



跨出天文攝影的第一步

— 天體位置測量 Astrometrica

文 / 林宏欽

前言

好的天文攝影作品不僅具有藝術性，更具有科學價值。對喜愛天文攝影的業餘愛好者來說，在遍覽形形色色各種不同天體之後，如何更進一步利用天文攝影深入天文科學領域，相信是許多人的長久以來的夢想。

天上星體的數量遠超過地上所有的觀測者，而所有已知未知的現象往往都需要長期的觀察才能得到進一步地瞭解。然而專業的天文台數目有限，不可能看盡看遍所有天象事件，所以常常需要廣大業餘天文愛好者的觀測協助。

許多適合業餘天文愛好者進行的專業觀測，如變星、超新星的光度變化，彗星、小行星的亮度、位置測定及新天體的發現等，以往因複雜的處理步驟令人怯步，如今拜科技之賜，我們只需要具備基礎的天文知識，將複雜的數學運算交給電腦去處理。一部普通的家用電腦加上適當的軟體就可以輕易完成。

Astrometrica 是一個業餘天文愛好者撰寫專業水準的天體位置測量軟體，可用於精確測量 CCD 影像中星體的座標，提供精確的位置回報，十多年來幫助了許多監測及搜尋小行星、彗星等移動天體的愛好者做出貢獻，成功地發現許多新的天體。作者 Herbert Raab 也因此貢獻，獲得小行星命名 (3184) Raab = 1949 QC 的榮耀。

Astrometrica 試用版可以從網站 <http://www.astrometrica.at/> 下載，試用期 100 天，作者不以圖利為目的，旨在幫助更多人加入天文觀測的行列，註冊的費用只要 25 歐元。與其強大功能相較，實在非常超值！

觀測系統

在建立觀測系統的時候最重要的是什麼呢？CCD？望遠鏡？天文台？Camarillo 天文台 (<http://www.camarilloobservatory.com/Observatory.htm>) 對此做了最佳詮釋。Camarillo 使用和許多天文愛好者及學校一樣的設備，

卻成功地登上全球 NEO（近地小行星）follow-up 觀測前 20 名的行列。Camarillo 的觀測系統只是簡單地固定在後院，沒有任何圓頂或平頂建築，使用一具現成市售可自動導入天體的望遠鏡(LX200)及 CCD 相機(ST-6)... 一台放在戶外塑膠垃圾桶內觀測用的電腦... 因為地處潮濕而設定望遠鏡定期到吹風機報到的除露裝置... 軟硬體系統整合可自動觀測... 以及半夜警示叫人起床的監控系統（沒錯，他們只是業餘愛好者，白天還有工作，不可能晚上都不睡覺）。Camarillo 自認為成功的秘訣在於簡單可靠的觀測計畫、所有儀器的完全整合及幾乎不需人工介入的高度自動化觀測。Simply the Best! 值得擁有類似甚至比 Camarillo 天文台設備更好的我們借鏡。

系統的整合其實不難，目前有很多現成的天文觀測軟硬體可互相搭配支援，例如 ACP3 (<http://acp3.dc3.com/>) 或 TheSky (<http://www.bisque.com/>) 兩大軟體家族，結合各自支援的自動望遠鏡及 CCD 相機群等，就可以很快地建構起整個自動觀測系統。

最後，當您的系統建置完成，切忌拆拆裝裝，否則軟硬體都要重新設定，曠日廢時，系統也無法穩定工作。而唯有穩定的觀測，逐步將系統最佳化，持之以恆，才能達成最終的目標。Astrometrica 作者 Herbert Raab 現在還在用老掉牙的 ST-6 CCD 進行觀測，還不是做得有聲有色 (<http://web.utahnet.at/raab/pomod/>)。

工作原理

Astrometrica 進行天體位置測量的方式是依據預設條件（基本設定）自動偵測，找出 CCD 影像中所有星點（得到星點 X-Y 座標及儀器星等），再與 GSC 或 USNO-A2.0 星表的參考星（RA-DEC 天體座標及星等）進行比對，得到數十組對應星，然後進行數學運算解出座標轉換方程的各項係數，依據此方程式，就可將 CCD 影像中各個星點 X-Y 座標轉換成 RA-DEC 座標。



我們用 CCD 相機對相同天區連續拍攝 3 幅影像後，Astrometrica 應用同樣方法，對每幅影像進行解析，比較不同影像中的星體位置，自動找出有位置變化的可疑移動天體，再與國際小行星中心 MPC (IAU: Minor Planet Center, <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>) 資料庫比對看看是否為已知天體，最後產生 MPC 格式的報表，可以直接 email 回報給 MPC。整個過程都自動化完成，幾乎不需人工介入，不能再簡單了。

觀測要求

下列幾項觀測要求請務必達到，以利 Astrometrica 工作進行，

1. 在 CCD 影像的檔頭 (FITS Header)，觀測時間記錄需正確到 1 秒，這需要正確的電腦時間。所以電腦時間必須正確到 1 秒內 (最好利用 Internet 網路校時軟體或 GPS 週期性地校正電腦時間，以保持觀測時間正確。117 電話校時雖也可接受，但須常注意電腦的時間是否正確。)

2. CCD 影像檔頭的時間必須是正確的 UT 世界時，因為 Astrometrica 以 UT 時為準進行計算。目前大部分 CCD 觀測軟體可以自動依電腦的時區設定換算為 UT 時間寫入影像中。

3. 望遠鏡導入天體的指向儘可能精確 (誤差在幾個分角內)，CCD 影像中心座標儘可能正確，Astrometrica 才能順利進行解析。

4. 觀測系統要能將重要參數 (如觀測 UT 時間、望遠鏡指向的 RA-DEC...) 寫入 CCD 影像中，這需要望遠鏡及 CCD 控制系統軟體上的互相整合，如 TheSky+CCDSOft, ACP+MaxIm DL 等。

基本設定

要讓 Astrometrica 發揮強大功能，正確的基本設定非常重要。Astrometrica 安裝後的預設基本設定值是用於軟體所附的 CCD 影像，大家可以直接體驗一下 Astrometrica 的強大威力。但對於不同觀測者各式各樣觀測組合而言，則必須進行修改才能適用於不同的使用者。

以鹿林天文台 LOT 一米望遠鏡為例，進入 File\Settings... 選項，有以下幾項基本設定，

[Observing Site]

觀測地相關資料 (MPC Code、地理位置、海拔高度、望遠鏡及觀測者等資料...)，Astrometrica 產生 MPC 報表時會自動引用此相關資料。MPC Code 為 MPC 對不同天文

台的識別代號，每個觀測者 / 天文台回報資料前必須先向 MPC 申請一個天文台代號。

[CCD]

需設定項目有望遠鏡焦長及誤差範圍 (%)、CCD 像場位置角及誤差範圍 (請調整 CCD 使影像方位上方儘量朝向正北，以簡化處理過程)、望遠鏡指向誤差、CCD 像元大小及訊號飽和點... 等參數，系統會根據這些參數進行座標解析及光度測光。

[Program]

系統自動找星及進行比對之重要參數。

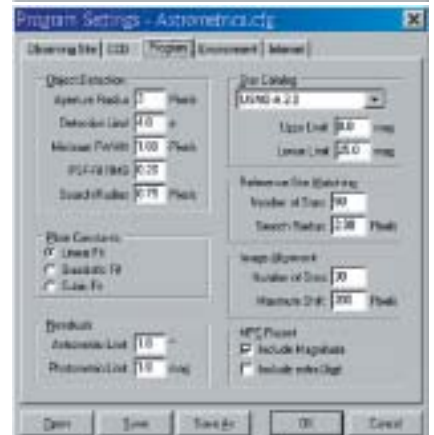
在此設定中比較重要的是配合您的觀測系統 (望遠鏡 + CCD) 像場，選擇適當的參考星表，以提供足夠的參考星數量進行比對。注意這些星表必須另外購置或從網路下載 (詳見 <http://www.astrometrica.at/catalogs.html>)。目前主要有下列幾種選擇

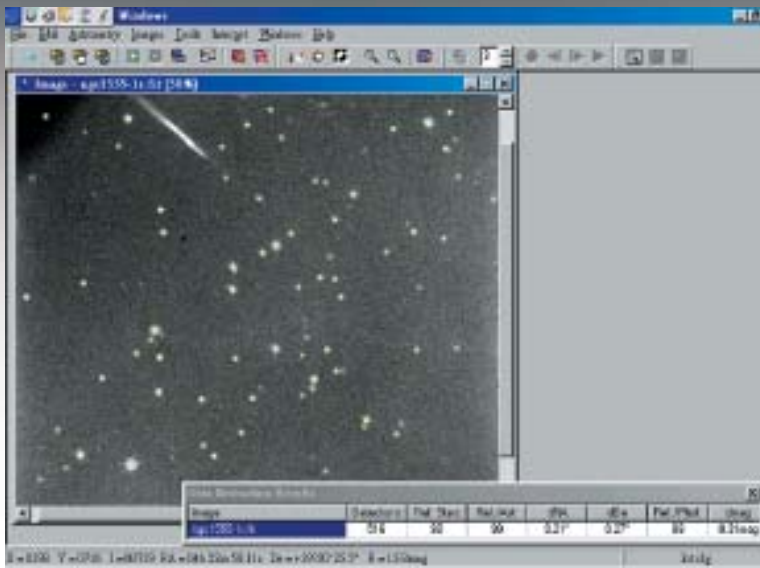
GSC 星表：~1600 萬顆星 (一片 CD)，對大部分的觀測系統而言，通常 GSC 星表就夠用了。

USAO-SA2.0 星表：~5000 萬顆星 (一片 CD)，比 GSC 星表提供更多的參考星。

USNO-A2.0 星表：有 11 片 CD，10 億顆星，即使在很小天區 (<10 角分) 還是能提供足夠參考星，終極選擇。若 GSC 星表不夠用時，就得用 USNO-A2.0 了！

其他項目可先用預設值，有需要將來再調整。





H	RA	dRA	Dec.	dDecR	dR	x	y	Flux	PeakFit	SNR	RMS		
	m	S	"	d	"	mag	mag						
4	22	31.85	0.03	19	34	10.92	-0.45	15.61	0.01	1021.05	392.2	7606	300.109
4	22	32.023	-0.14	19	33	23.61	-0.01	16.94	-0.26	1011.98	468.21	2226	12.10.123
4	22	33.126	-0.29	19	35	3.16	-0.05	17.21	-0.29	997.63	306.07	1738	15.50.118
4	22	33.783	-0.18	19	28	52.87	0.04	18.2	-0.7	942.51	902.01	696	5.70.177
4	22	33.877	-0.12	19	37	18.66	0.19	17.56	-0.54	995.21	86.5	1259	7.30.131
4	22	35.58	-0.09	19	31	52.61	0.03	17.79	-0.11	921.03	609.56	1016	8.80.118
.....													
4	23	14.653	-0.57	19	34	51.63	-0.07	18.7	0.1	50.02	261.74	440	5.40.138
4	23	15.317	0.13	19	31	21.24	-0.14	19.31	0.61	11.73	599.86	251	3.80.183
4	23	16.081	-0.2	19	37	8.9	-0.7	16.99	0.29	32.57	38.29	2124	15.70.092
4	23	16.295	0.35	19	33	51.09	-0.85	12.85	0.45	5.94	356.83	95932	29.80.112
4	23	16.563	-0.12	19	37	3.14	-0.01	17.09	-0.11	20.96	46.84	1946	140.077

表二

$$X = -9.328696050E-4 + 2.993016368E-6 * x + 2.035096378E-7 * y$$

$$Y = +1.596137674E-3 + 1.997774423E-7 * x - 2.993979911E-6 * y$$

CCD 影像中心座標 Center Coordinates: RA = 04h 22m 53.73s, Dec. = +19° 32' 36.1"

望遠鏡焦長 Focal Length = 7999.3mm, 像場旋轉位置角 Rotation = 3.82°

CCD 像元對應 Pixel Size: 0.62" x 0.62",

CCD 像場大小 Field of View: 10.6' x 10.6'

並給出測光結果如表二。(注意：因 GSC USNO-A2.0 星表的星等誤差較大，顏色與實際觀測系統之差異，所以測光誤差較大。)

使用 88 顆參考星 88 of 90 Reference Stars used: 測光誤差 dmag = 0.31mag

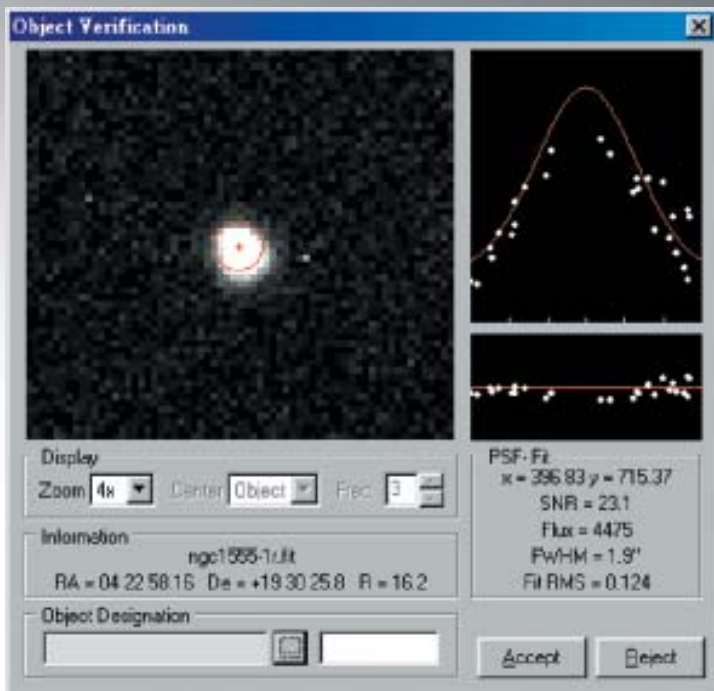
```
TIMESYS = 'UTC' / Time Scale
EXPTIME = 180.00 / Exposure time (seconds)
EQUINOX = 2000.0 / Equinox for coordinates
CTYPE1 = 'RA---TAN' / Coordinate type
CRPIX1 = +5.130000000000E+02 / Pixel coordinate of x-reference
CRVAL1 = +6.5723879649208E+01 / Coordinate at x-reference
CDELTA1 = -1.7188599913970E-04 / Image scale on x-axis, deg per pixel
CROTA1 = +3.5618129364899E+02 / Rotation of coordinate
CUNIT1 = 'deg' / Unit of coordinate
CTYPE2 = 'DEC--TAN' / Coordinate type
CRPIX2 = +5.130000000000E+02 / Pixel coordinate of y-reference
CRVAL2 = +1.9543366648181E+01 / Coordinate at y-reference
CDELTA2 = -1.7188599913970E-04 / Image scale on y-axis, deg per pixel
CROTA2 = +3.5618129364899E+02 / Rotation of coordinate
CUNIT2 = 'deg' / Unit of coordinate
OBJECT = '
TELESCOP= 'LOT'
INSTRUME= '
OBSERVER= '
NOTES = '
SET-TEMP= -50.00000000000000 / CCD temperature setpoint in C
CCD-TEMP= -50.997023809523789 / CCD temperature at start of exposure in C
XPIXSZ = 24.00000000000000 / Image Pixel Width in microns
YPIXSZ = 24.00000000000000 / Image Pixel Height in microns
XBINNING= 1
YBINNING= 1
XORGSUBF= 0
YORGSUBF= 0
IMAGETYP= 'LIGHT'
OBJCTRA = '04 23 04'
OBJCTDEC= '+19 32 29'
*BACKGRND= 3056
*RANGE = 108
*BSCALE = 1.0000000000000000 / physical = BZERO + BSCALE*array_value
*BZERO = 32768.000000000000 / physical = BZERO + BSCALE*array_value
END
```

表三

測光零點 Zero Point: 25.31mag

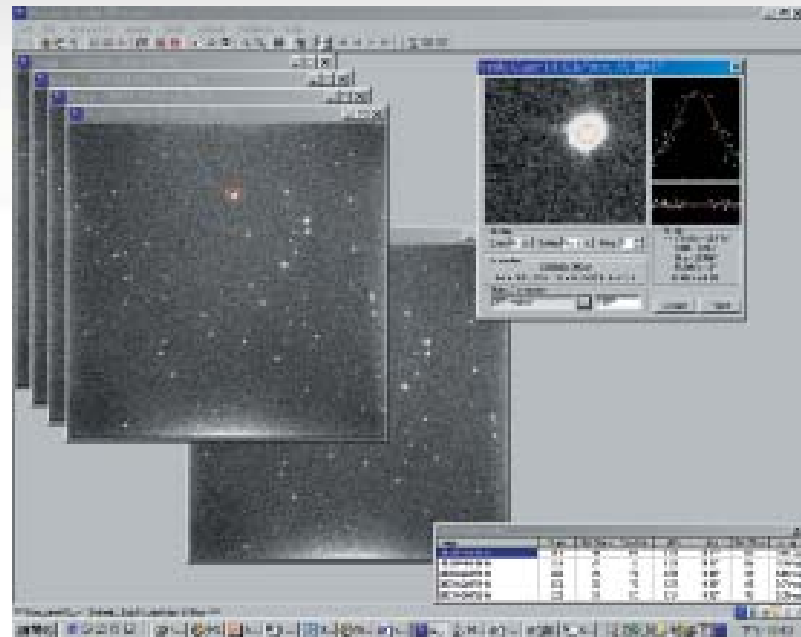
比對完畢，Astrometrica 會將相關參數存到 CCD 影像 FITS header 檔頭內 (需啟用基本設定 / CCD / Auto-Save FITS with WCS 功能)，將來開啟影像檔即可自動將 X-Y 座標轉換到 RA-DEC 座標。

經 Astrometrica 處理後修改的新 FITS header 檔頭如表三，主要增加了 WCS (World Coordinate System) 座標訊息，當要對特定天體 (如彗星、小行星、超新星...) 測量可直接點選該天體，得到測量結果 (座標及星等)，如下圖 (次頁)，再按 Accept 紀錄起來。注意 Astrometrica 測量的結果與所用參考星表有關，通常位置較準，星等誤差則較大。



4. 系統利用 USNO-A.20 星表對所有影像進行天體位置測量，測出所有星點座標，然後比對所有影像中星點位置有無規律變化，找出移動天體，最後與 MPC 小行星資料庫比對，得到結果原來這個很亮的移動天體是 787 號小行星(Moskva)，厲害吧！

5. 系統最後自動產生可以直接 email 回報給 MPC 的報表，格式如表四，



COD D35 (MPC天文台代號)
 CON H. C. Lin, Institute of Astronomy, National Central University, (聯絡人/天文台...資料)
 CON 300 JungDa Rd, Chung-li City, Tao-yuan Country, Taiwan
 CON [hclin@lulin.ncu.edu.tw](聯絡人email信箱)
 OBS H. C. Lin (觀測者)
 MEA H. C. Lin (量測者)
 NET USNO-A2.0 (參考星表)
 TEL 1.0-m f/8.0 reflector + CCD (望遠鏡觀測系統)
 ACK MPCReport file updated 2003.04.27 23:06:43

(小行星編號、觀測UT時間、測得座標 RA-DEC、R星等、MPC天文台代號=觀測者)

00787	C2003 04 24.78670 14 12 33.76 -00 48 05.1	12.8 R	D35
00787	C2003 04 24.79444 14 12 33.36 -00 48 00.3	12.7 R	D35
00787	C2003 04 24.80219 14 12 32.98 -00 47 55.6	12.8 R	D35
00787	C2003 04 24.80992 14 12 32.60 -00 47 50.9	12.6 R	D35
00787	C2003 04 24.81763 14 12 32.20 -00 47 46.0	12.6 R	D35

----- end-----

表四

移動天體測量 (多幅影像)

Astrometrica 可以自動偵測一系列 CCD 影像中有無移動天體 (如彗星、小行星...)。方法很簡單，只要對同一天區拍攝 3~5 幅影像 (至少要 3 幅)，Astrometrica 就可對每幅影像進行天體位置測量，比較各幅影像中星點位置對應，進而揪出位置變動的目標。以實例說明如下，

1. 2004 年 04 月 24 日 LOT 觀測時發現 CCD 影像中有一很亮的移動天體，猜測可能是 (已知) 小行星。

2. 將連續幾張有該移動天體的 CCD 影像丟進 Astrometrica (注意每個 CCD 影像 FITS header 檔頭時間及影像中心座標必須正確)

3. 執行 Astrometry/Moving Object Detection...

Astrometrica 測量結果，CCD 影像中：

綠圈 = CCD 影像中與 USNO-A.20 星表的對應星 (用以座標轉換解析)，藍圈 = 在所有 CCD 影像上都有的星，紅圈 00787 = 小行星 Moskva。

右下 Data Reduction Results 表為 5 幅影像天體位置測量的計算結果：Stars=CCD 影像上找到星數，Ref.s tars=USNO-A2.0 參考星數，Ref./Ast.= 用於比對星數，dRA, dDec= 平均座標誤差，Ref./Phot.= 進行測光的星數，dmag= 平均測光誤差。右上角視窗為自動比對得到的移動天體 (小行星 787 Moskva) 動畫顯示。

結語

心動了嗎？心動不如馬上行動。請馬上下載 Astrometrica，進入天體位置測量的世界。為您喜愛的天文攝影，開拓另一個春天。

* 對傳統底片測量可以使用 Astrometrica 早期的 DOS 版本，但是在觀測效率上來說是比使用 CCD 要低得多 (需要沖洗、掃描... 等冗長過程)。

作者：中央大學天文所研究助理