

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

Software para el postprocesamiento de bólidos

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Aplicación de escritorio para el postprocesamiento de videos de meteoros, generados por la app bolidosGUI de BOCOSUR.
- Permite:
 - realizar calibraciones astrométricas y fotométricas.
 - realizar la astrometría y fotometría de un meteoro detectado.
 - evaluar el algoritmo de detección

INTERFAZ GRÁFICA



1. CREAR ESTACIÓN

 \square

О

承 Ul Figure	_		×
Station_2_2020-10-30-23-51-42			
Abrir video Frames Image: Constraint of the second se	'' 123		
Integración de Video	Datacción		
Frame inicial Frame1 R tophat 2 Tell Frame final Frame10 Filtrar Delay	0.2	1	1
Resolucion Original Mapa de estrellas	25		
Status 🥚 Promediar video Alfa 🖵 🛛 🖉 # pix sobre umbral dif	10		
Visualizar R 0 Max dist mediana a centroide 0 n* 10 ▼ Nombres	30		
ID 0 LAT 0 LON 0 Identificar Generar Evaluar Algoritmo De	et.		
Alias Agregar			

1. CREAR ESTACIÓN

- Al crear una estación por primera vez, se crea un archivo "estaciones.txt" en la raíz de la app.
- Al añadir luego más estaciones, estas se agregan como filas nuevas en el archivo:

1 FCIEN -34.529245 -56.070491 3 CASUP -34.098800 -55.650100 2 SCARLOS -34.474900 -54.5505007

- Se trata de encontrar la función de mapeo F(x,y)=(z,Az).
- Se realiza a partir de posiciones (x,y) de estrellas conocidas, es decir que conocemos su (z,Az) a partir de sus coordenadas ecuatoriales más datos de tiempo y ubicación.
- Con estas posiciones conocidas, buscamos ajustar un determinado modelo (ej Borovicka et al 1995, Jenniskens et al 2011, Barghini 2019, Bannister et al 2013...).
- Nuestra primera aproximación es el siguiente modelo:

$$r = \sqrt{(x - p_1 \cdot m)^2 + (y - p_2 \cdot n)^2}$$
 [Ec. 1

$$z = p_3 + p_4 \cdot r + p_5 \cdot r^2 + p_6 r^3$$
 [Ec. 2]

$$h = \tan^{-1} \frac{y - p_2 \cdot n}{x - p_1 \cdot m}$$
 [Ec. 3]

 $Az = p_7 + p_8 \cdot h \qquad [Ec. 4]$

(m,n = resolución video)

- A) Utilizamos las 300 estrellas más brillantes del catálogo de Hipparcos (ESA, (1997), The Hipparcos Catalogue), alojadas en el archivo "Estrellas.txt", en la raíz de la aplicación.
- B) El usuario asiste al software en la identificación de estrellas. Si confirma la identificación, se agregan al archivo "/StationX/matcheadas.txt", que contiene [x y Az el xP yP], donde:
 - i. (x,y) son las coordenadas de pixel que marcó el usuario
 - ii. (z,Az) son las coordenadas horizontales de la estrella, obtenidas con Breitling (2021).
 - iii. (xP,yP) es la posición de la estrella dada por una solución astrométrica ya realizada, o, si no hay hecha ninguna, por:

$$r = R \cdot \left(\frac{z}{90}\right)$$

$$x_P = \frac{m}{2} - r \cdot \cos(Az + \alpha)$$

$$y_P = \frac{n}{2} - r \cdot \sin(Az + \alpha)$$

C) Con la lista de "matcheadas", se realiza el ajuste de las Ec. 1-4, por mínimos cuadrados no lineal (Levenberg-Marquardt, implementación en MATLAB Isqnonlin).

B) El usuario asiste al software en la identificación de estrellas:i. Integrar video (promediar), y aplicar filtro tophat:

	Calibration_1	1_2021-08-05-23-41-56
Abrir video Frames Abrir metadatos 1 Ver máscara Min color level UT 0	104 208 311 104 208 311 20 40 60 80 100 100 100	415 518 622 725 829 933
Flip H	Eittar imagan	
	i nuai imagen	Astrometría Fotometría Bólido Detección
Frame inicial Frame1	R tophat	
Frame final Frame933	Filtrar	r Delay 0.2
Resolucion Original 🔻	Mapa de estrellas	Umbral diferencia 25
Status (Promediar video	Alfa 🗸	0 # pix sobre umbral dif 10
Visualizar	R 🖓	0 Max dist mediana a centroide 30
Crear estación	n* 10 v Nombre	res
ID 0 LAT 0 LON	0 Identificar Generar	Evaluar Algoritmo Det.



B) El usuario asiste al software en la identificación de estrellas: ii. Generar mapa de n estrellas, con parámetros (R,α):

Abrir video Frames I ' Abrir metadatos 1	104 208 311	415 518	622 725	829 933
Ver máscara UT 0 Flip H	20 40 60 80 100 20 40 60 80 100 20 40 60 80 100			
Integración de Video	Filtrar imagen			
Frame inicial Frame1 Frame final Frame933	R tophat	Filtrar	Astrometria Fotometria Delay	Bólido Detección
Resolucion Original V	Mana de estrellas		Umbral diferencia	25
Status O Promediar video	Alta		# pix sobre umbral dif	10
Visualizar		lombres	Max dist mediana a centroide	30
Crear estación			Evaluar Alo	joritmo Det



B) El usuario asiste al software en la identificación de estrellas:iii. Marcamos estrellas:

💽 Ul Figure	– 🗆 ×
Calibration_1_2021-08-05-23-41-56	
Abrir video Frames I	622 725 829 933
Integración de Video Filtrar imagen Astron Frame inicial Frame1 Rophat 2 Frame final Frame933 Filtrar Radio Resolucion Original Status Promediar video Mapa de estrellas Visualizar Alfa 69.6 Resul Mea ID LAT LON 0 Identificar Generar	rcar estrellas husqueda 4 Ver Calibracion Err max [] 10 husqueda 4 Ver Calibracion Err max [] 10 haddos n O-C ol. trellas n O-C, Az:



C) Con la lista de "matcheadas", se realiza el ajuste de las Ec. 1-4, por mínimos cuadrados no lineal (Levenberg-Marquardt, implementación en MATLAB Isqnonlin). En nuestro, caso se busca minimizar la función:

 $\begin{bmatrix} |z_{Cat} - z_{Calc}| \\ . \\ . \\ . \\ . \\ |(Az_{Cat} - Az_{Calc}) \sin z_{Cat}| \end{bmatrix}$

- i. Elegimos mínimo número de puntos a usar en el ajuste
- ii. Elegimos el máximo error tolerable (MAE, O-C)

- Realizar ajuste
- Calcular promedio de |Obs-Cat|
- Mientras el error en z o en Az es mayor que max. tol:
 - realice ajuste
 - elimine el de mayor error sqrt(err(z)²+err(Az)²)
 - Si el número de estrellas que me quedan es menor que el mínimo seteado, salir.

C) Al culminar la calibración, se genera el archivo "constantesPlaca.txt" en /StationX/, que contiene las constantes p1,...,p8 calculadas.

Asimismo, se grafica O vs C, en z y Az, y se muestran los principales resultados del ajuste:

🛋 Figure 1 —	· □ ×	Figure 3 -	- 🗆 🗙 🚽		
File Edit View Insert Tools Desktop Window Help	لا ا	File Edit View Insert Tools Desktop Window Help	۲.		
🗋 🗃 🛃 🔌 🗞 🔍 🤍 🖑 🐌 🐙 🔏 - 🛃 🔲 📰 💷 🛄		🗋 🖆 🛃 🌭 🔖 🔍 🔍 🕲 🐙 🔏 - 🗔 🗖 🖽 🖿 🔲			
Observed vs calculated zenith angle		Observed vs calculated azimuth angle		Astrometría Fotometría Bólido De	etección
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		250 - 250 - 240 - * * * * * * * * * * * * *		Marcar estrellas Calibrar n Radio busqueda 4 Ver Calibracion E Resultados 4 Ver Calibracion E Resultados 4 Mean O-C:6 arcmin E Resol.:23 amin/pix # stars:8 Mean O-C,z:5 arcmin Mean O-C,Az:7 arcmin	StarsMin 8 Frr max [] 10
30 35 40 45 50 55 60 65 70 z calculated [deg]	75 80	190 200 210 220 230 240 25 190 200 Az calculated [deg]	50 260		

Visualizar calibración

Astrometría	Fotometría	Bólido	Detección	
Marcar estr		Calibrar	nStarsMin	12
Resultados		Calibracion	err max []	10
Mean O-C:5	arcmin			
Resol.:19 am	iin/pix			
# stars:12				
Mean O-C,z:	5 arcmin			
Mean O-C,Az	z:5 arcmin			

Orientación:



Horizonte efectivo



Mapas de z, Az



- A) Una vez que tenemos una más o menos buena calibración astrométrica, fácilmente podemos, automáticamente, identificar estrellas y medir el flujo instrumental.
- B) El modelo que adoptamos está dado por las siguientes ecuaciones:

$$F_I' = \frac{F_I}{\cos(r \cdot p_1)^4}$$
 [Ec. 5]

[Ec. 6]

$$m_V = -2,5 \log_{10} F_I' + p_2 x + p_3$$

donde x es la masa de aire, p1,...,p3 son las constantes a ajustar, r es la distancia radial del centroide al centro de la imagen.

Es decir, corregimos flujo instrumental por viñeteo y nuestro ajuste nos da el coeficiente de extinción $(k=p_2)$ y el punto cero (p_3) .

Realizamos un ajuste de las Ec. 5-6, por mínimos cuadrados no lineal (Levenberg-Marquardt, implementación en MATLAB Isqnonlin). En nuestro, caso se busca minimizar la función:

 $\begin{bmatrix} |m_{V,Cat} - 2.5 \log_{10} F_{I}' + p_{2} x + p_{3}| \\ \vdots \end{bmatrix}$

Para ello ajustamos los parámetros de fotometría de apertura (r_Star, r_Background) y clickeamos en "Identificar".

Luego fijamos el máximo error admisible |O-C| en mV (se utiliza el mínimo número de estrellas de la pestaña de astrometría, que puede cambiarse) y clickeamos en "Calibrar fotom."

Astro	metría	Fotometría	Bólido	Detección
R ba	ckground	2	Pla	neta Jupiter 🔻
(R star	1	•)	mV 0
	Max err	0.3		Agregar planeta
Res	ultados			
k:		p_3:		Calibrar fotom.
C:		p_2:		
N e	strellas:	p_1:		
Me	an O-C:			

Podemos agregar manualmente planetas e incluirlos en la calibración, o también pueden utilizarse para evaluar la calibración, señalándolo como "bóilido".

La calibración entonces nos da los parámetros p1,...,p3 y genera un gráfico de O vs C en mV:



La calibración entonces nos da los parámetros p1,...,p3 y genera un gráfico de O vs C en mV:



Una vez que tenemos una calibración astrométrica y una calibración fotométrica, podemos hacer la astrometría y fotometría de un bólido detectado (en realidad, de cualquier objeto en el cielo, fijo o móvil).

El procedimiento es ir a la pestaña "Bólido":

- Primero, podemos abrir un archivo de metadatos generado por la app de detección, que contiene los tiempos de cada frame individual. Esto es opcional.
- Luego determinamos el centroide del objeto en el primer frame considerado, que es el fijado en la regleta. Para ello, el usuario clickea algún punto del objeto, y el software determina el centro como la posición del máximo brillo en el cuadrado de lado L.



En este caso elegimos a Júpiter como "objeto problema": Basta con identificarlo una vez, y luego el software "sigue" al objeto en los frames restantes.



Luego, ajustamos una gaussiana bidimensional en cada frame al brillo menos el cielo de fondo (moda del cuadrado), que nos determinará la extensión espacial del objeto, y su flujo extrapolado por encima de la saturación. Podemos visualizar el proceso en curvas de nivel o de superficie.



Las tres curvas indicadas corresponden a 0.9, 0.5 y 0.05 el pico. Es decir que la curva del medio indica el FWHM.



Una vez que tenemos el centroide en cada frame y la gaussiana para medir flujo integrado, podemos realizar la astrometría del centroide y la fotometría del objeto.





VI Figure	-	
Calibration_1_2021-08-06-02-02-04		
Abrir video Frames Image: Constraint of the second	' 100	
Ver máscara Min color level Max color ievel Max color ievel		
0 30 60 90 120150180210 □ Flip H		
Integración de Video Filtrar imagen Astrometría Bólido	Detecciór	
Frame inicial Frame3 • R tophat 2 • Frame final Frame100 • Filtrar Delay	0.1	
Resolucion Original Mapa de estrellas Umbral diferencia	25	
Status Promediar video Visualizar 0 Visualizar R 0 Max dist mediana a centroide	10 30	
Crear estación n* 50 ▼ Nombres ID 0 LAT 0 ID 0 LAT 0	t.)	
Alias Agregar		











REFERENCIAS

 \bigcirc

Frank Breitling (2021). Right ascension/declination to azimuth/elevation (https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25617-right-ascension-declination-to-azimuth-elevation), MATLAB Central File Exchange. Retrieved November 13, 2021.