

卡門濾波資料融合應用於百米風速預報之評估

王惠民¹ 黃麗玫¹ 馮智勇² 陳奕翰² 任俊儒¹³ 陳文軒¹³

中央氣象局科技中心¹ 多采科技有限公司² 資拓宏宇國際股份有限公司³

摘要

本文使用 2020 年 3 月至 6 月多種模式 100 米處風速預報資料，採用卡門濾波(Kalman filter)進行資料融合(data fusion)，並使用 WRF(Weather Research and Forecasting model;簡稱 WRF)3 公里解析度分析場之百米風資料作為預報校驗之真值(true value)作校驗，以評估其應用於百米風預報之可行性。

校驗結果顯示，整體而言，對所有預報時段平均之百米風預報平均絕對誤差，在 3 至 6 月期間，卡門濾波融合性預報在 4 個風力潛力區都是最小，這說明此方法應能擷取不同模式預報產品之優點，整合出一個預報表現更佳之產品供預報參考。

關鍵詞: 校驗、風速預報

一、前言

近日風力發電已成為綠色能源重要課題之一。由於，風能與風速的三次方成正比(陳，2017)。所以，風速預報誤差的資訊，對風力發電評估便有重要的影響。目前，中央氣象局綠能營運中心，百米風的預報產品計有7種之多，對於風能發電電力調度的參考，需確認1個具有代表性的預報產品，以提昇產品使用上之效能。因此，尋找測試1個能擷取目前各個模式百米風預報產品優點，整合出預報表現能優於目前產品的方法，即是當前需進行的工作。

卡門濾波資料融合應用領域相當廣泛，除氣象領域(劉，2018)外，駕駛輔助系統與自駕車(廖，2018)及目標追蹤(謝，2011)領域也多有應用。本文使用此方法，將本局提供百米風預報的7種模式預報產品進行資料融合，並比較融合後的預報產品百米風之預報誤差與現有7種模式預報產品之預報誤差，以評估其應用於百米風預報之可行性。由於，風機設置地點大都分布在臺灣西部沿岸及近海。因此，預報校驗分析亦將著重於上述區域。

二、資料及應用方法

本研究使用氣中央象局提供的 WRF、GFS(Global Forecast System；簡稱 GFS)、以動力降尺度技術產製之 WRF 中尺度動力降尺度系統(Meso-scale Dynamic Downscaling System; 簡稱 MDWRF)、NCEP(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)中尺度動力降尺度系統(簡稱 MDNCEP)，GFS 以統計後處理技術誤差衰退平均法(Decaying Average, DCA)產製之 DCAGFS(簡稱)，GFS 及 WRF 以動態模式輸出統計法(Dynamic Model Output Statistics, DMOS)產製之 DMOGFS(簡稱)及 DMOWRF(簡稱)等的 100 米處風速預報資料，總共有 7 種預報來源，而真實場則採用 WRF 的分析場。其中，WRF 及 DMOWRF 為 3 公里解析度、中尺度動力降尺度系統系列的解析度為 2 公里之外，其餘模式為 25 公里。考量模式於不同格點、不同預報時間應有其優劣差異，是故以卡門濾波逐格點、逐預報時間進行多模式融合預報，以整合為預報能力更佳之產品。

卡門濾波的原理是利用預報資料過去的誤差表現進行權重組合，得到誤差最小的整合預報。假設對應相同 t 時間之觀測(O_t)與預報(F_t)均存在不確定性(亦即視觀測也為一種預報來源)，可推導最佳估計值(KF_t)為兩者權重組合。其中，權重係數由兩者的估計不確定性 σ_t^f 和 σ_t^o 所組成。

$$KF_t = \frac{(\sigma_i^o)^2}{(\sigma_i^f)^2 + (\sigma_i^o)^2} F_t + \frac{(\sigma_i^f)^2}{(\sigma_i^f)^2 + (\sigma_i^o)^2} O_t \quad (1)$$

當預報來源不只兩種時，可令 N 為預報來源數量而推廣成(2)式。本研究採 N 為 7。

$$KF_t = \sum_{j=1}^N \frac{\frac{1}{\sigma_j^2}}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)} F_{t,j} \quad (2)$$

假設各預報來源的估計誤差可由平均誤差加以代表，利用時間序列移動平均動態計算而得。假設觀測值(或分析場)序列為 A_1, A_2, \dots, A_t ，同時的第 j 種預報估計值序列為 $F_{1,j}, F_{2,j}, \dots, F_{t,j}$ ，估計誤差序列為 $D_{i,j} = F_{i,j} - A_i$ ， $i = 1, 2, \dots, t$ ，則第 j 種預報來源之估計誤差平均值 $\overline{D_{t,j}}$ 可動態計算而得：

$$\overline{D_{t,j}} = \overline{D_{t-1,j}} \cdot (1 - \omega) + D_{t,j} \cdot \omega \quad (3)$$

式(3)中 $\overline{D_{0,j}}$ 為 0，而 $\omega = 0.06$ ，代表加權近期約 15 天的誤差影響。計算時，令 $\overline{D_{t,j}}^2 = \sigma_{t,j}^2$ 代入(2)式。

三、結果分析

圖 1(a)顯示，在北部離岸及西部沿岸大部份地區，MDWRF 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報，而中部及南部離岸則低於卡門濾波融合預報。圖 1(b)顯示，西部沿岸及南部離岸 MDWRF 百米風預報之平均絕對誤差是高於卡門濾波融合預報，而北部及中部離岸部份地區，MDWRF 百米風預報之平均絕對誤差低於卡門濾波融合預報。圖 1(a)至圖 1(b)顯示 MDWRF 百米風預報表現，在季節(3-4 月春季、5-6 月梅雨季)上是有些差異。

圖 2(a)顯示，除了在西部沿岸外，在西部離岸大部份地區，MDNCEP 百米風預報之平均絕對誤差低於卡門濾波融合預報。圖 2(b)顯示，中部及南部離岸，MDNCEP 百米風預報之平均絕對誤差低於卡門濾波融合預報，而北部離岸及西部沿岸大部份地區，MDNCEP 百米風預報之平均絕對誤差是高於卡門濾波融合預報。圖 2(a)至圖 2(b)顯

示 MDNCEP 百米風預報表現，在季節上也存在一些差異。

圖 3(a)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，WRF 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 3(b)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，WRF 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 3(a)至圖 3(b)顯示 WRF 百米風預報表現，在季節上較無差異。

圖 4(a)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，GFS 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 4(b)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，GFS 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 4(a)至圖 4(b)顯示 GFS 百米風預報表現，在季節上較無差異。

圖 5(a)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，DMOWRF 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 5(b)顯示，在西部沿岸及離岸大部份地區，DMOWRF 百米風預報之平均絕對誤差高於卡門濾波融合預報。圖 5(a)至圖 5(b)顯示 DMOWRF 百米風預報表現，在季節上較無差異。圖 6 中方框處為大部份風機所在之風能潛力區。

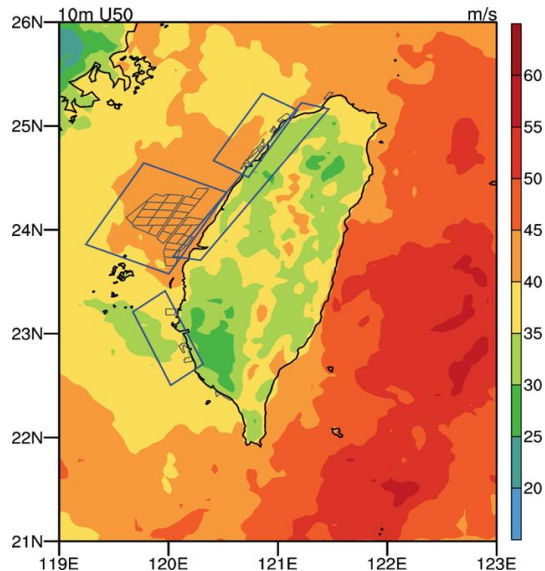


圖 6 臺灣西部 4 個風能潛力區(方框處)。

圖 7 顯示(a)(缺 DCAGFS 及 DMOGFS 模式預報產品)，3-4 月卡門濾波融合預報在臺灣西部 4 個風能潛力區，對所有預報時段(逐 6 小時預報至

84 小時預報)而言，其百米風預報之平均絕對誤差大都是最低；同時，圖 7(b)顯示，在 5-6 月的預報表現與 3-4 月一致。這說明卡門濾波百米風融合預報的表現，整體而言是優於現有的 7 種模式百米風預報產品。

表一是臺灣西部 4 個風能潛力區 2020 年 3-4 月及 5-6 月各模式 00 UTC 6-84 小時(逐 6 小時)百米風預報之平均絕對誤差平均，其中 3-4 月缺 DCAGFS 及 DMOGFS 模式預報產品。在 3-4 月各模式在臺灣西部 4 個風能潛力區，6-84 小時百米風預報之平均絕對誤差平均，以卡門濾波融合預報最低，而 MDWRF 在西部沿岸及南部離岸次低，MDNCEP 在北部及中部離岸次低；GFS 除了在北部離岸外，其餘 3 個風能潛力區都是最高。在 5-6 月期間，各模式在臺灣西部 4 個風能潛力區，6-84 小時百米風預報之平均絕對誤差平均，仍是卡門濾波融合預報最低，而 MDWRF 在北部及中部離岸次低，DMOGFS 西部沿岸及南部離岸次低，GFS 在 4 個風能潛力區都是最高。

四、結論

本文使用 2020 年 3 月至 6 月多種模式 100 米處風速預報資料，採用卡門濾波進行資料融合，並使用 WRF 3 公里解析度分析場之百米風資料作為預報校驗之真值作校驗，以評估其應用於百米風預報之可行性，結論如下：

- (一)6-84 小時百米風預報之平均絕對誤差平均，在 3-4 月及 5-6 月期間，臺灣西部 4 個風能潛力區，均以卡門濾波融合預報最低，除說明預報產品之表現優於其他 7 個模式預報產品外，也顯示其在不同季節，在 4 個風能潛力區表現也相對穩定。
- (二)MDWRF、MDNCEP 及 DMOGFS 模式產品，雖然，在不同季節在某些風能潛力區也有最佳的表現，但是在區域及季節上都不能持續，產品的穩定性不如卡門濾波融合預報。
- (三)此次預報校驗結果顯示，卡門濾波資料融合應能擷取不同模式預報產品之優點，整合出一個

預報表現更佳的产品供預報參考。

伍、參考文獻

- 廖柏翔、謝旻秀、黃世杰，2018：卡爾曼濾波器觀測誤差模型應用於雷達感知動態車輛追蹤，**第二十二屆車輛工程學術研討會**，A-75。
- 劉承昕、洪國展、馮智勇、黃椿喜，2018：雷達觀測外延與數值動力模式客觀融合預報實作評估，**107年天氣分析與預報研討會**。
- 陳嘉榮，2017：綠能科技前瞻研究計畫-氣象資訊在綠能開發之應用服務子計畫。**科發基金管理會補助計畫成果報告**。MOST 106-3114-Y-052-003。
- 謝侑成、許蒼嶺、萬欽德，2011：用於目標物追蹤與資料融合之合作交互多模演算法，**國立中山大學電機工程學系碩士論文**。

20200301 ~ 20200430 Tau=024 100_Meter_WindSpeed

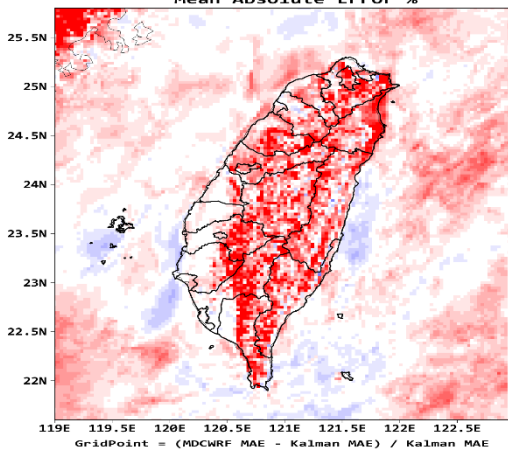


圖 1(a) 2020 年 3-4 月 MDWRF 00 UTC
24 小時百米風預報之平均絕對誤差減去
卡門瀾波預報之平均絕對誤差後除以
卡門瀾波預報之平均絕對誤差分布圖。

20200501 ~ 20200630 Tau=012 100_Meter_WindSpeed

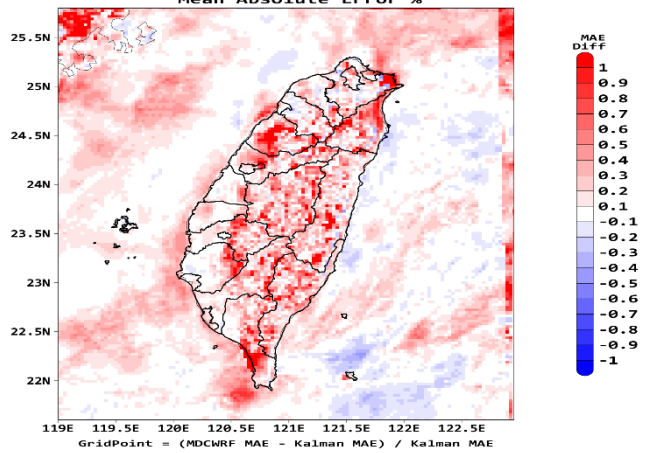


圖 1(b) 同圖 1(a),但為 5-6 月。

20200301 ~ 20200430 Tau=024 100_Meter_WindSpeed

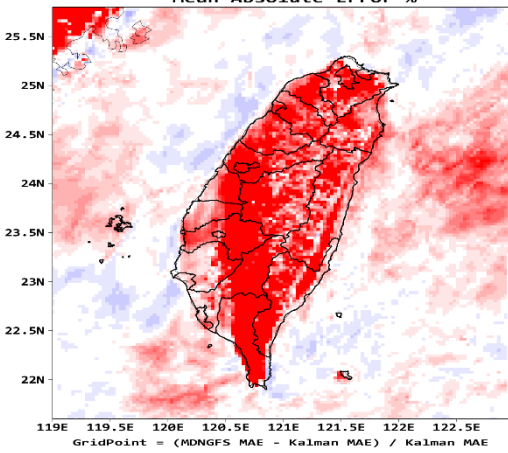


圖 2(a) 同圖 1(a), 但為 MDNCEP。

20200501 ~ 20200630 Tau=012 100_Meter_WindSpeed

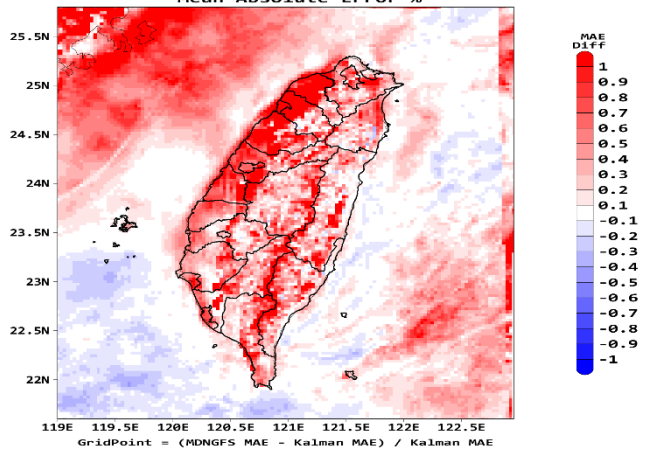


圖 2 (b) 同圖 2(a),但為 5-6 月。

20200301 ~ 20200430 Tau=012 100_Meter_WindSpeed

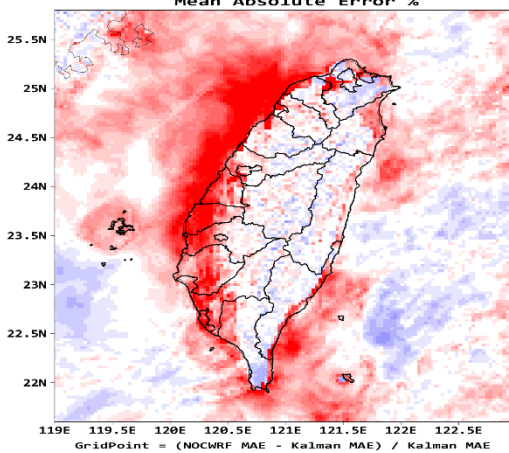


圖 3(a) 同圖 1(a),但為 WRF。

20200501 ~ 20200630 Tau=012 100_Meter_WindSpeed

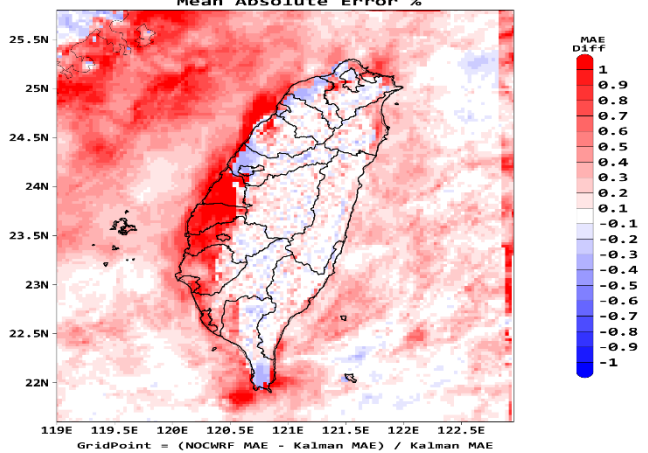


圖 3(b) 同圖 3(b),但為 5-6 月。

20200301 ~ 20200430 Tau=012 100_Meter_WindSpeed
Mean Absolute Error %

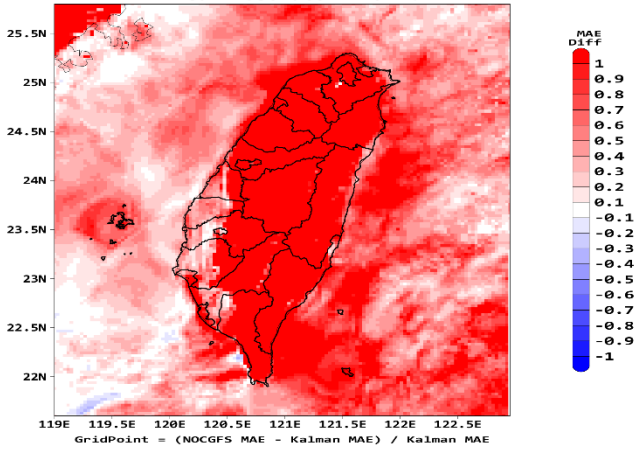


圖 4(a) 同圖 1(a), 但為 GFS。

20200501 ~ 20200630 Tau=012 100_Meter_WindSpeed
Mean Absolute Error %

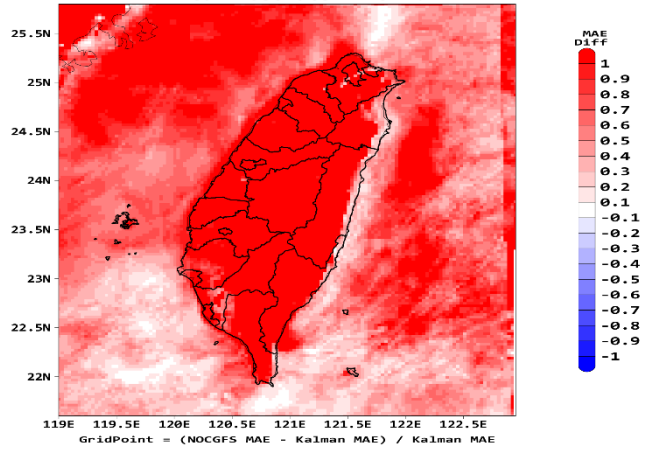


圖 4(b) 同圖 4(a), 但為 5-6 月。

20200301 ~ 20200430 Tau=024 100_Meter_WindSpeed
Mean Absolute Error %

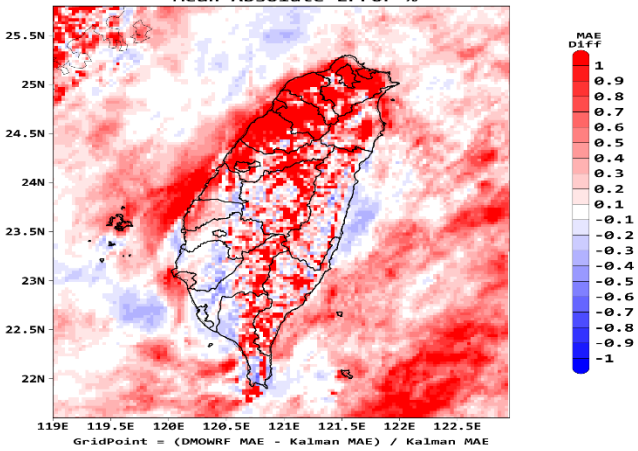


圖 5(a) 同圖 1(a), 但為 DMOWRF。

20200501 ~ 20200630 Tau=012 100_Meter_WindSpeed
Mean Absolute Error %

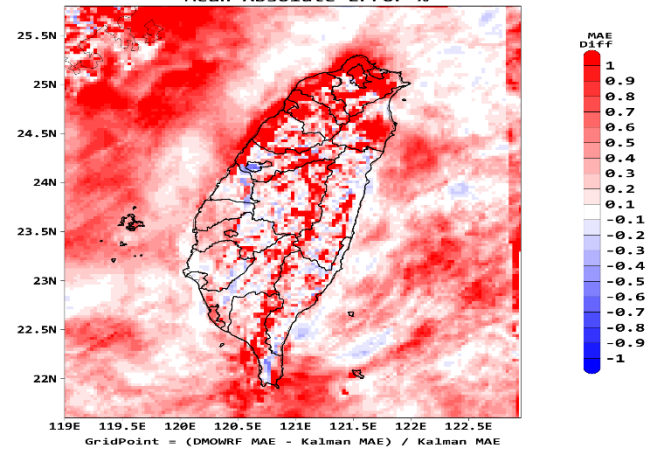


圖 5(b) 同 5(a), 但為 5-6 月。

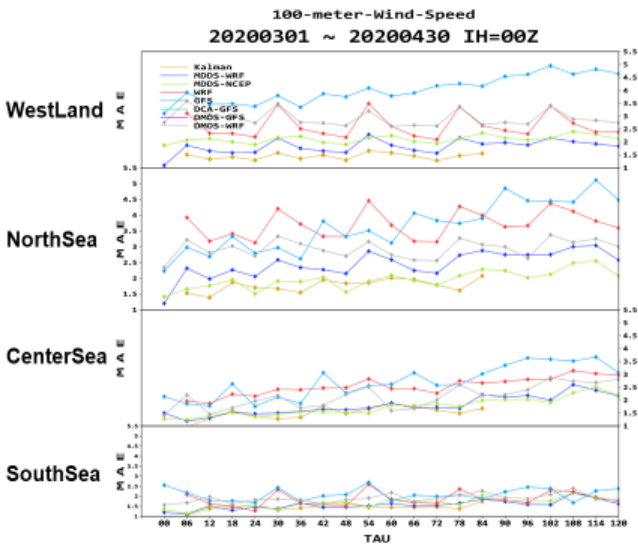


圖 7(a) 2020 年 3-4 月各模式 00 UTC
各預報時段(逐 6 小時)百米風預報之
平均絕對誤差分布圖。

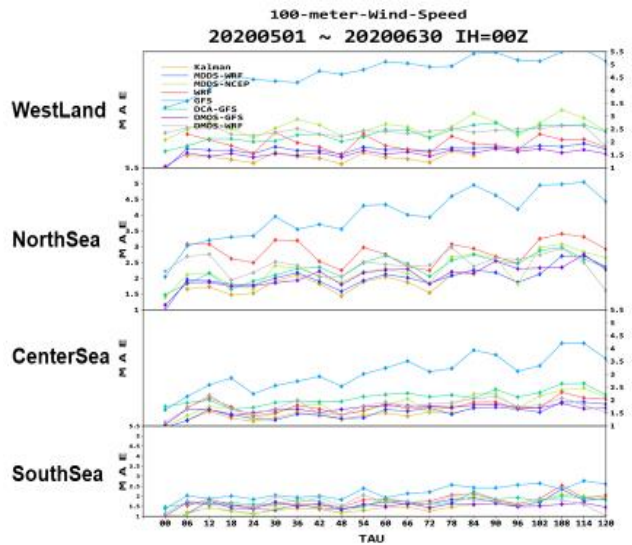


圖 7(b) 同圖 7(a), 但為 5-6 月。

	西部陸地(所有 TAU 平均 MAE)		北部外海(所有 TAU 平均 MAE)	
	3-4 月	5-6 月	3-4 月	5-6 月
Kalman	1.45	1.40	1.77	1.80
MDWRF	1.82	1.69	2.45	2.01
MDNCEP	2.11	2.58	1.96	2.27
WRF	2.63	1.95	3.71	2.84
GFS	4.03	4.77	3.65	4.00
DCAGFS		2.30		2.32
DMOGFS		1.55		2.08
DMOWRF	2.91	2.41	2.95	2.43

	中部外海(所有 TAU 平均 MAE)		南部外海(所有 TAU 平均 MAE)	
	3-4 月	5-6 月	3-4 月	5-6 月
Kalman	1.51	1.42	1.45	1.34
MDWRF	1.79	1.52	1.57	1.57
MDNCEP	1.74	1.79	1.67	1.56
WRF	2.54	1.78	1.86	1.79
GFS	2.70	3.07	2.10	2.19
DCAGFS		2.10		1.74
DMOGFS		1.66		1.53
DMOWRF	2.14	1.77	1.90	1.68

表一 臺灣西部 4 個風能潛力區 2020 年 3-4 月及 5-6 月各模式 00 UTC 各預報時段(逐 6 小時)百米風預報之平均絕對誤差平均(逐 6 小時預報平均至 84 小時預報)。

An Assessment of the Application of Data Fusion Based on Kalman Filter to Wind Speed Forecasting at 100 Meters High

Huei-Min Wang¹, Li-Mei Huang¹, Chih-Yung Feng², Yi-Han Chen², Chun-Ju Jen^{1,3}, Wen-Hsuan Chen^{1,3}

Research and Development Center, Central Weather Bureau¹

Manysplendid Infotech, Ltd.²

International Integrated Systems, Inc.³

Abstract

In this paper, data of wind speed at 100 meters high of multi models during the period between March and June in 2020 are used for data fusion based on Kalman filter. The analysis field data of wind speed at 100 meters high of Weather Research and Forecasting model (WRF) are also used for the true value for verification to estimate the feasibility of Kalman filter when applied to the wind speed forecasting at 100 meters high.

The results of verification reveal that overall, by using Kalman filter fusion on the wind speed forecasting at 100 meters high, the mean of the mean absolute errors for all projections are the lowest in four potential zones of wind power during the period between March and June. This shows that the method, merging the advantages of model outputs, will supports a better performance product for the reference of forecasting.

Keywords: verification, wind speed forecasting