

一種可攜式的固定焦距雙軸追日系統之設計

李余耀*、鍾雅婷**、陳宜君***

摘要

追日系統使得收集太陽能更有效率，提高能源轉換效率。本文說明一種將太陽反射光聚焦於固定區域之追日系統的設計製作。此追日系統以控制方位角和俯仰角方式來追蹤太陽在晨昏變換和季節變換的位置，並且以平衡環機構讓反射光可聚焦於固定區域，使得可以更方便於聚光和聚熱後的利用。系統整合 Arduino 微電腦架構的軟硬體為控制核心，光感測電路感測陽光方向，小型伺服馬達驅動追日機構，攜帶式電源為電力，設計使得太陽能應用可以成為攜帶式設備來運用。

關鍵字：追日系統、微控制器、可攜式

*美和科技大學資訊科技系助理教授

**美和科技大學資訊科技系學生(通訊作者)

***美和科技大學資訊科技系學生

壹、前言

大家都認識到石化能源產生汙染日益嚴重，綠色能源越來越重要，綠色能源中的太陽能幾乎沒有汙染。太陽能利用的方式可大致可分為太陽能發電之光電轉換，以及吸收太陽能轉換成熱能之光熱轉換兩類。圖 1 為一座位於西班牙的太陽能商業發電廠，它使用反射鏡，利用光學原理將大面積的陽光匯聚到一個相對細小的發電塔集光區，令太陽能集中，集光區受太陽光照射而溫度上升，由光熱轉換令太陽能換化為熱能，熱能通過熱機（通常是蒸汽渦輪機）做功，驅動發電機，從而產生的電力。



圖 1. 太陽能發電塔（台達新聞中心，2015）。

將太陽能轉換為電能的方式還有太陽能電池。太陽能電池技術大致可分為四大類（鍾健文、王宗昶，2013）：多接面三五族、單多晶矽、薄膜和敏化染料及有機材料。目前，三五族化合物半導體太陽能電池轉換效率最高，這型的太陽能電池也需要聚光，需要追日器（太陽追蹤器）才能工作。



圖 2a. 太陽能熱水器。（櫻花太陽能熱水器，2013）。

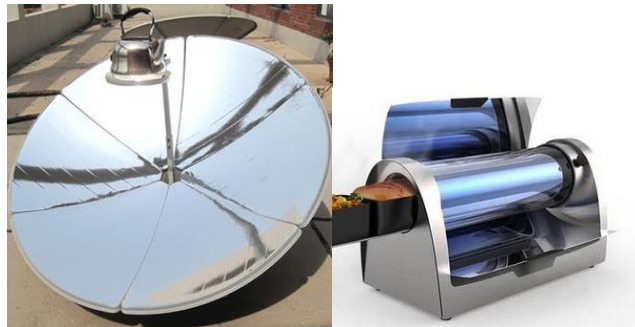


圖 2b. 太陽能灶、烤爐（阿里巴巴、GoSun stove，2015）。

太陽能光熱轉換應用最常見的是太陽能熱水器、太陽能爐灶等。太陽能熱水器利用陽光中蘊含的能量將水加熱，加熱的熱水被用於在許多方面。在住宅環境中生活熱水是最常見的應用，太陽能熱水也有工業應用，例如：發電等。太陽能爐灶則利用太陽光蒸煮，乾燥和殺菌消毒等。日常生活的小型太陽能應用，例如太陽能熱水器、太陽灶、屋頂太陽能板等，考慮能源轉換效率、維護和製作成本等，較少使用追日器。然而其中一些應用，例如太陽灶等，追日器無疑可以提高太陽能收集效率和使用的方便性。

藉由追日器的輔助，使得太陽能收集於白天之間，以更有效的方式來收集陽光，提高能源轉換效率。追日器機構配合太陽每日東升西落和隨著季節的南北轉變，需要兩個調整轉向。此兩個轉向可以使用仰角和方位角來對準太陽位置。

追日器的控制，可分為開迴路控制和閉迴路控制。開迴路控制是根據太陽與地球間的天體運行關係，計算出各時間、地點之太陽在地球中的位置，以此計算結果，驅使追蹤器指向計算出來的太陽位置。開迴路控制的優點是不會因為天候狀況而影響到追蹤精度，也不須以人力定期維護感光器的清潔。但其追蹤精度易受到計算公式、機構誤差及馬達控制的影響而造成追蹤誤差。閉迴路控制是使用光感應器等來尋找太陽在空中的位置，達到追蹤太陽的目的。此種追日方式的計算和結構相對較簡單。設計良好的避迴路控制系統可以得到精確的追日效果。閉迴路控制方式的問題在於追蹤精度易受光感測器靈敏度與天候雲層遮蔽等影響。

貳、系統分析與設計

可攜式追日系統擬以居家生活之可攜帶式小型太陽能收集應用為主。要求攜帶方便，不良天候時不使用，可以輕材質製作反射面和追日機構。以光感測電路感測太陽位置，感測結果輸入至微電腦控制器，由微控制器韌體程式處理計算，輸出訊號驅動雙軸追蹤機構之伺服馬達，追蹤太陽位置。系統架構設計如圖 3 所示。

系統的光感測器以四個光敏電阻電路組成，分別置於東、西、南、北四方位，感測面朝外朝上約 15 度角，使能感測正中央和兩側大角度的日光位置。當太陽位置偏離反射鏡中央時，東西向或南北向之間的光感測形成誤差，誤差訊號輸入至微控制器計算，轉換為調整俯仰角和方位角的控制量。機構設計讓反射面能夠聚焦於固定位置，以便做太陽爐等應用時能隨時將日照聚焦於鍋具或烤箱部位。聚焦點位於俯仰角轉軸和方位角轉軸交叉位置。使得任何轉向調整均可得到固定的聚焦區域。俯仰角馬達和方位角馬達裝置於方位角轉軸下方附近，降低轉動慣性和重心。俯仰角以連桿機構牽引反射面。太陽移動約每分鐘 0.25 度（180 度/12 小時）慢速率，追日機構以小型低功率帶減速機馬達即可驅動，電能消耗低，可以電池為電源，整個追日系統即可成為可攜式設計。

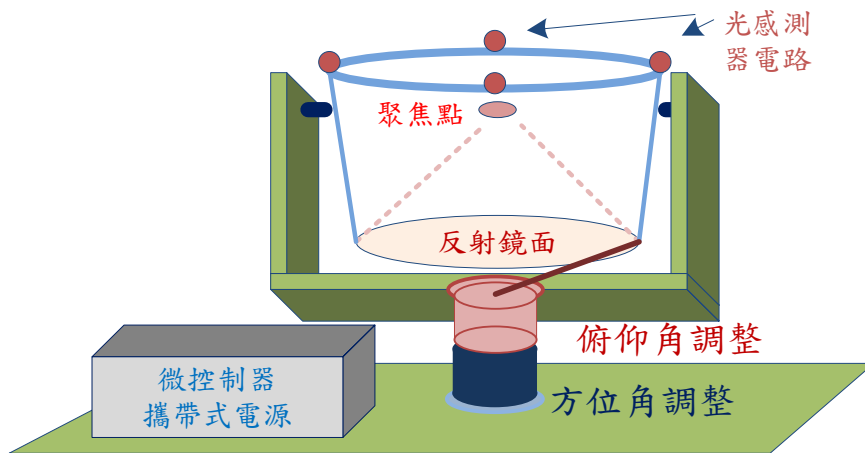


圖 3. 固定焦距追日系統架構圖。

一、追日器光感測器分析與設計

太陽光感測器有光電晶體、光敏電阻、光電池等。設計中選用光敏電阻。光敏電阻在照度越強時，電阻值會越小，依此原理可以將光敏電阻和一個電阻器串聯組成分壓電路。光照越強時分電壓就會越大，依此可取得光照感測量。設計光感測電路可如圖 4a 所示。製作過程中先以圖 4b 方式連接至微控制器的類比轉數位接腳，並以一個測試程式，測試光照感測數值情況，已備整合到追日控制程式裡。

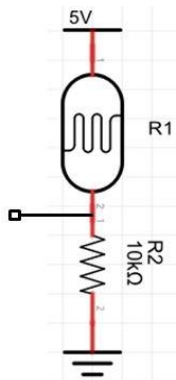


圖 4a. 光感測電路
(CodeData, 2015)。

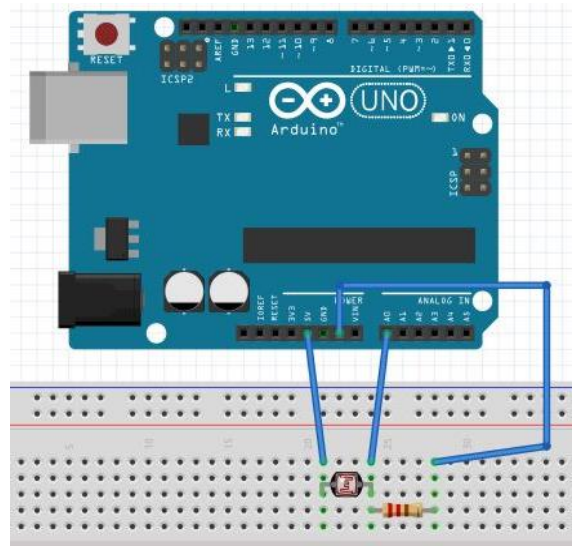


圖 4b. 光感測電路輸入至微控制器測試(台中市教育局網路中心數位教學平台, 2016)。

考慮光感測器位置可能因系統啟動時太陽位置和轉動機構位置而被遮蔽，光感測器安裝於俯仰轉動環的上方，分東、西、南、北四個位置。感測訊號線以軟

線使得雙軸機構能自由轉向，接線集中連接到微控制器類比轉數位接腳。設計完成之光感測電路裝置如圖 5。

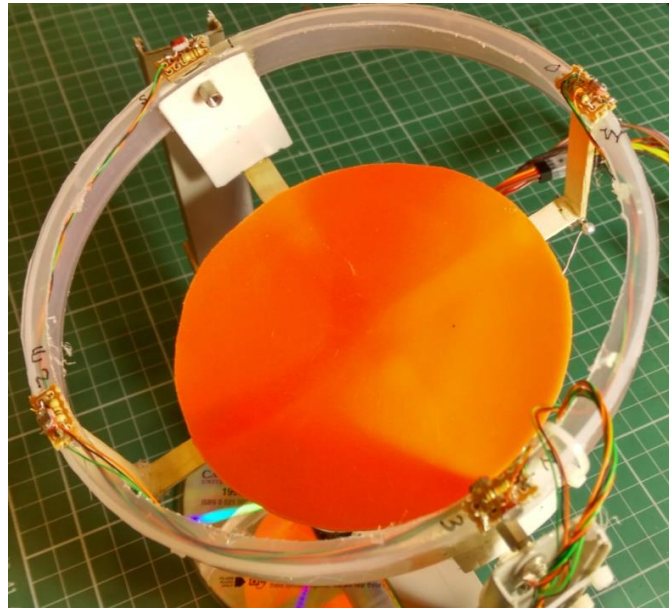


圖 5. 光感測電路置於俯仰機構轉環上。

二、追日器雙軸機構分析與設計

追日器追蹤太陽晨昏的東、西向變化以及季節的南、北向變化。設計中將這兩個方向控制轉換為俯仰角方向和方位角方向控制。夏至時太陽正照射在北回歸線上方附近，日出日落會有較大的俯仰軸控制追蹤。整個追日控制均以方位軸配合俯仰軸達成。為了降低方位軸的轉動慣量，設計將俯仰軸馬達安裝於方位軸附近低處，再以連桿機構帶動俯仰控制，如圖 6a 所示。方位角機構直接裝置於帶有減速機的馬達組件上，馬達隨方位角轉動，如圖 6b 所示。

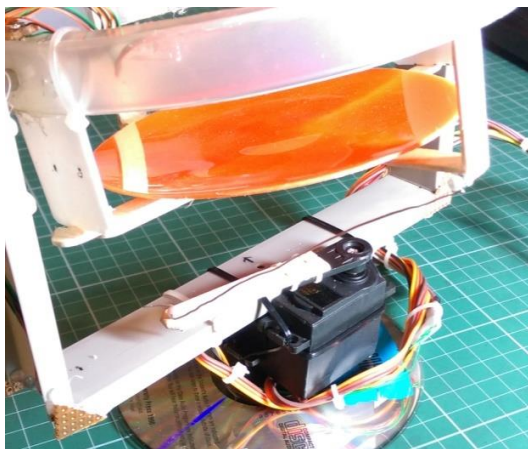


圖 6a. 俯仰軸機構。

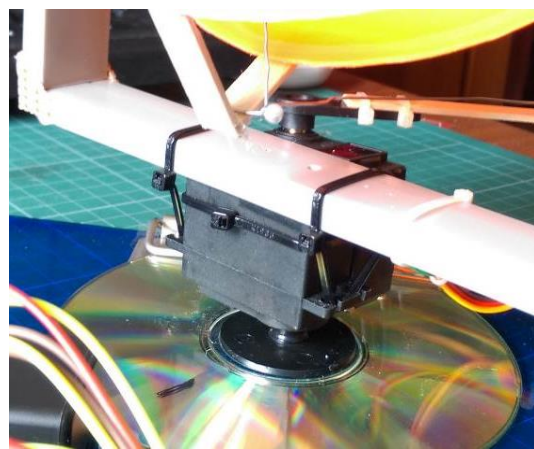


圖 6b. 方位軸機構。

試驗實作之驅動俯仰角和方位角之小功率伺服馬達直接連接至 Arduino UNO 微電腦控制器板上，提供 5V 電源和 PWM 伺服馬達控制訊號，如圖 7 所示之接線方式。系統整合之前先接線和撰寫測試程式，測試轉動方向和角度上限、下限，以備設計機構，調整俯仰角和方位角控制量大小。

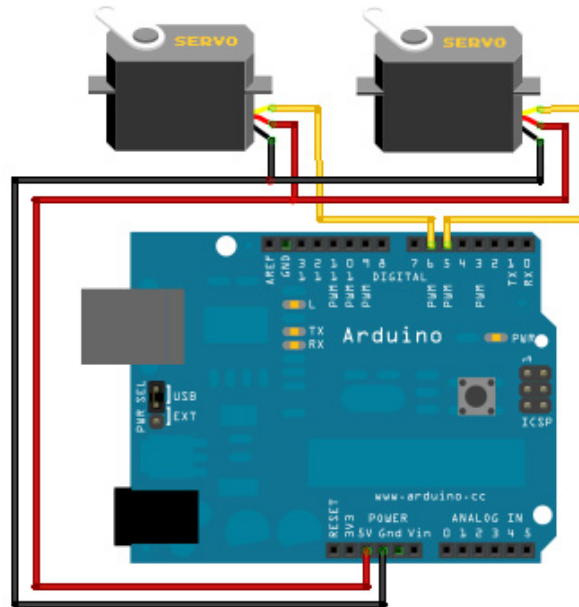


圖 7. 驅動雙軸伺服馬達之接線 (Match TECH 2016)。

三、追日器控制韌體分析與設計

追蹤控制俯仰角和方位角大小的控制核心選用 Arduino 系列的微電腦控制器 (Arduino 2015)。Arduino 是一種 open source 的軟硬體開發環境。讓使用者能快速製作電子電路原型。彈性、易使用。其原設想的使用對象是藝術家、設計師和任何對互動有興趣的人。由於容易使用，現在已經應用到各種互動控制的領域。藉由感應器能感知周遭環境變化 (如：光感測器) 或者控制周遭裝置 (如：馬達)。Arduino 電路板可獨自運作，也可以搭配電腦運作，跟電腦溝通。追日器使用其中之 Arduino UNO 控制板如圖 8a 所示。Arduino UNO 控制板上可提供 5V 和 3.3V 電源給驅動裝置或感測器電路等。有 6 個類比輸入埠，追日器使用其中 4 個埠給光感測電路。有 6 個 PWM 輸出埠，其中兩個提供給追日器伺服馬達控制。其他還有多個數位輸出/輸入埠和串列通訊埠，可以供將來擴充需要。控制板工作時需外接 7V~12V 電源供應器或電池組，經控制板的穩壓電路，提供 5V 電源驅動兩個 MG995 伺服馬達，3.3V 電源給光感測電路，分開感測器電源和馬達電源，避免干擾。

Arduino 開發環境可由其網站免費下載使用，其網站資訊隨合作廠加入各種控制核心板或周邊元件，即時提供更新版本，提供各式相關函式庫、範例和說明。Arduino 各開發板提供線上即時燒錄韌體程式功能，使得韌體程式開發不需將被

燒錄的晶片從線路上拔起來就可以進行燒錄的動作。如果控制板已經整合到機器設備裡，需要更新程式，無須拔出電路中的控制板，開發人員可以修改好程式後，直接透過 USB 等介面將燒錄碼傳進去就可以。程式開發整合環境如圖 8b 所示。追日器之控制軟體主要流程如圖 9a 所示，控制板接線結果如圖 9b。

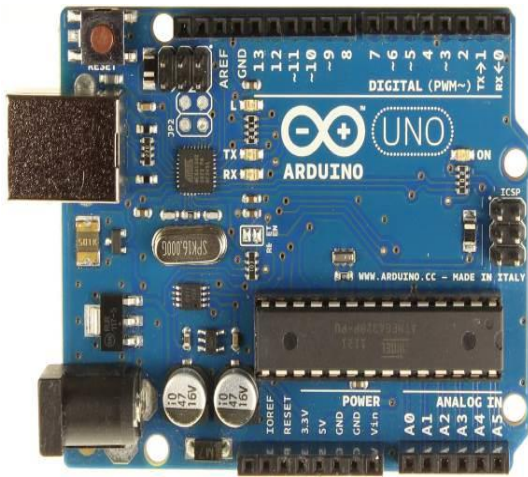


圖 8a. Arduino UNO 控制板。



圖 8b. Arduino 程式開發環境。

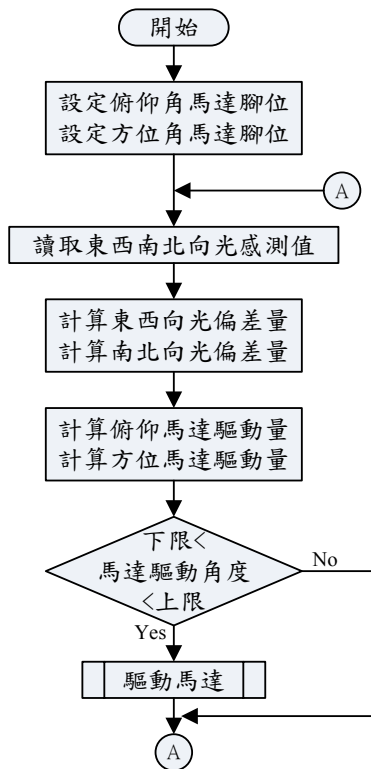


圖 9a. 程式主要流程。



圖 9b. 微控制器接線。

參、系統整合與測試結果

可攜帶式追日器系統整合了光感測電路、雙軸追蹤機構、馬達驅動、控制軟體以及電源設計等。光感測器電路安裝於俯仰角轉環上方，分東西南北四個方向。感測量先做歸零校準，當日光位置在反射面正上方時，東西向和南北向的感測值相減應為 0。雙軸追蹤機構使得反射面可以東西方向轉動 180 度，南北方向轉動 45 度，以追蹤晨昏和四季的太陽方向。馬達以 PWM 訊號控制轉動角度，裝置於方位角轉軸下方以降低重心和轉動慣量。控制軟體考量感測靈敏度和驅動穩定性等。電源考量馬達電流供應以及避免干擾光感測電路供電等。整合結果外觀如圖 10 所示。追日速率慢，設計以帶減速機的小型伺服馬達和電池電力，輕材質機構，使得追日器系統為可攜帶式系統。

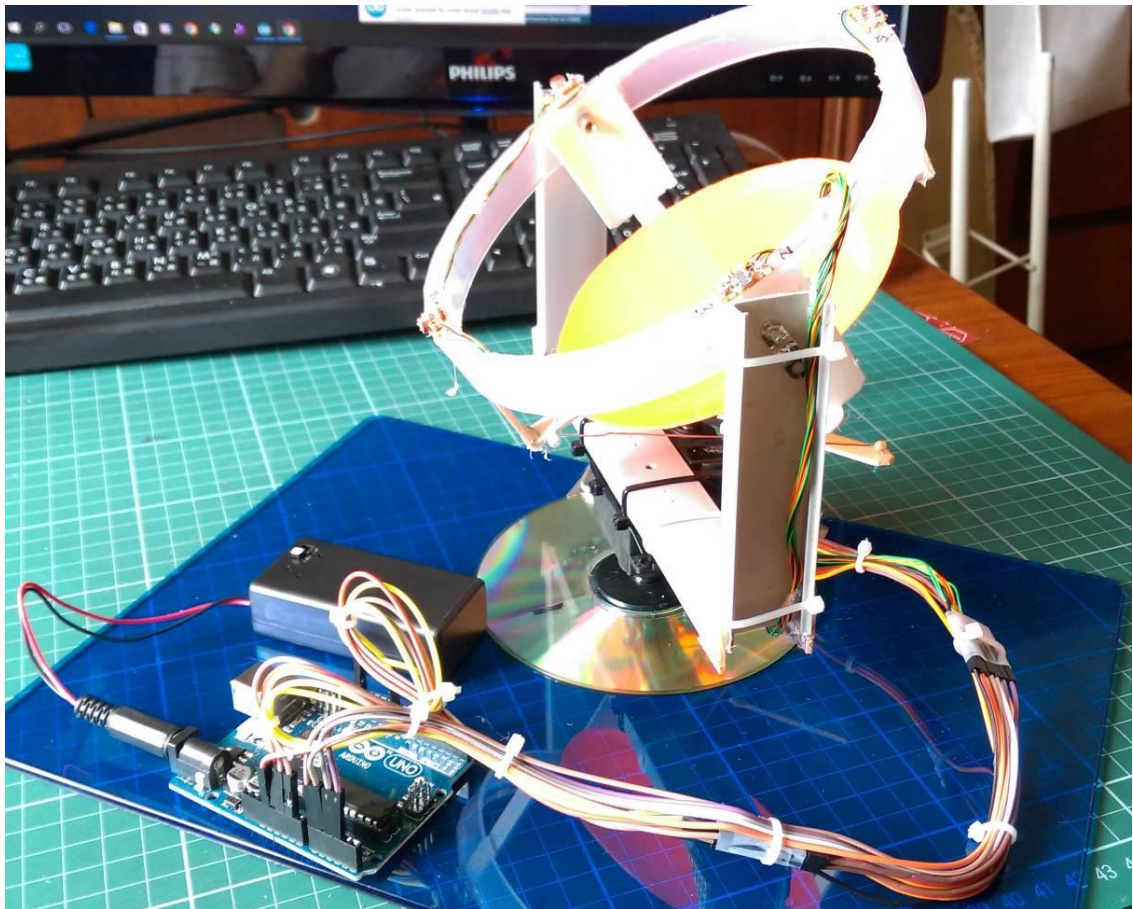


圖 10. 可攜式追日器測試模型。

系統測試在日照環境下，感測靈敏度或者追蹤驅動的穩定度，以目視測試之追日性能均良好。以人工光源移動測試追蹤性能，其東西向和南北向感測值誤差量如圖 11 所示。數據取樣時間 0.25 秒，總測試時間 30 秒 (0.25 秒*120 次)，移動角度約 90 度，移動速率約每秒 3 度，遠快於太陽移動速率約每秒 0.0042 度(180 度/12 小時)。顯示驅動控制響應良好。控制軟體沒有將光感測數值經過濾波運

算，直接將東西向或南北向誤差值以少一個數量級方式來驅動伺服馬達正反轉，圖 11 所示之東西向或南北向誤差值收斂於正負十之間。

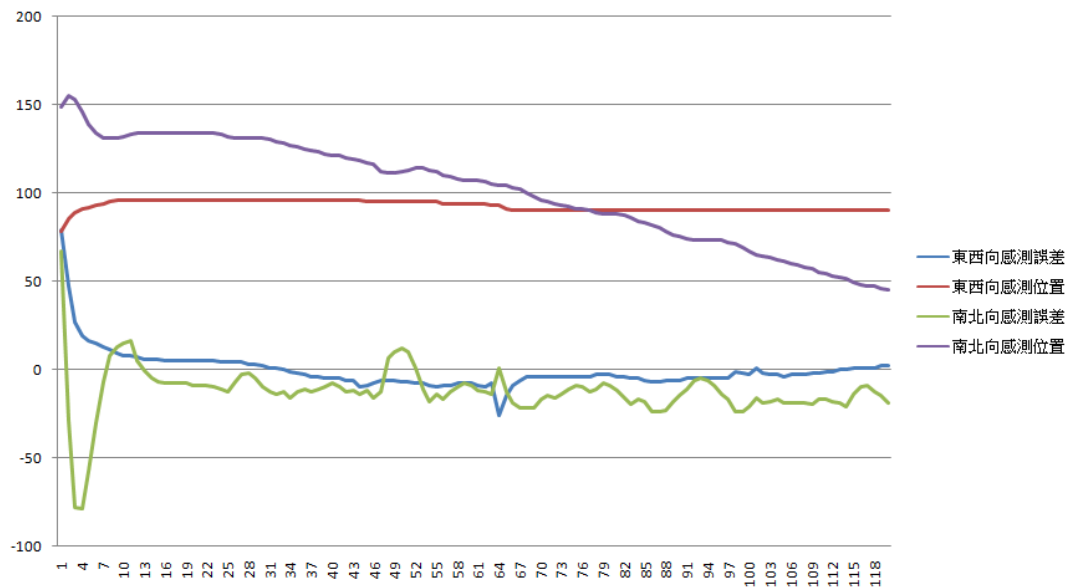


圖 11. 追日器追蹤感測量誤差。

伍、結論與討論

設計之追日器系統測試結果，追日性能的靈敏度和穩定度均良好。精確度足夠用於太陽爐或烤箱等應用。固定聚焦點雙軸追蹤機構讓太陽能收集裝置可安裝於固定位置，有利於較笨重的太陽能收集裝置以及聚光溫度控制。可攜式追日器可使目前普遍手動聚焦之太陽爐等應用更有效率。光感測器電路安裝時會有角度誤差，可再加入自動校準控制裝置等。光感測值亦可再以軟體或電路濾波處理，增加感測穩定度。雙軸追蹤機構之方位角轉環機構可調整至反射面中央，將反射面分為兩半面，可再降低轉動慣量或以菲涅耳反射面機構降低反射面重心。目前太陽能電池成本已逐漸降低，可將之用來充電電池，使得系統成為自給式系統。

參考文獻

- 台達新聞中心 (2015)。台達為美國內華達州新月沙丘聚光型太陽能發電廠提供追日方案。線上檢索日期：2016 年 5 月 19 日。網址：
<http://www.deltaww.com/news/pressDetail.aspx?secID=3&pID=1&itemID=6151&typeID=1;2&tid=0&hl=zh-TW#2>
- 台中市教育局網路中心數位教學平台 (2016)。光敏電阻元件實作。線上檢索日期：2016 年 5 月 22 日。網址：
<http://elesson.tc.edu.tw/md221/mod/page/view.php?id=2818>
- 吳玉祥、張凱嵐 (2014)。雙軸太陽能追日器系統設計。 *Journal of China University of Science and Technology*, 58, 43-60.
- 鍾健文、王宗昶 (2013)。各式太陽能電池製程介紹與最新技術發展。 *遠東學報* 30(2)。117-132。
- 櫻花太陽能熱水器 (2013)。櫻花太陽能熱水器雙機雙循環系統安裝實例。線上檢索日期：2016 年 5 月 20 日。網址：
http://mypaper.pchome.com.tw/kon2_li2/post/1326396116
- Arduino (2015). *Arduino UNO*. Retrieved May25, 2015 from the World Wide Web:
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- CodeData (2015)。 *mBlock & Arduino(8) 光敏電阻、亮度感應器與光線追蹤器*。線上檢索日期：2016 年 5 月 22 日。網址：
<http://www.codedata.com.tw/social-coding/mblock-arduino-8-photo-sensitive-resistor/>
- GoSun Stove (2015). *GoSun Grill Solar Cooker Eliminates Emissions and Need for Any Fuel*. Retrieved May25, 2015 from the World Wide Web:
http://www.enn.com/press_releases/4299
- Match TECH (2016). *arduino_dual_servo*. Retrieved May25, 2016 from the World Wide web:
http://mitchtech.net/arduino-physical-cpu-gauges/arduino_dual_servo/

A Design of Portable Biaxial Solar Tracking System with Stable Focus

Yu-Yao Lee^{*}, Ya-Ting Chung^{**}, Yi-Jun Chen^{***}

Abstract

A tracking system makes the collection of solar energy more efficient and improves efficiency of energy conversion. This article describes a design of a solar tracking system which allows the reflected sunlight focus on a certain region. The sun changes its position from morning to evening and from summer to winter. The design tracks the position of the sun via the azimuth and elevation angle control. The reflected light is focused to a fixed area by a gimbal mechanism. The accumulation of light and heat is more convenient than before. Arduino microcomputer hardware and software is the control center. Light sensing circuits result the direction of the sun. Small servo motors drive mechanism of the tracking system. A battery is as power. The design makes some applications with solar energy collection is a portable way.

Keywords: Solar Tracking System, Microcontroller, Portable.

^{*} Assistant Professor, Department of Information Technology, Meiho University.

^{**} Student, Department of Information Technology, Meiho University. (Corresponding Author)

^{***} Student, Department of Information Technology, Meiho University.

