

TRACTAMENT DIGITAL D'IMATGES AMB SISTEMES INFORMÀTICS CONVENCIONALS

Lluís Colomer i Alberich
Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Barcelona
Barcelona (Espanya)

RESUM

Els sistemes més adequats pel tractament digital d'imatges utilitzen facilitats de procés interactiu i de representació sobre perifèria especialitzada. Amb sistemes informàtics convencionals es presenten fortes limitacions a l'hora d'implementar facilitats equivalents. Això afecta en certa mida al tipus de software a fer servir, i a l'ús dels arxius i dels dispositius sobre els que es fa la representació. Una primera aproximació fent servir una impressora de caràcters presenta moltes deficiències de qualitat, una millor solució és l'ús d'una impressora de punts (dot printer/plotter). Es presenten com exemples, imatges obtingudes (després de processos de millorament del contrast) amb les correccions que es discuteixen en el text. Es fan també consideracions sobre l'emmagatzemament de les dades i sobre l'estructura del software del sistema.

INTRODUCCIÓ

La tecnologia moderna fa servir com a eina normal tot tipus d'imatges que són fonts d'informació per a la interpretació i l'anàlisi. Tant poden ésser imatges de trossos de la superfície de la terra, amb dades obtingudes amb radiòmetres multispectrals situats sobre satèl·lits o avions, com la composició interna d'estructures metàl·liques o orgàniques vistes amb raigs X, o cromosomes vistos amb microscopi (fig. 1). Per a satisfer aquestes demandes s'han desenvolupat tècniques i sistemes de Processament d'Imatge tant en l'aspecte de "hardware" especialitzat com del "software" que s'hi aplica.

La gran quantitat de dades a tractar (fins a 30×10^6 bytes segons els casos) és un important problema a tenir en compte a l'hora d'escollir tant els mètodes numèrics (algorismes) com les tècniques estrictament informàtiques - adients: forma d'emmagatzemament, estructuració de resultats intermitjos, organització dels programes que implementin el sistema de procés d'imatge, etc.

Per altra part, els dispositius de representació dels resultats obtinguts (en el nostre cas, imatges) acostumen a ésser de tipus interactiu: monitors de televisió d'ultra resolució en color o blanc i negre, governats per un sistema especialitzat de generació d'imatge basat en microprocessadors, per a la visualització ràpida dels resultats i per a la selecció, si cal, de noves imatges o paràmetres dels programes de tractament. Sortides ja definitives s'acostumen a fer sobre pel·lícula. Si manquen aquests sistemes especialitzats, s'usen mètodes alternatius per a la representació: impressores de caràcters i impressores de punts. L'ús d'aquests darrers sistemes planteja dos tipus de problemes: generació de tonalitats de gris i correcció i ajust de la distorsió i escala, respectivament.

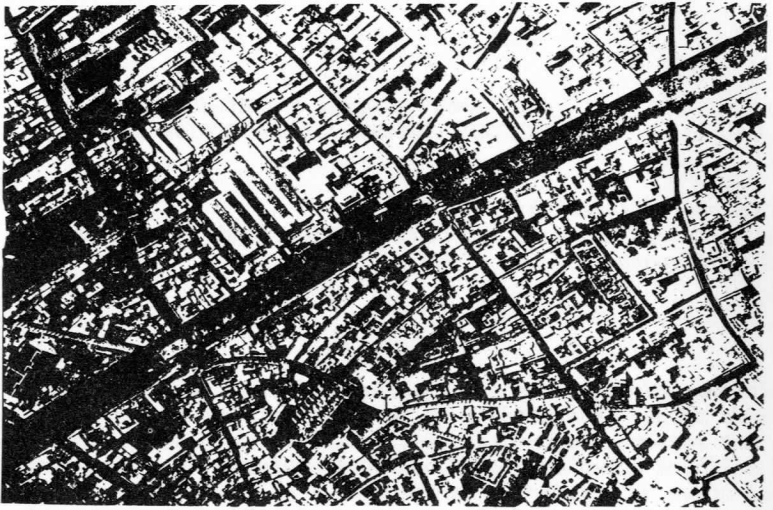


Fig.1 Fotografia aèria de Barcelona un cop digitalitzada i reproduïda amb una impressora de punts. La zona comprèn les Rambles i part del casc antic.

Aquesta comunicació recull les experiències obtingudes en la implantació - d'un sistema de procés digital d'imatge amb sistemes informàtics no especialitzats, realitzat al Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Barcelona

EMMAGATZEMAMENT DE LES DADES

Dades d'entrada

Les dades que s'obtenen d'una mateixa escena amb diferents sensors preparats per rebre radiació electromagnètica emessa per l'objecte (per exemple imatges fotogràfiques obtingudes amb diferents filtres) formen una imatge multispectral. És a dir, pot considerar-se que es tenen tantes imatges -- d'una mateixa zona o objecte com canals hi hagin. Els senyals analògics obtinguts, un cop digitalitzats, constitueixen imatges digitals. Els nivells de quantització de les intensitats recollides es codifiquen amb tants bits com calguin, segons el nombre de nivells a codificar. Vuit bits (un byte) codificant 256 nivells d'intensitat és una unitat normalment utilitzada; cada valor d'aquests vuit bits representa la intensitat d'un element de la imatge ("pixel").

S'acostuma a empaquetar més d'un byte en una paraula; això economitza espai a canvi d'haver de desempaquetar cada byte sobre una paraula per a po-

der fer-hi el tractament.

Si considerem una multi-imatge digital com una matriu de "pixels" de I files per J columnes i K canals i admetem que normalment no ens cabrà en memòria, llavors s'ens presenta el problema d'emmagatzemar-la de forma que l'accés a elements de la matriu sigui el més eficient possible.

Per a representar un canal de la multi-imatge, el procés és tan senzill -- com recórrer la matriu per files: la forma òptima d'emmagatzemament és fer-ho a base d'arxius de I registres de J bytes ("pixel") cada un. Cada arxIU representa la imatge del canal K -èssim. Aquest és el format "fotografia", que a més ens és útil per a fer processos sobre les dades d'un canal: fil tres digitals, millorament de contrast, reconeixement i ravelament de con torns, etc.

Altres tipus de tractament es fa amb les dades de més d'un canal a l'hora. Es requereix que l'accés a un mateix element (pixel) definit per les seves coordenades i, j es faci per a cada canal simultàniament; és a dir, es vol accedir a un vector

$$x_{i,j} = (x_{i,j,1}, x_{i,j,2}, \dots, x_{i,j,K})$$

Interessa que la imatge estigui emmagatzemada de la forma:

$$x_{1,1,1}, x_{1,1,2}, \dots, x_{1,1,K}, x_{1,2,1}, \dots, x_{1,2,K}, \dots, x_{I,J,K}, \dots, x_{I,J,K}$$

és a dir, cada línia (canvi en l'índex i) forma un registre. Aquest és el format "correspondència de punts".

Una forma més versàtil és:

$$x_{i,1,1}, \dots, x_{i,J,1}$$

en cada registre: línia i del canal 1 seguida de la línia i del canal 2, - etc.

Altres tècniques s'apliquen a imatges en que apreixen solament els contorns dels objectes dibuixats (Scollar, 1977). En aquest cas cada element de la imatge (pixel) només té els valors 1 ó 0. Podrà per tant codificar-se la imatge a nivell del bit, obtenint-se un nivell de compactació de 8. Un refinament a base de codificar la distància (en pixels) des del primer canvi blanc/negre al proper, dona una posterior compressió de dades.

Dades intermitges

La gran quantitat de dades que es tracten obliga a dividir lògicament el programa tant en funcions com en fitxers intermitjos. Un exemple pot il·lustrar-ho:

La sortida d'un cert algorisme és una imatge que ens interessa representar per veure els resultats. La tria adequada dels intervals d'intensitat de la nova imatge que s'assignen als nivells de gris que generarem sobre impressora pot fer-se automàticament (mètode d'equalització de l'histograma) o bé es pot fer triant els intervals manualment. La primera separació lògica és a nivell de la funció: primer l'algorisme i després la representació.

Aquesta separació permet el que si es guarda un arxiu amb la imatge a la sortida de l'algorisme es puguin fer tantes imatges com es vulgui, amb diferent tria d'interval·ls d'intensitat, fins que trobem la que millor ressalti el que volem veure.

MÈTODES DE REPRESENTACIÓ

El "hardware" més adequat és el que combina la representació d'imatges sobre monitors de televisió d'ultra resolució (blanc i negre o color) amb possibilitats d'interacció amb la imatge via un cursor que es mou sobre la pantalla manat per un "joystick". Les possibilitats esmentades, juntament amb la de canviar un sol "pixel" sense modificar els altres, i la de barrejar diversos colors i les seves intensitats, donen una versatilitat molt adequada per a aquests tipus d'aplicacions on s'està constantment provant nous algorismes o nous paràmetres d'algorismes coneguts i veient-se els resultats.

Les alternatives són les impressores de caràcters i de punts. Estudiarem els dos tipus seguint els punts:

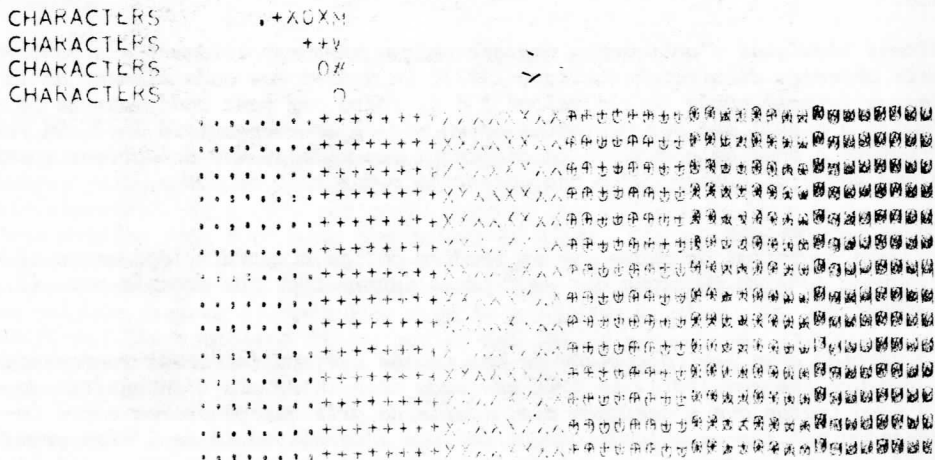
- Generació de nivells de gris
- Distorsió i modificació de l'escala
- Proximitat de l'espaiat d'impressió
- Efectes de la textura degudes a la combinació de caràcters

Generació de nivells de gris

a) Impressora de caràcters: S'escullen caràcters que tinguin certa simetria rotacional (Handerson, 1974) per evitar l'efecte de textura que apareix fent servir caràcters direccionals. Apropisats semblen:

O X + * # i també H M W Z N S

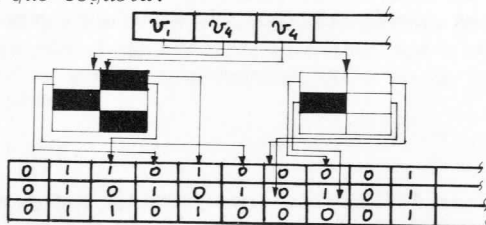
Combinant aquests caràcters amb multi-impressió, s'aconsegueixen els de situats nivells de gris. (fig. 2).



b) Impressora de punts: Diferencien de les de caràcters en que els tipus representats es construeixen mitjançant una matriu de punts ("dots") adreçables per programa. La generació de grisos es fa de la següent forma: A cada "pixel", segons el seu valor, s'assigna una particular configuració de "dots" en forma de matriu:



segons l'esquema que segueix:



Una imatge generada segons aquesta tècnica és (fig. 3).

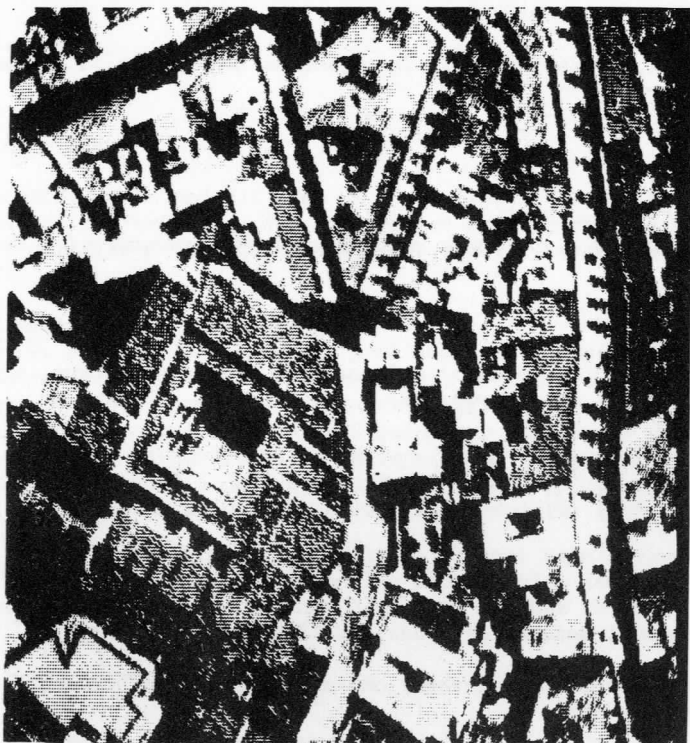


Fig.3 Noti's l'efecte de la matriu de punts: textura i deformació.

Altres mètodes més aprofundits (Gard, 1976; Jarvis, 1976) permeten millorar el nombre de nivells de grisos que es pot aconseguir.

Com es pot deduir, la manipulació és a nivell de bit: cada "dot" que s'imprimeix especifica un bit de valor 1.

Distorsió i modificació de l'escala

En utilitzar les impressores de caràcters i de punts per fer la representació, s'ha de tenir present l'efecte que les diferències en la separació de caràcters o punts en els sentits horitzontal i vertical produeixen en la imatge. La distorsió produïda s'ha de compensar per a obtenir imatges "quadrades". Si d_x és la densitat de punts en sentit horitzontal i si d_y és la densitat de punts en sentit vertical, la matriu de compensació serà de la forma:

$$M_D = \begin{bmatrix} d_x/d_y & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Noti's que la aplicació d'aquesta transformació pot fer eliminar o afegir punts a la imatge original. Si la raó d_x/d_y és més petita que 1, s'hauran d'eliminar punts en el sentit horitzontal, però també es pot triar d'afegir-ne en el sentit vertical.

Per altra part, l'ajust del dibuix a escales donades es fa amb una matriu de transformació:

$$M_E = \begin{bmatrix} a_s & 0 \\ 0 & a_s \end{bmatrix}$$

Llavors, la matriu a aplicar a cada parell de coordenades i, j del dibuix és:

$$M = M_D \times M_E$$

Les coordenades (fila, columna) del nou punt s'obtenen, doncs, aplicant la matriu M al parell (i, j) original:

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix}$$

En cas d'afegir línies (sentit vertical) s'utilitza la regla de repetir el punt veí més proper a la posició del nou punt a generar com a mètode pràctic d'interpolació. Aquesta correcció modifica lleugerament l'esquema del paràgraf en que tractavem de l'assignació de tons de grisos.

a) per a impressora de caràcters, amb $d_x=10$ caràcters/polzada i $d_y=8$ caràcters per polzada:

$$M_D = \begin{bmatrix} 1.25 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} ; \quad M = \begin{bmatrix} 1.25 a_s & 0 \\ 0 & a_s \end{bmatrix}$$

Per exemple, per a escenes obtingudes amb els sensors del satèl·lit -- Landsat, l'escala que s'obté amb una impressora de les característiques abans esmentades és de 1:25.200. El terme a_s ha de valdre, doncs, 0.992 per a generar imatges a escala 1:25.000.

- b) Impressora de punts, amb $d_x = 60$ dots/polzada i $d_y = 72$ dots/polzada. Amb aquestes dades obtenim:

$$M_D = \begin{bmatrix} 0.833 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Noti's a més que l'ús de la matriu de generació de grisos introdueix -- una distorsió addicional de raó 2:3, que dona com a resultat un aixafament de la imatge en sentit horitzontal. Si s'ha de conservar la quadratura s'ha de resoldre:

$$d_x/d_y = 2a/3b = 0.833$$

fixant $b=1$, llavors $a=1.25$

La matriu que ens compensi les dues distorsions és:

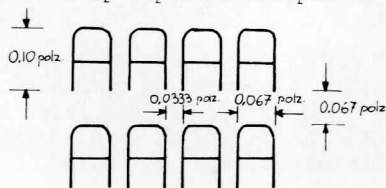
$$M_D = \begin{bmatrix} 1.25 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$i \quad M = M_D \times M_S$$

Noti's també que la raó 2:3 dona un coeficient 0.666 que no arriba a -- compensar el coeficient d_x/d_y . El resultat d'haver multiplicat la coordenada i per 1.25 s'implementa a base de repetir un dot cada quatre. -- (fig. 4).

Proximitat de l'espaiat d'impressió

Es evident (P. Hamill, 1977) que els problemes que apareixen amb una impressora de caràcters ve de la seva mecànica: està dissenyada per a imprimir de forma llegible caràcters alfanumèrics. Els requeriments per a una generació d'imatges amb tons de grisos queda per tant lluny del seu propòsit. Una impressora de caràcters té un espaiat de 10 caràcters per polzada en el sentit horitzontal i de 6 ó 8 caràcters per polzada en sentit vertical, sense cap tipus de solapament entre els caràcters:



La nostra impressora de punts té una densitat de 60 punts per polzada en sentit horitzontal i de 72 punts per polzada en el sentit vertical. El diàmetre de cada dot és de 0.020 polzades. Això millora considerablement els problemes de la textura inter-caràcter i del gris que s'aconsegueix ja que

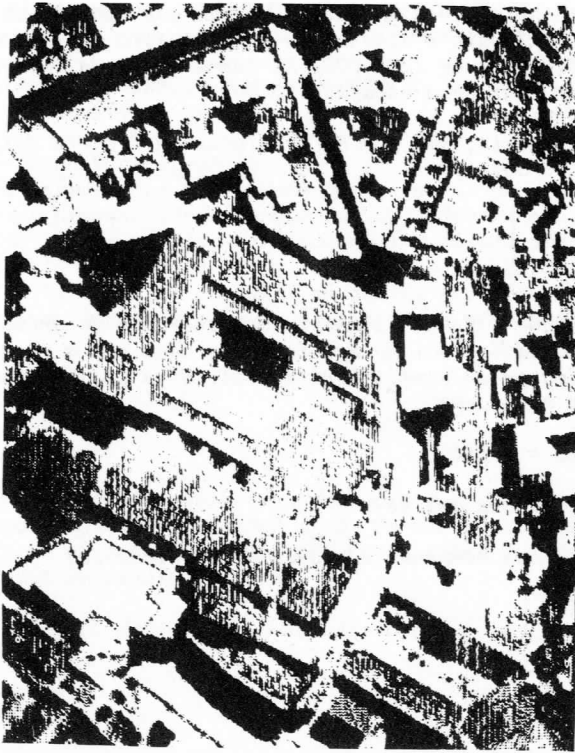


Fig.4 La imatge de la fig.3 corregides les deformacions. Noti's un augment de la textura i una pèrdua de contrast.

hi ha solapament (0.004 polzades entre dos centres de dot) entre els dots; s'aconsegueix d'obtenir el negre.

Efectes de textura

La geometria de la figura anterior demostra com, per una part, s'introdueix una textura d'espaiat vertical de 0.033 polzades i una d'horitzontal - de 0.067, i per altra la impossibilitat d'aconseguir un 100% de gris per a cada caràcter. De fet, l'element més fosc té un 60% de blanc.

La forma de la matriu de punts que es fa servir per a generar els nivells de gris imposa una certa textura a la imatge. Clarament la combinació consecutiva de certes matrius dona textures horitzontals. Proves fetes amb matrius més grosses a fi de poder generar més tonalitats de gris accentuen el problema de la textura fins a difuminar completament la imatge.

SOFTWARE

Des del punt de vista del software, els algorismes que normalment s'han d'implementar es poden agrupar d'aquesta manera:

- tractament de la imatge: selecció de sub-imatges, canals, suport de diferents formats de les dades d'entrada, rutines de generació de codi "im-

primible" amb els dispositius de sortida que es tinguin.

- manipulació de "pixels" individuals: addició, substracció, multiplicació i divisió, operacions lògiques (and, or i or exclusiu).
- estadística elemental: distribucions dels valors dels "pixels", mitjana i desviació tipus.
- millorament de la imatge: linearització d'histogrames de la distribució dels "pixels", operadors gradient i laplacià per al revelament de contorns.
- anàlisi multidimensional: suma de matrius, substracció, multiplicació i divisió, raons entre canals, combinacions lineals entre bandes, matriu de covariància dels canals, classificació supervisada i no-supervisada.
- transformacions ortogonals: transformada de Fourier, Haddamad, etc.

Dins de la variada gama d'algorismes esmentats, s'ha de triar el mètode numèric que l'implementi òptimament.

Clarament el concepte d'algorisme òptim el veiem des del punt de vista de la seva velocitat, i els seus requeriments de memòria, conservant el mateix grau de precisió i estabilitat dels resultats. Generalment s'agafa - el nombre de multiplicacions a fer com a mesura de la velocitat per a comparar algorismes. En altres rutines del sistema és millor utilitzar el nombre d'instruccions Load/Store. Noti's que aquests programes són clarament limitats per CPU ("CPU-bound").

Organització del software

El cor d'un sistema software per al procés d'imatges el constitueix una -- llibreria de programes o rutines, escrites modularment, carregables amb estructures de recobriments, que implementin tota l'algorísmica abans esmentada. Canvis o millores en els mètodes numèrics emprats fan necessària una estructura lo més flexible que es pugui; el llenguatge de programació utilitzat ha d'ésser per tant d'alt nivell, excepte per a les rutines que, -- com la de manipulació de bits per a la generació de codi imprimible, poden ésser fetes amb llenguatge ensamblador.

Cada subprograma, fase o mòdul implementa un comandament del sistema, que especifiquem amb tarjes perforades o via consola. El programa principal -- s'encarrega de la coordinació i càrrega dels diferents subprogrames de la llibreria i de la gestió de la memòria de treball per a variables i constants. Per altra part, cada subprograma o mòdul entra a treballar demanant paràmetres o dades a l'usuari. Un cert interpretador de comandes pot tractar tota aquesta part del diàleg. Ja s'ha esmentat abans que la divisió lògica d'estructures de dades i rutines beneficia l'ús dels recursos, estalviant temps d'ordinador inútil.

CONCLUSIÓ

Estat present

Part de l'algorísmica que es cita s'ha implementat en el Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Barcelona sobre un ordinador FACOM 230/25.

Aproximadament la seva velocitat és de 90.000 instruccions per segon executant un "mix" de programes de tipus científic. Bàsicament el sistema dona facilitats per a fer el que n'hem dit del tractament de la imatge, manipulació de "pixels" individuals, estadística elemental, millorament de la imatge i una petita part de l'anàlisi multidimensional. La programació ha estat feta en Fortran IV i compilada amb el compilador optimitzador, amb rutines d'entrada/sortida escrites en llenguatge assamblador. Un index dels recursos que el nostre sistema usa són:

- Representació d'un canal d'una imatge de 2.000x2.000 punts:
 - . Memòria utilitzada: per programa: 56.920 bytes
 - de treball: 12.080 bytes
 - . Temps de treball: preparació: 8.760 segons CPU
 - generació de la imatge: 15.000 segons CPU

Treball futur

La implementació del sistema en un miniordinador DEC PDP 11/70 i la programació i prova de nous algorismes serà la nostra feina en els propers mesos. S'hi connectarà perifèria interactiva en un proper futur així com sistemes de digitalització de clixès fotogràfics. Mentre tant, continuarem fent ús d'una impressora de punts.

Degut a l'ús de moltes instruccions de coma flotant en la part algorísmica del sistema, s'afegirà un processador de coma flotant que permeti de millorar els temps de procés.

AGRAÏMENTS

A l'Institut d'Investigacions Pesqueres de Barcelona, en les persones del Dr. A. Ballester Nolla i del Sr. Carles Romeu, per haver-nos donat les primeres idees, i el primer suport de l'anàlisi i programació, així com per l'ús constant que en fan en llurs treballs d'investigació.

Als meus companys del CCUPB Jordi Viñas, Jaume Miranda i Josep Anton Sáez, per les contínues i fruitoses discussions que hem tingut sobre el sistema.

REFERÈNCIES

- HENDERSON, P. & TANIMOTO, S. (1974). Considerations for Efficient Picture Output via Line Printer. *Comp. Graphics & Image Processing*, 3, 327.
- GARD, Robert L. (1976). Digital Picture Processing Techniques for the Publishing Industry. *Comp. Graphics & Image Processing*, 5, 151.
- JAVIS, J.F., JUDICE, C.N. & NUIKE, W.H. (1976). A survey of techniques for the display of continuous tone Picture on Bilevel Displays. *Comp. Graphics & Image Processing*, 5, 13.
- HAMILL, P. (1977). Line Printer Modification for better Gray Level Pictures. *Comp. Graphics & Image Processing*, 6, 485.
- SCOLLAR, I., HUANG, T.S., WEIDNER, B. & TANG, G. (1977). An Installation for Interactive Transfer of Information from Oblique Aerial Photos to Maps. *Digital Image Processing GI/NTG Fachtagung, Springer-Verlag, München*, 28-30 März 1977, 1, 198.