

模糊邏輯分類演算法於濾除雷達雜波之應用

王忠斌¹ Lester Kim M. Lagrimas² 林品芳³ 張保亮⁴ 方偉庭³

資拓宏宇國際股份有限公司¹ 菲律賓氣象局(PAGASA)²

中央氣象局衛星中心³ 中央氣象局資訊中心⁴

摘要

為確保氣象雷達資料應用的正確性，其資料品質控制(Quality Control)一直是雷達資料處理流程中最重要的一環，而要如何移除包含於天氣回波中之非天氣回波，如地形地物雜波、海面回波以及干擾回波等，則是雷達資料品質控制之最主要目標。近期，中央氣象局與菲律賓氣象局(PAGASA)共同合作發展一模糊邏輯(Fuzzy Logic)分類演算法，判斷雷達資料中雜波發生之可能性後再進行濾除程序。本研究現階段針對較能有效區分天氣回波與干擾回波/環狀雜波之特徵參數(Feature)，客觀統計干擾回波資料，以獲得和特徵參數相對應之隸屬函數(Membership Function)，並經權重組合計算雷達回波為干擾回波/環狀雜波之機率。透過個案測試，顯示此模糊邏輯分類演算法於移除干擾回波/環狀雜波後，仍能保留天氣回波。未來亦將針對不同雜波發生之特性，發展針對地面雜波與海面回波之模糊邏輯分類演算法濾除雜波，並運用至雷達監測系統中。

關鍵字：雷達資料品質控制、干擾回波、環狀雜波、模糊邏輯、特徵參數、頻率分布函數、隸屬函數

一、前言

在雷達觀測資料與應用中，資料品質控制一直是改善雷達定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimate)最重要的一環。雷達資料中觀測到的非氣象降水回波，可導致降水估計場的大量偏差，進而嚴重影響下游相關氣象與水文之研究與應用，因而發展能偵測並濾除非氣象降水回波之方法，對提升雷達資料之正確性，及運用至雷達定量降雨估計及預報或水文防災相關產品之準確度，能有相當程度之改善。本研究主要利用五分山氣象雷達(RCWF)之雷達資料發展模糊邏輯演算法以濾除非降水回波中之干擾回波，亦針對花蓮氣象雷達(RCHL)由於雷達故障所造成的環狀雜波，發展一可自動化進行雷達資料品質控制之模糊邏輯分類演算法。

二、資料與方法

一般雷達資料品質控制程序在判斷雷達資料是

否為天氣或非天氣回波時，通常以「全有」或「全無」之二分法，將資料保留或濾除。然而模糊邏輯演算法則利用由資料所得之頻率分布函數推演出隸屬函數，經權重計算符合條件之「發生機率」以決定保留或濾除資料。

〈一〉雷達資料

為建立模糊邏輯演算法所需之頻率分布函數，選取 114 筆 RCWF 第一層 0.5° 觀測仰角資料中之 2337 條較顯著干擾回波徑向資料作為干擾回波資料，以及 3 筆颱風天氣系統回波之 RCWF 第一層 0.5° 觀測仰角觀測資料作為非干擾回波資料(表 1a)；另選取 36 筆含有環狀雜波且無明顯天氣回波存在之 RCHL 第一層 0.5° 觀測仰角資料作為環狀雜波資料，以及 14 筆具大範圍天氣回波之 RCHL 第一層 0.5° 觀測仰角資料作為非環狀雜波資料(表 1b)。

〈二〉特徵參數與頻率分布函數

除本身亦作為特徵參數的回波值(Reflectivity)以外，其餘之特徵參數皆為由回波值衍生之計算結果。

特徵參數主要分為兩類，一類為進行徑向或方位角方向資料之全域判斷，為計算資料之整體特性以得特徵值，資料上各資料點若具相同特性則會具有相同的特徵值；另一類特徵參數則為判斷各資料點之局域特性，為計算其與鄰近資料點之差異性，依差異程度給予不同的特徵值。

依據徑向和方位角方向雷達觀測資料做全域判斷之特徵參數為 CRRad/CRAzi，計算徑向(方位角方向)資料之有效資料比例；ISR 則計算每一雷達波束之徑向資料與干擾回波理論公式擬合所得殘差之方均根。依據與鄰近資料點之差異性做局域判斷之特徵參數為 StdRd/StdAz，分別計算資料格點所在徑向(方位角方向)上鄰近格點內資料之標準差；RadGr/AziGr 為計算資料格點所在徑向(方位角方向)上鄰近格點內資料之梯度；RT 則為計算一給定區域範圍內各資料格點與相鄰資料格點之差異總合，表示資料之「雜亂度」；SPIN 為計算一給定區域範圍內各資料點與相鄰徑向資料格點之差異比例，表示資料在一定範圍以內之「粗糙度」；PAC 則為計算資料格點與其方位角方向上相鄰一定範圍內之資料格點相差小於 15dBZ 之比例，主要在偵測資料點與方位角相鄰資料格點之連續性與平滑度。

頻率分布函數(Frequency Distribution Function) 定義為針對任一個特徵參數 k ，當資料點屬於分類 s 時，資料點之特徵值為 $X_k = x$ 時之發生頻率，如下式表示(Berenguer et al. 2006)：

$$f_{k,s}(x) = \frac{n(X_k = x \cap \text{noise type} = s)}{n(\text{noise type} = s)}$$

其中 $n(X_k = x \cap \text{noise type} = s)$ 為資料中特徵值 $X_k = x$ 且屬於分類 s 之資料點數目， $n(\text{noise type} = s)$ 為資料中屬於分類 s 之資料點數目。圖 1 為 RCWF 雷達 2337 條干擾回波資料與 3 筆颱風天氣回波對應各特徵參數之頻率分布函數。(RCHL 雷達 36 筆環狀雜波資料與 14 筆大範圍天氣回波資料對應各特徵參數之頻率分布函數之圖未示)。

〈三〉條件機率函數與隸屬函數

對應任一個頻率分布函數，亦可計算當資料點之特徵值為 $X_k = x$ 時，屬於分類 s 之條件機率函數(Conditional Probability Function)，如下式表示

(Berenguer et al. 2006)：

$$p_{k,s}(x) = \frac{n(X_k = x \cap \text{noise type} = s)}{n(X_k = x)}$$

其中 $n(X_k = x)$ 為資料中特徵值 $X_k = x$ 之資料點數目。

圖 2 為 RCWF 雷達干擾回波於各特徵參數之條件機率函數。與前述 RCWF 各特徵參數之頻率分布函數(圖 1)一併觀之，干擾回波資料與氣象回波資料之回波值分布顯示有一定程度重疊，單純使用回波值並不易區別兩者，而干擾回波資料在方位角方向上具有低連續性、低覆蓋率及低標準差，徑向上之覆蓋率多落在 40% 上下、標準差偏低，粗糙度呈兩極分布，具高雜亂度，具低 ISR 值。同樣亦可得 RCHL 雷達環狀雜波於各特徵參數之條件機率函數(圖未示)。與 RCHL 各特徵參數之頻率分布函數一併觀之(圖未示)，環狀雜波資料之回波值在 10dBZ 以下有較高之出現可能性，在徑向與方位角方向上之覆蓋率呈兩極化分布、標準差偏低以及梯度較為平緩，方位角連續性偏低，粗糙度偏低。

由於條件機率函數為資料點在一給定特徵值 $X_k = x$ 條件下，屬於分類 s 之機率，因而隸屬函數之函數形式為相似於條件機率函數，可在所得條件機率函數之客觀基礎上，輔以氣象科學之主觀經驗修正，轉換得到分類 s 之可能發生機率 $L_{k,s}(x)$ 。而隸屬函數的主要型態有三角形、梯形、分段線性及高斯分布等，本研究採用分段線性決定隸屬函數。圖 3 為 RCWF 干擾回波由條件機率函數所得之隸屬函數。(對應 RCHL 環狀雜波之隸屬函數之圖未示。)

〈四〉模糊邏輯演算法

將雷達資料點進行計算得到特徵值 x_k 後，透過頻率分布函數所對應之隸屬函數轉換得到干擾回波發生機率值 $L_{k,s}(x_k)$ ，再經相對應權重 $W_{k,s}$ 累加得到資料點屬於分類 s 之機率值 (Y_s)：

$$Y_s = \frac{\sum_k L_{k,s}(x_k) \times W_{k,s}}{\sum_k W_{k,s}}$$

上式中權重之決定，主要為透過個案測試，主觀選擇能較佳偵測並濾除干擾回波/環狀雜波並保留天氣回波之權重。當累加之干擾回波/環狀雜波發生機率值 Y_s 高於 0.5 時，則將資料點視為干擾回波/環狀雜波並加

以濾除。RCWF 干擾回波模糊邏輯演算法所使用之權重組合標示於圖 3。(對應 RCHL 環狀雜波之權重組合之圖未示。)

三、 個案評估

本研究利用兩資料集進行模糊邏輯演算法之建立與評估，一為校正資料，即前述用來發展模糊邏輯演算法之 RCWF 與 RCHL 資料(表 1)；另一為驗證資料，主要選取 RCWF 與 RCHL 相異於校正資料集所使用之資料，另利用清泉崗雷達 RCCG、七股雷達 RCCG 與墾丁雷達 RCKT 之相似觀測個案進行驗證。本文中僅以以下四個案描述各個案之頻率分布函數、隸屬函數以及模糊邏輯演算法之表現能力。

(一) 合併有干擾回波與非干擾回波之驗證個案：**RCWF 2017 年 7 月 26 日 0820 UTC**。此由 RCWF 雷達所觀測之個案同時包含有明顯干擾回波與非干擾回波(地面雜波、午後對流胞等)(圖 4a)。由於午後對流胞相對於個案中之干擾回波在空間分布上有較高之方位角連續性、高粗糙度與低雜亂度，因此容易被特徵參數 PAC、SPIN 與 RT 與干擾回波區別，賦予較低之隸屬干擾回波之可能性，同時周圍干擾回波被賦於較高之隸屬干擾回波可能性。由於前述三者特徵參數所佔權重合計已達 55%，個案中干擾回波已被有效判定並移除，同時保留主要非干擾回波區域(圖 4b、圖 4c)。

(二) 合併有干擾回波與天氣回波之驗證個案：**RCKT 2018 年 6 月 17 日 0336 UTC**。此由 RCKT 雷達所觀測之第二仰角個案包含有干擾回波及鑲嵌其中之天氣回波(圖 5a)。雖然由於部分天氣回波在徑向上與干擾回波重疊，使得特徵參數 ISR 無法有效區別，但由於個案中天氣回波在方位角上相對於干擾回波有較高之覆蓋率、較高之連續性以及較低之雜亂度，輔以來自回波值以及徑向覆蓋率之隸屬干擾回波可能性之權重貢獻，干擾回波能被一定有效偵測並移除，並保留周圍天氣回波區域(圖 5b、圖 5c)。然而個案中位於 RCKT 雷達東北方之部分干擾回波區域，由於亦具有較高之方位角連續性以及低雜亂度，而未能被有效偵測移除。

(三) 合併有環狀雜波與天氣回波之驗證個案：

RCHL 2018 年 4 月 22 日 1314 UTC 資料。此 RCHL 觀測個案同時存在有環狀雜波及鑲嵌其中之天氣回波(圖 6a)。除了受環狀雜波之低徑向覆蓋率與高方位角覆蓋率判斷影響，而使與其重疊之天氣回波被偵測為環狀雜波，以及部分在方位角方向上有較高連續性之天氣回波區域有被偵測為環狀雜波之情形以外，各特徵參數皆能一定有效區別環狀雜波與天氣回波，因而所得之總和隸屬環狀雜波可能性可被定義(圖 6b)，而可有效移除環狀雜波，同時保留天氣回波(圖 6c)。

(四) 合併有環狀雜波與天氣回波之驗證個案：**RCCG 2018 年 6 月 13 日 0723 UTC 資料**。此由 RCCG 觀測之個案同時具有因雷達故障所引起之大範圍環狀雜波及鑲嵌其中之天氣回波(圖 7a)。由於環狀雜波相較於天氣回波具有較低徑向與方位角方向上之標準差與梯度，而能有相當程度的區分環狀雜波與天氣回波。而在與環狀雜波重疊之天氣回波區域，雖然由於受到環狀雜波之高方位角覆蓋率以及高方位角連續性而被錯誤偵測為環狀雜波，但因兩者特徵參數所佔之權重和為 15%，影響相對較小。而由於 RCCG 雷達故障所造成之環狀雜波之回波值與 RCHL 雷達故障所造成之環狀雜波之回波值兩者之統計差異，使得此 RCCG 個案在雷達最大觀測範圍附近之環狀雜波區域被賦於較低之隸屬環狀雜波可能性，同時由於回波值之權重達 20%，使得這些環狀雜波區域之總和隸屬環狀雜波可能性處於偵測邊緣 50% 以下而有所殘留(圖 7b、圖 7c)。

四、 結論

此研究為發展可偵測並移除 RCWF 雷達觀測資料中之干擾回波以及 RCHL 雷達觀測資料中之環狀雜波之模糊邏輯分類演算法。如第三節個案評估所示，所發展之模糊邏輯演算法，能有效偵測並移除大部分干擾回波/環狀雜波並保留天氣回波。然而對於含有在方位角方向上具較高連續性之干擾回波之雷達資料品質改善則較為有限。本研究中隸屬函數之權重決定為透過主觀判定具較佳執行結果之權重為其權重，未來藉由針對各雷達觀測資料進行權重之敏感度測試以決定較佳之權重分配，期能加強模糊邏輯演算法於分辨干擾回波或環狀雜波之能力，並能進一步將此發展方

法運用至分辨地形地物雜波與海面回波之雷達資料品質控制。

致謝

中央氣象局與菲律賓氣象局 PAGASA 因合作計畫 VOTE(Volcanos, Ocean, Typhoon, and Earthquake)共同發展模糊邏輯演算法以移除菲律賓雷達氣象回波中之干擾回波。本研究於 VOTE 計畫支助下完成。

參考文獻

Berenguer, M., D. Sempere-Torres, C. Corral, and R. Sánchez-Diezma, 2006: A fuzzy logic technique for identifying nonprecipitating echoes in radar scans. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **23**, 1157–1180.

表 1 建構模糊邏輯演算法所選取之雷達資料。

RCWF 雷達			RCHL 雷達					
干擾回波		非干擾回波	環狀雜波		非環狀雜波			
日期	資料筆數	干擾回波條數	日期	資料筆數	日期	資料筆數	日期	資料筆數
2018.05.06	20	410	2017.07.29	3	2018.04.18~20	6	2018.06.14	14
2018.05.13	25	90			2018.04.21~24	5		
2018.06.25	61	1786			2018.04.25~27	12		
2018.06.27	8	51			2018.04.28~29	13		
總計	114	2337	總計	3	總計	36	總計	14

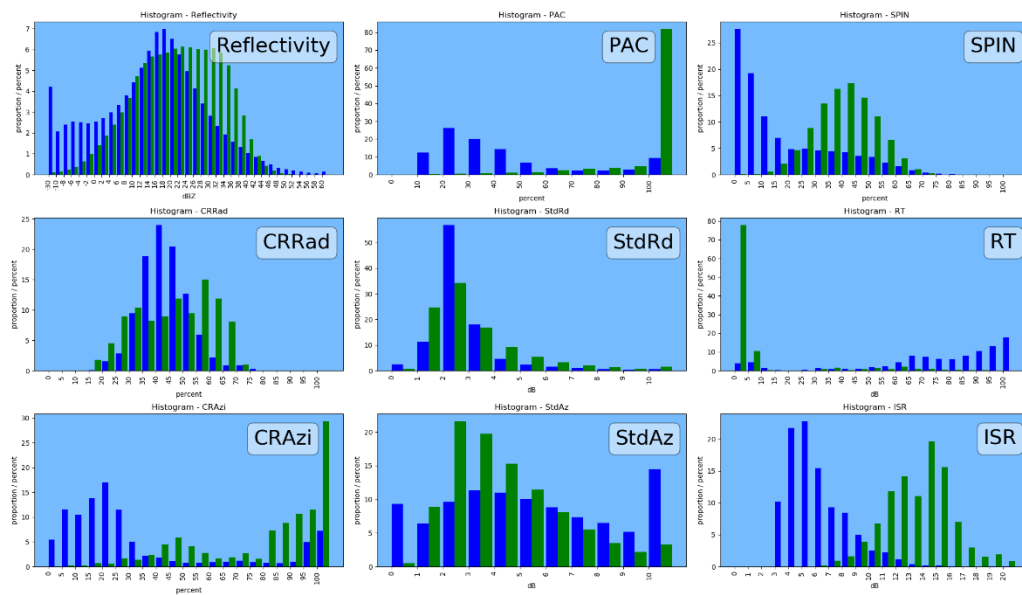


圖 1 RCWF 雷達干擾回波與非干擾回波之各特徵參數之頻率分布函數。藍色為干擾回波，綠色為非干擾回波。Y 軸為百分比，X 軸為特徵參數值，其中 Reflectivity 單位為 dBZ，RT、ISR 為 dB，其餘為 percent。

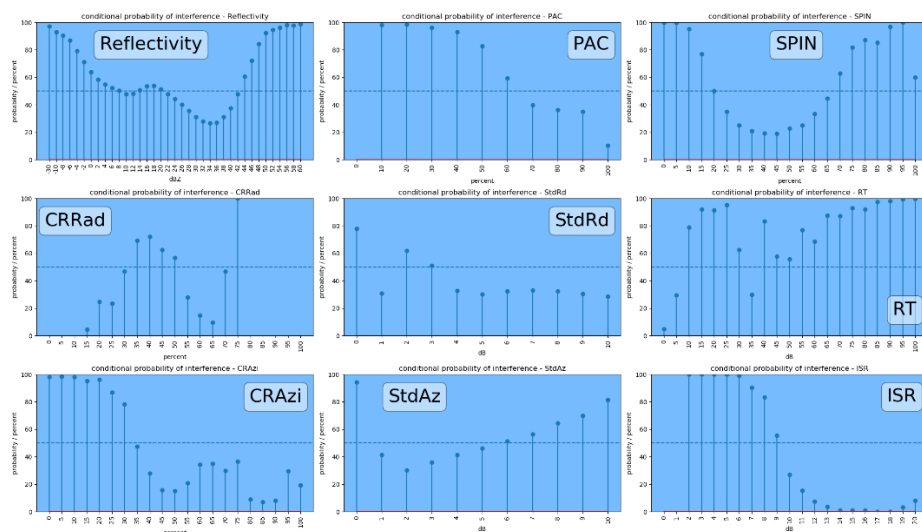


圖 2 RCWF 雷達干擾回波於各特徵參數之條件機率函數。各小圖之座標軸同圖 1。

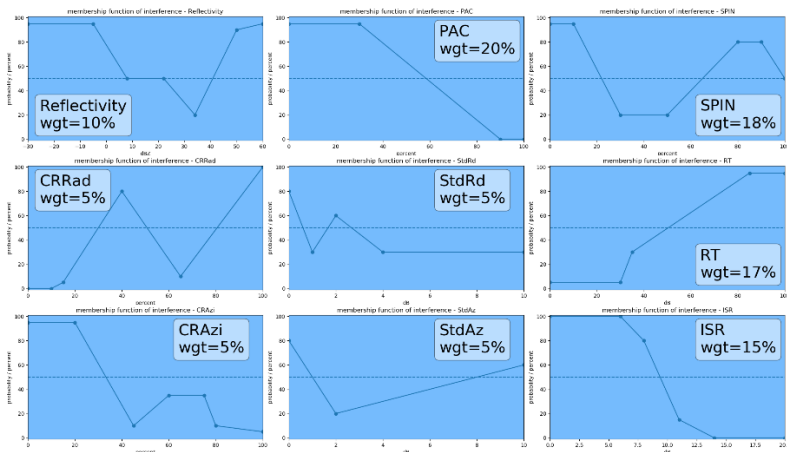


圖 3 RCWF 雷達干擾回波對應各特徵參數之隸屬函數。各小圖之座標軸同圖 1。

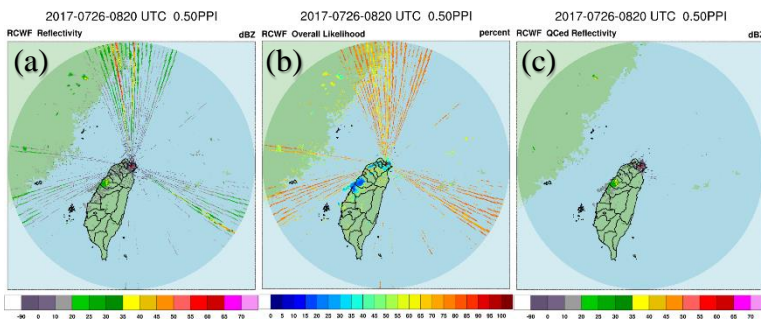


圖 4 合併有干擾回波與非干擾回波之 RCWF 2017 年 7 月 26 日 0820 UTC 之個案。(a)為 QC 前之回波場；(b)為經模糊邏輯演算法所得之隸屬干擾回波總和機率；(c)經模糊邏輯演算法 QC 所得之回波場。

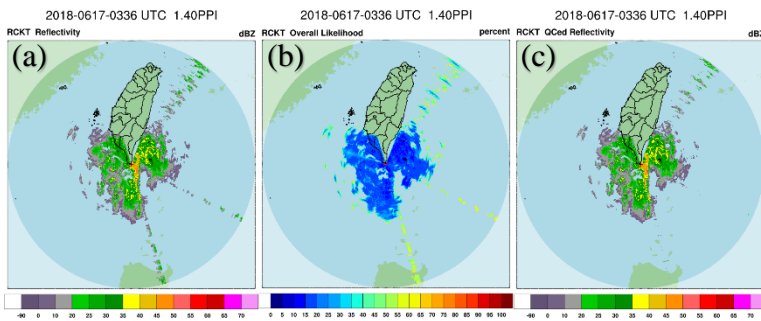


圖 5 同圖 4，但為合併有干擾回波與天氣回波之 RCKT 2018 年 6 月 17 日 0336 UTC 個案，且為第二層 1.4° 觀測仰角。

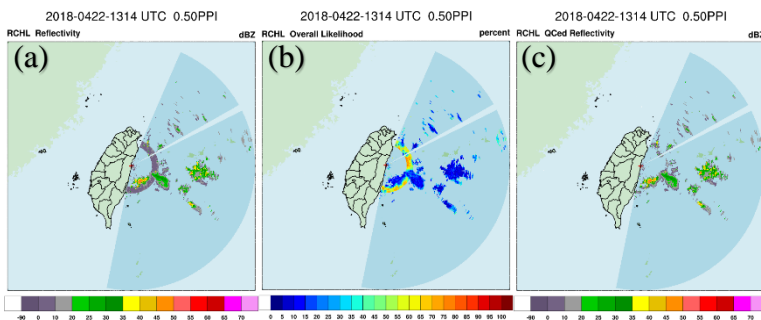


圖 6 同圖 4，但為合併有環狀雜波與天氣回波之 RCHL 2018 年 4 月 22 日 1314 UTC 個案。

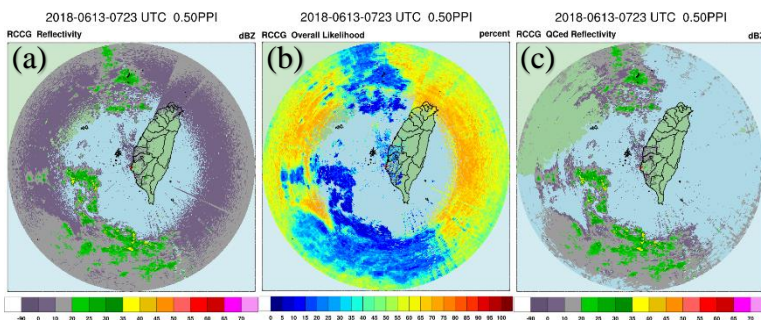


圖 7 同圖 4，但為合併有環狀雜波與天氣回波之 RCCG 2018 年 6 月 13 日 0723 UTC 個案。