Hybrid Data Assimilation without Ensemble Filtering

Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Global Modeling and Assimilation Office NASA

International Conference on Ensemble Methods in Geophysical Sciences Toulouse, France, 12-16 November 2012

Contributions from: D. Kleist, D. Parrish, R. Treadon, and J. Whitaker



Outline





- Ensemble Spread & Forecast Error
 - Analysis Evaluation
- 5 Forecast Verification vs Observations
- 6
 - Forecast Verification vs Analysis





- ● ● ●

GEOS DAS Hybrid 3d-Var

Problem Statement Ensemble Spread & Forecast Error Analysis Evaluation Forecast Verification vs Observations Forecast Verification vs Analysis Summary

Variational Formulation IAU-based 3dVar IAU-based Hybrid 3dVar

Variational Formulations

FGAT 3dVar-ensemble Hybrid:

$$J(\delta \mathbf{x}) = \frac{1}{2} \, \delta \mathbf{x}^T \mathbf{B}_h^{-1} \delta \mathbf{x} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K [\mathbf{H}_k \delta \mathbf{x} - \mathbf{d}_k]^T \mathbf{R}_k^{-1} [\mathbf{H}_k \delta \mathbf{x} - \mathbf{d}_k] + J_x$$

where

- $\mathbf{B}_h = \beta \mathbf{B} + (1 \beta) \mathbf{B}_e \circ \mathbf{C}$ is a *hybrid* of static and ensemble-based error covariances, **B** and \mathbf{B}_e respectively
- C is a localization error covariance of compact support
- the control variable changes to be $\delta \mathbf{x} = \delta \mathbf{x}_0 + \sum_m^M \delta \mathbf{x}_m^e \circ \alpha_m$, for an ensemble with a total of M members $\delta \mathbf{x}_m^e$
- GMAO and NCEP get $\delta \mathbf{x}_m^e$ by using the EnKF plus inflation



< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

GEOS DAS Hybrid 3d-Var

Problem Statement Ensemble Spread & Forecast Error Analysis Evaluation Forecast Verification vs Observations Forecast Verification vs Analysis Summary

Variational Formulation IAU-based 3dVar IAU-based Hybrid 3dVar

IAU-based 3dVar DAS Schematic



GEOS DAS Hybrid 3d-Var

Problem Statement Ensemble Spread & Forecast Error Analysis Evaluation Forecast Verification vs Observations Forecast Verification vs Analysis Summary

Variational Formulation IAU-based 3dVar IAU-based Hybrid 3dVar

IAU-based Hybrid 3dVar DAS Schematic



Ricardo Todling and Amal El Akkraoui Hybrid Data Assimilation without Ensemble Filtering

Filter-Free Ensemble Experimental Setting

Problem Statement

- Hybrid DA schemes include both multiplicative and additive inflation
- Evaluations in GEOS DAS suggest:
 - Hybrid approach provides noticeable improvements only when using additive inflation, i.e., EnKF alone doesn't do it
 - Forecasts from EnKF analyses plus additive inflation result in mild spread within the background time window
 - It seems that much of the initial (analysis) spread can be simulated with additive inflation alone
 - Appreciable background spread is obtained in the latter case

Question: how does hybrid-DA perform when the ensemble filter is dropped and an ensemble of analyses is created from simply additively inflating the central analysis?



< ロ > < 同 > < 回 > < 回 >

Filter-Free Ensemble Experimental Setting

Problem Statement

- Hybrid DA schemes include both multiplicative and additive inflation
- Evaluations in GEOS DAS suggest:
 - Hybrid approach provides noticeable improvements only when using additive inflation, i.e., EnKF alone doesn't do it
 - Forecasts from EnKF analyses plus additive inflation result in mild spread within the background time window
 - It seems that much of the initial (analysis) spread can be simulated with additive inflation alone
 - Appreciable background spread is obtained in the latter case

Question: how does hybrid-DA perform when the ensemble filter is dropped and an ensemble of analyses is created from simply additively inflating the central analysis?



・ロト ・同ト ・ヨト ・ヨト

Filter-Free Ensemble Experimental Setting

Hybrid Experimental Setting

- Central DAS: 0.5° outer and inner loops; 72-levels
- 32 Ensemble Forecasts: 1.0°; 72-levels
- GSI Hybrid/Static B: 50% / 50%
- TLNMC applied to both static & hybrid covariances
- Vertical & horizontal localizations applied to ensemble B
- Add/ve perturbations scaled from NMC-like 48-24hr forecasts
- Experiment period (after spin up): April 2012



Zonal Spread

0-hr Analyses Spread (before additive inflation)

EnKF-based hybrid





Zonal Spread Global Spread

3-hr Background Spread

EnKF-based hybrid



Filter-Free hybrid



< 同 ▶

< E



Zonal Spread Global Spread

6-hr Background Spread

EnKF-based hybrid



Filter-Free hybrid



▲ 同 ▶ → ● 三

< ∃⇒



Zonal Spread Global Spread

9-hr Background Spread

EnKF-based hybrid



Filter-Free hybrid



▲ 同 ▶ → ● 三

< ∃⇒



Zonal Spread Global Spread

Spread within 9-hr Background Period

EnKF-based hybrid

Filter-Free hybrid



Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Comparison with Other Analyses Observations Contributions

Comparison w/ ECMWF: Zonally-Averaged Monthly Mean U-Wind

EnKF-based hybrid

Filter-Free hybrid



Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Hybrid Data Assimilation without Ensemble Filtering

Comparison with Other Analyses Observations Contributions

Observation Impact on Analysis Fractional Beneficial **GEOS-5 Summary** GEOS-5 Summary 1 Apr 2012-30 Apr 2012 1 Apr 2012-30 Apr 2012 Global Domain Fraction of Beneficial Obs Global Domain Fractional Impact WINDSAT Wind WINDSAT Wind 3dVar-Hybrid TMI Rain Rate TMI Rain Rate 3dVar-HyQuick Satellite Wind Satellite Wind Radiosonde Radiosonde Profiler Wind Profiler Wind PIRAI PIRAL NEXRAD Wind NEXRAD Wind MODIS Wind MODIS Wind MHS MHS Marine-Surface Marine-Surface Land-Surface Land-Surface IΔSI IASI HIRS HIRS GPSRO GPSRO Dropsonde Dropsonde ASCAT Wind ASCAT Wind Aqua AIRS Aqua AIRS 3dVar-Hybrid AMSUA AMSUA 3dVar-HvOuick Aircraft Aircraft 55 0 10 20 25 30 35 60 65 70 Observation Impact (%) Observation Impact (%)

NASA

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 >

Fits to background Fits to forecast

6-hour

Raob Zonal Winds



Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Fits to background Fits to forecast

24-hour

Raob Zonal Winds



Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Fits to background Fits to forecast

24-hour





Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Forecast RMS Error Forecast Anomaly Correlation

24-hour: Zonal Winds NH Tropics SH





Forecast RMS Error Forecast Anomaly Correlation

24-hour: Temperature NH Tropics SH





Ricardo Todling and Amal El Akkraoui

Forecast RMS Error Forecast Anomaly Correlation

Anomaly Correlations: H500

Northern Hemisphere

Southern Hemisphere





Summary

Advantages of Filter-Free Hybrid

- Really inexpensive way of generating ensemble
- Avoid maintenance of two analysis systems
- Avoid contradictions when calculating impact of obs on forecasts

Other Points

- Will examine role of imbalance in the ensemble spread
- Will study skill of NMC-like perturbations more closely
- Ongoing preliminary 4d-EnsVar exp point to similar conclusions



< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >