

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學科(一)科

第三名

052314

追星族-自製全自動追星儀

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者：  高二 鄭欣緹  高二 汪品均	指導老師：  徐以誠
---------------------------------	------------------

關鍵詞：Arduino、尋星儀、自製

## 摘要

太空探索日漸發達，夜空中的亮點不再只是單純的遠方恆星，也有可能是火箭、衛星或飛機等，以肉眼遠望夜空時經常會出現將星體與上述物體混淆的情形。若要更深入觀察及追蹤那些亮點，大多依靠望遠鏡和赤道儀的輔助，其中傳統赤道儀使用方法多為手動操作，本研究希望將這些手動的部分全部改為自動的模式，使其在使用上更為方便。

為使機器達到全自動，本次研究是以 **Arduino** 平台作為核心，結合步進馬達、九軸感測器、全球衛星定位模組及相機仿造著赤道儀製作出的全自動追星儀，而程式方面則是藉由方位角以及高度角的公式推導來找出正確的物體位置並以適當的轉動速度追蹤該物體，讓使用者不再需要手動操作儀器，體驗更便利的觀測方法並擁有舒適的夜觀生活。

## 壹、研究動機

去年我們有幸來到臺北市立天文科學教育館，裡面介紹了許多關於天文的知識，讓我們對於這方面產生興趣。而在進一步的查詢資料後，了解到目前台灣的太空中心(NSPO)及火箭研究中心(ARRC)比起美國國家航空暨太空總署(NASA)、Space X、歐洲太空總署(ASE)等西方國家的機構落後了許多，且在我們最感興趣的觀測星空方面，許多的資料及文獻都只提出粗略的尋星方式，甚至只有那些經驗豐富，受過訓練的星空導覽人士，才有辦法指認出正確的星體，大多數新手無法分辨行星與恆星的差別，更不用提指認出火箭或衛星的軌跡了。

雖有很多導覽書、網頁和手機 APP 被製造用來幫助這些沒有專業知識的人，卻沒有辦法將其他因素放入考量，他們的準確度和速度還是需要依賴專業人士，而即使在找到想要觀察的亮點後，也不一定有辦法正確的追蹤它們。

若是想要更準確地追蹤星體，就得使用到天文望遠鏡、赤道儀及相機，但是老師曾說那些器材價格並不便宜，一般人無法負擔，學校的設備又較為老舊，實在很難實行，仔細想想，如果有這樣的一台機器，不僅可以根據設定追蹤各式各樣不同的夜空物體，還可以自動辨識，告訴我們畫面中有哪些物體的話，一定是一件很方便的事情，所以我們開始了本次的研究。

## 貳、研究目的

### 一、實驗中希望可以實現價格相對於市面上較為便宜的赤道儀

目前市面上的自動尋星赤道儀非常稀少且造價高昂，以鴻宇光學出產的尋星赤道儀作為例子(圖(一))，一台的訂價為 42,600，對於一名學生，這個價錢是我們無法負荷的。

### 二、實驗中希望可以實現可自行輸入環境參數自動追蹤星體的赤道儀

因觀測者所在地點不同，可看到的星體和相對應的觀測角度是不同的，此外，隨著時間的推移，夜晚看到的星空也有所不同。一般人無法拿捏的變因造成辨認及尋找星星有一定的困難度。本研究的赤道儀希望可以依照所在的時間及經緯度去推算，自動找到正確的星體。

### 三、實驗中希望可以實現可自行設定拍照速度的赤道儀

想要拍攝不同亮度的星體，需要不同的曝光時間，越暗的星體需要越久的曝光，並且也會因為周遭亮度的不同而需要不同長度的時間。藉由電腦輸入，直接改變其曝光時間，這樣就不用在月黑的夜裡摸索相機的按鈕及開關。

### 四、實驗中希望可以實現可長時間自動追星的赤道儀

拍攝星體的方法有許多，其中一種是需要間隔時間拍攝相片以觀察星體的移動，若是在拍攝的過程，發生人為的失誤，導致錯過了拍攝時間，此次的拍攝就會有瑕疵，如果使用電腦設定好需要的拍攝時間，讓其自動拍攝，可減少人為拍攝的疏失，如此一來，不必徹夜通宵守在相機旁也能紀錄星空一整晚的美麗。



▲圖(一) 鴻宇光學自動尋星赤道儀[1]


## 參、研究設備及器材

本次研究，全自動赤道儀的製作使用了許多軟體及硬體，表(一)為主要軟硬體總整理表，表(二)為次要材料表。

軟體	硬體	硬體價錢(元)
Arduino IDE 1.6.8	九軸感測器	250
Microsoft Visual Studio C# 2015	全球衛星定位系統模組(GPS)	350
DigiCamControl 2.0.49.0	步進馬達驅動器	540*2=1080
	電源供應器 LRS-50-12	416
	Arduino Mega 2560 及其擴充板	360+150=510
	42 步進馬達（加裝 1:60 減速齒輪箱與 1：4 外部齒輪，整體減速比為 1：240）	900*2=1800
	<b>總價</b>	<b>4406</b>

▲表(一) 主要軟硬體總整理表

照片	品名	用途	規格(使用數量)	價錢(元)
	木刻板 [2]	為專門給雷射切割機的木材，作為機體的主結構	5mm:6 片 1mm:2 片 (300*450cm/片)	1200
	全向儀 三腳架	穩定儀器的位置並使其穩定操作	1 組	768
	皿頭螺 絲[3]	於需要平面的地方固定機體	M3*15mm:8 根 M3*20mm:8 根	約 100
	六角螺 帽[4]	大部分與大小相合的螺絲共用，以固定有關的接合部份	M3: 50 個 M2.5: 6 個 M2: 8 個	約為 100

	銅柱[5]	可間隔出機體需要保留的空隙	M3*15mm:8 根 M3*10mm:4 根 M3*50mm:16 根	約 250
	圓頭螺絲[6]	除使用皿頭螺絲的地方，皆使用圓頭螺絲固定機體	M3*25mm:8 根 M3*20mm:10 根 M3*12mm:8 根 M3*15mm:11 根 M3*18mm:2 根	約 250
	止付螺絲[7]	固定兩機件之相對位置之螺絲	M3*8mm:10 根	約 60
	萬向輪[8]	穩定機體旋轉方向	8 個	400
	墊片[9]	分散螺母對被連接件的壓力，保護被連接件的表面與減少振動帶來的脫離	M3: 175 片	約 350
	螺紋護套[10]	可使螺絲較容易鎖入無螺紋的木板，且其螺紋有高強度、耐磨損，具有互換性	M3*3D: 33 個 M3*2D: 20 個 M3*1.5D: 12 個	約 450
	齒輪	其表面有齒能連續嚙合傳遞運動和動力，且部分有增加扭力的功用	4 個	600
	軸承[11]	當主軸旋轉時，可保持軸的中心位置及控制該運動	7 個	約 560
	主軸[12]	作為主幹與連結齒輪	2 根	約 40
總價				5128

▲表(二) 次要材料表

### 一、 九軸感測器 GY9255[13]，圖(二)-(a)

本機器希望可以藉由九軸感測器來偵測目前機器的姿態，表(三)為我們使用的九軸感測器之規格。九軸感測器是一個包含加速度感測器、角速度感測器以及地磁感測器的裝置，若是從原理來看，地磁感測器可以偵測到地球上的磁場，將磁場投影在三軸上來算出角度，只使用地磁感測器就可以得到相機旋轉的角度，但現實中會有其他充滿磁力的物品影響到地磁感測器的結果，所以裝置需要其餘二種感測器組合在一起，以達到更精確的測量。

使用芯片	供電電源	磁場範圍(uT)	陀螺儀範圍(°/s)	加速度範圍(g)
MPU-9255	3-5v	±4800	±250 500 1000 2000	± 2 ±4 ±8 ±16

▲表(三) 九軸感測器規格

### 二、 全球衛星定位系統模組(GPS) GY-GPS6MV2 [14]，圖(二)-(b)

全球定位系統是由 24 顆衛星組成，在地球表面絕大部分地區都可提供定位，且使用低頻訊號，縱使天候不佳仍能保持相當的訊號穿透性。GPS 模組收到的經緯度位置可提供程式作為換算地方恆星時以及待觀測星體方位角與高度角的重要參數，表(四)為 GPS 模組的規格。

GPS 模塊	電源	最大更新率	最大海拔高度	工作溫度
NEO-6M	3V ~ 5V	5 Hz	50000 米	-40°C ~ 85°C

▲表(四) GPS 規格



(a)九軸感測器






(b)GPS 模組

▲圖(二)

### 三、 Arduino Mega 2560 及其擴充板

經由 Arduino Mega 2560 可與電腦做溝通，並傳送控制命令至馬達、馬達驅動器、GPS 模組及九軸感測器等外部硬體。兩組馬達與馬達驅動器 16 個腳位，GPS 模組與九軸感應器 8 個腳位，與兩個微控開關 6 個腳位，總需 30 個腳位，所以我們選用含有數位腳位較多的平台，而 Arduino 系列總共有三種含有 54 支數位腳位的平台：MEGA 2560、Due 與 Mega ADK。

由表(五)之比較，因使用的步進馬達驅動器以及 GPS、九軸感測器皆需要 5V 工作電壓，提供 3.3V 的 Due 不符合需求，而 Arduino 平台主要功能為簡單控制馬達等硬體，Mega ADK 的 Android 系統太過複雜，所以經過適用性的考量，我們選用可以提供工作電壓 5V，適用系統為 Arduino 的 MEGA 2560。

平台	MEGA 2560[19] 	Due[20] 	Mega ADK[21] 
工作電壓	5V	3.3V	5V
適用系統	Arduino	Arduino	Android
數位腳位	54	54	54
類比腳位	16	12	16
記憶體	256 KB	512 KB	256 KB
Clock Speed	16 MHz	84 MHz	16 MHz
價錢(元)	360	650	1950

▲表(五) Arduino 平台比較

#### 四、 步進馬達驅動器[15]，圖(三)

馬達驅動器上有 SW1 至 SW7 總共七個開關，其中 SW1 至 SW3 可通過對照不同的步進馬達型號輸出不同需求的電流量，SW4 的開關可決定是否要將電流量減半，而 SW5~SW7 則是精密控制其輸出電流使馬達有更小的步進角。在馬達驅動器上還有四條電線與 Arduino 平台做連接，分別為 PUL、DIR、ENBL 與 5V，PUL 可給予馬達切換極性的訊號，通常稱此訊號為脈衝訊號；DIR 可通過 H 橋切換旋轉的方向；ENBL 藉由有無電流通過判斷開關機；最後，因此部分功能需 5V 工作電壓，所以需要從 Arduino 平台拉 5V 供電。



▲圖(三) 步進馬達驅動器



## 五、步進馬達(加裝 1:60 減速齒輪箱與 1:4 減速齒輪)[17]，圖(四)-(b)

馬達可以帶動機體旋轉至對應的位置或是持續地轉動以觀察或追蹤星體，而市面上常見的馬達有三種，步進馬達、直流馬達與伺服器馬達，表(六)為我們整理後的優缺點，從此可知步進馬達的穩定性可幫助在靜止時維持器材需要的力矩與精確地轉到我們需要的角度，且價格比起伺服器馬達低上許多，所以此次實驗我們使用步進馬達作為平台的致動器。

種類	優點	缺點	價錢(元)
步進馬達 [15]	1. 精確性:精確的位置和速度控制 2. 穩定性:靜止時具高保持轉矩 3. 誤差小:重複及定位精度高，不會有角度累積誤差	1. 若發生失速或失步的情況，無法立即作修正補償 2. 在某一頻率容易產生振動或共振現象	900
直流馬達 [16]~[19]	1. 限制小:不受電源頻率限制可以製做出高速馬達 2. 速度控制佳:只需控制電壓比較簡單容易	1. 低速啟動時易有輕微震動，易形成共振 2. 無法做精密定位控制	350
伺服馬達 [20]	1. 控制性佳:轉速可以精確控制，範圍廣，可等速運轉，還可隨時變更速度 2. 用時少:靜態與動態運作的轉換費時極短 3. 穩定性佳:即便有外力附加仍可以保持位置	1. 須依據機構之負載與剛性調整而進行較繁鎖的增益調整設定 2. 因屬於閉回路控制模式所以於停止動作時無法達到完全靜止之動作，即尚有抖動情形。	7500

▲表(六) 三種馬達比較

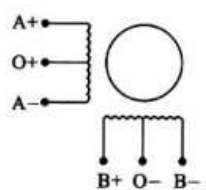
現有的步進馬達可分為兩相、四相與五相，其數字代表馬達內部有幾個線圈，而我們使用的馬達為兩相，表示步進馬達的內部有兩個線圈，藉由輸入電流可使線圈產生極性，在相互供電的過程之中，可使擁有永久磁性的轉子向前進，以圖(四)-(a)作為範例，L1 線圈通電產生磁場後，轉子會向前轉動一步，接著將 L2 線圈通電並停止輸出 L1 的電流，轉子就會轉向 L2 的方向，如此一步一步地使磁鐵旋轉便能讓馬達運轉，此旋轉角度稱為步進角。



步進角還可藉由輸出電流的方式分為不同細分，同樣以圖(四)-(b)為範例，若同時輸出 L1 與 L2 的電流，可使轉子轉至線圈中間，步進角就會減半，由此原理，可使馬達旋轉角度更接近我們所需角度。此外，在步進馬達上還加裝了 1:60 減速齒輪箱與 1:4 減速齒輪，使步進角可縮小 240 倍，扭力同時增加到 720 牛頓・米。

軸心	步進角	扭力	電壓	安培	大小
5 mm	0.015°	720 牛頓・米	6.24V	0.6A	42*42*40(mm)

▲表(七) 馬達加裝 1:60 減速齒輪箱與 1:4 減速齒輪後規格



(a)馬達原理



(b)步進馬達

▲圖(四)

#### 六、電源供應器 LRS-75-12[16]，圖(五)

我們使用的電源供應器可將 85~264V 的交流電轉換成 12V 電壓供給給機器使用，而本機器需電的硬體有馬達、馬達驅動器、Arduino 平台、GPS 與九軸感測器，經過計算後，如表(八)所示，其總需電量為 22.18W，而此電源供應器可提供 75W 的電量，遠大於我們所需，所以此電源供應器所提供功率足夠支撐機體運轉。

硬體(數量)	安培(A)	電壓(V)	算式	需電量(W)
馬達(2 台)	0.6	6.24	$0.6 \times 6.24 \times 2$	7.488
馬達驅動器(2 台)	0.6	12	$0.6 \times 12 \times 2$	14.4
GPS(1 台)	0.055	5V	$0.055 \times 5$	0.275
九軸感測器(1 台)	0.0034	5V	$0.0034 \times 5$	0.017
總計	$7.488 + 14.4 + 0.275 + 0.017$		22.18W	

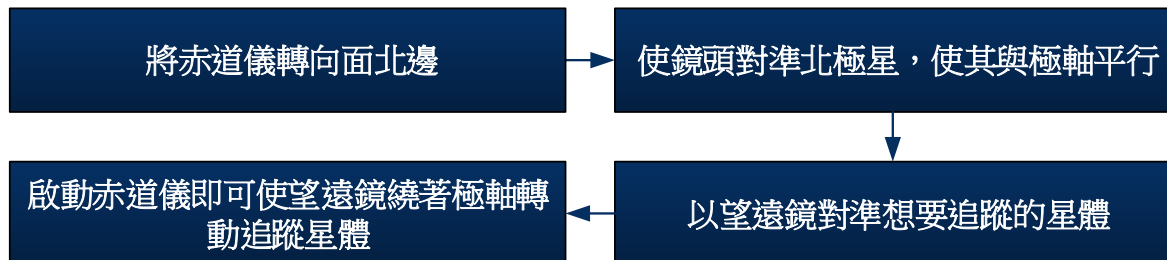
▲表(八) 功率計算



▲圖(五)電源供應器

## 肆、研究過程或方法

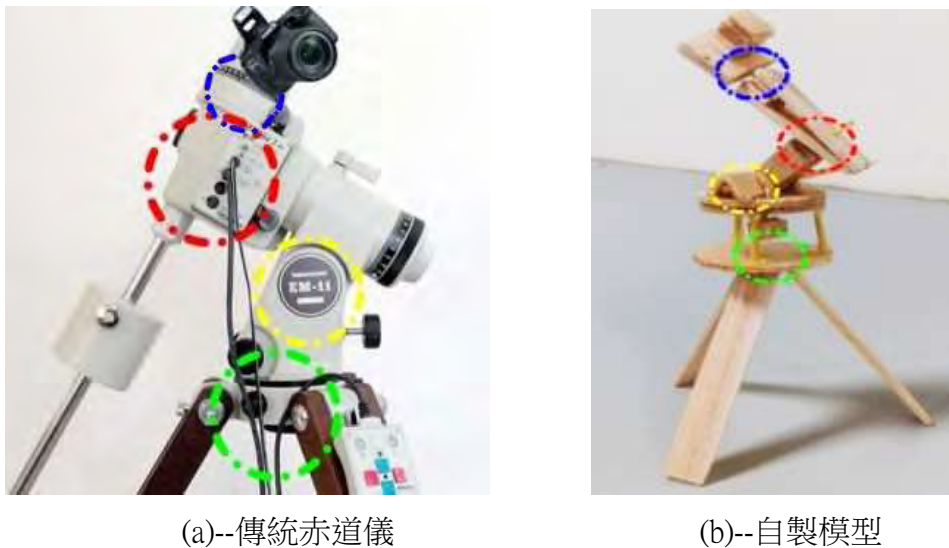
### 一、初始構想



▲圖(六) 赤道儀操作流程

為實現全自動追星儀，我們參考了手動赤道儀為範本，圖(六)為赤道儀需要的四個步驟，從此可知若要完全以電腦控制其轉動，總共需要四個步進馬達，下圖(七)為初步模擬轉動的模型與專業赤道儀，其標記處是須轉動所以加裝馬達的地方，分別為轉動北極星的方位角(綠色)、高度角(黃色) 與星星的方位角(紅色)、高度角(藍色)的馬達。

進一步查取資料後，發現北極星的位置並不一定為極軸，且極軸的指向是沒有星體的，加上四個馬達的重量不一定能讓機體承受，因此我們想出了另一個方案。



▲圖(七)

### 二、改善後的構想

我們發現每個星體都有自己固定的赤經與赤緯，其中，赤經赤緯的功用與地理座標系很像，其不同的地方在於標記的物體，赤經赤緯有標記每顆星體經過子午圈的時間與位置，且現在已有公式可以藉由此座標來換算星體現在的方位以及高度，就算不尋找極軸

也可以尋找到星體，所以我們扣去尋找極軸的兩顆馬達，剩餘兩顆馬達來旋轉至我們的角度。

### (一) 最初結構設計

上圖(八)-(a)是最初的結構設計圖，我們希望這台機器可以被放置於腳架上，因此在底部設置螺帽。此外為了全自動追星，本圖概要地指出馬達放置的位置及繪出大略的機體構造。由圖中可以看到，雖只是初步的構圖，但已討論出馬達、齒輪及主軸應如何設置才能帶動相機正確地旋轉。

### (二) 實際完成

在經過多次的討論與調整後，實際完成的硬體如圖(八)-(b)(c)所示。



(a)機體設計圖

(b)實體圖

(c)腳架上的實體圖

▲圖(八)

### 三、硬體架構

機體可細分為 4 層，底層、中層、上層以及頂層。

#### (一)底層，圖(九)-(a)：

底層是不須旋轉的一層，所以將大部分的硬體都放置於此層，若是放置於其他層，可能因馬達無法提供足夠的力矩而無法順利運轉，而為墊出放置硬體需要的高度，使用八根銅柱作支撐，其餘如可轉換並提供馬達電源的電源供應器、接收訊號並調節輸出電流的馬達驅動器、用於控制方位角旋轉的馬達和主要與電腦溝通且可傳達訊號給其他模組及馬達的 Arduino Mega 2560 皆放置於此層。

#### (二)中層，圖(九)-(b)：

此層為方位角旋轉的過度層，有齒輪與馬達齒輪銜接使得中層以上的部分可做水平方向的旋轉，此層另外設立的 8 個萬向輪不僅可幫助支撐上層木板使其能穩定旋轉且能使上層不至於因為旋轉造成的重量不一而傾斜。此外，為了讓萬向輪的滾動更為順暢，特別使用顆粒極細的砂紙將中層表面打磨製平滑減少阻力。最後，於此層中間設置一個洞可以讓上層及頂層訊號傳遞的模組跳線可以通過。



(a)底層圖



(b)中層圖

▲圖(九)

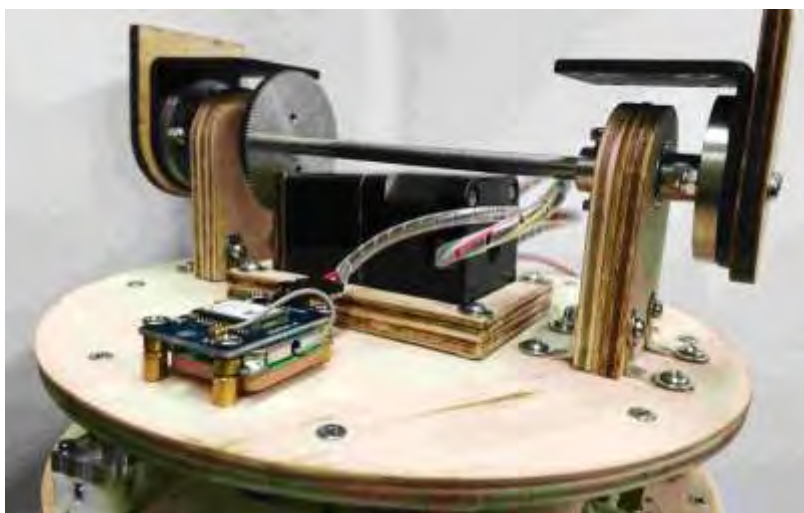
#### (三)上層，圖(十)-(a)：

這層有轉動高度角的馬達，其兩側分別放置支撐架，使頂層能平順的由齒輪帶動其旋轉，而頂層重量大約為 836 g，到馬達的距離約為 15cm，參考表(五)可知使用的馬達扭力最大為 720 牛頓·米，計算之後，可發現機器能承受的相機重量範圍很大。另外，GPS 模組放置於能直接暴露在天空下的上層，使訊號可較順利地被模組接收。



(四)頂層，圖(十)-(b)：

放置相機的平面設計成英文字母 I 字形，在兩邊以拆卸較為方便的 8 個螺絲鎖上金屬片，如此一來若更換不同尺寸的相機也可以經由調整使得相機鏡頭位於正中心。同樣放置於此層的九軸感測器其用途為將角度及運動相關資訊傳至電腦以修正相機的位置，所以將此與相機一起放置於方位角及高度角皆能有所改變的頂層。



(a)上層圖



(b)頂層圖

▲圖(十)

#### 四、演算法

##### (一) 天球座標系統

天球就是以地球為中心，往外投射出一個圓球，在上面加座標即是天球座標，而天球座標分成兩種：

##### 1. 赤道座標系統

赤道座標系統是絕對座標，有赤緯和赤經兩個方向的軸。赤緯英文縮寫為 DEC，就是以一圈赤道投射至天球上形成一個座標軸，赤經縮寫為 RA 則是以通過春分點的經度為 0 度並向東轉 360 度為座標。

##### 2. 地平座標系統

地平座標系統是相對座標，以觀測者的位置為原點，並分成方位角和高度角兩個軸。方位角縮寫為 AZ，以正北方作為 0 度，並向東轉 360 度；高度角縮寫為 ALT，為目標物與地平線的夾角。

若是要知道觀測時星體的位置，就需要得知它的地理座標，但因星體在不同時間會

有不同的地理座標，我們只能從固定的赤道座標來推導出他目前的位置，而每顆星體的赤道座標在維基百科上就可查詢到，只需將公式 1-1 與公式 1-2 帶入即可。

$$ALT = A \sin(\sin(LAT) * \sin(DEC) + \cos(DEC) * \cos(LAT) * \cos(HA)) \quad \text{公式 1-1}$$

$$AZ = A \cos\left(\frac{\cos(LAT) * \sin(DEC) - \sin(LAT) * \cos(DEC) * \cos(HA)}{\cos(ALT)}\right) \quad \text{公式 1-2}$$

## (二) 儒略日 JD[27]

天文學上以儒略日來計算日數，儒略日起源為古羅馬儒略凱撒修改古羅馬曆法，其起始點為西元前 4713 年 1 月 1 日世界時 12:00，這一天的儒略日是 1，接著順數而下的每一天賦予一個數字，他的計算方法跟西曆一樣，將一年分為十二個月，每四年設置一閏年，閏年的二月加多一日成為 29 日，總計四年會有 1461 日，平均每年日數為  $1461/4=365.25$ ，但較準確回歸年 365.2422，與每年日期平均值相差 0.0078 日，即每 100 年會有 0.78 日偏差，偏差累積至 16 世紀已經有十幾天，所以在 1582 年，格勒哥里十三世刪去了十日。

西曆的計日方法中，可以發現 3 至 7 月與 8 至 12 月的日期數皆是由 31、30、31、30、31 組成，總數為 153 日，以此來看，平均月份日期數為 30.6 日，且數學界除了 1、2 月，每年的月數在加 2 後乘上 30.6 後的數字與確實的累積日數會相差 63，而 1、2 月的累積日期數因不會超過 63 日，因此將這兩個月假設為 13 和 14 月，所以計算此公式前，須先將年分與月份做換算，若是月份數為 1、2 月的話，要將其假設為 13、14 月，同時年份須減一。

365.25 為一年的平均數，乘上年份就可求出完結年份的天數，而儒略日是從西元前 4713 年開始算起，因為計算當年還沒結束，所以 4713 會減去 1，變為 4712，同樣的道理，當月還未結束，所以需減去 1。

因每世紀會相差 0.78 日，所以計算每過去一世紀，減去一，每過去四世紀，加回一天，而儒略日曾在 1582 年為此原因改過曆，所以計算過去 15 世紀，總共需減去 12 日，比儒略日修改 10 日，多了兩日，所以再算式中再加上 2 日，最後因儒略日從中午 12:00 開始計算，需減去 0.5，就可算出正確的儒略日。

$$JD = \text{int}(365.25 * (Y + 4712)) + \text{int}(30.6 * (M + 1)) - 63 - \text{int}(Y / 100) + \\ \text{int}(\text{int}(Y / 100) / 4) + 2 + D - 0.5 + ((h - 12 - UT) / 24) + (m / 1440) + (s / 86400) \quad \text{公式 2}$$

### (三) 本地恆星時 LST 與時角 HA

地球自轉時，單一地理位置對應其天頂的位置會隨時間改變，所以星體出現的時間也會有所不同，而藉由計算時角可知道在當時星體出現的位置與星體的赤經赤緯相差幾度，時角的定義為赤經及本地恆星時的差值，恆星時是根據地球自轉來計算，其基準點為格林威治時間 0 度，再使用本地的經度可求出本地恆星時，當求得本地恆星時之後，藉由星點赤經與本地恆星時的差，便可以確認當時星體與其赤經赤緯相差幾度。

公式 3-1 是將儒略日換算為儒略世紀；公式 3-2 為換算格林威治恆星時，公式 3-3 再將它換成時角，最後公式 3-4 轉換成本地恆星時，單位是小時。算出地方恆星時後再帶入公式 3-5 即可算出時角，單位同樣為小時，若是要帶入換算方位角及高度角，需換算成度數。(Long = 經度)

$$T = (JD - 2451545) / 36525 \quad \text{公式 3-1}$$

$$\theta = 280.46061837 + 360.98564736629 * (JD - 2451545.0) \\ + 0.000387933 * T^2 - T^3 / 38710000 \quad \text{公式 3-2}$$

$$\theta = (\theta \% 360) / 15 \quad \text{公式 3-3}$$

$$LST = (\theta + \text{Long} / 15) \% 24 \quad \text{公式 3-4}$$

$$HA = LST - RA \quad \text{公式 3-5}$$

### (四) 馬達旋轉角度的計算

一天裡星星可以轉動約 360 度，因此一秒轉動的角度  $A_s$  大約為 0.004166667 度(公式 4-1)，裝上 1:60 減速齒輪箱與 1:4 減速齒輪後，原本馬達步進角 3.6 度可縮小為 0.015 度(公式 4-2)，新的步進角定義為  $A_{\text{Step}}$ 。

然而，相對於  $A_s$  而言，即使是經過縮小的  $A_{\text{Step}}$  仍太大，因此我們加裝有八種細分模式(整步、半步、4 細分、8 細分、16 細分、32 細分、64 細分、128 細分)的馬達驅動器。有了能使用的小角度後，為了配合步進馬達只能轉動特定步進角，我們將其與  $A_s$  相除得到不同細分數下的步進角，定義為  $A_n$  所能達到最接近  $A_s$  之整數倍，再將其與



$A_s$  相減得到角度差，結果為表(九)所示，因此我們選用角度最小並且角度差也最小，可達到最精確轉動的 128 細分模式。

$$A_s = 360 \div (24 \times 60 \times 60) = 0.00416666\bar{6} \text{ B } 0.001466667 \quad \text{公式 4-1}$$

$$A_{Step} = 3.6 \div 60 \div 4 = 0.015 \quad \text{公式 4-2}$$

細分數 $A_n$	公式 $A_{Step}/n$	角度 $A_n$	公式 $A_s\%(A_{Step} \times \text{最大整數倍})$	角度差
1	$0.015/1$	0.015	$0.001466667\%(0.015 \times 1)$	0.00146667
2	$0.015/2$	0.0075	$0.001466667\%(0.0075 \times 1)$	0.00146667
4	$0.015/4$	0.00375	$0.001466667\%(0.00375 \times 1)$	0.00146667
8	$0.015/8$	0.001875	$0.001466667\%(0.001875 \times 1)$	0.00146667
16	$0.015/16$	0.0009375	$0.001466667\%(0.0009375 \times 4)$	0.000520833
32	$0.015/32$	0.00046875	$0.001466667\%(0.00046875 \times 9)$	0.00005208333
64	$0.015/64$	0.000234375	$0.001466667\%(0.000234375 \times 18)$	0.00005208333
128	$0.015/128$	0.0001171875	$0.001466667\%(0.0001171875 \times 36)$	0.00005208333

▲表(九)角度差

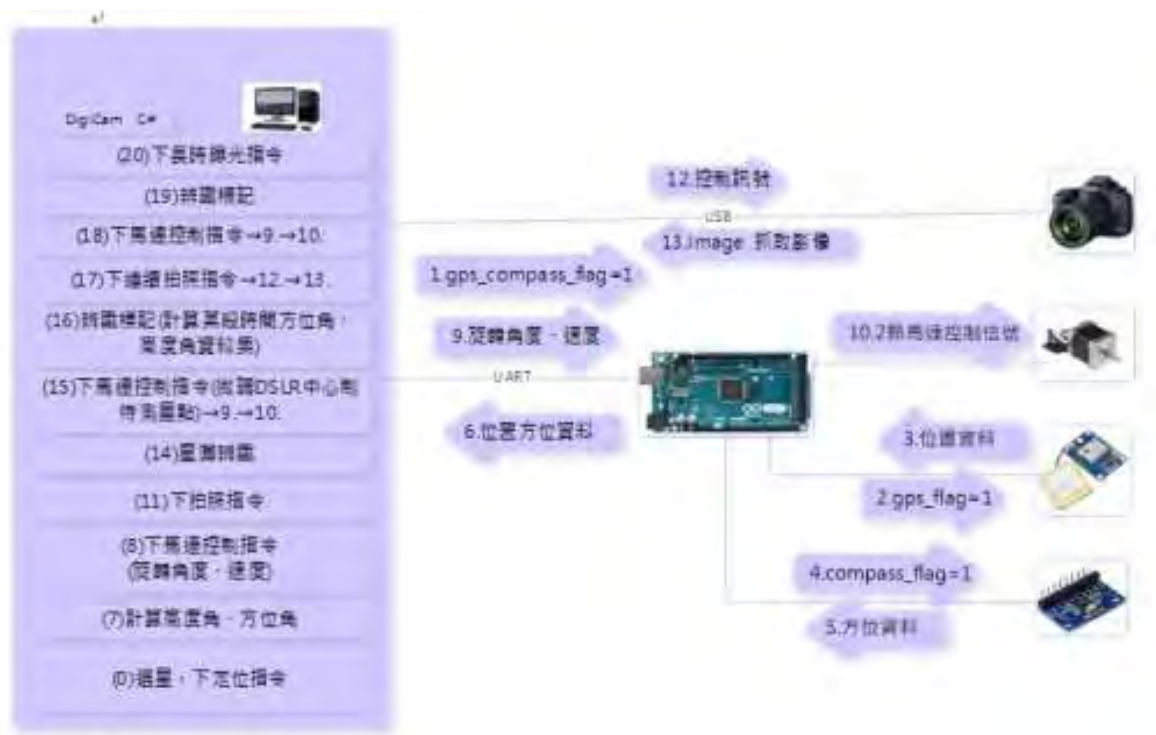
## 五、軟體架構

圖(十一)為初步設定裡電腦與機器上硬體運作的流程圖，但目前還未將程式完成至此，實際完成的程式流程為下：先叫出了 digiCam Control 的介面，在表單裡選擇連接 Arduino 的 port，再使用 Arduino IDE 取得地理座標系，將地方經緯度、觀測時間及星體赤道座標輸入表格內後，程式會套入公式內，畫面會顯示出要轉的角度，按取相對應的按鈕後，就可使機體轉到正確地位置，這時就可在相片內找到我們要的星體。

其中，我們使用了 digiCam Control 作為程式的輔助，是一款免費的拍攝軟體，它可自動偵測所接相機的型號，也可直接在程式介面上控制拍攝與相關的數值，在需長時間間隔的拍攝星體時，在軟體內即可直接設定幾秒拍一張，添加上我們的程式後，馬達的轉動就可配合星體的移動，拍攝出可觀測星體移動方向的照片。

Arduino	電腦
給予 GPS 資料	換算公式
給予九軸感測器資料	給出指令到 Arduino
馬達運作	傳出拍攝指令

▲表(十) 程式整理表



▲圖(十一)程式流程圖



▲圖(十二) 實際程式圖

## 伍、研究結果

### 一、GPS 的定位結果

我們所在的地理座標是換算星體位置的重要參考因素，若是有些微誤差都可能導致結果錯誤，所以為了檢測 GPS 模組偵測的位置是否完全正確，我們使用手機以及 Google 地圖上的資料來做比較。

手機顯示出來的結果是由衛星及 Wifi 來相互對照出的正確位置，而 Google 地圖位置則比較偏向理論值，從表(十一)可看出，手機與 GPS 模組偵測結果相當接近，且與 Google 地圖得出位置的誤差不超過小數點第三位，所以 GPS 模組對於公式換算的誤差並不會非常大，圖(十三)為我們如何取得這些數據。

地標	GPS 模組	手機(衛星+wifi)	理論值(Google 地圖)	誤差(%)
永貞國小	24.680459	24.680466	24.680530	0.000028
	120.883647	120.883600	120.884101	0.000039
新竹女中	24.805370	24.805417	24.805613	0.000190
	120.974784	120.974650	120.974514	0.000111
東門城	24.804298	24.804083	24.804232	0.000867
	120.970387	120.970600	120.970329	0.000176

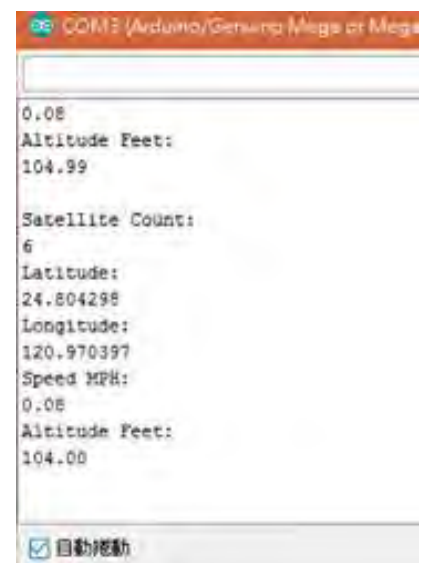
▲表(十一)GPS 比較圖(誤差為 GPS 模組與手機)



(a)手機



(b)Google



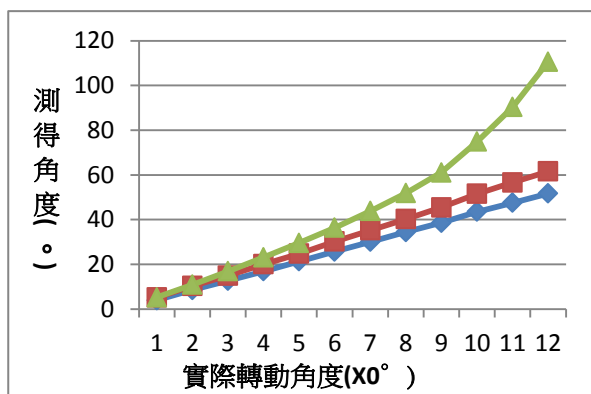
(c) 程式

▲圖(十三)

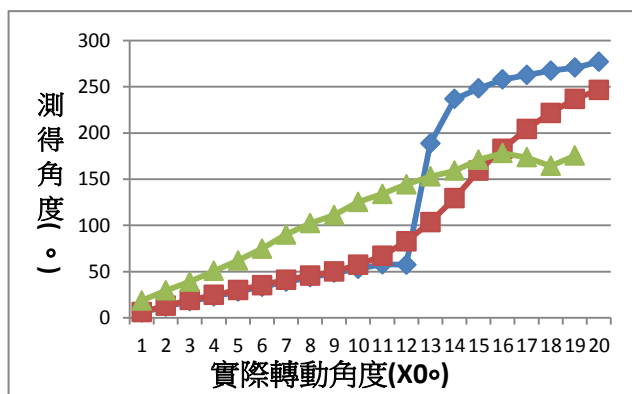
## 二、九軸感測器測試

我們在設計中是以九軸感測器來感測相機的姿態，所以對於控制方位角及高度角的馬達分別做了測試。在這裡將九軸感測器校正一次後所測的數值定義為一次實驗，上層馬達一次測定  $0^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，而底層的馬達因在超過  $200^{\circ}$  時常有失真的現象，所以底層一次測定  $0^{\circ} \sim 200^{\circ}$ 。

實驗中，我們發現九軸感測器感測到的並不是馬達實際轉動的角度，但從下列經過整理的曲線圖中可以發現，它所偵測到的值會有漸升的現象，且每次的曲線圖皆不同，我們配斷可能是因為每次校正九軸感測器時會因手動甩八字形校正造成每次測定出的曲線不同，但實驗中，我們還發現九軸感測器有在固定角度會有同樣的值的特性，所以我們推測只要先測出在每個固定角度的數值就可以找到馬達實際轉動的角度了。



(a)上層馬達



(b)底層馬達

▲圖(十四)

## 三、旋轉角度檢查

為了檢查馬達是否照著輸入的角度轉動，我們也做了實驗，下圖(十五)是實驗的做法，將圓規對準軸心，以金膠帶來檢查，但因實驗器材的簡陋，我們無法測出更細微的角度，現今只確認對於整數角度的轉動皆為正確。



▲圖(十五)



四、星圖軟體的截圖和實際照片的比較

本來設計是可直接在程式介面直接選取在星體，但目前城市還未完善，還需自行從維基百科中尋找到星體的赤道座標系輸入及將 GPS 模組接收到的位置複製入表格內，圖(十六)為 3/18 時我們來到了合歡山的昆陽停車場拍攝的測試，當地的地理座標為(24° 07' 21.3"N,121°16' 20.6" E)，以拍攝星體圖與觀星軟體 Stellarium 做比較。



▲圖(十六)程式圖



角度	高度角	方位角
程式計算	46.219752722217983	36.011234686393827
Stellarium	46.155444444444444	36.217822222222222
誤差(%)	0.001393297769041	0.0057288794051534



## 五、價格比較

次要材料總共有 13 種，分別為木刻板、三腳架、六角螺帽、銅柱、螺絲、萬向輪、墊片、螺紋護套、齒輪、軸承及主軸，價錢總和約為 4406 元，而硬體總共有 6 種，分別為九軸感測器、全球衛星定位系統模組、步進馬達驅動器、步進馬達、Arduino 平台以及電源供應器，價錢總和為 5128 元，兩種相加約為 9534 元，若是再加上些價錢上的誤差，總金額大約為一萬出頭，比起定價 42600 的鴻宇光學自動尋星儀低上許多，可看出此次實驗的主要目的達成了。



## 陸、討論

### 一、硬體：

當我們照著初步設定組裝機體時，發現有許多誤差，經過了測試後，做出了以下調整：

#### (一)四爪釘，圖(十七)-(a)

木板材質較軟，將四爪釘敲入時，容易造成傾斜，支撐軸精度也因此受到影響。中層固定座重量不輕且需貼緊上層，若使用四爪釘，下層將無法與上層維持平行。

#### (二)MEGA2560 短路的解決，圖(十七)-(b)(c)

當我們將 MEGA2560 裝上擴充板，USB 座金屬部分會與其發生短路，初步我們試圖使用絕緣膠帶，但是鎖上 L 型固定片時，容易壓迫到板子，造成金屬突出，所以我們加上較薄的海綿，以防因擠壓形成短路。裝置 L 型固定片的位置旁，也有許多凸起的金屬，我們同樣的使用絕緣膠帶做簡單處理，依舊造成短路，後來改使用螺絲膠包覆金屬突出，才使整塊 MEGA2560 正常運作。

#### (三)相機位置墊高，圖(十七)-(d)

頂層的設計本是將相機直接設置於木板上，可在測試轉動時發現木板傾斜程度若是過大，會與上層木板相撞，因此加裝十片 5mm 木板將相機墊高，以避免碰撞機體損壞。



(a)四爪釘



(b)海綿



(c)螺絲膠



(d)相機

▲圖(十七)

#### (四) 皿頭螺絲，圖(十八)-(a)

下層的支撐銅柱需使用螺絲與中層做固定，但因中層轉動須避免有任何阻力影響方位角發生誤差，萬向輪需在完全平坦的面轉動，因此選擇頂部平坦的皿頭螺絲且使用砂紙增加平滑度，以降低阻力造成運轉不順。

#### (五) 主軸換較粗，圖(十八)-(b)

放置相機的位置與馬達有一段距離，導致其需要力矩較大，原始位於上層主軸的直徑 6.28mm，實際運轉發現主軸與齒輪沒有緊密嵌合，導致阻力不足，有滑動的現象，所以將主軸換成直徑 6.34mm。

#### (六) 第一層馬達墊高，圖(十八)-(c)

我們將控制方位角的馬達鎖在中層，但因第一層高度遠遠高於馬達的高度，為防止重量分布不一造成傾斜，在下面墊上適當高度之木板。

#### (七) 驅動器墊高，圖(十八)-(c)

為了方便將馬達的線接到驅動器上，將兩個驅動器的相對位置設計成一上一下，



如此一來整體組裝好後在操作馬達驅動器的細分切換時會較為方便。

(a) 皿頭螺絲

(b) 主軸更換

(c) 馬達與馬達驅動器墊高

▲圖(十八)

#### (八) GPS 模組放置位置，圖(十九)-(a)

在學習使用 GPS 時，常常發生因位於室內收不到訊號的狀況，因此將 GPS 模組放置於相對較能暴露於天空下的上層。

#### (九) 止付螺絲

我們使用止付螺絲固定主軸與馬達上的各種齒輪及固定座，剛開始使用的是無頭

內六角止付螺絲，但是因為無頭內六角較難施力，無法提供足夠的阻力防止機體滑動。

因力矩原理，換成有頭內六角施力臂較長，可以鎖得較緊。

#### (十)九軸模組，圖(十九)-(b)

使用九軸模組的目的為偵測相機的位置與運動，放置於頂層可配合上層的方位角旋轉與頂層的高度角旋轉，而偵測到方位角與高度角的轉動情形。

#### (十一)新增微控開關，圖(十九)-(c)

經過多次使用後，我們發現使用時若沒設定好適當的角度，馬達就會一直運轉，即使頂層已經和上層的木板相撞也不會停下來。因此在頂層的下方加上開關，如此一



(a)GPS 模組



(b)九軸感測器



(c)微控開關

來就可以及時阻止頂層與上層的相撞，也可以使其在我們設定好之後才開始旋轉。

▲圖(十九)

## 二、軟體與演算法：

### (一)儒略日計算:

為了驗證我們的公式(公式 2)算出來的儒略日相同，列出了表(十五)，查詢結果參照網址 <http://www.jgiesen.de/astro/astroJS/siderealClock>，可以發現公式算出來的結果正確。

設定日期	公式	查詢結果
2013.3.25 1:00	2457436.12500	2457436.12500
2016.2.17 23:00	2456376.20836	2456376.20836
2017.3.19 10:00	2457831.20836	2457831.20836

▲表(十五) 儒略日計算值與實際時比較

(二)方位角 ALT 與高度角 AZ:

由表(十六)可知，我們使用的公式誤差不超過  $1^\circ$ ，可對於遙遠的星體， $1^\circ$  也有可能讓我們找不到星體，目前可知公式 1-1 與公式 1-2 為反三角函數，在打入程式時，需將角度轉換成弧度，轉換的過程中可能會發生些微的誤差，且計算後在轉換成角度同樣會有些微的誤差，我們西衛未來可以修正這些誤差，達到不超過小數點第三位的誤差。

星體	參宿二	天狼星	五車二
時間	2017.1.27 21:15	2017.2.10 20:00	2017.2.27 0:00
赤經	05h 36m 12.8	06h 45m 08.9173s	05h 16m 41.3591s
赤緯	$-01^\circ 12' 06.9''$	$-16^\circ 42' 58.017''$	$+45^\circ 59' 52.768''$
經度	25	25.1	24.5
緯度	121	121.5333333	120.6
計算出的方位角	186.1964654264718	154.18945116399556	311.31949825968684
計算出的高度角	64.06923784286119	44.27082230673016	24.797869666438295
實際查詢方位角	185.6150833333333	153.9725	311.14772222222222
實際查詢高度角	63.695	44.1875	25.421088333333333
方位角誤差	0.5813820931385	0.2169511639955	0.6232136668950383
高度角誤差	0.37423784285119	0.08332230673016	0.17177603746462

表(十六) 計算結果

## 柒、結論

本研究截至目前為止已可藉由輸入欲追蹤星體的赤經及赤緯和全球衛星定位系統模組所取得的位置以正確轉動，還能計算儒略日與恆星時，帶入公式後，也可以不大於  $1^\circ$  的誤差去尋找指定的星體，並且可以在轉動完成找到星體後直接設定拍照時的相關功能，更重要的是，我們自製的全自動追星儀總價與市面上的赤道儀平均價格相較之下便宜許多。

這次的研究雖然已經有些結果，但仍然不能稱為完整的研究，尚有許多可以改善或是待深入探討的部分，如誤差值在做更進一步的修正及將程式更加完善，研究過程中也經常想到若是加入新功能可以讓此設備帶來更大的方便性，例如材料的選用及星座的相片辨識。

即使星星不停在轉動，肉眼仍無法直接看出其運動軌跡，基於這項理由，追星儀不能人工校正誤差，因此我們的儀器必須非常精確。在組裝的過程中發現木板經常受壓彎曲，造成組裝時的不方便及每一片木板的相對位置不一定為水平，這很有可能影響到整台機器的重量分布不均及轉動時的不精確，導致無法轉動至所需的位置。因此我們覺得可以使用壓克力板取代木板的部分作為改善，因壓克力板不易彎曲、硬度較大，表面光滑不須砂紙打磨即可供萬向輪在其表面滾動，且不會因為受潮而變形，如此一來精度會較現在的機體高。

在藉由追星儀找到星座的正確位置之後，身為天文觀測新手的我們還是無法判斷出每個星座的正確形狀及分布位置，所以我們認為若是可以繼續製作與星座辨識相關的主題會讓本研究更完整。若程式自動拍下照片之後還可以自動辨識並且標記出星座的形狀，給予使用者正確的星點連線，這樣一來觀察星空就可更加方便，更進一步還可以收集各式在太空中的火箭、衛星甚至望遠鏡之位置，並一起標註在相片中。試想不需要依靠星圖軟體及導覽書，也不需要請教早已講話講得口沫橫飛的專業人員，就可以馬上知道照片中的星星如何排列成一個星座，也可以知道照片中是否有包含到特別的星團或星雲，甚至還能知道那些閃爍著異樣的亮點是否是人造衛星或火箭，將會是一件多麼神奇的事！

本研究希望可以用低成本幫助熱愛天文的人及尚不了解天文的人一同踏入天文的世界，也期許攝影愛好者能不受經濟條件限制拍出更美麗的照片，並希望在不遠的將來可以經過改良提高精度還有完成自動辨認的技術，讓大家能用更便利的方法觀察星空，享受那份星空帶來的驚嘆與美麗。

## 捌、參考資料及其他

- [1] 鴻宇光學自動尋星儀圖片, [http://www.galuxe.com.tw/telescope\\_ICEM25\\_1226.html](http://www.galuxe.com.tw/telescope_ICEM25_1226.html)
- [2] 木刻板圖片, <http://meiqige.com/Product/563120525.html>
- [3] 皿頭螺絲圖片, <https://www.1688.com/topic/pingtoujisi.html>
- [4] 銅柱圖片, [http://big5.chinafastener.biz/gb/sp\\_page/89.htm](http://big5.chinafastener.biz/gb/sp_page/89.htm)
- [5] 六腳螺帽圖片, [http://chungzhi.com.tw/products\\_list.php?ppcid=199](http://chungzhi.com.tw/products_list.php?ppcid=199)
- [6] 圓頭螺絲圖片, <https://www.china.cn/luoding1/3664889960.html>
- [7] 止付螺絲圖片, <http://goods.ruten.com.tw/item/show?21403210613249>
- [8] 萬向輪圖片, <http://www.rakuten.com.tw/shop/sylife/product/M28869574/>
- [9] 墊片圖片, [http://big5.chinafastener.biz/gb/sp\\_page/229.htm](http://big5.chinafastener.biz/gb/sp_page/229.htm)
- [10] 螺紋護套圖片, <http://www.best73.com/p-905521.html>
- [11] 軸承圖片, <http://tw.misumi-ec.com/vona2/mech/M0800000000/M0802000000>
- [12] 主軸圖片, <http://www.badengjm.com/bxg/20.html>
- [13] 九軸感測器簡介, <https://www.ctimes.com.tw/art/print.asp?O=HJV689I0ZQMARVSTDB>
- [14] GPS 資料, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/全球定位系統>
- [15] 馬達驅動器資料, [http://images.100y.com.tw/pdf\\_file/79-DM420.pdf](http://images.100y.com.tw/pdf_file/79-DM420.pdf)
- [16] 電源供應器 LRS-50-12 圖片及相關資料, <http://meanwellaustralia.com/products/lrs-50>
- [17] 步進馬達資料, <https://zh.wikipedia.org/wiki/步進馬達>
- [18] 步進馬達資料, [http://www.orientalmotor.com.tw/web\\_seminar/stkiso2-1-1/](http://www.orientalmotor.com.tw/web_seminar/stkiso2-1-1/)
- [19] 直流馬達資料, <http://www.thmalex.com/railway/chi/motor.html>
- [20] 直流馬達資料, <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=70834>
- [21] 直流馬達資料, <https://zh.wikipedia.org/wiki/直流馬達>
- [22] 伺服馬達資料, <https://zh.wikipedia.org/wiki/伺服馬達>
- [23] 馬達介紹圖, <http://www.sunholy.com.tw/epaper/NO.89/89.pdf>
- [24] ArduinoMega2560 圖片及資料, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [25] ArduinoDue 圖片及資料, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>

- [26] ArduinoMegaADK 圖片資料, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>
- [27] 儒略日, <https://zh.wikipedia.org/wiki/儒略日>
- [28] 儒略日計算網址, <http://ssd.jpl.nasa.gov/tc.cgi#top>
- [29] 感測器原理簡介, <http://kitsprout.logdown.com/posts/335386>
- [30] 加速度計與電子羅盤簡介, [http://www.seraphim.com.tw/upfiles/c\\_supports01328152963.pdf](http://www.seraphim.com.tw/upfiles/c_supports01328152963.pdf)
- [31] 座標系統, <http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/sky/ch02/ch02-01.htm>



## 【評語】 052314

主要研製一套低成本的自動尋星儀，系統設計相當完整，使用步進馬達、九軸感測器、全球衛星定位系統模組、Arduino Mega 2560 及其擴充板，具實用價值。

作品海報



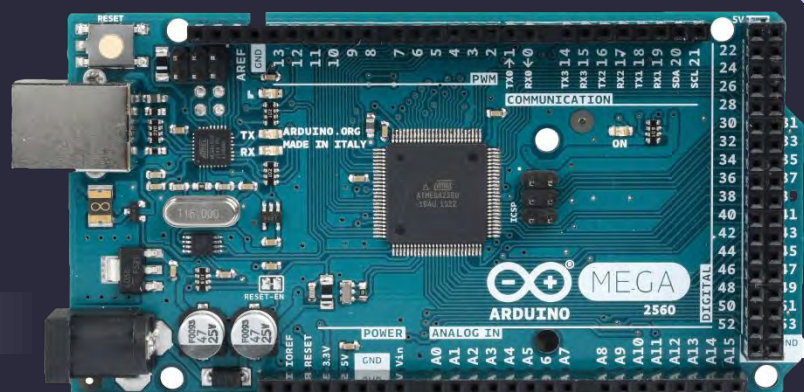
# 摘要及目的

本次研究是以Arduino平台作為核心做出全自動尋星儀，結合步進馬達、九軸感測器、全球衛星定位模組及相機仿造著赤道儀製作出的全自動追星儀，而程式方面則是藉由方位角以及高度角的公式推導來找出正確的物體位置並以適當的轉動速度追蹤該物體，讓使用者不再需要手動操作儀器，體驗更便利的觀測方法並擁有舒適的夜觀生活。

在進一步查取資料後，我們發現許多資料及文獻都只提出粗略的尋星方式。而且只有經驗豐富的星空導覽人士才有辦法指認出正確的星體，大多數新手無法準確地追蹤星體。若想做到，就要使用天文望遠鏡、赤道儀及相機，但老師曾說那些器材價格並不便宜，一般人無法負擔，學校的設備又較為老舊，實在很難實行，仔細想想，如果有這樣的一台機器，可以根據設定追蹤各式各樣不同的夜空物體，還可以自動辨識，告訴我們畫面中有哪些物體的話，一定是一件很方便的事情，所以我們開始了本次的研究。

# 硬體

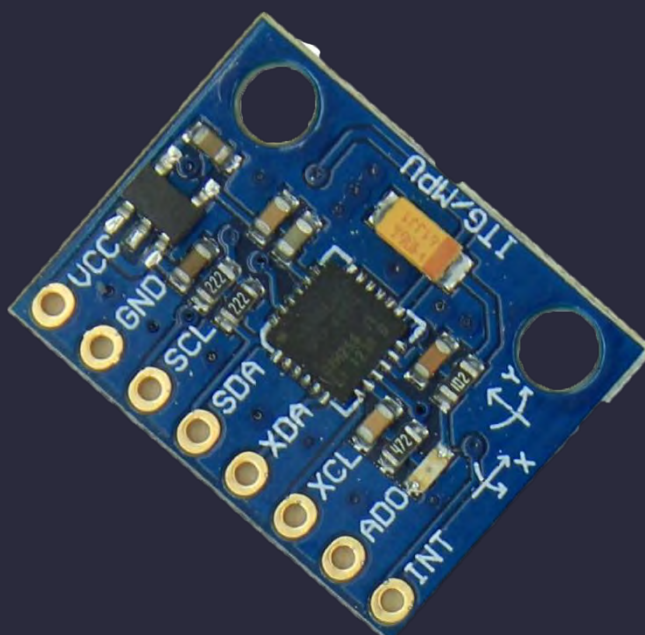
Arduino Mega 2560



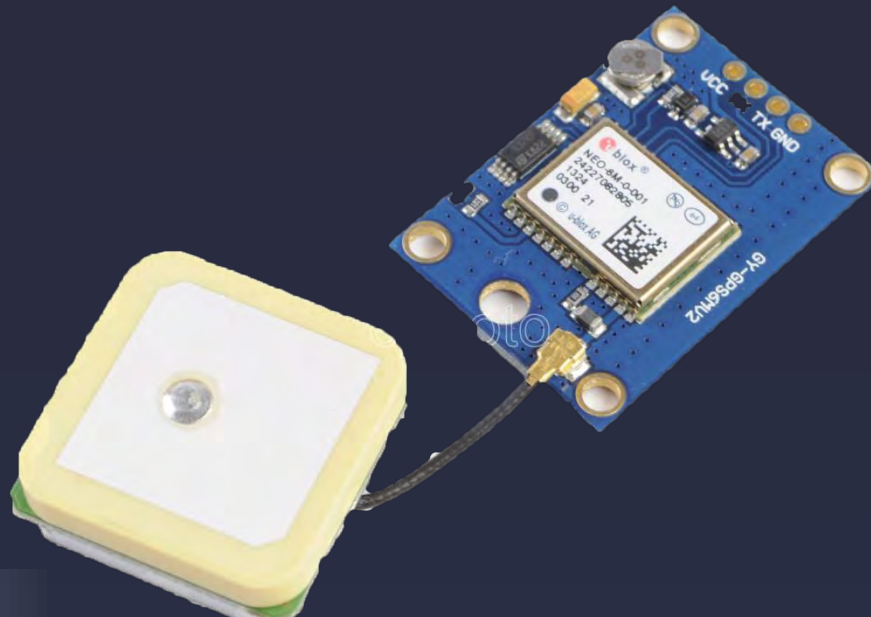
步進馬達



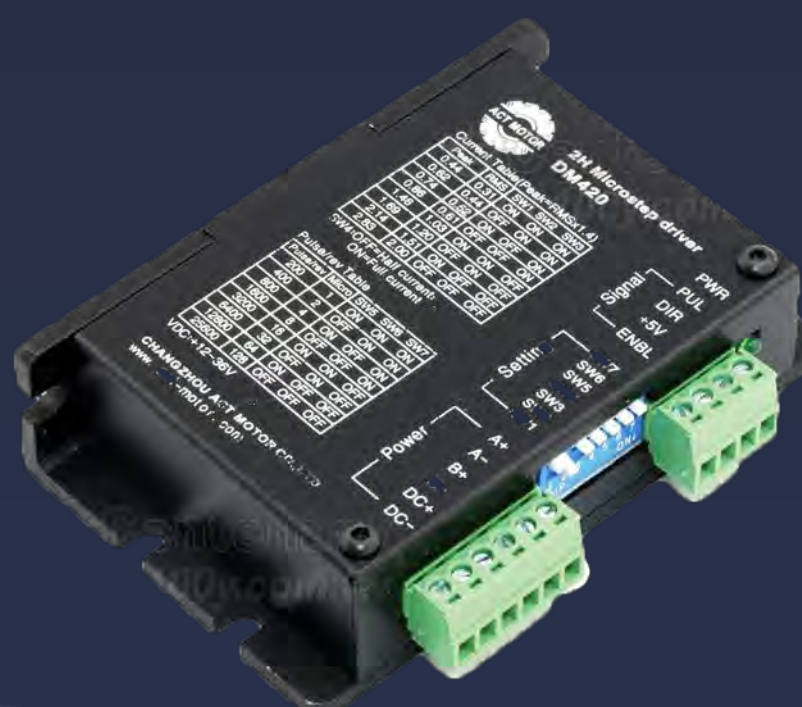
九軸感測器



GPS模組



步進馬達驅動器



電源供應器



# 實驗目的

- 相對於市面上較為便宜的赤道儀
- 可自行輸入環境參數自動追蹤星體的赤道儀
- 可自行設定拍照速度的赤道儀
- 可長時間自動追星的赤道儀

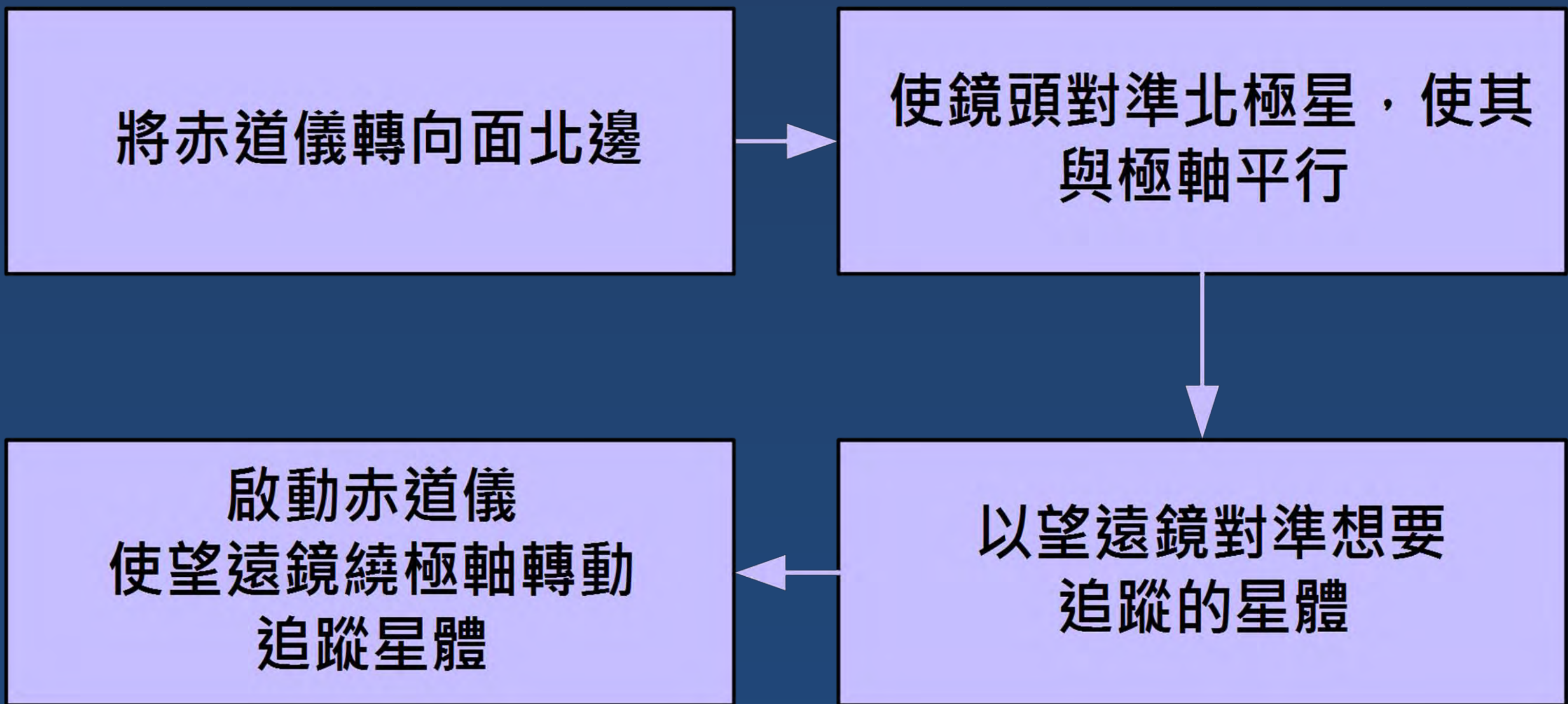
# 軟體

- Arduino IDE 1.6.8
- Microsoft Visual Studio C# 2015
- digiCamControl 2.0.49.0

# 實驗目的

## 初步構想

傳統赤道儀的操作方式為圖(一)的四個步驟，參照這些步驟，初步設計出一個模型，共需四個馬達，分別為轉動北極星的方位角、高度角與目標星體的方位角、高度角的馬達。進一步查取資料後，發現北極星的位置並不一定為極軸，且極軸的指向是沒有星體的，加上四個馬達的重量不一定能讓機體承受，因此我們想出了另一個方案。



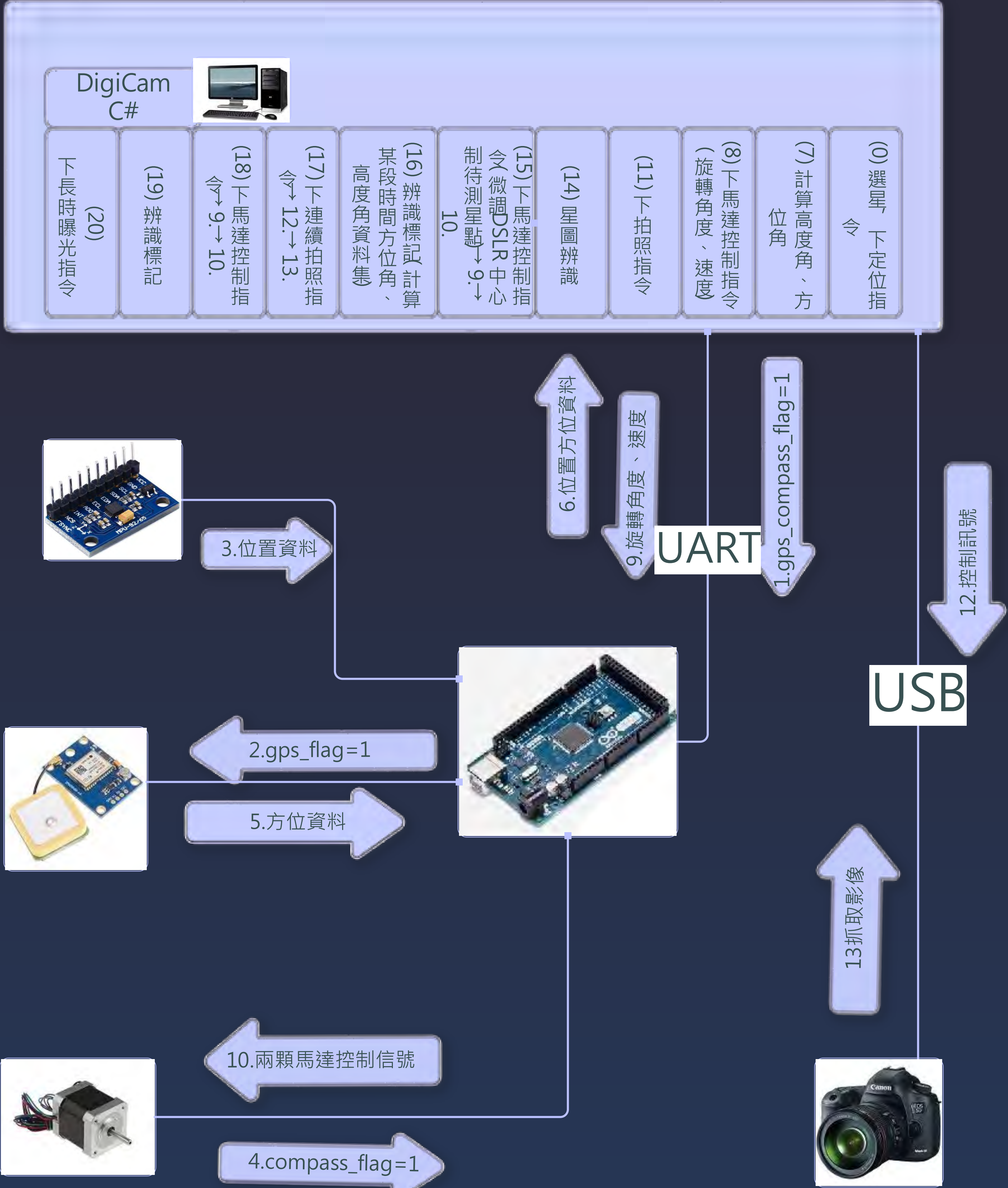
▲ 圖(一) 傳統赤道儀操作步驟



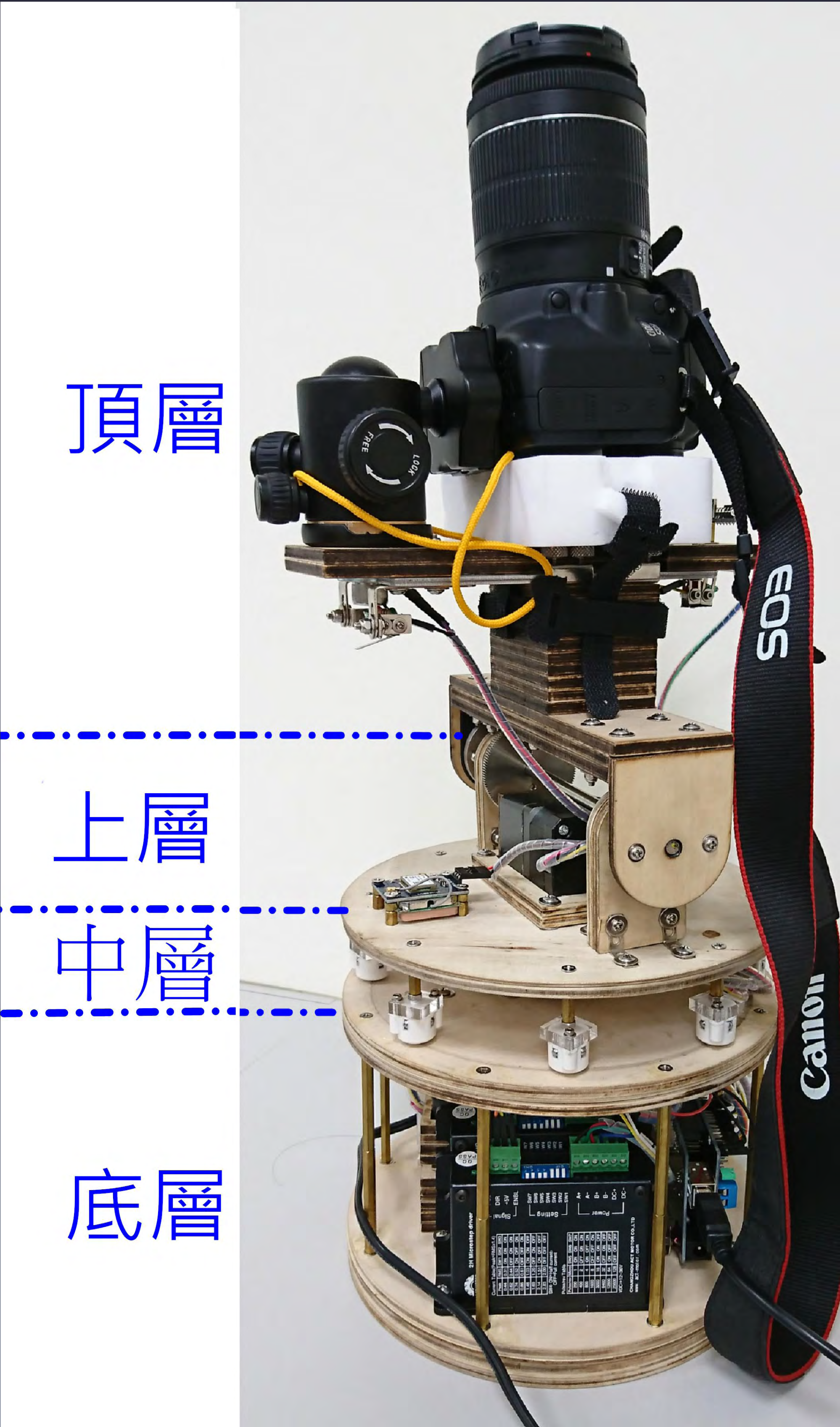
研究過程及方法

改善後構想

我們發現每個星體都有自己固定的赤經與赤緯，其中，赤經赤緯的功用與地理座標系很像，其不同的地方在於標記的物體，赤經赤緯有標記每顆星體經過子午圈的時間與位置，且現在已有公式可以藉由此座標來換算星體現在的方位以及高度，就算不尋找極軸也可以尋找到星體，所以我們扣去尋找極軸的兩顆馬達，剩餘兩顆馬達來旋轉至我們的角度，圖(三)為加上各種硬體後實際的完成圖。



▲ 圖(二) 軟體架構圖



▲ 圖(三) 完成後機體圖

星體高度角與方位角公式

藉由下列公式，可換算出地平座標系統，找到觀測時欲追蹤星體的方位(AZ)及高度(ALT)。

$$ALT = A\sin(\sin(LAT)*\sin(DEC)+\cos(DEC)*\cos(LAT)*\cos(HA))$$

$$AZ = A\cos((\cos(LAT)*\sin(DEC)-\sin(LAT)*\cos(DEC)*\cos(HA))/\cos(ALT))$$

再經過以下公式的換算，就可以得到需要的角度

$$JD = \text{int}(365.25*(Y+4712))+\text{int}(30.6*(M+1))-63-\text{int}(Y/100) + \text{int}(\text{int}(Y/100)/4)+2+D-0.5+((h-12-UT)/24)+(m/1440)+(s/86400)$$

$$\theta = 280.46061837+360.98564736629*(JD-2451545.0)+0.000387933*T^2-T^3/38710000$$

$$\theta = (\theta\%360)/15$$

$$LST = (\theta+Long/15)\%24$$

$$HA = LST-RA$$

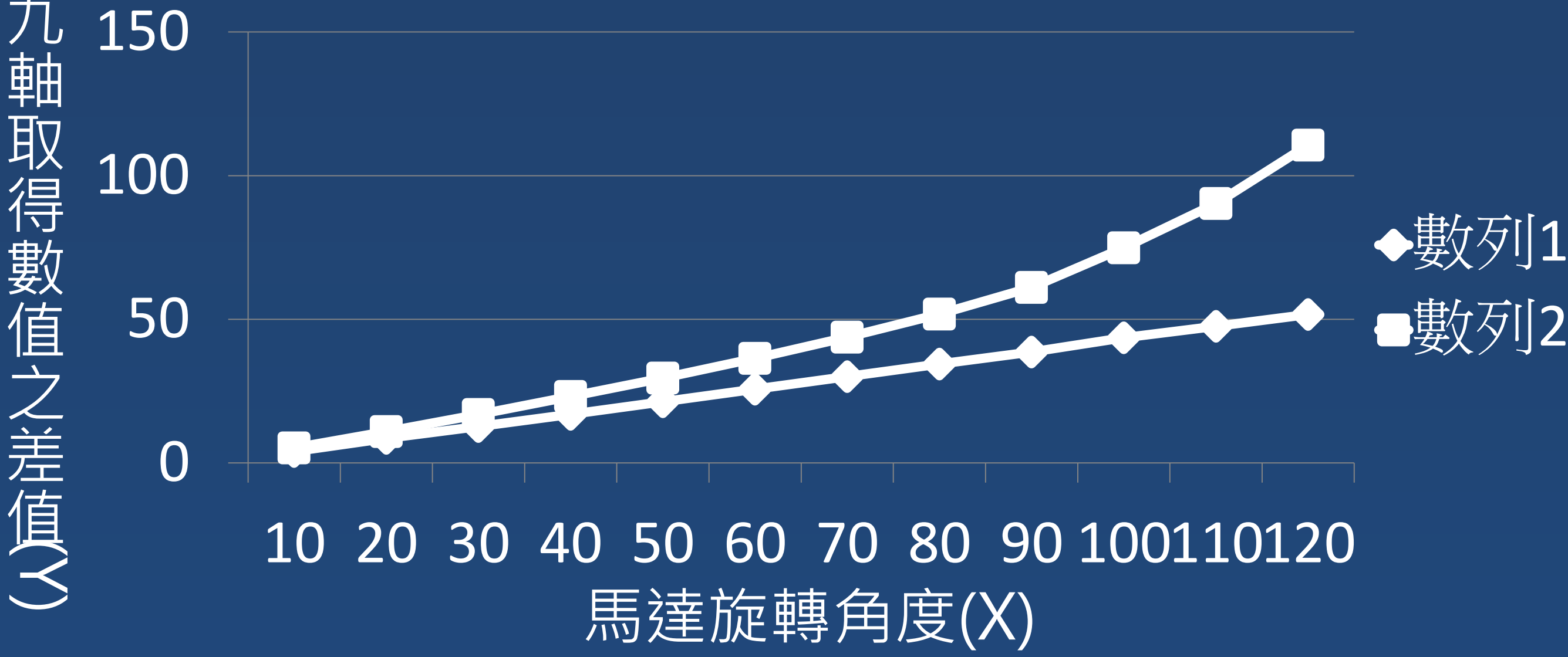
底層: Arduino平台、馬達驅動器、  
電源供應器、馬達  
中層: 萬向輪  
上層: 馬達、GPS模組  
頂層: 相機、九軸感測器

研究結果-壹、GPS及九軸感測器測試

下表為GPS模組與Google地圖取得位置的誤差：

地標 緯度,經度	誤差(%)
永貞國小	0.000028% 0.000039%
新竹女中	0.000189% 0.000111%
東門城	0.000867% 0.000176%

下表為九軸感測器取得數值的結果趨勢圖：





## 實驗結果－貳、實際拍攝

在 3/18的時候，帶著機體到位於合歡山的昆陽停車場試用機體，使用Arduino的Serial monitor控制馬達轉動做為實際拍攝的測試。

由全球衛星定位系統可知當地的地理座標為(24° 07 '21. 3 "N ,121°16' 20.6" E)，下圖(三)為當天實際拍攝而得的照片。當日所選目標星為天璣，可見天璣非常接近圖中中心位置。

下表為比較經由我們的程式計算出的高度角與方位角與觀星軟體Stellarium的結果與其誤差。

誤差(%)	高度角(°)	方位角(°)
天璣	0.1393%	0.5729%
王良一	0.5033%	0.0916%



▲ 圖(三) 實際拍攝星空圖 - 天璣



▲ 圖(四) 實際拍攝星空圖 – 王良一

## 討論- 軟體

### 儒略日計算:

下表為計算結果與查詢結果比較

設定日期	程式計算結果	查詢年鑑結果
2013.3.25 1:00	2457436.1250	2457436.1250
2016.2.17 23:00	2456376.2084	2456376.2084
2017.3.19 10:00	2457831.2084	2457831.2084

### 方位角與高度角計算：

計算出的高度角與方位角不一定是正確的數值，我們推測可能是以下原因：

- 1.反三角函數換算上的誤差
  - 2.實際取得當地經緯度的誤差
- 以上皆是造成誤差的原因。

下表為計算結果與Stellarium比較：

星體	參宿二
時間	2017.1.27 21:15
赤經	05h 36m 12.8
赤緯	-01° 12' 06.9"
經度	25
緯度	121
計算出的方位角	186.1964654264718
計算出的高度角	64.06923784286119
Stellarium方位角	185.6150833333333
Stellarium高度角	63.695
方位角誤差(%)	0.3132%
高度角誤差(%)	0.5875%

## 參考資料

Peter Duffett-Smith (1979) •  
Practical Astronomy with your calculator

## 討論- 硬體

在製作機體時，同時發現了部分裝置造成機體運轉不穩，所以做出了以下改變:

1. 四爪釘精度不一，造成上層不平，所以將其更換為墊片。
2. 在MEGA2560上加上螺絲膠使其不短路。
3. 相機位置墊高避免碰撞到上層讓機體損壞。
4. 將中層螺絲換成皿頭螺絲降低旋轉的阻力。
5. 主軸與齒輪沒有緊密嵌合，導致阻力不足，所以將主軸換較粗，增加阻力。
6. 為防止鎖在中層的馬達重量分布不一造成傾斜，在下面墊上適當高度之木板。
7. 將兩個驅動器的相對位置設計成一上一下，方便操作馬達驅動器的細分切換。
8. 將GPS模組放置於相對較能暴露於天空下的上層使其更好接收訊號。
9. 止付螺絲換成無有頭內六角，以鎖得較緊。
- 10.將九軸模組放置頂層可偵測到方位角與高度角的轉動情形。
- 11.加裝開關以阻止頂層與上層的相撞。

## 結論

本研究截至目前為止已可輸入欲旋轉的方向及角度並正確轉動，也可以藉由全球衛星定位系統模組得知所在位置及方位並計算儒略日與恆星時，帶入公式後，也可以以不大於1°的誤差去尋找指定的星體，並且可由九軸感測器驗證相機的轉動方向和角度是否正確，更重要的是，我們自製的全自動追星儀總價與市面上的赤道儀平均價格相較之下便宜許多。

就目前的研究進度，在藉由追星儀找到星座的正確位置之後，我們還是無法判斷出每個星座的正確形狀及分布位置，若是可以繼續製作讓程式可自動辨識並且標記出星座的形狀，給予使用者正確的星點連線，這樣一來觀察星空就更方便了，必定會是一項大突破，還可以收集各式在太空中的火箭、衛星甚至望遠鏡之位置，並一起標註在相片中。