

에너지 저장 시스템의 예지보전 향상: 결측 데이터의 인공지능 기반 대입 방법 및 안전성 상태 평가에의 응용

박진원, 김창우, 최효섭

한국전자기술연구원

jwpark9010@keti.re.kr, cwkim@keti.re.kr, hschoi@keti.re.kr

Enhancing Predictive Maintenance in Energy Storage System: An Artificial Intelligence Approach for Imputation of Missing Data and Application in State-of-Safety

Park Jin Won, Kim Chang Woo, Choi Hyo Sub

Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문은 에너지 저장 시스템(ESS)에서 발생하는 데이터 누락 문제를 해결하고, 그 결과를 안전도(State of Safety, SoS) 계산에 활용하기 위한 Dlinear 모델의 적용 방법을 제시한다. Dlinear 모델은 시계열 데이터의 패턴 및 변동성을 분석하여 누락된 데이터를 효과적으로 대체함으로써, 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 데이터 생성을 도모한다. 이를 통해 ESS의 안전성과 효율성을 증진시키고, 신뢰성 있는 SoS 지표를 제공하여 긴급 상황에 신속하고 정확하게 대응할 수 있도록 한다. 본 연구에서 제안하는 방법은 ESS를 넘어 다양한 산업 분야에서의 데이터 누락 문제 해결에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

에너지 저장 시스템(ESS, Energy Storage System)은 전력을 저장하여 비상시에 사용하거나 판매 등의 목적으로 만들어진 시스템이다. [1-2] 최근 기후 변화와 지속 가능한 에너지 사용에 대한 관심이 증가함에 따라, 에너지 저장 시스템(ESS)의 중요성이 부각되고 있으며, 이에 따른 ESS의 효율성 및 안전성 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 이차전지 소재산업에서는 ESS/EV의 배터리 화재와 폭발을 방지하기 위한 예방책 및 안전성 향상에 관한 연구가 진행 중이다. 이 과정에서 ESS 내에서 발생하는 센서 데이터들을 기반으로 예지보전을 위해 데이터를 가공하여 활용하는 추세이다. 그러나 센서로부터 획득되는 원천데이터에서 시스템 결함, 병목 현상, 생산 결함 등의 이상 상황으로 인해 누락된 값이 발생된다.[3] 이러한 누락된 값은 시계열의 해석을 방해할 수 있기 때문에 배터리 분석시 정확한 분석을 하기 어렵다. 추가적으로 ESS 데이터는 시계열 데이터이기 때문에 복잡한 상관관계를 가지며 종종 큰 변동성을 보인다. 기존 연구에서는 이러한 누락된 데이터를 채우기 위해서 누락된 데이터를 완전히 무시하거나, 보간법, 최근접 이웃(NN) 그리고 비모수 회귀(NPR) 등과 같은 방법을 사용하였다. 그러나 이러한 접근법들은 시계열 데이터의 복잡한 상관관계와 변동성을 충분히 반영하지 못한다. 특히, 시계열 데이터의 패턴이나 트렌드를 고려하지 않은 채 단순히 가까운 값이나 통계적인 방법으로 데이터를 채우는 것은 실제 배터리 상태의 변화를 놓칠 가능성이 높다. 따라서, 본 논문에서는 Dlinear 모델을 사용한 방법을 제안한다.[4] Dlinear 모델은 시계열 데이터의 패턴과 변동성을 고려하여 누락된 데이터를 대체함으로써 보다 정밀한 배터리 상태 분석을 가능하게 한다. 제안하는 방법은 기존의 방법들 보다 시계열의 특성을 잘 반영할 수 있으며, 모델 또한 가볍기 때문에 BMS 환경에 적합하다.

II. 본론

2.1 누락된 데이터 처리 방법

ESS에서 수집되는 데이터는 시스템 결함, 병목 현상, 생산 결함 등의 이상 상황으로 인해 누락된 값이 발생한다. 이러한 누락된 값은 시스템의 안전성 및 성능에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 아래 그림은 누락된 데이터를 나타낸 것이다. 2022-07-04 하루동안 수집된 전압 데이터중 누락된 데이터를 나타낸 것이며, 우측 그림은 좌측 그림을 확대한 것이다.

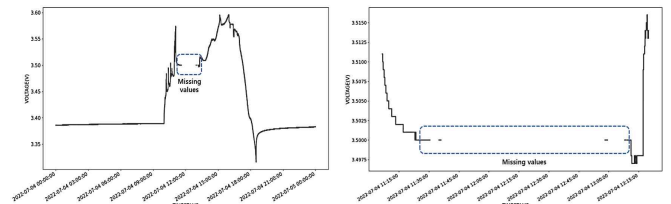


그림 1 ESS의 누락된 데이터

그림1에서 발생한 누락된 데이터를 처리하기 위해 Dlinear 모델을 사용한다. 이 모델은 시계열 데이터를 추세(Trend) 부분과 나머지 요소로 분해한 다음, 각각을 바닐라 선형 모델을 사용해 예측한다. 이후, 두 부분의 예측 결과를 결합하여 최종 값을 도출한다. 이렇게 생성된 데이터는 누락된 값들을 효과적으로 대체하며, 이를 통해 시계열 데이터의 완전성을 보장하고 분석의 정확성을 높이는 데 기여한다.

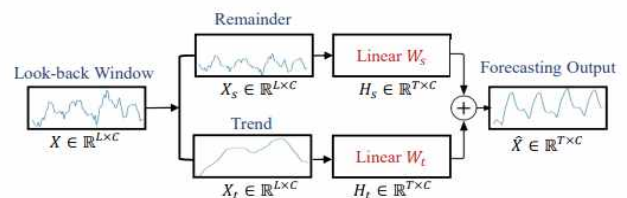


그림 2 Dlinear 모델[4]

2.2 안전도(SoS, State of Safety)

SoS는 배터리의 상태를 나타내는 지표이다. SoS는 위험, 경고, 안전 상태로 나타낼 수 있으며, 1은 완전히 안정된 상태를 말하며, 0의 값은 그와 반대된다. 그림3은 SoS의 작동영역을 나타낸 것이다.



그림 3 SoS의 작동영역

앞서 언급한 방법을 통해 누락된 데이터가 처리 되었으면, ESS의 예지보전을 위해 SoS 계산을 진행한다.[5]

$$f_{safety}(x) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\zeta} - 1\right) \left[\frac{h(x) - h(x_{100})}{h(x_{\zeta}) - h(x_{100})} \right]^2 + 1}$$

$$SoS(x) = f_1(x_1) * f_2(x_2) * \dots * f_n(x_n)$$

여기서, ζ 은 상한 안전도, $h(x_{\zeta})$ 은 입력 파라미터의 경고 값, $h(x_{100})$ 은 입력 파라미터의 최대안전도, $h(x)$ 는 입력 파라미터의 현재 값을 말한다. 상한 안전도는 일반적으로 0.8을 사용하며, 경고 값과 최대 안전도의 값은 실제 운영사이트의 프로텍션 맵을 참조한다. 아래 그림은 데이터가 입력되면 누락된 데이터를 처리하고 SoS 분석 과정을 플로우 차트에 맞춰 도식화한 것이다.

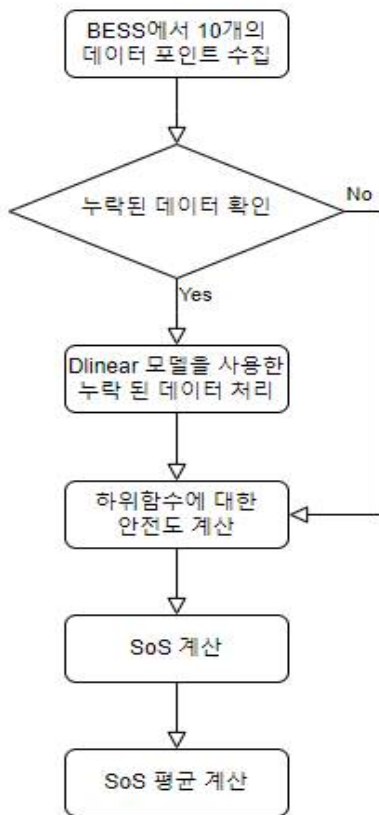


그림 4 Dlinear 모델 기반의 누락된 데이터 처리와 SoS 계산 순서도

III. 결론

본 논문에서는 Dlinear 모델을 사용하여 누락된 데이터를 처리하고, 안전도를 계산하는 방법에 대해서 논하였다. 제안하는 방법은 누락된 데이터의 패턴과 주변 데이터의 상관관계를 고려하여 더 정확하고 신뢰성 있는 데이터 대체가 가능하며, ESS의 안전성과 효율성을 높일 수 있으며, 신뢰성 있는 SoS(State of Safety) 지표 값을 계산하기 때문에 긴급 상황이나 예기치 못한 이벤트가 발생했을 때 빠르고 정확하게 대응할 수 있다. 이는 장기적으로 전체 시스템의 수명을 연장하고 유지보수 비용을 절감하는 효과를 가져올 것이다. 추가적으로 ESS 이외에도 한정된 리소스를 사용하여야 하는 다양한 산업 분야에서 데이터 누락 문제를 해결하는 데 사용될 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00077, 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율운영 및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임워크 개발)

참고 문헌

- [1] Komarnicki, Przemyslaw, Pio Lombardi, and Zbigniew Styczynski. "Electric Energy Storage System." *Electric Energy Storage Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017. 37-95.
- [2] Schainker, Robert B. "Executive overview: energy storage options for a sustainable energy future." *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2004. Ieee, 2004.
- [3] Pazhoohesh, Mehdi, et al. "Investigating the impact of missing data imputation techniques on battery energy management system." *IET Smart Grid* 4.2 (2021): 162-175.
- [4] Zeng, Ailing, et al. "Are transformers effective for time series forecasting?." *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*. Vol. 37. No. 9. 2023.
- [5] Cabrera-Castillo, Eliud, Florian Niedermeier, and Andreas Jossen. "Calculation of the state of safety (SOS) for lithium ion batteries." *Journal of Power Sources* 324 (2016): 509-520.