

# 民用航空局數值天氣預報作業系統

蒲金標 林慧娟  
民用航空局飛航服務總台  
台北市濱江街三六二號

## 摘要

民用航空局（以下簡稱民航局）目前正進行「航空氣象現代化作業系統」（Advanced Operational Aviation Weather System；AOAWS）計畫，計畫期程為民國八十七年七月至民國九十二年六月，共計五年。「氣象預報作業電腦化」為「航空氣象現代化作業系統」計畫之主要目標之一，其目的為建立台北飛航情報區中尺度數值模式預報作業，並將預報結果整合至多元化氣象產品顯示系統及網頁，以提供氣象人員（航空氣象中心、航空氣象觀測台）及非氣象人員（諮詢台、區管中心及透過網路使用的航空公司）航路天氣預報資訊。

由於氣象預報作業對時效性之要求，數值預報模式之建置必須考慮電腦計算容量、模式執行效率以及網路傳輸速度。為此，民航局甫於中央氣象局（以下簡稱氣象局）之 Fujitsu VPP5000 超級電腦上新增十個計算處理器以因應民用航空局航空氣象模式運算需求，並將模式依據該電腦之特性加以平行化及向量化以提高計算效率，此外，建置民航局至氣象局間之 T3 專線及資料傳輸網路，使模式預報結果可即時傳送至民用航空局之資料伺服器以進行後續產品製作與處理。

Pu and Wang (2000) 一文中對「航空氣象現代化作業系統」計畫有較完整之介紹，本文將著重於計畫中有關數值預報模式之建置與特性，包括電腦作業平台、模式特性及網路架構等。

**關鍵詞：**MM5

## 一、前言

氣象局於民國八十八年底啟用具有十五個處理器（Processing Element；PE）之 Fujitsu（富士通）VPP5000 系統。為因應民航局新建置數值預報系統之需求，民航局於九十年七月

於該系統再擴增十個處理器，其中兩個為輸入處理器（IO PE）。擴充後系統總處理器數目為二十五個，氣象局原有之 Primary PE 仍為系統擴充後之 Primary PE，所有使用者均登錄至 Primary PE，但藉由定義不同的 queue，以區隔民航局與氣象局之使用者以及作業與研究之執行優先順序。

Fujitsu VPP5000 具有向量處理（Vector Processing）及平行處理（Parallel Processing）能力，並為分散式記憶體架構（Distributed Memory System），每一顆處理器擁有其專屬的區域記憶體，各處理器間透過快速之內部交換網路（Crossbar）交換資料，內部交換網路為雙向傳輸結構，單向傳輸頻寬為 1600MB/s，雙向傳輸頻寬為 3200MB/s。每一處理器均具有向量單元（Vector Unit）及純量單元（Scalar Unit），向量單元執行績效最高值為 9.6 GFLOPS，具有四個向量處理管線（Pipeline），向量暫存器具有 128 KB 容量，並具有可變長度功能。純量處理單元為超長指令字元（Very Long Instruction Word；VLIW）精簡指令集（Reduced Instruction Set Computer；RISC）架構，每一時脈最高可執行四個指令，最大效能為 1.2 GFLOPS，具有二階層快取記憶體，第一階具有 128 KB，第二階具有 2 MB。Fujitsu VPP5000 系統最大處理器數目為 128 顆。

民航局現有系統其單一處理器之區域記憶體容量為 8 GB，十個處理器總記憶體容量為 80 GB。民航局現有系統磁碟機 108 GB 及 NOBLE 磁碟陣列 576 GB。二個輸出入處理器各自均具有 ATM 及 Ethernet 二種網路介面。

## 二、模式系統

民航局之航空氣象現代化計畫委託美國國家大氣科學研究中心（National Center for Atmospheric Science；NCAR）建置一套符合台灣地區使用之數值天氣預報作業系統，所採用之數值模式為 MM5（the 5<sup>th</sup> Generation Pennsylvania State University/NCAR Mesoscale Model；第五代中尺度數值模式），目前使用之版本為 V3.4。

### (一) 模式網格設計

網格架構為三層雙向巢狀 (two-way nesting) 網格，水平解析度分別為 135 公里、45 公里及 15 公里 (預計於民國九十一年再加入第四層 5 公里解析度網域)，水平網格點數分別為 67 點×81 點、100 點×100 點及 121 點×133 點 (未來第四層水平網格則為 184 點×130 點)，網格範圍如圖 1。垂直方向共 31 層為 Terrain-following  $\sigma$  座標。

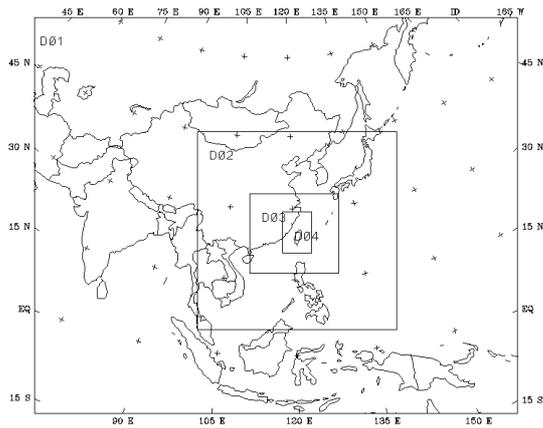


圖 1：AOAWS MM5 模式網格

### (二) 預報設計

第一層網格之預報長度為 48 小時，輸出每 3 小時預測值；第二層網格之預報長度 36 小時，輸出每 2 小時預測值；第三層網格之預報長度 24 小時，輸出每 1 小時預測值 (未來第四層網格之預報長度為 12 小時，輸出每 0.5 小時預測值，而積分 time step 則為 15 秒)。各網格積分之 time step 分別為 405 秒、135 秒及 45 秒，即第一層網格向前積分一次，第二層網格須向前積分三次，而第三層網格則須向前積分九次。

### (三) 初始資料

模式初始資料與邊界資料來自中央氣象局以 DMS (Data Management System) 格式儲存之全球模式分析與預報網格資料，再加入各式經氣象局處理過並以 FGGE (First GARP (Global Atmospheric Research Program) Global Experiment) 格式儲存之觀測資料 (如地面及船舶觀測資料、探空資料、衛星風場資料、飛機報告及機場地面觀測資料等) 以 multiquadric (Nuss and Titley, 1994) 法進行客觀分析，每次處理之觀測資料數目約有數千筆。圖 2 為第一層網格地面層及 100 hPa 氣壓層之觀測資料數目。

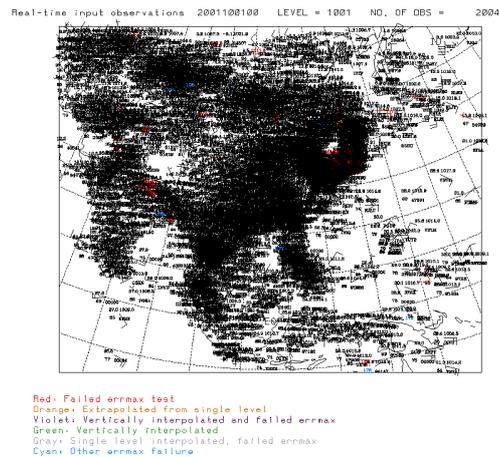


圖 2a：第一層網格地面觀測資料

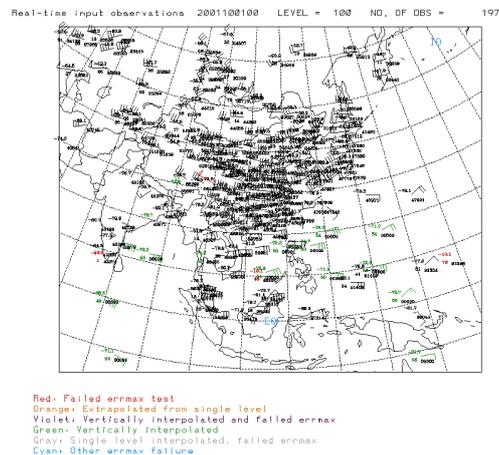


圖 2b：第一層網格 100 hPa 觀測資料

### (四) 日常作業

模式作業目前於 Fujitsu VPP5000 之八個處理器運作，每日執行四次，分別是以 0000UTC、0600UTC、1200UTC、1800UTC 為初始時間之預報，每次預報約可於 70 至 80 分鐘之內完成。

模式作業主要分三個部份，(1) 前置資料處理 (Preprocessing)：將全球網格資料水平內插至 AOAWS MM5 網格，加入觀測資料進行客觀分析後，再由 P 座標垂直內插至模式之  $\sigma$  座標、(2) 模式計算積分及 (3) 後置資料處理 (Postprocessing)：將模式預報結果以 NCAR Graphics 繪圖軟體產生 CGM (Computer Graphics Metafile) 格式之圖形檔，再轉換為 PNG (Portable Network Graphics) 格式之檔案以供網頁顯示，其中包含第一層網格圖檔 720 張、第二層網格圖檔 560 張、第三層網格圖檔

720 張以及第四層網格圖檔 720 張。前置與後置處理之程式為 serial code，但經由三層網格分別指定於不同處理器上執行以達到平行作業的效果。前置處理部份約需 5 至 15 分鐘，後置處理部份由於產生大量之 I/O，使執行速度略受影響，約需 30 分鐘。模式積分於八個處理器上執行約需 35 分鐘。至於模式計算之平行化與效能將於下節中進一步說明。

### 三、MM5 模式之平行化與向量化

MM5 原主要是於共享式記憶體 (Shared-memory) 架構之電腦上所發展，由於 MM5 為屬 public domain 之模式，其於世界各地之使用者相當多，隨著分散式記憶體架構電腦之日漸普遍，為使模式易於維護並可於各類型之電腦平台上執行，自 1998 年開始，NCAR 採用美國 Argonne National Laboratory 所發展的 FLIC (Fortran Loop and Index Converter) 及 RSL (Runtime System Library) 的技術，使原有程式的只需小部份之修改後，不同電腦平台之使用者均取得同一 source code，而平行系統使用者則透過 FLIC 與 RSL 編譯程式後，產生 MPI (Message Passing Interface) 語言之執行檔即可進行平行計算。

此外，Fujitsu VPP5000 之一個主要特點為具向量計算之能力，為進一步改進程式執行效率，再針對模式中幾個主要物理計算模組 (即計算費時較多之模組)，修改其部份程式寫法以增加向量長度 (vector length) 或提昇速度，主要修改原則為 (1) 調整迴圈架構 (2) 提高陣列變數之維度 (3) Inlining 以減少呼叫副程式之 overhead (4) 將 (I, J) 二維陣列合併為 I\*J 之一維陣列以增加向量長度。

模式積分部份 (含輸出資料) 於不同數目 PE 之測試結果以 timex 指令所得之時間如表一：

	2 PEs	4 PEs	6 PEs	8 PEs	10 PEs
real	52:05.57	29:08.13	20:44.78	16:12.51	13:36.37
user	1:42:47.09	1:55:58.71	2:03:51.84	2:09:01.39	2:14:58.57
system	15.55	5.76	6.11	6.30	7.97
vu-user	58:14.52	58:50.39	59:48.56	1:00:43.21	1:01:36.20
加速	1.00	1.79	2.51	3.21	3.83
效率	100.00%	89.50%	83.67%	80.25%	76.60%

表 1: AOAWS MM5 於不同處理器數目執行所需之時間及加速率。

### 四、資料傳輸與顯示

#### (一) 網路架構

由於氣象局及民航局均有嚴格之網路安全標準，資料欲由氣象局傳輸至民航局必須經過重重關卡。VPP5000 經由 ATM (傳輸速率：155.52 Mbps) 於氣象局 Intranet 之資料伺服器，經由 Ethernet (傳輸速率：100 Mbps) 於氣象局 Extranet 之資料伺服器，最後才透過 T3 專線 (傳輸速率：44.736 Mbps) 於民航局總台氣象中心 Intranet 之資料伺服器。另外尚有一條 T1 專線 (傳輸速率：1.544 Mbps) 為 T3 專線之備援線路。

除了由氣象局傳輸模式資料至民航局氣象中心之網路，經由民航局總台氣象中心再處理之航空氣象資料必須再傳輸至各下游單位，包括位於台北、桃園及高雄等航空氣象觀測單位、飛航資訊諮詢單位及航管單位，共十一處。為配合各單位不同之網路環境及資料量需求，所採用之網路傳輸技術包括光纖、256K 專線、256K 微波、T1 專線、T3 專線、ISDN (Integrated Services Digital Network) 及 Ethernet。網路連線示意圖如圖 3 所示，可見網路之複雜度。

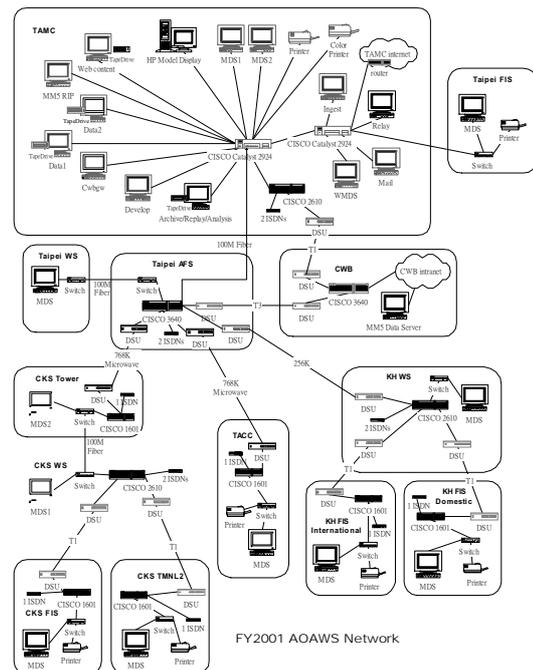


圖 3：AOAWS 網路示意圖

#### (二) 資料量

模式各層輸出之網格資料量為分別為第一層網格：每筆資料大小為 8,268,864 bytes，共 17 筆；第二層網格：每筆資料大小為 15,128,364 bytes，共 19 筆；第三層網格：每筆資料大小為 24,267,864 bytes，共 25 筆。每筆資料約於 2 至 3 分鐘之內可由 VPP5000 傳送至民航局總台氣象中心。由於模式換言之，於 2 分鐘內可將約 1 GB 之資料傳輸完畢。而

近三千張圖檔則以 tar 方式包裝為一個.tar 檔案，大小約 110 MB。

### (三) 產品顯示

模式產品以網頁方式呈現，如圖 4，其網址為 <http://wmfs.aoaws.caa.gov.tw/~mm5caa>。網站上保留過去三天之預報圖檔。

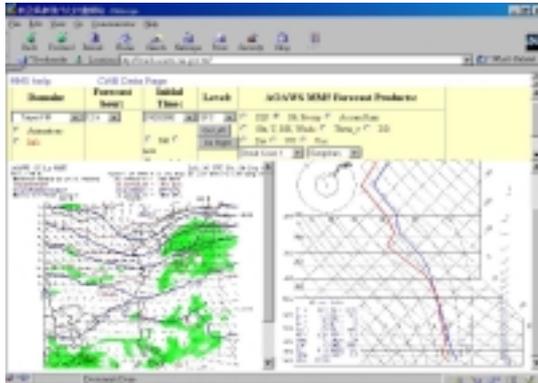


圖 4：AOAWS MM5 產品顯示網頁

至於整合之航空氣象產品則於安裝 CIDD (Configurable Interactive Data Display) 軟體之顯示工作站 (如圖 5) 或是以網頁方式顯示 (如圖 6)，其網址為 <http://wmfs.aoaws.caa.gov.tw>，目前該網站僅提供民航局暨所屬各單位、各航空公司及軍方所屬氣象服務單位，申請帳號及密碼後免費使用測試。



圖 5：AOAWS 之多元化產品顯示工作站

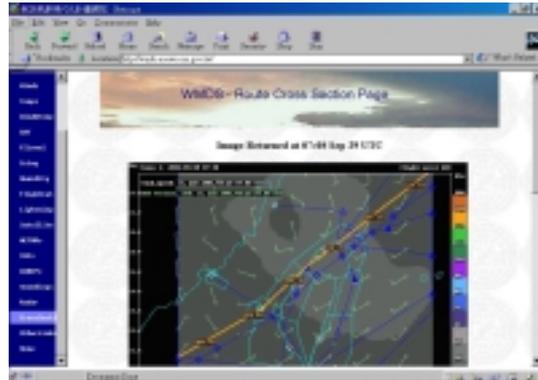


圖 6：AOAWS 之多元化網頁產品顯示系統

## 六、致謝

特別感謝中央氣象局於民航局數值天氣預報系統建置之大力協助，包括電腦資源之提供及技術諮詢與支援。

## 七、參考文獻

- [1] Pu C.-P. and T.-A. Wang, 2000: The Advanced Operation Aviation Weather System (AOAWS) in Taiwan. Preprints, Ninth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Orlando, FL., September, 2000.