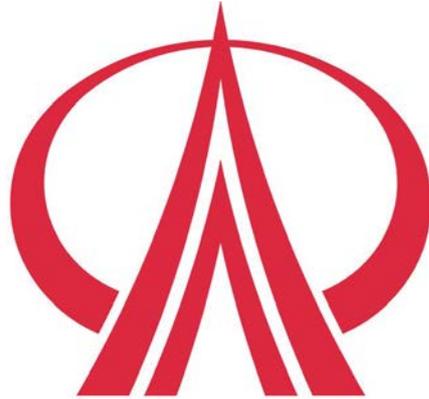


能源與材料科技系 實務專題論文

紅外線熱影像之開發



指導老師：施能夫 博士

班級	學號	姓名
能材三甲	BB105015	史家安

修 平 科 技 大 學

中 華 民 國 108 年 5 月 27 日

致謝

首先感謝施能夫博士，謝謝老師能帶領整個團隊進行完成整個專題，提供對於專題的想法與實現目標和現有的資源，對於專題資金提供相當大方，成本不會太大的計較，我們做這個專題金額相當的大，至少要萬元起跳，當時我們要購買的材料這麼的貴，我嚇了一跳，一個材料竟然要接近一萬元，如此的貴，而且老師竟然給我帶回家開發，心裡想怎麼的好，我以為這麼貴的材料，一般來都會放在教授身上來管理材料，很感謝他給我們相當大的彈性，還有教授給了我們很大空間讓我們自由發揮去創作，在時間上也給我們相當大的彈性，另外教授對於其專業知識給我們上了很多課，無人機知識都有上一些基本要有的觀念，對於我們發問都不吝嗇地回答，真的很感謝教授的幫忙，我覺得我從這個專題，讓我有一些的認識，我大概知道如何組裝無人機，這讓我對於無人機有了興趣，想說以後再來組裝一台無人機試試看，真的很感謝教授的付出。

摘要

本文討論了高性價比的紅外線熱影像系統使用市售的紅外線熱影像開發套件，開發可安裝在無人機上的廉價紅外線熱影像模組。與紅外線溫度計相比，紅外線熱影像系統針對紅外線熱影像鏡頭與太陽能板之間的不同距離進行了測試，實驗時，紅外線熱影像鏡頭始終與太陽能板平行，檢測溫度是否達到了紅外線熱影像系統的精度。測試後，即使紅外線熱影像鏡頭和太陽能板之間的距離達到 5 米，超過了數據表中可接受的數據，與數據表中的數據相比，測得的溫度值在可接受的誤差範圍內。根據紅外線熱影像傳感器與太陽能板之間 1m 至 5m 的距離，測試後的精度，發現紅外線熱影像顯示的溫度與紅外線非接觸式溫度計顯示的溫度非常接近。我們將太陽能板調整為 23 度、30 度、45 度和 60 度。最後，它在無人機上成功測試。

目錄

致謝	1
摘要	2
圖目錄	4
表目錄	5
前言	6
二、理論背景及文獻回顧	7
2.1 熱斑 (hot spot).....	7
2.2 旁路二極體短路造成模組高溫	8
2.3 紅外線熱影像物理基礎	8
三、實驗方法	9
3.1 實驗材料與儀器	10
3.2 模組測試實驗步驟	12
3.3.1 紅外線熱影像模組與紅外線溫度計對比測試	12
3.3.2 模擬空拍時常用角度測試	13
3.3.3 模擬空拍時其他的角度測試	14
四、結果與討論	15
五、結論	17
參考文獻	18
附錄	20

圖目錄

圖 1：模組接線示意圖	9
圖 2：軟體圖形介面	10
圖 3：本專題各項實驗流程圖	12
圖 4：用於檢查熱影像像模塊精度的示意性橫截面設置	13
圖 5：橫截面示意圖設置用於檢查熱影像模塊的精度	14
圖 6：模組與儀器 1m-5m 溫度對比圖	15
圖 7：模組與儀器四種角度對於溫度的對比圖	16

表目錄

表 1：熱斑可能造成的原因	7
表 2：材料與儀器資訊表	11
表 3：兩種角度溫度量測表	16

前言

預計到 2025 年台灣的可再生能源發電率將達到 20%^[1]。太陽能發電是政府規劃可再生能源的藍圖之一^[2]。它需要大面積的土地來產生足夠的電力，以便政府來尋找足夠的土地來建造。在太陽能板領域中，將建造太陽能板的地方可能不限於一般的平地在地層下陷的、在水上的地方，都有可能是未來的太陽能電站。通過應用可靠的監測技術檢測和診斷這些太陽能電站。

由水泥沉積物引起的熱斑，鳥糞會增加其沉積區域的溫度並產生熱量^[3]。濕熱^[4]，太陽能電池的平均功率衰減率約為 1.36%/年，高於業界公認的 0.7-1.0%/年的範圍^[4]。

在歐洲，已逐漸使用配備紅外線熱影像的無人機檢測作為太陽能發電廠驗收和維護的標準測試項目。紅外線熱影像探測的原因主要用於檢查是否存在溫度異常引起的現象，並通過溫度異常評估太陽能板的缺陷^[5-7]。常見缺陷像是熱斑與旁路二極體短路造成模組高溫。

本文的目的是生產一種高性價比的紅外線熱影像系統，可以安裝在無人機上，並用於太陽能板檢測，以檢測太陽能板是否異常，並嘗試使用廉價的紅外線熱影像模組進行太陽能板檢查模塊。

二、理論背景及文獻回顧

本節會介紹太陽能發電系統的缺陷和紅外線熱影像物理基礎，本節所介紹的太陽能系統的缺陷只有熱斑與旁路二極體短路造成模組高溫，但其實還有很多，例如：蝸牛紋^[8]、PID 效應^[9]、內部生鏽等。

2.1 熱斑 (hot spot)

這種現象我們可以透過紅外線熱影像檢測可以看見在太陽能板裡有某處溫度明顯的遠高於其他部位^[10]，這種異常的現象就是我們所稱呼的熱斑，造成此現象的原因有很多，可能的原因有模組先天的品質、模組的安裝與使用時維護的問題。

其實就算是熱斑其補救方式也會因為嚴重性而有很大的差異，在下表，我們分為三大類別，可以透過類別來做為調查的方向和補救的最大努力，幫助該模組恢復，改善至接近於原始的能力。

表 1：熱斑可能造成的原因^[11]

類別	原因
遮蔽或弄髒	在屋頂上的物體(例如樹木，柱子等)、植被過度生長、表面上污垢、表面上異物。
機械損壞	玻璃破碎、框架破損或彎曲、模塊相互碰撞或其他物體碰撞、選用夾具不當。
內部模塊故障	電池材料缺陷(例如分流器、高串聯電阻等)、電池裂縫、局部分層、焊點不良。

2.2 旁路二極體短路造成模組高溫

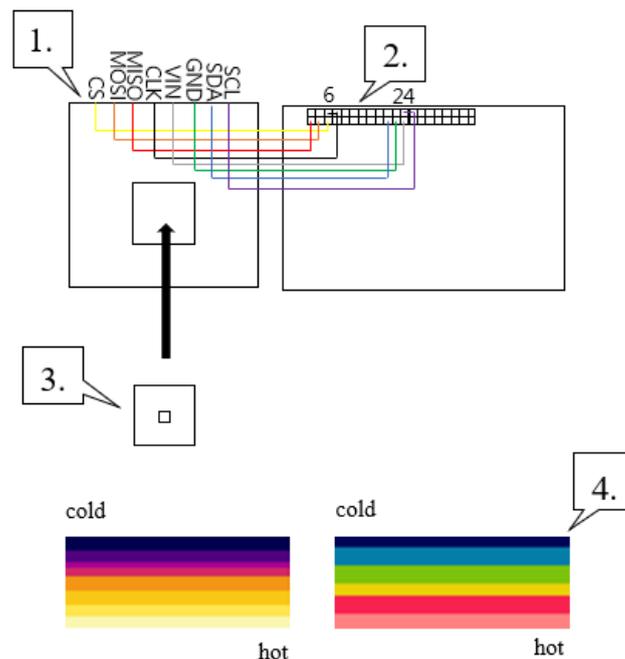
旁路二極體因為損壞所發生短路的現象，結果造成模組裡的電池串形成迴路乾燒，此現象發生的原因可能是先天的缺陷或長期處在高溫狀態之下，也可以透過紅外線熱影像檢測看見大面積的異常高溫。

2.3 紅外線熱影像物理基礎

紅外線熱影像的原理^[12]是基於物理現象，只要是任何溫度高於絕對零度(-273.15°C)的身體都會發出電磁輻射。物體表面與其產生輻射的強度和光譜成分之間是存有其相關性的。藉由通過確定其輻射強度，是可以以非接觸的方式來檢測物體的溫度。

三、實驗方法

FLIR Radiometric Lepton Dev Kit - KIT-14654 作為紅外線熱影像模組(如圖 1)的核心零件，它本身是由 FLIR Breakout Board v1.4 與 FLIR Radiometric Lepton 2.5 組成。它具有完整的長波紅外線(LWIR)非製冷 VOx 微測輻射熱計，可以捕獲 8 至 14um 的標稱響應波段。紅外線熱影像的分辨率為 80x60 像素。微測輻射熱計的場景動態範圍為 -10°C 至 140°C，最佳工作溫度範圍為 -10°C 至 +80°C^[13]。此外本專題將紅外線熱影像運用在 Raspberry Pi 3B 上，且使用筆記型電腦或智慧型手機運用 VNC server 和 VNC viewer 等軟體透過 Wi-Fi 遠端控制紅外線熱影像程式，來進行所有的實驗。



- 1.FLIR Breakout board v1.4:紅外線熱影像模組之開發板
- 2.Raspberry Pi3B:微型電腦，編譯程式的載體
- 3.FLIR Radiometric Lepton 2.5:80x60紅外線熱影像模組
- 4.False color:實驗時使用的調色盤

圖 1：模組接線示意圖

圖 2 是紅外線熱影像的軟體圖形介面。本專題研究運用的程式是透過 Debian 8(Jessie)作業系統、Qt4-Dev-Tools 進行開發和運作，而硬體程式是從現有的程式進行修改，它具備 Enable AGC、Disable AGC、FFC(Flat Field correction)、Capture、Restart 等圖像式按鈕，其中 Capture 的功能是資料擷取，點擊會產生 PNG、TXT 兩種檔案，分別給出熱影像圖片和每像素的溫度數據，其按鈕功能說明請參閱參考文獻 13、14。

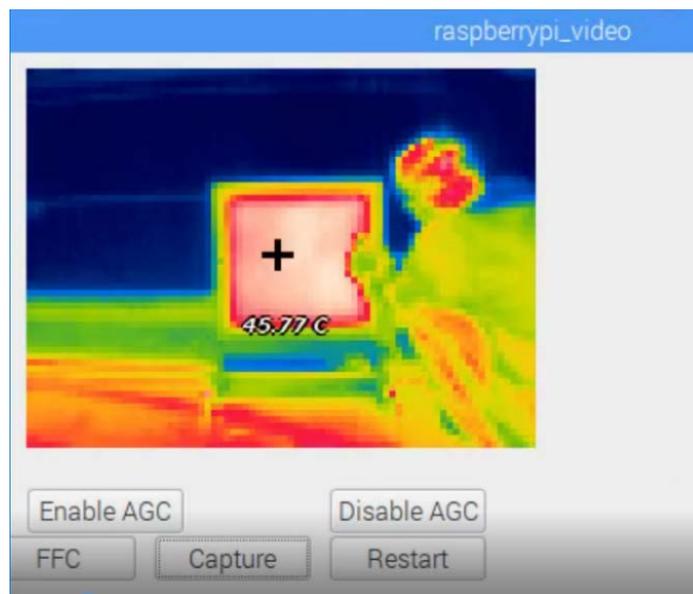


圖 2：軟體圖形介面

3.1 實驗材料與儀器

如表 2 所示，這些是本專題所使用的重要零件和儀器，透過 Raspberry Pi 3B 這款微型電腦，它有足夠的硬體實力使 FLIR Radiometric Lepton Dev Kit - KIT-14654 運作的能力，而 Dr.AV GE-433A，它是一款紅外線非接觸式溫度計，它作為本專題實驗用來與紅外線熱影像模組對照溫度表現的儀器。

表 2：材料與儀器資訊表

<p>FLIR Radiometric Lepton Dev Kit - KIT-14654</p>	<p>水平視野：50 度 有效幀率：8.6Hz 定時器輸出：25 MHz 像素大小：17μm 控制介面：I2C 視頻介面：SPI 重量：5g</p>	
<p>Raspberry Pi 3B</p>	<p>工作電流：800 mA 電壓輸入：5V, 2A RAM:1GBLDDR2 時鐘頻率：1.2GHz 板載儲存：Micro SD card 重量：42g</p>	
<p>Dr.AV GE-433A</p>	<p>測量範圍： -50$^{\circ}$C ~+320$^{\circ}$C 測量時間：\leq0.8 秒 溫度顯示：攝氏/華氏</p>	

3.2 模組測試實驗步驟

本專題實驗流程依照如圖 3 所示進行，在第 3.3 節會分別對於紅外線熱影像模組與紅外線溫度計對比測試、模擬空拍時常用角度測試與模擬空拍時其他的角度測試做說明。

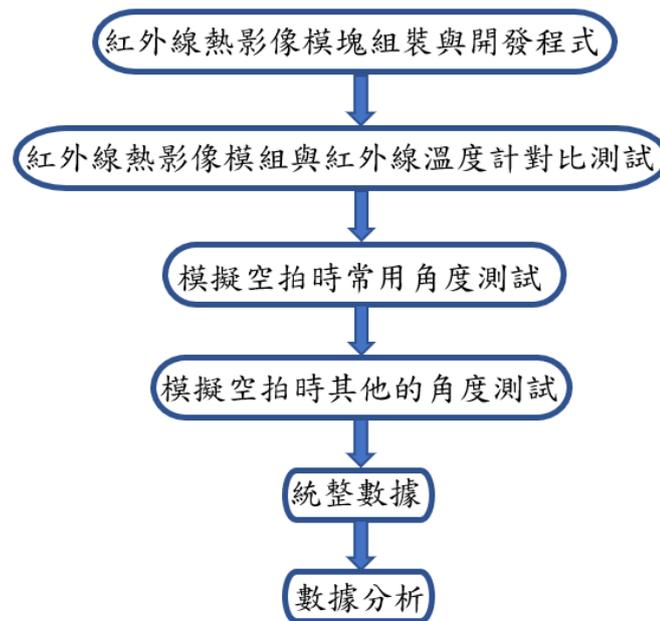


圖 3：本專題各項實驗流程圖

3.3.1 紅外線熱影像模組與紅外線溫度計對比測試

將開發出來的紅外線熱影像模組進行測試，利用紅外線溫度計對比，檢視精度表現是否與數據表相同，本實驗以太陽能板作為測試物件，實驗時，先以太陽能板為基準在地面上畫上 1m-5m 刻度作為紅外線熱影像模組的量測位置，接下來我們會依照每種刻度進行測試，我們會在短時間內的情況之下，先後使用紅外線熱影像模組與紅外線溫度計量測溫度，並且紀錄太陽能板的最高與最低溫度，同距離量測 3 次溫度，總共會量測 15 次溫度。

3.3.2 模擬空拍時常用角度測試

我們以角度 23° 調整太陽能板與地面之間的角度，以檢查紅外線熱影像模組顯示的熱範圍和平均溫度。選擇太陽能板和紅外線熱影像模組間的兩個角度以檢查太陽能板上的熱範圍。示意性橫截面在圖 4 中給出。首先，將紅外線熱影像模組的鏡頭調整到太陽能電板，如圖 4(a)所示，並使用紅外線熱影像模組捕獲圖像。其次，我們將熱影像模組的鏡頭調整為與地面平行，如圖 4(b)所示，並使用紅外線熱影像模組去捕獲熱影像得到溫度數據。

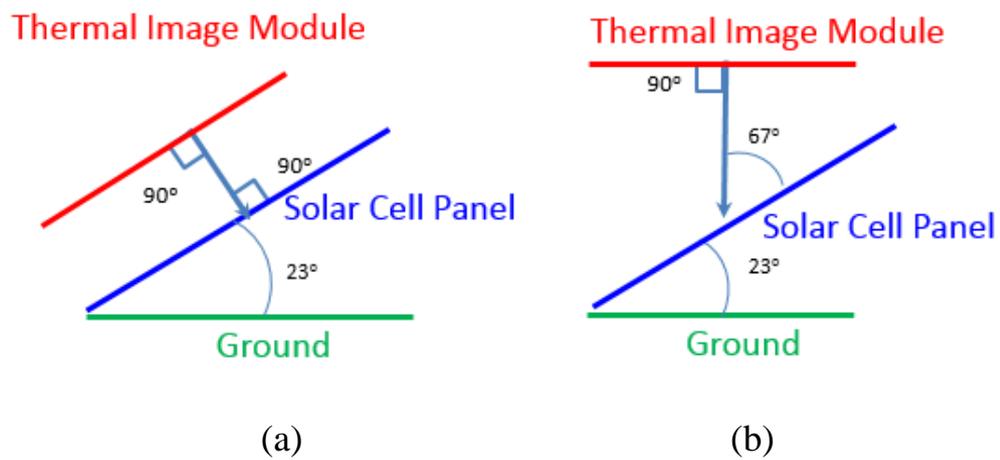


圖 4：用於檢查熱影像像模塊精度的示意性橫截面設置

3.3.3 模擬空拍時其他的角度測試

此測試的目的是角度不同情況下紅外線熱影像模組精度的表現給予無人機航拍太陽能電板時的參考數據。實驗時，調整太陽能板的角
度分別依序 23° 、 30° 、 45° 和 60° 等角度進行實驗，在短時間之下，先後以紅外線熱影像模組與紅外線溫度計量測溫度，並紀錄太陽能板上的最高溫與最低溫度。實驗的設置在圖 5(a)和(b)中給出。

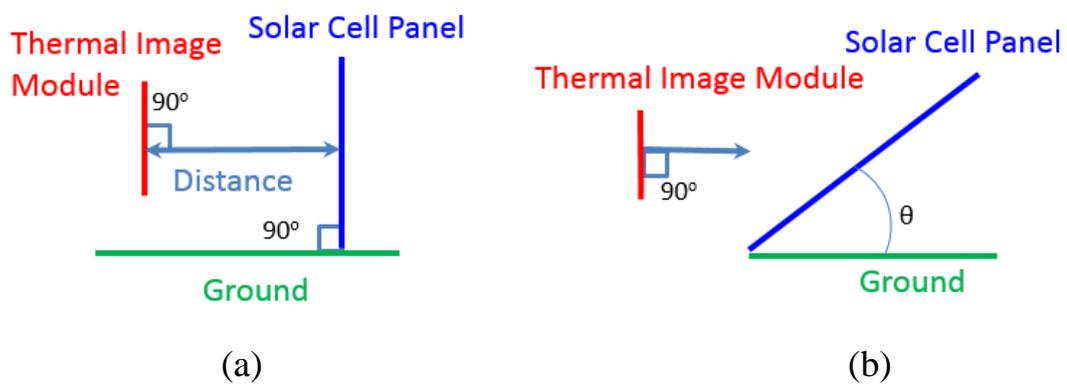


圖 5：橫截面示意圖設置用於檢查熱影像模塊的精度

四、結果與討論

1. 依照圖 6 所示，發現有兩組數據超出數據表 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 精度規範，而且其中一組數據差異過大，兩者差異至 11°C ，這不是一個正常而且可以接受的溫度數據，可能原因是長時間的漂移效應會降低影像均勻性的情形發生，以致於精度下降，但整體下來精度表現還是能夠接受的範圍，(紅外線溫度計以近距離的方式量測)。

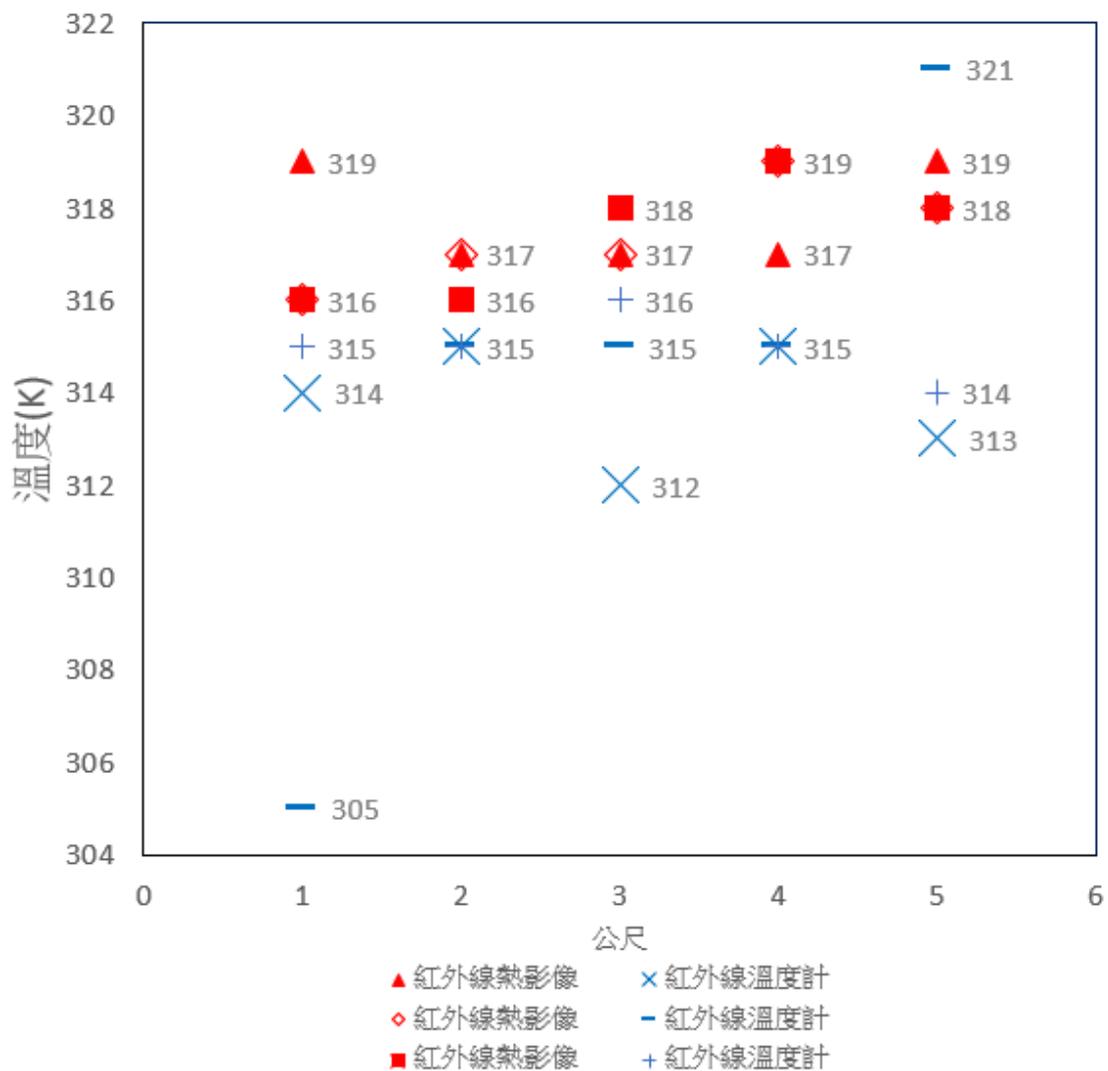


圖 6：模組與儀器 1m-5m 溫度對比圖

2. 依照鏡頭對於太陽能板角度 90° 與 67° 進行紅外線熱影像探測溫度差異，發現其溫度差異並不大，太陽能板量測最高的溫度角度 90° 與 67° 的最高溫度相差兩度，平均溫度只差一度。

表 3：兩種角度溫度量測表

角度	溫度範圍(K)	平均溫度(K)
90度	295~308	301
67度	295~310	302

3. 依照 23° 、 30° 、 45° 與 60° 等角度拍攝，發現 23° 度差異過大，而原因可能是入射角的角度或是因長時間漂移效應而降低影像均勻性的問題，導致量測精度下降，其他的角度精度表現都符合預期，精度表現上都在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 之間符合數據表上 $\pm 5^\circ\text{C}$ 的規格，(紅外線溫度計以近距離的方式量測)。

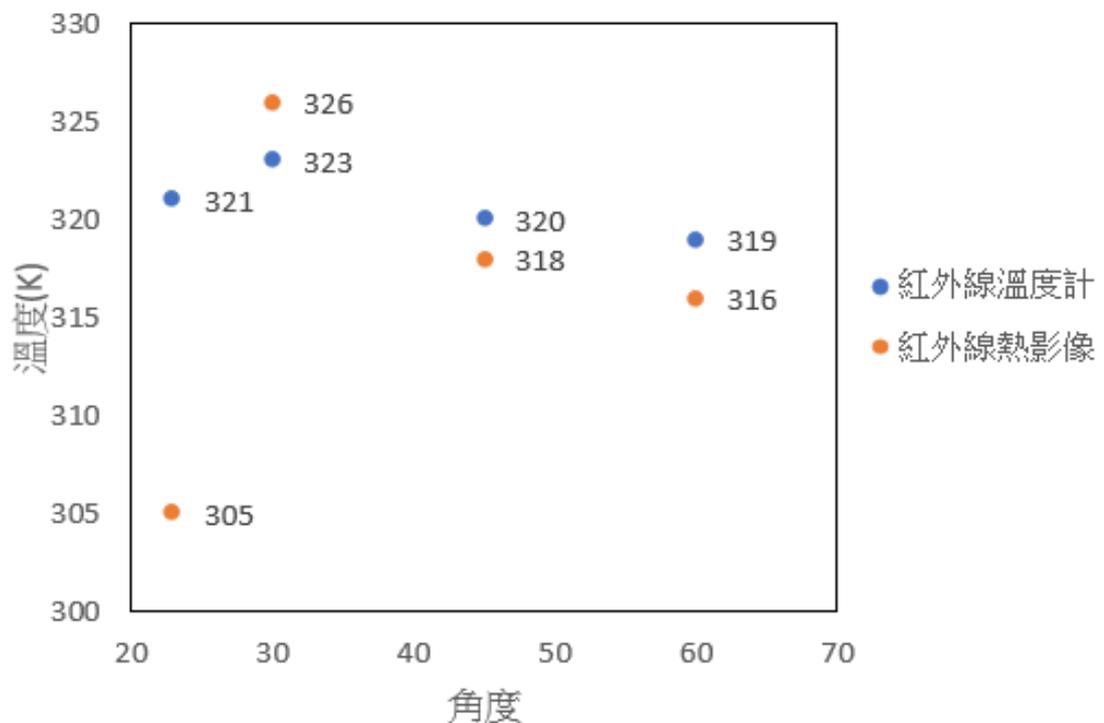


圖 7：模組與儀器四種角度對於溫度的對比圖

五、結論

本研究試著將市面上所販賣廉價的紅外線熱影像模組進行開發能夠運用在無人機空拍用途上，此模塊的重量相當輕，只有 5 公克重，而使對於無人機的負重所需下降連帶著無人機的維運成本下降。

本專題開發出來的紅外線熱影像模組與市面上紅外線溫度計對比實驗，相比之下是具有參考價值意義的，即使在探測距離到 5 公尺時，精度超出數據表上的規格，整體表現上還是能夠接受的，另外本專題還有探討無人機常用的角度去分析紅外線熱影像的兩種溫度表現差異，發現溫度差異並不大，還有對於溫度與不同角度進行探討是否溫度符合數據表上的規格，可以確認的是使用 30°、45°和 60°等角度量測太陽能板，這三種角度溫度數據是符合數據表上的規範。

參考文獻

1. C.T. Lia, (2018), Energy policy report, 9th Session 5 of the Legislative Yuan.
2. C.K. Lee, (2016), Governance focus of Ministry of Economic Affairs.
3. A.S. Chaudhary, & D.K. Chaturvedi, (2017), Efficient Thermal Image Segmentation for Heat Visualization in Solar Panels and Batteries using Watershed Transform, *I.J. Image, Graphics and Signal Processing*, MECS Press, 9(11): pp.10-17.
4. G. Takyi, (2017), Correlation of Infrared Thermal Imaging Results with Visual Inspection and Current-Voltage Data of PV Modules Installed in Kumasi, a Hot, Humid Region of Sub-Saharan Africa. *Technologies*, 5(4), 67: pp.1-17.
5. U. Jahn, M. Herz, M. Köntges, D. Parlevliet, M. Paggi, J. S. Stein, K. A Berger, S. Ranta, R. H. French, M. Richter, & T. Tanahashi, (2018), Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications (Report IEA-PVPS T13-10:2018), Paris: IEA International Energy Agency.
6. J.A. Tsanakas, & P.N. Botsaris, (2013), On The Detection of Hot Spots in Operating Photovoltaic Arrays Through Thermal Image Analysis And a Simulation Model. *Materials Evaluation*, 71(4): pp.457-465.
7. M. Aghaei, U. E. Madukanya, A. K. V. Oliveira, & R. Rüther, (2018, April), Fault Inspection by Aerial Infrared Thermography in a PV Plant After Ameteorological Tsunami. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
8. H. Ganesh, (2018), Snail Trails – aesthetic issue or performance limiter? <https://www.avisolar.com/post/snail-trails-on-solar-panels-an-aesthetic-issue-or-a-performance-limiter> (2019,06,12)
9. Pidbull, (2016), What is PID. <http://pidbull.com/what-is-pid/> (2019,06,12)

10. 林敬傑，(2017)，太陽能電站 IR 熱影像空拍。 <http://solar543.blogspot.com/2017/03/irinspection.html>
(2019,03,13)
11. PV MAGAZINE, (2017), Hot spots: Causes and effects. <https://pv-magazine-usa.com/2017/08/22/hot-spots-causes-and-effects/> (2019,01,12)
12. Infra Tec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, (2006), Infrared Thermography – Physical Basics. <https://www.infratec-infrared.com/thermography/service-support/glossary/theory/>
(2019,03,02)
13. FLIR LEPTON® with Radiometry Datasheet, (2014), Document Number: 500-0659-00-09 Rev: 203.
[On-line], Available: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-engineering-datasheet.pdf> (2019,01,02)
14. FLIR LEPTON® Software IDD, (2014), Document Number: 110-0144-04 Rev: 303.
[On-line], Available: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-lepton-software-interface-description-document.pdf> (2019,05,19)

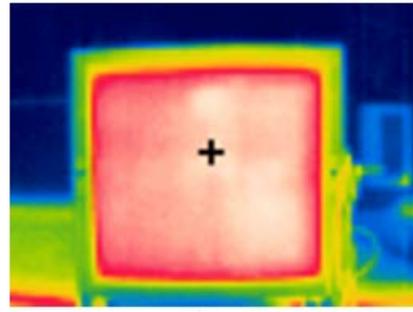
附錄

本節提供了本專題 3 種實驗所有的實驗時所拍攝的照片以做於參考。包含了紅外線熱影像模組與紅外線溫度計對比測試、模擬空拍時常用角度測試與模擬空拍時其他的角度測試，這三種實驗總共有拍攝 32 張照片，其中有 11 張是可見光照片，其他皆是紅外線熱影像照片，(請注意本節的可見光照片與紅外線熱影像照片並不是相同的時間拍攝，還有背景物與拍攝位置會有所差異)。

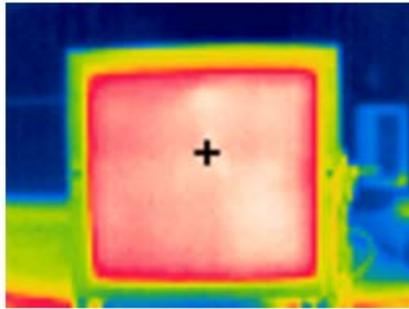
1. 從圖 1 得知紅外線熱影像模組所擷取圖像上的顏色分布，從中得知太陽能板溫度最低大都集中在太陽能板的邊緣，(此紅外線熱影像圖形是對應表格 1 的順序：由左至右，由上而下)。

表 1：模組與儀器 1m-5m 溫度對比數據表

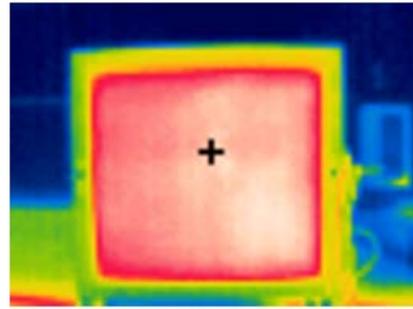
距離	紅外線溫度計(K)	紅外線熱影像(K)
1m	319	314
1m	316	305
1m	316	315
2m	317	315
2m	317	315
2m	316	315
3m	317	315
3m	317	315
3m	318	316
4m	317	315
4m	319	315
4m	319	315
5m	319	313
5m	318	321
5m	318	314



2018/12/28 12:22

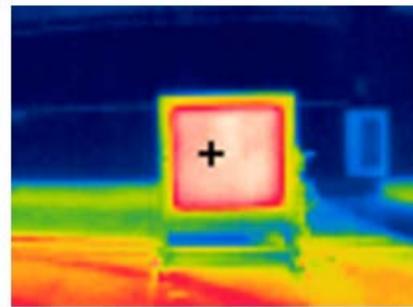
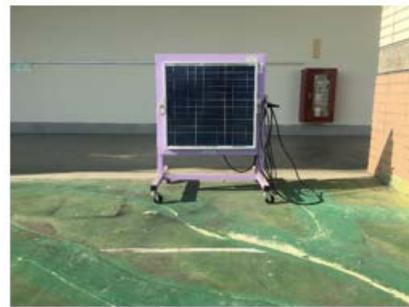


2018/12/28 12:26

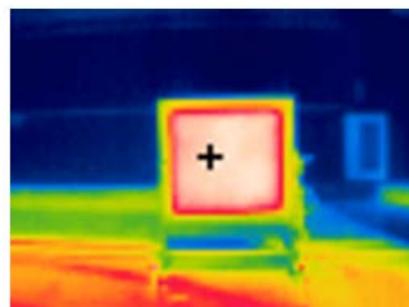


2018/12/28 12:28

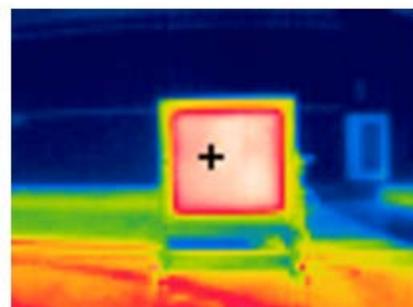
圖 1：一公尺實驗照片



2018/12/28 12:33

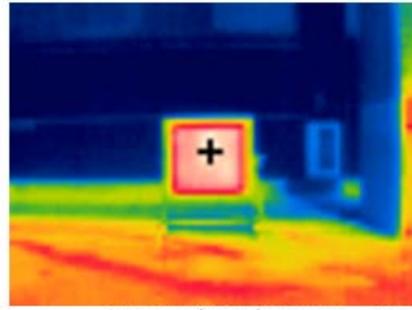


2018/12/28 12:35

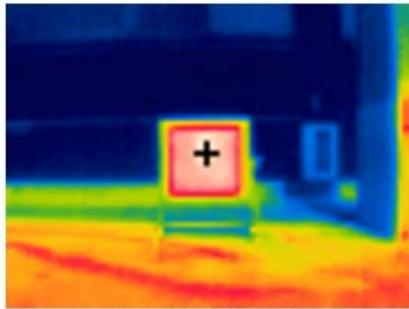


2018/12/28 12:36

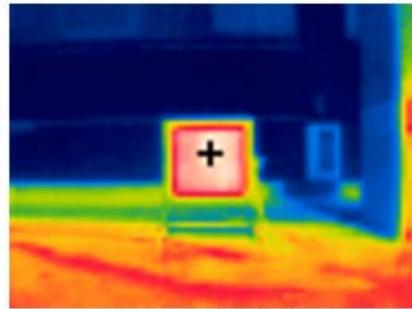
圖 2：二公尺實驗照片



2018/12/28 12:40

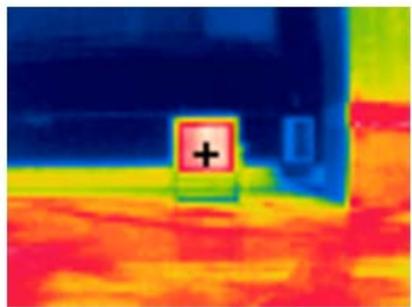


2018/12/28 12:42

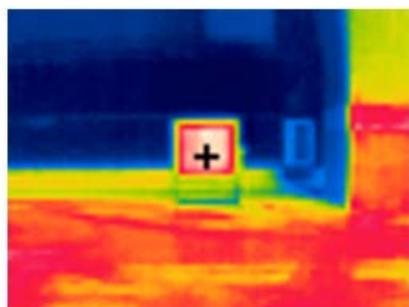


2018/12/28 12:43

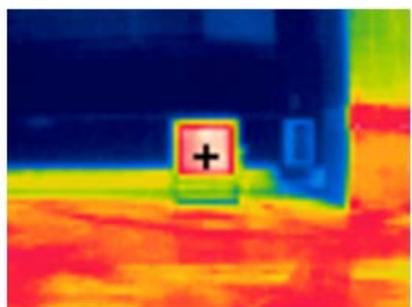
圖 3：三公尺實驗照片



2018/12/28 12:54

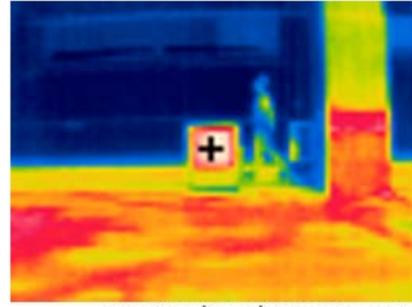


2018/12/28 12:55

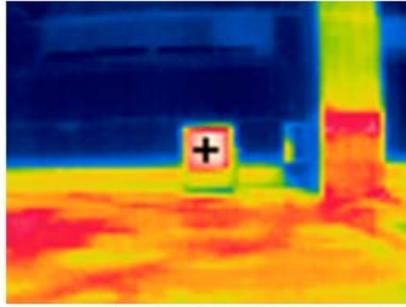


2018/12/28 12:56

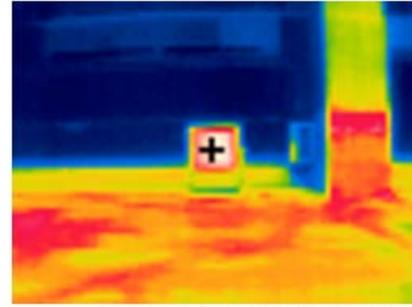
圖 4：四公尺實驗照片



2018/12/28 01:06



2018/12/28 01:07



2018/12/28 01:09

圖 5：五公尺實驗照片

2. 圖 6 是模擬空拍時常用角度測試的實驗照片和示意性橫截面。

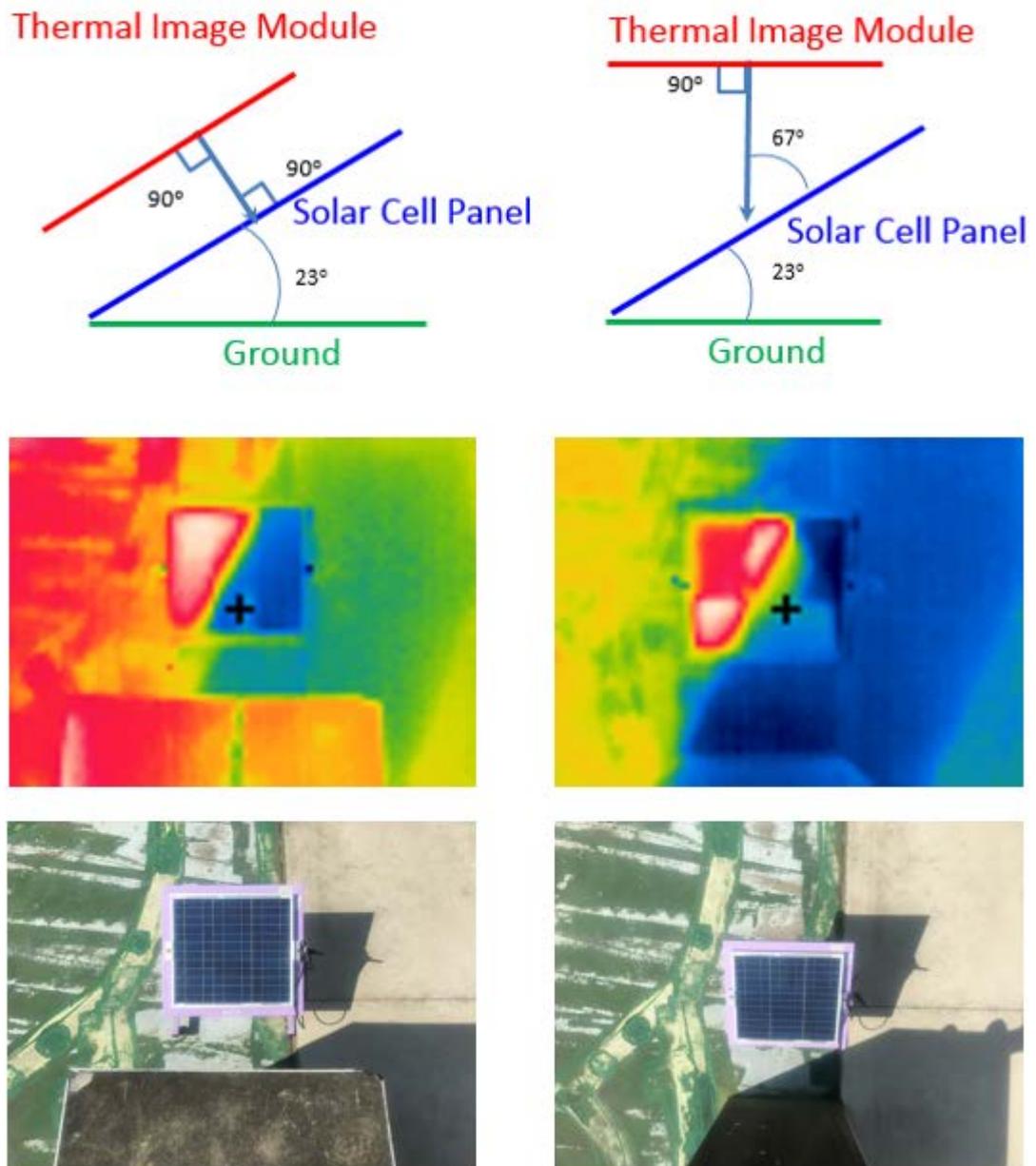


圖 6：模擬空拍角度溫度量測照片

3. 圖 7 是模擬空拍時其他的角度測試的實驗照片，這些照片依照角度由大而小，由上而下排列，包括 23、30、45 與 60 等角度照片。

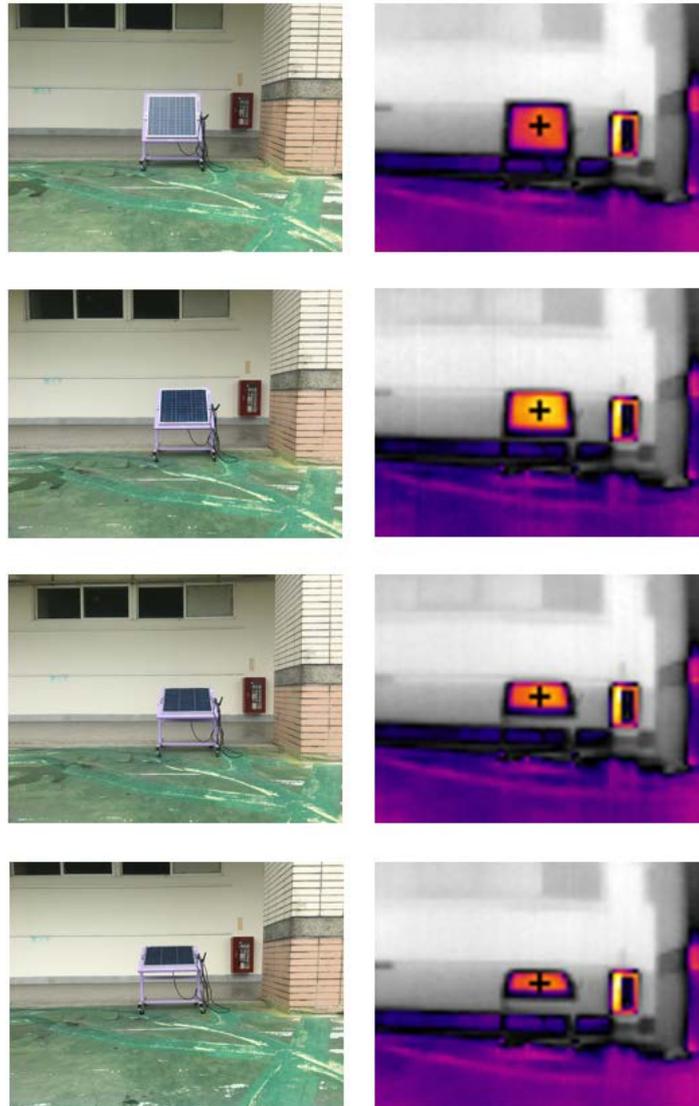


圖 7：模擬空拍時其他的角度溫度量測的實驗照片