

區域系集預報系統強化研究： 介接系集調整卡爾曼濾波分析場

李志昕、洪景山、江琇瑛

中央氣象局氣象資訊中心

摘 要

中央氣象局建置一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System, WEPS），此系統使用WRF三維變分資料同化技術製造初始場擾動，再搭配邊界擾動和物理參數法擾動，產生系集預報成員，期望能涵蓋最大之預報不確定性。WEPS使用之擾動初始場，為加入隨機擾動值，雖透過背景場誤差協方差矩陣進行擾動值之調整，但是此擾動仍為非流場相依性，此擾動無法在預報時有效增長。校驗分析結果顯示，目前的系集預報離散度仍有不足，因此在不影響預報準確度的前提下，如何強化系集預報的離散度為當前之要務。本研究欲使用「系集調整卡爾曼濾波（Ensemble Adjustment Kalman Filter, EAKF）」資料同化系統，透過資料同化過程產生系集預報系統的初始擾動，期望能改善系集預報的離散程度表現。

一、 前言

數值天氣預報系統中存在著許多不確定性，包含初始資料的誤差或是模式物理參數法的不足，可能造成模式預報結果的不確定性。系集預報的發展藉由多個不同的系集成員預報，期望能包含模式預報的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率。現今國際各主要的數值天氣預報中心，不論就全球模式或區域模式，莫不極力發展系集預報系統。

中央氣象局亦致力於區域系集預報之發展，李和洪（2011）針對模式物理參數法擾動，進行實驗和校驗分析。經過研究和發展，中央氣象局建立了一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System, WEPS），期望能涵蓋最大之預報不確定性。然而，WEPS的預報離散度仍有進步的空間，使用之擾動初始場，為加入隨機擾動值，雖透過背景場誤差協方差矩陣進行擾動值之調整，但是此擾動仍為非流場相依性，此擾動無法在預報時有效增長。

本研究欲使用中央氣象局的系集調整卡爾曼濾波資料同化系統（Ensemble Adjustment Kalman Filter, EAKF），透過資料同化過程產生系集預報系統的初始擾動，評估此法對於WEPS之影響。

二、 實驗設計

本研究使用中央氣象局區域系集預報系統為基礎進行研究，此系統是以WRF區域模式為基礎所建立之系集預報系統，使用之WRF、WPS和WRFDA版本皆為3.3.1版。使用三層巢狀網格，模式範圍如圖1所示，水平解析度設定為45/15/5 km，垂直解析度設定為45層，模式頂層為30 hPa。預報實驗期間包含2011年6月1日00 UTC至2011年6月19日12 UTC，共38個個案，此段期間包含兩個颱風個案，為瑪娃颱風（MAWAR）和谷超颱風（GUCHOL）。

進行三組預報實驗，主要差異在於使用不同的擾動初始場。第一組實驗（CTL）和線上作業設定相同，透過WRF三維變分資料同化技術之擾動產生模組，並使用NCEP全球模式之背景誤差協方差矩陣（CV3）控制隨機增量，加入隨機擾動，產生20組擾動初始場；第二組實驗（EAKF），使用EAKF產生之20組分析場，當成擾動初始場。

江等人（2015）針對EAKF之平均場預報誤差表現進行改善測試，使用一組預報誤差表現較佳之系集平均場，並疊加20組EAKF成員分析場之擾動值，並以此當成20組擾動初始場。

三組實驗使用邊界擾動相同，是由NCEP全球系集預報系統（NCEP GEFS）獲得擾動

邊界條件；模式物理參數法設定也一致，針對微物理參數法、邊界層參數法和積雲參數法進行不同參數法之組合，以提供模式擾動。物理參數法設定如表一。

三、 校驗與分析

本研究使用NCEP GFS分析場作為校驗真值。為定量評估系集成員的離散程度，因此計算各個預報時間之均方根誤差（RMSE）和離散度（SPRD）。RMSE和SPRD相等時，表示ensemble spread離散程度合理；當RMSE大於SPRD時，表示離散不足；當RMSE小於SPRD時，表示過度離散。圖2為三組實驗之RMSE和SPRD分析圖，分析結果指出，CTL實驗之RMSE最小，預報誤差表先優於其他兩組實驗，而EAKF_mod預報誤差表現和CTL相似，但稍差，表現最差者為EAKF實驗；離散程度之表現，CTL實驗之RMSE和SPRD的差異最小，表示離散程度表現亦為最佳，EAKF_mod實驗雖然SPRD值最小，但由於RMSE值比EAKF實驗之RMSE值小，因此離散程度表現較EAKF實驗佳。

為了解離散度分布特性，因此進行離散度之二維分布分析。圖3為500 hPa高度場的離散度二維分布圖，在初始時間，EAKF和EAKF_mod實驗之離散度，在太平洋上和青藏高原有較大值，在中國大陸沿岸則有低值，然而根據預報期間之平均500 hPa高度場（圖4），發現離散度的分布和500 hPa平均高度場並無明顯相關性。EAKF進行資料同化時，採用連續性資料同化（Sequential Data Assimilation），不同觀測資料將依序地將周圍的模式初始猜測場進行同化調整，故當一個網格附近有一筆觀測資料，初始猜測場就會被調整一次，若觀測資料很多時，同一個網格點附近可能有多筆觀測資料，該網格點就會被調整較多次。依據資料同化方程，調整後之分析場變異數將減小，即離散度值將變小，因此EAKF分析場之離散度分布，可能主要是受到觀測資料分布的影響，在中國大陸沿岸地區有較多的觀測資料，經過EAKF分析後，該區的模式猜測場調整次數較多，故離散度較低；反之，在太平洋與青藏高原，由於觀測資料較少，被調整的情況較少，也因此離散度較大。預報之後的離散度，EAKF和EAKF_mod實驗，相較於CTL實驗，在高

緯度的中國大陸沿岸的離散度較少，此處亦為初始時間離散度小的區域，初始離散度較小造成預報離散度較小。而圖5之二維預報誤差分布圖指出，此處的預報誤差較大，期望此處之預報離散度大，故CTL實驗之離散度分布表現較佳。因此，使用EAKF分析場，由於受觀測資料分布的影響，會影響到初始場的離散分布，進而影響到預報離散分布。

颱風路徑預報亦為數值天氣預報的重要課題，因此進行颱風路徑預報誤差之分析。圖6A為瑪娃颱風期間之路徑預報誤差和路徑預報離散度分析圖，圖中指出，EAKF_mod實驗之路徑誤差和路徑預報離散程度表現皆為三組中最佳，CTL之預報誤差表現和EAKF_mod實驗差不多，EAKF實驗之預報誤差表現最差。圖6B為谷超颱風之分析結果，CTL實驗之預報誤差表現最佳，優於其他兩組實驗，但EAKF_mod之離散程度優於CTL實驗。

四、 總結與未來展望

本研究欲強化中央氣象局區域系集預報系統，希望能在不影響預報誤差的前提下，改善預報離散程度，使用系集調整卡爾曼濾波資料同化系統（Ensemble Adjustment Kalman Filter, EAKF），透過資料同化過程產生系集預報系統的初始擾動，並評估此法之預報表現。

分析結果指出，CTL的預報誤差和預報離散程度表現皆優於另外兩組介接EAKF分析場之實驗；然而EAKF_mod實驗之平均場預報誤差表現已經十分接近CTL實驗，表示使用較佳的系集平均場，能有效改善系集預報之預報誤差表現。

由於EAKF進行資料同化時，受觀測分布的影響，在觀測量較多的地方，初始猜測場會被調整較多次，造成分析場之變異減小，因此介接EAKF分析場之實驗，其初始離散度受到觀測資料分布的影響，進而影響到預報離散度。

未來將持續針對介接EAKF資料進行測試，使用中央氣象局之決定性預報分析場取代EAKF之系集平均場，並疊加EAKF分析場擾動，期望能改善系集平均之預報誤差表現；此外，為了改善預報離散程度表現，將使用EAKF六小時預報場之擾動，期望經過六

小時積分之後的擾動，受到觀測資料的影響較小，能改善離散程度表現。

五、 參考文獻

李志昕、洪景山，2011：區域系集預報系統研究：物理參數化擾動。《大氣科學》，**39**，95 - 116。

-----，2014：區域系集預報系統研究：系及成員產生方式之評估。《大氣科學》，**42**，153 - 179。

江琇瑛、洪景山、馮欽賜，2015：使用Blending方法進行系集平均場置換對於EAKF之效能分析。《天氣分析與預報研討會》，中央氣象局。

Buehner, M., A. Mahidjiba, 2010: Sensitivity of global ensemble forecasts to the initial ensemble mean and perturbations: comparison of EnKF, singular vector and 4D-Var Approaches. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3886-3904.

Fujita, T., D. Stenstrud, and D. C. Dowell ,2007: Surface Data Assimilation using an ensemble filter approach with initial condition and model physics uncertainties. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 1846-1868.

Thomas M. Hamill and Jeffrey S. Whitaker, 2011: What Constrains Spread Growth in Forecasts Initialized from Ensemble Kalman Filters? *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 117–131.

表一、區域系集預報系統之物理參數法設定

	微物理參數法 (mp_physics)	邊界層參數 (bl_pbl_physics)	積雲參數 (cu_physics)
第 1 組	GCE	YSU	Grell
第 2 組	GCE	YSU	Tiedtke
第 3 組	GCE	MYJ	Betts-Miller
第 4 組	GCE	MYJ	K-F
第 5 組	GCE	MYJ	Tiedtke
第 6 組	GCE	MYJ	Old SAS
第 7 組	GCE	MYJ	New SAS
第 8 組	GCE	ACM2	Grell
第 9 組	GCE	ACM2	Tiedtke
第 10 組	GCE	ACM2	New SAS
第 11 組	WSM5	YSU	Tiedtke
第 12 組	WSM5	MYJ	Betts-Miller
第 13 組	WSM5	MYJ	K-F
第 14 組	WSM5	MYJ	Tiedtke
第 15 組	WSM5	MYJ	Old SAS
第 16 組	WSM5	MYJ	New SAS
第 17 組	WSM5	ACM2	Grell
第 18 組	WSM5	ACM2	Tiedtke
第 19 組	WSM5	ACM2	New SAS
第 20 組	WSM5	YSU	Grell

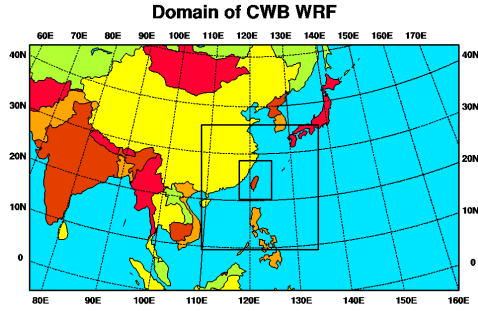


圖 1、模式的預報範圍。

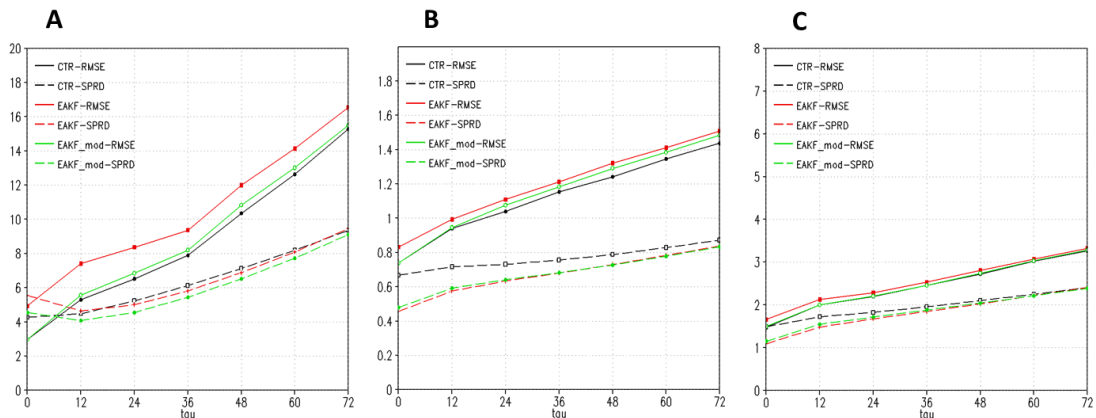


圖 2、RMSE 和 SPRD 比較圖，A 至 C 分別為 500 hPa 高度場，850 hPa 溫度場和 850 hPa U 風場。實現為 RSME，虛線為 SPRD，黑色線為 CTL 實驗之結果，紅色線為 EAKF 實驗之結果，綠色線為 EAKF_mod 實驗之結果。

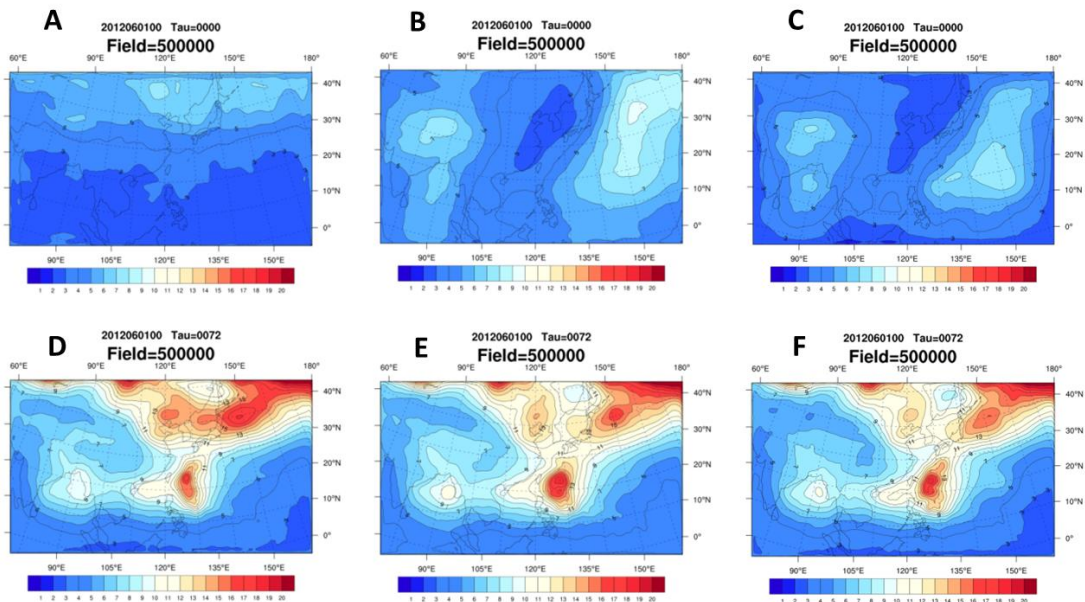


圖 3、500 hPa 高度場之 SPRD 二維分布圖。A 至 C 分別為 CTL 實驗、EAKF 實驗和 EAKF_mod 實驗於初始時間之離散度分布圖；D 至 F 分別為 CTL 實驗、EAKF 實驗和 EAKF_mod 實驗於預報第 72 小時之離散度分布圖。

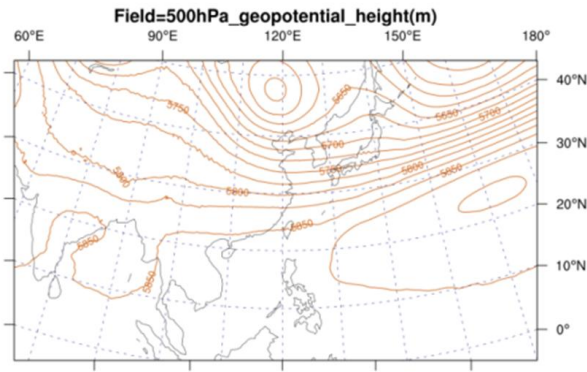


圖 4、2012.6.1~6.15 之平均 500 hPa 高度場。

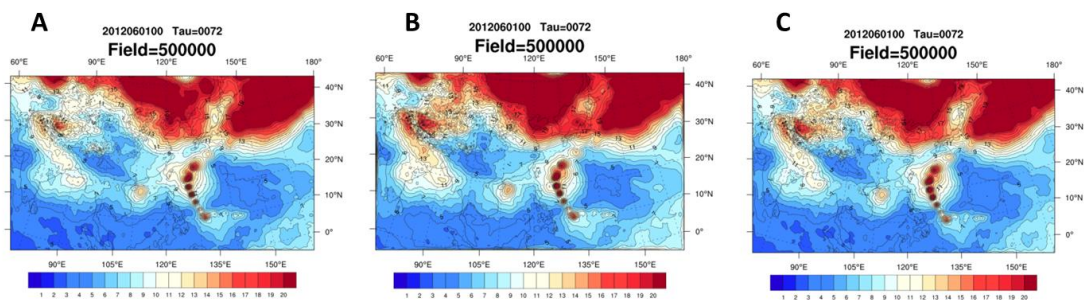


圖 5、500 hPa 高度場於預報第 72 小時之誤差二維分布圖。A 至 C 分別為 CTL 實驗、EAKF 實驗和 EAKF_mod 實驗之誤差分布圖。

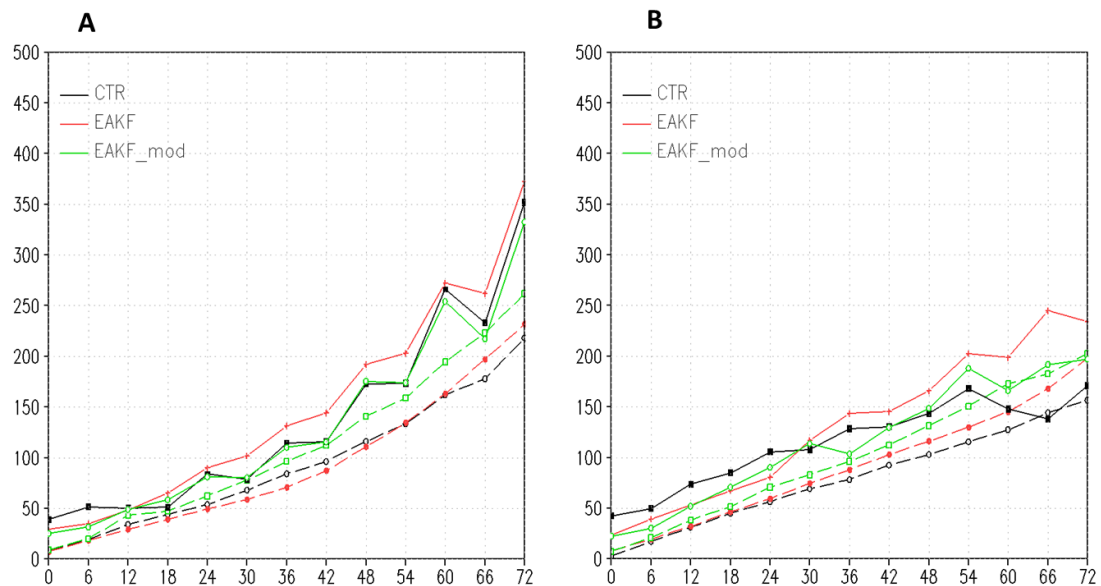


圖 6、A 和 B 分別為瑪娃颱風和谷超颱風之颱風路徑預報誤差和路徑預報離散度分析圖。實線為路徑預報誤差值，虛線為路徑預報離散度值，黑色線為 CTL 實驗，紅色實線為 EAKF 實驗，綠色實線為 EAKF_mod 實驗。