

Reprint 1005

利用人工神經網絡對照 MTSAT 數據至雷達反射率的
一種強對流雲辨認方法

張永佳^{*}、張冰、林靜芝 & 蘇志權

第二十六屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2012 年 1 月 17-19 日

*香港中文大學

利用人工神經網絡對照 MTSAT 數據至 雷達反射率的一種強對流雲辨認方法

張永佳¹ 張冰² 林靜芝² 蘇志權²

¹ 香港中文大學 ² 香港天文台

摘要

天文台於 2010 年試行一套基於衛星的對流臨近預報系統。該系統利用 MTSAT 衛星 IR1 與 IR3 頻道的溫差閾值來辨認強對流雲。然而，與雷達回波的比對顯示該方法通常高估強對流活動，即達到閾值的雲團面積經常大於雷達探測到高反射率的區域。本文介紹一種利用人工神經網絡將衛星亮度溫度對照至雷達反射率的方法來辨認強對流雲。透過處理所選取位置上的 IR1、IR2 及 IR3 的像素值及其鄰近的像素值，利用該範圍內的雲頂溫度、高度、水汽含量、紋理組織等參數歸納出對應的雷達反射率。這方法的好處是輸出產品除可供預報員參考外，亦可直接套用於現時基於雷達反射率的對流監測及預報系統中。根據 2009 年及 2010 年 5 至 10 月的驗證結果，顯示人工神經網絡方法對辨認強對流雲的捕捉率及虛報率都比現有方法略為優勝。

1. 引言

香港天文台的航空氣象服務包括位於南海的香港飛行情報區的重要天氣預報，情報區的最南端離香港國際機場 600 公里以上，而天氣雷達覆蓋的範圍最遠只達 510 公里左右(圖一)。考慮到地球表面的曲率，實際有效探測的範圍其實不足 300 公里，故無法單用雷達監測香港飛行情報區南部的對流天氣活動。

現時客觀的處理方法是利用衛星 IR3-IR1 頻道溫差來作為強對流的判別指標(文獻[1])，供航空預報員參考。這個方法運算簡單，捕捉率亦高，但虛報情況較為嚴重。我們這項研究以 MTSAT 衛星的 IR1、IR2、IR3 三個頻道為數據來源，用這三個頻道導出多個參數，經回歸分析後得出雷達反射率。研究目的是希望可單用衛星數據來判別強對流，並輸出相對應的雷達反射率數據供預報員參考及改善自動化的衛星短時對流預報系統(文獻[2])，以彌補雷達南面覆蓋地域不足的問題。

以衛星探測對流活動或地面雨量的方法眾多，但效果不盡理想(文獻[5])。其關鍵在於衛星遙感和雷達遙感探測原理不同，以致所得結果的相互關係呈高度非線性。多層感知器(Multi-Layer Perceptron (MLP))是一種受監督的人工神經網絡演算法。它提供的非線性回歸模型無需預設任何函數式來進行擬合，故比普通回歸分析靈活得多。這項研究中我們採用了多層感知器以衛星識別對流。換言之，由衛星三個頻道數據導出的參數為多層感知器的輸入值，雷達的反射率為多層感知器的輸出值。

2. 人工神經網絡的設計

2.1 輸入參數

首先以框平均法(box averaging method) (文獻[6])預處理衛星的三個亮度溫度，以濾去產品中的問題數據。經處理後的圖像，取各像素的 IR1、IR2 及 IR3 值為首三個輸入參數。繼而考慮若干個不同大小的正方環（環的定義見圖二），以得出全部輸入參數。

IR1、IR2、IR3 的亮度溫度是雲頂溫度及水汽含量的基本指標，它們被取為主要參數。另一方面，263K 是判辨衛星雲圖上有沒有雲的普遍指標(文獻[5])。若像素的亮度溫度(IR1)超過 263K，便自動認定它為「沒有對流雨」。此外，代表月份的數字(1 至 12)亦作為額外輸入參數以區分不同季節對流層頂高度的差異。

由於我們所選取的衛星圖像中，每個像素的跨度大約相當於地面上的 4 公里。考慮到對流活動一般的空間尺度，共採用了五種不同大小的環。各環所提取的特徵參數不盡相同，但可分為最低亮溫，平均亮溫及亮溫標準差三種。各環的大小及選取參數列於表一。參數的挑選是基於以下考慮：

- (1) 最低值代表最高雲頂高度，可顯示上升氣流最大強度，用於分析對流峰值；
- (2) 平均值代表雲頂平均高度，用於顯示對流整體強度；
- (3) 標準差代表雲的局部紋理組織，可協助分辨雲種。

基於強對流系統內部有強上升氣流，使雲頂伸延至大氣對流層上部，從而觀察到較低的雲頂溫度(文獻[4]、[5])，雲頂溫度與雲頂高度成反比，並和對流雨量成負相關。即雲頂溫度越低，對流系統的降雨越多。因此我們用鄰近的最低亮溫來搜尋鄰近之最高雲頂。

表一內環內最低亮溫的用處是顯示中央像素至最高雲頂像素的距離。舉例說：如第二環的最低溫度是五個環之中最低，便可推論雲頂約在這個像素 28 至 40 公里處。而像素距離雲頂越遠，則該像素位置有強上升氣流的可能性越低，對流活動相對亦較弱。此外，最低溫度於五環內的趨勢可揭示雲頂周圍的溫度梯度。梯度大，該區下雨的可能性亦高。

集合上述所有輸入參數，多層感知器便可找出這些參數與雷達反射率的關係。

2.2 目標訊號

由於雷達與衛星掃瞄時間不同，且雲的生成和消散與雷達觀測到的回波生消具有時間差，我們因此考慮用了延伸雷達數據的實效時間，時間範圍為衛星觀測前三十分鐘至之後三十分鐘。雷達連續掃瞄圖像間相隔六分鐘，共綜合了十一張雷達圖像。

我們選用 42 dBZ(約相當於每小時 15 毫米雨量)反射率作為強對流的指標。在 MLP 的訓練過程中，最終輸出目標經以下方法得出：先對每個像素取一小時間隔內的最大反射率拼出中介圖像，再經過空間平均將雷達圖像(分辨率稍大於 1 公里)變換為和衛星一致的水平分辨率(約 4 公里)。中間的計算需將雷達數據(dBZ)轉換成雨量(mm/hr)，以便計算平均值。

利用以上方法，一小時內曾出現過的最大反射率都會囊括在內，確保人工網絡的學習過程中有足夠數量的「正面數據」(≥ 42 dBZ)，從而增加訓練效率。當對流系統在其生命史內移過某個區域，採用「一段時間內最大反射率方案」可收集更多有用的數據。

經這種目標數據進行訓練後，多層感知器可從衛星圖像辨認一小時內發生的對流活動。

3. 驗證結果

3.1 使用的數據

使用的數據包括 MTSAT 衛星每隔三小時的衛星圖及大帽山雷達每隔六分鐘的數據。訓練數據集為 2010 年全年。驗證數據集則為 2009 及 2010 年 5 月至 10 月的數據。

3.2 主觀個案比對

為讓預報員更好掌握新方法的技巧及特性，我們選取了一系列個案作主觀比對。個案的主觀評比閾值雷達選 42 dBZ（黃色或以上），多層感知器輸出（即估計的雷達的反射率）則選 25 dBZ（黃色或以上），IR3-IR1 選 1K（紅色）。比對區域為雷達 256 公里範圍。以雷達圖像為基準。比對結果以九方格圖像方式展示（圖三 - 圖七），分析結果如下：

（1）2010 年 6 月 14 日 20:30 UTC（圖三）

對流天氣與位於華南的一道低壓槽相關。多層感知器表現明顯超越 IR3-IR1 產品，多層感知器識別出所有強對流區域，同時將虛報率保持在較 IR3-IR1 產品為小的水平。

（2）2010 年 7 月 28 日 08:30 UTC（圖四）

強雷雨過程發生在深厚西風槽的槽前末端。雖然地面槽性弱，但中小尺度短波在低空西南急流區活動頻繁。雷暴外流邊界造成的切變線相遇及雷暴合併，加強雷雨發展。這中小尺度的天氣形勢配上向東緩慢移動的高空西風槽，促成這個個案的降雨持續及地區性

的特徵。縱然多層感知器虛報範圍較 IR3-IR1 產品為小，但範圍仍算大。若只考慮多層感知器的橙紅色範圍(≥ 27 dBZ)，它的表現便會大幅改善。警報閾值或應隨實際情況作出調較。對於發展成熟的準靜止中尺度雷雨區，其對流雲的邊界通常較清晰，對多層感知器的影響則表現為近邊界區域亮溫梯度大，造成標準差參數偏高，因而高估了雷達反射率。對於這類對流系統，可能需要採用較高的多層感知器閾值。

(3) 2010 年 8 月 5 日 11:30 UTC (圖五)

對流天氣發展與一個高空冷渦橫過中國東南部及在台灣附近的一個廣闊低壓區有關。多層感知器的虛報範圍明顯較小，橙紅色區域與雷達圖像中的強對流區域吻合，但與雷達瞬時圖像比對相差較大，這可能跟雷雨發展區的移動速度及強度持續有關。以實用度作考量，由於現時我們可以接收的衛星圖像至少每三十分鐘才更新一次，較之雷達，衛星產品應用於捕捉相對持續較長時間的重要對流事件。

(4) 2010 年 9 月 8 日 20:30 UTC (圖六)

對流天氣發展與一個高空冷渦移近中國東南部及在台灣附近的一個熱帶氣旋有關。IR3-IR1 產品高估對流雲團的範圍非常嚴重。多層感知器的描述明顯較為準確，有助顯示對流系統哪部分雨勢最大。

(5) 2010 年 9 月 10 日 14:30 UTC (圖七)

一個熱帶氣旋登陸福建後與中緯度西風槽相互作用，其西南部有條狀對流激發並向外擴展。在這個案中多層感知器及 IR3-IR1 產品的表現相若，同樣高估了強對流的範圍。

3.3. 客觀驗證結果

我們利用 2009 年及 2010 年 5 月至 10 月的數據作客觀驗證。兩者不同在於 2010 年的數據有用於訓練多層感知器，而 2009 年則在訓練數據以外。驗證時固定選取雷達反射率 42 dBZ 作為出現強對流的指標。辨識方面，多層感知器以 25 dBZ 為中位值，向上及向下調整閾值以求得對應的 POD、FAR 及 CSI。IR3-IR1 產品則取 1 K 為中位值調高及調低不同的閾值。

驗證結果用表現圖(Performance Diagram)上的兩條曲線顯示(圖八)。在表現圖上，滿分點位於右上方(1,1)位置。結果顯示多層感知器的表現稍勝於 IR3-IR1 產品。

4. 討論及總結

綜合主觀及客觀驗證結果，可見多層感知器算法比現用的 IR3-IR1 方法為佳，然而仍有改進的空間。以實際技巧來說，其 POD 約為 0.4，而 FAR 則達 0.8。

在不必要重新訓練多層感知器的前提下，一個可行的改良方案是為感知器的輸出作實時較正。因應最新雷達資料和多層感知器輸出值的實時驗證結果對閾值作動態調整。根據 2010 年 7 月 28 日個案，可透過實時驗證得知 27 dBZ 的輸出值能較好反映雷達 42 dBZ 的對流區，便可將多層感知器的強對流指標適當地調整。另外，預報員亦可經分析跟對流發展的天氣系統及機制，判別對流發展的可能持續性及移動狀況，例如對於準靜止的雷雨發展區，可運用稍高的閾值。

我們亦留意到在亮溫梯度大的地區，多層感知器輸出值的虛報通常偏大。這可能與該區域的亮溫標準差較高有關。未來的研究方

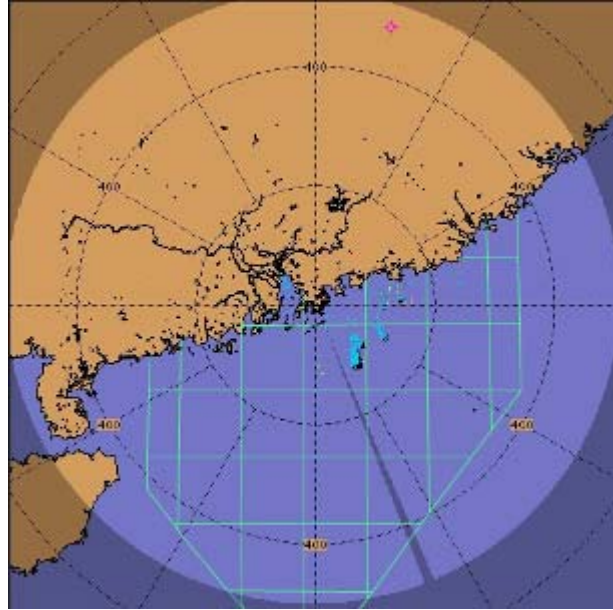
向可考慮除標準差外，引入更高階的統計參數如斜度及削度等，以提供更多關於雲頂紋理的資料來訓練多層感知器。

參考資料

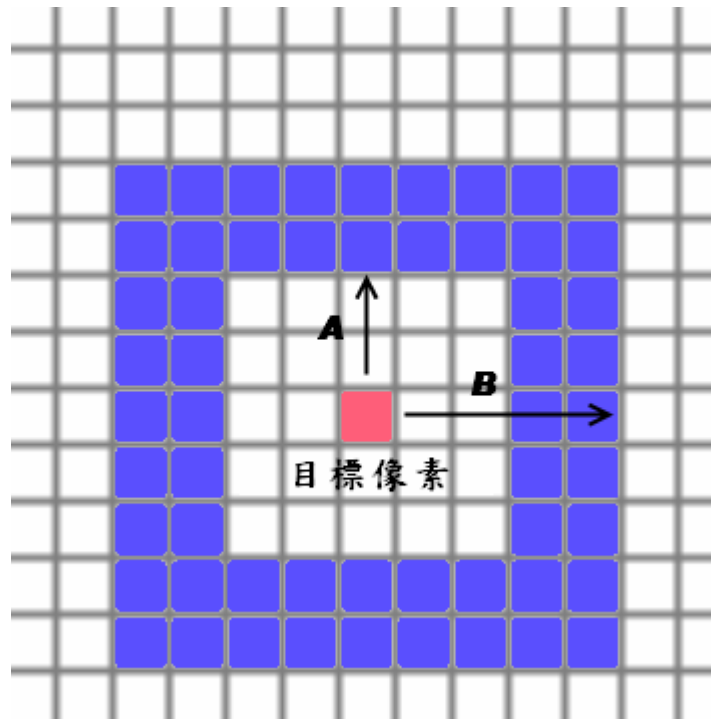
- [1] 蘇志權，2009：監測對流天氣的衛星產品。第 23 屆粵港澳氣象科技研討會，澳門，2009 年 2 月 18-20 日。
- [2] 張冰、林靜芝、吳家豪，2011：利用衛星影像自動追蹤強對流作超短期預報之用。第 25 屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2011 年 1 月 26-28 日。
- [3] Ebert, E.E., 1996: Results of the 3rd Algorithm Intercomparison Project of the Global Precipitation Climatology Project. BMRC Research Report No.55.
- [4] Hsu, K.L., Gao, X.G., 1997: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks. J. Appl. Meteor., 36, 1176-1190.
- [5] Hong, Y., K.L. Hsu,, and S. Sorooshian, 2004: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. J. Appl. Meteor., 43, 1834-1852.
- [6] Justin M., M. Lee, 2011: Nowcasting Convective Storm Initiation Using Satellite-Based Box-Averaged Cloud-Top Cooling and Cloud-Type Trends. J. Appl. Meteor., 50, 110-126.

以目標像素 為中心	內部距離	外部距離	所提取參數		
			最低溫度	平均值	標準差
一環	1	4	✓	✓	✓
二環	4	7	✓	✓	✓
三環	7	10	✓		
四環	10	14	✓		
五環	14	18	✓		

表一：環的大小及提取的特徵。內部距離及外部距離的定義請參閱圖二。

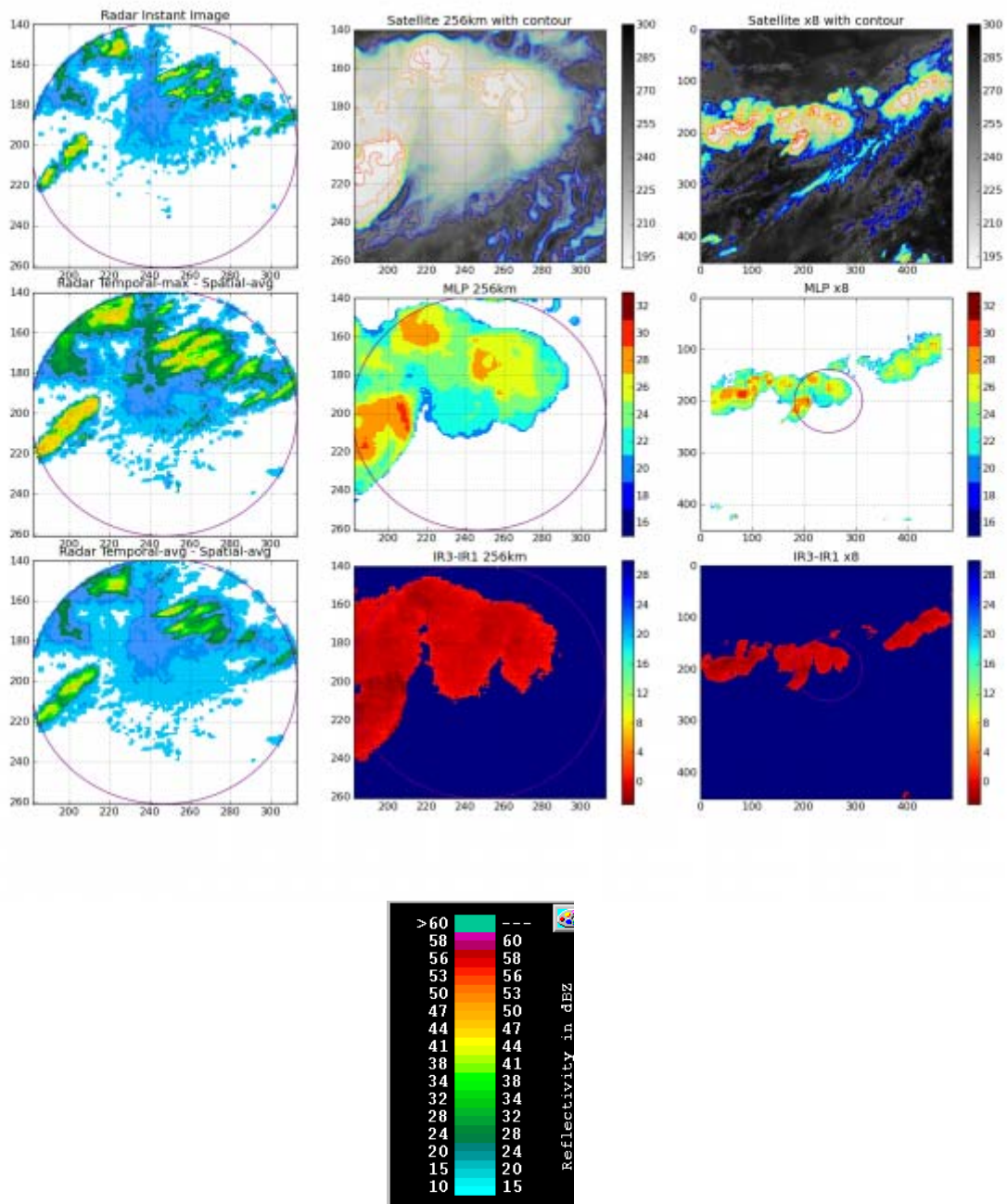


圖一：綠色格線代表香港飛行情報區，
亮色區則是雷達 512 公里範圍。



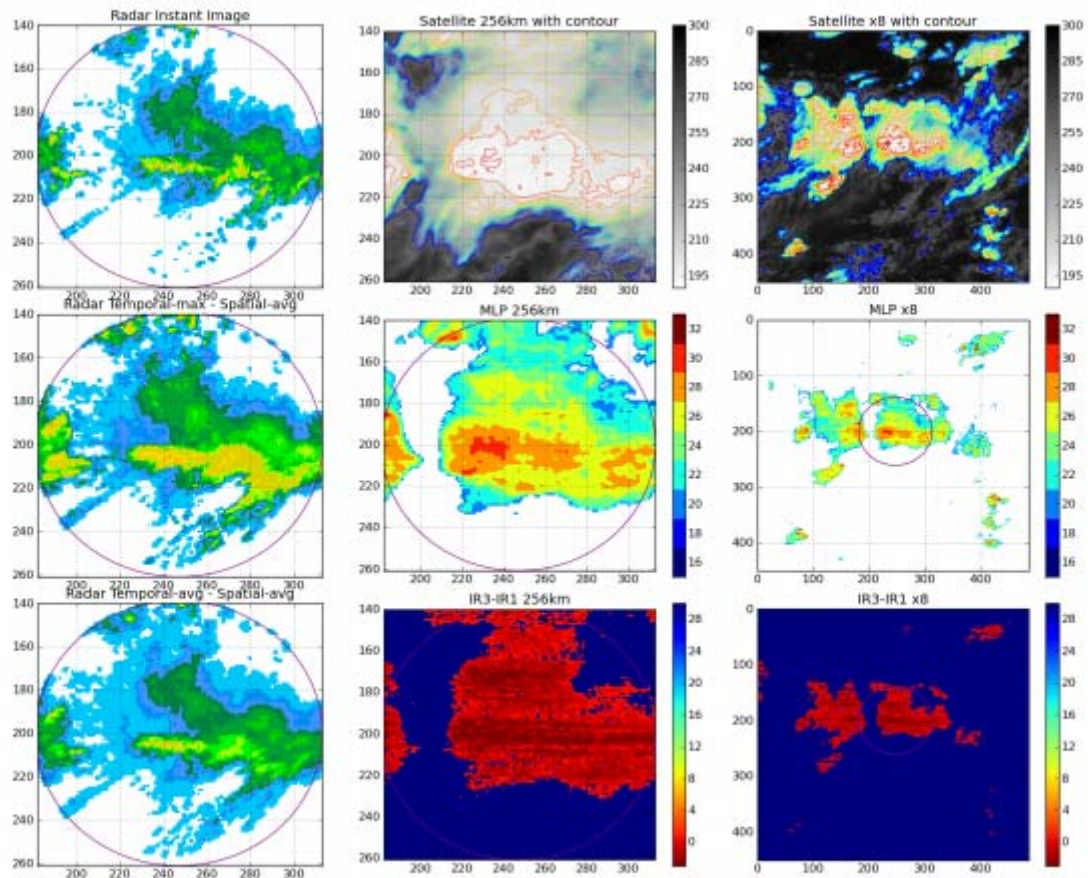
圖二：圍繞一個目標像素(target pixel)的正方環。A 為環內圈與目標像素的距離，稱為內部距離。B 為環外圈與目標像素的距離，稱為外部距離。

2010061420



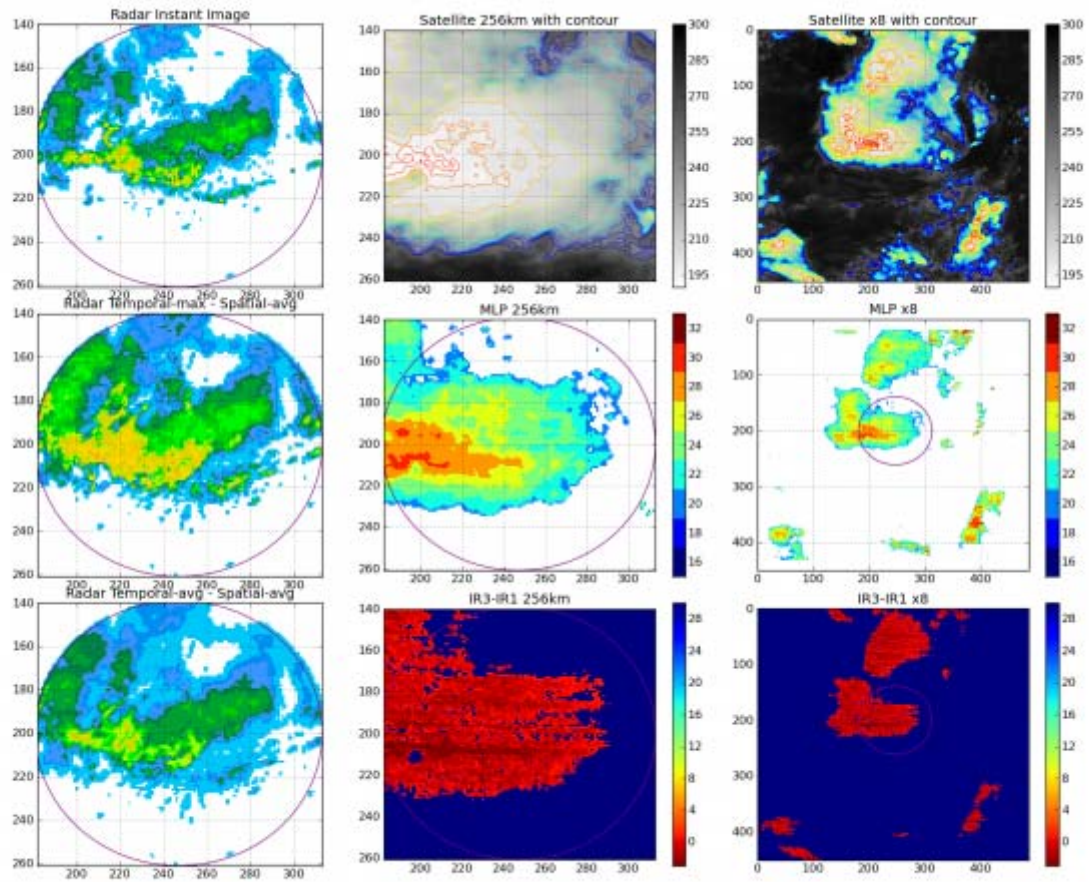
圖三：2010 年 6 月 14 日 20:30 UTC 個案的的圖像產品。左直行：左上方為「瞬時」雷達 256 公里反射率圖像，左中是用作訓練及驗證的一小時峰值圖，左下方是一小時雷達平均圖。中直行：正上方為衛星 IR1 圖，灰階代表不同亮溫，並疊加不同亮溫的等值線。正中為多層感知器的產品，數值代表雷達反射率，但繪圖用色板和實際雷達反射率色板有些分別(最下的小附圖為雷達反射率色板)。中行九格圖下方為 IR3-IR1 產品，紅色代表 IR3-IR1 等於或小於 1K。圓圈代表雷達 256 公里範圍。右直行：產品和中直行對應，但顯示的是衛星較大範圍(x 8M)。圓圈同樣代表雷達 256 公里範圍。

2010072808



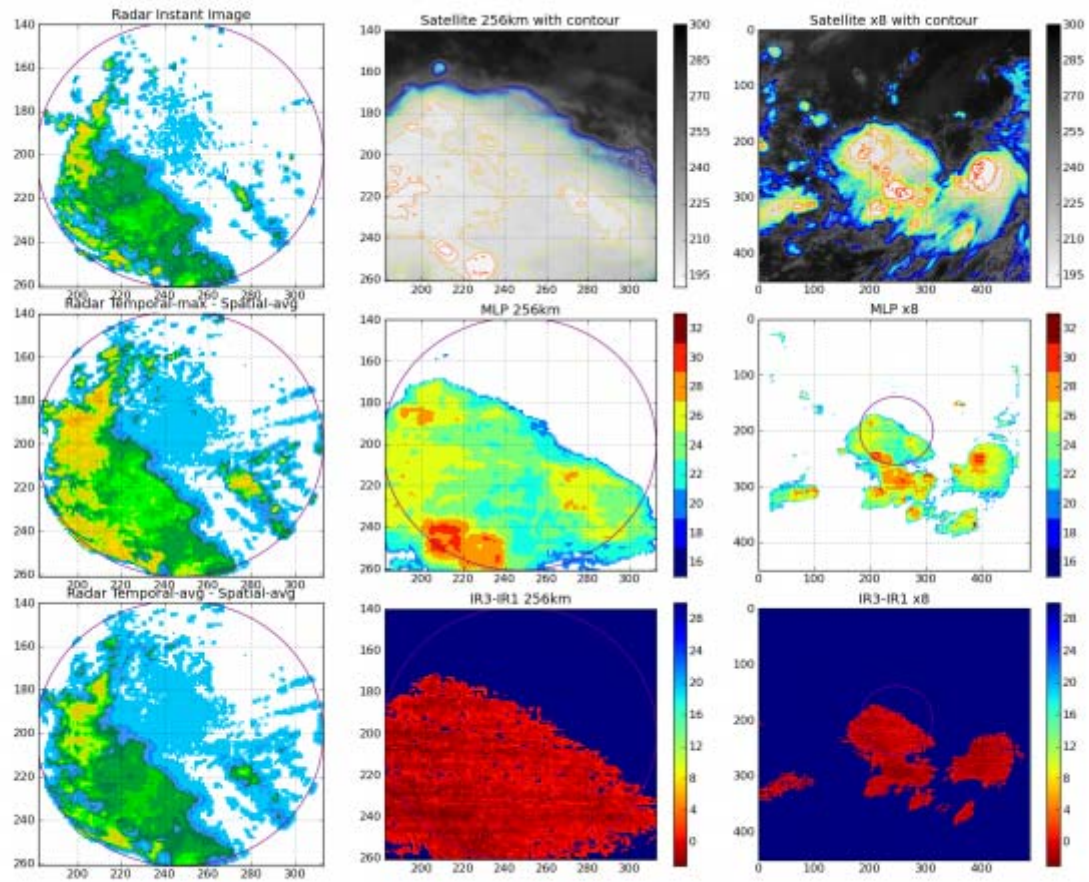
圖四： 九格圖解說同上，但展示 2010 年 7 月 28 日 08:30 UTC 個案的圖像產品。

2010080511



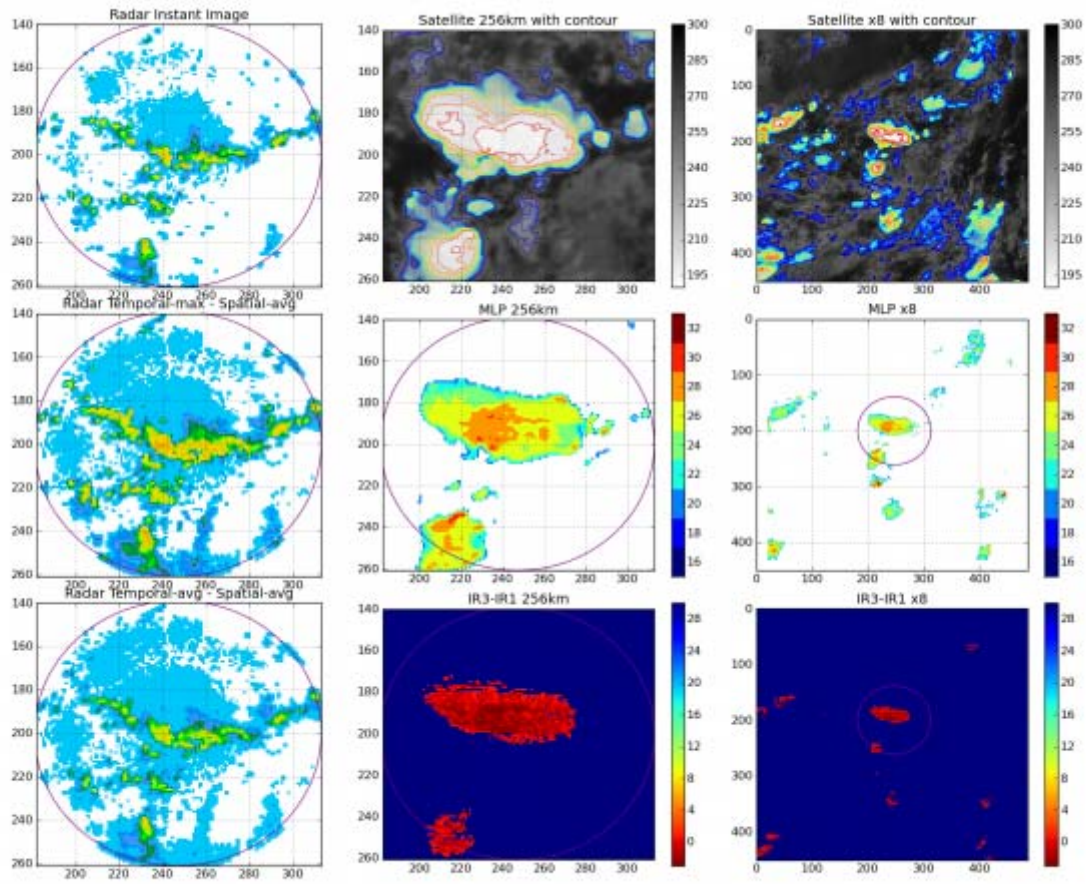
圖五：同上，但展示 2010 年 8 月 5 日 11:30 UTC 個案的圖像產品。

2010090820

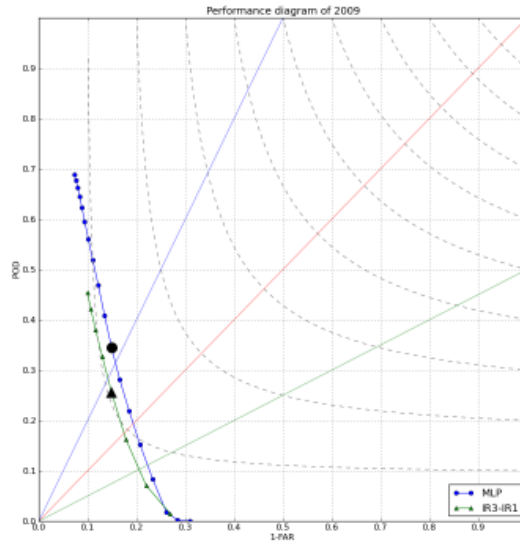


圖六：同上，但展示 2010 年 9 月 8 日 20:30 UTC 個案的圖像產品。

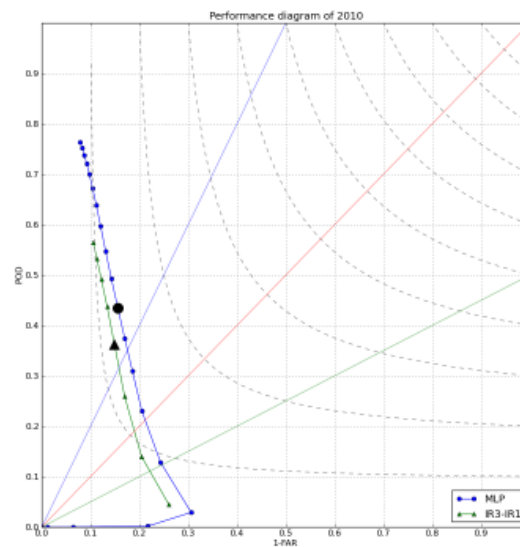
2010091014



圖七：同上，但展示 2010 年 9 月 10 日 14:30 UTC 個案的圖像產品。



2009 年 5 月至 10 月



2010 年 5 月至 10 月

圖八：驗證結果表現圖。縱軸為 POD，橫軸為 1-FARatio。虛線表示不同的 CSI 值，最下方為 0.1，以 0.1 為單位遞增。藍線為多層感知器的表現曲線。識別對流系統的不同閾值以圓點代表，大圓點表示的閾值為 25 dBZ。綠線為 IR3-IR1 產品的表現曲線。用來識別對流系統的不同閾值以三角形代表，大三角表示為現有 IR3-IR1 產品選定的閾值(< 1K)。