

CAPITOLUL 4

TEHNICA OBSERVAȚIILOR CCD

Dispozitivul cu transfer de sarcină (CCD, *Charged Coupled Device*) a fost inventat în anul 1970, la Laboratoarele Bell, fiind proiectat pentru stocarea și transferul informației analoge în formă de pachete de sarcină electrică, în interiorul structurii unui semiconductor. Una dintre aplicațiile sale foarte variate este utilizarea ca detector optic, iar unul dintre domeniile de aplicabilitate în acest sens este astronomia.

4.1. PRINCIPII FUNCȚIONALE ȘI PERFORMANȚE

4.1.1. Descrierea generală a dispozitivului

În aparență, dispozitivul CCD seamănă cu un circuit integrat, alcătuit dintr-un înveliș dreptunghiular de plastic, cu laturile de 1-2cm, și grosime de câțiva mm. Acest înveliș este înconjurat de pini, care fac posibilă montarea sa pe un circuit electric. O analiză mai atentă a dispozitivului dezvăluie faptul că una dintre fețele sale este acoperită cu o fereastră transparentă. Privind prin această fereastră, se poate vedea un pătrat negru - un cip cu latura de 10mm, acoperit cu câteva sute de mii de celule pătrate, cu latura de circa $20\mu\text{m}$ (0.02mm). Fiecare din celulele cipului este numit pixel (*picture element*, element de imagine), și are datoria de a colecta fotonii care cad pe suprafața sa, transformând energia luminoasă în sarcini electrice. Dispozitivul CCD este prin urmare un detector fotoelectric care poate fi așezat în focarul unui instrument, în locul clasicei plăci fotografice, pentru a înregistra imaginea cerului la un moment dat.

4.1.2. Principiul transferului de sarcină

Pentru a ilustra cum funcționează dispozitivul CCD, vom compara organizarea fotoelementelor cu un număr de $n \cdot m$ găleți, aranjate pe n linii și m coloane, asociind fotonii incidenti pe aceste elemente cu stropii de ploaie care cad în găleți. În anumite locuri, ploaia este mai puternică decât în altele, deci unele găleți se umplu mai repede. Într-un moment oarecare,

măsurând cantitatea de apă din fiecare găleată, putem alcătui o hartă a precipitațiilor. Totuși, această muncă este dificilă, din cauza numărului mare de găleți.

În scopul de a ușura munca, vom inventa un dispozitiv mai inteligent, care ne va permite să vărsăm, la comandă și în același timp, conținutul celei de-a doua coloane în prima (găleată cu găleată), conținutul celei de-a treia coloane în a doua ș.a.m.d. Măsurând (de m ori) nivelul precipitațiilor în fiecare găleată din prima coloană între fiecare transfer, vom putea reconstrui coloană după coloană imaginea precipitațiilor. Mai mult, putem modifica dispozitivul, transferând lichidul rezultat în prima coloană, dintr-o găleată în alta, în josul acesteia, și măsurând (de n ori) volumul în ultima găleată. Astfel, în loc de a măsura cantitatea de apă în toate gălețile, putem alcătui harta precipitațiilor măsurând volumul apei, de $n \cdot m$ ori, într-o singură găleată.

Analogia dintre găleți și pixeli nu este gratuită. Când o imagine se formează pe suprafața cipului, fiecare fotoelement este originea unui semnal electric proporțional cu fluxul luminos local și cu timpul de expunere. Semnalul electric materializează sarcinile electrice sub formă de pachete. Structura dispozitivului CCD permite transferul pachetelor de sarcini în fiecare pixel - similar ploii măsurate în găleți - mai întâi pe coloane, apoi pe linii. La sfârșit, informația este înregistrată sub formă de sarcini electrice, secvențial, într-un singur pin, ceea ce permite fie stocarea ei sub formă numerică, fie reconstituirea unei hărți electronice a imaginii optice (variantă utilizată în astronomie datorită avantajelor de prelucrare ulterioară).

4.1.3. Performanțele dispozitivelor CCD

Fără a insista în detalii tehnice, prezentate pe larg în lucrările de specialitate, enumerăm principalele performanțe ale dispozitivelor CCD, care le fac competitive în comparație cu alte dispozitive.

Eficiența cuantică reprezintă un criteriu de calitate al unui senzor, definit de relația (Buil, 1991):

$$QE = \frac{\text{numarul mediu de fotoni detectati / pixel / secunda}}{\text{numarul mediu de fotoni incidentali / pixel / secunda}} \quad (1)$$

În cazul camerei CCD, QE are valori cuprinse între 40-80%, în comparație cu emulsia fotografică, a cărei QE este între 2-4%.

Sensibilitatea spectrală este dată de posibilitatea camerei CCD de a înregistra radiații cu lungimi de undă până la $0.4\mu\text{m}$ (ochiul și emulsiile fotografice sunt insensibile sub $0.7\mu\text{m}$).

Eficiența transferului de sarcini este definită de relația (Buil, 1991):

$$CTE = 1 - \frac{N_o - N_t}{N_o}, \quad (2)$$

unde N_o este numărul de sarcini pe o poartă iar N_t numărul de sarcini pe următoarea poartă după transfer. În cazul dispozitivelor actuale, $CTE=0.999990$, deși această cantitate depinde de temperatură.

Liniaritatea reprezintă variația răspunsului S în funcție de iluminarea E , în mod liniar:

$$S = k_1 \cdot E + k_2, \quad (3)$$

unde k_1 și k_2 sunt niște constante.

4.2. ACHIZIȚIA IMAGINILOR CCD

Camera CCD atașată refractorului ecuatorial de la IAAR din București este de tip Hi-SIS22 (Buil, 1995) și posedă un detector KODAK KAF-0400 cu o matrice de 768×512 pixeli ($1p = 9\mu = 0''.31$ în câmpul lunetei). Din cauza distanței focale mari a instrumentului (6m), câmpul camerei CCD este foarte mic: $3'.96 \times 2'.64$.

Camera este conectată la un calculator PC 80486, 50MHz, 8Mb RAM, folosind portul paralel al imprimantei. Achiziția și prelucrarea imaginilor sunt asistate de pachetele de programe ASTROL & INTERPOL (Colas și Serau, 1991) și QMiPS și WINMiPS (Buil et al, 1993).

4.2.1. Timp de integrare și timp de lectură

Timpul de integrare (t_i , sau timpul de expunere) reprezintă timpul scurs între deschiderea obturatorului camerei și închiderea sa, și este comandat de observator la stabilirea parametrilor imaginii. Timpul de integrare este o valoare pozitivă (un timp de integrare nul corespunde în cazul camerei Hi-SIS22 la 0.004s - Buil, 1995) și nu trebuie, în general, să depășească 10-15m. Pentru a reduce efectul de zgomot datorat agitației termice a electronilor în cip, este preferabil de împărțit o expunere mare în poze care să nu depășească 3-5min, imaginile astfel obținute urmând a fi compuse, pentru a produce o imagine echivalentă unei expuneri mai lungi.

Timpul de lectură (t_l) cumulează timpul necesar transferului de sarcină și timpul necesar transferului informației electronice în informație numerică, de la camera CCD la memoria computerului. Timpul de lectură depinde de doi parametri care definesc imaginea, și anume mărimea ferestrei și de factorul de binning (par.4.2.2 și 4.2.3). În același timp, timpul de lectură depinde de tipul microprocesorului computerului.

4.2.2. „Ferestre” de lucru

Programele de achiziție de imagini ASTROL și QMiPS, care comandă camera Hi-SIS22 instalată la IAAR, permit inițializarea parametrilor de achiziție de imagini, stabilind o fereastră predefinită de utilizator prin alegerea coordonatelor extreme (stânga - jos, dreapta - sus). În acest caz, alegerea ferestrei se face prin încercări, astfel încât obiectul în cauză să fie încadrat în fereastra predefinită.

Utilizarea ferestrei de lucru poate fi avantajoasă, de exemplu, în cazul observațiilor de ocultării stelare de asteroizi, unde cele două obiecte sunt foarte apropiate. În această situație, timpul de lectură scade cu pătratul laturii ferestrei, deși în mod practic acesta nu poate să scadă sub o anumită valoare, din cauza timpului necesar transferului de sarcini (în general sub 1s).

4.2.3. Modul „binning”

Modul binning reprezintă posibilitatea de a grupa mai mulți pixeli (p) apropiați, obținându-se astfel în mod artificial pixeli (P) mai mari decât pixelii de bază. În mod uzual, este folosit un factor de binning 2×2 , ceea ce înseamnă că patru pixeli adiacenți sunt grupați pentru a defini un nou Pixel, deși în general se poate defini un binning $n \times m$. Pierderea de rezoluție care rezultă din această grupare este compensată de trei avantaje: un câștig în sensibilitate, un timp de lectură inferior și o micșorare a mărimii fizice a unei imagini. Modul binning este folosit în cazul observațiilor afectate de poluarea atmosferică și al imaginilor de cer profund, fiind neindicat în cazul imaginilor suprafețelor planetare.

În cazul camerei Hi-SIS22, matricea CCD este utilizată curent în modul *binning* 2 ($1P = 2p = 18\mu = 0''.62$).

4.3. PREPROCESAREA IMAGINILOR CCD

Fără a intra în amănunte cu caracter tehnic, în achiziția imaginilor CCD există două fenomene datorate, pe de o parte, agitației termice în interiorul cipului, iar pe de alta

sensibilității diferite a pixelilor și neuniformității optice a instrumentului. Aceste fenomene afectează calitatea imaginilor, introducând detalii false. Spre deosebire de fotografie, în cazul receptorului CCD, îndepărtarea acestor detalii se poate face. Aceasta are loc prin aplicarea a două corecții imaginilor primare, ceea ce constituie obiectul preprocesării imaginilor. Principiul preprocesării imaginilor CCD obținute la IAAR a fost prezentat într-o lucrare recentă (Vass et al, 1996c).

4.3.1. Hartă termică

Pentru ca principiul transferului de sarcină să funcționeze cu o eficiență ridicată, cipul camerei CCD trebuie menținut la o temperatură cât mai scăzută (știut fiind că agitația termică este proporțională cu temperatura). Deși camera este prevăzută în acest sens cu un dispozitiv de răcire cu element Peltier (care poate reduce temperatura cipului față de cea a mediului cu 30°), totuși, în timpul expunerii, apar electroni datorati agitației termice, care dau naștere pe imagine la așa-numiții „pixeli calzi” (puncte de diferite intensități luminoase). Acest fenomen este cu atât mai pronunțat cu cât t_i este mai mare, ceea ce introduce detalii false pe imagine. Totuși, aceste artefacte pot fi înlăturate, prin folosirea unei hărți termice a cipului, o expunere realizată cu același timp t_i și în aceleași condiții de temperatură cu imaginea de corectat, fără a deschide obturatorul. În practică, pentru a evita semnalele aleatoare, harta termică reprezintă media a 3-9 hărți.

În literatură (Buil, 1991), harta termică se mai numește hartă de întuneric, iar corecția care se aplică imaginii inițiale, pentru a înlătura efectul de agitație termică, este cunoscută sub numele de corecție (de) offset.

Dacă (x,y) sunt coordonatele unui pixel, $R(x,y)$ imaginea neprelucrată, $N(x,y)$ harta de întuneric, atunci imaginea corectată $I(x,y)$ este dată de formula:

$$I(x,y) = R(x,y) - N(x,y) \quad (4)$$

4.3.2. Imagine iluminată uniform

Camerele CCD sunt proiectate să observe în mod curent obiecte ale căror străluciri depășesc cu 1% nivelul luminos al cerului. Astfel, este important de acordat atenție fiecărui detaliu. Datorită sensibilității foarte ridicate a cipului, sensibilitatea relativă a pixelilor individuali este diferită (până la 1-2%), chiar în cazul unei iluminări uniforme. La acest fenomen se adaugă neuniformități ale imaginii, datorate imperfecțiunilor componentelor optice ale instrumentului, sau prafului de pe fereastra camerei sau a filtrelor.

Spre deosebire de fotografie, toate aceste detalii false introduse pe imagine pot fi corectate, prin folosirea unei imagini iluminate uniform (corecție de *flat-field*). Dacă $I(x,y)$ este imaginea inițială, iar $F(x,y)$ reprezintă *flat-field*-ul, atunci imaginea prelucrată $E(x,y)$ este obținută din relația:

$$E(x,y) = K \frac{I(x,y)}{F(x,y)}, \quad (5)$$

unde K reprezintă intensitatea medie a hărții de *flat-field*, un factor care corectează imaginea rezultată la nivelul mediu al imaginii inițiale.

Este absolut necesar ca harta de *flat-field* să se realizeze în condiții de iluminare uniformă, în aceleași condiții cu cele ale imaginii de preprocesat (același CCD în aceeași poziție, același instrument, filtru etc).

Metoda folosită de autor pentru a obține hărțile de *flat-field* este achiziționarea a 3-9 imagini ale cerului în crepuscul, din care va fi obținută prin mediere imaginea iluminată uniform. În acest caz, instrumentul trebuie îndreptat în direcția opusă Soarelui, pentru a preveni variațiile în luminozitate. Timpul de integrare este independent de cel al imaginilor de prelucrat, fiind ales în general astfel încât nivelul mediu al intensităților înregistrate să fie de circa 3/4 din cel corespunzător saturației. Există și alte metode de realizare a expunerilor iluminate uniform, asupra cărora nu insistăm.

4.3.3. Corecții de hartă termică și *flat-field*

Atât imaginea de prelucrat, cât și harta de *flat-field* trebuie să fie corectate de efectul de agitație termică, prin corecții de hartă termică realizate cu ti corespunzători. Dacă $R(x,y,t)$ este imaginea neprelucrată, $N(x,y,t)$ este harta termică a imaginii neprelucrate, $F'(x,y,t')$ harta de *flat-field*, $N'(x,y,t')$ harta termică corespunzătoare *flat-field*-ului, K intensitatea medie a *flat-field*-ului, atunci imaginea prelucrată $E(x,y,t)$ este dată de formula:

$$E(x,y,t) = K \frac{R(x,y,t) - N(x,y,t)}{F(x,y,t') - N'(x,y,t')} \quad (6)$$

Figura 1 reproduce imaginea neprelucrată a asteroidului (2) Pallas ($V=8.96$) alături de steaua PPM 161027 ($F=11.2$), achiziționată la IAAR la 26 februarie 1996. Figurile 2 și 3 prezintă harta termică, respectiv imaginea de *flat-field* corespunzătoare acestei observații. În figura 4 am reprodus imaginea obținută prin preprocesarea cu harta termică și *flat-field* a imaginii inițiale.

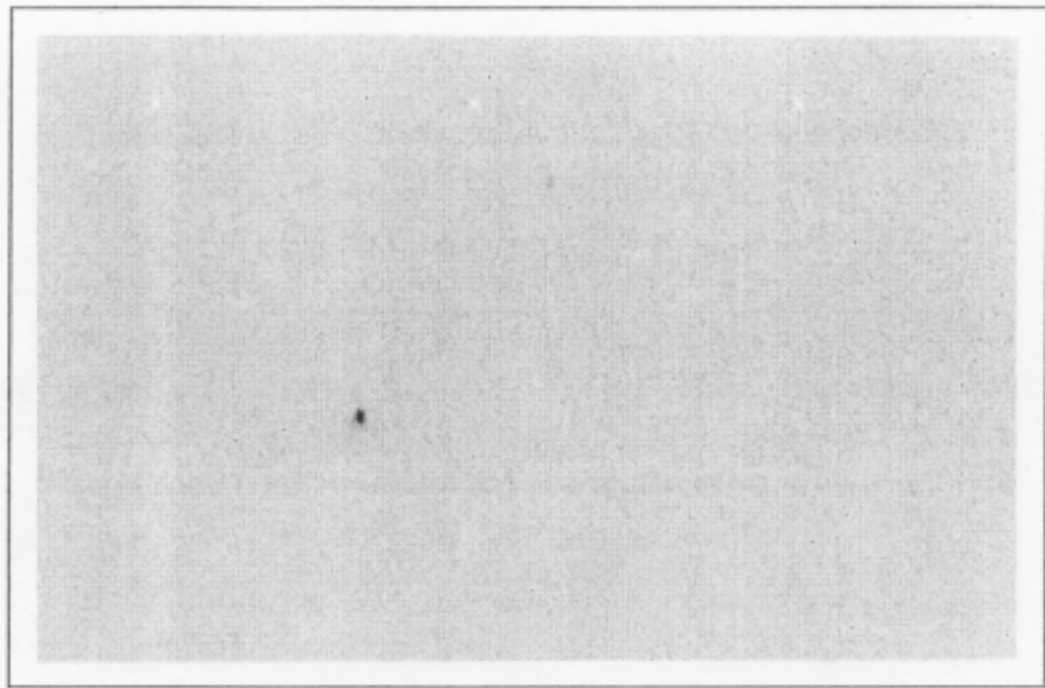


Figura 1 - Imaginea neprelucrată a micii planete (2) Pallas (jos)
la 1' de steaua PPM 161027 (sus), achiziționată la IAAR la 26 februarie 1996

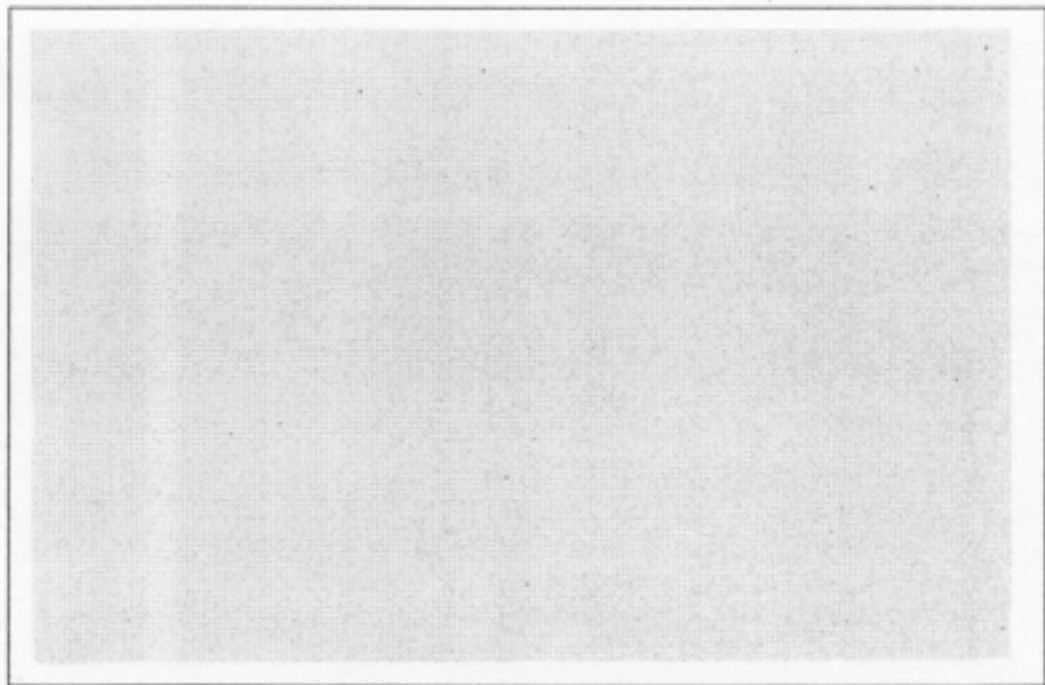


Figura 2 - Hartă termică $t_i=10s$ (se observă pixelii calzi)

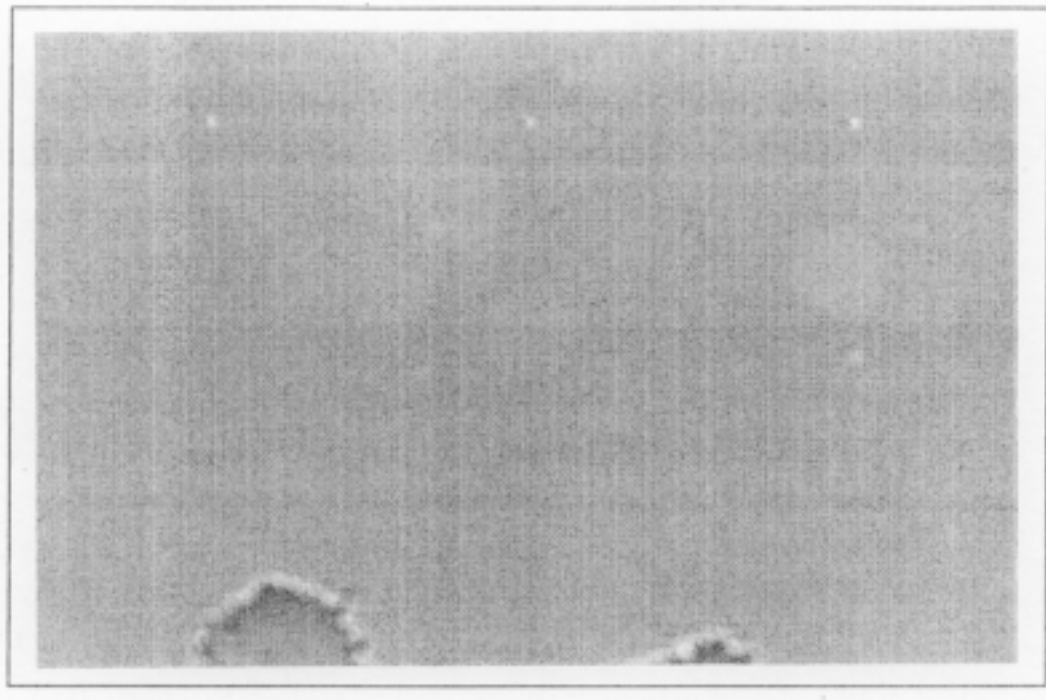


Figura 3 - Hartă de flat-field (se observă imperfecțiunile optice ale sistemului)

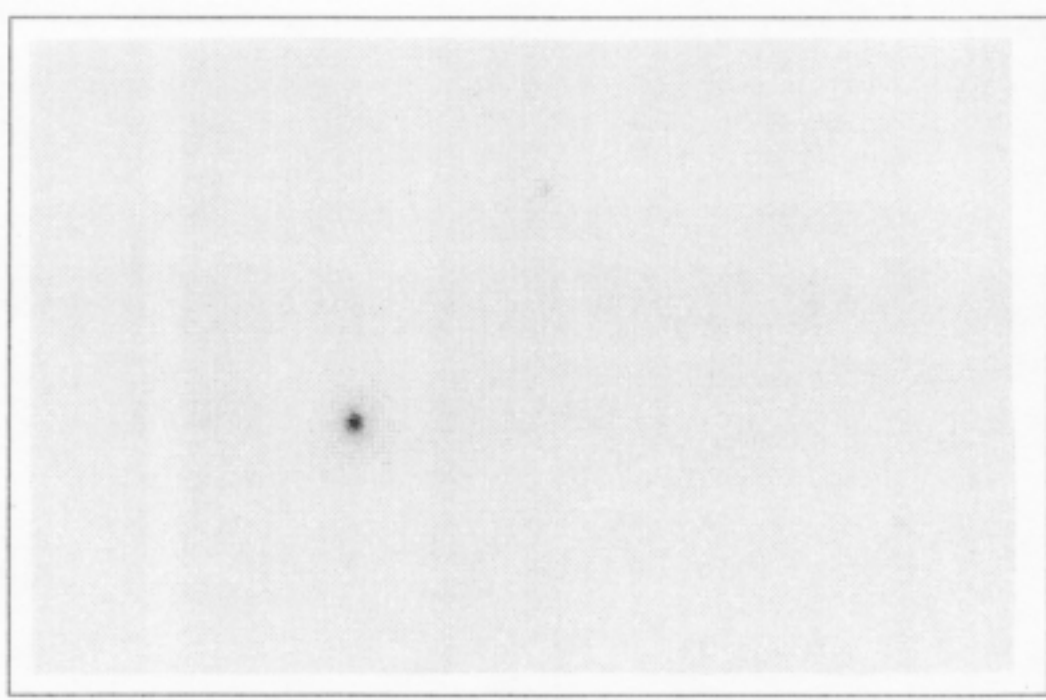


Figura 4 - Imaginea inițială corectată de harta termică și flat-field (artefactele au dispărut, obiectele devenind mai bine conturate)

4.4. REPREZENTAREA MATEMATICĂ A UNUI PROFIL STELAR

Spre deosebire de cazul imaginilor fotografice, care se măsoară printr-o simplă analiză vizuală, tehnica măsurării imaginilor CCD constă în aproximarea suprafeței imaginii stelare printr-o ecuație matematică, de obicei de formă Gaussiană:

$$I(r) = I(0) \exp\left(-\frac{r^2}{\sigma^2}\right), \quad (7)$$

unde r este raza stelei, σ un parametru ce depinde de împrăștierea imaginii, iar $I(0)$ intensitatea centrală.

Semnalul conținut într-un cerc de rază r este dat de formula (Buil, 1991):

$$E(r) = \pi\sigma^2 [I(0) - I(r)] \quad (8)$$

O mărime importantă în aproximarea imaginii printr-o Gaussiană este lărgimea la semiînălțime:

$$FWHM = 2\sigma\sqrt{\ln 2} \quad (9)$$

Această cantitate este exprimată în pixeli, dar poate fi transformată în ", odată ce scala imaginii este cunoscută. Lărgimea Gaussienei la semiînălțime permite estimarea rezoluției imaginii.

Primul pas în aproximarea imaginii stelare cu o Gaussiană este extragerea luminozității cerului din imagine. Centroidul stelar este apoi determinat prin metoda celor mai mici pătrate, liniarizând (7) sub forma:

$$\ln I = \ln a + bR, \quad (10)$$

unde $a = I(0)$ și $R = r^2$.

Pe o grilă regulată se culeg perechile (I, R) din interiorul profilului stelar. Această grilă poate avea pasul mai mic decât un pixel, punctele adiționale fiind calculate prin interpolare. Astfel, reprezentarea profilului bidimensional stelar se face prin transcrierea ecuației (10) sub forma $Y = A + BX$, unde coeficienții A și B vor fi calculați prin regresia liniară din punctele măsurate (X_i, Y_i) ($i=1..N$):

$$\begin{cases} A = \frac{\alpha\delta - \beta\gamma}{\alpha^2 - N\beta} \\ B = \frac{\alpha\gamma - N\delta}{\alpha^2 - N\beta} \end{cases} \quad (11)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^N X_i, \quad \beta = \sum_{i=1}^N X_i^2, \quad \gamma = \sum_{i=1}^N Y_i, \quad \delta = \sum_{i=1}^N X_i Y_i$$

Constantele $I(0)$ și σ rezultă din relațiile:

$$I(0) = \exp(A), \sigma^2 = \frac{-2}{B} \quad (12)$$

4.5. PROCESAREA IMAGINILOR CCD

Efectuarea de corecții asupra imaginilor preprocesate, pentru a pune în evidență anumite detalii, face obiectul procesării de imagini. În funcție de scopurile propuse, există mai multe metode de procesare a imaginilor, dintre care vom prezenta aici doar pe cele folosite în aplicațiile din capitolul 6.

4.5.1. Vizualizarea imaginilor

Majoritatea programelor de prelucrare de imagini permit afișarea acestora pe monitorul PC între anumite limite ale intensităților luminoase, în funcție de opțiunile utilizatorului. Determinarea limitelor superioare și inferioare ale intensităților luminoase se face folosind instrucțiuni cu care softurile sunt în general prevăzute (de exemplu comanda STAT în ASTROL). După aceasta, are loc o primă vizualizare între aceste limite, care nu pune totdeauna în evidență toate detaliile căutate. În acest scop, ajustarea pragurilor se face prin încercări succesive. De exemplu, în cadrul campaniei de observații PHESAT 95 (par 6.3.3), pe imaginea vizualizată între limitele (400,1) (figura 5) nu apare nici un detaliu în imediata vecinătate a planetei Saturn, ceea ce nu se întâmplă folosind o vizualizare între limitele (1000,1) (figura 6), care pune în evidență satelitul Enceladus (imediat în stânga planetei).

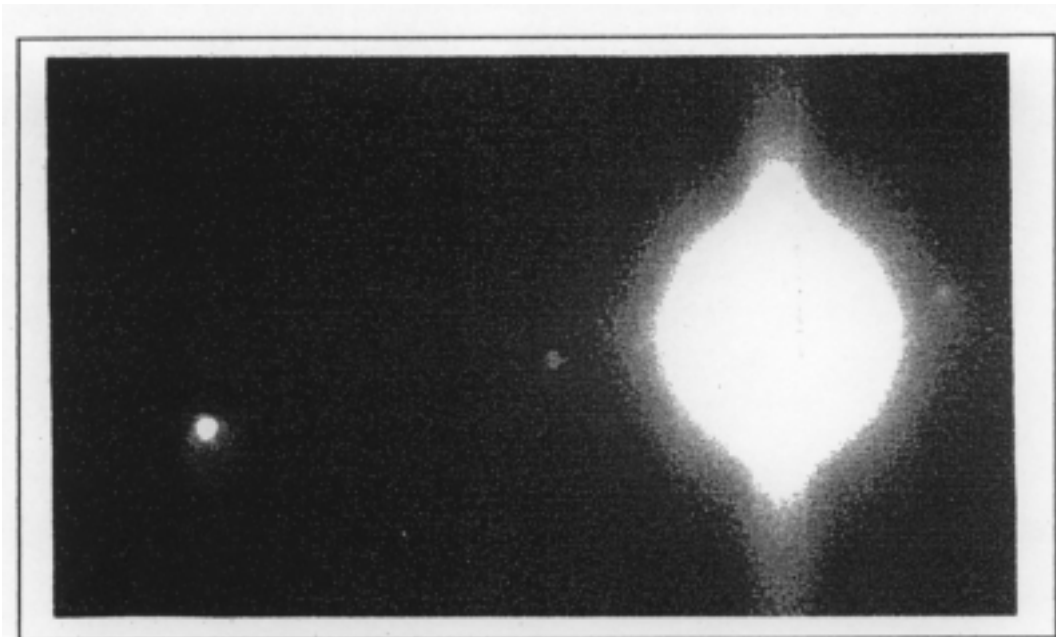


Figura 5 - Vizualizarea sistemului de sateliți al lui Saturn între limitele (400,1)

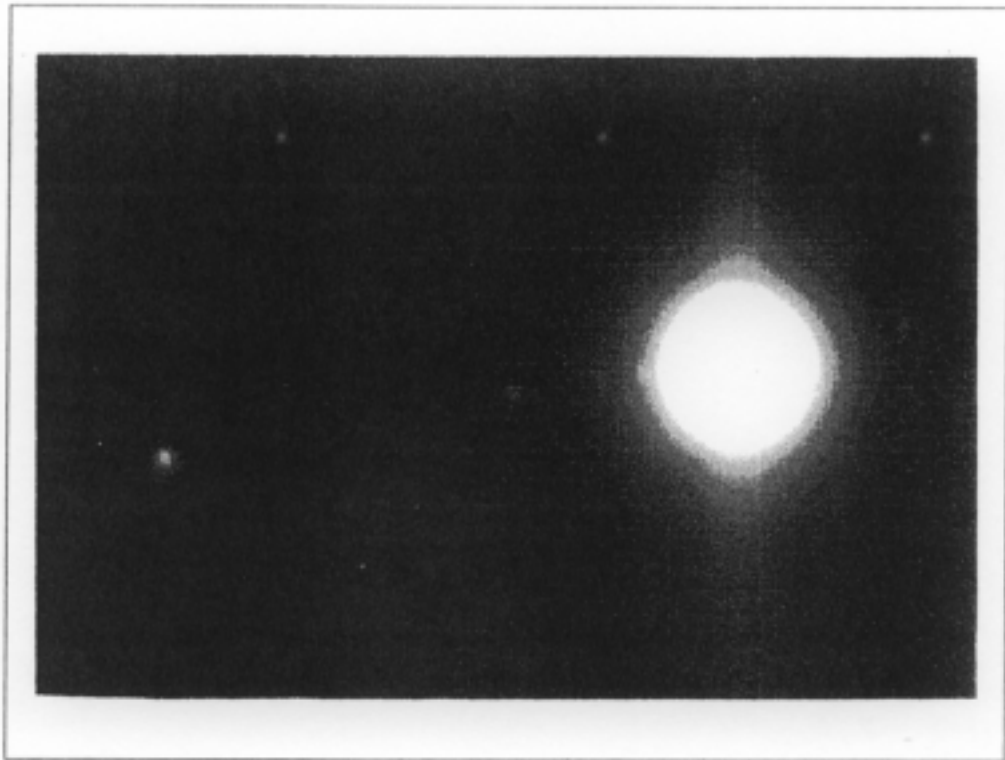


Figura 6 - Vizualizarea imaginii anterioarei între limitele (1000,1) pune în evidență încă doi sateliți în stânga planetei

4.5.2. Transformări aritmetice

Înțelegem prin noțiunea de adunare a două imagini o imagine în care intensitatea fiecărui pixel este media intensităților pixelilor corespunzători pe imaginile inițiale (care trebuie să aibă aceleași dimensiuni). Există câteva aplicații importante ale acestei tehnici, între care una a fost deja amintită în cazul corecțiilor de hartă termică și flat-field, când imaginea finală era mediată din 3-9 expuneri. Un avantaj important al adunării imaginilor este diminuarea zgomotului imaginii inițiale (știut fiind că acest fenomen este o fluctuație aleatoare a semnalului în jurul unei valori medii)

Noțiunea de diferență a două imagini reprezintă o imagine în care intensitatea fiecărui pixel este obținută ca diferență a intensităților pixelilor corespunzători ai imaginilor inițiale. Această tehnică este aplicată când se dorește îndepărtarea detaliilor care împiedică analiza imaginii. Un exemplu în acest sens (Buil, 1991) este analiza roiurilor stelare (unde stelele mai slabe nu se disting în apropierea celor mai strălucitoare)

4.5.3. Transformări geometrice

Pentru a putea compara două imagini luate în condiții diferite (de poziționare a instrumentului sau de orientare a camerei), trebuie introdusă noțiunea de transformare geometrică a imaginilor. Cele mai utilizate transformări geometrice sunt translația, rotația și scalarea imaginilor.

Translația unei imagini de-a lungul axelor (x,y) cu distanța (a,b) se definește:

$$x' = x + a, y' = y + b \quad (13)$$

Scalarea unei imagini printr-un factor (r,s) este dată de relațiile:

$$x' = rx, y' = sy \quad (14)$$

Rotația unei imagini în jurul unui centru (A,B) cu unghiul α , în sens trigonometric, este dată de formulele:

$$\begin{cases} x' = A + (x - A) \cos \alpha - (y - B) \sin \alpha \\ y' = B + (x - A) \sin \alpha + (y - B) \cos \alpha \end{cases} \quad (15)$$

Un exemplu interesant în care se aplică transformările geometrice și diferența a două imagini (Buil, 1991) este obținerea unei imagini cometare nealterată de câmpul stelar din spatele cometei. Aceasta se realizează în trei etape, prin expunerea aceluiași câmp la câteva zile după ce cometa s-a îndepărtat din câmp, „potrivirea” celor două imagini (astfel încât stelele să se suprapună), și extragerea imaginii câmpului stelar din imaginea inițială.

4.5.4. Filtre de imagine

Conceptul de filtrare a imaginilor urmărește înlăturarea zgomotului, și se realizează prin aplicarea unei transformări care calculează o nouă intensitate a unui pixel, luând în considerare media intensităților pixelilor vecini. Această operație poartă numele de convoluție.

În general, într-un proces bidimensional, convoluția este o funcție de două variabile ale spațiului, x și y :

$$G(x, y) = \int \int_{-\infty}^{+\infty} A(x - e, y - f) \cdot H(e, f) de df, \quad (16)$$

unde $A(x,y)$ este o funcție, iar $H(e,f)$ o matrice. Această transformare consideră funcția A în punctul (x,y) , pe care o multiplică, la „distanța” (e,f) de (x,y) , prin coeficientul $H(e,f)$.

În procesarea imaginilor, convoluția folosește un operator de mediere, asemănător unei matrici, numit matrice de convoluție. Prin aplicarea acestui operator, intensitatea unui pixel aflat în centrul matricii se înlocuiește cu media intensităților pixelilor aflați în interiorul matricii.

Filtrul „trece-jos” se definește ca o convoluție realizată cu o matrice 3×3 sau 5×5:

$$H_1 = \begin{pmatrix} a & b & a \\ b & n & b \\ a & b & a \end{pmatrix}, H_2 = \begin{pmatrix} a & b & b & b & a \\ b & b & b & b & b \\ b & b & n & b & b \\ b & b & b & b & b \\ a & b & b & b & a \end{pmatrix}, a, b \in \{0,1,2\}, n \in N^*, \quad (17)$$

unde $a, b \in \{0,1,2\}$, $n \in N^*$. Numele acestui tip de filtrare este determinat de efectul de înlăturare a frecvențelor înalte din imagine (doar frecvențele sub o anumită valoare sunt reținute).

Filtrul „trece-sus” reprezintă o convoluție similară cu cea expusă anterior, cu coeficienții $a, b \in \{-1,0\}$. Această transformare accentuează detaliile, fiind recomandată la procesarea imaginilor turbulente și folosită în cazul prelucrării suprafețelor planetare.

4.5.5. Filtre de contur

Scopul unui filtru de contur este acela de a extrage conturul obiectelor din imagine.

Filtrul Laplace de ordinul n reprezintă o convoluție realizată cu o matrice simetrică, de forma:

$$H = \begin{pmatrix} a & b & a \\ b & n & b \\ a & b & a \end{pmatrix}, a, b \in \{-1,0\}, n \in N^*, 4a + 4b + n = 0 \quad (18)$$

Dezavantajul folosirii unui filtru Laplace este mărirea zgomotului.

Filtrul Sobel este o convoluție anizotropă, după direcția orizontală sau verticală:

$$H_1 = \begin{pmatrix} a & 0 & -a \\ b & 0 & -b \\ a & 0 & -a \end{pmatrix}, H_2 = \begin{pmatrix} -a & -b & -a \\ 0 & 0 & 0 \\ a & b & a \end{pmatrix}, a, b \in \{1,2\} \quad (19)$$

În figura 7 reproducem o imagine a planetei Venus, achiziționată la IAAR, cu ocazia unei ocultații lunare (par.6.5.4), alături de rezultatul obținut prin filtrare Laplace (pentru conturul planetei) și respectiv Sobel (pentru limbul lunar). În par.6.5.4 vom folosi această aplicație pentru reducerea ocultației.

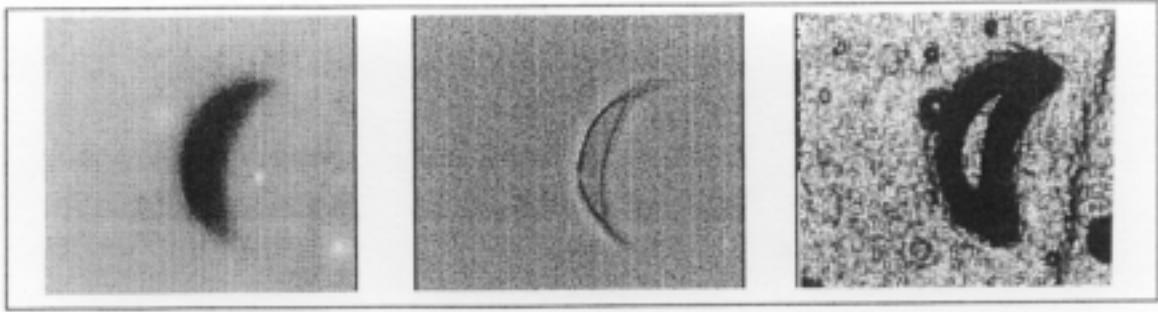


Figura 7 - Imaginea planetei Venus (stânga), achiziționată la IAAR în timpul ocultației lunare din 12 iulie 1996. Filtrele Laplace și Sobel pun în evidență conturul planetei (mijloc), respectiv limbul lunar (dreapta).

4.5.6. Izofote

În studiul formelor unor corpuri cerești (comete, galaxii, nebuloase), interpretarea fotometrică a imaginilor CCD, se face în mod automat, folosind curbe de nivel de aceeași intensitate luminoasă, prin utilizarea funcțiilor cu care programele de procesare sunt prevăzute (ISO în Q-MiPS și ASTROL sau ISO2 în ASTROL). Parametrii de intrare sunt în acest caz intensitatea minimă, intensitatea maximă și pasul izofotelor. Pentru o mai bună vizibilitate, câteva izofote consecutive sunt reprezentate prin culori diferite (funcția ISO2 din ASTROL).

Un exemplu de utilizare a funcției ISO este prezentat pe figura 8, în care am reprodus imaginea preprocesată a cometei Halle-Bopp achiziționată la IAAR, respectiv imaginea prelucrată cu funcția ISO, în care se poate distinge coama.

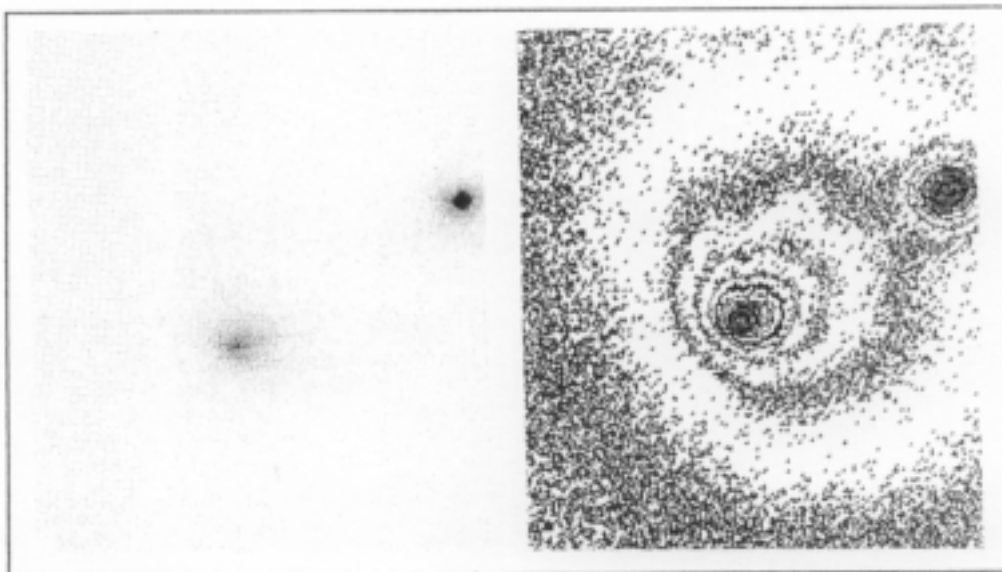


Figura 8 - Imagine neprelucrată a cometei Halle-Bopp ($V=5.8$) lângă steaua PPM 509728 ($V=9.0$), achiziționată la 4 octombrie 1996 la IAAR (stânga), și imaginea vizualizată în izofote (dreapta)