

# 太陽光電裝置發電數據異常檢測研究報告

## (一) 研究計畫之背景

近年來太陽光電發電系統之設置與應用已相當的廣泛，而系統除了設置成發電廠做為大電力供電外，也常被設置於建築物之屋頂、高樓大廈之外牆等做為室內的部分電力供給來源。然而，太陽光電模組受到外在環境灰塵、污漬、遮蔭、電池表面產生蝸牛紋(Snail trails)及旁路二極體與模組內部之溫升，再加上設置於市區中之系統也易受自然環境之影響，如颱風、雷擊等，將導致太陽光電模組劣化而發生故障。

近年來已有許多專家學者提出智慧型的太陽光電模組故障檢測方法[1-2]，但由於有許多方法都是需要加裝或是設計一套個別專用的太陽光電模組故障檢測設施。而本研究計畫提出之方法不需要加裝檢測電路或改變太陽光電模組陣列之連接方法即可判斷其故障類別，也因為這樣使其具有通用性，不用受限於特定種類及規模大小的太陽光電模組陣列。

## (二) 研究方法

本計畫所提之太陽光電裝置發電數據異常檢測研究的架構如圖 1 所示。本計畫將採用無人機(Unmanned Aerial Vehicle)DJI Mavic 2 Enterprise Dual[3]搭載紅外線熱像儀(IR)[4]與可見光鏡頭，藉由無人機的機動性，能夠快速地檢測大型太陽光電發電廠的所有模組，其係經由無人機搭載 2.4GHZ 或是 5.8GHZ 的無線電傳輸的紅外線與可見光鏡頭拍攝照片，快速的將熱像圖與影像傳回電腦，經由 Matlab 軟體撰寫透過 Laplace 影像檢測計算方程式，再套入影像差異法之公式使圖像更加的清晰，然後再將熱像圖去模糊化，並且把圖像帶入負片效果，藉由產生的圖片進行辨識旁路二極體是否損壞，再以此經負片處理後之圖片的黑白比例多寡進行辨識是否有灰塵、污漬或遮蔭情形，最後再將 IR 熱像圖及一般照片透過擷取其特徵點，藉由可拓方法進行辨識比對，把相近圖像視為同一個故障類別，計算不同故障之關聯

度做為故障類別的辨識依據，使其準確度大幅的提升。本計畫亦藉由物聯網傳遞故障訊息，使大型太陽光電發電廠之模組故障資訊能即時傳送給客戶與廠商，以便提供維護人員進廠維修時機點之參考。

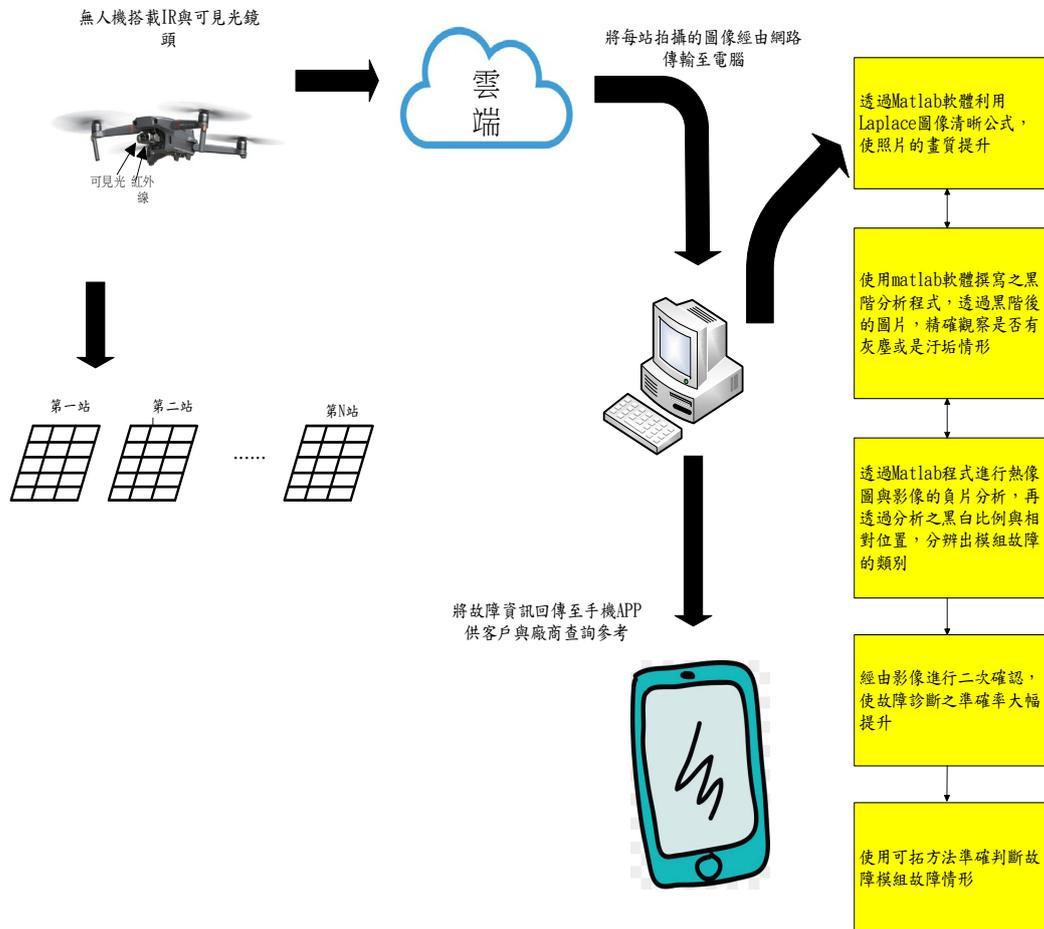


圖 1 太陽光電裝置發電數據異常檢測研究架構

以無人機檢測太陽光電裝置發電數據異常前要先設定無人機的飛行路徑，故首先將各個太陽光電模組設定為無人機的到達站，以方便無人機飛行的時候可以辨別各個點的位置，且設定點若在拍攝中沒有拍攝到全部的太陽光電模組的話，則無人機便會在原地飛得更高。依此類推，當拍攝到全部的太陽光電模組後，便會經由無人機內部的2.4GHZ 或是 5.8GHZ 的無線電傳輸功能，將照片影像回傳到電腦進行辨識，之後再飛往下一站，如此重複進行這些動作。當這些設定點都完成後，就不需要操作人員，而只要下達指令就能夠安全的完成飛行一圈。飛行過程中當無人機飛到每個設定好的站時，都會拍照並回

傳圖像至電腦，經由 Matlab 內部故障類別辨識程式比對後，即可判斷模組是否有損壞。而每當無人機出發拍攝一趟，就等於拍過所有站的全部模組，即將全部的太陽光電模組都檢測過一次，電腦也會辨識所有太陽光電模組是否有損壞及其故障位置。經由智慧型辨識程序後，將可使故障檢測的準確度大幅提升，之後再經由撰寫 APP 程式，更可以讓客戶與廠商可以直接得知太陽光電模組是否有損壞及損壞的位置與原因，以便做為大型太陽光電發電廠之維護時機參考。

本計畫目前測試地點為國立勤益科技大學建置在工程館 8F 之 45KW 太陽光電發電模組陣列，拍攝高度為離 8 樓地板 15 公尺之高空，並且記錄拍攝當天之天氣狀況與太陽光電模組的溫度現象，經由大量觀察太陽光電模組的溫度變化，可得到太陽光電模組故障時模組會有發熱的現象，而且不同故障其溫度也會不同，例如在大氣溫度 30 度時，旁路二極體故障的模組最高溫會到達 65 度，而相同環境條件下，發生遮蔭的模組溫度只有 37 度，這些數據對於故障類別的判斷有很大的幫助。

圖 2 為整體太陽光電模組陣列發生各類故障發熱現象的光影像與熱影像圖。由圖 2 可明顯觀得發熱點的高溫與正常差異將近 20 度左右，而故障原因不同，其發熱之溫度範圍亦不太相同。

圖 3 為太陽光電模組旁路二極體短路[5]之故障特性圖。由圖 3 中可直接觀得太陽光電模組陣列右下方的模組為旁路二極體故障，雖然光影像沒有特別的現象，但熱影像可見到發熱點聚集於模組下方，並且有單點高溫的現象。

圖 4 為太陽光電模組發生 Cell 破裂之故障特性圖。當 Cell 破裂時，該 Cell 之溫度就會上升，但其他未破碎之 Cell 溫度則正常，所以經由紅外線溫度感測可以得知 Cell 是否破裂，而由光影像亦可以看出表面有損壞現象，所以如果要判斷 Cell 破裂，可以透過兩種方式辨識出 Cell 故障，而隱裂亦是相同的辨識方法。

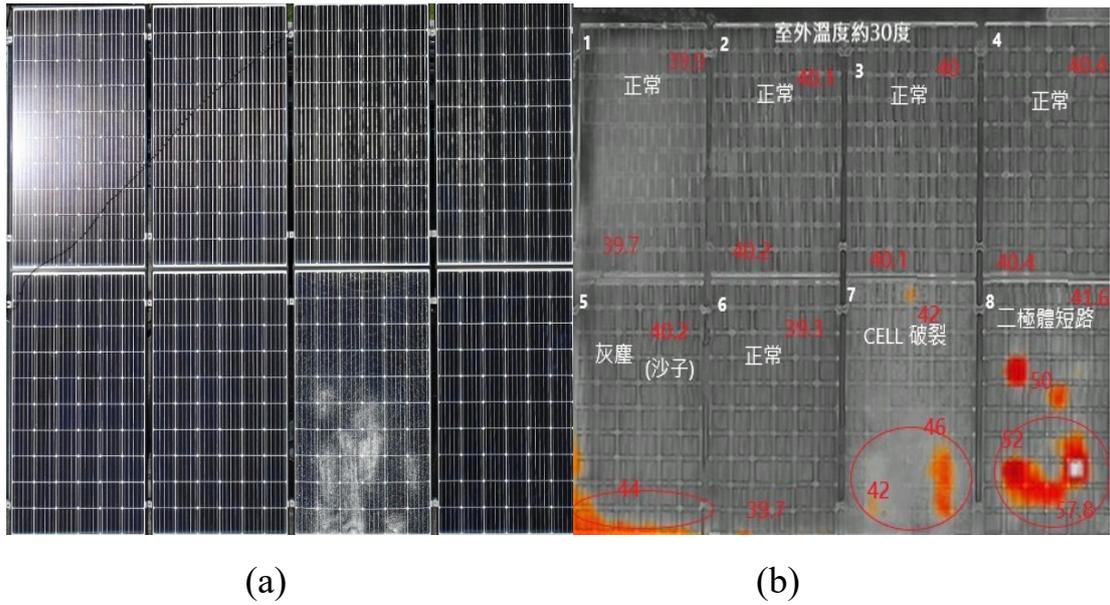


圖 2 8 片太陽光電模組故障影像:(a)光影像；(b)熱影像

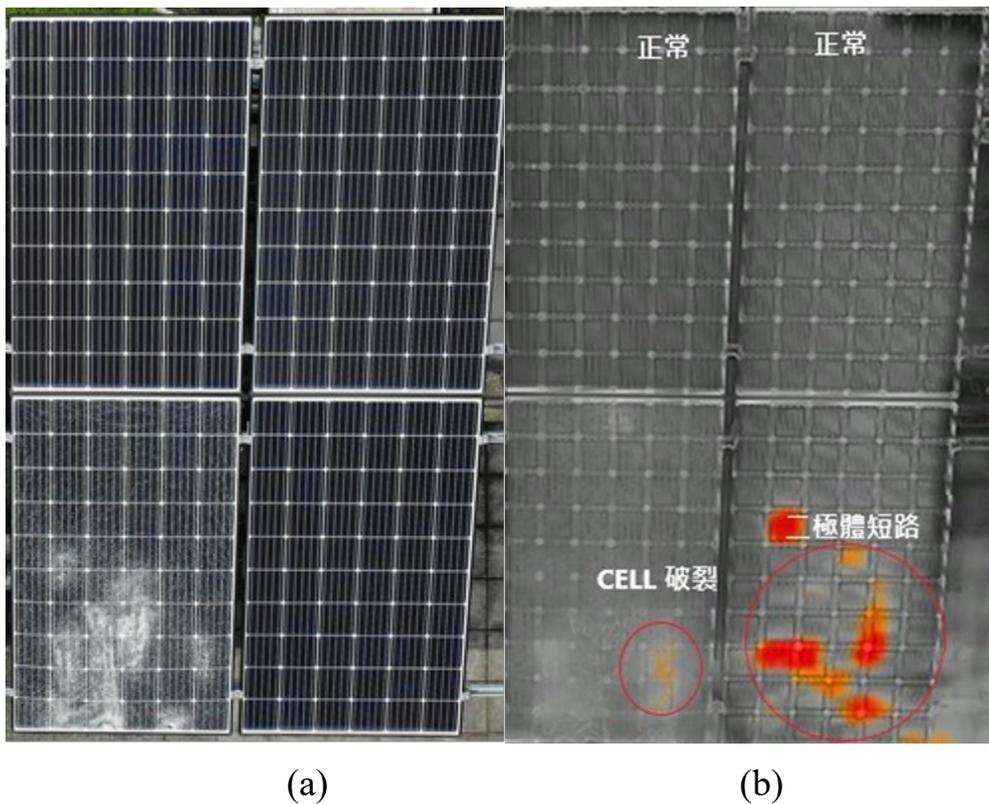


圖 3 旁路二極體故障情形:(a)光影像；(b)熱影像

圖 5 為太陽光電模組遇到異物或是被遮蔽時之故障特性圖。當遇到遮蔭[6]時，太陽光電模組的下邊緣會有輕微發熱現象，本實驗以貼上透明膠帶模擬太陽光電模組有被遮蔭，而藉由此圖可得知太陽光電

模組具有發熱的現象。

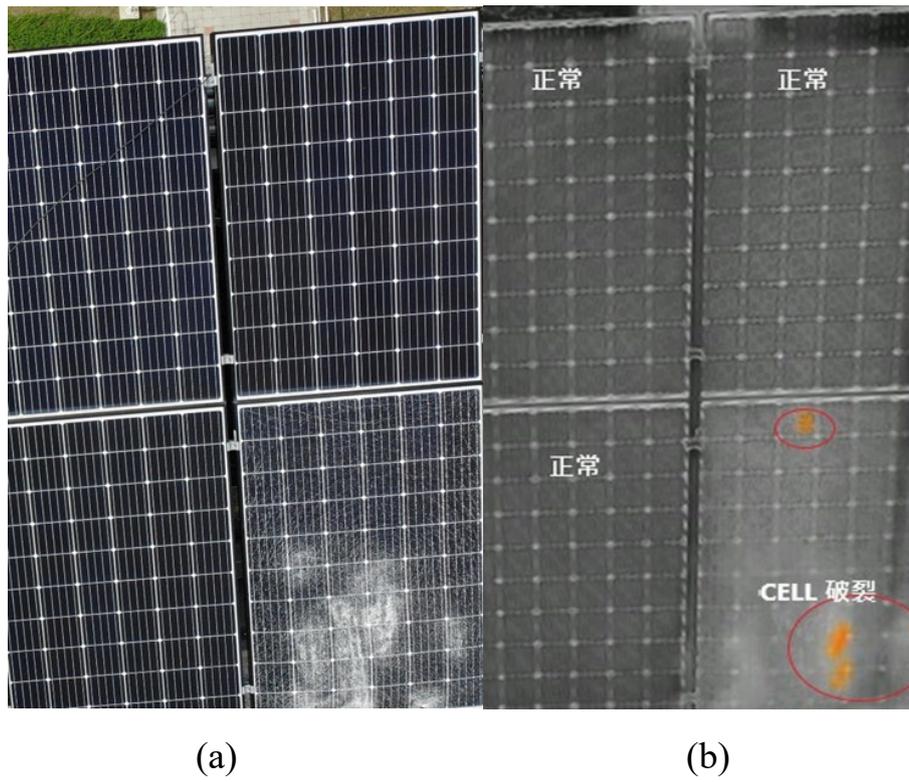


圖 4 Cell 破裂之故障情形:(a)光影像；(b)熱影像

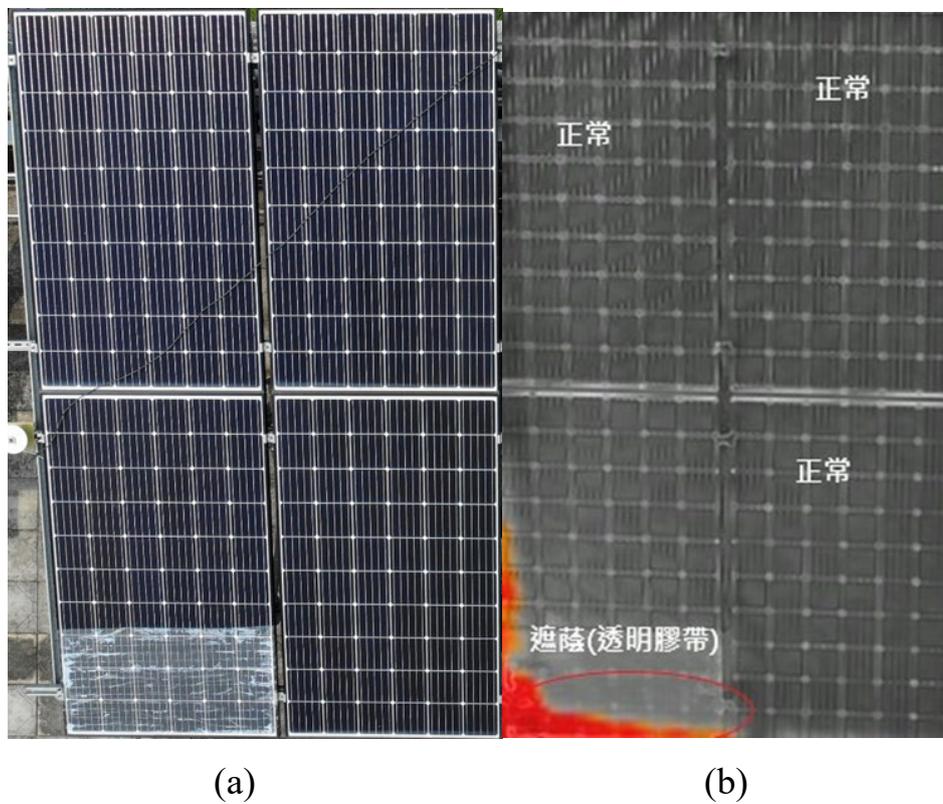


圖 5 遮蔭故障情形:(a)光影像；(b)熱影像

圖 6 為太陽光電模組可一次拍攝最多模組數的測試。經由所拍攝之太陽光電模組照片，可以推測出大約可一次拍攝 200 塊太陽光電模組，而由此測試可以了解到，若在大型太陽光電廠僅需要幾張照片即可完成整體模組陣列的辨識。



圖 6 可一次拍攝最多太陽光電模組數量測試

為了能夠使拍攝照片位置更加準確，可以從照片中擷取到其拍攝座標，如圖 7 所拍攝照片的座標範圍，將此圖所顯示之座標輸入無人機飛行設定中，即可使無人機拍攝到同樣範圍內的照片，進而能夠更加清楚的辨識太陽光電模組故障範圍，達到高準確度的辨識結果。



圖 7 拍攝照片之座標位置設定

## **(1)無人機**

無人機技術的演變，最早從軍事無人偵察機而來。而無人機和玩具遙控飛機最大的差別在於其是否具有人工智慧功能。最早玩家用遙控器操控模型飛機，故飛機必須要在視線內，而且操控技術門檻高。另一種是藉由電腦操控，在電腦上設定好目標後，無人機就會按照路徑飛行，而軍事用無人機也是如此。現在市場上談論熱度最高的無人機，其實是所謂的空中機器人，加上人工智慧之後，無人機就會自動閃避障礙物，甚至還會跟著人走，使得操作相當簡單，大幅降低了使用門檻。

無人機之設定及操作步驟如下：

- 步驟 1：設定無人機飛行的基本值，如啟動轉速或控制桿的靈敏度等。
- 步驟 2：設定每個站的經緯度，並且測試飛行高度是否能夠拍到全部的太陽光電模組。
- 步驟 3：設定每一張照片回傳至電腦的路徑，以便後續可以使用 Matlab 軟體撰寫的程式進行圖像分析。
- 步驟 4：確定無人機飛行路線上並不會碰到任何的障礙物，避免飛行時撞擊障礙物，導致無人機的損壞。
- 步驟 5：確定無人機的起始站與終點站位置相同，避免執行多次任務後，因為設定時的誤差，造成執行任務時的誤差值越來越大，導致任務失敗。

## **(2)紅外線與可見光鏡頭**

為了要能夠拍攝熱像圖與光影像做為太陽光電模組的故障檢測使用，無人機上必須搭載紅外線與可見光鏡頭，藉由同一個位置所拍攝到的熱像圖與光影像照片，再利用圖像清晰化程式，使得圖片更加的清晰，而清晰化後的熱像圖可以再透過負片化程式處理，使影像可以透過灰階化進行故障類別分析。因本計畫採用之無人機可同時搭載紅外線與可見光鏡頭，故可以輕易的拍攝到同一個時間與同地點之太

陽光電模組的熱像圖及外觀影像，因此可降低故障類別的判斷誤差。

### (3) 熱像圖分析

本計畫先以建置於國立勤益科技大學工程館頂樓之太陽光電發電系統做為測試案例，經由拍攝學校屋頂之太陽光模組每天的熱像圖與光影像，再觀察其差異，並藉由蒐集大量之熱像圖與光影像後，歸類各種故障之特徵，然後使用 Matlab 程式進行熱像圖與光影像的負片處理與灰階分析，再透過分析之黑白比例與相對位置，即可分辨出模組故障的類別，最後再經由光影像進行二次確認，使故障診斷之準確率大幅提升，亦可讓維修人員更加迅速的找到故障模組位置，並迅速加以修復。

### (4) 熱顯影影像檢測

為了使圖像更加的清晰，本計畫先使用式(1)之拉普拉斯(Laplace)影像檢測的計算方法[5]。求得影像的二階倒數銳化圖像，進而使圖像更清晰。

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

由於 Laplace 影像檢測方法是透過對影像進行二階微分處理實現邊緣檢測的方法，所以對離散點和雜訊比較敏感。因此，首先將對影像進行高斯卷積濾波降噪處理，再採用 Laplace 運算式進行邊緣檢測，這種濾波組合稱為高斯濾波的拉普拉斯，其方程式如式(2)及式(3)所示。

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y) \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \quad (3)$$

其中 $\partial$ 是偏微分運算子。

根據上面的定義，與拉普拉斯的定義結合可得到式(4)。

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (4)$$

### (5) 影像差異值法

經由整張影像每個點的影像值與整張影像的平均值相減再取絕

對值，可得相鄰像素間之差異值，最後再平均以求得其大小清晰度值。

$$F_{AMP} = \frac{1}{N^2} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^N |I(x,y) - u| \quad (5)$$

其中  $I$  為  $N*N$  的每個點的影像值；而  $u$  為整張影像的平均值。

### (6) 熱顯影影像面積比

經由 Matlab 內部指令將熱顯影負片後，依照圖片黑白位置，先辨識旁路二極體是否損壞，再依照擷取到的黑白色比例去辨識其他故障類別。當白色區域比例越高，代表其損毀程度越大。其程式指令如式(6)所示。

```
nim = imcomplement(gim); %將灰階圖片做負片化
%figure, imshow(nim);
imwrite(nim,'擷取到的圖片');
```

 (6)

### (7) 可見光影像梯度值法

為了使影像不因鏡頭像素低而影響其清晰度，本計畫採用 Matlab 軟體程式做為影像清晰度數值的修正，其透過 Laplace 影像檢測方法之公式進行捲積運算，當值愈大表示影像愈清晰，因此可以導出相較於原始檔清晰的照片，其運算程式流程如下所示。

```
f=magic(3)
w=fspecial('laplace',0)
n=imfilter(f,w,'replicate');
n=imfilter(f,w,'replicate','full');
k=padarray(m,[2 2],'replicate')
```

 (7)

### (8) 可拓理論

可拓理論(Extension Theory)為中國學者蔡文教授於 1983 年所提出的學說，其概念為研究事物的可拓性，並從定性和定量方向來探討解決事物的矛盾問題。此外，物元(Matter Element)理論和可拓數學為可拓理論的兩大核心，其中物元理論主要為描述物元所具有之可拓性

和變換性的特性，而可拓數學則是以可拓集合(Extension Set)及關聯函數(Correlation Function)做為演算核心。可拓理論透過物元模型(Matter Element Model)表示事物訊息，並經由物元變換來表達事物質與量之轉換關係，再透過關聯函數的判別了解質與量對事物的影響性，因而清楚的表現事物特徵之影響程度。

## 8.1 可拓物元概念

可拓理論對於問題的處理方式，係將事物以物元模型來處理，若將物元模型以數學函式來表示之，則可表示成式(8)。

$$R = (N, C, V) \quad (8)$$

其中  $R$  為描述事物的基本元素，即為物元，而  $N$ 、 $C$  與  $V$  則為構成物元的三要素，這三要素分別是  $N$  為事物的名稱、 $C$  為事物的特徵及  $V$  為事物特徵的量值。在可拓物元理論中，若物元特徵不為單一項時，則以  $x$  個特徵及  $x$  個相對應之特徵數值分別表示，此時特徵以向量形式表示成  $C = [c_1, c_2, \dots, c_x]$ ，而特徵量值為  $V = [v_1, v_2, \dots, v_x]$ 。因此，式(8)之可拓物元函式可改寫成

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \mathbf{M} \\ R_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ & c_x, & v_x \end{bmatrix} \quad (9)$$

若特徵量值為一範圍，則稱此範圍為經典域(Classical Domain)，且包含在一節域(Neighborhood Domain)內。若假設區間  $F_0 = \langle a, b \rangle$ ， $F = \langle d, e \rangle$ ，且  $F_0 \in F$ ，並且點  $f$  為區間  $F$  上任一點，則  $F_0 = \langle a, b \rangle$  所對應的物元可表示成

$$R_0 = (F_0, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} F_0, & c_1, & \langle a_1, b_1 \rangle \\ & c_2, & \langle a_2, b_2 \rangle \\ & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ & c_x, & \langle a_x, b_x \rangle \end{bmatrix} \quad (10)$$

其中， $C_i$  為  $F_0$  之特徵，而  $V_i$  為  $C_i$  之特徵量值，即其經典域。而  $F$  對應的物元  $R_F$  可表示成式(11)。其中， $C_j$  為  $F$  之特徵值，而  $V_j$  為  $C_j$  之特徵量值，即其節域。

$$R_F = (F, C_j, V_j) = \begin{bmatrix} F, & c_1, & \langle d_1, e_1 \rangle \\ & c_2, & \langle d_2, e_2 \rangle \\ & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ & c_x, & \langle d_x, e_x \rangle \end{bmatrix} \quad (11)$$

## 2.2 距與位置值(Distance and Position Values)

古典數學為點與點之間的距離關係，而可拓理論則為實域上某一點與區間二者距離之關係，以函式表示成式(12)。

$$\phi(f, F_0) = \left| f - \frac{v_a + v_b}{2} \right| - \frac{v_b - v_a}{2} \quad (12)$$

除了考慮點與區間之關聯性外，還必須顧慮到點與二個區間或是區間與區間之關係。因此，若令  $F_0 = \langle V_a, V_b \rangle, F = \langle V_c, V_d \rangle$  分別屬於實域中之兩區間，而且  $F_0$  區間在區間  $F$  內，則點  $f$  與區間  $F_0$  及區間  $F$  的位置值可表示成式(13)。

$$D(f, F_0, F) = \begin{cases} \phi(f, F) - \phi(f, F_0), & f \notin F_0 \\ -1, & f \in F_0 \end{cases} \quad (13)$$

## 2.3 關聯函數(Correlation Function)

關聯函數為將距除以位置值所組成之函數，如式(14)所示。

$$K(f) = \frac{\phi(f, F_0)}{D(f, F_0, F)} \quad (14)$$

其中，當  $f = (V_a + V_b)/2$  時，關聯函數有最大值，則稱此關聯函數為初等關聯函數(Elementary Correlation Function)，其示意圖如圖 8 所示。另外，當  $K(f) < -1$  時，表示點  $f$  在區間  $F$  之外，當  $K_f > 0$  表示點  $f$  在區間  $F_0$  之內，而  $-1 < K(f) < 0$  則表示點  $f$  是落在可拓域內。

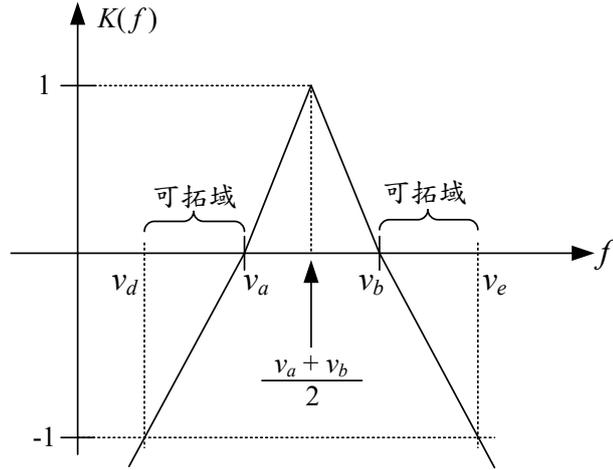


圖 8 初等關聯函數之示意圖

### (9) 以可拓方法進行圖像辨別

為了使故障診斷的準確率提高，本研究將發熱(熱影像)、發熱面積(熱影像)、模組溫度(熱影像)與髒污程度(可見光)視為故障特徵，再透過把圖像代入可拓故障診斷方法進行關聯度計算，尋找與已知故障關聯度最高者，即可歸類為該故障類別。本研究歸類之類別計有正常、遮蔭、隱裂、灰塵、旁路二極體故障及完全故障，而其特徵則為負片處理後之影像的白色區域的大小及位置，以下為可拓故障診斷方法之流程。

步驟 1：就每個類別之圖像故障特徵  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$ ，建立其物元模型。

$$R_g = (F, C, V_p) = \begin{bmatrix} F_0 & C_1 & \langle x_1, y_1 \rangle \\ & C_2 & \langle x_2, y_2 \rangle \\ & C_3 & \langle x_3, y_3 \rangle \\ & C_4 & \langle x_4, y_4 \rangle \end{bmatrix}, g = 1, 2, \dots, 6 \quad (15)$$

步驟 2：輸入待歸類之圖像故障特徵  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$ ，建立其物元模型成

$$R_{new} = \begin{bmatrix} F_{new} & C_1 & V_{new1} \\ & C_2 & V_{new2} \\ & C_3 & V_{new3} \\ & C_4 & V_{new4} \end{bmatrix} \quad (16)$$

步驟 3：選定各特徵之權重值  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  和  $W_4$ ，以代表各個特徵之重要程度。

步驟 4：計算待測圖像故障特徵值與各故障類別之關聯度。

$$\lambda_g = \sum_{j=1}^4 W_j K_{gj}, \quad g=1, 2, \dots, 5 \quad (17)$$

步驟 5：由計算後所得之關聯度中選擇最大值，以辨別待歸類之圖像故障特徵  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  和  $C_4$  所屬類別，並依據所屬類別進行判斷為何種故障。

## (10) 圖像比較

為了使圖片在確認故障類別時能夠更加準確，先利用可拓方法找尋最接近的圖像故障類別，再經由代入式(18)比較兩張圖的相關性，使所辨識的圖像能與之前辨識完的圖做比較，比如旁路二極體的位置雖然不太一樣，但是故障的圖樣相似度高，藉由式(18)就可以比對熱像圖所拍出的旁路二極體故障的白色圖樣，精確的分辨出圖形的相關性與故障的類別。

$$C(m, n) = \frac{D_C(m, n)}{\sqrt{\sum_i \sum_j |t(i, j)|^2 \sum_i \sum_j |r(i, j)|^2}} \quad (18)$$

## (11) 物聯網架構之建立

物聯網 (Internet of Things, IoT) [9] 是近幾年所提出之通訊架構，其主要是因為電子感測器與無線射頻識別 (Radio Frequency Identification, RFID) 技術之逐漸成熟，因只要使設備系統之間透過無線通訊技術之共同通訊協議就能夠將資訊上傳至雲端而互相分享與傳遞資料。此外，物聯網也提供了設備與用戶間之溝通服務，大幅降低了顯示器設備與資料儲存的成本。基於此，本計畫將大型太陽光電發電廠之故障診斷系統結合物聯網以達到智慧監控及追蹤之功效。圖 9 為本計畫提出之簡易型物聯網概念圖，其主要運作流程係將故障資訊藉由樹莓派 (Raspberry Pi) 電腦收集資料後，透過 Wi-Fi 上傳至雲端伺服器供客戶或維修人員利用其他通訊介面上網查看太陽光電發電

系統之運轉狀況。



圖9 本計畫提出之簡易型物聯網概念圖

經由長期監控，可發現太陽光電模組發生不同故障時，其所產生的溫度並不相同，為了能夠更加準確的判斷故障情形，本研究長期記錄太陽光電模組在不同故障下之不同環境下的溫度變化，得知太陽光電模組 Cell 破裂與旁路二極體短路的發熱現象最為明顯，再將變動的溫度範圍代入判斷法則，可提高判斷結果的準確度，因此溫度是在判斷太陽光電模組故障中重要的參考條件。

圖 10 為本計畫所提出之太陽光電裝置發電數據異常檢測研究之流程圖，藉由此圖可得知由拍攝所得之照片與其傳輸方式，透過圖像處理與判斷後，即可得知模組故障位置與故障類型。

本研究使用 MATLAB 黑階[10]功能來辨別太陽光電模組的故障情形，當照片經由雲端傳入 MATLAB 內部程式時，會先經由 Laplace 影像銳化處理使圖片更加清晰，再經由後續的負片化即可調整影像的 level 值，可以找尋所要擷取的故障點溫度範圍。圖 11 為所調整 level

值差異圖，經由調整 level 值過後，能夠取得高溫群，利用此高溫群即可判斷太陽光電模組是否發生故障。

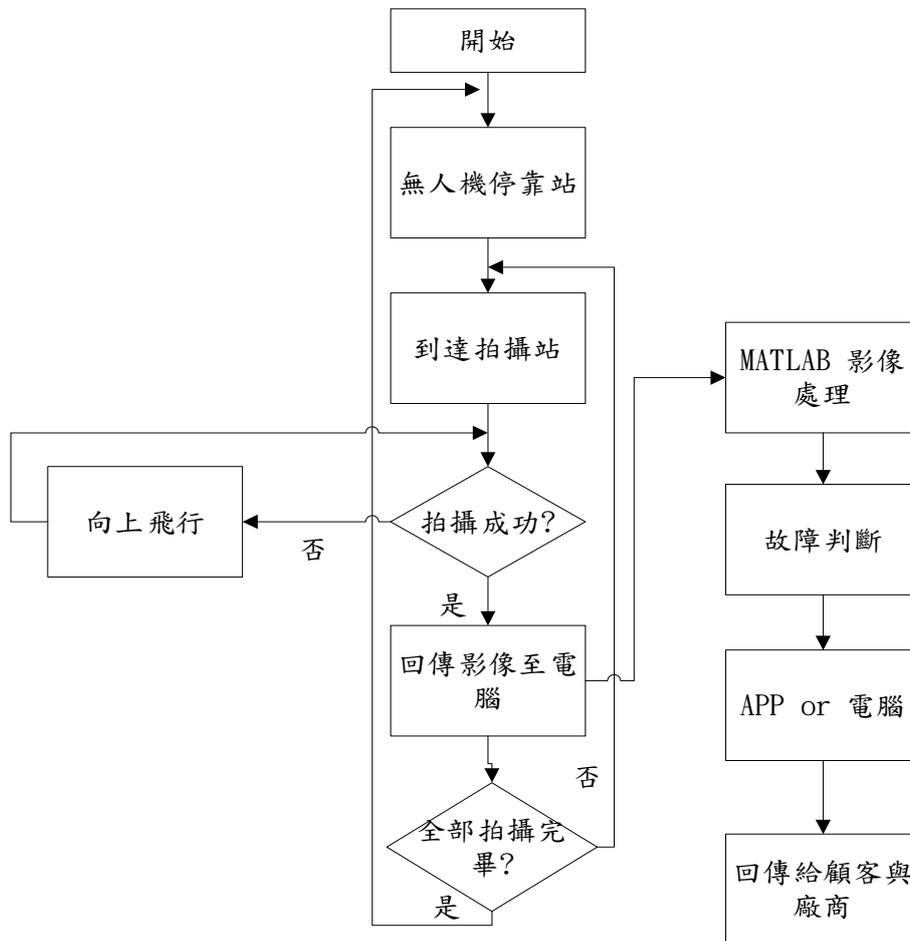
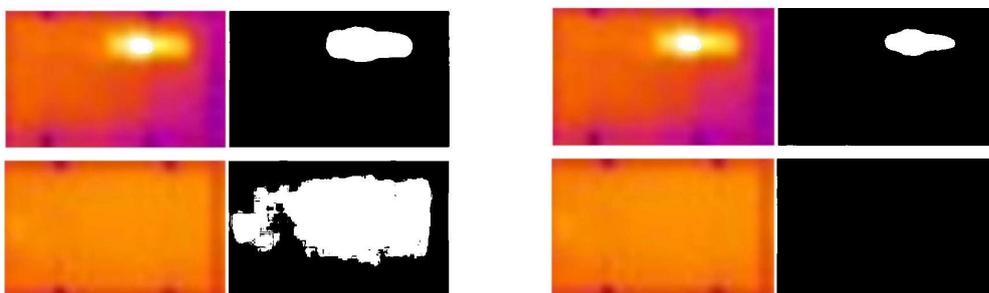


圖 10 以無人機進行太陽光電裝置發電數據異常檢測研究之流程圖



(a)

(b)

圖 11 太陽光電模組影像銳化處理調整 level 之情形: (a)level=0.65 ; (b)level=0.75

本研究期望系統具全自動故障判斷功能，所以在判斷過程中使用 MATLAB 軟體程式，確定是否發生模組故障。而模組故障最重要的條件就是太陽光電模組是否發熱，所以本研究透過選取發熱點的方法，以軟體程式判斷是否有故障點存在，因而直接判斷太陽光電模組的好壞。圖 12 是採 Matlab 程式進行故障判斷後所輸出的圖像，從左圖可見，透過 MATLAB 黑階程式後產生 3 個發熱點，其處理過之圖像如右圖，而故障點判斷程式可將所找到的發熱點圈選出來，並且只要有發熱點的存在，皆判斷為模組故障。

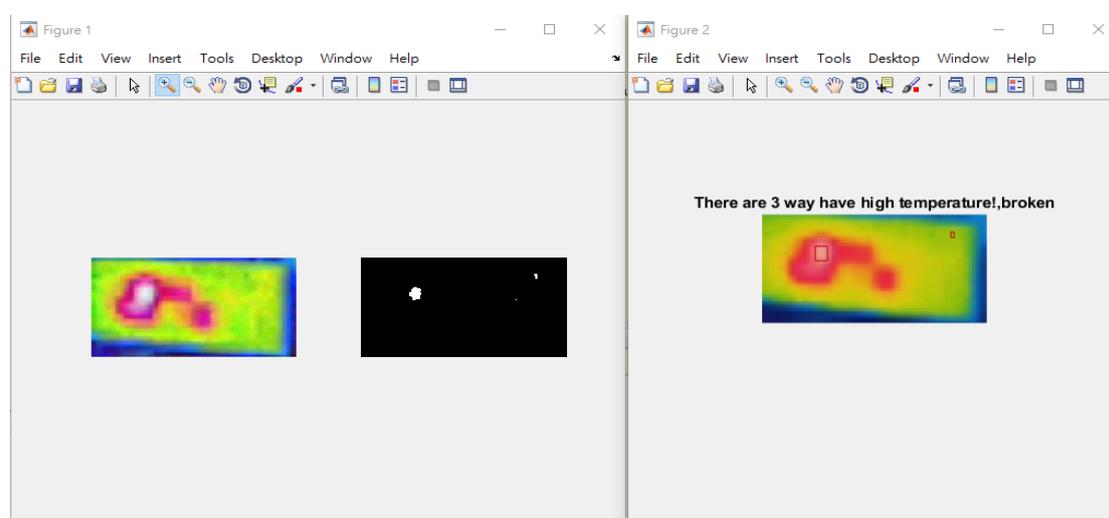


圖 12 太陽光電模組發熱點選取圖與好壞判斷

為了能夠使故障判斷更加的快速及準確，本研究採用 MATLAB 軟體配合黑階程式，並採用可拓理論開發出一種判斷速度較快的太陽光電模組故障檢測方法，其藉由無人機拍攝回傳照片資料至電腦並採用 MATLAB 軟體程式進行故障判斷，再輸出診斷結果至手機或電腦，以便業主或廠商監控系統之運轉情況，有利於系統之即時維護。

表 1 為太陽光電裝置發電數據異常檢測採用可拓理論建構之節域範圍，透過設定節域範圍計算可拓理論分辨各種故障的關聯度，並且選取最相近的故障類型。本研究透過四種故障特徵[11]，分別為是否發熱(熱影像)、發熱面積(熱影像)、模組溫度(熱影像)與髒污程度(可見光)。

表 1 以可拓理論建構故障診斷之節域

故障特徵	節域範圍
是否發熱(熱影像)	1~10
發熱面積(熱影像)	1~10
模組溫度(熱影像)	1~10
髒污程度(可見光)	1~10

表 2 為太陽光電裝置發電數據異常檢測採用可拓理論建構之經典域，其係將所有故障類型的故障狀態以 0~10 作為區分範圍，透過長期量測太陽光電模組的故障特性，歸納出各種故障類型在不同故障特性的經典域範圍，以此代入可拓方法中，即可得到相對應的故障類型。

表 2 可拓理論建構故障診斷之各種故障類型的經典域

故障特徵 故障類型	是否發熱	發熱面積	模組溫度	髒污程度
旁路二極體 短路	10	3~5	9~10	2~7
蝸牛紋	10	1~7	6~7	1~2
灰塵	10	1~3	4~5	5~9
隱裂	10	4~8	5~6	1~3
正常	1	1~2	2~3	1~3
全部損壞	10	8~10	7~8	2~6

表 3 為太陽光電裝置發電數據異常檢測採用可拓理論建構之各故障特徵的權重值。權重值是為了衡量各種故障特徵的重要程度，也是能夠使可拓理論更加準確的一個條件，當設定各故障特徵之權重值後，即可以透過可拓方法之計算公式得其關聯度，再透過關聯度大小即可準確判斷出模組故障類別。

表 3 可拓理論建構之各故障特徵的權重值

故障特徵	權重值
是否發熱(熱影像)	0.30
發熱面積(熱影像)	0.20
模組溫度(熱影像)	0.30
髒污程度(可見光)	0.20

表 4 為任選 12 筆不同故障類別之特徵值，為了確認系統的準確度，就隨機抽樣之 12 筆資料，計算其關聯度，並藉此判斷出如表 5 所示之故障類別。

表 4 任選 12 筆不同故障類別之特徵值

故障特徵 筆數	是否發熱	發熱面積	模組溫度	髒污程度	故障類別
1	10	4	9	3	旁路二極體
2	10	5	8	6	旁路二極體
3	10	3	6	1	蝸牛紋
4	10	4	7	2	蝸牛紋
5	10	2	4	6	灰塵
6	10	3	6	9	灰塵
7	10	6	5	1	隱裂
8	10	7	6	3	隱裂
9	1	2	3	1	正常
10	1	1	2	2	正常
11	10	8	8	2	全部損壞
12	10	10	7	5	全部損壞

以表 4 第 7 筆資料為例，其為在故障類別為太陽電池隱裂時所擷取之故障特徵資料，經採可拓方法進行故障診斷，計算其歸屬於『隱裂』故障類別之關聯度為 0.10，係歸屬於所有故障類別中最大者，故可診斷其故障類別為『隱裂』，與原先表 4 所列已知之故障相符；而歸屬『正常』類別之關聯度為-0.42，係歸屬於所有故障類別中最小者，表示其歸屬於『正常』類別係最不可能的。至於其餘的故障類別診斷則可依此類推。

表 5 任選 12 筆資料之關聯度及其故障診斷結果

筆數	旁路	蝸牛紋	灰塵	隱裂	正常	全部損壞	診斷類別
1	0.13	-0.08	-0.30	-0.18	-0.57	-0.14	旁路
2	-0.04	-0.07	-0.16	-0.12	-0.60	-0.05	旁路
3	-0.18	0.06	-0.17	-0.07	-0.41	-0.23	蝸牛紋
4	-0.1	0.06	-0.22	-0.01	-0.31	-0.11	蝸牛紋
5	-0.19	-0.15	0.15	-0.23	-0.29	-0.27	灰塵
6	-0.21	-0.08	-0.05	-0.20	-0.52	-0.28	灰塵
7	-0.26	-0.01	-0.23	0.10	-0.42	-0.21	隱裂
8	-0.13	-0.05	-0.23	0.05	-0.47	-0.10	隱裂
9	-0.63	-0.38	-0.40	-0.48	0.10	-0.68	正常
10	-0.63	-0.46	-0.53	-0.49	0.10	-0.65	正常
11	-0.17	-0.12	-0.39	-0.02	-0.47	0.06	全部損壞
12	-0.18	-0.22	-0.27	-0.25	-0.64	0.05	全部損壞

在實際進行線上故障診斷時，在經由可拓方法之各項參數設定後，再將無人機所拍攝之照片熱影像及光影像回傳至電腦，而在 MATLAB 軟體程式將所讀取到的資料依程度區分為 1-10 等級，然後

將此等資料代入可拓方法中進行故障類別辨識，當所有故障特徵值輸入經計算後，會顯示該筆資料歸屬於不同故障類別的關聯度，並且以歸屬於故障類別之關聯度最大者判斷為其故障類別。由圖 13 中可以觀得輸入各故障特徵數值後，判斷出該塊太陽光電模組為『全部損壞』類別，而圖 14 中則判斷出該太陽光電模組為『正常』類別。

圖 13 可拓方法判斷出太陽光電模組為全部損壞

圖 14 可拓方法判斷出太陽光電模組為正常

本研究後續擬將故障診斷結果傳輸至手機 APP 端[12]使用，讓使用者在使用上能夠更加的便利。在研究方面將探討 APP 之製作，當將輸出的結果透過網路端傳至網頁或是手機，可立即了解太陽光電模組陣列運轉的現況，圖 15 即為未來太陽光電裝置發電數據異常檢測研究以 APP 程式所規劃之顯示畫面。



圖 15 太陽光電裝置發電數據異常檢測研究之 APP 顯示畫面規劃

### 參考文獻

- [1] K. L. Lian, J. H. Jhang and I. S. Tian, "A Maximum Power Point Tracking Method Based on Perturb-and-Observe Combined with Particle Swarm Optimization," IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 4, No. 2, pp. 626-633, March 2014.
- [2] S. Daraban, D. Petreus and C. Morel, "A Novel Global MPPT Based on Genetic Algorithms for Photovoltaic Systems under the Influence of Partial Shading," Annual Conference of IEEE 39th Industrial Electronics Society, Vol. 57, No. 10, pp. 3456-3467, October 2010.
- [3] Unmanned Aerial Vehicle ,  
<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=204&cid=1582&cchk=5b8ce619-7ff5-40e9-9032-bdfd93d197d9>

- [4] IR Remote ,  
<https://lpcomment.com/2016/07/13/flir-one-review/>.
- [5] Y. Zhao, B. Lehman, J. F. de Palma, J. Mosesian and R. Lyons, “Detecting Harmful Overcurrents in PV Arrays at Shadow Condition through Binary Coding Method,” IEEE 3rd Power Electronics and Drive System Technology (PEDSTC), pp. 251-254, February 2012.
- [6] Y. H. Ji, J. G. Kim and S. H. Park, “C-Language Based PV Array Simulation Technique Considering Effects of Partial Shading,” IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1-6, May 2009.
- [7] Dynamic Image Deblurring System Dased on Image Sharpness Analysis, L. Zhuhui, Q. Zhiyong MOST-104- 2221-E-324-025.
- [8] K. H. Chao, P. Y. Chen, M. H. Wang and C. T. Chen, “An Intelligent Fault Detection Method of a Photovoltaic Module Array Using Wireless Sensor Networks,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 2014, Article ID 540147, pp. 1-12, May 2014.
- [9] B. Shrihariprasath and V. Rathinasabapathy, “A smart IoT system for monitoring solar PV power conditioning unit,” 2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare, Oct. 2016.
- [10] Matlab Negative  
[https://blueskycat.blogspot.com/2012/11/matlab\\_2.html](https://blueskycat.blogspot.com/2012/11/matlab_2.html)
- [11] K. AbdulMawjood , S. S. Refaat and W. G. Morsi, “Detection and prediction of faults in photovoltaic arrays: A review,” 2018 IEEE Power Electronics and Power Engineering, Jun. 2018.
- [12] APP  
<https://www.adobe.com/tw/creativecloud/tools/app-design-software.html>