

그리드포밍 실시간 MPC 연동을 위한 발전자원 모델 경량화 구조 설계

김민수, 선지영, 임정택, 김민호, 함경선, 김태형

한국전자기술연구원

rlaalstn2909@keti.re.kr, sjy1105@keti.re.kr, jtlim@keti.re.kr, idencare@gmail.com,
ksham@keti.re.kr, thkim@keti.re.kr

Design of Lightweight Power Generation Resource Model for Grid-Forming Real-time MPC Interworking

Minsu Kim, Jiyoung Sun, Jeongtaek Lim, Minhoo Kim, Kyung Sun Ham, Taehyeoung Kim

Korea Electronic Technology Institute

요약

분산에너지의 비중이 높아짐에 따라 계통의 안정성을 확보하는 그리드포밍 기술이 대두되고 있다. 그리드포밍 인버터는 1초 이내로 가상관성을 제공하여 주파수 하락에 대응한다. 이를 위해, MPC 제어는 가상관성 제공에 필요한 예비력 산정을 수초 이내의 해상도로 수행해야 한다. 이에 따라, 발전량 예측 모델이 MPC 제어기에 실시간으로 연동되어 향후 어느 정도의 예비력 확보가 가능한지 판단할 수 있는 근거를 제공한다. 본 논문에서는 제안하는 구조는 실측 기상 데이터 기반의 발전량 예측 모델을 생성한 후, MPC 연계에 필요한 예측 실행시간 보장을 위해 경량화하고, 경량화를 통한 정확도 손실 및 더 높은 시간 해상도를 가지는 데이터 특성을 반영하지 못하는 등의 성능의 한계를 파악하기 위해, 예측 기상 데이터 기반의 검증 실험을 수행한다.

I. 서론

최근 분산에너지의 비중이 높아짐에 따라 분산에너지의 변동성을 고려하여 계통안정성을 높이고자 하는 연구 및 산업계 움직임이 활발하다. 현재 시장은 다음 날의 재생에너지의 발전량을 예측함으로써, 재생에너지를 고려하여 전반적인 계통의 운영 안정성을 확보할 수 있는 능력을 갖추게 되었다. 나아가 점점 발전량 예측의 정확도가 높아지고, 예측 주기와 해상도가 정밀해짐에 따라 그 활용도가 높아지고 있으며, 그리드포밍 기술이 대표적인 사례이다.

그리드포밍 기술의 핵심은 변동성이 큰 자연에너지 기반 발전자원의 출력을 제어하여 계통 주파수 하락 시 1초 이내에 대응하도록 하는 것이다. 효율적인 대응을 위해 평시 동원 가능한 예비력을 빠르고 정확하게 산출하는 것이 필수적이다. 예비력은 발전자원이 낼 수 있는 전체 발전 가능용량에서 계통에 공급하지 않는 일부 전력을 의미한다. 자연에너지 기반 발전자원의 예비력을 빠르고 정확하게 산출하기 위해서는 실측 및 예측 기상 데이터를 기반으로 예상 발전량을 산출하는 발전자원 모델의 예측 수행 속도와 정확도의 보장이 중요하다.

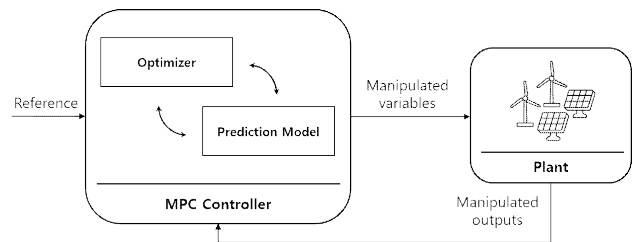
그리드포밍 인버터는 EMS(Energy Management System) 및 이와 연계된 MPC(Model Predictive Control) 모델에 의해 가동 범위 등이 제어된다. 발전량 예측 모델에서 출력된 예상가용 발전량은 MPC 모델의 입력으로 사용되며, 이를 근거로 MPC 모델은 EMS 모델 제어 명령이 가용 발전량 범위 내에서 이루어질 수 있도록 보조하는 역할을 수행한다. 그리드포밍 특성상 인버터의 반응 속도가 1초 미만이므로 MPC 모델은 길면 수초 이내의 해상도로 가용 출력량을 갱신해야 하며, 이를 위해 발전량 예측 모델 또한 수초 이내에 갱신된 예상 발전량을 산출하는 것이 필수적이다.

본 논문에서는 발전량 예측 모델의 MPC 실시간 연동을 위한 경량화를 수행하고, 경량화 모델에 대한 성능의 한계를 검증하는 구조를 제안한다.

II. 본론

MPC 제어

풍력과 태양광 등과 같이 주파수 하락에 저항하는 회전 관성이 없는 인버터 기반 발전원의 증가는 전력망의 강건성 약화를 초래한다. 이를 보완하기 위해, 가상관성을 제공하여 계통의 안전성을 확보하는 그리드포밍 기술이 사용될 수 있다[1]. MPC의 예측 모델과 최적화 과정을 통해, 가상관성을 제공하는 데 필요한 예비력의 정확한 산정이 가능하다. MPC 제어기는 산출된 예비력을 유지하기 위해 전력망 내 설비들의 출력을 제어하게 된다.



<MPC 제어 흐름도>

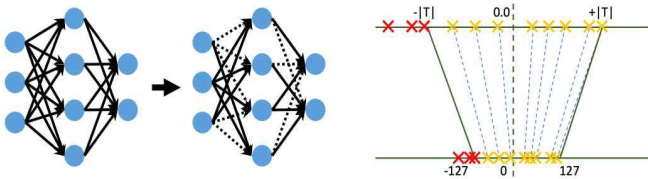
실측 기상 데이터 기반 발전량 예측 모델 학습 및 경량화

예측 모델은 출력 값을 MPC 제어기로 전달함으로써, 향후 어느 정도의 예비력 확보가 가능한지 판단할 수 있는 근거를 제공한다. 그리드포밍 인버터가 주파수 하락에 1초 이내로 대응하기 위해, MPC 모델 또한 수초 이내의 해상도로 예비력의 산정이 필요하다. 이에 따라, 발전량 예측 모델은 MPC 제어기에 실시간 연동이 보장되어야 한다.

발전량 예측 모델 학습에는 예측 기상과 실측 기상 데이터로 크게 두 종류의 데이터가 활용될 수 있다. 예측 기상데이터의 경우, 일반적으로 한 시간 단위의 기상 예측 해상도를 가지므로 본 논문에서 대상으로 하는 초

단위의 발전량 예측 모델 학습에 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 정밀한 해상도를 가지는 실측 기상 데이터를 대상으로 하며, 실측 기상 데이터는 발전소에 설치된 Met-Mast(기상탑)과 Nacelle 측정 데이터(풍력발전소의 경우)를 활용할 수 있다. Met-Mast와 Nacelle에서 취득한 초 단위의 데이터를 기반으로 일반적인 형태의 발전량 예측 모델을 생성한 후, MPC 연계에 필요한 예측 실행시간 보장을 위해 경량화 하는 구조를 설계하였다.

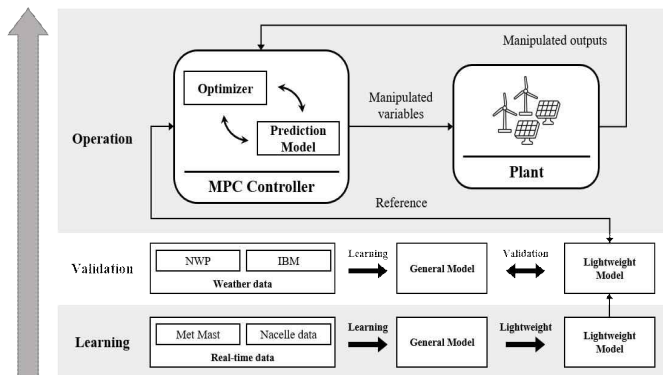
모델 경량화는 파라미터의 크기를 줄이면서 정확도 손실은 최소화하여 추론 속도를 높이는 기법이며, 아래와 같이 가지치기(Pruning)와 양자화(Quantization) 등의 방법이 있다. 가지치기는 모델의 정확도에 큰 영향을 미치지 못하는 파라미터 또는 채널을 제거 하여 모델을 압축한다[2]. 양자화는 32비트의 해상도를 가지는 부동소수점 형태의 파라미터를 더 낮은 해상도로 변환하며, 정확도 손실을 줄이기 위해 Log2 Distribution과 KL-Divergence 기법과 함께 사용될 수 있다[3].



<가지치기 및 양자화 기법>

예측 기상 데이터 기반 경량화 모델 검증 및 MPC 연계

실측 기상 데이터를 기반으로 생성된 발전량 예측 모델은 정밀한 해상도를 가지고 있지만, 자연에너지의 특성상 더 높은 시간 해상도에 해당하는 일, 월, 년 단위의 출력 특성을 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 예를 들어, 밤과 낮 시간대 발전량의 차이가 큰 태양광 에너지원의 발전량 예측을 위해 초 단위의 데이터를 학습시킬 경우에 시간대에 따른 특성을 제대로 반영하지 못할 수 있다. 따라서 초 단위 학습 모델이 이러한 성능의 한계를 가지고 있는지 검증하는 절차가 필수적이다. 이를 검증하기 위해 본 논문에서는 시간 단위 기상 예측 데이터 기반의 시간 단위 발전량 예측 모델의 출력과 초 단위 예측 모델의 출력을 검증하는 구조를 제안한다. 검증에는 MAPE, RMSE 등의 성능 측정 지표를 기준으로 정확도를 비교를 하거나, 모델 간의 예측 분포를 비교하여 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 파악하는 등의 방식을 사용할 수 있다. 검증에 통과된 경량화 모델의 출력은 MPC 제어기로 전달되어, 예비력 산정 알고리즘의 근거로 사용된다.



<발전량 예측 모델 실시간 연동을 위한 경량화 및 검증 구조>

III. 결론

본 논문에서는 주파수 하락에 대응하는 그리드포밍 인버터와 연계된

MPC 제어기와 발전량 예측 모델의 실시간 연동을 보장하기 위한 경량화 및 검증 구조를 제안했다. 제안된 구조에서는 예측 모델의 MPC 제어기 실시간 연동을 위해, 실측 기상 데이터로 학습된 모델의 추론 속도를 감소시키기 위해서 경량화 기법을 적용한다. 또한, 경량화를 통한 정확도 손실 및 더 높은 시간 해상도를 가지는 데이터 특성을 반영하지 못하는 등의 성능의 한계를 파악하기 위해, 예측 기상 데이터 기반으로 검증을 수행한다. 검증을 마친 경량화 모델은 MPC 제어기로 출력 값을 실시간으로 전달하여, 전력망 내 설비들의 예비력 산정의 근거를 제공하게 된다.

제안된 구조 내 경량화 모델에 대한 검증에 더하여, 동일 모델을 기준으로 여러 양자화 기법 적용한 결과들을 상호 비교하는 기능이 추가된다면, 효율적인 경량화 기법을 도출하는 방법론에 대해 연구할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00231709, 분산에너지계통접속 기반 그리드포밍 핵심기술 운영실증)

참고 문헌

- [1] Hoke, Andy, et al. Inverter-Based Operation of Maui: Electromagnetic Transient Simulations. No. NREL/PR-5D00-79852. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2021.
- [2] S. Han, H. Mao, and W.J. Dally, "Deep Compression: Compressing Deep Neural Network with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding," arXiv:1510.00149, 2015.
- [3] M. Rastegari et al., "XnorNet: ImageNet Classification Using Binary Convolutional Neural Networks," arXiv:1603.05279, 2016.