AS4501-CC4501 Detección de Objetos

Guillermo Cabrera (AURA-CTIO / CMM, University of Chile),

Introducción

- La detección de objetos en imágenes astronómicas no es trivial
 - Background
 - Convolución con la PSF
 - Ruido
 - Deblending



$$D_i = (I * PSF)_i + b_i + \eta_i$$

Luz



Convolución con PSF

• Aberración debido a atmosfera e instrumento.



Background

• Producido por fuentes luminicas cercanas (luna, contaminacion luminica, estrellas brillantes, etc.)



Ruido



 $I*PSF+b+\eta$

Deteccion de Objetos



Algo de Historia

- 70's: placas fotográficas comenzaron a ser escaneadas.
- 1970: charge-coupled device (CCD)
- 1974: primer arreglo de CCDs comercial (fairchild)
- I 979: primera cámara CCD instalada en un telescopio (telescopio de I metro en Kitt Peak National Observatory)

DETECCION ESTELAR Y FOTOMETRÍA

RICHFELD (Tody, 1981)
ROMAFOT (Buonanno et al., 1983)
WOLF (Lupton & Gunn, 1986)
STARMAN (Penny & Dickens, 1986)
DAOPHOT (Stetson, 1987).

CATALOGO DE GALAXIAS

FOCAS (Jarvis & Tyson, 1981)
APM (Maddox et al., 1990)
COSMOS system (Beard et al., 1990)
PPP package (Yee, 1991)
Source Extractor (SE) (Bertin & Arnouts, 1996)
Multiscale Vision Model (MVM) (Bijaoui & Rue, 1995)

Introducción

- DAOPHOT (Stetson, 1987)
- Source Extractor (Bertin & Arnouts, 1996)
- Multiscale Vision Model (Bijaoui & Rue, 1995)

- Creado para la deteccion de estrellas.
- Ajusta una PSF Gaussiana centrada en cada pixel.

$$D_{i,j} = H_{i_0,j_0}G(i - i_0, j - j_0; \sigma) + b, \quad G(\Delta i, \Delta j; \sigma) = e^{-(\Delta i^2 + \Delta j^2)/2\sigma^2}$$

$$H_{i_0,j_0} = \frac{\sum_{i,j} (G_{i,j} D_{i,j}) - (\sum_{i,j} G_{i,j}) (\sum_{i,j} D_{i,j})/n}{\sum_{i,j} (G_{i,j}^2) - (\sum_{i,j} G_{i,j})^2/n}$$

$$G_{i,j} = G(i - i_0, j - j_0; \sigma)$$

$$H_{i_0,j_0} = \sum_{i,j} (W_{i-i_0,j-j_0}D_{i,j})$$

$$W_{\Delta i,\Delta j} = rac{G(\Delta i,\Delta j;\sigma) - (\Sigma G)/n}{\Sigma (G^2) - (\Sigma G)^2/n}$$

 $\Sigma W \equiv 0$

- Creado para la deteccion de estrellas.
- Ajusta una PSF Gaussiana centrada en cada pixel.



- Comparacion ID entre D y H para
 - (a) estrella,
 - (b) blended estrellas,
 - (c) galaxia,
 - (d) rayo cosmico,
 - (e) bad value pixel
- DAOPHOT encuentra maximos locales en H.
- Sobre estos maximos se utiliza un "threshold".





- Ventajas de trabajar en el espacio H (segun Stetson, 1987)
 - Busqueda optimizada para objetos del tamaño de las estrellas.

$$\sigma = \frac{\text{FWHM}}{2\sqrt{2\ln 2}}$$

- Pendientes suaves se cancelan (incluyendo el background).
- Peaks en H son mas delgados, lo cual ayuda con la deteccion de estrellas.
- Threshold en H calculable a partir del ruido s_1

$$s_H^2 = \frac{s_1^2}{\Sigma(G^2) - (\Sigma G)^2/n}$$

• Pixeles malos y/o mascaras.

х

- Clasificacion
 - sharpness d_i

$$\begin{aligned} T_{i_0,j_0} &\equiv \frac{D_{i_0,j_0}}{\langle D_{i,j} \rangle},\\ sharp &\equiv \frac{d_{i_0,j_0}}{H_{i_0,j_0}}, \end{aligned}$$

round

$$round \equiv 2\left(\frac{h_y - h_x}{h_y + h_x}\right)$$

DAOPHOT mantiene objetos con 0.2<sharp<1
 y -1<round<1

DAOPHOT Resumen



DAOPHOT Complejidad



en espacio de frecuencias (Fourier):

 $\mathcal{O}(n_x n_y (\log n_x + \log n_y) + (n_x + n_y) m \log m)$

Complejidad Total: $\mathcal{O}(n_x n_y m + N_C m^2)$

Parametros

• daofind:

- 18 parametros
- 2 influyen el output
- datapars:
 - 19 parametros
- findpars:
 - 9 parametros
 - 8 influyen el output

Más de 49 parametros, 10 de los cuales influyen en el resultado obtenido.

DAOPHOT Ejemplos



DAOPHOT Ejemplos

| Image | Filter | PSF FWHM | PSF Radius | Read-Noise | Sky | $\sigma_{\rm SKY}$ | datamin | k |
|-------|--------|----------|------------|------------|------|--------------------|---------|------|
| (a) | Ι | 2.23 | 8.02 | 6.25 | 1241 | 8.06 | 1208.76 | 4 |
| (b) | R | 5.21 | 29.28 | 1.82 | 1172 | 6.34 | 1146.64 | 3.5 |
| (c) | I | 2.59 | 21.86 | 7.84 | 1220 | 7.20 | 1191.19 | 4 |
| (d) | I | 2.60 | 31.36 | 7.84 | 1255 | 8.47 | 1221.11 | 4.2 |
| (e) | I | 2.37 | 11.87 | 4.62 | 1227 | 7.70 | 1196.20 | 3.8 |
| (f) | I | 2.79 | 13.15 | 5.06 | 1300 | 8.30 | 1266.81 | 4.2 |
| (g) | I | 2.22 | 17.4 | 4.62 | 1234 | 8.13 | 1201.48 | 4.3 |
| (h) | I | 3.19 | 15.58 | 6.25 | 1176 | 6.39 | 1150.45 | 3.95 |
| (i) | G | 4.07 | 19 | 1.44 | 1071 | 4.44 | 1053.23 | 5 |
| (j) | I | 2.74 | 20.78 | 5.06 | 1217 | 7.05 | 1188.81 | 4.2 |
| (k) | R | 2.74 | 30.03 | 0.9 | 1116 | 5.08 | 1095.69 | 4 |
| (1) | Ι | 1.38 | 58.42 | 2.53 | 1180 | 1.61 | 1173.58 | 5.5 |

Source Extractor

- Background y ruido
- Detección
- Deblending
- Fotometría
- Clasificación

SExtractor Background y Ruido

- Estimación del Background
 - Calcula desviación estandard dentro de una ventana de tamaño fijo que corre a través de la imagen.
 - Iterativamente corta valores hasta que todos los valores estén dentro de $\pm 3\sigma$
 - El valor del Background es calculado como $c_1 \times \text{median} c_2 \times \text{mean}$.
 - Se realiza una interpolación de splines bi-cubicas sobre los valores del background en cada ventana.



- SExtractor us a thresholding $T_{i,j} = b_{i,j} + k\sigma$,
- más 8-conectividad.



SExtractor Deblending

- Deblending
 - En el caso de tener 2 objetos muy cercanos, serán detectados como uno solo.
 - n_D niveles de threshold exponenciales para crear una estructura de árbol.
 - Separar objetos si:
 - la intensidad de una rama es mayor que una fracción $\delta_{\rm C}$ de la luminosidad total del objeto compuesto,
 - Hay al menos otra rama de este objeto que satisfaga la condición anterior.



Figura obtenida de Bertin and Arnouts (1996)

SExtractor Clasificación

- Clasificacion mediante una red neuronal usando:
 - áreas de 8 isophotas
 - I intensidad central
 - PSF



 Esta red neuronal ha sido entrenada con imágenes sintéticas.



Resumen





Complejidad





SExtractor

Parámetros

• Extracción:

- I3 parametros
- II influyen resultado

Peso:

- 4 parámetros
- 2 influyen resultado
- Flaging:
 - 2 parámetros
- Photometría:
 - I3 parámetros
- Separación Estrella-Galaxia:
 - I set de parámetros (pesos red neuronal)
- Background:
 - 7 parámetros
 - 5 influyen resultado

- Check Image:
 - 2 sets of parámetros
- Memory:
 - 3 parámetros
- Association:
 - 6 parámetros
- Miscellaneous:
 - 9 parámetros

Aproximadamente 60 parámetros, 19 de los cuales influyen en los resultados.

SExtractor

Ejemplos





| | Obtained from Data | | | Chosen by the User | | | | | | |
|---------|--------------------|--------|-------|--------------------|--------|---------|---------|---------|--|--|
| Example | Filter | SEEING | GAIN | BACK | DETECT | DETECT | DEBLEND | DEBLEND | | |
| | | FWHM | | VALUE | THRESH | MINAREA | NTHRESH | MINCONT | | |
| (n) | I | 0.883 | 4.885 | 32 | 3 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (Ь) | R | 2.063 | 4.710 | 32 | 1.5 | 3 | 64 | 0 | | |
| (c) | I | 1.024 | 4.640 | 32 | 1.5 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (d) | I | 1.030 | 5.165 | 32 | 1.1 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (e) | I | 0.940 | 4.860 | 32 | 1.8 | 5 | 32 | 0 | | |
| (f) | I | 1.106 | 4.760 | 32 | 1.3 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (g) | I | 0.879 | 4.860 | 32 | 1.5 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (h) | I | 1.263 | 4.885 | 32 | 1.5 | 5 | 32 | 0.01 | | |
| (I) | G | 1.612 | 3.855 | 64 | 1.5 | 5 | 64 | 0.01 | | |
| (j) | I | 1.087 | 4.760 | 32 | 2 | 5 | 64 | 0 | | |
| (k) | R | 1.085 | 4.895 | 32 | 2 | 3 | 32 | 0.01 | | |
| (1) | I | 1.096 | 4.760 | 32 | 1.3 | 3 | 32 | 0.01 | | |

• MVM obtiene una decomposición espacio-frecuencia usando wavelets

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi^*\left(\frac{x-b}{a}\right) dx,$$

- La imagen se decompone en *I* escalas.
- Se utiliza thresholding en cada escala para la detección.
- Si se detecta estructuras en la misma posicion a diferentes escalas, se identifica un objeto.



Figura obtenida de Stark and Murtagh (2006)







Decomposición espacio-frecuencia

$$w(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\psi^*\left(\frac{x-b}{a}\right) dx$$

En Mallat (1986) se explica que la manera correcta de muestrear a es exponecialmente.

$$a = 2^i$$

$$c(i,k) = \frac{1}{2^{i}} \left\langle f(x), \phi\left(\frac{x-k}{2^{i}}\right) \right\rangle,$$
$$= \frac{1}{2^{i}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \phi^{*}\left(\frac{x-k}{2^{i}}\right) dx$$

<>: Producto escalar de f(x) con la funcion $\phi(x)$ escalada y dilatada. Esta última debe cumplir la ecuación de dilatación:

$$\frac{1}{2}\phi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_{n} h(n)\phi(x-n)$$

Decomposición espacio-frecuencia

• de donde se obtiene

$$c(i,k) = \sum_{n} h(n)c(i-1,k+2^{i-1}n)$$

• El espacio de wavelets se genera escogiendo una función $\psi(x)$ apropiada que satisfaga la ecuación de dilatación:

$$\frac{1}{2}\psi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_{n} g(n)\phi(x-n)$$

• Los coeficientes wavelets pueden ser entonces calculados como:

$$w(i,k) = \sum_{n} g(n)c(i-1,k+2^{i-1}n)$$

Multiscale Vision Model Algoritmo á trous

- Definir $\phi(x)$
- Calcular el valor inicial del producto interno

$$c(0,k) = \langle f(x), \phi(x-k) \rangle$$

• Para cada escala i:

• Calcular
$$c(i,k) = \sum_{n} h(n)c(i-1,k+2^{i-1}n)$$

• Escoger g(n) tal que w(i,k) = c(i,k) - c(i-1,k)

$$c(0,k) = c(I,k) + \sum_{i=1}^{I} w(i,k)$$

Ejemplo: función triangular

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 - |x| & \text{if } x \in [-1, 1] \\ 0 & \text{if } x \notin [-1, 1] \end{cases}$$

$$h(0) = 1/2,$$

 $h(-1) = h(1) = 1/4.$

Multiscale Vision Model Ejemplo: B3-spline

$$\phi(x) = B_3(x) = \frac{1}{12}(|x-2|^3 - 4|x-1|^3 + 6|x|^3 - 4|x+1|^3 + |x+2|^3)$$

$$h(0) = 3/8,$$

 $h(-1) = h(1) = 1/4,$
 $h(-2) = h(2) = 1/16.$



- 36 parámetros
- 9 influyen en los resultados

Los más importantes: threshold para cada escala y número de escalas a utilizar.

Figura obtenida de Stark and Murtagh (2006)

Multiscale Vision Model Complejidad

TAREA

Multiscale Vision Model Ejemplos



Multiscale Vision Model Ejemplos

| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) | (g) | (h) | (i) | (j) | (k) | (l) |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| n | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| k | 4 | 3.5 | 4 | 4 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 7.2 | 4 | 5 |

Software para Detección

| | Parameters | Influential |
|------------|------------|-------------|
| DAOPHOT | 49 | 10 |
| SExtractor | 60 | 19 |
| MVM | 36 | 9 |

Todos utilizan un threshold definido por el usuario

Conclusiones

Métodos existentes necesitan gran cantidad de input de parte del usuario.

La dependencia de los resultados con respecto a estos parámetros permite otener diferentes resultados sobre el mismo conjunto de datos.

Sería muy beneficioso un algoritmo de extracción de fuentes astronómicas que requiera una interacción mínima con el usuario.

Referencias

- P. B. Stetson. DAOPHOT: A computer program for crowded-field stellar photometry. Pub. A. S. P., (99):191–222, 1987.
- E. Bertin and S. Arnouts. SExtractor: Software for source extraction. A&AS, (117): 393–404, 1996.
- A. Bijaoui and F. Rué. A multiscale vision model adapted to the astronomical images. Signal Processing, (46):345–2362, 1995.