

「2024 고해상도 수치모델링 워크숍」 세션 내용

구 분	세션4. 고해상도 예측체계 및 수치모델 활용 1부
일시장소	2024년 5월 23일(목) 13:00~15:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 김주완 교수(공주대) / (리포터) 노일석 연구원(KIAPS), 안소정 연구원(KIAPS)
세션 주요내용	
□ (발표4.1.) 고해상도 수치예보시스템 개발을 위한 병렬화/최적화 기술 및 모델 프레임워크 개발 현황 소개(김정환, KIAPS) ○ 사업단의 전주기 예측체계 목표 사양은 초단기·단기·중기·연장중기로 구성되며, 단기 모델은 가변격자, 초단기 모델은 대류규모 자료동화 포함의 지역모델 구성 예정. 수치예보모델은 18개의 주요 태스크(task)에 대한 cylc, python 스크립트로 구성된 운영시스템을 사용하며, 고해상도 예보를 위해 태스크별 속도를 최적화함. 모델의 격자 체계는 한반도 잡음 제거를 목적으로 육면체구 회전격자계를 사용하며, 효과적인 도메인 분할을 위해 개발한 줄무늬 분할 기법이 적용됨. 또한 고해상도 모델의 자료 크기 증가에 따른 입출력 소요시간 증가 문제를 해결하고자 고성능 병렬 입출력 라이브러리를 개발함. 단기·초단기 모델을 위한 체계 구축했고, 차세대 예측체계에서 제한지역모델의 활용 가능성 연구를 진행함. 가변격자 기반의 고해상도 예측체계 초기버전은 3km 단기·1km 초단기 모델 사례실험에서 균일한 전구 격자 예측 결과와 거의 유사한 강수패턴을 보임 □ (발표4.2.) 초단기 지역예보 시스템 구축을 위한 차세대 등지격자 모델 개발(조희제, KIAPS) ○ KIM 제한지역모델 개발을 위한 격자, DSS, 미분연산자, 병렬 알고리즘, 경계장 내삽 관련 개발 내용 발표. 고해상도 측면 경계장 구성을 위한 시·공간 내삽 시 모델 상세화에 따른 오차를 개선하고자 경계자료를 짧게 업데이트하였으며, 이때 대부분의 지역모델처럼 도메인 경계에 relaxation zone을 구성함. 그럼에도 도메인 내부에 측면 경계에서 발생한 오차가 전파되었음. 사례실험 결과에서는 물리과정이 역학과정의 오차를 잡아주어 모델이 안정적으로 작동함을 확인함. 3km 제한지역모델의 사례실험 진행 시 시뮬레이션은 안정적이었으나 500hPa 연직류(w) 분포에서 여전히 경계에 오차가 있었음. 향후 지역모델을 위한 도구 개발과 경계 쇼크(shock) 처리, 계산 자원 등에 관하여 지속적으로 연구 수행 예정	

구 분	세션4. 고해상도 예측체계 및 수치모델 활용 1부
일시장소	2024년 5월 23일(목) 13:00~15:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 김주완 교수(공주대) / (리포터) 노일석 연구원(KIAPS), 안소정 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

<발표 4.2. 주요 질의응답>

Q1.	다른 나라는 10년 전 UM과 WRF의 3km 미만 해상도를 비교한 후 UM 채택하였고, 최근 WRF와 MPAS 비교 후 MAPS 채택. WRF와 KIM-LAM을 비교할 때, 3km 미만 해상도에서 WRF의 정확도를 고려해야함 모델 최적화가 되어 고해상도 관련 구체적인 실험 진행 예정. 조언을 고려하겠음
Q2.	대부분의 지역모델이 바운더리 노이즈(Boundray noise)를 갖고 있음. 궁극적으로 바운더리 노이즈를 제거하는게 목표인지? KIM-LAM의 바운더리 노이즈는 WRF와 다른 양상임. 분광요소법은 경계값을 낮징(nudging)하고 그 값으로 요소(elemnet)에서 미분하는데, 이 부분이 단순 전파가 아닌 새로운 에러라 판단됨. 모델 내부에의 영향도 확인 후 처방할 계획
Q3.	공간해상도를 높일 때, 르장드르 방정식(Legendre polynomial)을 쓰면 안되는지? 현재는 NP3, 즉 2차 다항식을 쓰고 있는 것인데, 어제 최석진 교수님 발표처럼 격자수를 늘리는 것도 중요하지만, 차수를 높여서 1km 수준의 정확도가 나아지는 측면이 있는지 확인해 볼 필요가 있음.

□ (발표4.3.) 기상청 고해상도 지역수치예보시스템 운영현황 및 계획(이은희, 기상청)

- 동아시아 영역 지역수치예보시스템의 현업 운영현황 공유. 기상청은 한반도 지형의 상세화가 포함된 KIM 기반 RDAPS(3km), UM 기반 LDAPS를 운영 중이며, KIM 국지모델(1km)의 경우 5일까지 실험 중. 강수 사례실험('23.5.5., '23.7.4.) 결과, 지형성 강수는 지역모델의 강수 정확도가 전구모델보다 좋은 것으로 확인. 지난해 여름철 2개월의 강수 정확도를 정량적으로 비교한 결과, KIM 전구는 약한 강수를 과대모의, 강한 강수를 과소모의하는 경향이 있음. 편차가 나타나는 경향성은 RDAPS에서 완화되었으며, 1km 해상도의 KIM 국지모델은 LDAPS와 RDAPS 보다 예측 성능이 좋은 것으로 모의됨. 현재는 연직층 상세화를 위한 확대 실험(40vs51vs55)을 진행 중임. 수평 및 연직 해상도는 상세화에 따라 예측 자료를 적시에 제공하기 어려운 문제가 발생함. , KIM 국지모델은 계산시간이 RDAPS 대비 2배 정도 소요되어 계산시간 최적화를 위해 IEVA 적용을 실험 중임. 또한, KIM 국지모델의 초기 강수 예측 성능 저하 이슈가 있어 자료동화 효과를 실험한 결과 '22.8.9. 사례에서 현업RDAPS보다 뛰어난 강수예측 성능을 보여 자료동화 효과의 가능성을 확인함. 그리고 초기화 과정을 추가하여 자료동화의 초기잡음(high frequency) 문제를 해결함. 현재 모델의 검증 방법은 고해상도 모델에 불리한 부분이 있어 Fraction Skill Score 검증 지수(Roberts&Lean, 2008)를 도입할 계획이며, MPS와 CPS의 민감도 실험 또한 진행 예정임

구 분	세션4. 고해상도 예측체계 및 수치모델 활용 1부
일시장소	2024년 5월 23일(목) 13:00~15:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 김주완 교수(공주대) / (리포터) 노일석 연구원(KIAPS), 안소정 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

<발표 4.3. 주요 질의응답>

Q1.	1km 국지모델의 정당한 필요성이 무엇인지? 예보상세화 정책(1km, 5일)은 다운스케일링(down scaling) 가이드선으로 커버 가능하나, 예보관의 지형성 강수 정확도 향상 수요와 신재생에너지 항공기상 등의 수요가 있음
Q2.	사업단에서도 3km, 1km 모델을 구성 중임. 평가를 위한 주요 매트릭스가 어떤 것이 있는지? 고해상도에서 주요한 것은 강수이며, 추가로 하층(지면, 925, 850hPa) 기온, 바람 등을 주의 깊게 보고 있음
Q3.	디지털 필터링 초기화로 자료동화 잡음을 처리하였는데, 3차원 변분 자료동화를 적용한 사이클링(cycling)으로도 잡음 완화가 가능함. 3차원 변분 자료동화를 고려해 본 적 있는지? 향후에도 디지털 필터 초기화로 잡음을 처리할 계획인지? 3dvar 뿐만 아니라 4dvar를 사용하여 사이클이 작동하더라도 저해상도 배경장에서 오는 잡음은 여전히 나타날 것으로 예상됨. 보다 좋은 기법이 있다면 적용검토 가능

□ (발표4.4.) 항공 작전을 위한 공군 고해상도 수치예보모델 현황(고정수, 공군기상단)

- 군은 한반도 특화의 고해상도 기상정보가 요구되어 독자적 수치예보체계를 운영 중임. '23년 7월, 공군은 슈퍼컴퓨터 3호기를 도입하였으며, 이론성능이 2.107 PFlops로, 이를 활용하여 WRF 기반 수치예보모델의 고해상도화 및 IEVA 등을 적용한 최적화를 진행함. 새로 구축한 고해상도 모델은 지형효과를 잘 반영하나 강수량 변동성이 크게 나타난다는 공군예보관의 의견을 수렴하여, 강수 예측 경향성 분석을 위해 기존 모델에서 변경된 구름미세물리와 행성경계층 물리과정을 실제사례실험으로 변경 전 물리과정과 비교분석함. 그 결과, 새 구축 모델은 강수를 과소모의하는 경향이 있으나 오차의 크기가 줄어들었음을 확인함

<발표 4.4. 주요 질의응답>

Q1.	물리과정을 여러 가지를 동시에 교체한것인지? 현장에서 피드백을 바탕으로 업데이트를 기획 하는것인지, 아니면 새로운 스킴이 나타났을 때 기획하는건지 업데이트 전략이 궁금하며, 성능평가는 물리과정별로 구분해서 평가했는지? 새로운 물리과정을 도입할 때 예보관 피드백도 받지만, 착빙 등 공군에서 필요한 정보를 추가할 수 있는 방향으로 업데이트를 기획함. PBL 스킴 교체 시에는 유의 미한 차이가 나타나지 않았으나, MPS 교체 적용 시엔 발표와 같이 차이가 나타남
Q2.	평시에 공군 WRF의 구름모의 성능이 괜찮은지? 평소에 피드백은 위험 기상 위주로 받음. 그 부분은 확인이 필요함.

구 분	세션4. 고해상도 예측체계 및 수치모델 활용 1부
일시장소	2024년 5월 23일(목) 13:00~15:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 김주완 교수(공주대) / (리포터) 노일석 연구원(KIAPS), 안소정 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

<발표 4.4. 주요 질의응답(계속)>

Q3.	발표에서는 강수를 위주로 사례를 보여주었음. 공군에서 중요하게 생각하는 청천난류나 착빙 등에 대한 개선점이 있었는지?
	착빙 분석은 현재 진행 중. 난류는 개선모델이 더 강하게 모의하는 경향이 있음
Q4.	wdm-ice 사례실험에서 태백산맥은 ice, 바다는 rain 형태의 수상체가 모의된 것이 맞는지? 그림에서는 ice는 줄고, liquid가 늘어난 것으로 보임
	태백산맥은 실제로 눈이 관측됐고, 모델도 ice로 모의함. 바다는 rain 형태로 모의함. 현 사례는 ice가 줄고 liquid가 늘어난 것으로 보일 수 있으나 다른 사례를 종합했을 때 그렇지 않았음

□ (발표4.5.) 인공지능 기반 강수예측 시스템 개발 현황(오태진, KIAPS)

- 인공지능 기반의 호우 예측 개선을 위해 연구 중이며, 관련 주제의 선행연구 중 MetNet2 방식의 열개를 벤치마크 함. 관측자료 기반의 모델은 대체로 초반 성능이 좋다가 시간이 갈수록 기하급수적으로 성능이 하락하는 경향이 있으며, 수치모델 자료 기반의 모델은 초기 성능이 관측자료 기반 모델에 비해 낮지만 성능이 비교적 천천히 떨어짐. 사업단은 두 모델의 장점을 섞은 하이브리드 모델을 개발 중임. 관측자료 기반 초단기 모델은 GAN 모델(clustercast) 기반으로 개발하였으며, 시간이 갈수록 예측장이 흐려지지 않았고 다양한 강수 사례에 대해 더 좋은 성능을 보임. 예측기간 확장을 위해 GK2A 위성자료를 활용하고 있으며, 이 외에 attention 기법, Diffusion 모델 기반의 초단기 강수 예측 모델 성능 개선을 위한 모델 최적화 진행 중. 수치모델의 예측장 후처리 보정 모델은 KIM 전구 예측 결과에서 한반도 강수 변수와 보조변수를 분리하여 학습하였으며, 그 결과 약한 강수는 넓게 과대모의 하나 목표했던 강한 강수는 전구 KIM보다 24시간까지 더 좋은 성능을 보임. 또한 일관된 모델 검증을 위해 AWS 기반 강수 검증 체계를 개발 중임

<발표 4.5. 주요 질의응답>

Q1.	수치모델 후처리와 관련하여 강수값을 학습시킬 때, 강수 발생 메커니즘에 따라 모델을 학습할 계획이 있는지?
	후처리 보정모델은 KIM 서비스 이후 학습했기 때문에 현재는 사례가 부족한 상태. 향후 사례가 더 축적되면 메커니즘별로 구분할 수 있을 것으로 보임

구 분	세션4. 고해상도 예측체계 및 수치모델 활용 1부
일시장소	2024년 5월 23일(목) 13:00~15:00 / 정부세종컨벤션센터 중연회장
토의운영	(좌장) 김주완 교수(공주대) / (리포터) 노일석 연구원(KIAPS), 안소정 연구원(KIAPS)

세션 주요내용

□ (발표4.6.) Emerging AI Technology in Weather Forecasting(이혜숙, 국립기상과학원)

- 국립기상과학원은 강수 예측 모델을 만들고 예보관의 시스템을 자동화하기 위한 인공지능 모델을 국내 최초 기획하였음. 기상·기후 정보분야의 평균 시장 성장률은 '22년 대비 '23년에 크게 성장하였고, 최근 빅테크 등 다양한 분야에서 기상·기후 모델 개발에 참여하고 있음. 작년까지 중기 예측모델 위주로 발표가 진행되었다면, 근래엔 기상·기후 분야 Foundation 모델과 Foundation 모델을 활용한 downstream 모델(예를 들면, 강수 예측 모델) 개발에 관한 발표가 이루어지고 있음. 현재 국립기상과학원은 기상청 수치모델링센터와 함께 관련 연구를 진행 중이며, 기상청은 Pangu-weather, Forcastnet, Graphcast 등의 개발 및 전지구 모델 성능 검증을 하고, 과학원은 GAN과 Transformer를 활용한 강수 예측 모델 개발을 추진 중임. 기존의 인공지능 모델은 시간이 갈수록 예측 오차가 커져, 과학원은 예측하고자 하는 전반적 시간대의 일관성과 이동 경향성을 잘 모의하고 있는지 중점적으로 확인 중임. 강한 강수 발달에 관한 모델 개선 필요사항은 검토 중이며, 전선 발달 강수가 잘 예측되는 편이나 국지성 강수에서는 약한 부분이 있음. 또한, 강수 분석을 위한 예보관의 모든 태스크를 코딩으로 구현하여 언어 모델로 개발 중임

<발표 4.6. 주요 질의응답>

Q1.	강수 예측에 있어 모델의 아키텍처보다 강수의 편향성 완화가 중요하다 생각하는데, 데이터 편향성 완화를 위해 어떤 기법들을 사용하고 있는지?
	초단기는 편향성을 따로 구분하지 않음. 모델 결과의 인과관계 해석부분에 활용. 편향성 관련 예보관의 피드백은 수치모델이 어떤 유형의 강수를 잘 예측하는지에 대한 것임. 이에 모델 편향성 학습과 제공을 시도하고자 함
Q2.	강수 학습 시, 강수가 없는 사례도 학습하는가? 강수 없는 사례도 강수 모의가 가능한가?
	강수 데이터 data imbalance가 심해 반사도(dbz) 사용을 추천함. 강수가 없는 경우에도 강수 모의가 가능함