



18th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology 3.2

## Improving Deterministic Time-lagged Ensemble Forecasts by Applying Blended Nowcasts

#### Yunsung Hwang<sup>1</sup>, Dong-In Lee<sup>1</sup>, Adam Clark<sup>3, 4</sup>,

Cheol-Hwan You<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Earth Environmental System Sciences, Pukyong National University, Busan, Korea <sup>2</sup>Atmospheric Environmental Research Institute, Pukyong National University, Busan, Korea <sup>3</sup>Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, University of Oklahoma <sup>4</sup>National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma

Acknowledgement

This work was funded by the Korea Meteorological Industry Promotion Agency under Grant KMIPA 2015-5060 and supported by the BK21 plus Project of the Graduate School of Earth Environmental Hazard System.





- Societal aspect: preparation for the impact (lead time)
- Aviation: convective weather reportable delays
- Better information for decision making on severe weather
- Probability forecasts based on time-lagged ensemble forecasts (up to 8 h)
  - Applying a newly developed blending technique to obtain informative ensemble forecasts of convective weather



## Motivation



# • Probabilistic Forecasts (Blended forecast ???)



(GEAR)
TRILINGY NATL. USA



- Column max reflectivities were utilized to represent convective weather in Contiguous United States (CONUS)
  - Locations of convections: CMAX over 23 (stratiform) & 40 (convective) dBZ
- WSR-88D mosaic data (OBS)
  - Interpolated to obtain a 3 km-resolution mosaic of the CONUS using Warning Decision Support System Integrated Information (WDSS-II)
- Extrapolation of WSR-88D mosaic data (EXT)
  - The "Segmotionll" algorithm in WDSS-II utilizes hierarchical k-means and enhanced watershed segmentation
- The High-Resolution Rapid Refresh (HRRR)
  - NOAA real-time 3 km resolution, updated every hour (data in 15 minutes interval), convection-allowing model with 3km radar assimilation hourly
- Blended forecast (Salient cross-dissolving method, Sal CD)
  - A method of maintaining the features from multiple images by considering the saliencies of different intensities



## Blending and deterministic verification





- Salient cross-dissolve (Sal CD)
  - Preserving (shrinking) high intensities from EXT or HRRR than fading out

 $S(x, y) = w_s EXT(x, y) + (1 - w_s) HRRR$ 



20-km neighborhood method



### Ensemble forecast and verification













#### **Results: Brier scores**





Best Brier scores EXT 192 (57.14 %) HRR 43 (12.80 %) SAL 101 (30.06 %)

			2	3  dB	Z					4	0  dB	Z		
Init.	1h	$^{2h}$	$_{3h}$	4h	5h	6h	7h	1h	2h	$^{3h}$	4h	5h	6h	7h
00Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	Η	Η	Η	Е	Е	Е
01Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	Η	Η	Η	Η	Η	Е
02Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	Η	Η	Η	Η	Е	Е
03Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Η	Η	Η	Е	Η
04Z	Е	E	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
05Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
06Z	Е	Ε	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
07Z	Е	Ε	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Ε	Е	Е	Е	Е
08Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Ε	E	Е	Е	Е
09Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	Е
10Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	Н
11Z	Ε	Ε	Е	Ε	Е	Ε	Е	S	S	S	Е	Е	Н	E
12Z	Ε	Ε	Е	Е	Е	Е	E	S	S	S	S	Η	Е	Η
13Z	Ε	S	S	Е	Е	Ε	E	S	S	S	Η	Η	Η	Η
14Z	Е	S	S	S	Е	Е	E	S	S	Η	Η	Η	Η	Η
15Z	Ε	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	Η	Η	Η	S
16Z	Ε	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	Е	S	$\mathbf{S}$	Η	Η	Η	S	Е
17Z	Ε	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	E	S	S	Η	S	S	Е	Е
18Z	Ε	S	S	S	$\mathbf{S}$	Е	E	S	S	S	S	S	Е	Ε
19Z	Ε	S	S	S	Е	Е	E	S	S	S	S	Е	Е	Ε
20Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Η	Е	Е	Е
21Z	Ε	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	Η	E	Е	Е	Е
22Z	Ε	S	E	Е	Е	Е	E	S	S	Η	Η	Е	Е	Е
23Z	Ε	S	Е	Е	Е	Ε	E	S	S	Η	Η	Е	Е	Е

Best results: Brier scores ensSAL: 1 - 2 h ensHRRR: 3 - 5 h (00 - 03, 12-16 Z) ensEXT: 4 - 7 h (04 - 10Z)



#### **Results: Reliabilities**





#### Best Reliability EXT 135 (40.18 %) HRR 21 (6.25 %) SAL 180 (53.57 %)

			2	3  dB	Z					4	0  dB	Z		
Init.	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h
00Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
01Z	Е	Η	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
02Z	Η	Η	Η	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
03Z	Η	Η	Е	Е	Е	Е	Е	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
04Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
05Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
06Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
07Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
08Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
09Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	S	S	S
10Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
11Z	Е	Ε	Е	Ε	Е	Ε	Е	S	S	S	S	S	S	S
12Z	Е	Е	Е	Ε	Е	Е	Е	S	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
13Z	Е	Е	Е	Е	Е	Ε	Е	S	S	S	S	S	S	S
14Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
15Z	Е	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S	S	$\mathbf{S}$	Η	Η	Η	Η	S
16Z	Е	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S	S	$\mathbf{S}$	Η	Η	Η	S	S
17Z	Е	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S	S	S	Η	Η	S	S	S
18Z	Е	S	S	S	S	Е	Е	S	S	Η	Η	S	S	S
19Z	Е	S	S	S	Е	Ε	Е	S	S	S	S	S	S	S
20Z	Е	Ε	S	Е	Е	Ε	Е	S	S	S	Η	S	S	S
21Z	E	E	E	E	E	E	E	S	S	S	S	S	S	S
22Z	E	E	E	E	E	E	E	S	S	H	H	S	S	S
23Z	E	E	Е	Е	E	Е	E	S	S	H	S	S	S	S

Best results: reliabilities ensSAL: most of forecast hours ensHRRR: 3 – 5 h (15 - 18Z) ensEXT: 4 h (09Z)



#### **Results: Resolutions**





#### Best Resolution EXT 52 (15.48 %) HRR 25 (7.44 %) SAL 259 (77.08 %)

			2	3 dB	Z					4	0  dB	Z		
Init.	1h	2h	$_{3h}$	4h	5h	6h	7h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h
00Z	S	S	S	S	S	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
01Z	S	S	S	S	Е	Е	Е	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
02Z	S	S	S	S	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
03Z	S	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
04Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	Е
05Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	Е	S
06Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
07Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
08Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
09Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
10Z	S	S	S	Е	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
11Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
13Z	S	S	S	S	S	S	Е	S	S	S	S	S	S	S
14Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	S	S
15Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	Η	Η	Η	Η
16Z	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	Η	Η	Η	Η	Η
17Z	S	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S	S	S	Η	Η	Η	Η	Η
18Z	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S	S	S	Η	Η	Η	Η	Η
19Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	Η	Η	S
20Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
21Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
22Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
23Z	S	S	S	S	S	S	Е	S	S	S	S	S	S	S

Best results: resolutions ensSAL: most of forecast hours ensHRRR: 3 - 7 h (15 - 19Z) ensEXT: 6 h (05Z) 7 h (04Z)





- Blended forecasts showed highest ETSs (deterministic), cross-over hour  $\sim 2.5~h$ 
  - 2 8 h (23 dBZ), 1 8 h (40 dBZ)
- The ensemble forecasts: defined as combinations of binary maps with CMAX over 40 dBZ
- ensEXT represented high Brier Scores at later forecast hours on 04 10 Z
- ensSAL showed its strength except 15 18 Z
  - Brier scores: early forecast hours (i.e., 1 2 h)
- ensHRRR indicated best results on 15 18 Z (diabatic heating)
  - Brier scores: after 3 h forecasts (00 03, 12-16 Z)
- ensSAL represented potential application to the ensemble forecasts (short-term forecast)

- ensSAL showed the best performances in reliability and resolution





















### Brier Score





JE 2. Best Brier scores EXT 192 (57.14 %) HRR 43 (12.80 %) SAL 101 (30.06 %)

			2	3  dB	Z					4	$0  \mathrm{dB}$	Z		
Init.	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h
00Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	E	S	Н	Η	Η	Е	E	E
01Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	Н	Н	Η	Η	Η	Е
02Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	Н	Η	Η	Η	Е	Е
03Z	Е	S	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	Η	Η	Η	Е	Η
04Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
05Z	Е	Ε	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
06Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	Е	Е	Е	Е
07Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	$\mathbf{S}$	$\mathbf{S}$	Е	Е	Е	E	Е
08Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	E	S	S	Ε	Е	Е	E	Е
09Z	Е	Ε	Е	Е	Е	Е	E	S	S	Ε	Е	Е	E	E
10Z	Е	E	Е	E	E	E	Е	S	S	E	Е	Е	Е	H
11Z	Е	Ε	E	E	Е	E	E	S	S	S	Ε	E	Η	Е
12Z	Е	Ε	Е	E	Е	E	E	S	S	S	S	Η	E	Н
13Z	E	S	S	E	E	E	E	S	S	S	H	H	H	H
14Z	E	S	S	S	E	E	E	S	S	H	H	H	H	H
15Z	E	S	S	S	S	S	S	S	S	H	H	Н	H	S
16Z	E	S	S	S	S	S	E	S	S	H	H	H	S	E
17Z	E	S	S	S	S	S	E	S	S	H	S	S	E	E
18Z	E	S	S	S	S	E	E	S	S	S	S	S	E	E
19Z	E	S	S	S	E	E	E	S	S	s	S	E	E	E
20Z	E	S	S	E	E	E	E	S	S	S	H	E	E	E
212	E	S	S	E	E	E	E	S	5	H	E	E	E	E
222	E	5	E	E	E	E	E	5	0	H	H	E	E	E
· / · / ·	- P.		- H.	. H.	H.	н.	I M. I		· · ·			I H.	I H.	I H.



## Reliability





BLE 4. Best Reliability EXT 135 (40.18 %) HRR 21 (6.25 %) SAL 180 (53.57 %)

Init.     I       00Z     01Z       02Z     02Z	1h		2	3  dB	Ζ					4	0  dB	Z		
00Z 01Z 02Z	111	2h	3h	4h	5h	6h	7h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h
01Z 02Z	E	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
02Z	Е	Η	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
	Η	Н	Η	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
03Z	Η	Н	Е	Е	Е	Е	Е	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
04Z	E	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
05Z	Е	Е	Ε	Е	Ε	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
06Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
07Z	Е	Е	Ε	E	Ε	Е	Е	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
08Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
09Z	Е	Е	Ε	Е	Ε	Е	Е	S	S	S	Ε	S	S	S
10Z	Е	Е	Е	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
11Z	Е	Е	Е	Ε	Е	Ε	Е	S	S	S	S	S	S	S
12Z	Е	Е	Е	Ε	Е	Ε	Е	S	$\mathbf{S}$	S	S	$\mathbf{S}$	S	S
13Z	E	Е	Е	Е	Е	Е	E	S	S	S	S	S	S	S
14Z	Е	S	S	Е	Е	Е	Е	S	S	S	S	S	S	S
15Z	Е	S	S	$\mathbf{S}$	$\mathbf{S}$	S	S	S	$\mathbf{S}$	Η	Η	Η	Η	S
16Z	Е	S	S	S	S	S	S	S	S	Η	Н	Η	S	S
17Z	Е	S	S	S	S	S	S	S	S	H	H	S	S	S
18Z	Е	S	S	S	S	E	E	S	S	H	H	S	S	S
19Z	Е	S	S	S	E	E	E	S	S	S	S	S	S	S
20Z	E	E	S	E	E	E	E	S	S	S	H	S	S	S
21Z	E	E	E	E	E	E	E	S	S	S	S	S	S	S
22Z	E	E	E	E	E	E	E	S	S	H	H	S	S	S
23Z	Ε	Е	Е	Е	E	E	E	S	S	Н	S	S	S	S

18



### Resolution





 $_{\rm 3LE}$  6. Best Resolution EXT 52 (15.48 %) HRR 25 (7.44 %) SAL 259 (77.08 %)

Init.   1h   2h   3h   4h   5h   6h   7h   1h   2h   3h   4h   5h   6     00Z   S <th>n 7h S S S S E S S S S S S</th>	n 7h S S S S E S S S S S S
00Z   S   S   S   S   S   E   E   S <th>S S S E S S S S S S</th>	S S S E S S S S S S
01Z   S   S   S   S   E   E   E   S <th>S S E S S S S S</th>	S S E S S S S S
02Z   S   S   S   S   E   E   E   S <th>S S E S S S S</th>	S S E S S S S
03Z   S   S   S   E   E   E   E   S <th>S E S S S S S</th>	S E S S S S S
04Z   E   S   S   E   E   E   E   S <th>E S S S S</th>	E S S S S
05Z   E   S   E   E   E   E   E   S <th>S S S S</th>	S S S S
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	S S S
07Z E S E E E E E E S<	S S
08Z   E   S   E   E   E   E   E   S	S
09Z E S E E E E E S<	
10Z S S S E S<	S
11Z S<	S
12Z   S	S
13Z   S	S
14Z   S   S   S   S   S   S   S   S   S   H   S     15Z   S   S   S   S   S   S   S   S   H   H   H   H     16Z   S   S   S   S   S   S   S   S   H   H   H   H     16Z   S   S   S   S   S   S   S   S   H   H   H   H	S
15Z     S     S     S     S     S     S     S     H	S
16Z S S S S S S S H H H H H	H
	H
	H
18Z S S S S S S S S S H H H H	H
19Z S S S S S S S S S S H H H	S
	S
	S
222 S S S S S S S S S S S S S S S S S S	S
23Z 5 5 5 5 5 5 E 5 5 5 5 5 5	S