

【發明說明書】

【中文發明名稱】

適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法及系統

【英文發明名稱】

MAXIMUM POWER TRACKING METHOD FOR SOLAR CELL AND
SYSTEM THEREOF SUITABLE FOR REAL-TIME ONLINE
ENVIRONMENT

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於一種適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法及系統，尤其是指一種不僅能依據目前位置適時調整擾動量大小，並提供較精確的追蹤控制，且其反應速度非常快，令最大功率追蹤更適合於即時線上環境，並可減輕微控制器負擔，讓其能適合於全年不同環境，而在其整體施行使用上更增實用功效特性之適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法及系統創新設計者。

【先前技術】

【0002】 按，現有太陽能電池最大功率追蹤方法主要包含硬體技術與軟體技術兩方面，硬體技術如實際量測法〔Actual Measurement〕與功率補償法〔Power Compensation Method〕；軟體技術方法甚多，主要為擾動觀

察法〔Perturbation & Observation, P & O〕、增量電導法〔Incremental Conductance Algorithm〕及模糊邏輯法〔Fuzzy Logic Method〕等。硬體技術由於成本較高，因此較少人採用；軟體技術大多將追蹤方法撰寫於微控制器或控制晶片中，再透過脈波寬度調變〔PWM〕技術控制轉換器輸出，以達到最大功率追蹤目的。

【0003】 其中，就常見之太陽能電池最大功率追蹤方法，請參閱102年9月21日公告之第I409611號「太陽能電池最大功率追蹤方法」，所述太陽能電池之輸出電源經由一轉換單元改變直流電壓值並輸出至一負載，轉換單元是由一脈寬調變訊號控制，脈寬調變訊號之脈寬比改變時太陽能電池之輸出電流與電壓亦改變，最大功率追蹤方法包含以下步驟：(A)設定三初始之脈寬調變訊號，且該等脈寬調變訊號之脈寬比由小而大依序為第一、第二、第三脈寬比，並傳送至轉換單元；(B)分別量取太陽能電池於第一、第二、第三脈寬比下之輸出電流與輸出電壓值；(C)計算出太陽能電池分別於第一、第二、第三脈寬比下之輸出功率，並分別令為第一、第二、第三輸出功率；(D)如果第一、第二、第三輸出功率依序遞增，則求取一脈寬間隔值，並令第二脈寬比成為新第一脈寬比，令第三脈寬比成為新第二脈寬比，令第三脈寬比加上脈寬間隔值成為新第三脈寬比，以新第一、第二、第三脈寬比重複步驟 B；(E)如果第一、第二、第三輸出功率依序遞減，則求取一脈寬間隔值，並令第

二脈寬比成為新第三脈寬比，令第一脈寬比成為新第二脈寬比，令第一脈寬比減該脈寬間隔值成為新第一脈寬比，以新第一、第二、第三脈寬比重復步驟 B；(F)如果第二輸出功率大於第一輸出功率、且第二輸出功率也大於第三輸出功率，則以二項次曲線公式求取新第二脈寬比，並量測計算新第二輸出功率；(G)如果新第二輸出功率與原第二輸出功率間之差值大於新第二輸出功率之預定比例，則以新第二脈寬比帶入二項次曲線公式求取另一新第二脈寬比，並量測計算新第二輸出功率，重復步驟 F；及(I)如果新第二輸出功率與原第二輸出功率間之差值小於新第二輸出功率之預定比例，則新第二輸出功率為最大輸出功率。

【0004】 請再參閱公告於 1 0 2 年 1 月 1 1 日之第 I 3 8 2 6 4 6 號「具最大功率追蹤之電壓控制式直流/交流電力轉換器之控制方法」，其包含：以一第一交流電壓檢出器檢出一交流電源系統之電壓後送至一帶通濾波器，且該帶通濾波器之中心頻率為該交流電源系統之基本波頻率，以便該帶通濾波器獲得該交流電源系統之基本波成份，其中該基本波成份係為一弦波信號；以一相移電路將該帶通濾波器所產生之弦波信號進行超前 90 度相移；以一乘法器將經過 90 度相移之後的該弦波信號及一最大功率追蹤控制電路之輸出信號相乘得到一垂直向量信號；以一加法器將該垂直向量信號與該第一交流電壓檢出器所檢出之電壓信號相加，進而獲得一輸出電壓參考信號；以一第二交流電壓檢出器檢出一直流/交流電力轉換器之輸出濾波器之輸出電壓並送至一減法器之一輸入端，該減法器之

另一輸入端係連接該加法器，且該減法器係將該輸出電壓參考信號與該直流/交流電力轉換器之輸出電壓進行相減；以一波形控制電路接收該減法器之輸出信號並形成一調變信號；以一脈寬調變電路接收該波形控制電路所輸出之調變信號並送至一驅動電路，該驅動電路係產生一組驅動信號控制該直流/交流電力轉換器之電力電子開關組。

【0005】 請再參閱公開於 94 年 12 月 7 日之第 200723665 號「利用阻抗匹配法之太陽光伏系統最大功率追蹤技術」，步驟包含：量測該太陽光伏系統之一開路電壓(V_{oc})值及一短路電流(I_{sc})值；將該開路電壓值除以該短路電流值再乘以一修正常數(K)，得到該太陽光伏系統中之一阻抗值；根據該阻抗值，決定該太陽光伏系統之一最佳電壓值與一最佳電流值；以及根據該最佳電壓值與該最佳電流值，決定後續最大功率點，使得該太陽光伏系統維持在該最大功率點上。

【0006】 請再參閱公開於 104 年 7 月 1 日之第 201525643 號「以 Fuzzy DR-LMS 演算法估測太陽能板最大功率點之電壓」，包括：取得已知照度值與最大功率電壓值，以照度值為 Fuzzy DR-LMS 濾波器的輸入值，最大功率的電壓值則為濾波器的輸出值，利用調適型濾波器的估測能力，經過 Fuzzy DR-LMS 演算法調整濾波器之係數；以及根據該濾波器係數的調整，取得照度與最大功率電壓值之間的關係，直接利用濾波係數進而估測下一筆照度的最大

功率電壓；藉以省去複雜的太陽能板最大功率點追蹤運算，簡化並加速太陽能最大功率的追蹤流程。

【0007】 請再參閱公開於103年6月1日之第201421188號「增加照度引用率於改善太陽能電池最大功率追蹤之電壓預測方法」，其包含有：取得相當數量之實際照度數據；以灰預測方式介入前三筆照度數據來預測下一時間點的預測照度數據；利用插值法加入預測照度數據於實際照度數據中增加照度數據；以擾動觀察法追蹤最大功率電壓點取樣值；以該最大功率電壓點取樣值驅動控制單元逐步調整電壓，使太陽能電池在兩取樣值之間具有更平滑的供電性能。

【0008】 又，現今一般太陽能電池最大功率追蹤方法所常見大多皆係採用擾動觀察法進行最大功率追蹤，此方法雖具有簡單易於實現的優點，但在實際操作施行使用上卻仍然發現，其追蹤速度過於緩慢，且容易在最大功效點附加震盪，致令其在整體施行使用上仍存在有改進之空間。

【0009】 緣是，發明人有鑑於此，秉持多年該相關行業之豐富設計開發及實際製作經驗，針對現有之結構及缺失再予以研究改良，提供一種適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法及系統，以期達到更佳實用價值性之目的者。

【發明內容】

【0010】 本發明之主要目的在於提供一種適用於即時線上環境的太

太陽能電池最大功率追蹤方法及系統，其主要係不僅能依據目前位置適時調整擾動量大小，並提供較精確的追蹤控制，且其反應速度非常快，令最大功率追蹤更適合於即時線上環境，並可減輕微控制器負擔，讓其能適合於全年不同環境，而在其整體施行使用上更增實用功效特性者。

【0011】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法之主要目的與功效，係由以下具體技術手段所達成：

【0012】 其主要係於最大功率追蹤包含有前級微控制器內建之該模糊擾動法及後級與該微控制器連接之人機介面進行之該類神經網路法〔ANN〕；

【0013】 該模糊擾動法〔FMPT〕主要係應用模糊推論法則推估下一次的擾動量：

【0014】 其係先進行擾動觀察法：藉由將太陽能電池之輸出電壓與電流回授至該最大功率追蹤系統之該微控制器，藉由該微控制器送出不同責任週期的PWM訊號驅動PWM驅動器，以利用該PWM驅動器驅動改變該直流／直流轉換器的輸出，並進一步改變該太陽能電池的端電壓及輸出功率；在此同時，觀察相關照度〔 L_{ux} 〕及溫度〔 T 〕，並比較該直流／直流轉換器輸出變動前後該太陽能電池的輸出電壓與輸出功率的大小來決定下次之輸出為增加或減少；

【0015】 再進行模糊擾動法：其係藉由模糊推論引擎決定下次擾動的量，當工作點離最大功率點〔 P_{max} 〕遠時，其擾動量大；反之則

減小擾動量，輸入功率變化量〔 ΔP 〕與電壓變化量〔 ΔV 〕，而輸出則為責任週期調整量〔 ΔD 〕，將兩個輸入變數均分割為七個模糊區間，以建立模糊知識庫；

【0016】 其形式為： R_i : *If* ΔP is A_1 and ΔV is B_1 *Then* ΔD is C_1 ；

【0017】 進行類神經網路法〔ANN〕：利用前級之該模糊擾動法所收集到的輸入／輸出資料對藉由類神經網路進行學習訓練，輸入層為5個輸入變數，分別為太陽能電池輸出電壓〔 V_{pv} 〕、太陽能電池輸出電流〔 I_{pv} 〕、太陽能電池功率〔 P_{pv} 〕、照度〔 L_{ux} 〕及溫度〔 T 〕，給予初始輸入矩陣 $x^{(0)} = [V_{pv} \ I_{pv} \ P_{pv} \ L_{ux} \ T]^T$ ，期望輸出 d ，並隨機產生權值矩陣 $w^{(1)}$ 及 $w^{(2)}$ 、偏權值矩陣 $b^{(1)}$ 及 $b^{(2)}$ ，其值均勻分佈於[0,1]間，其中期望輸出 d 為模糊擾動法的輸出電壓(FMPPT(V_{out}))，第二層為含有5個神經元的隱藏層，故總共有25個權值 $w_{ji}(j=i=1\sim 5)$ 與5個偏權值 $b_{h(h=1\sim 5)}$ ，第三層輸出層為達到最大功率所需之責任週期變化量，由1個神經元所構成，總共含有5個權值 $w_{k(k=1\sim 5)}$ 與1個偏權值 b_1 ；

【0018】 執行前向傳遞〔forward propagation〕運算，

【0019】 隱藏層淨輸出 $net^{(1)} = w^{(1)} \times x^{(0)} + b^{(1)}$

【0020】

$$= \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{pv} \\ I_{pv} \\ P_{pv} \\ L_{ux} \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix},$$

【0021】 隱藏層輸出 $y^{(1)} = f^{(1)}(net^{(1)})$ ，其中 $f^{(1)}$ 為一雙曲線轉移函數，

【0022】 輸出層淨輸出 $net^{(2)} = w^{(2)} \times y^{(1)} + b^{(2)}$

【0023】
$$= [w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad w_4 \quad w_5] \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} + b$$
，

【0024】 輸出層輸出 $y^{(2)} = f^{(2)}(net^{(2)})$ ，其中 $f^{(2)}$ 為一雙曲線轉移函數， $y^{(2)}$ 為類神經網路輸出電壓(ANN(V_{out}))，

【0025】 誤差 $\delta^{(2)} = d - y^{(2)} = \text{FMPPT}(V_{out}) - \text{ANN}(V_{out})$ ；

【0026】 於訓練過程中，為使訓練資料能涵蓋所有可能的環境情況，即進行重新訓練機制；

【0027】 該重新訓練機制為：a.在後級追蹤階段，模糊擾動法也每隔一段時間執行一次，其所產生的輸出電壓與後級類神經網路的輸出電壓進行比較，當二者誤差大於 1 % 時，則將此相關資料收集起來；b.啟動該人機介面進行重新訓練；c.將訓練好的權值透過通訊模組傳送至該微控制器進行最大功率追蹤控制。

【0028】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法的較佳實施例，其中，進一步執行向後傳遞〔backpropagation〕運算，

【0029】 利用最小均方誤差準則修正隱藏層及輸出層權值，則

【0030】 $E = \frac{1}{2} [\delta^{(2)}]^2 = \frac{1}{2} [d - y^{(2)}]^2$,

【0031】 調整輸出層權值 $w^{(2)}$ 對 E 的影響 ,

【0032】 $\frac{\partial E}{\partial w^{(2)}} = \frac{\partial E}{\partial y^{(2)}} \frac{\partial y^{(2)}}{\partial net^{(2)}} \frac{\partial net^{(2)}}{\partial w^{(2)}}$

【0033】 $= -\delta^{(2)} y^{(2)} (1 - y^{(2)}) y^{(1)}$,

【0034】 調整輸出層權值 $w^{(1)}$ 對 E 的影響 ,

【0035】 $\frac{\partial E}{\partial w^{(1)}} = \frac{\partial E}{\partial y^{(1)}} \frac{\partial y^{(1)}}{\partial net^{(1)}} \frac{\partial net^{(1)}}{\partial w^{(1)}}$

【0036】 $= -w^{(2)} \delta^{(2)} y^{(2)} (1 - y^{(2)}) y^{(1)} (1 - y^{(1)}) x^{(0)}$,

【0037】 調整各層權值 ,

【0038】 $w^{(2)}(t+1) = w^{(2)}(t) + \eta \frac{\partial E}{\partial w^{(2)}} + \alpha \Delta w^{(2)}(t-1)$,

【0039】 $w^{(1)}(t+1) = w^{(1)}(t) + \eta \frac{\partial E}{\partial w^{(1)}} + \alpha \Delta w^{(1)}(t-1)$,

【0040】 其中 $w^{(1)}(t+1)$ 為第 $(t+1)$ 時間〔或疊代次數〕隱藏層的權值 ,
 $w^{(2)}(t+1)$ 為第 $(t+1)$ 時間輸出層的權值 , 該 α 為一衡量常數〔momentum constant〕 , 該 η 為一學習率〔learning rate constant〕常數 , α 與 η 其值介於 0 與 1 之間。

【0041】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法的較佳實施例 , 其中 , 該 α 數值在 0.5 至 0.99 之間 , 該 η 數值在 0.01~0.5 之間。

【0042】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方

法的較佳實施例，其中，該人機介面係為 L a b V I E W - M a t l a b 介面，以將資料饋入 M a t l a b 進行重新訓練。

【0043】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統之主要目的與功效，係由以下具體技術手段所達成：

【0044】 係包含有適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤方法，其主要係令最大功率追蹤系統包括有微控制器、P W M [P u l s e W i d t h M o d u l a t i o n ，脈波寬度調變] 驅動器、直流／直流轉換器、通訊模組及人機介面；其中：

【0045】 該微控制器，其供連結接收太陽能電池之電壓、電流訊號、及環境之照度與溫度資料，且於該微控制器內建有模糊擾動法 [F M P P T] ；

【0046】 該 P W M 驅動器，其與該微控制器連接，以由該微控制器輸出不同責任週期的 P W M 訊號驅動該 P W M 驅動器；

【0047】 該直流／直流轉換器，其與該 P W M 驅動器連接，且令該直流／直流轉換器與該太陽能電池連接，而能利用該 P W M 驅動器驅動該直流／直流轉換器進行輸出；

【0048】 該通訊模組，其與該微控制器連接；

【0049】 該人機介面，其與該通訊模組連接，該人機介面中進行類神經網路法之訓練，並將訓練好的權值經由該通訊模組傳輸至該微控制器。

【0050】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統的較佳實施例，其中，該直流／直流轉換器之輸出端連接直流負載、蓄電池任一種。

【0051】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統的較佳實施例，其中，該直流／直流轉換器之輸出端同時連接該直流負載與該蓄電池。

【0052】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統的較佳實施例，其中，該直流／直流轉換器為 S E P I C 轉換器。

【0053】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統的較佳實施例，其中，該通訊模組係進行 R S - 4 8 5 介面與 T C P / I P 介面之間的訊號轉換。

【0054】 本發明適用於即時線上環境的太陽能電池最大功率追蹤系統的較佳實施例，其中，該人機介面係採用 L a b V I E W 圖形監控軟體，於該人機介面中利用 M a t l a b 軟體提供類神經網路程式碼。

【圖式簡單說明】

【0055】 第一圖：本發明之系統架構示意圖

【0056】 第二圖：本發明之太陽能電池功率〔 P_{PV} 〕與電壓〔 V_{PV} 〕曲線圖

- 【0057】 第三圖：本發明之擾動觀察法動作流程示意圖
- 【0058】 第四圖：本發明之模糊控制系統方塊圖
- 【0059】 第五圖：本發明之輸入模糊歸屬函數示意圖〔功率變化量〕
- 【0060】 第六圖：本發明之輸入模糊歸屬函數示意圖〔電壓變化量〕
- 【0061】 第七圖：本發明之輸出模糊歸屬函數示意圖〔責任週期變化量〕
- 【0062】 第八圖：本發明之類神經網路於最大功率追蹤架構示意圖
- 【0063】 第九圖：本發明之最大功率追蹤流程示意圖
- 【0064】 第十圖：本發明之模糊擾動法〔F M P P T〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 2 0 0 0 0 l u x〕
- 【0065】 第十一圖：本發明之模糊擾動法〔F M P P T〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 4 0 0 0 0 l u x〕
- 【0066】 第十二圖：本發明之類神經網路法〔A N N〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 2 0 0 0 0 l u x〕
- 【0067】 第十三圖：本發明之類神經網路法〔A N N〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 4 0 0 0 0 l u x〕
- 【0068】 第十四圖：本發明之模糊擾動法〔F M P P T〕與類神經網路法〔A N N〕追蹤狀況比較曲線圖
- 【0069】 第十五圖：本發明之模糊擾動法〔F M P P T〕與類神經網

路法〔ANN〕追蹤點附近區域放大圖

【0070】 第十六圖：本發明之重新訓練後的模糊擾動法〔FMPP T〕與類神經網路法〔ANN〕追蹤狀況比較曲線圖

【0071】 第十七圖：本發明之重新訓練後的模糊擾動法〔FMPP T〕與類神經網路法〔ANN〕追蹤點附近區域放大圖

【實施方式】

【0072】 為令本發明所運用之技術內容、發明目的及其達成之功效有更完整且清楚的揭露，茲於下詳細說明之，並請一併參閱所揭之圖式及圖號：

【0073】 首先，請參閱第一圖本發明之系統架構示意圖所示，本發明主要係令最大功率追蹤系統（1）包括有微控制器（11）、PWM〔Pulse Width Modulation，脈波寬度調變〕驅動器（12）、直流／直流轉換器（13）、通訊模組（14）及人機介面（15）；其中：

【0074】 該微控制器（11），其供連結接收太陽能電池（2）之電壓、電流訊號、及環境之照度與溫度資料，且於該微控制器（11）內建有模糊擾動法〔FMPP T〕；

【0075】 該PWM驅動器（12），其與該微控制器（11）連接，以由該微控制器（11）輸出不同責任週期的PWM訊號驅動該PWM驅動器（12）；

【0076】 該直流／直流轉換器(1 3)，其與該 P W M 驅動器(1 2) 連接，且令該直流／直流轉換器(1 3) 與該太陽能電池(2) 連接，並於該直流／直流轉換器(1 3) 之輸出端連接直流負載(3)、蓄電池(4) 任一種，或係於該直流／直流轉換器(1 3) 之輸出端同時連接該直流負載(3) 與該蓄電池(4)，該直流／直流轉換器(1 3) 可為 S E P I C 轉換器，使得不僅於輸出電壓沒有極性相反的問題，且能進行升壓操作，並於調整其責任週期比 D 的值時能使轉換電路工作於升壓或降壓，以增加該太陽能電池(2) 之種類與電壓範圍選擇彈性，而能利用該 P W M 驅動器(1 2) 驅動該直流／直流轉換器(1 3) 進行輸出；

【0077】 該通訊模組(1 4)，其與該微控制器(1 1) 連接，該通訊模組(1 4) 能進行 R S - 4 8 5 介面與 T C P / I P 介面之間的訊號轉換；

【0078】 該人機介面(1 5)，其與該通訊模組(1 4) 連接，該人機介面(1 5) 係採用 L a b V I E W 圖形監控軟體，於該人機介面(1 5) 中利用 M a t l a b 軟體提供類神經網路程式碼，使得能啟動該 L a b V I E W 圖形監控軟體中的 M a t l a b S c r i p t N o d e 功能，以在 M a t l a b 環境中進行類神經網路法之訓練，並將訓練好的權值經由該通訊模組(1 4) 傳輸至該微控制器(1 1)。

【0079】 而本發明於操作使用上，其係包含有前級該微控制器(1 1)

內建之該模糊擾動法及後級該人機介面(1 5)進行之該類神經網路法〔ANN〕。

【0080】 該模糊擾動法〔FMPT〕主要係應用模糊推論法則推估下一次的擾動量：

【0081】 其係先進行擾動觀察法：主要藉由將該太陽能電池(2)之輸出電壓與電流回授至該最大功率追蹤系統(1)之該微控制器(1 1)，藉由該微控制器(1 1)送出不同責任週期的PWM訊號驅動該PWM驅動器(1 2)，以利用該PWM驅動器(1 2)驅動改變該直流／直流轉換器(1 3)的輸出，並進一步改變該太陽能電池(2)的端電壓及輸出功率；在此同時，觀察相關照度〔 L_{ux} 〕及溫度〔 T 〕，並比較該直流／直流轉換器(1 3)輸出變動前後該太陽能電池(2)的輸出電壓與輸出功率的大小來決定下次之輸出為增加或減少。

【0082】 請再一併參閱第二圖本發明之太陽能電池功率〔 P_{PV} 〕與電壓〔 V_{PV} 〕曲線圖所示，設定在最大功率點〔 P_{max} 〕左側為A區、右側為B區；於該A區時，欲使功率往最大功率點〔 P_{max} 〕移動，則須提高該太陽能電池(2)的輸出電壓，即降低責任週期比D；而在B區時，欲使功率往最大功率點〔 P_{max} 〕移動，則須降低該太陽能電池(2)的輸出電壓，即提高責任週期比D，其提高或降低的量，即稱為擾動量。請再一併參閱第三圖本發明之擾動觀察法動作流程示意圖所示，於讀取該太陽能電池(2)的電壓和電流後，

予以計算輸出功率，若本次輸出功率大於前次輸出功率，則該微控制器(1 1)將調整責任週期[D]使輸出功率朝同一個方向變動；反之，若本次輸出功率小於前次輸出功率，則在下一個責任週期[D]時改變輸出功率的變動方向。

【0083】再進行模糊擾動法：其係藉由模糊推論引擎決定下次擾動的量，當工作點離最大功率點[P_{max}]遠時，其擾動量大；反之則減小擾動量。請再一併參閱第四圖本發明之模糊控制系統方塊圖所示，其係輸入功率變化量[ΔP]與電壓變化量[ΔV]，而輸出則為責任週期調整量[ΔD]，請再一併參閱第五圖本發明之輸入與輸出的模糊歸屬函數示意圖[功率變化量]、第六圖本發明之輸入與輸出的模糊歸屬函數示意圖[電壓變化量]及第七圖本發明之輸入與輸出的模糊歸屬函數示意圖[責任週期變化量]所示，其中 LN 為大的負、MN 為中的負、SN 為小的負、ZE 為零、LP 為大的正、MP 為中的正、SP 為小的正，由於兩個輸入變數均分割為七個模糊區間，因此知識庫將包含 49 [7×7] 條推論引擎，如表 1 所示：

$\Delta P \backslash \Delta V$	LN	MN	SN	ZE	SP	PM	LP
LN	LN ₁	LN ₂	MN ₃	ZE ₄	MN ₅	LN ₆	LN ₇
MN	LN ₈	MN ₉	SN ₁₀	ZE ₁₁	SN ₁₂	MN ₁₃	LN ₁₄
SN	MN ₁₅	SN ₁₆	SN ₁₇	ZE ₁₈	SN ₁₉	SN ₂₀	MN ₂₁
ZE	ZE ₂₂	ZE ₂₃	ZE ₂₄	ZE ₂₅	ZE ₂₆	ZE ₂₇	ZE ₂₈
SP	MP ₂₉	SP ₃₀	SP ₃₁	ZE ₃₂	SP ₃₃	SP ₃₄	MP ₃₅
MP	LP ₃₆	PM ₃₇	SP ₃₈	ZE ₃₉	SP ₄₀	MP ₄₁	LP ₄₂
LP	LP ₄₃	LP ₄₄	MP ₄₅	ZE ₄₆	MP ₄₇	LP ₄₈	LP ₄₉

表 1：模糊擾動規則庫

【0084】 其形式如下：

【0085】 R_i : *If ΔP is A_1 and ΔV is B_1 Then ΔD is C_1*

【0086】 舉例而言，第 10 條模糊規則：

【0087】 R_{10} : *If ΔP is MN and ΔV is SN Then ΔD is SN*

【0088】 R_{10} 說明若功率變化量為中的負〔MN〕，即功率下降，且電壓變化量為小的負〔SN〕，則判斷工作在 A 區，此時需增加電壓以往最大功率點〔 P_{max} 〕移動〔由 A2 移至 A1〕，因此責任週期〔D〕變化量須為小的負〔SN〕，即微幅調小。

【0089】 再以第 45 條模糊規則為例：

【0090】 R_{45} : *If ΔP is LP and ΔV is SN Then ΔD is MP*

【0091】 R_{45} 說明若功率變化量為大的正〔LP〕，即功率大幅增加，且電壓變化量為小的負〔SN〕，則判斷工作在 B 區，此時需減少電壓以繼續往最大功率點移動〔由 B2 移至 B1〕，因此責任週期變化量須為中的正〔MP〕，即中幅調大。

【0092】 進行類神經網路法〔ANN〕：

【0093】 請再一併參閱第八圖本發明之類神經網路於最大功率追蹤架構示意圖所示，利用類神經之倒傳遞演算法進行資料訓練可分成下列幾個步驟：

【0094】 步驟 1：給予初始輸入矩陣 $x^{(0)} = [V_{pv} \quad I_{pv} \quad P_{pv} \quad L_{ux} \quad T]^T$ ，期望

輸出 d ，並隨機產生權值矩陣 $w^{(1)}$ 及 $w^{(2)}$ 、偏權值矩陣 $b^{(1)}$ 及 $b^{(2)}$ ，其值均勻分佈於 $[0,1]$ 間，其中期望輸出 d 為模糊擾動法的輸出電壓 (FMPPT(V_{out}))。

【0095】 步驟 2：執行前向傳遞 [forward propagation] 運算

【0096】 隱藏層淨輸出 $net^{(1)} = w^{(1)} \times x^{(0)} + b^{(1)}$

$$\text{【0097】} \quad = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{PV} \\ I_{PV} \\ P_{PV} \\ L_{ux} \\ T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix}$$

【0098】 隱藏層輸出 $y^{(1)} = f^{(1)}(net^{(1)})$ ，其中 $f^{(1)}$ 為一雙曲線轉移函數，

【0099】 輸出層淨輸出 $net^{(2)} = w^{(2)} \times y^{(1)} + b^{(2)}$

$$\text{【0100】} \quad = [w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad w_4 \quad w_5] \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} + b$$

【0101】 輸出層輸出 $y^{(2)} = f^{(2)}(net^{(2)})$ ，其中 $f^{(2)}$ 為一雙曲線轉移函數， $y^{(2)}$ 為類神經網路輸出電壓 (ANN(V_{out}))，

【0102】 誤差 $\delta^{(2)} = d - y^{(2)} = \text{FMPPT}(V_{out}) - \text{ANN}(V_{out})$

【0103】 步驟 3：執行向後傳遞 [backpropagation] 運算

【0104】 利用最小均方誤差準則修正隱藏層及輸出層權值，則

$$\text{【0105】} \quad E = \frac{1}{2} [\delta^{(2)}]^2 = \frac{1}{2} [d - y^{(2)}]^2$$

【0106】 步驟 3.1：調整輸出層權值 $w^{(2)}$ 對 E 的影響

$$\text{【0107】 } \frac{\partial E}{\partial w^{(2)}} = \frac{\partial E}{\partial y^{(2)}} \frac{\partial y^{(2)}}{\partial net^{(2)}} \frac{\partial net^{(2)}}{\partial w^{(2)}}$$

$$\text{【0108】 } = -\delta^{(2)} y^{(2)} (1 - y^{(2)}) y^{(1)}$$

【0109】 步驟 3.2：調整輸出層權值 $w^{(1)}$ 對 E 的影響

$$\text{【0110】 } \frac{\partial E}{\partial w^{(1)}} = \frac{\partial E}{\partial y^{(1)}} \frac{\partial y^{(1)}}{\partial net^{(1)}} \frac{\partial net^{(1)}}{\partial w^{(1)}}$$

$$\text{【0111】 } = -w^{(2)} \delta^{(2)} y^{(2)} (1 - y^{(2)}) y^{(1)} (1 - y^{(1)}) x^{(0)}$$

【0112】 步驟 3.3：調整各層權值

$$\text{【0113】 } w^{(2)}(t+1) = w^{(2)}(t) + \eta \frac{\partial E}{\partial w^{(2)}} + \alpha \Delta w^{(2)}(t-1)$$

$$\text{【0114】 } w^{(1)}(t+1) = w^{(1)}(t) + \eta \frac{\partial E}{\partial w^{(1)}} + \alpha \Delta w^{(1)}(t-1)$$

【0115】 其中 $w^{(1)}(t+1)$ 為第 $(t+1)$ 時間〔或疊代次數〕隱藏層的權值， $w^{(2)}(t+1)$ 為第 $(t+1)$ 時間輸出層的權值， α 為一衡量常數〔momentum constant〕， η 為一學習率〔learning rate constant〕常數， α 與 η 通常由使用者依據經驗或實驗設定，其值介於 0 與 1 之間。一般而言， α 數值在 0.5 至 0.99 之間， η 數值則在 0.01~0.5 之間， α 數值大小會影響學習收斂速度， η 值則會影響學習效果。

【0116】 步驟 4：重複步驟 2 及步驟 3，直至達到設定的疊代次數或程式收斂至誤差範圍內。

【0117】 以下將藉由類神經網路法進行資料訓練進行詳細說明，利用

前級該微控制器 (1 1) 之該模糊擾動法所收集到的輸入／輸出資料，對後級該人機介面 (1 5) 藉由類神經網路進行學習訓練，請再一併參閱第八圖本發明之類神經網路於最大功率追蹤架構示意圖所示，輸入層為 5 個輸入變數，分別為太陽能電池輸出電壓 [V_{pv}]、太陽能電池輸出電流 [I_{pv}]、太陽能電池功率 [P_{pv}]、照度 [L_{ux}] 及溫度 [T]，第二層為含有 5 個神經元的隱藏層，故總共有 2 5 個權值 $w_{ji}(j=i=1\sim 5)$ 與 5 個偏權值 $b_{h(h=1\sim 5)}$ ，第三層輸出層為達到最大功率所需之責任週期變化量，由 1 個神經元所構成，總共含有 5 個權值 $w_{k(k=1\sim 5)}$ 與 1 個偏權值 b_1 。

【0118】 在上述過程中，前級該微控制器 (1 1) 所使用的模糊擾動法能夠克服傳統擾動觀察法在最大功率點搖擺不定的缺點，且為能精確而快速地追蹤最大功率點 [P_{max}]，使得於後級該人機介面 (1 5) 利用前級該微控制器 (1 1) 所收集到的輸入／輸出資料對藉由類神經網路進行學習訓練，於訓練過程中，為使訓練資料能涵蓋所有可能的環境情況，於本發明中即利用重新訓練機制，其做法為：1.在後級追蹤階段，該微控制器 (1 1) 模糊擾動法於每隔一段時間 [如 1 5 秒] 執行一次，其所產生的輸出電壓與後級該人機介面 (1 5) 類神經網路的輸出電壓進行比較，當二者誤差大於 1 % 時 [即 $e\% = \frac{|ANN(V_{out}) - FMPPT(V_{out})|}{FMPPT(V_{out})} \times 100\%$]，則將此相關資料收集起來；2.啟動該通訊模組 (1 4) L a b V I E W - M a t l a b 介面，將資料饋入 M a t l a b 進行重新訓練；3.將訓練好

的權值透過該通訊模組(14)RS485轉TCP傳送至該微控制器(11)進行最大功率追蹤控制〔請再一併參閱第九圖本發明之最大功率追蹤流程示意圖所示〕。

【0119】 如此一來，使得本發明於進行實驗測試時，先設定該太陽能電池(2)最大輸出功率 $P_{\max} = 25\text{ W}$ 、開路電壓 $V_{oc} = 21.7\text{ V}$ 、短路電流 $I_{sc} = 1.31\text{ A}$ 、該蓄電池(4)充電電壓 $14.2 \sim 15\text{ V}$ 、該蓄電池(4)容量 17 Ah ，請再一併參閱第十圖本發明之模糊擾動法〔FMPP T〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 20000 lux 〕、第十一圖本發明之模糊擾動法〔FMPP T〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 40000 lux 〕、第十二圖本發明之類神經網路法〔ANN〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 20000 lux 〕、第十三圖本發明之類神經網路法〔ANN〕最大功率追蹤狀況曲線圖〔照度 40000 lux 〕、第十四圖本發明之模糊擾動法〔FMPP T〕與類神經網路法〔ANN〕追蹤狀況比較曲線圖及第十五圖本發明之模糊擾動法〔FMPP T〕與類神經網路法〔ANN〕追蹤點附近區域放大圖所示，由於其比較平均百分比誤差 $e\% = 1.4935\% \{ > 1\% \}$ ，因此啟動重新訓練機制。經訓練後的各層權值如下所示：

【0120】 隱藏層權值

$$\text{【0121】 } w_{5 \times 5}^1 = \begin{bmatrix} 8.1090 & -0.1705 & -0.3033 & -1.0404 & -0.8967 \\ 7.9820 & -5.5051 & 4.6779 & 0.0191 & -0.4971 \\ -6.6465 & 0.8983 & 3.7933 & 2.3651 & 3.9774 \\ 7.4760 & 3.6684 & -0.5307 & 1.4549 & 3.2840 \\ 4.0049 & 5.1935 & 3.4140 & 5.4263 & 4.4079 \end{bmatrix}$$

【0122】 隱藏層偏權值

$$\text{【0123】 } b_{5 \times 1}^1 = [-3.4251 \quad -8.5645 \quad -3.4205 \quad -10.3529 \quad -5.3356]^T$$

【0124】 輸出層權值

$$\text{【0125】 } w_{1 \times 5}^2 = [1.5756 \quad 8.4333 \quad 0.3290 \quad 0.6013 \quad 0.2968]$$

【0126】 輸出層偏權值

$$\text{【0127】 } b_1^2 = [-1.0101]$$

【0128】 請再一併參閱第十六圖本發明之重新訓練後的模糊擾動法

{ F M P P T } 與類神經網路法 { A N N } 追蹤狀況比較曲線圖及第十七圖本發明之重新訓練後的模糊擾動法 { F M P P T } 與類神經網路法 { A N N } 追蹤點附近區域放大圖所示，於經訓練後，其平均誤差已降至 $e\% = 0.732\%$ ，上述之平均誤差定義如下：

$$\text{【0129】 } e\% = \frac{|ANN(V_{out}) - FMPPT(V_{out})|}{FMPPT(V_{out})} \times 100\%$$

【0130】 藉由以上所述，本發明之使用實施說明可知，本發明與現有技術手段相較之下，本發明主要係具有下列優點：

【0131】 1.本發明於前級微控制器係使用模糊擾動法{ F M P P T }，

使得能依據目前位置適時調整擾動量大小，因此能避免在最大功率點附近震盪的缺點，並提供較精確的追蹤控制。

【0132】 2.本發明於後級人機介面使用類神經網路法〔ANN〕，使得其輸入與輸出僅需要一些代數運算，反應速度非常快，連帶令最大功率追蹤更適合於即時線上環境。

【0133】 3.本發明重新訓練機制藉由人機介面之LabVIEW-Matlab介面的Matlab Script Node功能在Matlab環境中進行訓練，除可減輕微控制器負擔，更可使得最大功率追蹤控制系統能適合於全年不同環境。

【0134】 然而前述之實施例或圖式並非限定本發明之產品結構或使用方式，任何所屬技術領域中具有通常知識者之適當變化或修飾，皆應視為不脫離本發明之專利範疇。

【0135】 綜上所述，本發明實施例確能達到所預期之使用功效，又其所揭露之具體構造，不僅未曾見諸於同類產品中，亦未曾公開於申請前，誠已完全符合專利法之規定與要求，爰依法提出發明專利之申請，懇請惠予審查，並賜准專利，則實感德便。

【符號說明】

【0136】 (1) 最大功率追蹤系統

【0137】 (11) 微控制器

【0138】 (12) PWM驅動器

【0139】 (1 3) 直流／直流轉換器

【0140】 (1 4) 通訊模組

【0141】 (1 5) 人機介面

【0142】 (2) 太陽能電池

【0143】 (3) 直流負載

【0144】 (4) 蓄電池