

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

HCPV 系統整合及監控技術精進
Advanced HCPV System Integration and Monitoring Techniques

計畫編號：992001INER041

受委託機關(構)：萬能科技大學

計畫主持人：李國路

核研所聯絡人員：林宏儒

聯絡電話：0911185978

E-mail address：glee@mail.vnu.edu.tw

報告日期：99 年 11 月 15 日

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
作者及所屬單位.....	4
壹、計畫緣起與目的.....	5
一、緣起.....	5
二、目的.....	6
貳、研究方法與過程.....	10
一、收集資料.....	10
二、理論分析及計算機模擬.....	10
(一)以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之 控制.....	10
(二)有關以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究.....	23
(三)有關太陽光發電系統的變異及故障分析機制之研究.....	31
(四)有關太陽光發電系統維修策略之研究.....	32
參、主要發現與結論.....	33
一、以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之研究	33
(一)模擬結果.....	33
(二)結論.....	35
二、有關以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究.....	36

三、太陽光發電系統的變異及故障分析機制之研究	43
(一)品質管制圖的原理與應用	46
(二)變異性分析的原理與應用	52
(三)品質管制圖與灰色系統預測理論的應用	57
四、HCPV 系統維修策略之研究.....	66
(一)維護策略輪廓描述與訂定	67
(二)維護工作時程預排	72
(三)設備狀態的即時反應與記錄	72
(四)維護資訊的分析與精進運用	74
五、太陽光發電系統技術發展資料收集之彙整	75
(一)使用模式估算光發電系統的性能	75
(二)太陽光發電系統的諮詢模擬軟體	76
(三)光發電陣列(PV array)在部份遮蔽條件下的建立模式與模擬	78
(四)連網光發電(PV)系統在部份遮蔽條件下的運行	78
六、程式撰寫	79
(一)以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化程 式	79
(二)以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之程式	79
(三)灰色系統預測理論結合品質管制圖的應用程式	80
七、論文發表準備與投寄(含 SCI 期刊乙篇).....	80
(一)工作報告	80
(二)研討會論文	80
(三)期刊論文	80

肆、參考文獻.....	81
伍、附件.....	87
附件一	87
附件二	100

中文摘要

本計畫「HCPV 系統整合及監控技術精進」(Advanced HCPV System Integration and Monitoring Techniques)，計畫編號 992001INER041，由萬能科技大學接受委託研究。本案探討應用模糊理論的模糊知識庫(Fuzzy Knowledge Base)和模糊規則庫(Fuzzy Rule Base)的演算法，處理影響聚光型太陽能發電模組的輸出效能的陣風因素，以風速、風的方向和風吹時間的長短為依據，獲得太陽追蹤器啟動運轉的時間資訊，以利採取保護措施，避免馬達受損；並應用圖型識別演算法(Pattern Recognition Algorithm)的技術，預測雲層遮蔽效應的動態軌跡。計畫另包括對建置運轉後之發電系統進行維修策略之探討與失效之監控與判別，及對系統相關最新技術發展資料的蒐集。

本計畫完成(一)以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之控制、(二)以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究、(三)對監控資訊變異判別機制建立之研究、(四)對系統維修策略精進之研究、(五)對太陽光發電系統技術發展資料之蒐集、(六)報告及論文投稿，含研討會論文一篇，SCI 期刊論文一篇。本計畫成果可提供太陽光發電系統整合及監控技術精進的參考。

關鍵詞：聚光太陽光發電系統、模糊知識庫、模糊規則庫、圖型識別演算法、維修策略。

Abstract

This project “Advanced HCPV System Integration and Monitoring Techniques”, Project No. 992001INER041, is conducted by Vanung University. In this project, the algorithms based on the fuzzy knowledge base (FKB) and the fuzzy rule base (FRB) are built to investigate the influences of the factor of gust on the output performance of HCPV. With the wind speed, the wind direction, and the duration of wind blowing as key parameters, we are able to catch the information such as the starting time and the operating time length of the sun tracker, so as to take the required procedure to prevent the motor from damaging. Also, the pattern recognition algorithm (PRA) was employed to predict the effect of the dynamic track of cloud shadowing. Besides, in this project we also investigate the failure monitoring and identification for the in-operation system, which will assure the entire system performance and availability. Finally, the collection of the relevant latest technical development materials of system was paid attention too.

Tasks have been accomplished in this project include: (1) To optimally control the sun tracker under the influences of the factor of gust by using fuzzy theory, (2) To predict the effect of the dynamic track of cloud shadowing by using PRA, (3) To build up the differential mechanism to monitor the variation of the HCPV output, (4) To improve the maintenance policy of the HCPV system, (5) To collect the relevant latest technical development materials of the HCPV system, (6) To fulfill the final report of the project with one conference paper and one submitted SCI journal paper. The research results in this project could be good integration and monitoring references for HCPV system operation.

Key words: HCPV system, Fuzzy Knowledge Base, Fuzzy Rule Base, Pattern Recognition Algorithm, Maintenance Policy

作者及所屬單位

計畫主持人：李國路副教授萬能科技大學管理與資訊系

共同主持人：林宏志副教授萬能科技大學電子工程系

共同主持人：王金印副教授萬能科技大學資訊管理系

壹、計畫緣起與目的

一、緣起

隨著科技、工業的發展，能源的需求日益加重、耗速也越來越快，其中，人類目前依賴最重的石化能源不只有耗盡的可能，更因其造成的環境的汙染、二氧化碳的釋放、地球的暖化等等問題，都讓我們不得不亟思解決之道。因此，如何發展新的替代能源，尤其是綠色能源，乃是當前重要課題[1]。而在多種替代能源技術中，將取之不盡用之不竭的太陽能轉換成電能運用，是最自然且永續的思維。太陽能沒有枯竭問題，沒有熱汙染與廢氣問題，世界各地都可以公平的取得，沒有蘊藏量與壟斷的紛擾，無疑地是最有潛力的能源，這些特性都使太陽能發電產業成為最搶眼的明日之星[2]。

我國政府在 2005 年全國能源會議有關太陽光電的三項具體結論：(一)加強太陽光電系統設置，以 2010 年 2.1 萬瓩、2015 年 32 萬瓩、2020 年 57 萬瓩、2025 年 80 萬瓩為目標；(二)推動代表性建築物、交通設施等太陽光電示範系統；(三)加強太陽光電系統研發，推動建築物整合系統 (BIPV) 發展於 2025 年達 10~12 萬戶，每戶 5 瓩。已見政府在積極地推動太陽光發電能源政策及決心。到了 2008 年，我國太陽光電產值已達 1,011 億元，PV 廠商家數約 80 家，太陽電池生產也已是全球第 4 位。最近政府並提出「綠色能源產業旭升方案」，期望達到 2015 年願景目標為達到產值 4,500 億元，45,000 人的就業人力，並讓台灣發展為全球前三太陽電池生產大國，完整的太陽光電產業群聚國家，以及國際 PV 能源技術研發重鎮[1, 3]。見諸最近眾多企業公司在太陽能發電上相繼的大規模投資，太陽光電產業所允諾

的無限商機，其市場的發展蓬勃可期[4，5]。

2009年5月13日核研所「太陽光電高科驗證中心及路竹示範場動土典禮」，在高雄科學園區舉行。其後，設在路竹鄉之高聚光太陽光電示範場先於2009年12月22日完成啟用發電，設在高科的太陽光電驗證中心也預計於2010年底建置完成。高聚光太陽光電系統示範場設在高縣路竹鄉竹滬，佔地2公頃，安裝141座總發電量100萬瓦的太陽能系統。核研所成立太陽光電驗證中心、示範場，主要是吸引太陽能產業到高雄科學園區設廠，產生聚落，帶動南部太陽能綠色能源的發展。

完整的聚光太陽光發電系統係以聚光型太陽能電池為主，製成太陽光電池模組，配合複雜的太陽光追蹤系統、加上電力系統的元件採用與組合而成。若以產業的角度視之，它是一項具有高轉換效率，但也同時具高複雜度與成本的產品。若以使用者的角度視之，重點必在於如何保證其在建置運轉後，能夠維持系統高效能的操作與可用度(Availability)。隨著「再生能源發展條例」的頒布，民間廠商的大筆投入，聚光太陽光發電系統在研發單位的努力之下，經歷系統整合及驗證階段，正以前瞻的視野來探討與未來營運相關的議題，本計畫即為配合核能研究所進行太陽光發電系統之技術發展相關研究之一，並以影響聚光型太陽能發電模組的輸出效能之分析為主，配合太陽光發電系統操作策略的精進與發電系統技術發展相關文獻的蒐集及彙整等三個部份進行研究。

二、目的

為配合核能研究所進行太陽光發電系統之技術發展研究，在前述的背景下，本計畫以以下方向進行相關研究：

(一)太陽光發電系統效能分析研究的部分：

在太陽光發電系統中有部分的電池陣列會受到雲系陰影遮蔽的影響，這些因素在陣列中或太陽光電池面板的串列中會造成重大的變化，其結果將會造成輸出電力不匹配而使得效能降低；換言之，就是實際的輸出效能將會與預期的效能有極大的差異。在衡量太陽光電電池的效能時，在正常狀況下會假設照射、溫度和電池參數等都能保持在理想的條件下，而這些條件在太陽能光電陣列的所有電池元件中是一致的。然而，在實際的情況下卻充滿許多變數，造成理論與實測的效果差異加大，這就是本計畫要探討的問題之一。

Chaintreuil 等[6]針對單晶矽太陽光電陣列所提出的論文：網格連接型太陽光電發電系統的陰影效應，他們根據陣列的連結方式，經計算結果只要 2.6%的陰影就能造成 16.7%的總陣列電能損失。另外，由美國國家半導體實驗室測試和現場測試中收集到的結果，並參考其他研究的結果發現，因為陰影或其他因素所造成的電池面板不匹配，導致太陽能電池面板產生不平衡的電能損失。研究發現電池面板只要有 10%的陰影就會產生 50%的能源損失。

(二)太陽光發電系統操作策略精進研究的部份：

雖然太陽光發電系統的設備不易損壞，但由於長期受到日曬以及環境中的灰塵影響，使得故障的發生是不無可能的，因此對於太陽光發電系統之故障分析，以及應對的保護策略需加以研究。

面對 HCPV 這類功能複雜度提高的系統，維護人員將面臨較繁瑣的工作及後勤支援的不確定性，因此往往也會提高

錯誤發生的風險[3]而有必要訂定一套良好的系統維修策略，以提升系統使用效益。本研究的目的之一，即在建立一套整合性的維護管理系統架構，來探討維護管理應具備的功能、維護策略的訂定、可靠度核心的維護方式、可用度的概念、即時監視的可能性、以及維護管理電腦化的可能性等。以處理聚光太陽光發電系統各項分系統或元件之維護與修理工作的標準化、記錄維護管理資訊、維護工作時程安排、與系統使用效益的提升等問題[7]。

另外，再穩定的系統也有失效發生的可能，本研究所面對的聚光太陽光發電系統亦然。但失效的發生，若能及時得到監控與判別，進而確認系統異常的類型與可能的後果，將可判斷是否須進行迅速而得當的處置，以使系統的損失降至最低，而且不致讓損失繼續擴大。本研究的目的也在於建立一套異常資料的收集機制，以作為維護策略改善之依據。使能即時有效地掌握所建置之聚光太陽光發電系統的動態資訊，作為後續系統品質掌控之參考。

(三)太陽光發電系統技術發展相關文獻蒐集及彙整的部分：

以案例彙集為重點，搜尋國內、外相關書籍、期刊及會議論文，應涵蓋太陽光發電系統的效能提昇、太陽光發電系統的變異判別、模糊階層分析法、能量輸出的配置及空間最佳化配置等。

影響太陽光發電效能的因素很多，在太陽光發電系統的主體部分包括：Array Structure、Trackers、AC And DC Wiring、Overcurrent Protection、Disconnects、Interconnects、Inverters

及 System Controllers 等，在環境及操作應力上則有：Humidity、Temperature、High-voltage Bias、及程序的極限(如：Solder Bond Integrity)等。若更廣泛的思考，影響太陽光發電效能的因素尚包括：日照時間、追蹤太陽的準確性、聚光器及相關使用裝置的擺設方式、空氣污染的影響、散熱的影響、...等。期望由收集案例及實例討論，整理出實用具有參考價值的效能模式架構，對系統的效能有比對的量化參考度量，對系統的變異判別有所助益，亦提供探討能量輸出的配置及配置空間最佳化的參考。

綜合上述，本研究的目的彙整如下：

- 1.以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之控制。
- 2.以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究。
- 3.研究對監控資訊變異判別機制的建立，以及時掌控系統效能。
- 4.研究系統精進策略之訂定，以提升系統使用效益。
- 5.蒐集太陽光發電系統技術發展相關文獻及彙整建議，提供核研所技術精進之參考。

貳、研究方法與過程

本計畫之研究方法，區分為收集資料、理論分析及計算機模擬：

一、收集資料

以案例彙集為重點，搜尋國內、外相關書籍、期刊，涵蓋太陽光發電的技術發展、光發電的效能及決策支援系統等；另外包含：光發電系統的效能模式、模糊理論於風速影響因素下的運用、圖型識別演算法應用於遮蔽的動態軌跡之研究、光發電系統的變異及故障分析機制及維修策略之研究。

二、理論分析及計算機模擬

(一)以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之控制：

1.模糊理論探討

模糊理論的基本概念是運用了模糊邏輯 (Fuzzy Logic, FL)，它是以法則為推理基礎的一種人工智慧，但可容忍不確定性的資料，可使用近似值或主觀值來進行推論。其基礎是一套模糊集合論，它是在 1965 年由美國加州柏克萊大學 Zadeh 教授首先於 Information and Control 學術期刊發表[1]，日後廣泛地被應用於一些語意不明與不確定性的資料處理。模糊理論不是用某一個明確的數值來衡量事件資料，而是使用「隸屬函數」(Membership Function)來量化、描述該事件與某個模糊概念的關係。隸屬函數的種類大致上分成五種，包含：三角形 (Triangular Shape)、梯形 (Trapezoidal Shape)、S 函數 (S Function)、Z 函數 (Z

Function)、及 Π 函數(PI Function) 等。其中隸屬函數值設定介於 0 到 1 之間，用來描述各個元素屬於某個集合的程度，若隸屬於某個概念的程度越大，則其隸屬函數值越接近 1；反之，隸屬函數值則越接近 0。其特點是更接近人類的判斷思考，取代了傳統的精確邏輯(Crisp Logic)，避免了以點來切割所產生的問題，而能用於處理不確定因素的系統。

其後更近一步的發展至模糊層級分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)，其起因是對一個問題需要做決策時，經常會發現它是由一些複雜因素所組合，包含有形的及無形的因素，這些因素之間彼此相互影響。層級分析法發展的目就是將一個複雜的問題，切割成不同的層級，降低複雜度與關聯度，提供決策者作出較佳的決策方案。層級分析法是加州大學 Thomas L. Saaty 教授在 1971 年協助美國國防部從事應變計畫研究時所提出的，主要用於不確定情況及具有多個評估準則的決策問題上。其後逐漸成為一項解決各種決策問題的方法，其應用範圍極為廣泛。但是在人類主觀及情感世界裡存在許多不確定性的因素，加入模糊法則可補足了傳統層級分析法中具有資訊不足、不明確和模糊性的決策行為，使其更能反應現實世界中的情況。在傳統的層級分析法中，其成對比較法之比值皆為明確的數值，以利建立成對比較矩陣，但會有主觀、不精確、模糊等問題產生，所以 Buckley[2]提出的作法是以梯型模糊數(Trapezoidal Fuzzy Number)來表示成對準則相互比較的重要程度，而形成模糊正倒值矩陣。其模糊尺度，採取 $\{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9\}$ 等九個數。Cheng and

Mon [3, 4]則提出利用模糊數的區間代數運算及分割原理，進行模糊可靠度的分析。1974年 E. H. Mamdani 教授在蒸汽機自動運轉控制上成功地驗證了模糊邏輯控制器的優越性能，此後便造成一股研究風潮，現今已經用在相當廣泛的領域，例如在模糊控制系統(Fuzzy Control System)、模糊分類(Fuzzy Clustering)、圖形識別(Pattern Recognition)、決策分析(Decision Analysis)等方面上。尤其在控制系統上，近年來有相當多的學者在這方面投注心力 [5]。

模糊理論也常常與其他演算方法結合使用，例如模糊理論與類神經網路的結合，模糊理論與基因演算法的結合應用，模糊理論與螞蟻演算法的整合等。模糊理論也被用於太陽光電系統上，主要都是集中在處理最大功率追蹤技術(Maximum Power Point Tracking, MPPT)的問題上 [6-11]，也有用在水力系統上[12]。然而，對於應用在風力對太陽能聚光發電的影響方面之研究，則極為少見。

2. 解決方法之研究

本研究的高聚光太陽光發電(High Concentration Photovoltaic, HCPV)系統是由多座太陽光電面板所組成。一般而言，完整的聚光太陽光發電系統係以聚光型太陽能電池為主，製成太陽光電池模組，配合複雜的太陽光追蹤系統、加上電力系統的元件採用與組合而成。若以產業的角度視之，它是一項具有高轉換效率，但也同時具高複雜度與成本的產品。若以使用者的角度視之，重點必在於如何保證其在建置運轉後，能夠維持系統高效能的操作與可用度(Availability)。而影響太陽光發電效能的因素包括：日照

時間、追蹤太陽的準確性、聚光器及相關使用裝置的擺設方式、風力對面板的衝擊，空氣污染的影響、散熱的影響…等。本研究主要是針對風力的影響提出改善方法。由於 HCPV 每一座的面積龐大，對於陣風的影響極為敏感。為了避免損壞模組馬達，特訂定運轉規則為當風速儀偵測到風速大於每秒 K 公尺(命名為臨界點 Critical Point, CP)時，即停止追日系統馬達的運轉功能，此方式雖然可保護 HCPV 模組和馬達裝置，但是也影響發電效能至鉅。從觀察發現，當風向並非正面吹向 HCPV 面板時，縱使其風速已超過臨界點之外，但是如果計算此風速直接撞擊 HCPV 面板的垂直分量時，卻有可能小於臨界點，這時仍應讓馬達處於工作的狀態，以增加發電的時間效率。此外，當風速剛好處於臨界點正負範圍之附近時，原來的設計將導致 HCPV 追日系統馬達在啟動或停止之間頻繁交替而損害。我們應用模糊理論所建立的模糊規則庫和推論演算法，以風速、風的方向和風速變化率(正負加速度)等為影響決策的輸入因子，進行模糊推論，再由解模糊輸出值來做太陽追蹤器啟動或停止的決策，可避免太陽光電追日馬達在臨界點附近因啟動或停止之間頻繁交替而損害。此技術採用多因子的模糊輸入決策，經由程式模擬驗證，獲得明顯的效能改善成果。

3. 定義模糊輸入與輸出變數

太陽能聚光發電模組的佈建範圍遼闊，其陣列面板的面積龐大，受到陣風吹襲的影響力甚鉅。為了保護太陽追蹤器之馬達的正常功能，避免受損，太陽追蹤器在風速大

於臨界點(例如 K 公尺/每秒)時，被設定停止啟動運轉，但是問題來了，假使風速在這個固定的臨界點之附近來為變化時，將造成太陽追蹤器馬達之開關頻繁切換的問題。為了解決此問題，減少過度的機械反應，我們應用模糊理論的原理，改變傳統明確集合的絕對屬於之概念而擴充至相對屬於的概念，做出模糊的決策，控制太陽追蹤器啟動的時機，可防止控制馬達在臨界點上啟動與停止來回變動的不正常現象，達到保護其馬達機組的目標。本模糊推論系統考慮三個輸入變數，分別是風速、風向、和風的變化速度，而系統的輸出變數為控制器的啟動區或停止區，亦即輸出值如果落入啟動區的範圍內時，則讓追日系統的馬達處於啟動狀態，反之，則處於停止狀態。

為了簡化計算的複雜度，本研究是以三角模糊歸屬函數來建立相鄰的模糊函數，並且使它們有彼此重疊為原則。令所建立的三角模糊歸屬數(a/b/c)，其中 a 與 c 為模糊函數的左右兩端點，而 b 為模糊函數的中間點。此三角模糊歸屬函數之方程式如(2.1)所示。令 X 為模糊集合(Fuzzy Set)， $\mu_x(\cdot)$ 為 x 的歸屬函數(Membership Function)，x 為其元素(Element)，而 U 為論域(Universe of Discourse)，則模糊集合表示為方程式(2.2)所示。

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.1)$$

$$X = \{(x, \mu_x(x)) \mid x \in U\} \quad (2.2)$$

為了運用模糊理論，首先對於風速這個輸入變數，進行模糊語言的描述與歸屬函數的建立。關於風速等級之模糊理論的論域(Universe of Discourse)是修改自蒲福氏風級表(Beaufort Scale)並進一步細分而定義的。此蒲福氏風級表是由英國人弗朗西斯·蒲福(Francis Beaufort)於1805年根據觀察航行的船隻狀態及海浪而編制，適用於海上的觀測。後來為了適用於路地，從觀察煙、樹葉及樹枝的搖動、或旗幟的搖動狀態而編制，主要是依據風對地面物體或海面的影響程度而定出的風力等級。按照風的強弱，劃分為13個等級，從0至12等級。到了1950年代發明測風儀器，實際上所量測到的風速已超出了12級，於是將風級擴展到17級成為18個等級。

本研究所定義之風速的模糊論域範圍是介於 $(K-1)$ 公尺/秒至 $2(K-1)$ 公尺/秒之間，我們所關切的重點是風速在臨界點多一倍的範圍內。此為考量原訂 K 公尺/秒為臨界點，並以1公尺的解析度間隔來定義模糊歸屬函數，其中0公尺/秒至 $K-1$ 公尺/秒已明確為啟動運轉區，不在考量的範圍，故定義以 $(K-1)$ 公尺/秒開始增一倍至 $2(K-1)$ 公尺/秒為風速的論域。至於風速大於 $2(K-1)$ 公尺/秒則已明確定義為停止運轉區，也不在考量的範圍。為符合本研究的需要，進一步將此論域再細分與定義如表2.1所示。茲舉例說明風速的模糊歸屬函數如下，如果令 $K=6$ ，則論域範圍 = $\{5 \sim 10\}$ ，如果令 $K=8$ ，則論域範圍 = $\{7 \sim 14\}$ ，同理，如果令 $K=10$ ，則論域範圍 = $\{9 \sim 18\}$ ，以此類推。本研

究是以論域範圍 = { 6 ~ 12} 為例來說明，其模糊歸屬函數如圖 2.1 所示。

表 2.1 定義風速的模糊歸屬函數 (表中的 K 為臨界點)

風速大小程度(speed:S)	定義三角模糊歸屬函數
MB1 (moderate breeze 1)	(K-1 K-1 K) m/s
MB2 (moderate breeze 2)	(K-1 K K+1) m/s
FB1 (fresh breeze 1)	(K K+1 K+2) m/s
FB2 (fresh breeze 2)	(K+1 K+2 K+3) m/s
SB1 (strong breeze 1)	(K+2 K+3 K+4) m/s
SB2 (strong breeze 2)	(K+3 K+4 K+5) m/s
SB(n-1) (strong breeze n-1)	---
S _{Bn} (strong breeze n)	(2(K-1)-2 2(K-1)-1 2(K-1)) m/s

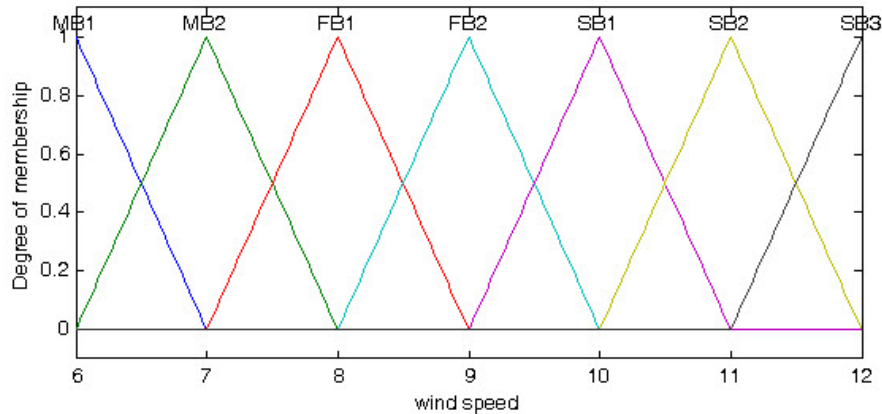


圖 2.1 風速的模糊歸屬函數(橫軸為風速，縱軸為隸屬度)

第二個輸入變數為風吹的方向，本研究的高聚光太陽光發電 (HCPV) 面板整座的體積龐大，對於陣風的影響極為敏感。為了避免損壞模組，當風速儀偵測到風速大於臨界點 K 公尺/秒時，即停止追日系統馬達的運轉，以策安全。然而單純考量風速的因素，將使系統的發電總效能降低，例如，雖然風速超過臨界點 K 公尺/秒，但是風的方面並非正面吹向太陽光電面板，而是與面板的法向量產生一個 λ 角度如圖 2.2 所示。令 $\theta = 90^\circ - \lambda$ ，經過計算其垂直分量 $\sin(\theta)$ 結果小於臨界點 K 公尺/秒，此時太陽光電面板仍能

運轉，以發揮最大的發電效能。所以，其影響的程度決定於風向與太陽光電面板法向量的夾角，其夾角越小，風速的垂直分量越大，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地增加。反之，其夾角越大，則風速的垂直分量越小，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地降低。

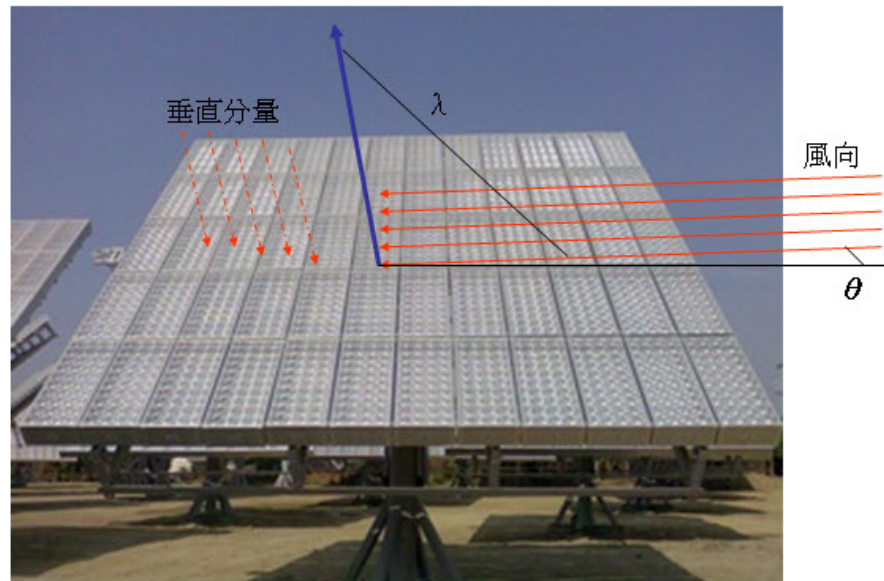


圖2.2 風向與太陽光電面板法向量的夾角(參考文獻：
One MW HCPV Demo System at Lujhu, Taiwan)
[13].

因為只計算風速的垂直分量，我們僅需定義風向的模糊論域範圍介於0度至90度之間即可，其餘風向角度的垂直分量取其絕對值後，皆可歸納在此定義的範圍內。我們以 $\sin \theta$ 垂直分量每 0.25 的解析度間隔來定義模糊歸屬函數，其值為 $\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ ，可定義出5段的歸屬函數如表 2.2 所示，其模糊歸屬函數如圖 2.3 所示。

表2.2 定義風向的模糊歸屬函數

風向的角度 (Angle:A)	定義三角模糊歸屬函數(垂直分量Sin θ 值)
SA (small angle) (0° ~ 14.5°)	(0 0 0.25)
MA (medium angle) (0° ~ 30°)	(0 0.25 0.5)
BA (big angle) (14.5° ~ 48.6°)	(0.25 0.5 0.75)
LA (large angle) (30° ~ 90°)	(0.5 0.75 1)
EA (extra angle) (48.6° ~ 90°)	(0.75 1 1)

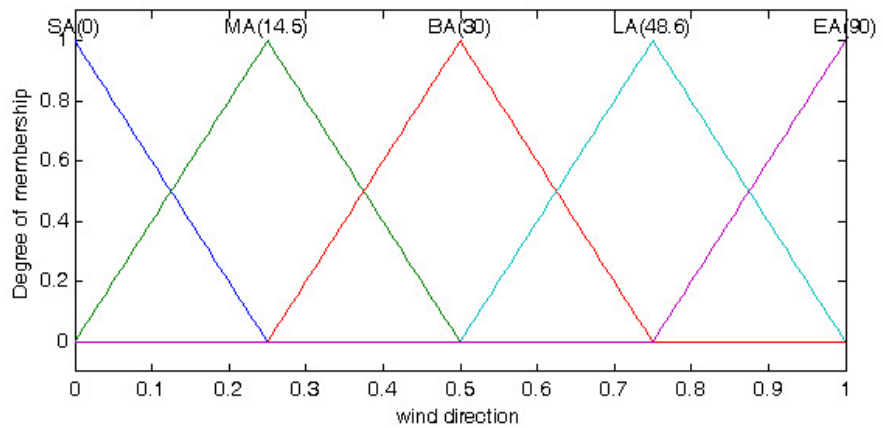


圖2.3 風向的模糊歸屬函數

(橫軸為垂直分量，縱軸為隸屬度)

第三個輸入變數為風速強度的變化率(dS)，作為判別風速是增強或是減弱的趨勢，對於在臨界點附近之風速如(K-1)至(K+1)之間的數值，提供一個前置判斷的資料。本研究是以 2 分鐘平均風速的變化為依據，以正負間隔每秒 1 公尺為風速增強或是減弱來定義歸屬函數，可定義出 3 段的歸屬函數如表 2.3 所示，其模糊歸屬函數如圖 2.4 所示。

表2.3 定義風速強度變化的模糊歸屬函數

2分鐘平均風速變化 (Acceleration:dS)	定義三角模糊歸屬函數
ND (decrease) 減弱	(-1 -1 0)
ZK (keep) 不變	(-1 0 1)
PI (increase) 增強	(0 1 1)

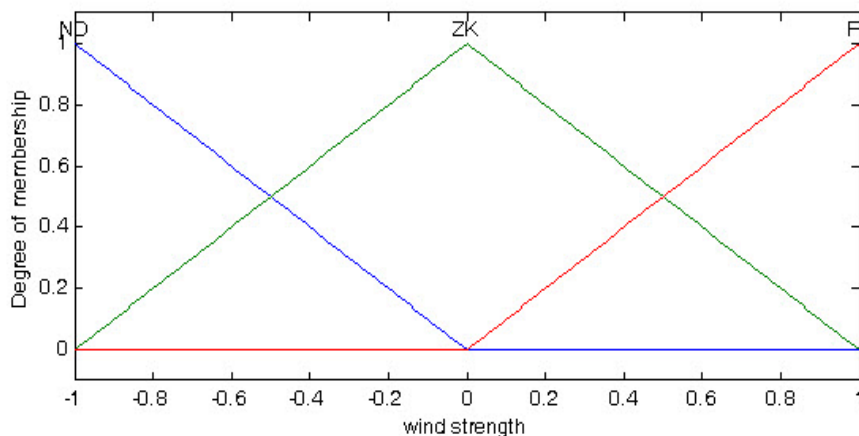


圖2.4 風速強度變化的模糊歸屬函數
(橫軸為正負加速度，縱軸為隸屬度)

最後，我們要定義輸出的模糊歸屬函數，如果輸出的值小於0，則讓馬達處於運轉狀態，如果輸出的值 ≥ 0 ，則處於停止運轉狀態。此可定義出3段的歸屬函數如表2.4所示，其模糊歸屬函數如圖2.5所示。

表2.4 輸出的模糊歸屬函數

控制馬達動作(Run_Stop)	定義三角模糊輸出歸屬函數
RN (run) 安全(<0)，運轉	(-1 -1 0)
KP (keep) 保持現狀	(-0.5 0 0.5)
SP (stop) 危險(≥ 0)，停止	(0 1 1)

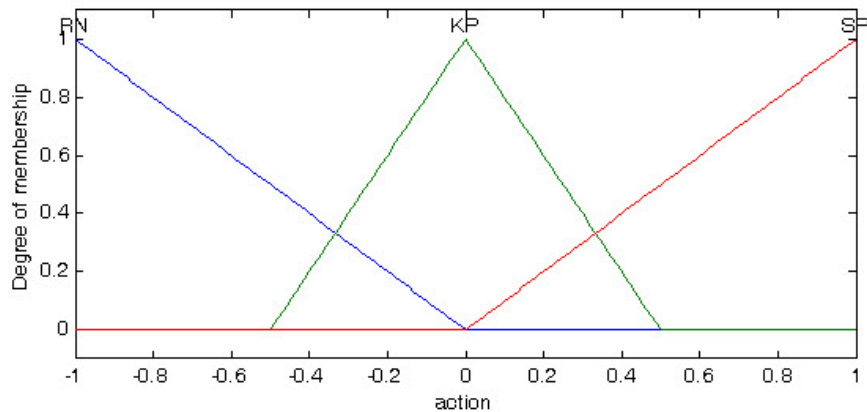


圖2.5 輸出的模糊歸屬函數
(橫軸:危險度，縱軸為隸屬度)

4.模糊推論演算法

我們已定義三個輸入變數，第一個變數有七種狀態，第二個變數有五種狀態，第三個變數有三種狀態，所以總計有一百零五條模糊規則(Rules)如下(節錄)：

R1. If (speed is MB1) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN

R2. If (speed is MB2) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN

...

R50. If (speed is MB1) and (angle is BA) and (acceleration is ZK) then (Run_Stop) is RN

...

R94. If (speed is FB1) and (angle is LA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is KP

...

R104. If (speed is SB2) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP

R105. If (speed is SB3) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP

將上述的模糊規則寫成模糊規則表，為了清楚表示關聯性，規則表只顯示二個輸入變數的關連，此是將風速變化率 dS(正負加速度)的輸入變數固定在某一種狀態時，而顯示風速與角度的關聯表。所以，此列表已將風速變化率隱含納入計算。如表 2.5 所示為 dS = ND (風速減弱的趨勢)，其他兩個輸入變數的關聯表。如表 2.6 所示為 dS = ZK (風速不變的趨勢)，其他兩個輸入變數的關聯表。如表 2.7 所示為 dS =PI (風速增強的趨勢)，其他兩個輸入變數的關聯表。

表2.5 風速與角度在風速減弱趨勢時之關聯表

dS = ND	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	RN	KP	KP	SP
EA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP

表2.6 風速與角度在風速不變趨勢時之關聯表

dS = ZK	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	KP	KP	SP	SP
EA	RN	KP	SP	SP	SP	SP	SP

表2.7 風速與角度在風速增強趨勢時之關聯表

dS = PI	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	KP	KP
LA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP
EA	KP	SP	SP	SP	SP	SP	SP

在模糊推論中，使用最大-最小合成法(MAX-MIN Composition)和 Mamdani 模糊推論演算法(Mamdani Fuzzy Inference)[14]，對於前提部採用 and 運算，取得最小運算

值，對應到運轉-停止((Run_Stop)歸屬函數的輸出，再經過推論部最大運算後，可獲得最後的推論圖形。根據模糊理論，此推論圖形必須再經過解模糊化(Defuzzification)的過程，求得一個明確的輸出量，以作為馬達控制系統的啟動或停止的判別。我們使用重心法模糊化 (Centroid Defuzzification)，此為常用且似乎合理的方法，其計算方程式如(2.3)所示。這裡的 $\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)$ 為離散值與對應歸屬值的乘積和，而 $\sum_{i=1}^N \mu(y_i)$ 為歸屬值和。

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(y_i)} \quad (2.3)$$

(二)有關以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究：

1.雲層遮蔽之影響

聚光型太陽能光電模組陣列是由許多太陽能電池所組成，當部份模組原件損壞或是被樹葉、灰塵、鳥糞、積雪等覆蓋，或是被雲朵遮蔽等，將會發生部份遮蔽或全遮蔽的現象，而這個遮蔽現象對於輸出產生極大的變化，對於輸出的穩定性產生極大的影響，這種隨機非線性的輸出結果，更是難以預測。從文獻探討上，有使用類神經網路來預測雲朵遮蔽的發生現象[15]，在訓練階段時期，先產生不同的雲朵圖樣(Cloud Patterns)來訓練類神經網路，以利能夠

預測判別雲層遮蔽效應與影響。亦有使用二維時變模型來模擬雲層遮蔽可能發生的效應等[16]，其受積雲(Cumulus Clouds)影響結果如下表 2.8 所示：

表 2.8 .太陽能光電系統受積雲遮蔽影響[16]

分佈範圍 (平方公里)	最大能量損失百分比			
	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘
10	15.9	19.1	19.6	19.6
100	5.5	7.5	7.5	7.5
1000	2.8	3.1	3.1	3.1
10000	2.7	2.7	2.7	2.7
100000	2.7	2.7	2.7	2.7

由表中可得知，太陽能光電系統越小的分佈範圍，受到積雲遮蔽的影響越嚴重，使得輸出產生急劇的變化，如果能從影像處理的觀點來獲得雲層遮蔽所行駛路徑的動態軌跡，將有助於採取因應的對策。

2.雲層遮蔽之模擬與呈現

假設影像圖 W 為 $M \times N$ 像素的平面灰階影像，如(2.4)式：

$$W = \{W(x_i, y_j) \mid 0 \leq x_i < M, 0 \leq y_j < N, W(x_i, y_j) \in \{0, 1, 2, \dots, g\}\} \quad (2.4)$$

其中 x 代表影像的列， y 代表影像的行，這裡採用 8 位元灰階影像，所以 g 值為 255。當雲層慢慢通過太陽能光電陣列時，被雲層遮蔽的模板陣列將會產生陰影，導致影像強度的改變(減弱)，此改變的數值可以計算出雲層移動的軌跡。令 W_t 為在單位 t 時間內所擷取到的影像序列，此影

像序列數目的多寡隨著雲層移動的速度而改變，當雲層移動速度很慢時，單位時間的間隔變長，反之則變短。在本模擬研究採取 t 為一分鐘的間隔，亦即每隔一分鐘才取樣一次，當雲層在 $T = 10$ 分鐘內通過太陽能光電陣列時，則擷取遮蔽樣本為十張影像，所獲得的影像序列 W_t ， $t = 0, 1, \dots, T$ 。此 W_0 為原始影像，亦即完全沒有被雲層遮蔽的影像如圖 2.6。此將影像與 X 和 Y 座標點對應。圖 2.7、圖 2.8 和圖 2.9 分別為雲移動所造成部份遮蔽的影像圖。

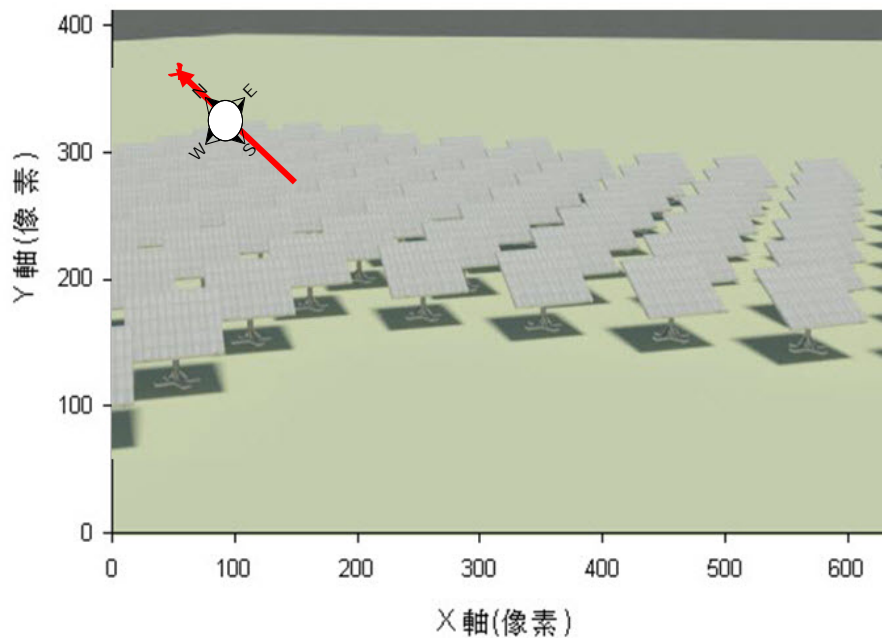


圖 2.6 完全沒有被雲層遮蔽的影像---時段一

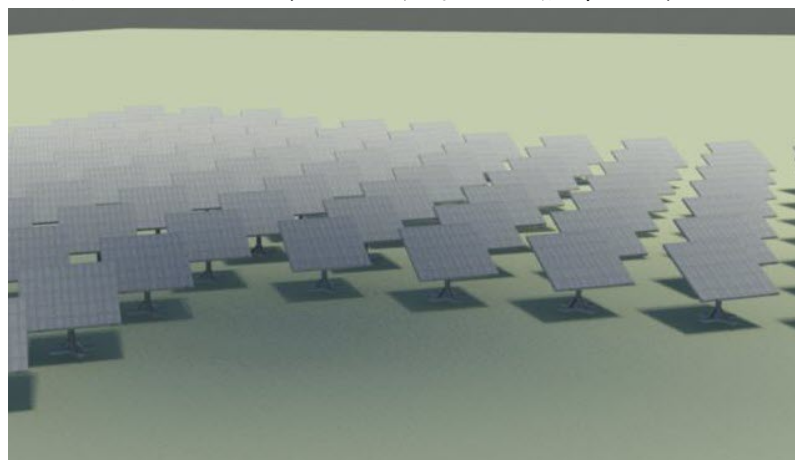


圖 2.7 部份遮蔽—影像序列 W_2

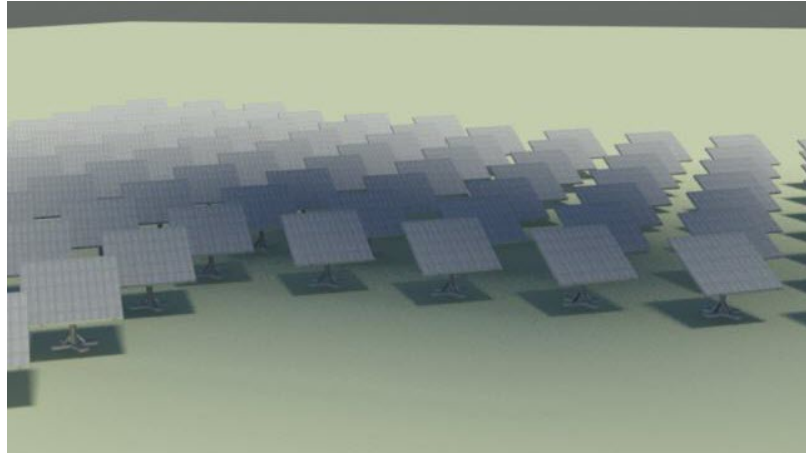


圖 2.8 部份遮蔽—影像序列 W_6

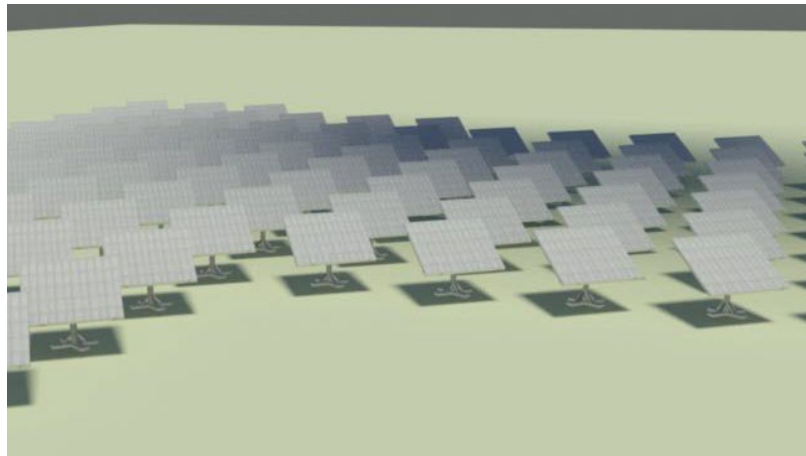


圖 2.9 部份遮蔽—影像序列 W_9

另一模擬雲層遮蔽也採取 t 為一分鐘的間隔，亦即每隔一分鐘才取樣一次，當雲層在 $T = 15$ 分鐘內通過太陽能光電陣列時，則擷取遮蔽樣本為十五張影像，所獲得的影像序列 $W_t, t = 0, 1, \dots, T$ 。此 W_0 為原始影像，亦即完全沒有被雲層遮蔽的影像如圖 2.10。此將影像與 X 和 Y 座標點對應。圖 2.11~圖 2.16 分別為雲移動所造成部份遮蔽的影像圖。

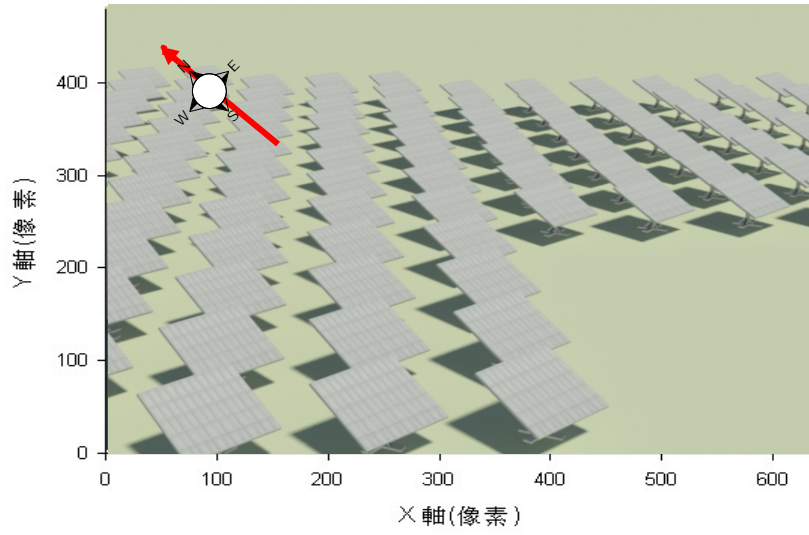


圖 2.10 完全沒有被雲層遮蔽的影像---時段二

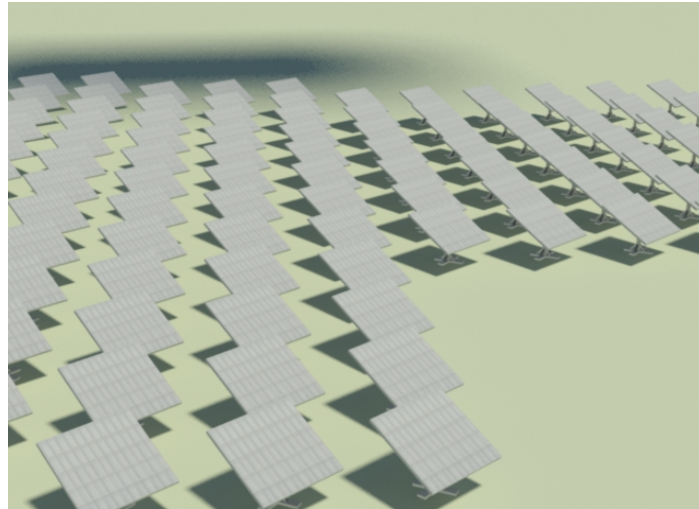


圖 2.11 部份遮蔽—影像序列 W_1

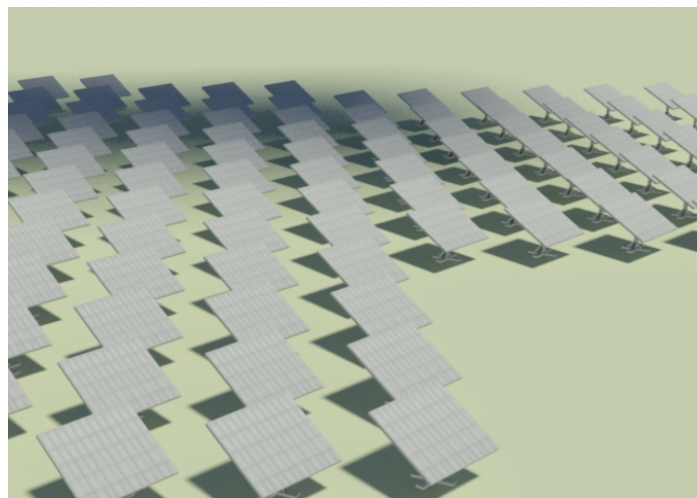


圖 2.12 部份遮蔽—影像序列 W_3

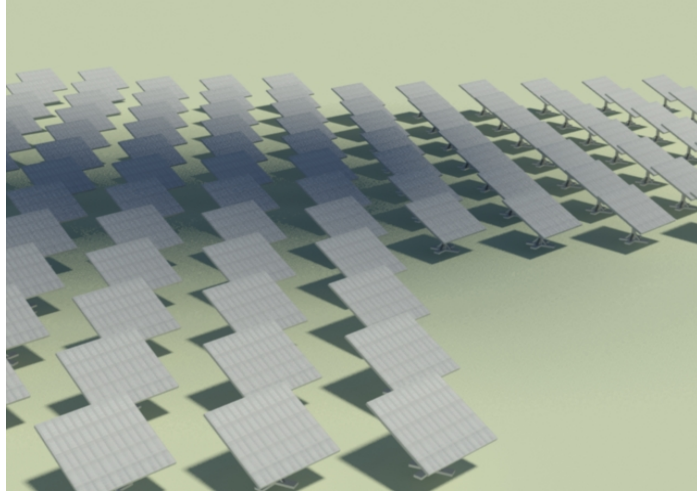


圖 2.13 部份遮蔽—影像序列 W_6

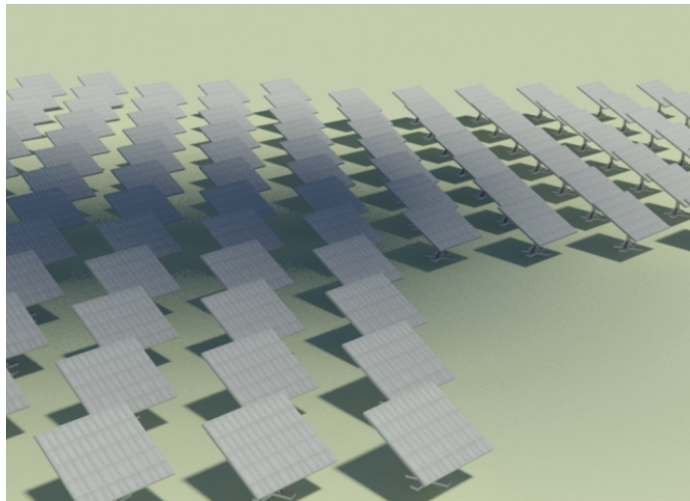


圖 2.14 部份遮蔽—影像序列 W_8

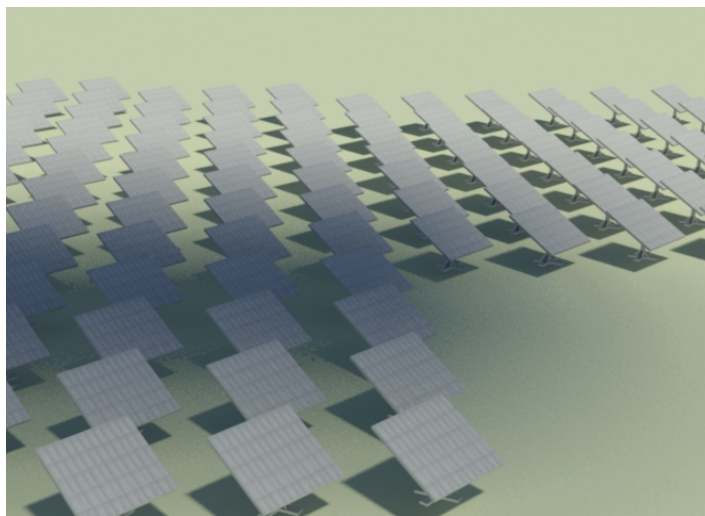


圖 2.15 部份遮蔽—影像序列 W_{10}

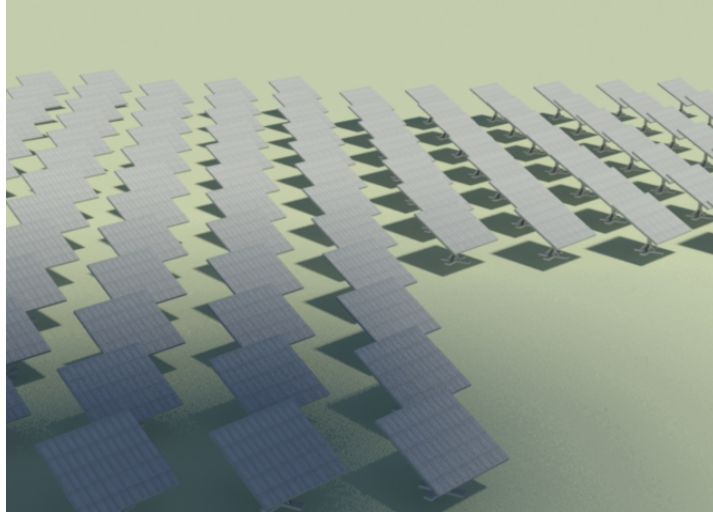


圖 2.16 部份遮蔽—影像序列 W_{13}

另一模擬雲層遮蔽也採取 t 為一分鐘的間隔，亦即每隔一分鐘才取樣一次，當雲層在 $T = 12$ 分鐘內通過太陽能光電陣列時，則擷取遮蔽樣本為十二張影像，所獲得的影像序列 $W_t, t = 0, 1, \dots, T$ 。此 W_0 為原始影像，亦即完全沒有被雲層遮蔽的影像如圖 2.17。此將影像與 X 和 Y 座標點對應。圖 2.18~圖 2.22 分別為雲移動所造成部份遮蔽的影像圖。

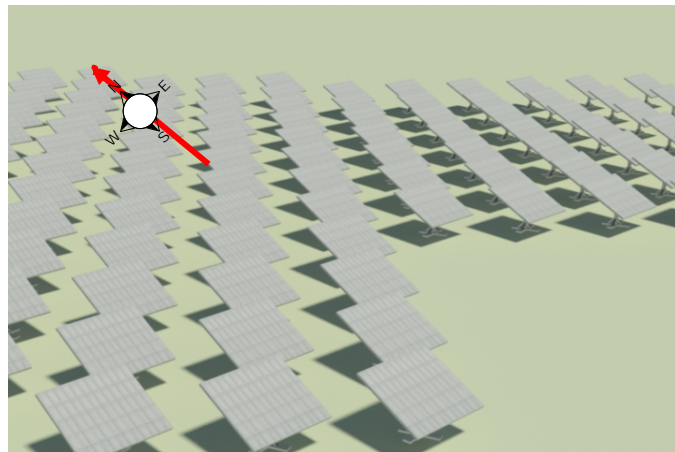


圖 2.17 完全沒有被雲層遮蔽的影像---時段三

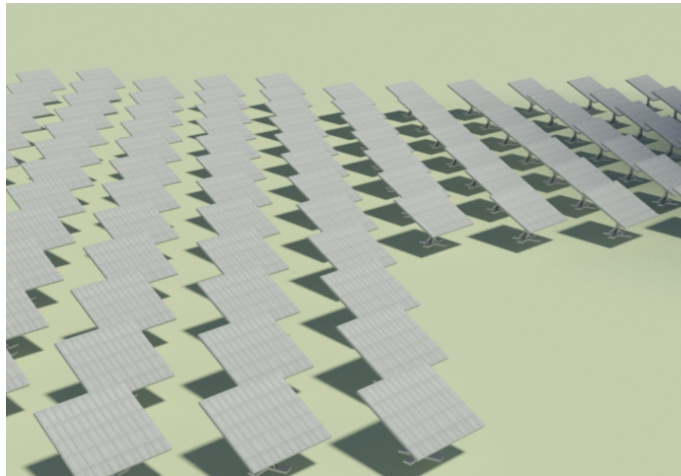


圖 2.18 部份遮蔽—影像序列 W_1

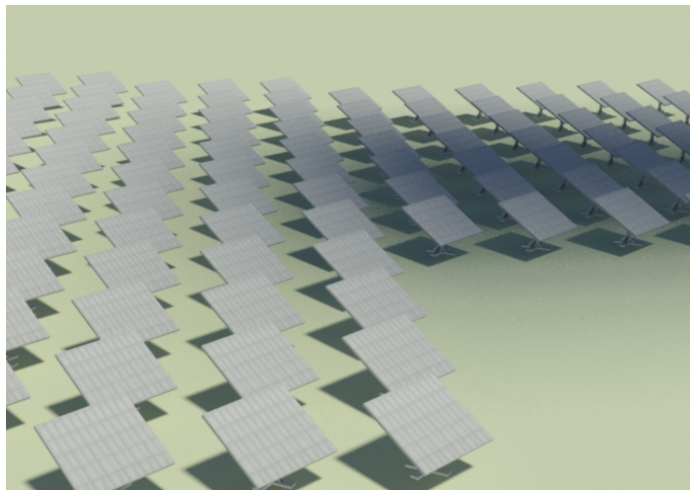


圖 2.19 部份遮蔽—影像序列 W_4

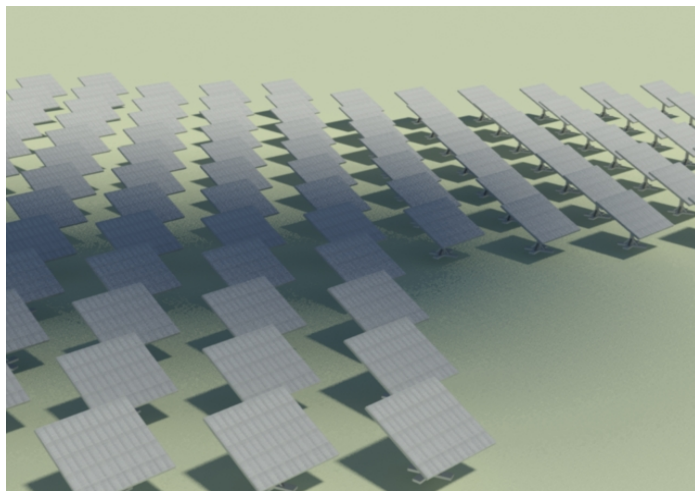


圖 2.20 部份遮蔽—影像序列 W_7

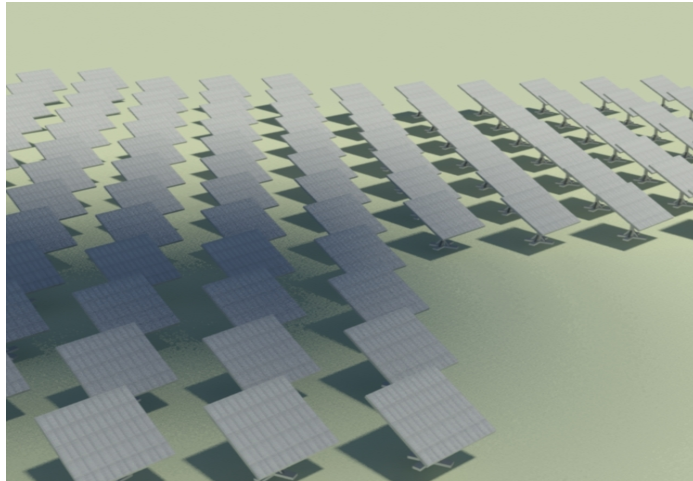


圖 2.21 部份遮蔽—影像序列 W_9

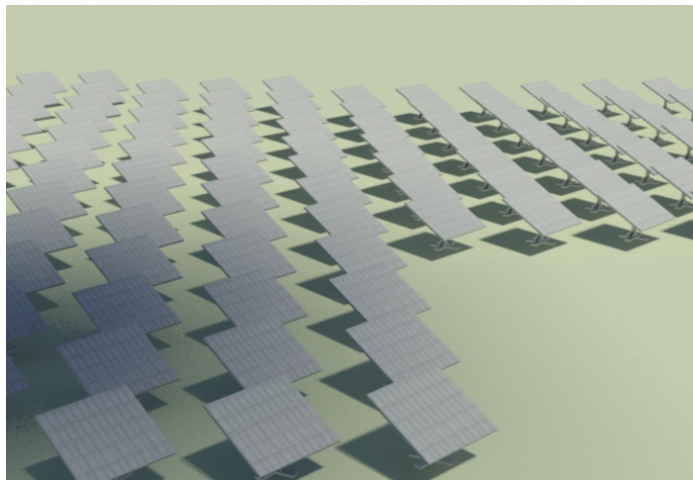


圖 2.22 部份遮蔽—影像序列 W_{11}

(三)有關太陽光發電系統的變異及故障分析機制之研究：

對一個已經部署服役的聚光太陽光發電系統而言，這些異常或失效的資料可能來自於系統設備本身(包括：太陽光電池或模組、追蹤系統、電力系統元件)的使用故障、環境因素的改變、操作上的失誤、甚至替換零件不良...等等。當系統在一個健全的監控系統下，各類系統特性的正常和不正常資料都可以隨時觀察與搜集，我們就可以運用管制圖的概念，對系統進行品質控管，以維持系統的正常運作，或當判別出異常發生時，能及時進行得當的處置，以掌控系統效能。另外，

為求得系統異常警訊的及早獲得，研究中並以灰色系統預測理論應用在品質管制圖的判識上。

(四)有關太陽光發電系統維修策略之研究：

高聚光太陽光發電系統雖然是一個成熟的產品系統，其太陽能電池的設備不易損壞，但因系統的功能複雜度提高，加上長期受到日曬、風雨、灰塵等各種自然環境因素的影響，使得故障的發生是不無可能的。研究即以高聚光太陽光發電系統為主體，透過維修階層與維修作業等分析，探討其維護策略輪廓之描述與訂定(包括維修類型考量、修復策略/修復性設計評估、維修階層考量)、維護工作時程預排、設備狀態的即時反應與記錄、與維護資訊的分析與精進運用等。

參、主要發現與結論

一、以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化之研究

(一)模擬結果

使用模糊程式模擬，以輸入模糊變數 X(Input)為風速(Speed)，輸入模糊變數 Y(Input)為風向角度(Angle)，模糊歸屬值 Z(Output)為啟動與停止(Run_Stop)的判別，建立模糊推論系統的輸入輸出模糊集合歸屬函數，而風速變化率(正負加速度)也隱含納入計算。圖 3.1 為解模糊之橫切面輸出值，看圖解讀為當風向角度(Angle)固定，風速(Speed)為自變數時，縱軸為輸出決策值(Run_Stop)，當此縱軸 Run_Stop 大於或等於零時，必須讓追日系統的馬達處於停止運作狀態。反之，當此縱軸 Run_Stop 小於零時，必須讓追日系統的馬達處於啟動運作狀態。圖 3.2 為解模糊之縱切面輸出值，解讀為風向角度(Angle)固定時，風速變化率(正負加速度: Acceleration)為自變數，縱軸為輸出決策值(Run_Stop)。同樣地，其縱軸 Run_Stop 的判定如同圖 3.1 的說明。

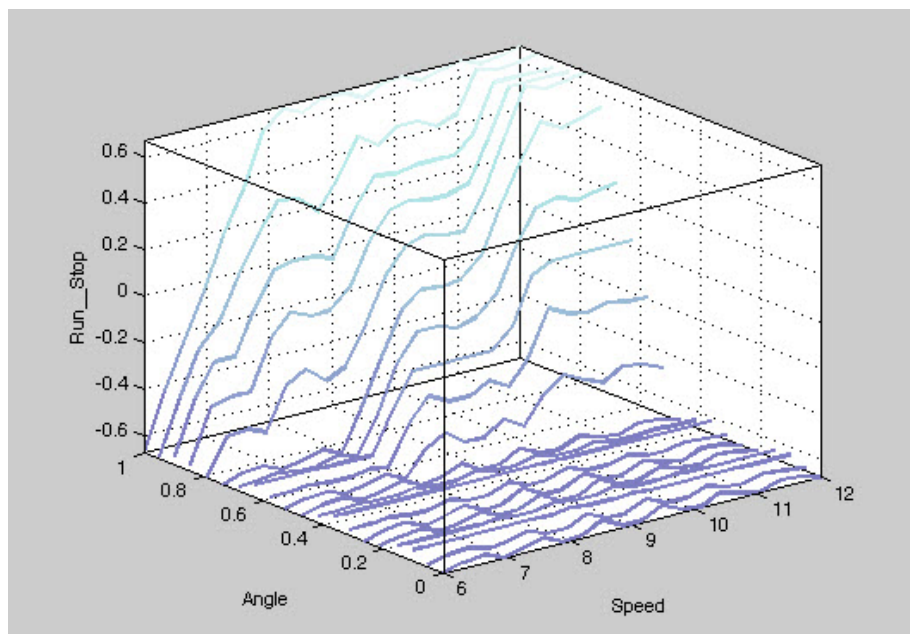


圖 3.1 解模糊之橫切面輸出值

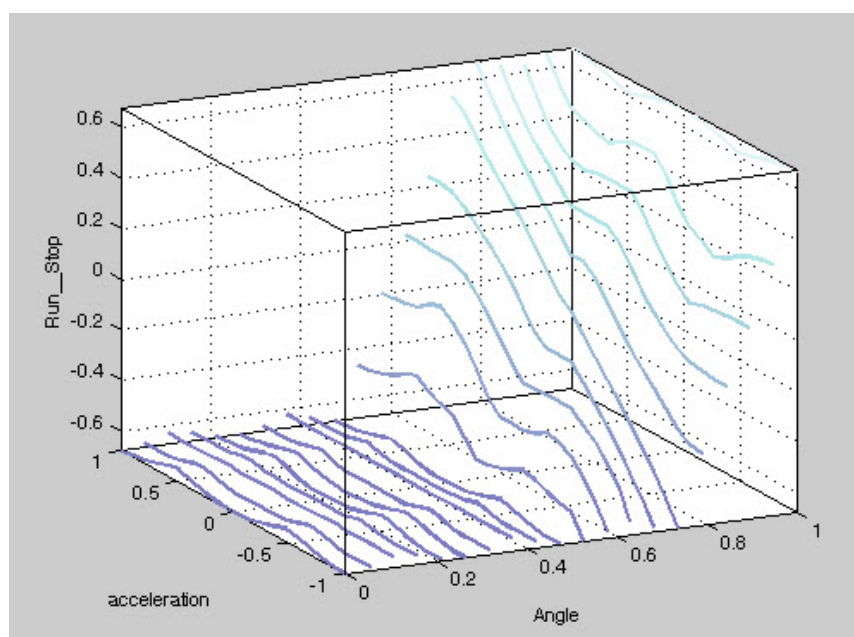


圖 3.2 解模糊之縱切面輸出值

圖 3.3 為 3D 顯示解模糊輸出值，解讀為當風速(Speed)和風向角度(Angle)為自變數時，縱軸為輸出決策值(Run_Stop)。從圖 3.3 中可以明顯的判別，如果輸出的值(Run_Stop)小於 0，則讓馬達在運作狀態。如果輸出的值 ≥ 0 ，則必須讓馬達在停止狀態。

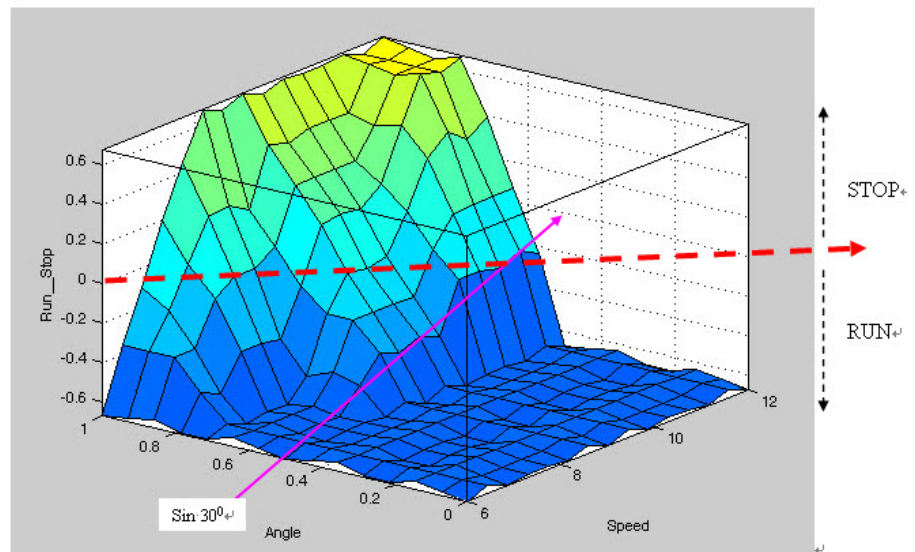


圖3.3 3D顯示解模糊輸出值

(風速是以論域範圍 {6~12 公尺/秒} 為例來說明)

(二)結論

太陽能聚光發電(HCPV)模組的陣列面板之體積龐大，受到陣風吹襲的影響力甚鉅。原訂太陽追蹤器在風速大於臨界點 K 公尺/秒時，被設定停止運作，此為了保護太陽追蹤器之馬達的正常功能，避免受損。但是在跨越風速臨界點時將產生開關動作頻繁的問題。此外，單純考量風速的因素而停止運作，將減少工作時段。例如在陽光普照的夏日裡，由於風速超過臨界點，必須停止 HCPV 的運作，使得系統的發電總效能大幅降低。

為了解決這些問題，減少過度的機械反應和增加 HCPV 的工作時段，降低天候影響因素的干擾，我們已成功地應用模糊理論的原理，改變傳統明確集合的絕對屬於之概念而擴充至相對屬於的概念，做出模糊的決策。本研究的模糊推論系統有三個輸入變數，分別是風速、風向、和風的變化速度(正

負加速度)。從圖 3.3 的解模糊輸出值中可明顯發現，當風向與太陽能聚光發電面板的法向量角度 λ 大於 60 度時，計算出 θ 小於 30 度，此時縱使風速高達 12 公尺/秒(將近兩倍大於原設定之臨界點值)，由於垂直分量的值小於 0.5($\sin 30^\circ$)，所以解模糊輸出值仍然落在啟動運作的安全區裡 ($\text{Run_Stop} < 0$)。以此數據控制太陽追蹤器運作的時機，可防止控制馬達在臨界點上啟動與停止來回變動的不正常現象，達到保護其馬達機組的目標，同時可增加 HCPV 的工作時段，提昇太陽能聚光發電的總效能。由圖 3.3 的實驗結果得知，其成效頗為顯著。

二、有關以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之研究

為了簡化計算過程和獲取即時的資訊，從前後兩張影像的像素值之差異，可獲得雲層移動的軌跡，此假設其它影響因素不計。令 ΔW 為時間前後兩張影像的差異，取其絕對值。則 $\Delta W = |W_t - W_{(t-1)}|$ ， $t = 1, 2, \dots, T$ 。當 ΔW 的差異大於一個門檻值 H (Threshold)時，將被採計認定為雲層遮蔽現象所引起的。令 S 為大於門檻值的所有座標點之集合，如(3.1)式：

$$S = \{ (x_i, y_j) \mid \Delta W(x_i, y_j) \geq H(x_i, y_j), 0 \leq x_i < M, 0 \leq y_j < N \} \quad (3.1)$$

對於前述雲層遮蔽之模擬結果，可繪出雲層移動的軌跡。首先針對第一組實驗(時段一)，獲得影像序列 W_0, W_1, \dots, W_{12} 。經過式(5)計算後，得到遮蔽的區域範圍分別如圖 3.4 ~ 圖 3.6 所示。

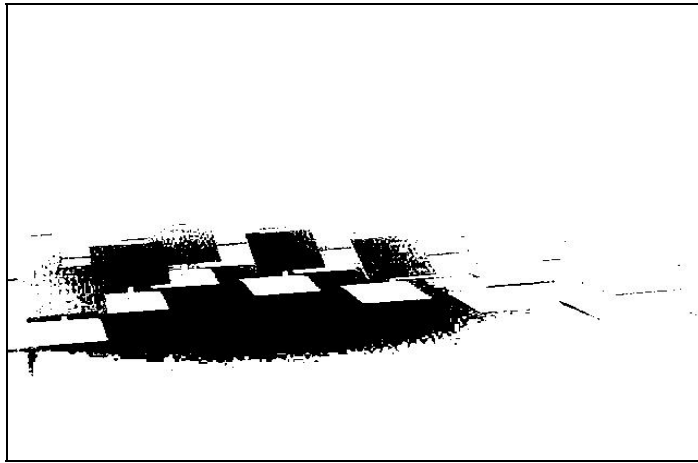


圖 3.4 雲層遮蔽範圍 S_{11}

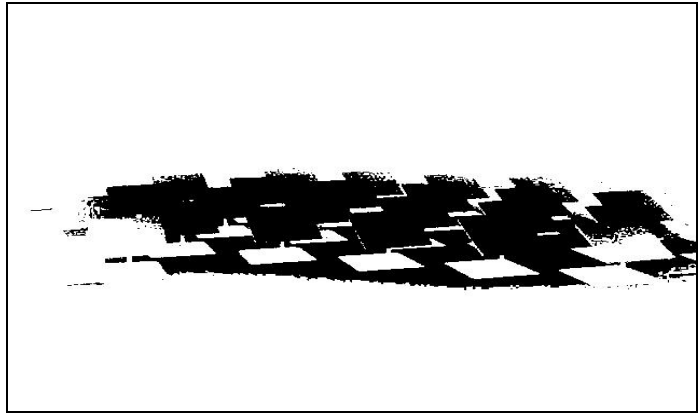


圖 3.5 雲層遮蔽範圍 S_{12}



圖 3.6 雲層遮蔽範圍 S_{13}

針對第二組實驗(時段二)，獲得影像序列 W_0, W_1, \dots, W_{15} 。

經過式(5)計算後，得到遮蔽的區域範圍分別如圖 3.7 ~ 圖 3.12 所示。

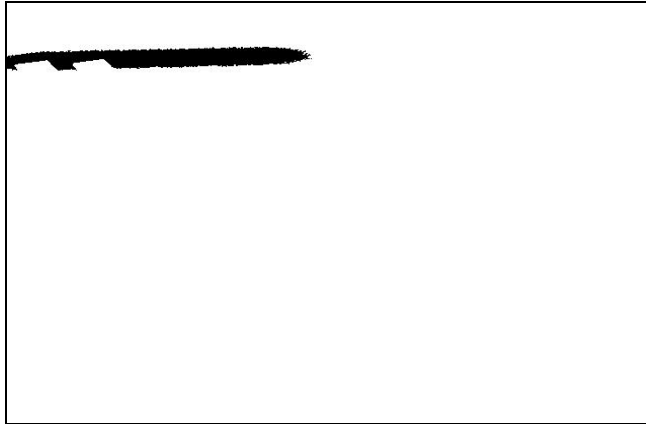


圖 3.7 雲層遮蔽範圍 S_{21}

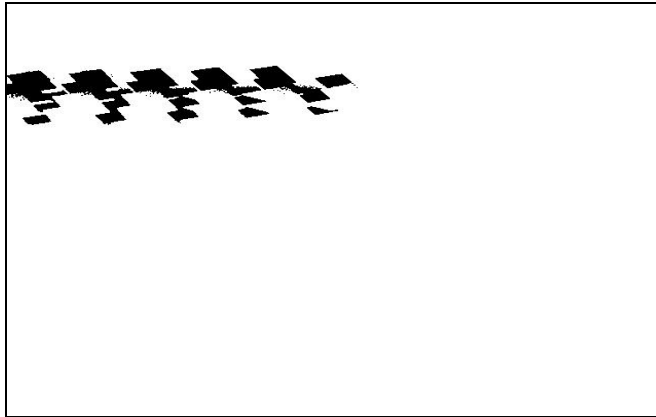


圖 3.8 雲層遮蔽範圍 S_{22}

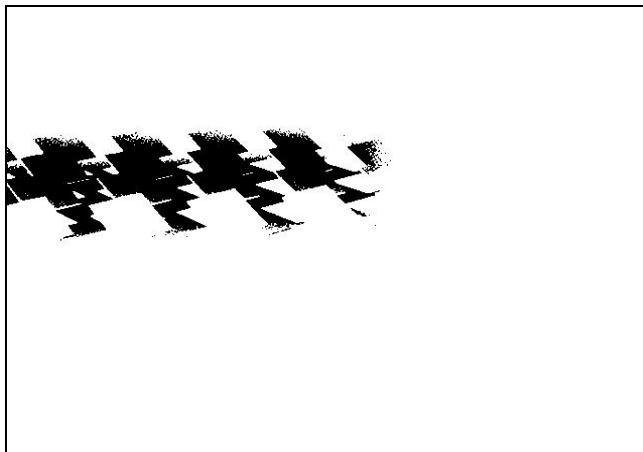


圖 3.9 雲層遮蔽範圍 S_{23}

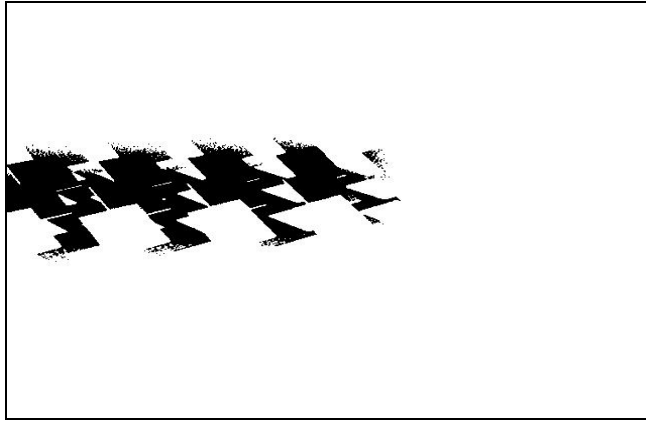


圖 3.10 雲層遮蔽範圍 S_{24}

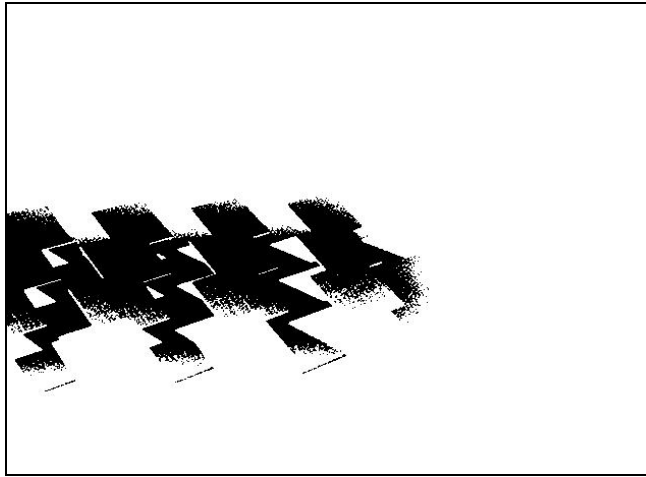


圖 3.11 雲層遮蔽範圍 S_{25}

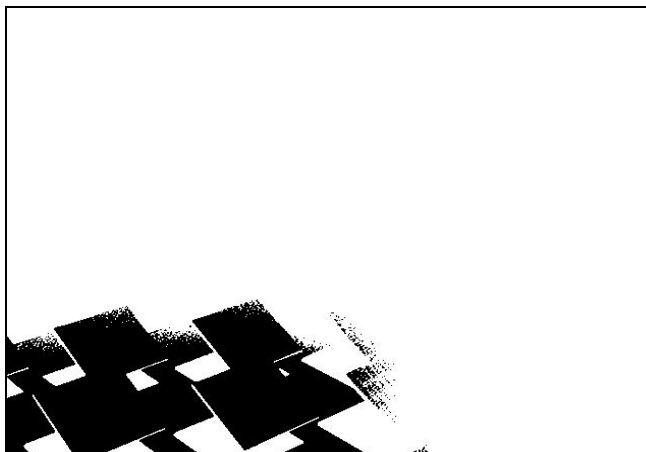


圖 3.12 雲層遮蔽範圍 S_{26}

針對第三組實驗(時段三)，獲得影像序列 W_0, W_1, \dots, W_{12} 。
經過式(5)計算後，得到遮蔽的區域範圍分別如圖 3.13 ~ 圖 3.17
所示。

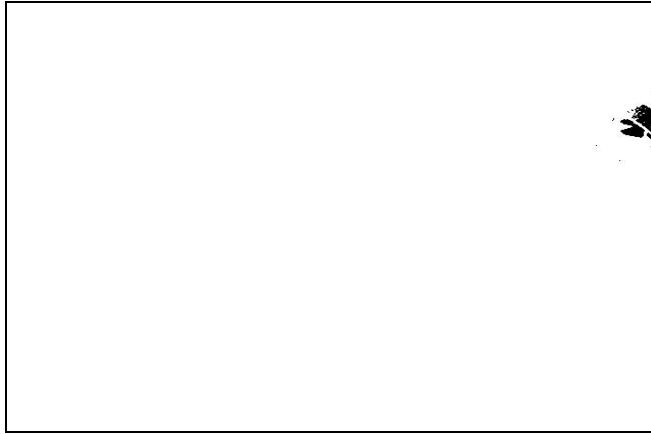


圖 3.13 雲層遮蔽範圍 S_{31}

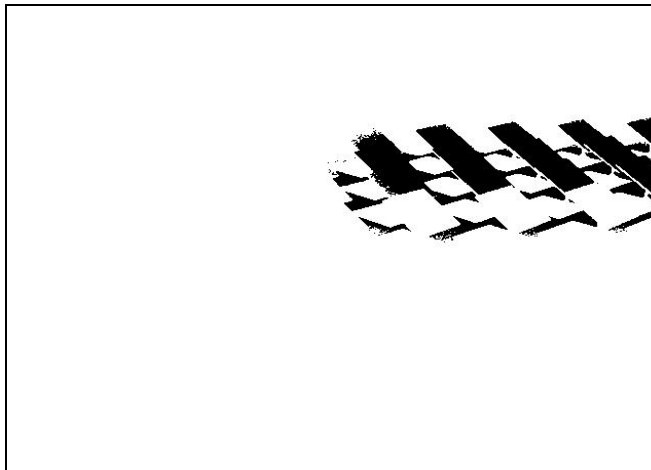


圖 3.14 雲層遮蔽範圍 S_{32}

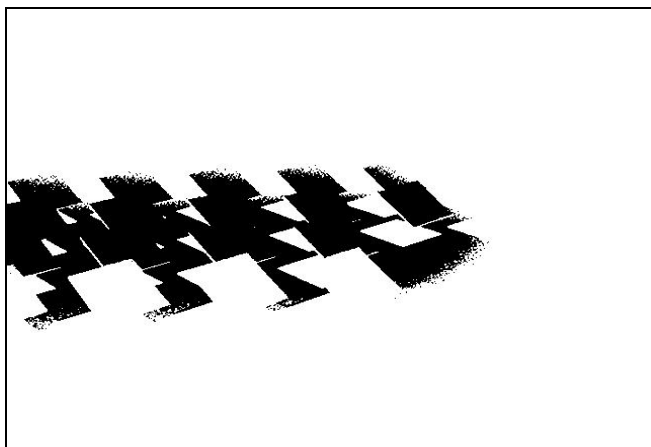


圖 3.15 雲層遮蔽範圍 S_{33}

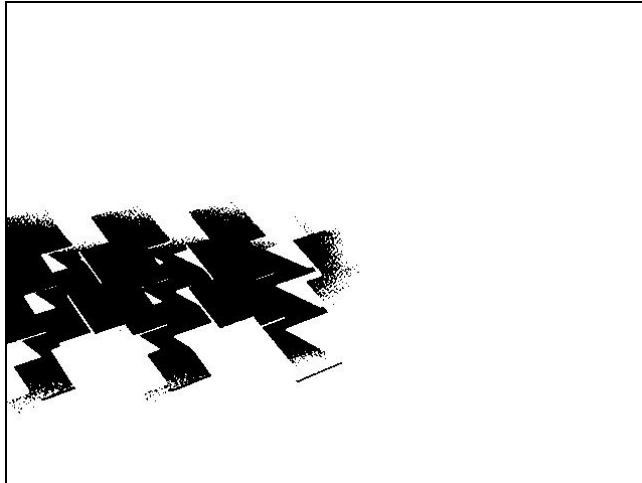


圖 3.16 雲層遮蔽範圍 S₃₄

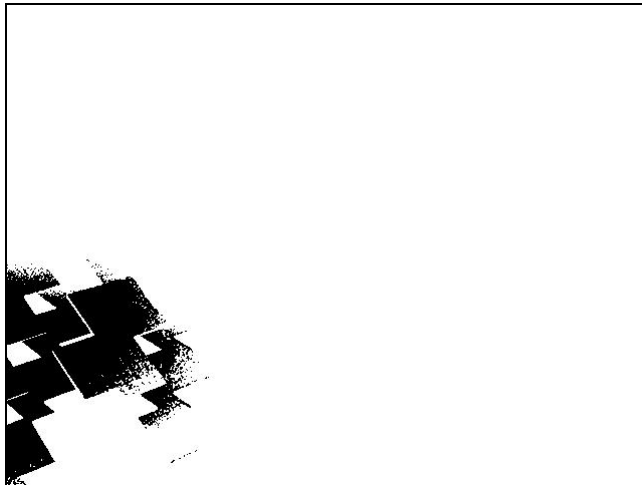


圖 3.17 雲層遮蔽範圍 S₃₅

當計算獲得被雲層遮蔽的座標點集合總計 P 點之後，可求得此座標集合的重心點 C(x, y)，如(3.2)式：

$$C_x = \frac{1}{P} \sum_{i=0}^{i=P-1} X_i, C_y = \frac{1}{P} \sum_{j=0}^{j=P-1} Y_j \quad (3.2)$$

將此重心的路徑點經繪製連結後，可獲的雲層的移動軌跡，同時可從 P 座標點位置得知雲層遮蔽的範圍等資訊。圖 3.18 為(時段一)雲層移動的軌跡，圖 3.19 (時段二)的雲層移動軌跡，圖 3.20 為(時段三)的雲層移動軌跡。

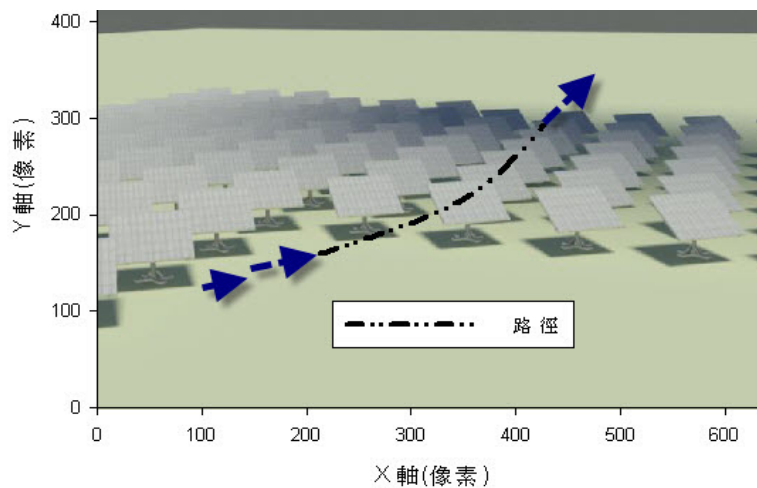


圖 3.18 雲層移動軌跡(在時段一)

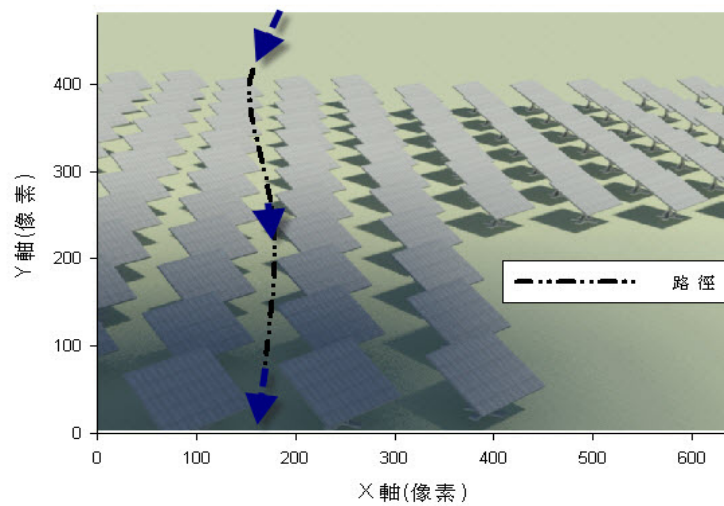


圖 3.19 雲層移動軌跡(在時段二)

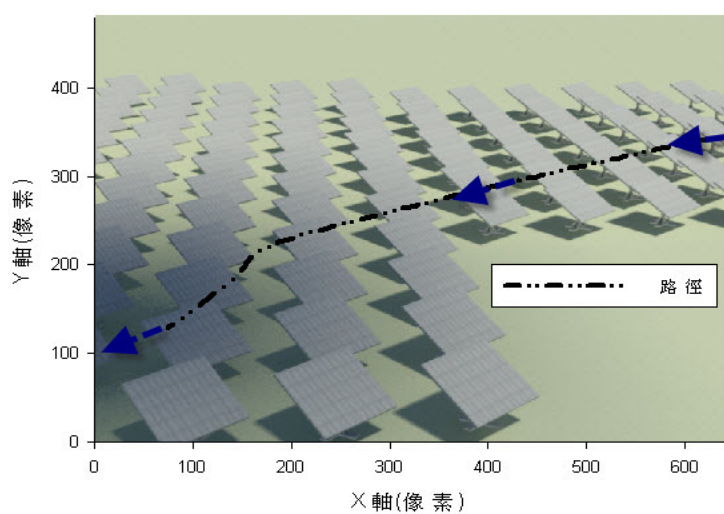


圖 3.20 雲層移動軌跡(在時段三)

三、太陽光發電系統的變異及故障分析機制之研究

本研究的目的是在於建立一套異常資料的收集與分析機制，以作為系統操作效能變異之監控與失效原因判別之用，使能即時有效地掌握所建置之聚光太陽光發電系統的動態資訊，作為後續系統品質掌控之參考[1]。

對一個已經部署服役的聚光太陽光發電系統而言，這些異常或失效的資料可能來自於系統設備本身(包括：太陽光電池或模組、追蹤系統、電力系統元件)的使用故障、環境因素的改變、操作上的失誤、甚至替換零件不良...等等。當系統在一個健全的監控系統下，各類系統特性的正常和不正常資料都可以隨時觀察與搜集，我們就可以運用管制圖的概念，對系統進行品質控管，以維持系統的正常運作，或當判別出異常發生時，能及時進行得當的處置，以掌控系統效能。HCPV 系統資料之分析、監控、與判別流程可規劃如圖 3.21，其中：

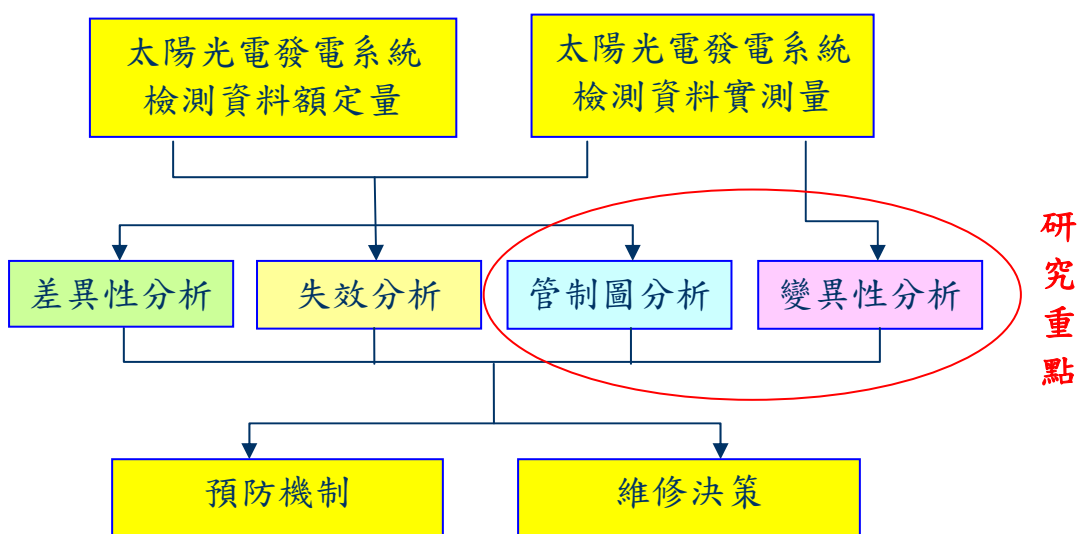


圖3.21 HCPV系統資料之分析、監控、與判別流程圖

- (1) 差異性分析：是利用太陽光電發電系統檢測資料的額定量與實測量之間的差異進行探討，其主要目標為：
 - A. 檢討太陽光電發電系統檢測資料額定量的正確性。
 - B. 檢討太陽光電發電系統檢測資料實測量獲得的正確性。
 - C. 預先了解上述額定量與實測量之間的差異原因，提供操作分析進一步變異探討之依據。
 - D. 屬事前分析。
- (2) 失效分析：是指蒐集失效資料所進行的各類分析，現階段(操作初期，失效資料有限)失效分析的主要目標為：
 - A. 記錄失效設備、失效時間、失效代號、失效恢復時間等資料，以供系統故障分析探討，及進一步作為可靠度分析之用。
 - B. 適時提供設備警訊予維護人員進行維修之判別。
 - C. 提供各類管理報表予設備管理人員參考，以作為維護策略改善之依據。
 - D. 可於事前或事後分析。
- (3) 管制圖分析：當MW級HCPV(百萬瓦級的聚光型太陽能發電)系統運作時，可視為上百個小製程(上百座陣列)的同時運作，由於每座發電陣列均受到許多機遇因素及非機遇因素的影響，這些影響有些只針對各自，有些則遍及整體，因而造成每座發電陣列的效能也都產生變異而有所不同。管制圖分析的主要目標為：
 - A. 發現每座陣列各自的異常情形(於不同時間的自我比較)，及時解決非機遇原因，恢復發電效能。
 - B. 屬於事中(線上)分析。

(4) 變異性分析：由於每座發電陣列均受到許多機遇因素及非機遇因素的影響，這些影響有些只針對各自，有些則遍及整體，因而造成每座發電陣列的效能也都產生變異而有所不同。變異性分析的主要目標為：

A. 發現每座陣列間的異常情形(於相同時間的相互比較)，及時解決非機遇原因，提升發電效能。

B. 屬於事後(線外)分析。

所謂品質管制圖(Quality Control Charts)，簡稱管制圖(Control Charts)，係指對製程中產品品質特性加以測量、紀錄、並進行分析、管制的科學化之圖形而言[2-3]。可分為計量管制圖與計數管制圖兩大類，並可依不同的需要進一步細分為許多小類，可透過對所繪圖型的判讀，得到系統是否產生異常的警訊。它可以用來辨識是否有非隨機原因之發生所引起的產品品質變異，對於監控中系統所產生的資訊正可以做出相類似的品質管控成效，故在本計劃中加以採用。

另外，為求得系統異常警訊的及早獲得，研究中將嘗試以灰色系統預測理論[4-6]應用在品質管制圖的判識上。對於品質管制圖的功能而言，絕大部分是屬於事後矯正型的，因為它需要訊息全明。而灰色系統預測理論的功能是可於訊息尚未全明（亦即事件尚未完全發生）之際，就能提供重要的決策訊息。故藉由灰色系統預測理論的輔助應用，將可使管制圖的判識功能提前發揮，使能在變異剛剛發生，或變異影響尚未擴大而造成品質損失之前，即能提供預測的警訊，而及早消除變異，改善品質。

灰色系統是指部份信息已知，部份信息未知的系統。這種

系統因為信息不全，故難以對系統的結構或內涵中之各項特性做精確描述、評估分析、甚而作為預測或決策依據。在諸多處理不確定性或部份未知信息等問題的理論中，大陸學者鄧聚龍教授在 1982 年提出的灰色系統理論 (Grey System Theory) [4]，能夠藉由連續的灰色微分模型，對系統的發展變化進行全面的觀察分析，進而作出長期預測。而這是傳統方法中，以離散的遞推模型所無法做到的。證諸二十多年來對於灰色系統理論體系的研究，確已成功的將之應用在數十個領域之中，而其預測精確度之高也是其他方法所無法比擬的。故對灰色系統理論之研究，有其不可或缺的重要性。本研究係將灰預測與品質管制圖做一結合，並以數值模擬方式來探究短期與長期發生於管制圖上的各種不正常狀況，嘗試找出各項準則，以為事前預警之依據。

(一)品質管制圖的原理與應用

當 MW 級 HCPV(百萬瓦級的聚光型太陽能發電)系統運作時，可視為上百個小製程(上百座陣列)的同時運作，由於每座發電陣列均受到許多機遇因素(如：日曬、灰塵、遮蔽等外在環境因素)及非機遇因素(如：操作不當、機件不良、故障、或維修不力等人為或內在設備因素)的影響，這些影響有些只針對各自，有些則遍及整體，因而造成每座發電陣列的效能也都產生變異而有所不同。這些變異又可分為三類，即產品內變異、產品間變異、及時間之間的變異。

一般而言，機遇原因係來自潛在的自然變異，要消除它們的成本很昂貴，往往並不主動處理；而非機遇原因所造成

的製程不穩定則屬可消除原因，這些可消除原因或是偏移的發生可由統計製程管制快速的偵測出，以作為製程品質改善的依據。

為管控聚光型太陽能發電品質，維持穩定的發電效能，找出引起變異的可控制因素，本研究即以統計製程管制的方式來協助維持發電(製程)穩定，並經由持續降低品質的變異來改善發電效能(製程能力)，其實施步驟為：

1. 選取產品品質特性，如電壓或電流。
2. 設定製程，如發電程序。
3. 選取品質特性之測量能力，如電壓或電流量表。
4. 繪製管制圖。
5. 製程能力分析，如發電效能分析。
6. 製程問題之發掘與改善，如為何電壓過低，是否追蹤器失準？
7. 採取矯正行動，如調整追蹤器。
8. 製程作業標準化，即完成標準的發電操作程序。

其中主要的運用工具，即是以管制圖來辨別製程的變異是來自機遇原因抑或是非機遇原因所致。HCPV 系統的操作資料輸出管制程序如圖 3.22 所示。

管制圖為一種特殊的趨勢圖，一般遵循蕭華特博士的創見，以樣本統計量之三個標準誤作為準則來設定界限幅寬 [2]。它可以表現出產品特性的變化情形，並利用品質特性的發生機率來判斷是否有異常的狀況發生。管制圖由三部份組成---管制界限(Control Limit)、中心線(Center Line)與樣本點，一般又分成計數值管制圖與計量值管制圖兩種類型。其運用

方式如圖 3.23 所示。

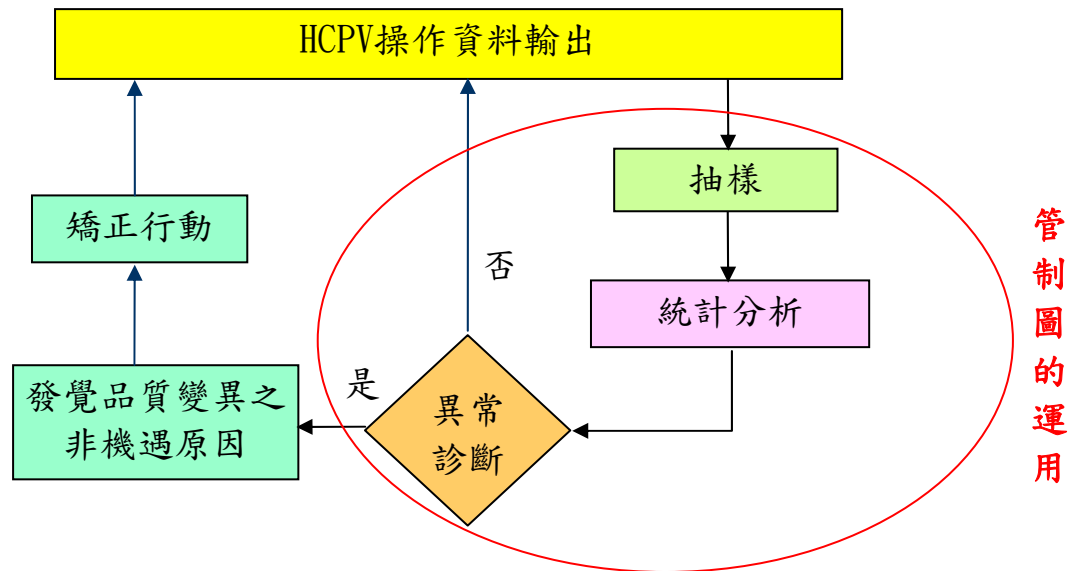


圖3.22 HCPV系統的操作資料輸出管制程序

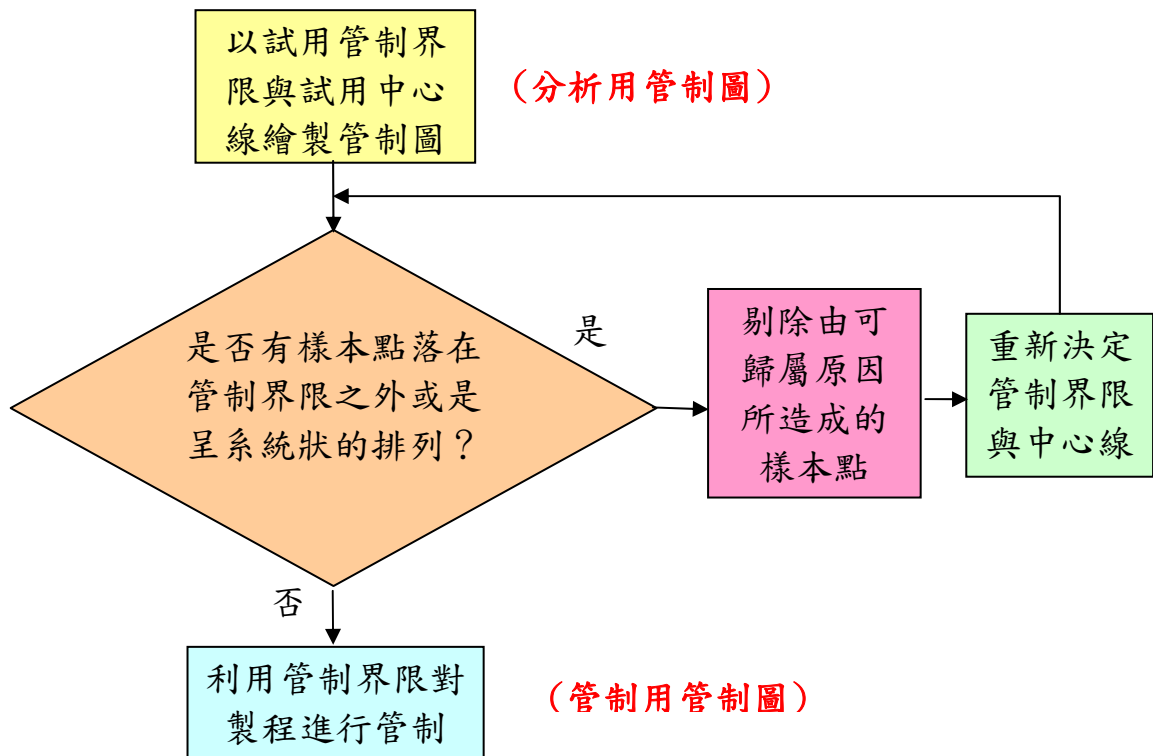


圖3.23 管制圖的運用方式

系統操作的產出一開始幾乎可肯定其不會處於穩態，此時對該產出進行管制分析所建立的管制圖，稱為『分析用管制圖』。只有當系統操作的產出達到所謂確定的狀態，才能將『分析用管制圖』的管制延長作為『管制用管制圖』。

管制圖對操作過程的監控是通過抽樣來進行，雖很經濟。但既是抽樣就不可能沒風險，不產生誤判，一般有以下兩種：

1. 型一誤判：過程產出正常下而樣本(點子)偶而超出界限外，根據點子出界就判異，此即型一誤判。
2. 型二誤判：當過程產出已經異常，但仍有部份產出，其品質特性值的數值偶而落於管制界限內。倘抽取此樣本(點子)，描點會在界內而判正常，此即型二誤判。

這兩種誤判會隨著管制圖上、下界限的設定位置而相互增減牽制，但可用對整體誤判後果影響最小的方式，來控制兩者大小。一般經驗證明，管制圖上、下界限的設定以謝華特提出的中心線加減三個標準誤的方式較好。相關的管制圖種類、判定準則及範例簡述如下[2-3]：

1. 常用管制圖的種類：

(1) 計量值管制圖有：

- A. 平均值-全距管制圖
- B. 平均值-標準差管制圖
- C. 中位數-全距管制圖
- D. 中位數-標準差管制圖
- E. 個別值-移動全距管制圖
- F. 最大值-最小值管制圖

(2)計數值管制圖

- A. 不良率管制圖
- B. 不良數管制圖
- C. 缺點數管制圖
- D. 單位缺點數管制圖

2. 管制圖的『判穩與判異準則』：

(1)判穩準則

在點子隨機排列的情況下，判穩條件如下：

- A. 連續25點，界外點數 $d = 0$ ；
- B. 連續35點，界外點數 $d \leq 1$ ；
- C. 連續100點，界外點數 $d \leq 2$ 。

(2)判異準則：

- A. 點子出界(包括壓線)就判異；
- B. 界內點排列不隨機則判異。(原則上有無窮多種)。

3. HCPV 系統之管制圖應用範例：

針對 HCPV 系統的輸出資料(電壓、電流或電力)而言，一般需使用計量值管制圖來進行管制，其中尤以平均值-全距管制圖(當每組樣本數少於 10 時)或平均值-標準差管制圖(當每組樣本數大於或等於 10 時)最為試用。以下為假設太陽光電路竹示範場某座 HCPV 之 7.5kw 陣列某日正午時分發電量(單位：kw)之模擬值。資料蒐集方式為每隔 5 分鐘隨機連續抽樣 5 個產出值(相隔兩秒)為一組，共取得 25 組。假設發電量產出值呈 $X \sim N(7.5, 0.32)$ ，資料搜集如表 3.1 所示，則其平均值-全距管制圖分析如下(平均值-標準差管制圖的使用方式相似，故略)：

表3.1 某座HCPV之7.5kw陣列某日正午時分發電量(單位：kw)
之模擬值

組	X1	X2	X3	X4	X5	Mean	Range
1	7.53	7.75	7.53	7.92	7.63	7.67	0.39
2	6.89	7.37	7.61	7.65	7.66	7.44	0.76
3	7.91	7.39	7.39	7.84	7.45	7.6	0.53
4	6.94	7.24	7.66	7.8	7.58	7.44	0.87
5	7.39	7.34	7.94	7.55	7.57	7.56	0.6
6	7.06	8.03	7.43	7.75	7.44	7.54	0.97
7	6.83	7.37	7.52	7.66	7.63	7.4	0.82
8	7.74	7.78	7.44	7.53	7.39	7.58	0.39
9	7.24	7.25	7.87	7.39	7.32	7.41	0.63
10	7.46	7.5	7.69	7.29	7.28	7.45	0.41
11	7.02	7.62	7.57	7.52	7.57	7.46	0.61
12	7.49	7.59	7.67	7.24	7.55	7.51	0.43
13	7.75	7.43	7.56	7.79	7.51	7.61	0.36
14	7.04	7.42	7.1	7.22	7.41	7.24	0.38
15	7.38	8.19	7.38	7.87	6.86	7.54	1.33
16	7.01	7.76	7.82	7.57	7.39	7.51	0.82
17	6.86	7.81	7.95	7.34	7.18	7.43	1.08
18	7.3	7.34	7.48	7.69	7.61	7.48	0.39
19	7.28	7.21	8	8.29	7.29	7.61	1.09
20	7.71	7.41	7.16	7.14	7.53	7.39	0.57
21	7.26	7.67	7.57	7.66	7.69	7.57	0.43
22	7.36	7.16	7.71	7.59	7.71	7.5	0.55
23	7.86	8.27	7.18	7.74	7.3	7.67	1.08
24	7.48	7.86	7.24	6.82	7.59	7.4	1.04
25	7.51	7.29	7.66	6.94	7.62	7.4	0.72

(1)對平均值管制圖而言，在 未知的情況下，可以 \bar{R}/d_2 估計之。則其管制界限經計算後方式如下：

$$\bar{X}\text{管制圖的上限} \quad UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 7.89$$

$$\bar{X}\text{管制圖的中線} \quad CL = \bar{\bar{X}} = 7.50$$

$$\bar{X}\text{管制圖的下限} \quad UCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 7.10$$

其中，在 $n=5$ 下之 $A_2=0.58$ (查表，[3])。

(2)對全距管制圖而言，在配合平均值管制圖的情況下，其管制界限經計算後方式如下：

$$R\text{管制圖的上限 } UCL = D_4\bar{R} = 1.46$$

$$R\text{管制圖的中線 } CL = \bar{R} = 0.69$$

$$R\text{管制圖的下限 } UCL = D_3\bar{R} = 0.00$$

其中，在 $n=5$ 下之 $D_4=2.11$ 及 $D_3=0.00$ (查表，[3])。

完成之平均值管制圖與全距管制圖分別如圖 3.24 與 3.25 所示。經判別，本系統發電量的管控在準度和精度上均屬正常。

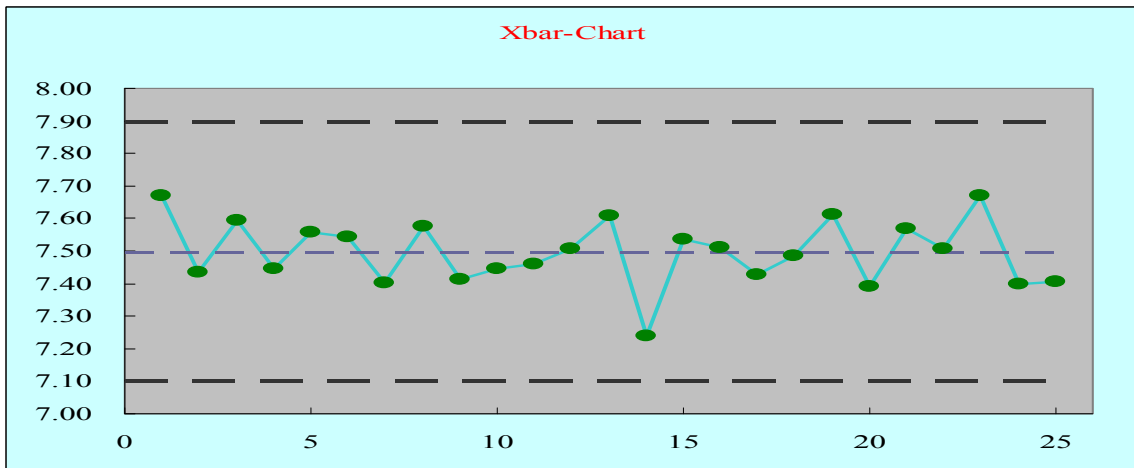


圖3.24 平均值管制圖

(二)變異性分析的原理與應用

變異性分析的主要目標為發現每座陣列間的異常情形(於相同時間的相互比較)，以及時探究是否有某(幾)座存在非機遇原因，藉以解決問題及提升總體發電效能。本研究之變異性分析的原理，是利用統計學大師英國的費雪(R. A. Fisher)在 1920 年代從事農業實驗工作時所創的統計方法-變異數分析

(Analysis of Variance)，簡稱 ANOVA[7-8]。

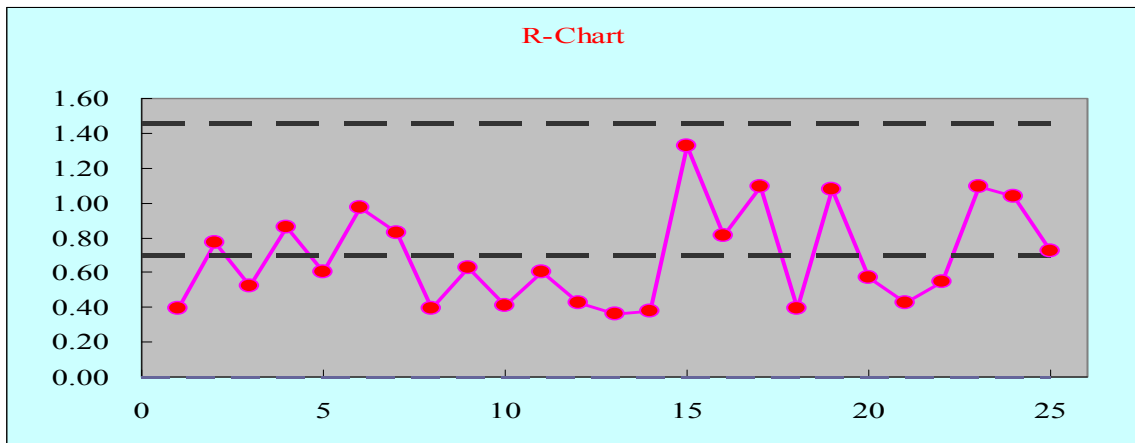


圖3.25 全距管制圖

1. 一因子變異數分析

變異數分析就是比較多於兩個群體平均數時，將各樣本的組間變異與組內變異相比較。這種兩個變異來源的比較，將會引導我們得出 ANOVA 的 F 檢定。本研究之變異性分析的原理初步以其中的一因子變異數分析(One-way Analysis of Variance)為主。

一因子變異數分析的獨立樣本抽樣過程需先設定 k 個群體的兩個假設如下，其中，虛無假設表每個群體資料間無異常變化，對立假設則表每個群體資料間有異常變化發生：

- 虛無假設： $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
- 對立假設： H_1 : 至少兩個平均數不等

變異數分析法的基本假設有：

- 各群體均為常態分配。
- 各群體的變異數均為相同。
- 抽自各群體的隨機樣本均為獨立。

2.一因子變異數分析的處理過程

實驗設計問題中的群體通常稱為「處理」。一因子變異數分析須先計算出處理平方和(Sum of Squares between Treatments)、誤差平方和(Sum of Squares due to Error)與總平方和(Total Sum of Squares)如下：

$$SST = \text{處理平方和} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2$$

$$SSE = \text{誤差平方和} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$SS(\text{Total}) = \text{總平方和} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2$$

其中， i 為群體的標示， $i=1,2,\dots,k$ ； j 為第 i 個群體中之樣本的標示， $j=1,2,\dots,n_i$ ， x_{ij} 是第 i 個群體中之第 j 個樣本的值； \bar{x}_i 是第 i 個群體的平均值， $\bar{\bar{x}}$ 是所有樣本($N=\sum_{i=1}^k n_i$)的總平均值。

其次須再計算出處理均方(Treatment Mean Square)、誤差均方(Error Mean Square)與 F 統計量值如下：

$$MST = \text{處理均方} = \frac{SST}{k-1}$$

$$MSE = \text{誤差均方} = \frac{SSE}{N-k}$$

$$F_{k-1, N-k} = \frac{MST}{MSE}$$

在反應變數是常態分配的條件下，前述 $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ 的檢定統計量就是服從自由度為 $k-1$ 和 $N-k$ 的 F 分配，即 $F_{k-1, N-k}$ 。

3. 一因子變異數分析的多重比較

當從一因子變異數分析得到的結論是：至少有兩個處理平均數不同時，我們需要進一步知道哪幾個處理平均數造成這些差異性。一般有以下三種方法來決定哪些母體平均數是不同的[7]：

- (1) Fisher 的最小顯著法
- (2) Bonferroni 校正
- (3) Tukey 的多重比較方法

本研究採 Tukey 的多重比較方法進行說明。

4. 一因子變異性分析的應用範例：

針對 HCPV 系統的輸出資料(電壓、電流或電力)而言，以下為假設太陽光電路竹示範場某 10 座 HCPV 之 7.5kw 陣列某日正午時分發電量(單位：kw)之模擬值。資料蒐集方式為每隔 5 分鐘隨機產出值為一組，共各取得 12 組。假設發電量產出值呈 $X_i \sim N(7.5 - 0.05 * i, 0.32)$ ，資料搜集如表 3.2 所示；其 10 座陣列的敘述統計分析結果如表 3.3 所示；其一因子變異數分析結果如表 3.4 所示，其中 P-值 $\ll 0.05$ (設顯著水準值 = 0.05) 表出現顯著不同，即棄卻 H_0 ，故必須進行多重比較；其 Tukey 的多重比較分析結果則如表 3.5 所示，分析結果顯示陣列 1 與陣列 6~10 有顯著不同，其餘的成對比較則未發現有顯著不同。

表3.2 某10座HCPV之7.5kw陣列某日正午時分發電量之模擬值

(單位：kw)

陣列 1	陣列 2	陣列 3	陣列 4	陣列 5	陣列 6	陣列 7	陣列 8	陣列 9	陣列 10
7.87	7.02	7.7	7.66	7.34	7.45	7.31	7.14	7.42	7.05
7.6	7.55	7.19	6.74	7.11	7.17	7.11	6.73	7.17	7.07
7.52	7.48	6.57	7.78	7.45	7.19	7.08	7.29	7.53	7.14
7.62	7.48	7.08	7.45	6.71	6.66	7.55	7.01	6.88	7.28
7.93	7.33	7.27	7.26	7.29	6.82	7.11	7.16	6.74	7.45
7.56	7.26	7.68	7	7.41	7.15	6.81	7.1	7.42	7.06
7.53	7.9	7.56	7.27	7.55	7.05	7.48	7.56	6.51	6.97
7.49	7.31	7.1	7.2	7.62	7.1	7.03	7.65	6.74	7.1
7.73	7.56	7.38	7.16	7.17	7.16	7.42	6.95	7.07	7.23
7.54	7	7.27	7.17	7.19	7.35	6.81	7.29	6.71	7.16
7.53	7.07	7.31	7.72	7.52	7.12	7.04	6.56	7.55	7.3
7.55	7.64	7.38	7.21	7.35	6.58	7.54	6.68	7	7.69

表3.3 10座陣列的敘述統計分析結果

組	個數	總和	平均	變異數
陣列 1	12	91.47	7.6225	0.02082
陣列 2	12	88.6	7.383333	0.073733
陣列 3	12	87.49	7.290833	0.092645
陣列 4	12	87.62	7.301667	0.092688
陣列 5	12	87.71	7.309167	0.06039
陣列 6	12	84.8	7.066667	0.066915
陣列 7	12	86.29	7.190833	0.069572
陣列 8	12	85.12	7.093333	0.111497
陣列 9	12	84.74	7.061667	0.127106
陣列 10	12	86.5	7.208333	0.040561

表3.4 變異數分析表

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	3.157837	9	0.350871	4.641594	3.23E-05	1.966054
組內	8.3152	110	0.075593			
總和	11.47304	119				

表3.5 Tukey的多重比較分析結果

Treatment	Treatment	Difference	Alpha = 0.05	具差異性者
陣列 1	陣列 2	0.239	0.362	
	陣列 3	0.332	0.362	
	陣列 4	0.321	0.362	
	陣列 5	0.313	0.362	
	陣列 6	0.556	0.362	陣列 6
	陣列 7	0.432	0.362	陣列 7
	陣列 8	0.529	0.362	陣列 8
	陣列 9	0.561	0.362	陣列 9
	陣列 10	0.414	0.362	陣列 10
陣列 2	陣列 3	0.093	0.362	
	陣列 4	0.082	0.362	
	陣列 5	0.074	0.362	
	陣列 6	0.317	0.362	
	以下均無差異

(三)品質管制圖與灰色系統預測理論的應用

將灰色系統預測理論應用在品質管制圖 (Quality Control Charts) 的判識上，以瞭解是否有品質不正常的狀況出現，使在訊息尚未全明之際，就能提供重要的決策訊息，是本研究的一項新的嘗試。研究中係將灰預測中的 GM(1,1) 訊息模型與品質管制圖做一結合，並以數值模擬方式來探究短期與長期發生於管制圖上的各種不正常狀況，嘗試找出各項準則，以為事前預警之依據。

1. 灰色預測

灰色預測是屬於連續型的預測方法，它主要是採用 GM(1,1) 灰色模型對系統行為特徵值的發展變化進行預測；對系統的異常值發生時刻進行估計；對在特定時區發生之事件，作未來時間分佈之計算；對系統輸出波型之變化趨勢作整體研究；對系統因子間之關聯作系統分析等，與其它預測方法相比較，其優點在於所需樣本量少(最少 4 個樣本)就可建模，所以資料蒐集容易、計算簡單、預測精度高，由實證中證實其實用性頗高。

灰色系統理論經過 10 多年的發展，已基本建立起一門新興學科的結構體系，灰色朦朧集、灰色代數系統、灰色矩陣、灰色方程式等是灰色系統理論的基礎。此外人們不得不在灰色的環境中思考、決策、行動，無論在政治、經濟、軍事上，各種政策的制定、經濟規劃、軍事行動方案等，都是在部分信息已知，部分信息未知情況下作出的，就是在灰色情況下作出的。如何能在灰色情況下作出比較符合客觀實際的分析，並能制定出準確的決策，是灰色系統理論要研究和解決的問題，簡單地說就是使灰系統白化。與其他方法相比較具有方法簡單、容易掌握等特點。

灰色理論包括了灰生成、灰關聯分析、灰建模、灰預測、灰決策、灰評估、灰控制。本研究以灰預測為主，運用 GM(1,1) 模型為基礎，配合管制圖的判別功能，對現有太陽光發電系統數據進行分析與預測，希望找出某些未來動態狀況資訊，及時提供系統操作與維護上之建議。

2. 灰色模型建構—GM (1,1)

灰色模型(Gray Model; GM)，是利用系統歷史行為所建立的一種預測模型，是經由對少量且不確定的資料進行灰生成來降低數據的隨機性，以尋找出內在規律性，並經由處理過後之數列轉化為微分方程建構一個灰色系統模型，來推知系統未來狀態以達近似預測的功能[9-10]。GM(1,1)模型之一階微分方程為：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (3.3)$$

其中 t 為系統之自變數， a 為發展係數， b 為灰色控制變數， a 與 b 為模式之待定參數。假設原始數列如下所示：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (3.4)$$

灰色系統在建模時，需先對原始數列作一次累加生成 (Accumulated Generating Operation; AGO)，作為提供建模中間信息，弱化原數列的隨機性。我們定義 $x^{(1)}$ 為 $x^{(0)}$ 的一次 AGO 數列，即

$$\begin{aligned} x^{(1)} &= (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \\ &= \left(\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

由(3.3)式、(3.5)式及最小平方法，求得係數 p 為：

$$p = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T y_n \quad (3.6)$$

其中累加矩陣 B 為：

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

常數項向量 y_n 為：

$$y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$$

將所求出係數 p 代入微分方程，求解(3.3)式後可得近似關係為：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] \cdot e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (3.7)$$

其中 $x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$ ，將(3.7)式所得到的數列做一次累減生成(Inversed Accumulated Generating Operation; IAGO)，可求得所要還原之數列，如(3.8)式所示：

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] \cdot e^{-a(k-1)} (1 - e^{-a}) \quad (3.8)$$

令 $k=1, 2, \dots, n$ ，得還原數列為：

$$\hat{x}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n)) \quad (3.9)$$

3. 數列灰預測理論

數列灰預測法進行的方式可以分為下列五個步驟，其細部演算的過程如下所示：

步驟1: 首先列出觀察數列，即原始數列 $x^{(0)}$ 為：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) = (x^{(0)}(k); k=1, 2, \dots, n)$$

步驟2: 進行累加生成AOG處理, 定義 $x^{(1)}$ 為 $x^{(0)}$ 的一次AGO序列

$$x^{(1)} = \left(\sum_{k=1}^1 x^{(0)}(k), \sum_{k=1}^2 x^{(0)}(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \right) \quad (3.10)$$

步驟3:平均值計算 $z^{(1)}(k)$

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (3.11)$$

步驟4:再來求出發展係數 a 和灰色控制變數 b

$$a = \frac{\sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) - (n-1) \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [z^{(1)}(k)]^2 - \left[\sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right]^2} \quad (3.12)$$

$$b = \frac{\sum_{k=2}^n [z^{(1)}(k)]^2 \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) - \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) x^{(0)}(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [z^{(1)}(k)]^2 - \left[\sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right]^2} \quad (3.13)$$

令

$$C = \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k); D = \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k); E = \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) x^{(0)}(k); F = \sum_{k=2}^n [z^{(1)}(k)]^2$$

則

$$a = \frac{D \times C - (n-1) \times E}{(n-1) \times F - D^2} \quad \text{且} \quad b = \frac{F \times C - D \times E}{(n-1) \times F - D^2} \quad (3.14)$$

步驟5:最後再進行預測值的運算

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{-a}) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} \quad (3.15)$$

4. 模式殘差檢驗 (Error Inspection)

經過上述生成及構建模型後，須使用殘差檢驗法或後驗差檢驗法，進一步進行模型精確度檢驗。根據實際值與預測值作誤差比較，公式如下：

$$e(k) = \left[\frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right] \times 100\%, k = 2, 3, \dots, n \quad (3.16)$$

其中， $e(k)$ 為殘差值； $x(0)(k)$ 為原始數據； $\hat{x}^{(0)}(k)$ 為預測數據；精確度為 $1 - e(k)$ ，若平均精確度大於 90%，表示此模式預測效能良好。

5. 灰色系統預測理論結合品質管制圖的應用範例：

針對 HCPV 系統的輸出資料(電壓、電流或電力)而言，以下為假設太陽光電路竹示範場某座 HCPV 之 7.5kw 陣列某日正午時分發電量(單位：kw)之模擬值。假設正常發電量產出值呈 $X \sim N(7.5, 0.32)$ 。若每次從發電量產出資料中，每 100 個抽取一組樣本大小為 n 個($n=4, 5, \dots, 10$)的發電量值進行統計，每抽取 25 組則形成一張管制圖。為方便在短、中、長期上的模擬比較，在每一種實驗參數的組合下則模擬 1000 次，以獲得穩定的分析結果。

整個數值模擬過程又分為四種類別：

- (1)在原有的平均數與標準差下，每一產出值均僅考量常態分配的機遇變化情形。
- (2)在原有的標準差下，每一產出值除考量常態分配的機遇變化情形外，並在每一後續的產出值上將其平均數增加一個固定的增量(因減量只是向平均數管制圖的另一方做同樣的變化，故略之)。
- (3)在原有的平均數下，每一產出值除考量常態分配的機遇變化情形外，並在每一後續的產出值上將其標準差增加一個固定的增量。
- (4)每一產出值除考量常態分配的機遇變化情形外，並在每一後續的產出值上將其平均數與標準差各自增加一個固定的增量(同類別二，忽略平均數固定減量之情形)。

以上所提的固定增量即屬於一種非機遇原因，在(二)、(三)及(四)類別中，並可改變不同增量

各分別對 0.00001kw、0.00005kw、0.0001kw、及 0.0005kw 等四個等級的固定增量進行模擬分析；而(一)中固定增量則等於 0.0kw。針對這四種類別，在設定某一固定增量後，即需各產生 2,500,000 樣本點以進行模擬分析。

當 $n=5$ ，且固定增量除了(一)中為 0.0kw，而其餘均為 0.00005kw 時，可分別列出四個類別的資料繪圖如圖 3.26~3.29 所示。

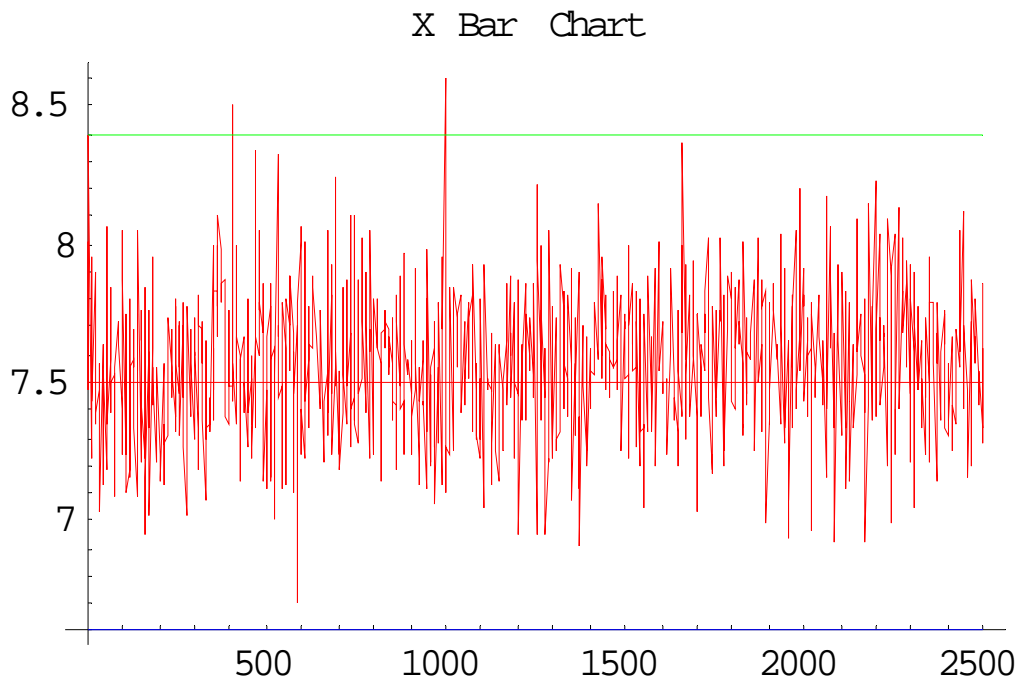


圖3.26 無增量下的資料-類別(一)

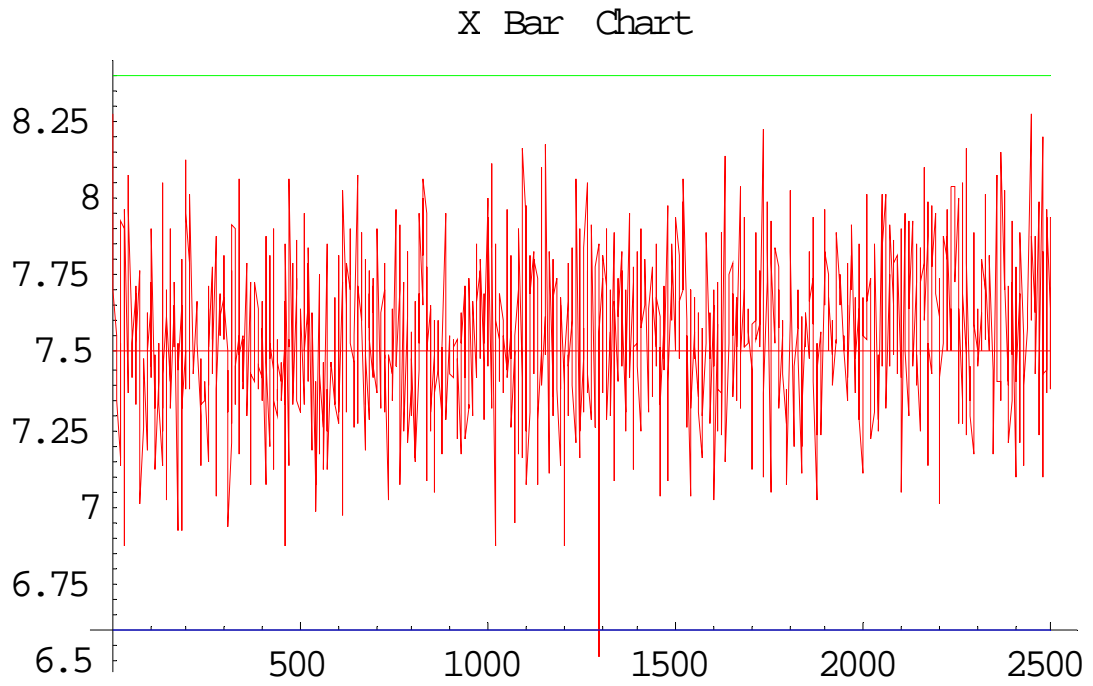


圖3.27 平均數增量為0.00005kw下的資料-類別(二)

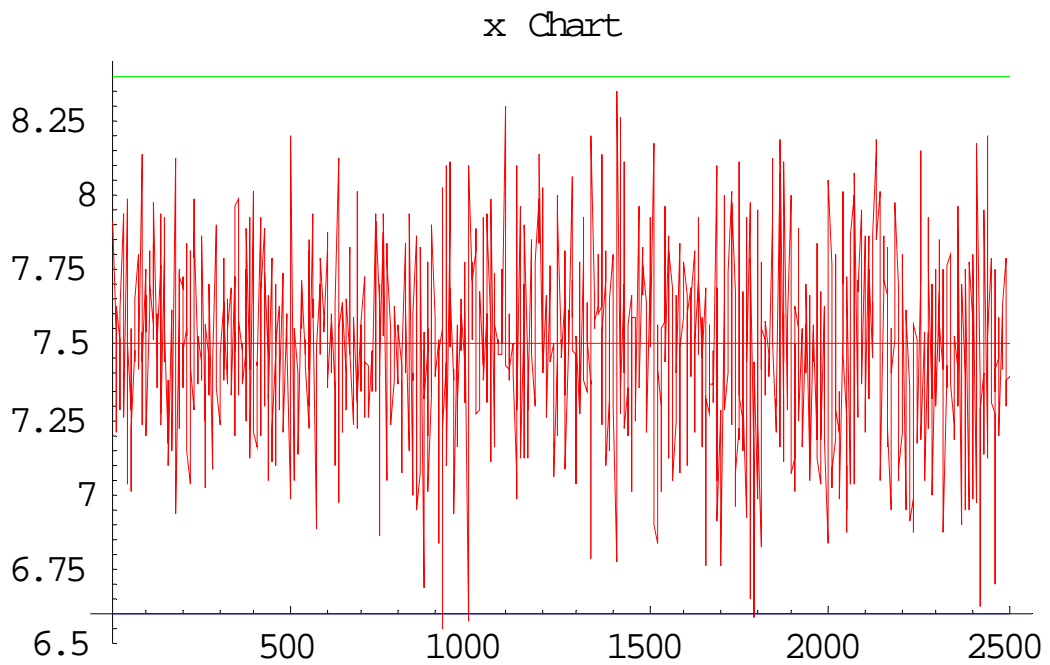


圖3.28 標準差增量為0.00005kw下的資料-類別(三)

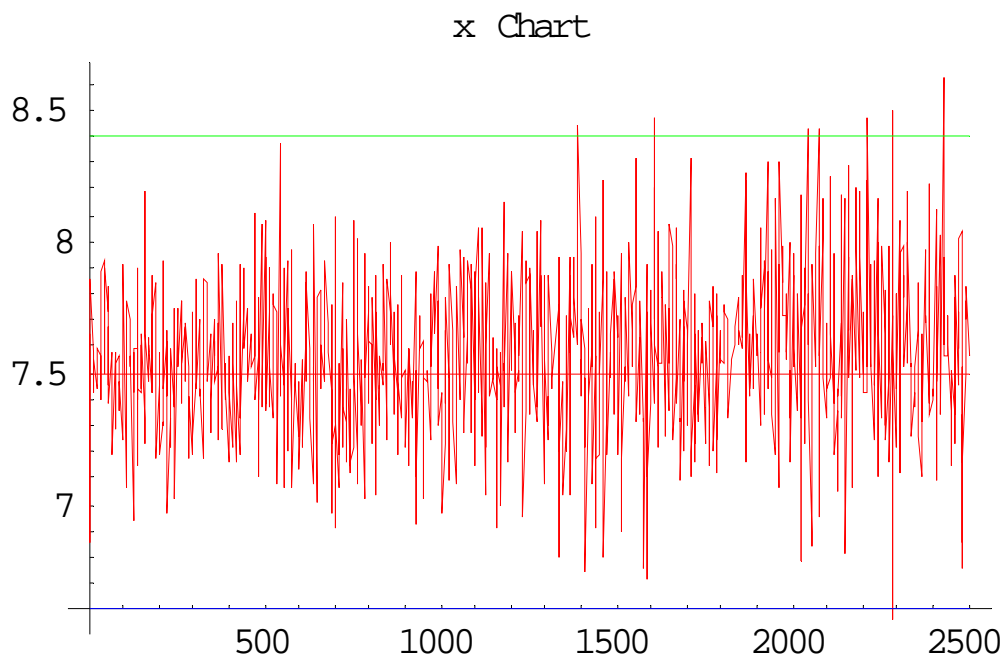


圖3.29 平均數與標準差增量均為0.00005kw下的資料-類別(四)

當 $n=5$ ，在 1000 模擬中，灰預測管制圖先於一般管制圖預判異常的次數統計結果如表 3.6 及圖 3.30 所示。由於將灰預測與管制圖作結合應用為一新的嘗試，經過理論上的研究、解析，上述的成效是存在的，而在本研究的數值模擬實驗下，結果確實也顯示灰預測在管制圖上所具備的異常預警顯示功能。但成效上仍有很多提升的空間，希望往後能持續努力，以累積更多成果，在實務上真正能發揮功效。

表3.6 灰預測管制圖先於一般管制圖預判異常的次數統計結果

類別	平均數/標準差固定增量				
	0	0.00001	0.00005	0.0001	0.0005
第二類	16	20	14	34	237
第三類	46	48	74	95	164
第四類	44	74	83	149	156

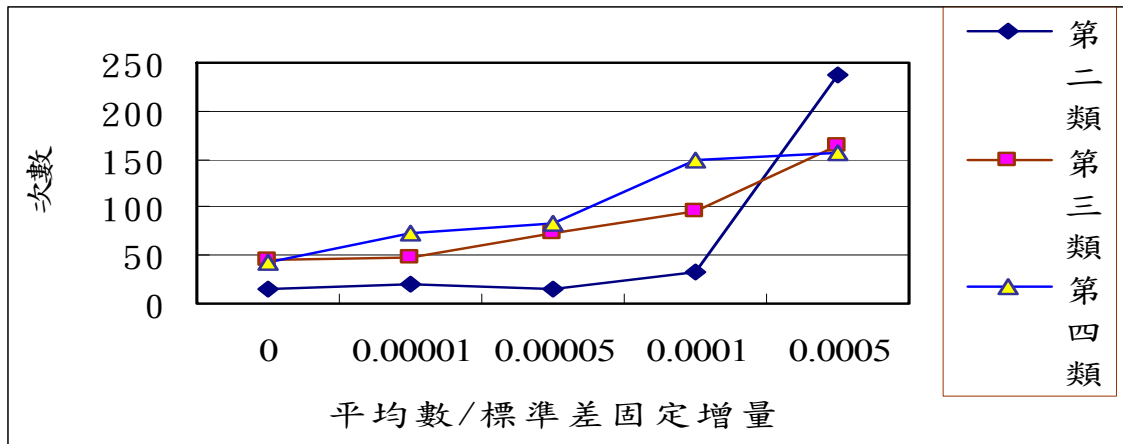


圖 3.30 灰預測管制圖先於一般管制圖預判異常的次數統計圖

四、HCPV系統維修策略之研究

面對 MW 級 HCPV(百萬瓦級的聚光型太陽能發電)系統的建置完成，為了使這些高精密、高附加價值的設備維持穩定的性能，及高可用率，如何建構出一套適用的維護系統是極為重要的。本部份的研究是在透過維護策略之精進，以維持或提升太陽光發電系統的整體操作效能。

針對 HCPV 的維護管理之探討並不多見，但綜合各類電子與機械系統的維護概念，及考量系統實際運作狀況，初步綜整出兩階段的整體維護管理系統目標為：

■ 初期運作階段：

- 維護策略輪廓描述與訂定。
- 維護工作時程預排。
- 設備狀態的即時反應與記錄。
- 維護資訊的分析與精進運用。

■ 成熟運作階段：

- 有效分析系統失效模式。
- 系統失效原因與關鍵分析。
- 有效分析系統製造參數。
- 維護績效指標的計算。
- 維護與修理工作的標準化。
- 維護工作時程安排。

因本 MW 級 HCPV 系統屬建置完成初期運作階段，尚無太多維修與操作資料可供分析與運用參考，故本研究主要的重點為完成第一階段的四項工作。至於第二階段的諸項工作，在足夠的失效與維修資料下，可依序進行可靠度分析、維護度分析、與可用度分析，進而考量以可靠度為核心的維護方式，而逐一完成。

(一) 維護策略輪廓描述與訂定

1. 維修類型考量

維修的類型可概分為：

(1) 故障維修 (Breakdown Maintenance)

當設備發生故障或有明顯的劣化後才進行修理動作，屬被動形式，對於設備故障頻率的降低並無積極的幫助。

(2) 預防維修 (Preventive Maintenance)

預防保養強調系統於未故障前之事前保養，又分為以時間計劃為基礎的定期維修(Periodic Maintenance or Time Based Maintenance)或以狀態監視為基礎的預期維修(Predictive Maintenance)。其主要有三項工作：

- 日常預防：防止劣化之日常保養，如上油、清掃。
- 健康診斷：測定劣化，強調平日之檢查診斷。

- 早期治療：作用在清除劣化，即注意預防修理與事前維修。

而其保養等級可分為：

- 一級保養：指適當之保管及正確之使用，包括每日之清潔、潤滑與保養，由使用者負責。
- 二級保養：指每週、每月之實施定期檢查、更換重要之定更件或預估即將失效零組件之維修與校驗等，由隨班技術人員負責。

(3) 矯正維修 (Corrective Maintenance)

矯正維修強調矯正系統之設計，使系統不易故障，亦即提高系統之可靠度與使系統更容易保養，進而減少預防保養之次數。

(4) 維修預防 (Maintenance Prevention)

維修預防是從新系統之設計開始著手，期望將產品設計成免保養，希望從根本上去除保養時間之浪費。

(5) 以可靠度為中心的計畫維修 (Reliability-centered Maintenance)

RCM分析的主要目的是要規劃出最經濟有效的維修方案，針對系統重要組件的失效(Failures)及重要功能的退化(Functional Degradation)進行分析。是一種系統化的方法，用以確認並決定預防性維修需求，平衡維修成本與系統效益。

綜合以上，雖然這些維修的概念係依序經過精進與改善，但每一種均仍有其適用之處。譬如故障維修雖屬被動方式，且可能冒著失效後所引發的財產損失與安全顧慮，但根據一些歷史資料的統計，大部分系統的失效反而是由不適當的維護作業所造成，因此避免不必要的維護作業不僅

可減少維護費用與停機損失，亦可減少系統因不當維護所造成的失效機率。對初期服役的系統，若無維護的研發設計考量，加上暫無足夠維修資料可供參考改善，也只能暫時接受、再伺機改善。

無論如何，積極而主動的考慮維修類型，正確的減少系統失效的發生仍是王道。往往必須在系統研發初期或概念設計階段，便須主動將維修概念整合於系統的設計發展專案計畫中，並在安全考量下檢討排除不必要的或多餘的預防性維修，以達降低系統預防維修成本的目的。建議維修工程師於進行維修規劃時，可與可靠度工程師、系統專案管理者、系統使用者等充分溝通，在考量全局下使維修規劃完善產生。

對本 MW 級 HCPV 系統維修類型之建議則彙整如表 3.7。

表3.7 HCPV系統維修類型之建議

階段	維修類型	備註
服役初期	故障維修	暫時接受、伺機改善。
服役成熟期	預防維修	妥善運用維修資料，建立以時間或狀態為基礎的預防維護計畫。
服役穩定期(或研發、部署更新期)	矯正維修、維修預防、以可靠度為中心的計畫維修	持續蒐集、回饋與更新系統的現場(field)使用、失效與維修資料，使預防維修規劃得以持續的精進與提昇，並且排除不必要的或多餘的預防性維修，以達降低系統預防維修成本，達到維修最佳化的目標。

2. 修復策略/修復性設計評估

可依據成本考量分成三類：

- (1)不維修全換組件或壞了就丟的組件 (Discard or Throwaway)：此類組件多屬於低成本或維修花費高於原組件成本。
- (2)徹底維修型組件：此類組件多屬於高成本或維修花費遠低於組件成本。
- (3)半修半換組件：此類組件多屬於其中部分元件為高成本或維修花費遠低於其成本，而另一部分元件屬於壞了就丟型。

對本 MW 級 HCPV 系統修復策略/修復性設計評估之建議則彙整如表 3.8。

表3.8 HCPV系統修復策略/修復性設計評估之建議

修復性設計評估	裝備層次	備註
不維修全換組件	零、配件	大部分電子系統元件，如鏡片 (lenses)、太陽電池(solar cell)、交、直流線路(ac and dc wiring)、熔線(string fuses)、旁道二極體 (bypass diodes)、突波電壓保護裝置(surge voltage protector)、二次聚光器、散熱板等。
徹底維修型組件	次系統、裝置、單機	可修護的機械元件或貴重的電子元件，如追蹤器(tracker)、變流器 (inverter)、電腦伺服器(computer server)、控制器(controller)等。
半修半換組件	總成、次總成	如陣列架構(array structure)。

目前建議作法：

- 小零件(如Fuses等)因成本低，亦無保固期，可酌量購買儲存，以滿足維修之需。
- 大組件(如Inverter等)因成本高，亦有保固期，可先透過廠商的保固維護，並進行製造的固有資料搜集

或操作的現場資料搜集，進行維修策略之規劃、制定與修訂。

3. 維修階層考量

一般的維修可分為三個階層：

- (1)初級（使用單位，Organizational Level）：地點多半在系統所在處，主要在執行基本的日常檢視；當故障發生後，視狀況呈報或找出故障總成或組件，拆下以備件取代後，需維修者送至中級階層進行檢修工作。
- (2)中級（場站，Intermediate Level）：可分機動或固定式，主要在將後送至此的故障總成或組件進行較複雜的檢修工作，若能修復則送回，否則送至高級維修階層做做翻修工作。本級可視情況精簡。
- (3)高級（廠級或原廠，Depot Level）：將後送至此的故障總成或組件進行更細的翻修工作，若能修復則送回，否則向供應商提出採購需求。

對本 MW 級 HCPV 系統維修階層之建議則彙整如表 3.9。

表3.9 HCPV系統維修階層之建議

維修階層	負責單位或個人	備註
初級	使用者、隨班技術人員	包含一級保養與二級保養。
中級	場站	本級可視規模與維護合約狀況而精簡。
高級	廠級或原廠	負責徹底維修或組件換新。

(二)維護工作時程預排

HCPV 系統雖然穩定，但因使用環境之影響，並不真能一經建造就能不失效的運作三十年。為維持正常操作與可靠的能源產出，HCPV 系統除經過良好規劃與完善裝設，加上高品質元件的使用外，系統尚需定期與例行的維修，以避免故障的發生，甚至長期的停工。

在上述維護策略輪廓描述與訂定之外，初期尚需針對系統的維護工作時程進行預排。以下分別以每日、每月、每半年、每三到四年、及有任何疑慮時等五類進行維修對象與內涵之彙整如表 3.10。

(三)設備狀態的即時反應與記錄

再穩定的系統也有失效發生的可能，本研究所面對的聚光太陽光發電系統亦然。但失效的發生，若能及時得到監控與判別，進而確認系統異常的類型與可能的後果，將可判斷是否須進行迅速而得當的處置，以使系統的損失降至最低，而且不致讓損失繼續擴大。本研究的目的是在於建立一套異常資料的收集機制，以作為(1)記錄失效設備、失效時間、失效代號、失效恢復時間等資料，以供系統分析之用，(2)適時提供設備警訊予維護人員進行維修之判別，(3)提供各類管理報表予設備管理人員參考，以作為維護策略改善之依據。使能即時有效地掌握所建置之聚光太陽光發電系統的動態資訊，作為後續系統品質掌控之參考。

表3.10 HCPV系統維護工作時程預排之建議

期間建議	主要對象	維修內涵
每日	發電狀況	檢查各項指示器是否正常顯示，否則及時修復發電
	變流器	排除任何日常操作上發生之故障
每月	產出檢查	紀錄分析電、電壓、發電量是否異常
	太陽光電陣列	<ol style="list-style-type: none"> 1. 清除表面區域過量沙、塵 2. 清洗表面區域樹葉、鳥糞等影響發電之異物 3. 排除不正常產生之機械應力 4. 腐蝕、生鏽之處理 5. 修整未正確固定之模組
每六個月	PV 接線/集電箱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 處理有無昆蟲進入或溼度過高 2. 熔線異常之處置 3. 腐蝕、生鏽之處理 4. 接地線、接地端子損壞處理
	配線/接地	<ol style="list-style-type: none"> 1. 配線損傷之檢查與更換處理 2. 連接點汙損的清理、與鬆動的處置
每三到四年	變流器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 進行外箱腐蝕防護與除鏽 2. 操作異常之排除與清潔 3. 設置環境檢查與改善(避免水氣與高溫)
任何疑慮時	模組	異常電壓、電流之追蹤與問題解決
	PV 接線/集電箱	檢查熔線是否損壞？
	交流電防護裝備	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢查斷電器、交流電熔線等是否正常？ 2. 是否會受大雷雨影響？

對本 MW 級 HCPV 系統之設備狀態的即時反應與記錄之
 流程建議彙整如圖 3.31。

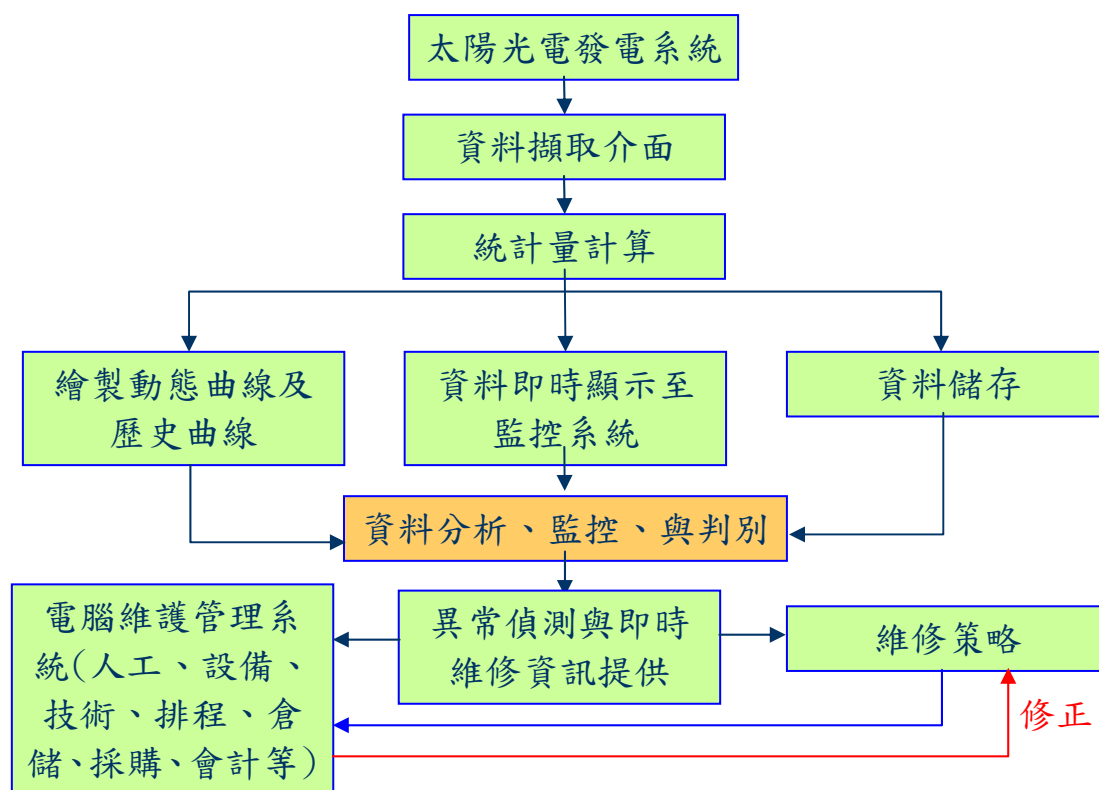


圖3.31 MW級HCPV系統之設備狀態的即時反應與記錄之流程建議

(四)維護資訊的分析與精進運用

高聚光太陽光發電系統雖然是一個成熟的產品系統，其太陽能電池的設備不易損壞，但因系統的功能複雜度提高，加上長期受到日曬、風雨、灰塵等各種自然環境因素的影響，使得故障的發生是不無可能的。因此對於高聚光太陽光發電系統有必要訂定一套良好的系統維修策略，以提升系統使用效益。

但如上兩節所言，要產生一套系統維修策略並不難，但要產生一套完善的系統維修策略，則必定需要從日常的操作實務資料與維護資料的詳實紀錄，經過正確分析與不斷的回饋，能夠持續的改善才有可為。

目前的可行作法為：

- (1)將太陽光電發電系統上所有的物理量（包括電壓、電流、頻率、功率及功率因數等）透過感測器轉換為直流電流信號或直流電壓信號傳送。再透過資料擷取介面卡將所需的信號取至個人電腦。
- (2)使用適用軟體程式將所擷取之信號還原成實際的數值，並計算各項發電量。
- (3)進行資料儲存、即時顯示、並繪製動態曲線及歷史曲線。
- (4)進行資料分析、比對，作為異常偵測之參考，即時提供維修資訊。

而維修資料的蒐集則應把握以下的原則：

- 正確性(確定資料來源)
- 即時性
- 完整性
- 標準化
- 實際操作環境(環境負荷、環境效應)
- 實際操作狀況(研判操作不當所導致故障)
- 實際維修狀況(研判維修不當所導致二次故障 (Secondary Failure)或維修工時過長)

五、太陽光發電系統技術發展資料收集之彙整

(一)使用模式估算光發電系統的性能[1]

1.說明

模式分為構件(Component)模式及系統模式，受天氣條件，溫度及日照影響。

2.學到的經驗

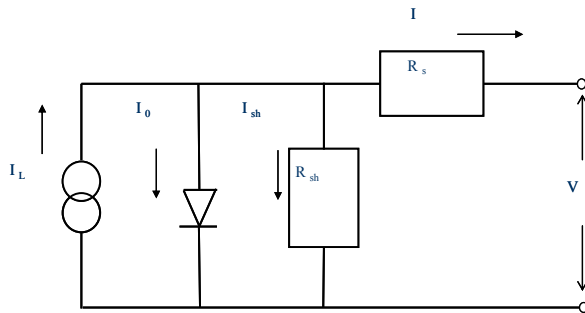
實務上，氣候是主導系統輸出的因素，增進模式的精確，有助於技術的選擇，有助於改變設計衝擊的評估，亦有助於效能的監視，找出問題。

(二)太陽光發電系統的諮詢模擬軟體[2-5]

1.說明

光發電模組(PV Module)的性能模式，主要有三種：
Five-parameter model、Sandia model (King's model) 及
Single-point efficiency model

(1)Five-parameter model 是最常使用的性能模式，



I_L : light current

I_0 : diode reverse saturation current)

R_s : series resistance

R_{sh} :shunt resistance

a :modified ideality factor

$$I = I_L - I_0 - I_{sh} \dots\dots\dots (3.17)$$

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{V + IR_s}{a}} \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \dots\dots\dots (3.18)$$

$$a \equiv \frac{N_s n_i k T_c}{q} \dots\dots\dots (3.19)$$

其中， N_s : number of cell in series， n_i : usual idelity
factork， T_c : cell temperature， k : Boltzman's
constant(1.38×10^{-23})， q : electron charge(1.6×10^{-19})。

依據製作商提供特定條件下的數據，如：短路電流、開路電壓、最大功率時的電流及電壓，短路電流、開路電壓及最大功率的溫度係數，決定上述五參數，建立模式，模式的輸入為日照及溫度，模式的輸出為輸出電壓及電流。

(2)Sandia model (King's model) King's model ，使用九方程式，有九項係數須以經驗或量測決定。

$$I_{sc} = I_{sc,ref} \left[\frac{M}{M_{ref}} \right] [1 + \alpha_{I_{sc}} (T_c - T_{c,ref})] \left[\frac{G_b K_{\tau\alpha}(\theta) + G_d}{G_{ref}} \right] \dots\dots (3.20)$$

$$I_{mp} = I_{mp,ref} [c_0 E_e + c_1 E_e^2] [1 + \alpha_{I_{mp}} (T_c - T_{c,ref})] \dots\dots\dots (3.21)$$

$$I_x = I_{x,ref} [c_4 E_e + c_5 E_e^2] \left[1 + \left(\frac{\alpha_{I_{sc}} + \alpha_{I_{mp}}}{2} \right) (T_c - T_{c,ref}) \right] \dots\dots\dots (3.22)$$

$$I_{xx} = I_{xx,ref} [c_6 E_e + c_7 E_e^2] [1 + \alpha_{I_{mp}} (T_c - T_{c,ref})] \dots\dots\dots (3.23)$$

$$V_{mp} = V_{mp,ref} + c_2 N_s \delta(T_c) \ln(E_e) + c_3 N_s [\delta(T_c) \ln(E_e)]^2 + \beta_{V_{mp}} E_e (T_c - T_{c,ref}) \dots\dots\dots (B5)$$

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + N_s \delta(T_c) \ln(E_e) + \beta_{V_{oc}} E_e (T_c - T_{c,ref}) \dots\dots\dots (3.24)$$

$$P_{mp} = I_{mp} V_{mp} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$E_e = \frac{I_{sc}}{I_{sc,ref} [1 + \alpha_{I_{sc}} (T_c - T_{c,ref})]} \dots\dots\dots (3.26)$$

$$\delta(T_c) = \frac{n_D k T_c}{q} \dots\dots\dots (3.27)$$

其中，係數 c₀-c₇ 及 n_D，製造商無法提供，必須由其他的實驗加以確定。

(3)Single-point efficiency model 是最簡化，適用於無數據時及粗略估計。

$$P_{Module} = \eta_{Module} \cdot A_{Module}$$

其中， η_{Module} : module efficiency, A_{Module} : module area

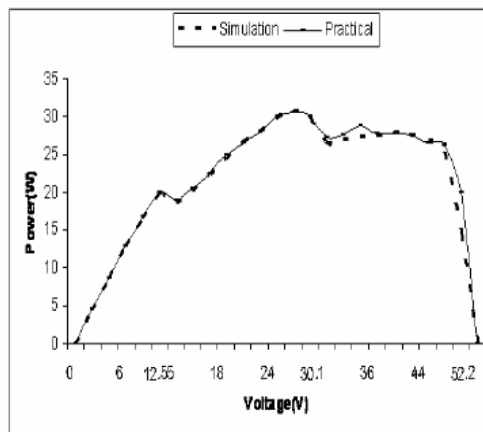
2.學到的經驗

目前所收集資料，其使用 PV 技術與本案研究對象 HCPV 並不相同，但以通則的想法，權衡估算值的準確性及模式的複雜程度，Five-parameter model 可能為較佳選擇。

(三)光發電陣列(PV array)在部份遮蔽條件下的建立模式與模擬 [6]

1.說明

(1)使用 PSpice Model(2)模擬三個光發電陣列(PV array)(3)各陣列不同的日照條件(4)實體實驗，製造遮蔽條件，分析數據(5)模擬與實體實驗相符。



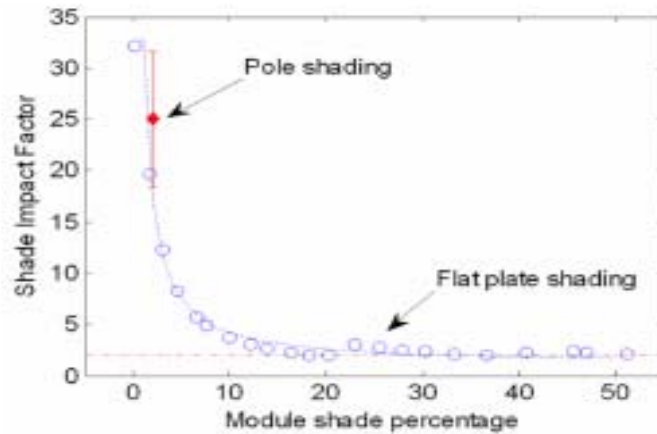
2.學到的經驗

已完成模式的驗證，可假設各種遮蔽條件，運用模擬瞭解系統性能的變化。

(四)連網光發電(PV)系統在部份遮蔽條件下的運行[7-8]

1.說明

(1)使用矽晶光發電模組(crystalline silicon)(2)遮蔽所減少的功率相當於實際遮蔽面積的 30 倍(3)使用旁路二極體



2.學到的經驗

光發電模組因為遮蔽所減少的功率，遠大於實際遮蔽面積的效果。

六、程式撰寫

(一) 以模糊理論應用於風速影響因素下的太陽追蹤器最適化程式

本程式以 Matlab Fuzzy Logic Toolbox 軟體來完成，程式中在輸入部分，分別建立 3 個輸入項目，包括風速、風向和風速變化等論域，每個論域由不同數目的三角形歸屬函數所組成，而推論引擎是採用 Mamdani 演算法，經由 105 條規則運算後，產生輸出的模糊歸屬函數，再經由重心法解模糊而得到最終的結果。

(二) 以圖型識別演算法預測雲層遮蔽的動態軌跡之程式

本程式以 Matlab 軟體之程式設計來完成 m file 檔，程式中在輸入部分，首先讀入影像序列 $W(t)$ 和 $W(t+1)$ 兩張前後陰

影的影像檔案，計算其差異值，再測試是否大於門檻值，以決定雲層遮蔽的範圍。最後計算出此兩張影像差異範圍的重心點，如此重複計算，將會得到雲層遮蔽區域的重心點，再將所有重心點連接起來，則可繪出雲層遮蔽產生陰影的動態軌跡。

(三)灰色系統預測理論結合品質管制圖的應用程式

本程式以 Mathematica 軟體寫成。研究中以灰預測中的 GM(1,1) 訊息模型與品質管制圖做一結合，並以數值模擬方式來探究短期與長期發生於管制圖上的各種不正常狀況，嘗試找出各項準則，以為事前預警之依據。

以上程式將附於結案光碟片中呈計畫委託單位存參。

七、論文發表準備與投寄(含 SCI 期刊乙篇)

(一)工作報告

研究團隊分別於 99 年 4 月 14 日、99 年 6 月 30 日、99 年 9 月 23 日、與 99 年 11 月 04 日在萬能科技大學管理與資訊系執行工作進度報告，簡報資料存放在所附 CD 之「簡報檔案」目錄中。

(二)研討會論文

於 99 年 6 月 11 日投稿 2010 創新管理學術與實務研討會論文一篇，資料如附件一。

(三)期刊論文

於 99 年 10 月 12 日投稿 Renewable Energy (SCI 期刊) 論文一篇，資料如附件二。

肆、參考文獻

一、有關計畫緣起與目的參考資料：

1. 成大研發快訊 - 新聞消息【第十一卷 第五期】，
<http://conf.ncku.edu.tw/research/news/c/20091113/2.html>(2009/11/13)。
2. 陳建智，我國太陽能產業經營策略與績效關係之研究，銘傳大學管理學院高階經理碩士學程在職專班，碩士論文，2008。
3. 綠色能源產業旭升方案，經濟部，
<http://www.ey.gov.tw/public/Attachment/9559315271.pdf>(2009/4/23)。
4. 包濬璋，太陽光發電系統運轉性能評估，中原大學電機工程學系，碩士論文，2003。
5. 台灣首座聚光型太陽能電廠擬設在台中港區，工商時報，
<http://blog.yam.com/bunhu/article/24718477> (2009/10/3)。
6. N. Chaintreuil et al., “ Effects of shadow on a grid connected PV System” , 23rd European PV energy conference, 2008, p3417.
7. 沈育樹，宮大川，整合性維護管理系統設計，Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 20, No. 4 pp. 337-354 (2003)

二、有關研究方法與過程的參考資料：

1. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and Control, vol. 8, 1965, pp338-353.
2. J. J. Buckley, “Fuzzy Hierarchical Analysis”, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 17, 1985 pp.343-350.
3. Ching-Hsue Cheng, Don-Lin Mon,” Fuzzy system reliability

- analysis by interval of confidence, *Fuzzy Sets and Systems* 56 , 1993, pp.29-35.
4. Don-Lin Mon, Ching-Hsue Cheng, “Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions”, *Fuzzy Sets and Systems* 64, 1994, pp.145-157.
 5. S. H. Chen, C. L. Hwang, “Fuzzy Multiple Attribute Decision Making”, Springer-Verlag, New York, 1992.
 6. D. Shmilovitz, “On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 152, No. 2., 2005.
 7. Abdulaziz M. S. Aldobhani, R. John, “Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking”, 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists , Vol II, IMECS , pp.19-21 .
 8. A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad, and E. T. El Shenawy, ”Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks”, *Renew. Energy*, vol. 30, 2005, 1257–1268.
 9. Mummadi Veerachary , Tomonobu Senjyu and Katsumi Uezato, ”Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, VOL. 38, NO. 3, 2002, pp.969-981.
 10. N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacharn., “Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system”, *IEEE Power Engineering Winter Meeting. 2002*, Vol. 1, pp.372 – 377.
 11. A. Pandey, N. Dasgupta, A. K. Mukerjee, “A Simple

- Single-Sensor MPPT Solution”, IEEE Trans. Power Electron, Volume 22, Issue 2, 2007, pp. 698 - 700.
12. Amenallah Damak, Abdessalem Guesmi and Abdelkader Mami, 2009, “Modeling and fuzzy control of a photovoltaic-assisted watering system”, Journal of Engineering and Technology Research Vol.1 (1), 2009, pp.007-013.
 13. I-Tao Lung, Cherng-Tsong Kuo, Hwa-Yuh Shin, Hwen-Fen Hong, Cheng-Dar Lee, and Tsung-Te Lin, “Establishment of One MW HCPV System at Taiwan”, ISESCO Science and Technology Vision Vol. 6, No. 9, May 2010 pp.50-53.
 14. E. H. Mamdani, “Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis”, IEEE Trans. Comput., vol. C-26, no. 12, 1977, pp. 1182-1191.
 15. Francois Giraud Ziyad M. Salameh, “Analysis of the Effects of a Passing Cloud on a Grid-Interactive Photovoltaic System with Battery Storage using Neural Networks”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, December 1999, pp. 1572-1577.
 16. Ward Jewell, R. Ramakumar, “The Effects of Moving Clouds on Electric Utilities with Dispersed Photovoltaic Generation”, December 1987, pp. 570-576.

三、有關主要發現與結論的參考資料：

---部份(三)之參考資料

1. 沈育樹，宮大川，整合性維護管理系統設計，Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, Vol. 20, No. 4 pp. 337-354，2003。

2. 傅和彥、黃士滔，品質管理-觀念、理論與方法，前程企業管理有限公司，2004。
3. 劉漢容、陳文魁，品質管理-六標準差式，滄海書局，2005。
4. 鄧聚龍，灰色預測與決策，華中理工大學出版社，1986。
5. 鄧聚龍、郭洪，灰預測原理與應用，全華科技圖書股份有限公司，1996。
6. 溫坤禮、黃宜豐、陳繁雄等，灰預測原理與應用，全華科技圖書有限公司，2002。
7. D. C. Montgomery, “Design and Analysis of Experiments” , John Wiley & Sons, Inc., 5 ed., 2001.
8. 林惠玲、陳正倉，應用統計學，雙葉書局，2009。
9. 趙嬭，灰色預測理論應用於汽車產業預測之研究-以台灣,大陸市場為例，朝陽科技大學企業管理碩士班碩士論文，2003。
10. 鄭志剛，運用灰理論GM(1,1)模式預測裝備零附件之計畫備料，國防管理學院-後勤管理研究所，2004。

---部份(四)之參考資料

1. Pintelon, L., Gelder, L. F., “Maintenance Management Decision Making,” European Journal of Operational Research, Vol. 58, pp. 301-317, 1992.
2. Benjamin, S. Blanchard, Logistics Engineering and Management , Prentice-Hal l International , Inc. pp. 28, 1998.
3. 李順德，整體後勤支援原理及應用，華泰書局，台北，1997。
4. 陳祖光，以可靠度為中心之維修分析運用於部署服役後系統最佳維修策略之研究，國防大學中正理工學院兵器系統工程研究

所，碩士論文，2002。

5. 陳定鼎，太陽光電系統原理介紹，工業技術研究院太陽光電科技中心，中華民國九十七年九月十六日。
6. Herb Hayden, Peter Johnston, Vahan Garboushian, and David Roubideaux, APS Installation and Operation Of 300 KW of Amonix High Concentration PV Systems, 2002.
7. Gilbert E. Cohen, David W. Kearney, and Gregory J. Kolb, Final Report on the Operation and Maintenance Improvement Program for Concentrating Solar Power Plants, SAND99-1290, Unlimited Release, Printed June 1999.
8. Frank Y. Dadzie, Design of a Grid Connected Photovoltaic System for KNUST and Economic and Environmental Analysis of the Designed System, thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, 2008.
9. Deutsche Gesellschaft Fnr Sonnenenergie, Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers, Baker & Taylor Books, 2008.

---部份(五)之參考資料

1. G. Klise, “Models used to Access the Performance of Photovoltaic Systems, SAND2009-8258, Sandia National Laboratories.
2. NREL, “Solar Advisor Model for Photovoltaic Systems”, 2008, <https://www.nrel.gov/analysis/sam/support.html>.
3. Christopher P., “COMPARISON OF PV SYSTEM PERFORMANCE-MODEL PREDICTIONS WITH MEASURED PV SYSTEM PERFORMANCE”, 33rd IEEE PVSC, 2008, 6p.
4. H. Cotal, “Temperature Dependence of the IV Parameters from Triple junction GaInP/InGaAs/Ge Concentrator Solar Cell”, IEEE,

2006.

5. C.T.Kuo, “Development of the high concentration III-V photovoltaic system at INER, Taiwan”, *Renewable Energy*, 2009, pp.1931-1933.
6. R.Ramaprabha “Modeling and Simulation of Solar PV array under Partial Shaded Conditions”, *IEEE ICSET* 2008.
7. Chris Deline, ”Partially Shaded Operation of a Grid-Tied PV System”, *IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSE)* 2009.
8. G.M.Masters, “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, chapter 8, *Wiley-Interscience*, 2004.

伍、附件

附件一：

2010 創新管理學術與實務研討會 論文審查結果 通知函

大會日期	2010 年 6 月 11 日(星期五)	大會地點	萬能科技大學 資管系(新世紀資訊大樓)
類別主題	創新研發管理	論文編號	N13
論文題目	模糊理論於太陽光電追日系統之決策應用		
勾選處	論文審查結果		
√	接受，並收錄於大會論文集		

模糊理論於太陽光電追日系統之決策應用

王金印^{*1}、林宏志²、李國路³

¹萬能科技大學 資訊管理系暨研究所

²萬能科技大學 電子工程系

³萬能科技大學 管理與資訊系

*通訊作者

E-mail: jywang@vnu.edu.tw

摘要

亞洲最大的聚光型太陽能發電 (High Concentration Photovoltaic, HCPV) 已在高雄縣路竹鄉建置完成，總發電量達到一百萬瓦(1 MW)。如何對每一座發電系統的電壓、電流輸出資料之監控，以尋求發電效能的精進，與操作和維護上的穩定，是一項重要的需求。本論文即是以影響聚光型太陽能發電模組的輸出效能之研究為主，我們應用模糊理論所建立的模糊規則庫和推論演算法，以風速、風的方向和風速變化率等為輸入因子，進行模糊推論，再由解模糊輸出值來做太陽追蹤器啟動或停止的決策，可避免太陽光電追日馬達在臨界點啟動或停止的轉換頻繁而受損，同時，經由MATLAB程式模擬驗證，獲得明顯的效能改善成果。

關鍵字：聚光型太陽能發電、模糊理論、模糊規則庫

Application of Fuzzy Decision in the Tracker Controller of Photovoltaic Arrays

Jin-yinn Wang^{*1}, Horng-Jyh Lin², Gwo-luh Lee³

¹Vanung University, Dept. of Information Management and Graduate School

²Vanung University, Dept. of Electronics Engineering

³Vanung University, Dept. of Management and Information Technology

*Corresponding author

E-mail: jywang@vnu.edu.tw

The biggest High Concentration Photovoltaic (HCPV) demonstration plant in Asia area has established at Lujhu township, Kao-hsiung County. The total capacity is about one million watts (1 MW). The next important mission will be on the issues such as the monitoring of the outputs of the system, for example, voltage, and current, so as to sustain system stability, maintenance, operation and improvement. In this paper we focus on the research of output power performance of the solar concentrating module. One of the biggest concerns is the factor of gust. We have received very good results by utilizing MATLAB simulations and the algorithms based on the fuzzy inference built from the fuzzy rule base with the wind speed, the wind direction, and the acceleration of wind blowing as key parameters. These results giving the sun tracker make a decision to run or stop the motor and take the required procedure to prevent the motor from damaging.

Keyword : High Concentration Photovoltaic, Fuzzy Inference, Fuzzy Rule Base

1. 前言

隨著科技、工業的發展，能源的需求日益加重、消耗的速度也越來越快，其中，人類目前依賴最重的石化能源不只有耗盡的可能，更因其造成的環境的汙染、二氧化碳的排放、地球的暖化等等問題，都讓我們不得不亟思解決之道。因此，如何發展新的替代能源，尤其是綠色能源，乃是當前重要課題。替代能源基本上是指燃煤、石油、天然氣、核能以外的能源，可包括風力、太陽、地熱、海水溫差、波浪、潮汐、黑潮、生質能及燃料電池等之電源。而又由於對地球環保意識的普遍受重視，所需的替代能源均朝向可滿足低環境汙染、可循環利用的條件要求。而在多種替代能源技術中，將取之不盡用之不竭的太陽能轉換成電能運用，是最自然且永續的思維。太陽能沒有枯竭問題，沒有熱汙染與廢氣問題，世界各地都可以公平的取得，沒有蘊藏量與壟斷的紛擾，無疑地是最有潛力的能源，這些特性都使太陽能發電產業成為最搶眼的明日之星。

我國政府在2005年全國能源會議有關太陽光電的三項具體結論：(一)加強太陽光電系統設置，以2010年2.1萬瓩、2015年32萬瓩、2020年57萬瓩、2025年80萬瓩為目標；(二)推動代表性建築物、交通設施等太陽光電示範系統；(三)加強太陽光電系統研發，推動建築物整合系統(BIPV)發展於2025年達10~12萬戶，每戶5瓩。已見政府在積極地推動太陽光發電能源政策及決心，同時，眾多企業公司在太陽能發電上相繼的大規模投資，太陽光電產業所允諾的無限商機，其市場的發展蓬勃可期。

一般而言，完整的聚光太陽光發電系統係以聚光型太陽能電池為主，製成太陽光電池模組，配合複雜的太陽光追蹤系統、加上電力系統的元件採用與組合而成。若以產業的角度視之，它是一項具有高轉換效率，但也同時具高複雜度與成本的产品。若以使用者的角度視之，重點必在於如何保證其在建置運轉後，能夠維持系統高效能的操作與可用度(availability)。隨著「再生能源發展條例」的頒布，民間廠商的大筆投入，聚光太陽光發電系統在研發單位的努力之下，經歷系統整合及驗證階段，正以前瞻的視野來探討與未來營運相關的議題。

本研究的高聚光太陽光發電(HCPV)系統是由多座太陽光電面板所組成，而影響太陽光發電效能的因素包括：日照時間、追蹤太陽的準確性、聚光器及相關使用裝置的擺設方式、風力對面板的衝擊、空氣汙染的影響、散熱的影響、...等。本研究主要是針對風力的影響提出改善方法。由於HCPV每一座的面積龐大，對於陣風的影響極為敏感。為了避免損壞模組馬達，特訂定運轉規則為當風速儀偵測到風速大於每秒K公尺(命名為臨界點 Critical Point, CP)時，即停止追日系統馬達的運轉功能，此方式雖然可保護HCPV模組和馬達裝置，但是也影響發電效能至鉅。研究發現，當風向並非正面吹向HCPV面板時，縱使其風速超過臨界點之外，但是其垂直分量卻有可能落在臨界點之內。此外，當風速正處於臨界點正負範圍之內時，此一分為二的決策，將導致HCPV追日系統馬達啟動或停止之變動頻繁而損害。

我們應用模糊理論所建立的模糊規則庫和推論演算法，以風速、風的方向和風速變化率(正負加速度)等為影響決策的輸入因子，進行模糊推論，再由解模糊輸出值來做太陽追蹤器啟動或停止的決策，可避免太陽光電追日馬達在臨界點啟動或停止的轉換頻繁而受損。此技術採用多因子的模糊輸入決策，經由MATLAB程式模擬驗證，獲得明顯的效能改善成果。

2. 文獻探討

模糊理論的基本概念是運用了模糊邏輯(Fuzzy Logic: FL)，它是以法則為推理基礎的一

種人工智慧，但可容忍不確定性的資料，可使用近似值或主觀值來進行推論。其基礎是一套模糊集合論，它是在1965年由美國加州柏克萊大學Zadeh教授首先於 *Information and Control* 學術期刊發表[1]，日後廣泛地被應用於一些語意不明與不確定性的資料處理。模糊理論不是用某一個明確的數值來衡量事件資料，而是使用「隸屬函數」(membership function)來量化、描述該事件與某個模糊概念的關係。隸屬函數的種類大致上分成五種，包含：三角形(Triangular shape)、梯形 (Trapezoidal shape)、S函數(S function)、Z函數(Z function)、及II函數 (PI function)等。其中隸屬函數值設定介於0到1之間，用來描述各個元素屬於某個集合的程度，若隸屬於某個概念的程度越大，則其隸屬函數值越接近1；反之，隸屬函數值則越接近0。其特點是更接近人類的判斷思考，取代了傳統的精確邏輯(Crisp Logic)，避免了以點來切割所產生的問題，而能用於處理不確定因素的系統。

其後更進一步的發展至模糊層級分析法(Fuzzy Analytic Hierarchy Process : FAHP)，其起因是對一個問題需要做決策時，經常會發現它是由一些複雜因素所組合，包含有形的及無形的因素，這些因素之間彼此相互影響。層級分析法發展的目就是將一個複雜的問題，切割成不同的層級，降低複雜度與關聯度，提供決策者作出較佳的決策方案。層級分析法是加州大學Thomas L. Saaty教授在1971年協助美國國防部從事應變計畫研究所提出的，主要用於不確定情況及具有多個評估準則的決策問題上。其後逐漸成為一項解決各種決策問題的方法，其應用範圍極為廣泛。但是在人類主觀及情感世界裡存在許多不確定性的因素，加入模糊法則可補足了傳統層級分析法中具有資訊不足、不明確和模糊性的決策行為，使其更能反應現實世界中的情況。在傳統的層級分析法中，其成對比較法之比值皆為明確的數值，以利建立成對比較矩陣，但會有主觀、不精確、模糊等問題產生，所以Buckly[2]提出的作法是以梯型模糊數 (trapezoidal fuzzy number) 來表示成對準則相互比較的重要程度，而形成模糊正倒值矩陣。其模糊尺度，採取{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9}等九個數。Cheng and Mon [3, 4]則提出利用模糊數的區間代數運算及分割原理，進行模糊可靠度的分析。1974年 E. H. Mamdani 教授在蒸汽機自動運轉控制上成功地驗證了模糊邏輯控制器的優越性能，此後便造成一股研究風潮，現今已經用在相當廣泛的領域，例如在模糊控制系統(Fuzzy Control System)、模糊分類(Fuzzy Clustering)、圖形識別 (Pattern Recognition)、決策分析 (Decision Analysis) 等方面上。尤其在控制系統上，近年來有相當多的學者在這方面投注心力 [5]。

模糊理論也常常與其他演算方法結合使用，例如模糊理論與類神經網路的結合，模糊理論與基因演算法的結合應用，模糊理論與螞蟻演算法的整合等。模糊理論也被用於太陽光電系統上，主要都是集中在處理最大功率追蹤技術(Maximum Power Point Tracking, MPPT technique)的問題上[6-11]，也有用在水力系統上[12]。然而，對於應用在風力對太陽能聚光發電的影響方面之研究，則極為少見。

3. 定義模糊輸入與輸出變數

太陽能聚光發電模組的佈建範圍遼闊，其陣列面板的面積龐大，受到陣風吹襲的影響力甚鉅。為了保護太陽追蹤器之馬達的正常功能，避免受損，太陽追蹤器在風速大於臨界點(K公尺/每秒)時，被設定停止啟動運轉，但是在風速臨界點時將產生開關動作頻繁的問題。為了解決此問題，減少過度的機械反應，我們應用模糊理論的原理，改變傳統明確集合的絕對屬於之概念而擴充至相對屬於的概念，做出模糊的決策，控制太陽追蹤器啟動的時機，可防止控制馬達在臨界點上啟動與停止來回變動的不正常現象，達到保護其馬達機組的目標。本模糊推論系統有三個輸入變數，分別是風速、風向、和風的變化速度，而系統的輸出變數為控制器的啟動區或

停止區，亦即輸出如果落入啟動區，則啟動追日系統的馬達，反之，則停止馬達運轉功能。

本研究是以相鄰模糊數重疊之原則，建立對應之三角模糊數(a/b/c)，其中a與c為模糊數的左右兩端點，而b為模糊數的中間點。此三角模糊歸屬函數之方程式如(1)所示。令S為風速的模糊集合(Fuzzy Set)， $\mu_s(\cdot)$ 為其歸屬函數(membership function)，s為元素(Element)，U為論域(universe of discourse)，則風速的模糊集合表示為方程式(2)所示。

$$f(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

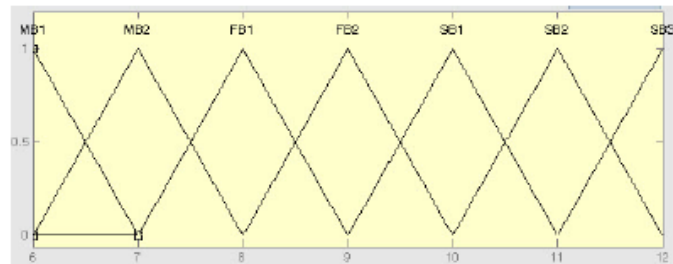
$$S = \{(s, \mu_s(s)) \mid s \in U\} \quad (2)$$

首先對於風速這個輸入變數，進行模糊語言的描述與歸屬函數的建立。關於風速等級之模糊理論的論域(Domain)是參考蒲福氏風級表(Beaufort Scale)進一步細分而定義的。此蒲福氏風級表是由英國人弗朗西斯·蒲福(Francis Beaufort)於1805年根據觀察航行的船隻狀態及海浪而編制，適用於海上的觀測。後來為了適用於陸地，從觀察煙、樹葉及樹枝的搖動、或旗幟的搖動狀態而編制，主要是依據風對地面物體或海面的影響程度而定出的風力等級。按照風的強弱，劃分為13個等級，從0至12等級。到了1950年代發明測風儀器，實際上所量測到的風速已超出了12級，於是將風級擴展到17級成為18個等級。

本研究關於風速的模糊論域範圍介於(K-1) m/s至2(K-1) m/s之間，此為考量原訂 K m/s為臨界點，以1公尺(m)的間隔來定義模糊歸屬函數，其中 0 m/s 至 K-1 m/s 已明確為啟動運轉區，不在考量的範圍，故定義以(K-1) m/s開始增一倍至2(K-1) m/s為風速的論域。至於風速大於2(K-1) m/s 已明確為停止運轉區，也不在考量的範圍。為符合本研究的需要，進一步將此論域再細分與定義如表一所示。其模糊歸屬函數如圖一所示。茲舉例說明風速的模糊歸屬函數如下，如果令 K = 5，則論域範圍 = { 4 ~ 8}，如果令 K = 7，則論域範圍 = { 6, ~ 12}，同理，如果令 K = 9，則論域範圍 = { 8 ~ 16}，以此類推。本研究以論域範圍 = { 6, ~ 12}為例來說明。

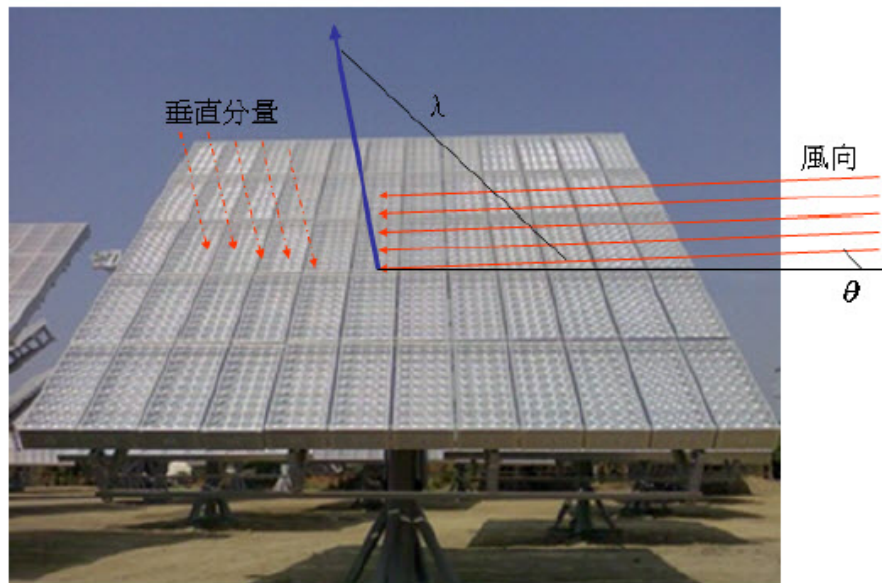
表一 定義風速的模糊歸屬函數 (表中歸屬函數之數字為暫訂參考值)

風速大小程度(speed:S)	定義三角模糊歸屬函數
MB1 (moderate breeze 1)	(6 6 7) m/s
MB2 (moderate breeze 2)	(6 7 8) m/s
FB1 (fresh breeze 1)	(7 8 9) m/s
FB2 (fresh breeze 2)	(8 9 10) m/s
SB1 (strong breeze 1)	(9 10 11) m/s
SB2 (strong breeze 2)	(10 11 12) m/s
SB3 (strong breeze 3)	(11 12 12) m/s



圖一 風速的模糊歸屬函數(橫軸為風速，縱軸為隸屬度)

第二個輸入變數為風吹的方向，本研究的高聚光太陽光發電（HCPV）面板整座的體積龐大，對於陣風的影響極為敏感。為了避免損壞模組，當風速儀偵測到風速大於臨界點 K 公尺/每秒時，即停止追日系統馬達的運轉，以策安全。然而單純考量風速的因素，將使系統的發電總效能降低，例如，雖然風速超過臨界點 K 公尺/每秒，但是風的方面並非正面吹向太陽光電面板，而是與面板的法向量產生一個 λ 角度如圖二所示。令 $\theta = 90^\circ - \lambda$ ，經過計算其垂直分量 $\sin(\theta)$ 結果小於臨界點 K 公尺/每秒，此時太陽光電面板仍能運轉，以發揮最大的發電效能。所以，其影響的程度決定於風向與太陽光電面板法向量的夾角，其夾角越小，風的垂直分量越大，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地增加。反之，其夾角越大，則風的垂直分量越小，對於太陽光電面板的危害程度則顯著地降低。



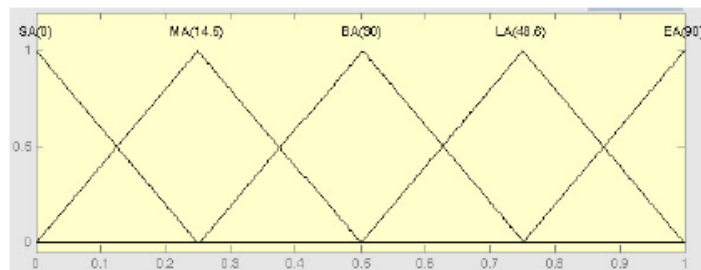
圖二 風向與太陽光電面板法向量的夾角

關於風向的模糊論域範圍取第一象限，介於0度至90度之間。對於第二至第四象限的角度，則可以併入第一象限來處理。我們以 $\sin \theta$ 垂直分量每0.25的間隔來定義模糊歸屬函數，其值

為 $\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ ，可定義出5段的歸屬函數如表二所示，其模糊歸屬函數如圖三所示。

表二 定義風向的模糊歸屬函數

風向的角度(angle:A)	定義三角模糊歸屬函數(垂直分量Sin θ 值)
SA (small angle) ($0^\circ \sim 14.5^\circ$)	(0 0 0.25)
MA (medium angle) ($0^\circ \sim 30^\circ$)	(0 0.25 0.5)
BA (big angle) ($14.5^\circ \sim 48.6^\circ$)	(0.25 0.5 0.75)
LA (large angle) ($30^\circ \sim 90^\circ$)	(0.5 0.75 1)
EA (extra angle) ($48.6^\circ \sim 90^\circ$)	(0.75 1 1)

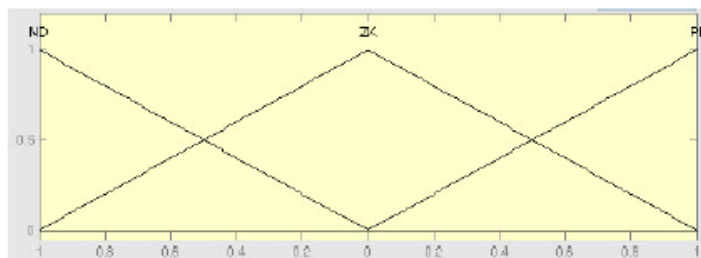


圖三 風向的模糊歸屬函數(橫軸為垂直分量，縱軸為隸屬度)

第三個輸入變數為風速強度的變化率(dS)，作為判別風速是增強或是減弱的趨勢，對於在臨界點附近之風速如(K-1)至(K+1)之間的數值，提供一個前置判斷的資料。本研究是以2分鐘平均風速的變化為依據，以正負間隔每秒1公尺為風速增強或是減弱來定義歸屬函數，可定義出3段的歸屬函數如表三所示，其模糊歸屬函數如圖四所示。

表三 定義風速強度變化的模糊歸屬函數

2分鐘平均風速變化(acceleration:dS)	定義三角模糊歸屬函數
ND (decrease) 減弱	(-1 -1 0)
ZK (keep) 不變	(-1 0 1)
PI (increase) 增強	(0 1 1)

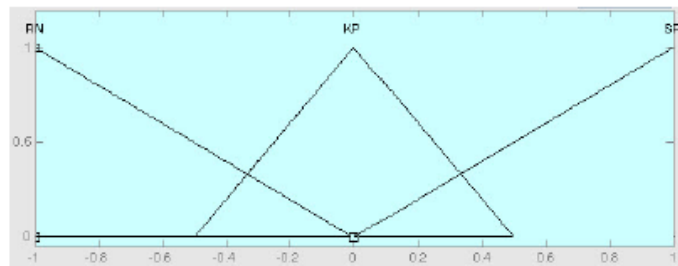


圖四 風速強度變化的模糊歸屬函數(橫軸為正負加速度，縱軸為隸屬度)

最後，我們要定義輸出的模糊歸屬函數，如果輸出的值小於0，則讓馬達運轉，如果輸出的值 ≥ 0 ，則停止運轉工作。此可定義出3段的歸屬函數如表四所示，其模糊歸屬函數如圖五所示。

表四 輸出的模糊歸屬函數

控制馬達動作(Run_Stop)	定義三角模糊輸出歸屬函數
RN (run) 安全(<0)，運轉	(-1 -1 0)
KP (keep) 保持現狀	(-0.5 0 0.5)
SP (stop) 危險(≥ 0)，停止	(0 1 1)



圖五 輸出的模糊歸屬函數(橫軸:危險度，縱軸為隸屬度)

4. 模糊推論演算法

我們已定義三個輸入變數，第一個變數有七種狀態，第二個變數有五種狀態，第三個變數有三種狀態，所以總計有一百零五條模糊規則(Rules)如下(節錄)：

- R1. If (speed is MB1) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN
- R2. If (speed is MB2) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN
- ...
- R50. If (speed is MB1) and (angle is BA) and (acceleration is ZK) then (Run_Stop) is RN
- ...
- R94. If (speed is FB1) and (angle is LA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is KP
- ...
- R104. If (speed is SB2) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP

- R105. If (speed is SB3) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP

將上述的模糊規則寫成模糊規則表，為了清楚表示關聯性，規則表只顯示二個輸入變數的關連，此將風速變化率 dS (正負加速度)的輸入變數固定在某一種狀態時，而顯示風速與角度的關聯表。所以，此列表已將風速變化率隱含納入計算。如表五所示為 $dS = ND$ (風速減弱的趨勢)，其

他兩個輸入變數的關聯表。如表六所示為 $dS = ZK$ (風速不變的趨勢)，其他兩個輸入變數的關聯表。如表七所示為 $dS = PI$ (風速增強的趨勢)，其他兩個輸入變數的關聯表。

表五 風速與角度在風速減弱趨勢時之關聯表

$dS = ND$	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	RN	KP	KP	SP
EA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP

表六 風速與角度在風速不變趨勢時之關聯表

$dS = ZK$	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	KP	KP	SP	SP
EA	RN	KP	SP	SP	SP	SP	SP

表七 風速與角度在風速增強趨勢時之關聯表

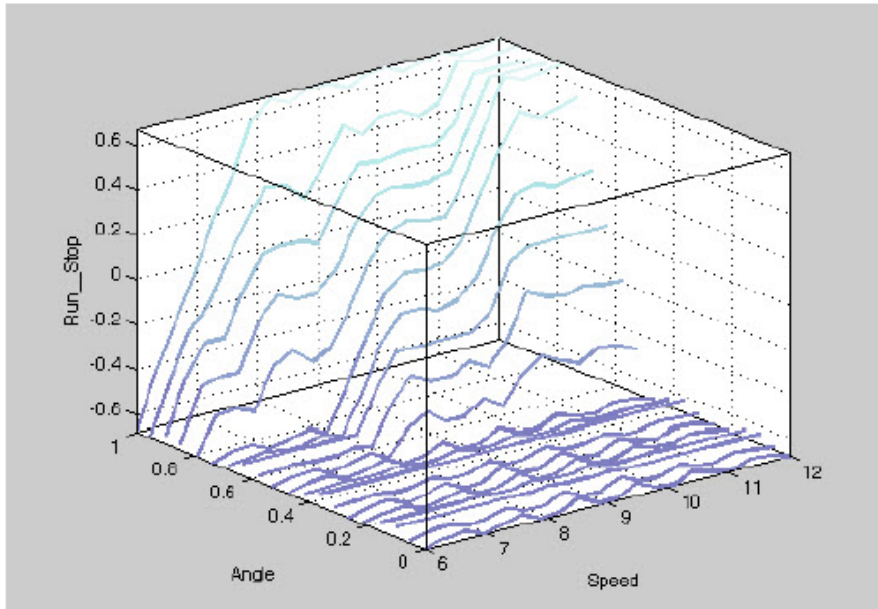
dS = PI	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	KP	KP
LA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP
EA	KP	SP	SP	SP	SP	SP	SP

在模糊推論中，使用最大-最小合成法(MAX-MIN Composition)和Mamdani模糊推論演算法(Mamdani Fuzzy Inference) [13]，對於前提部採用and運算，取得最小運算值，對應到運轉-停止((Run_Stop)歸屬函數的輸出，再經過推論部最大運算後，可獲得最後的推論圖形。根據模糊理論，此推論圖形必須再經過解模糊化(Defuzzification)的過程，求得一個明確的輸出量，以作為馬達控制系統的啟動或停止的判別。我們使用重心法模糊化(Centroid defuzzification)，此為常用且似乎合理的方法，其計算方程式如(3)所示。這裡的 $\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)$ 為離散值與對應歸屬值的乘積和，而 $\sum_{i=1}^N \mu(y_i)$ 為歸屬值和。

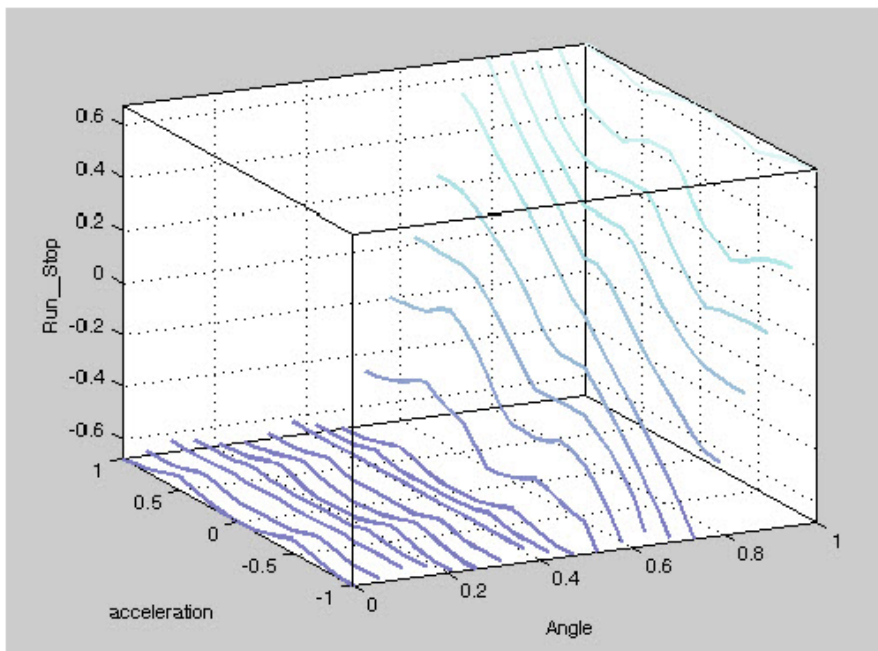
$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(y_i)} \quad (3)$$

5. 模擬結果

使用MATLAB程式模擬，以輸入模糊變數X(input)為風速(Speed)，輸入模糊變數Y(input)為風向角度(Angle)，模糊歸屬值Z(output)為啟動與停止(Run_Stop)的判別，建立模糊推論系統的輸入輸出模糊集合歸屬函數，而風速變化率(正負加速度)也隱含納入計算。圖六為解模糊之橫切面輸出值，解讀為當風向角度(Angle)固定，風速(Speed)為自變數時，縱軸為輸出決策值(Run_Stop)。圖七為解模糊之縱切面輸出值，解讀為風向角度(Angle)固定時，風速變化率(正負加速度: acceleration)為自變數，縱軸為輸出決策值(Run_Stop)。

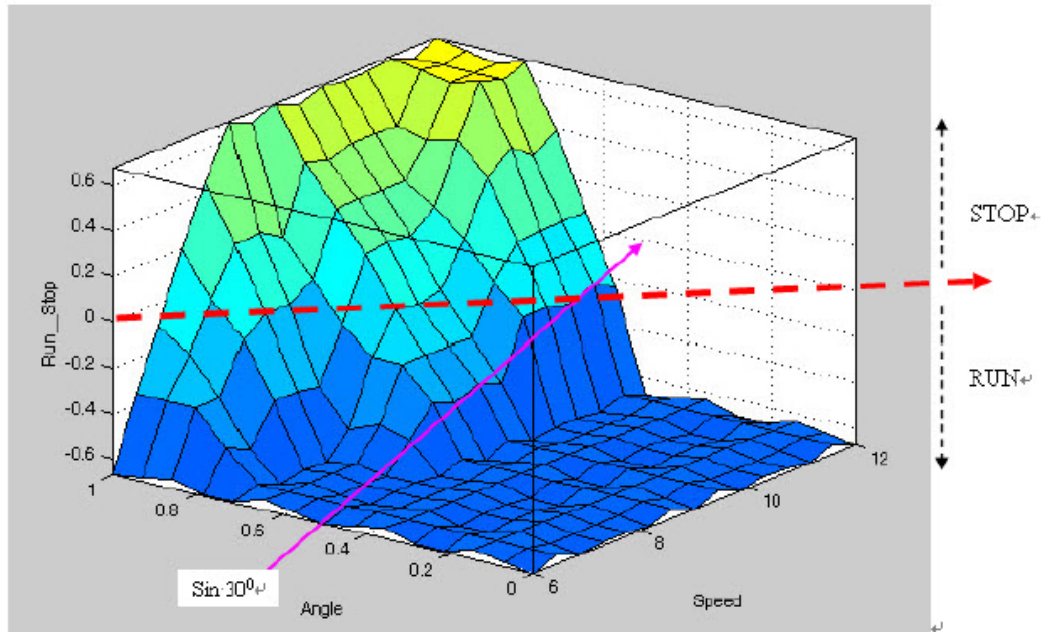


圖六 解模糊之橫切面輸出值



圖七 解模糊之縱切面輸出值

圖八為3D顯示解模糊輸出值，解讀為當風速(Speed)和風向角度(Angle)為自變數時，縱軸為輸出決策值 (Run_Stop)。從圖八中可以有明顯的判別，如果輸出的值(Run_Stop)小於0，則讓馬達運轉，如果輸出的值 ≥ 0 ，則停止運轉工作。



圖八 3D顯示解模糊輸出值

6. 結論

太陽能聚光發電(HCPV)模組的陣列面板之體積龐大，受到陣風吹襲的影響力甚鉅。原訂太陽追蹤器在風速大於臨界點 K 公尺/每秒時，被設定停止啟動運轉，此為了保護太陽追蹤器之馬達的正常功能，避免受損。但是在跨越風速臨界點時將產生開關動作頻繁的問題。此外，單純考量風速的因素而停止運轉，將減少工作時段。例如在陽光普照的夏日裡，由於風速超過臨界點，必須停止HCPV的運作，使得系統的發電總效能降低。

為了解決這些問題，減少過度的機械反應和增加HCPV的工作時段，降低天候影響因素的干擾，我們應用模糊理論的原理，改變傳統明確集合的絕對屬於之概念而擴充至相對屬於的概念，做出模糊的決策。本研究的模糊推論系統有三個輸入變數，分別是風速、風向、和風的變化速度(正負加速度)。從圖八的解模糊輸出值中可明顯發現，當風向與太陽能聚光發電面板的法向量角度 λ 大於60度時，計算 θ 小於30度，此時縱使風速高達12 m/s，由於垂直分量小於 $0.5(\sin 30^\circ)$ ，所以解模糊輸出值仍然落在啟動運轉的安全區裡。以此數據控制太陽追蹤器啟動的時機，可防止控制馬達在臨界點上啟動與停止來回變動的不正常現象，達到保護其馬達機組的目標，同時增加HCPV的工作時段，提昇太陽能聚光發電的總效能。

7. 參考文獻

- [1] Zadeh, L. A., 1965, "Fuzzy sets", *Information and Control*, vol. 8, pp 338-353.
- [2] Buckley, J.J.,1985, "Fuzzy Hierarchical Analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17, pp.343-350.
- [3] Cheng, Ching-Hsue , Mon, Don-Lin,1993," Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence, *Fuzzy Sets and Systems* 56 , 29-35.
- [4] Mon ,Don-Lin, Cheng , Ching-Hsue, 1994, "Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions", *Fuzzy Sets and Systems* 64, 145-157.
- [5] Chen, S. H., Hwang, C. L.,1992, "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making", Springer-Verlag, New York.
- [6] Shmilovitz, D., 2005, "On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 152, No. 2.
- [7] Aldobhani, Abdulaziz M. S., Robert J., 2008, "Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking" , *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists ,Vol II, IMECS* , 19-21 .
- [8] Bahgat, A. B. G., Helwa,N. H., Ahmad, G. E. and Shenawy, E. T. El, 2005, " Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks" , *Renew. Energy*, vol. 30, 1257 - 1268.
- [9] Mummadi Veerachary ,Tomonobu Senjyuand Katsumi Uezato, 2002, " Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller" , *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, VOL. 38, NO. 3, 969-981.
- [10] Patcharaprakiti, N., Premrudeepreechacharn, S., 2002 "Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system" , *IEEE Power Engineering Winter Meeting*.
- [11] Pandey, A., Dasgupta, N. , Mukerjee, A. K., 2007, "A Simple Single-Sensor MPPT Solution", *IEEE Trans. Power Electron.*
- [12] Amenallah Damak, Abdesslem Guesmi and Abdelkader Mami, 2009, "Modeling and fuzzy control of a photovoltaic-assisted watering system" , *Journal of Engineering and Technology Research* Vol.1 (1), 007-013.
- [13] Mamdani, E. H., 1997, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis" , *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-26, no. 12, pp. 1182-1191.

附件二：

1. RENEWABLE ENERGETICS 期刊的資訊：Impact Factor: 2.226

The screenshot shows the Elsevier website for the journal *Renewable Energy*. The browser address bar displays the URL: http://www.elsevier.com/locate/journaldescription.cws_home/969/description#description. The page features the Elsevier logo and navigation links: Home, Products, Alerts, User Resources, About Us, Support & Contact, and Elsevier Websites. A search bar is located below the navigation menu. The main content area is titled "Browse Journals > Renewable Energy" and "Renewable Energy An International Journal". It includes a cover image of the journal, the ISSN 0960-1481, and the imprint Elsevier. The text describes the journal as the official journal of WREN (The World Renewable Energy Network) and states its aim to promote and disseminate knowledge of renewable energy. The Editor-in-Chief is A.A.M. Sayigh. A prominent banner displays the "LATEST IMPACT FACTOR" of 2.226, based on Journal Citation Reports published by Thomson Reuters in 2010. Below this, there is a logo for "energylocate" with the tagline "The energy research community's go-to place for research" and the website URL www.energylocate.com. The page also features an "Actions" sidebar with options like "Submit Article", "Order Journal", "Free Sample Issue", "Recommend to Friend", and "Bookmark this Page". A right sidebar contains sections for "Additional", "Readers", and "Authors" with various links. At the bottom, there are tabs for "Articles" and "Issues", and a navigation bar with "Recent", "Top 10 Cited", and "Most Downloaded" options.

2. RENEWABLE ENERGY 期刊以網路顯示收到本計畫論文及處理中…
“A Mechanism of Efficiency Enhancement of High Concentration Photovoltaic Power Generation under Wind Speed Variations”

(1)

網址 <http://ees.elsevier.com/rene/default.asp>

RENEWABLE ENERGY Contact us Help ? » Scopus maintenance this weekend ... [more](#)

home | main menu | submit paper | guide for authors | register | change details | log out Username: w9876 Role: Author Version: EES 2010.2

Submissions Being Processed for Author Jin-Yinn Wang, Ph.D

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links		A Mechanism of Efficiency Enhancement of High Concentration Photovoltaic Power Generation under Wind Speed Variations	11/10/2010	11/10/2010	Submitted to Journal

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

(2)

網址 <http://ees.elsevier.com/rene/default.asp>

RENEWABLE ENERGY Contact us Help ? » Scopus

home | main menu | submit paper | guide for authors | register | change details | log out Username: w9876 Role: Author

Author Main Menu

New Submissions

- [Submit New Manuscript](#)
- Submissions Sent Back to Author (0)
- Incomplete Submissions (0)
- Submissions Waiting for Author's Approval (0)
- [Submissions Being Processed \(1\)](#)

3.投稿 RENEWABLE ENERGY 原文

Manuscript Number:

Title: A Mechanism of Efficiency Enhancement of High Concentration Photovoltaic Power Generation under Wind Speed Variations

Article Type: Research Paper

Keywords: High Concentration Photovoltaic (HCPV); fuzzy theory; fuzzy-rule base

Corresponding Author: Mr. Jin-Yinn Wang, Ph.D

Corresponding Author's Institution: Vanung University

First Author: Jin-Yinn Wang, Ph.D

Order of Authors: Jin-Yinn Wang, Ph.D; I-Tao Lung; Horng-Jyh Lin; Gwo-Luh Lee; Chih-Chieh Ma; Shang-Lee Chyou

Abstract: The high concentration photovoltaic (HCPV) system is built in a wide region and the total size of its array panels is also big so that the influence of gust on such an HCPV is very significant. Lerchenmüller's [1] paper described that the measured standard deviation for the tracker's elevation oscillation angle is below 0.1° when the solar panel was at a wind speed under 7 m/s. However, in order to keep the motor of solar tracker working normally and to avoid being damaged, the solar tracker is set to stop working (off) when the wind speed is greater than a predetermined critical value. Such a consideration seems to be reasonable though, there exist two problems. The first lies in that if the wind speed is constantly changing in the vicinity of the predetermined critical value, the motor of solar tracker will be forced to switch between on and off frequently. Such a switching operation could damage mechanical parts in solar tracking control system. The second is about serious performance degradation. That is, even in the sunny days, as long as the wind speed is greater than the predetermined critical value, the solar tracking device will be triggered to stop working to protect the mechanical parts from being damaged, which leads to loss of power generation.

To solve the problem of the excessive mechanical response to wind speed, we applied the fuzzy-rule base and inference algorithms established based on fuzzy theory with wind speed, wind direction and the rate of wind speed variation as input factors to proceed to fuzzy inference, the output of which is employed to decide whether the operation of the solar tracking device needs to stop or not. In other words, if the output lies inside of "on" range, the motor of the solar tracking system will be in operation normally; otherwise, the motor will be stopped. Such design will be helpful to avoid the motor damage due to overreaction to the wind speed changes around the predetermined critical value. At the same time, the working hours of HCPV can be increased to improve the overall efficiency of solar concentrating power generation. Simulations indicated that such design have obtained significant results.

Cover Letter

A Mechanism of Efficiency Enhancement of High Concentration
Photovoltaic Power Generation under Wind Speed Variations

Jin-yinn Wang^{1*}, Horng-Jyh Lin¹, Gwo-Luh Lee¹

¹Vanung University, Taiwan

I-Tao Lung², Chih-Chieh Ma², Shang-Lee Chyou²

²Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Taiwan

A Mechanism of Efficiency Enhancement of High Concentration Photovoltaic Power Generation under Wind Speed Variations

Jin-yinn Wang^{1,*}, Horng-Jyh Lin¹, Gwo-Luh Lee¹

¹Vanung University, Taiwan

I-Tao Lung², Chih-Chieh Ma², Shang-Lee Chyou²

²Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Taiwan

Abstract

The high concentration photovoltaic (HCPV) system is built in a wide region and the total size of its array panels is also big so that the influence of gust on such an HCPV is very significant. Lerchenmüller's [1] paper described that the measured standard deviation for the tracker's elevation oscillation angle is below 0.1° when the solar panel was at a wind speed under 7 m/s. However, in order to keep the motor of solar tracker working normally and to avoid being damaged, the solar tracker is set to stop working (off) when the wind speed is greater than a predetermined critical value. Such a consideration seems to be reasonable though, there exist two problems. The first lies in that if the wind speed is constantly changing in the vicinity of the predetermined critical value, the motor of solar tracker will be forced to switch between on and off frequently. Such a switching operation could damage mechanical parts in solar tracking control system. The second is about serious performance degradation. That is, even in the sunny days, as long as the wind speed is greater than the predetermined critical value, the solar tracking device will be triggered to stop working to protect the mechanical parts from being damaged, which leads to loss of power generation.

To solve the problem of the excessive mechanical response to wind speed, we applied the fuzzy-rule base and inference algorithms established based on fuzzy theory with wind speed, wind direction and the rate of wind speed variation as input factors to proceed to fuzzy inference, the output of which is employed to decide whether the operation of the solar tracking device needs to stop or not. In other words, if the output lies inside of "on" range, the motor of the solar tracking system will be in operation normally; otherwise, the motor will be stopped. Such design will be helpful to avoid the motor damage due to overreaction to the wind speed changes around the predetermined critical value. At the same time, the working hours of HCPV can be increased to improve the overall efficiency of solar concentrating power generation. Simulations indicated that such design have obtained significant results.

Keywords: High Concentration Photovoltaic (HCPV); fuzzy theory; fuzzy-rule base

1. Introduction

Along with the development of hi-technology, industrial development, energy demand is increasing and the rate of consumption is also more and more rapid. Among the available energy resources, the fossil energy that human being has been most depended not only can be used up, but also causes environmental pollution, carbon dioxide emissions and global warming, all of which makes us to think about the solution. Henceforth, development of new alternative energy sources, especially green energy, is an important issue. Here alternative energy sources mean the possible ones except coal, oil, natural gas, nuclear energy, including wind energy, solar energy, geothermal energy, water temperature, wave, tidal, Kuroshio, biomass energy and fuel cells.

Because the Earth environmental awareness has been paid attention for a long time, all alternative energy sources are required to meet the low pollution, recyclable conditions. In a variety of alternative energy technologies, inexhaustible solar energy chosen to be transferred into electrical energy is the most natural and sustainable thinking. Solar energy is not ever depleted and without thermal pollution and emissions problems. Around the world can be used fairly and no problems of reserves and the monopoly, no doubt that solar energy is the most potential energy; all these features make solar power industry become the most eye-catching Tomorrow's Star.

In this research, high concentration photovoltaic (HCPV) system is composed of more than a dozen solar panels. In general, the complete concentrating solar power system includes solar battery module constructed by concentration solar cells, the complex sun tracking system and the power system components and combinations. From angle of the industry, it is high conversion efficiency but high complexity and cost. From the user's perspectives the most important will be how to ensure that the system can maintain efficient operation and availability once it is in operation. Factors of the performance of solar power include: sunshine, sun tracking accuracy, concentrator and setting ways of relevant devices, the impact of wind on the panel, air pollution, thermal dissipation effects, and so on.

This research proposes a mechanism to enhance system performance which is degraded due to the impact of wind power. Because the area of each HCPV is huge, it is extremely sensitive to gust. In order to avoid damage to the motor module, a specific operating regulation is set to be the motor of the tracking system stops when the wind speed is greater than K m/s (named as the critical point, CP, or threshold). Although this approach offers protection of HCPV module and the motor unit, it tremendously hurts the power generation efficiency. Study found that even the wind speed exceeds the critical point, but if the wind is not directly blowing right to the HCPV panel, the vertical component of the wind to HCPV panel may be less than the critical point, then the motor should still keep working to increase efficiency of power generation. In addition, when

the wind speed varies around the critical point, the original design will lead to the damage of the motor in HCPV tracking system because of the over frequent switching between on and off.

In this paper, we apply the fuzzy theory to establish the fuzzy rule base and inference algorithms and we have used wind speed, wind direction and wind speed change rate (positive or negative acceleration) as input factors to proceed to fuzzy inference. The fuzzy output is employed to be a decision-maker to tell when to start or stop the solar tracker, which can avoid the motor damage of the solar tracker due to its frequent alternation between on and off when wind speed varies around the critical point. This technology adopts multi-factor fuzzy input decision-making and it has been shown to achieve significant performance improvement through the computer simulations using Matlab software.

2. Literatures review

The basic concept of fuzzy theory is based on fuzzy logic (Fuzzy Logic: FL). It is a rule-based reasoning artificial intelligence, which can accept uncertain data as input and utilizes the approximate or subjective values for inferring. It is based on fuzzy set theory that was published in *Information and Control* first published in academic journals [2], 1965 by Professor Zadeh of the University of California, Berkeley. Since then, it has been extensively used in data processing whereby the semantic information of data may be unknown and uncertain. Fuzzy theory doesn't evaluate an event with an exact value; instead, it uses a membership function to quantify and describe the relationship between the event and a fuzzy concept. Membership function is generally divided into five categories, including: triangular shape, trapezoidal shape, S function, Z function, and Π function (PI function), and so on. The value of membership function is set to be between 0 and 1, which is used to describe the extent of element belonging to some set. If an element belongs to the specific concept to a greater extent, its corresponding membership function value closer to 1; otherwise, the value of membership function is closer to 0. Its characteristic lies in that it offers a mechanism that is closer to the people's thinking way and then replaces the traditional precision logic (Crisp Logic). Consequently, it avoids the problems arising from point-cutting and can be applied to handle any system having uncertainty factors.

In 1974, Professor E. H. Mamdani successfully demonstrated the superiority of fuzzy logic controller in automatic operation control of the steam engine. Since then, the related researches have been extensionally done. It has been furthermore developed fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). Buckley [3] proposed a trapezoid fuzzy number to represent the important extent to the comparison of pair-wise criterion, which forms the fuzzy positive reciprocal matrix. It comes from when we need to make decision for a specific problem; we often find that it is

composed of some combination of complex factors, including tangible and intangible factors which influence each other. The objective of FAHP lies in providing policy makers to make better decisions by cutting a complex problem into different levels and reduces complexity and correlation. Cheng and Mon [4,5] proposed interval algebra and the partition principle of fuzzy numbers to analyze the fuzzy reliability. Nowadays, fuzzy has been used in a wide range of areas, such as fuzzy control system, fuzzy classification (fuzzy clustering), pattern recognition, decision analysis and so on. In control system, particularly in recent years, a considerable number of scholars have devoted themselves in this field [6].

Fuzzy methods are often used in combination with other algorithms, for example, the combination of fuzzy theory and neural networks, the combination of fuzzy theory and genetic algorithms, and the integration of fuzzy theory and ant algorithms. Fuzzy theory has been used in solar photovoltaic systems, which are mainly confined to dealing with the issues about maximum power point tracking technology (MPPT) [7-12]; it is also applied in the hydraulic system [13]. However, it is extremely rare to be applied to the study of the effects of wind on HCPV.

3. The definition of fuzzy input and output variables

The high concentration photovoltaic (HCPV) modules are built in a wide region and the areas of its array panels are also big so that the influence of gust on such an HCPV is very significant. In order to keep the motor in solar tracker working normally and to avoid being damaged, the solar tracker is set to stop working (off) when the wind speed is greater than a predetermined critical value (for example, K m/s). However, there comes problem. If the wind speed is constantly changing in the vicinity of a fixed critical value, the motor of solar tracker will be forced to switch between on and off frequently.

To solve this problem, that is to reduce the excessive mechanical response, we applied the theory of fuzzy and changed the “absolutely belongs to” concept of traditional crisp set to the concept of “relatively belongs to” to make fuzzy decision to control the starting time of the solar tracking device, which can be used to prevent the motor’s abnormal phenomenon from switching between start and stop in the critical point. The fuzzy inference system considers three input variables, namely wind speed, wind direction, and wind speed change rate. The system output variables are the start region or stop region of the controller. That is, when the output value falls within the start region, the tracking system the motor is allowed to “start”; otherwise, it is set to be “stop”.

In this research, a triangular fuzzy membership function shown as equation (1) is used, and the points a and c are, respectively, the left and right ends of the fuzzy function, and b is the middle point. Let X be the fuzzy set, $\mu_x(x)$ be the membership function for the x (x is its element), and U be the universe of discourse, then the fuzzy set is expressed as equation (2) below.

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

$$X = \{(x, \mu_x(x)) \mid x \in U\} \quad (2)$$

In order to use fuzzy theory, first of all, the description of the fuzzy language and membership functions is built for the input variable, the wind speed. The universe of discourse of the fuzzy theory for the wind speed grade is defined by modifying from the Beaufort scale with further subdivision. The Beaufort Wind Scale was edited by the British Francis Beaufort in 1805 through observing the sailing ship status and waves, which is suitable for maritime observation. Later, in order to apply to land situation, the observation is replaced with smoke, leaves and the shake of branches, or the shaking status of flag. According to wind strength, Beaufort scale is divided into 13 grades, from 0 to 12. To the 1950s wind speed instrument was invented. Because the measured wind speed exceeded 12th grade, the Beaufort scale was extended to 18 grades.

In this research the universe of discourse of the fuzzy function for the wind speed is chosen between (K-1) m/s and 2(K-1) m/s as shown in Table 1. Here the number K m/s is the critical point discussed before. If let K=6, then the range of the universe of discourse is {5~10}; if let K=8, then the range of the universe of discourse is {7~14}. Similarly, if let K=10, then the range of the universe of discourse is {9~18}, and so on. In this paper, the universe of discourse is defined in the set {6~12}, and a graphical example to illustrate the fuzzy membership functions is shown in Figure 1.

Table 1. Fuzzy membership functions defined wind speed (K is the critical point of wind speed)

Wind speed :S	triangular fuzzy membership functions
MB1 (moderate breeze 1)	(K-1 K-1 K) m/s
MB2 (moderate breeze 2)	(K-1 K K+1) m/s
FB1 (fresh breeze 1)	(K K+1 K+2) m/s
FB2 (fresh breeze 2)	(K+1 K+2 K+3) m/s
SB1 (strong breeze 1)	(K+2 K+3 K+4) m/s
SB2 (strong breeze 2)	(K+3 K+4 K+5) m/s
SB(n-1) (strong breeze n-1)	---
SBn (strong breeze n)	(2(K-1)-2 2(K-1)-1 2(K-1)) m/s

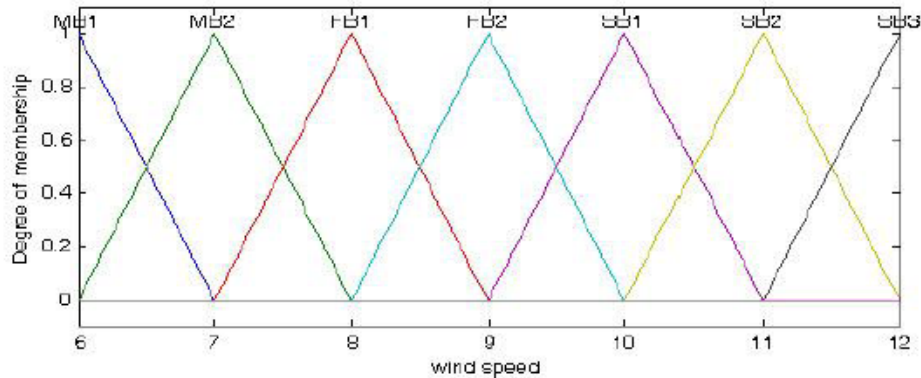


Figure 1. The fuzzy membership functions of wind speed (horizontal axis as the wind speed, vertical axis as degree of membership. Here $K = 7$, for example)

The second input variable is the wind direction. In this research the whole HCPV panel size is so huge that it is extremely sensitive to gust. In order to avoid any damage to the module, when the wind speed is greater than the value of K m/s, the tracking system is forced to stop the operation of motor to ensure safety. However, if the wind factor is taken into consideration alone, then the performance of the total power generation system would be degraded. For example, although the wind speed exceeds the value of K m/s, but the direction of wind blowing is not normal to the solar panel, instead, with an angle λ to the normal vector of the panel shown in Figure 2. Let $\theta = 90^\circ - \lambda$, through the calculation of the vertical component at $\sin(\theta)$, the result is less than the

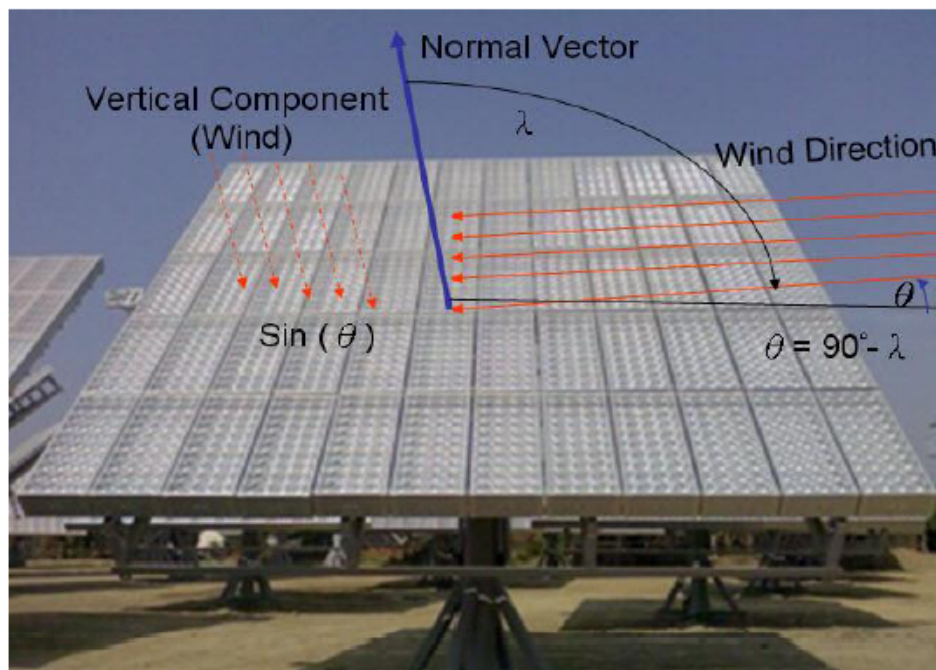


Figure 2. The angle between the wind direction and the normal vector of the solar panel
Quoted from the figure 1 (One MW HCPV Demo System at Lujhu, Taiwan) [14].

critical point of K m/s, consequently, the solar panels at this time are allowed to operate to maximize power generation efficiency. That is to say, the extent of its impact depends on the wind direction and the angle between the normal vector of the solar panel and the wind direction. As we know, the smaller the angle λ , the greater the vertical component of the wind; therefore the more harmful to the solar panels, the reverse is also true.

Because only the calculation of the vertical component of wind speed is needed, the range of the universe of discourse of the fuzzy theory for the wind direction is enough to be defined from 0 degree to 90 degree. The vertical component of all wind direction, after taking the absolute value, will falls in this range. The vertical component of the wind speed, $\sin\theta$, and the resolution of 0.25 is used to define the fuzzy membership functions. The values are $\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$. There are 5 membership functions as shown in Table 2. Its corresponding fuzzy membership functions are shown in Figure 3.

Table 2. The fuzzy membership function of the wind direction

Angle of wind :A	triangular fuzzy membership functions (the vertical component, $\sin\theta$)
SA (small angle) ($0^\circ \sim 14.5^\circ$)	(0 0 0.25)
MA (medium angle) ($0^\circ \sim 30^\circ$)	(0 0.25 0.5)
BA (big angle) ($14.5^\circ \sim 48.6^\circ$)	(0.25 0.5 0.75)
LA (large angle) ($30^\circ \sim 90^\circ$)	(0.5 0.75 1)
EA (extra angle) ($48.6^\circ \sim 90^\circ$)	(0.75 1 1)

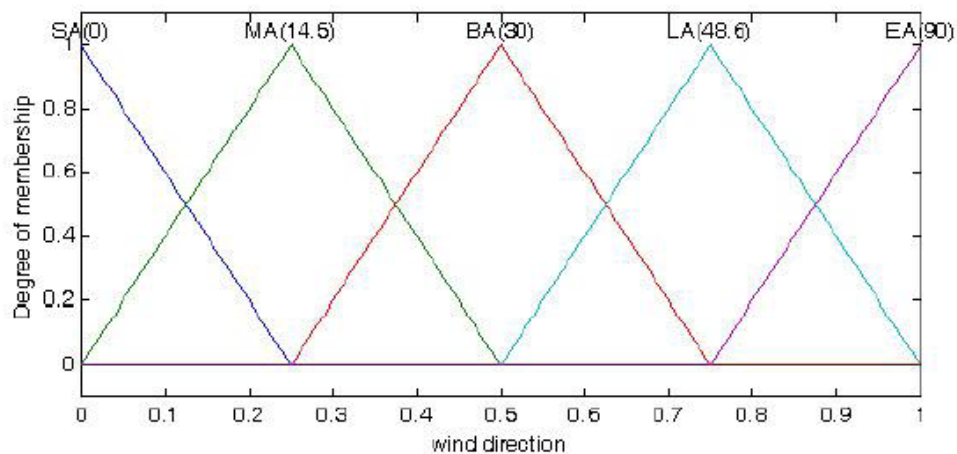


Figure 3. The fuzzy membership functions of wind direction (horizontal axis as the vertical component, vertical axis as degree of membership)

The third input variable is the changing rate of wind strength (dS) which is used to estimate the tendency of wind speed being increased or decreased. It offers pre-judgment information about wind speed near the critical point, for example, between (K-1) and (K+1). In this study, based on the average wind speed in two minutes, +1 or -1 m/s of wind speed increment or decrement is employed to define the membership functions. Three membership functions are shown in Table 3 and the corresponding fuzzy membership functions are shown in Figure 4.

Table 3. The fuzzy membership functions defined the changing rate of wind strength

the average wind speed in two minutes: dS	triangular fuzzy membership functions
ND (decrease)	(-1 -1 0)
ZK (keep)	(-1 0 1)
PI (increase)	(0 1 1)

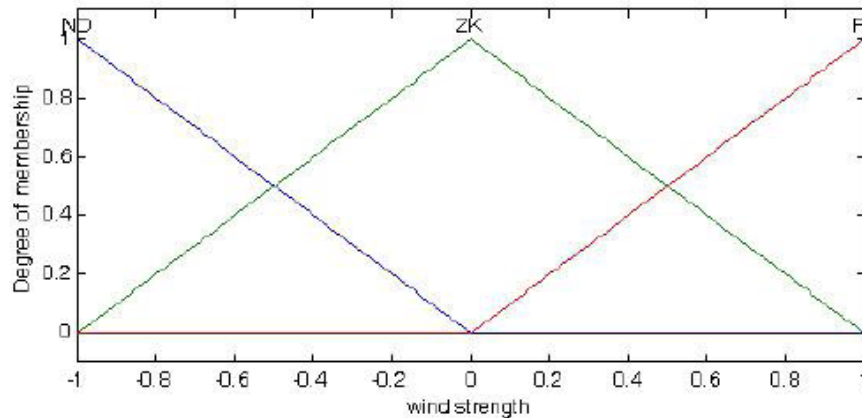


Figure 4. The fuzzy membership functions of the changing rate of wind strength (Horizontal axis as the positive and negative acceleration, the vertical axis as the membership)

Finally, we define the fuzzy membership function of the output. If the output value is less than 0, then the motor of tracking system is in running state; if the output value is equal to or greater than 0, then the motor is in stop state. Three membership functions are shown in Table 4 and the corresponding fuzzy membership functions are shown in Figure 5.

Table 4. The fuzzy membership function of the output

Motor control(Run or Stop)	The triangular fuzzy membership function
RN (run) safe (<0) , running	(-1 -1 0)
KP (keep) keep current status	(-0.5 0 0.5)
SP (stop) dangerous (≥ 0) , stop	(0 1 1)

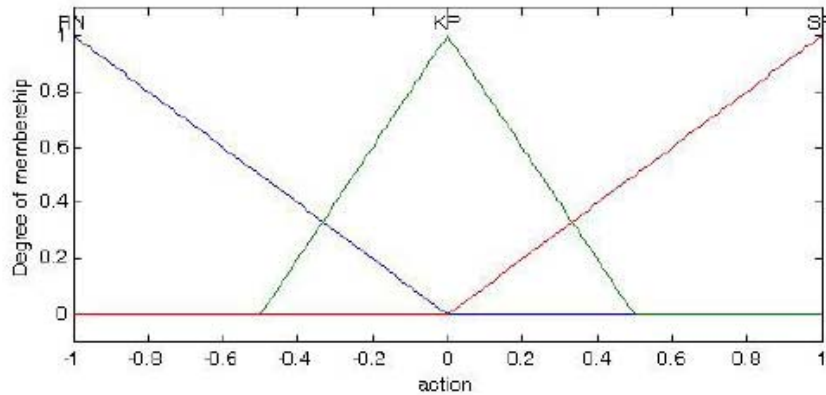


Figure 5. The fuzzy membership function of the output (horizontal axis: risk, the vertical axis as the membership)

4. Fuzzy inference algorithm

We have defined three input variables: the first variable has seven states, the second variable has five states, and the third variable has three states; therefore, there are 105 fuzzy rules (Rules) in total as follows (excerpt):

- R1. If (speed is MB1) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN
- R2. If (speed is MB2) and (angle is SA) and (acceleration is ND) then (Run_Stop) is RN
- ...
- R50. If (speed is MB1) and (angle is BA) and (acceleration is ZK) then (Run_Stop) is RN
- ...
- R94. If (speed is FB1) and (angle is LA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is KP
-
- R104. If (speed is SB2) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP
- R105. If (speed is SB3) and (angle is EA) and (acceleration is PI) then (Run_Stop) is SP

The above fuzzy rules are written into the fuzzy rule table. In order to clearly indicate the relevance, the rule table only shows the relevance between two input variables. Under the assumption that the input variable, the changing rate dS (positive or negative acceleration), is

fixed in a certain state, the relevance between wind speed and angle is shown. Therefore, the changing rate dS has been implied into this table. As shown in Table 5, while $dS = ND$ (the trend that wind speed is decreasing), the relevance between the other two input variables. Table 6 shows while $dS = ZK$ (the trend that wind speed keeps constant), the relevance between the other two input variables. Finally, Table 7 shows while $dS = PI$ (the trend that wind speed increases), the relevance between the other two input variables.

Table 5. The relevance between the wind speed and angle with the trend that wind speed is decreasing ($dS = ND$)

$dS = ND$	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	RN	KP	KP	SP
EA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP

Table 6. The relevance between the wind speed and angle with the trend that wind speed keeps constant ($dS = ZK$)

$dS = ZK$	MB1	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
LA	RN	RN	RN	KP	KP	SP	SP
EA	RN	KP	SP	SP	SP	SP	SP

Table 7. The relevance between the wind speed and angle with the trend that wind speed is increases ($dS = PI$)

$dS = PI$	MB ₁	MB2	FB1	FB2	SB1	SB2	SB3
SA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
MA	RN	RN	RN	RN	RN	RN	RN
BA	RN	RN	RN	RN	RN	KP	KP
LA	RN	RN	KP	SP	SP	SP	SP
EA	KP	SP	SP	SP	SP	SP	SP

In the fuzzy inference, the maximum - minimum composition (MAX-MIN composition) and the Mamdani fuzzy inference algorithm (Mamdani Fuzzy Inference) have been adopted [15]. This approach was also used as criteria in the paper of decision support [16], and had a good result. The premise part uses “and” operation so as to achieve the minimum operational value, which is corresponding to the output of the (Run_Stop) membership functions. The output is used to execute the maximum operation and then obtain a final inference graph. The inference graph must get through defuzzification process to get a clear output which is used for the motor control system to determine when to start or stop. Here we use the centroid defuzzification method which is frequently used and seems to be reasonable. Equation (3) shows the corresponding calculation formula, where $\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)$ is the sum of the product of discrete values and the corresponding membership value, and $\sum_{i=1}^N \mu(y_i)$ the sum of the membership value.

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^N \mu(y_i)} \quad (3)$$

5. Simulations and Results

The fuzzy programming is employed to conduct simulations, where the input fuzzy variables “Speed” is for the wind speed, the input fuzzy variable “Angle” is for the wind direction angle, and the fuzzy membership value of “Run_Stop” is the discriminating factor for the operation of tracking system. Therefore, the input and output fuzzy set membership functions of fuzzy inference system can be set up and the rate of change of wind speed, which is positive or negative acceleration is also implicitly included in the calculation. Figure 6 is the cross section for the output value of defuzzification. When the wind direction angle (Angle) is fixed and the wind speed (Speed) is as independent variable, the vertical axis is the output decision value (i.e., Run_Stop is a function of Speed). Let's have a closer look at the cross section Angle = 0.6 in the Figure 6. The value is computed from the vertical component of the wind speed with an angle $\lambda = 53^\circ$ between the wind direction and the normal vector of the solar panel, that is $\theta = 37$ degree and $\sin\theta = 0.6$. While the value at vertical axis is greater than or equal to zero, the motor of the tracking system must be set to “stop” state. Conversely, when the value at vertical axis is less than zero, the motor of the tracking system must be in working condition.

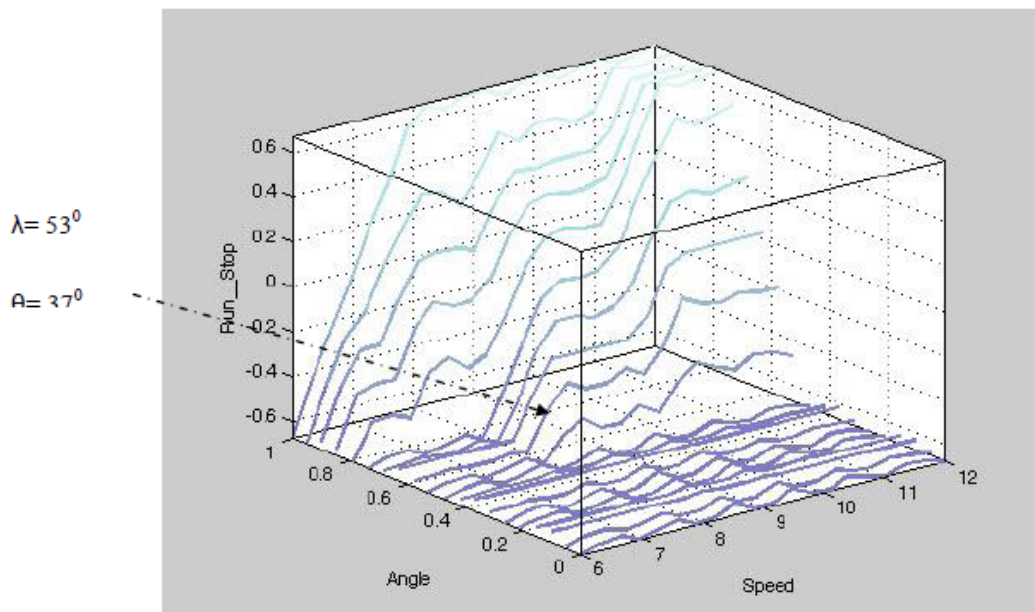


Figure 6. The cross sections (i.e., Angle is fixed) for the output value of defuzzification. (i.e., Run_Stop is a function of Speed)

Figure 7 is the output value of the longitudinal section. As the wind direction angle is fixed and the wind speed change rate which is positive or negative acceleration is as independent variable, (i.e., Run_Stop is a function of acceleration). The vertical axis is the output decision value (Run_Stop). Similarly, the determination of its vertical axis is similar to that of Figure 6.

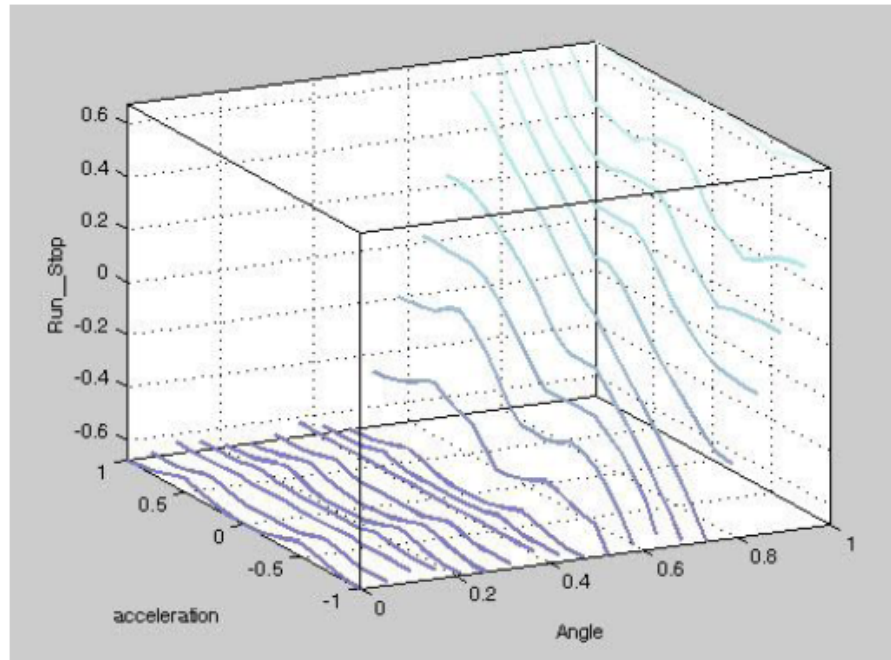


Figure 7. The longitudinal sections (i.e., Angle is fixed) for the output value of defuzzification. (i.e., Run_Stop is a function of acceleration)

Figure 8 is the 3D display of the fuzzy output value. The universe of discourse {6 ~ 12m/s} is used as an example to illustrate the range of the wind speed. When the wind speed and the direction angle are as independent variables, the vertical axis is the output decision value (Run_Stop). It is easily to indicate the discrimination from Figure 8. If the output value (Run_Stop) is less than 0, then the motor of tracking system is in the operation state. If the output value ≥ 0 , then the motor of tracking system should be in the stopped state. Let's look at an extreme case shown in figure 8 that when the wind direction angle λ is greater than 60 degree even if wind speed S is up to 12 m/sec, because the vertical component of the wind direction $\theta = (90-\lambda)$ is 6 m/s (i.e., $12 \times \sin 30^\circ$), the output value of defuzzification still falls inside the safety zone of "start" or "in operation" defined previously.

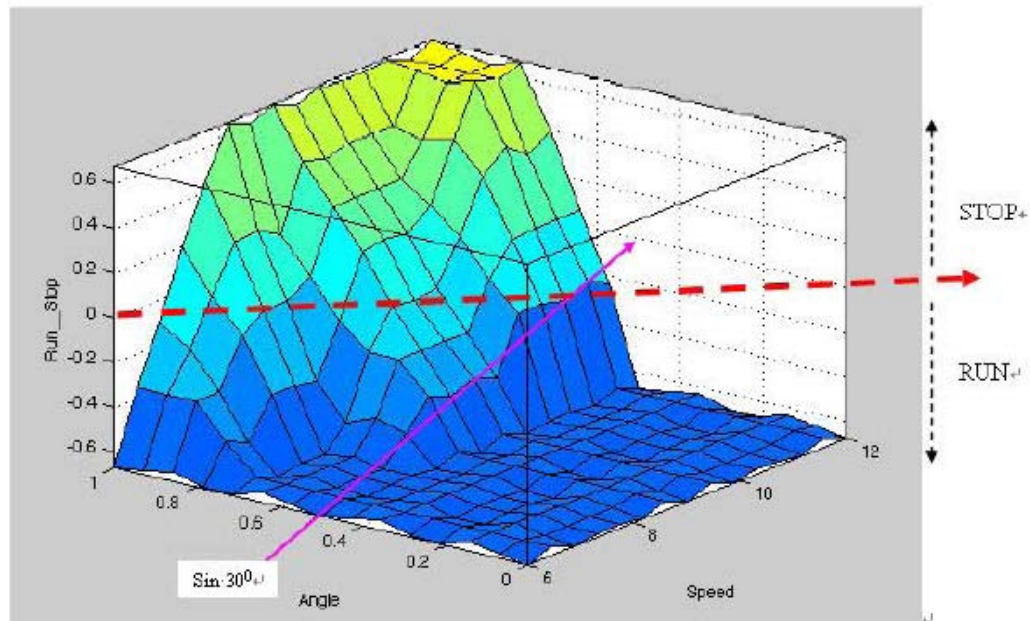


Figure 8. The 3D display of the fuzzy decision output value.

6. Conclusions

The size of array panels of HCPV is so big that the influence of gust on such an HCPV is very significant. In the beginning, the solar tracker is set to “stop” when the wind speed is greater than the critical point of K m/s. The purpose is to protect the normal function of the motor of the solar tracker from being damaged. But when the wind speed frequently crosses the critical point, there exists over-switching problem. In addition, that the “stop” operation due to simply considering the wind speed factor will reduce the working hours. For example, in the sunny summer days, because wind speed exceeds the critical point, HCPV must be stopped, which leads to the significant reduction of the total power generation performance.

In order to solve these problems, reduce the excessive mechanical response, increase HCPV working hours, and reduce the interference of weather factors, we have successfully applied the fuzzy inference system to enhance the efficiency of HCPV generation under wind speed variations. It can be clearly seen from the value of defuzzification in Figure 8 that even if wind speed is up to 12 m/sec (nearly twice the critical point value), because the vertical component of the wind speed is less than the critical point, the value of defuzzification still falls inside the running state ($Run_Stop < 0$). This data is used to control the timing of the operation of solar tracking devices so as to prevent the abnormal phenomenon of the motor’s back and forth movements between start and stop when wind speed is around the critical point. The goal is to protect the motor units, and at the same time it also can increase the working hours of HCPV to

enhance the total performance of the power generation. It can be obtained from experimental results shown in Figure 8 that the effectiveness is quite significant.

7. References

- [1] H. Lerchenmüller, A. Hakenjos, I. Heile, B. Burger, O. Stalter, "From FLATCON® Pilot Systems to the first Power Plant", 2007 International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Spain, pp 1-4.
- [2] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Information and Control*, vol. 8, 1965, pp338-353.
- [3] J. J. Buckley, "Fuzzy Hierarchical Analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17, 1985 pp.343-350.
- [4] Ching-Hsue Cheng, Don-Lin Mon, "Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence", *Fuzzy Sets and Systems* 56, 1993, pp.29-35.
- [5] Don-Lin Mon, Ching-Hsue Cheng, "Fuzzy system reliability analysis for components with different membership functions", *Fuzzy Sets and Systems* 64, 1994, pp.145-157.
- [6] S. H. Chen, C. L. Hwang, "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making", Springer-Verlag, New York, 1992.
- [7] D. Shmilovitz, "On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, Vol. 152, No. 2., 2005.
- [8] Abdulaziz M. S. Aldobhani, R. John, "Maximum Power Point Tracking of PV System Using ANFIS Prediction and Fuzzy Logic Tracking", 2008 Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol II, IMECS, pp.19-21.
- [9] A. B. G. Bahgat, N. H. Helwa, G. E. Ahmad, and E. T. El Shenawy, "Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks", *Renew. Energy*, vol. 30, 2005, 1257-1268.
- [10] Mummadi Veerachary, Tomonobu Senjyu and Katsumi Uezato, "Feedforward Maximum

- Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, VOL. 38, NO. 3, 2002, pp.969-981.
- [11] N. Patcharaprakiti, S. Premrudeepreechacham., "Maximum power point tracking using adaptive fuzzy logic control for grid-connected photovoltaic system", IEEE Power Engineering Winter Meeting. 2002, Vol. 1, pp.372 – 377.
- [12] A. Pandey, N. Dasgupta, A. K. Mukerjee, "A Simple Single-Sensor MPPT Solution", IEEE Trans. Power Electron, Volume 22, Issue 2, 2007, pp. 698 - 700.
- [13] Amenallah Damak, Abdessalem Guesmi and Abdelkader Mami, 2009, "Modeling and fuzzy control of a photovoltaic-assisted watering system", Journal of Engineering and Technology Research Vol.1 (1), 2009, pp.007-013.
- [14] I-Tao Lung, Cherng-Tsong Kuo, Hwa-Yuh Shin, Hwen-Fen Hong, Cheng-Dar Lee, and Tsung-Te Lin, "Establishment of One MW HCPV System at Taiwan", ISESCO Science and Technology Vision Vol. 6, No. 9, May 2010 pp.50-53.
- [15] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis", IEEE Trans. Comput., vol. C-26, no. 12, 1977, pp. 1182-1191.
- [16] Jin-Yinn Wang, Horng-Jyh Lin, Gwo-luh Lee, "Application of Fuzzy Decision in the Tracker Controller of Photovoltaic Arrays", 2010 Innovation Management Research and Application Conference, pp. 1-17. Abstract book on the page 129.