization Methods in Image Processing, Invited Paper at IFIP '74, Stoccolma, Agosto, 1974.
- [6] Montanari U., On the Optimal Detection of Curves in Noisy Pictures, Communications of the ACM, 14, 1971, pag. 335-345.
- [7] Martelli A., e Montanari U., Optimal Smoothing in Picture Processing; An Application to Fingerprints, IFIP Congress 1971, Lubiana, Agosto 1971, TA-2, pag. 86-90.
- [8] Martelli A., Edge Detection Using Heuristic Search Methods, Computer Graphics and Image Processing, 1, N.2, Agosto 1972, pag: 169-182
- [9] Martelli A., Contour Detection in Noisy Pictures Using Heuristic Search Methods, da presentare a International Joint Conference on Pattern Recognition, ottobre 1973, Washington.
- [10] Fischer M.A. e Elschläger R.A., The Representation and Matching of Pictorial Structures, IEEE Trans. on Computers, C-22, Gennaio 1973.67-92.
- [11] Sklansky J., Nadler M. e Ballard D., Computer-Aided Analysis of Radiographs, University of California, Irvine.