

머신러닝 기반 전기차 배터리 제어 관련 최신 기술 동향

정선호, 윤윤기, 강병도

지능형자동차부품진흥원

id4touch@kiapi.or.kr, ykyoon@kiapi.or.kr, headlamp@kiapi.or.kr

Recent Technical Trends in Machine Learning Based Control of EV Battery

Jung Sun-ho, Yun Yun-Ki, Kang Byung-Do

Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute (KIAPI)

요 약

전기자동차는 최근 보급이 확대되고 있지만 빈번한 화재사고로 인해 안전 이슈가 대두되고 있고, 소비자는 배터리 충전 시간 단축 등 사용자 편의성을 요구하고 있다. 이러한 이슈들을 해결하기 위해 머신러닝 기반의 전기차 배터리 제어 기술이 주목을 끌고 있다. 본고에서는 머신러닝 기반으로 전기차 배터리의 수명을 초기에 예측하여 급속 충전 프로토콜을 최적화하는 기술과 전기차 배터리의 고장을 진단하는 기술에 대해 살펴본다.

I. 서론

전기차 화재 사고로 인해 글로벌 전기차 제조사 중 GM 쉐보레 볼트가 6만 8천여대, BMW가 플러그인하이브리드 차량 2만 6900여대, 현대 코나 EV 7만7천여대 등 리콜이 발생하는 등 소비자의 불안감이 고조되고 있다. 국내에서는 '17~20년 11월 기간 중 소방청에서 집계한 69건의 전기차 화재 사고로 인해 총 7.6억원 상당의 재산피해액이 발생했다. 국립과학수사 연구원에 따르면 이러한 전기차 화재 사고의 절반 이상이 차량 하부에 설치된 배터리팩 어셈블리 내부의 전기적 요인에 의한 것으로 추정된다.

거듭되는 전기차 화재 사고 소식을 접하게 되면서, 배터리의 하드웨어 및 배터리 관리 시스템(BMS)에 대한 안전 기준의 중요성이 대두되고 있다. 유럽에서는 WP29의 REESS(Rechargeable Electric Energy Storage System)와 ELSA(Electric Safety) 전문가 입법회의를 통하여 유럽의 전기자동차 안전기준인 'ECE R100'이 제정되었다. 미국에서는 전기차 안전성 관련 세계기술기준인 GTR No. 20의 제정에 미국도로교통안전국(NHTSA)이 총괄로 참여하는 등 행보를 보이고 있다. 국내에서는 '21년 7월부터 개정된 국내 전기차 배터리 안전 기준인 '구동축전지 안전성 시험 기준'에서 전기차 배터리 안전성 시험을 기존 7항목에서 12항목으로 확대시켜 배터리의 하드웨어 뿐 아니라 BMS의 진단 기능에 대해서도 안전성 기준이 강화되고 있다.

전기차 배터리 관련 안전 기준 강화와 더불어 배터리의 안전성을 확보할 수 있도록 급속 충전 시 충전프로토콜 제어나, 배터리 고장 진단 등 머신러닝 기술을 필요로 하는 분야가 늘어나고 있다. 본고에서는 관련 연구에 대해 알아보기로 한다.

II. 본론

1. 머신러닝을 이용한 전기차 배터리 급속 충전 프로토콜 최적화

전기차 충전시간 단축 수요로 인해 급속충전기 보급이 확대되고 있다.

급속 충전은 소비자의 편의를 향상시켜 주지만, 발열로 인해 배터리 내부가 손상을 입을 가능성이 있고 이는 배터리 사용 수명 단축을 초래할 수 있다. 따라서 배터리의 내부 열화를 방지하는 범위 내에서 최단 시간에 충전할 수 있도록 최적화된 충전 프로토콜의 설계가 필요하다고 볼 수 있다. 최근에는 머신러닝을 이용한 전기차 배터리 충전 프로토콜의 최적화가 시도되고 있다.

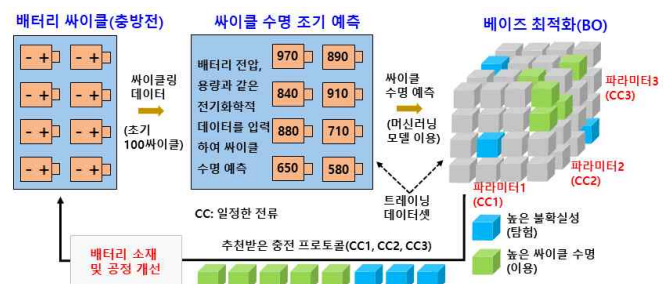


그림 1 클로즈 루프 최적화(CLO) 시스템 개요

연구팀은 배터리 수명을 최대화하기 위한 6단계의 충전 프로토콜 전류와 전압 프로필을 지정하여 파라미터 공간을 효율적으로 최적화하는 머신러닝 방법론을 제안했다[1]. 이 연구에서는 배터리의 수명을 최대화하고 10분 이내에 EV 배터리를 80%까지 충전하기 위한 최적의 프로토콜에 대해 머신러닝을 이용하여 찾는 것을 목표로 하고 있다. 충전 프로토콜 최적화를 위해 사용하는 클로즈 루프 최적화(CLO) 시스템은 그림 1과 같이 진행된다. 초기 100사이클의 배터리 전압, 용량과 같은 데이터는 사이클 수명의 초기 예측을 위한 입력치로 사용된다. 머신러닝 모델의 이러한 사이클 수명 예측은 이후에 베이스 최적화(Bayesian Optimization, BO) 알고리즘으로 전달된다. 이는 예측된 사이클 수명이 높은 불확실성을 갖는 프로토콜을 테스트하는 '탐험(exploration)'과 높은 사이클 수명이 예측된 프로토콜을 테스트하는 '이용(exploitation)' 사이의 경쟁에서 균형을 맞추며

테스트할 다음 프로토콜을 추천한다. 이 과정은 테스트할 충전 프로토콜이 소진될 때까지 반복된다. 이러한 사이클 수명의 조기 예측은 배터리 수명 예측을 위해 필요한 장시간의 테스트 사이클 수를 줄여 주어 효율을 개선시킬 수 있다. 고장나는 시점까지 충방전을 거친 배터리의 작은 트레이닝 데이터셋은 사이클 수명 조기 예측 변수를 트레이닝하고 BO 하이퍼 파라미터(학습 알고리즘의 샘플에 대한 일반화를 위해 조절되는 학습률, 에포크 수, 은닉층 수 등의 파라미터)를 설정하는 데 모두 사용된다. 향후 배터리 소재 및 공정 설계 또한 이 시스템을 적용할 수 있을 것으로 연구팀은 기대하고 있다.

기존 배터리의 충방전을 반복하여 배터리의 수명을 평가하는 방식은 시간과 비용이 소요되어 단시간에 합리적으로 배터리 수명을 예측하는 다양한 방법들이 제안되고 있다. 이런 수명 예측 방법들은 실제 충방전 환경을 적절히 반영하고 있는지, 그리고 실제 충방전 수명이 어느 정도 재현 가능한지를 명시하여야 하며, 재현성을 높여가기 위해 오차 보정 등의 노력이 필요할 것으로 생각된다.

2. 머신러닝 기반 전기차 배터리 고장 진단

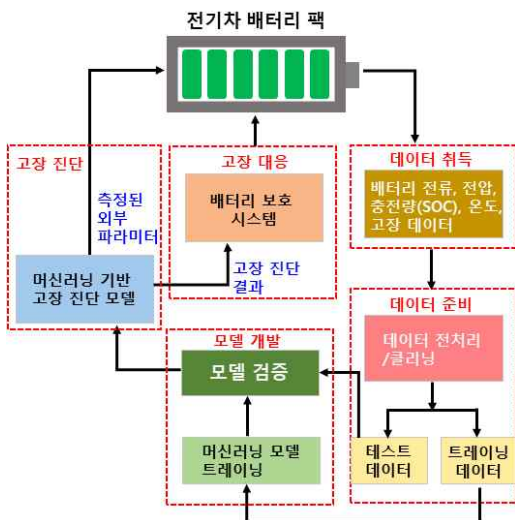


그림 2 머신러닝 기반 배터리 고장 진단

현재 전기차에 배터리 시스템에 탑재된 BMS는 일반적으로 스탠드 얼론으로 동작하여 일반 PC에 못미치는 처리 능력으로 배터리 감시를 수행하고 있다. 또한 배터리 충전량(SOC)은 배터리의 용량에 따라 달라지는데, 용량은 온도, 전류 크기 등의 환경에 따라 달라질 수 밖에 없음에도 BMS는 일반적으로 고정값의 용량을 입력하여 계산한다. 이러한 배터리 진단 기능에 관한 문제점을 극복하기 위해 머신러닝 기반의 배터리 고장 진단이 하나의 해결 방안으로 제시되고 있다[2].

그림 2에 머신러닝 기반 전기차 배터리 고장 진단 개요를 나타낸다. 전기차 배터리 고장 진단을 위해, 배터리 셀 전압, 전류 및 온도를 센서 및 데이터 수집 시스템을 이용하여 기록한다. 배터리 소모 패턴을 분석하고 실험을 통해 데이터를 생성한다. 배터리 고장 데이터는 배터리 작동 데이터와 실험실에서의 실험을 통해 수집되고, 데이터 클리닝 및 feature extraction*을 위해 원시 데이터의 전처리가 진행된다. 전처리를 거친 데이터는 트레이닝 데이터셋과 테스트 데이터셋으로 랜덤 분류된다. 머신러닝 기반 고장진단 전략을 수립하는 동안, 트레이닝 데이터셋은 알고리즘 러닝을 위해 사용되고, 테스트 데이터셋은 검증용으로 사용된다. 작동 전

류, 단자 전압, 온도 등과 같은 배터리 관련 파라미터들은 검증된 머신러닝 기반 고장진단 방식을 사용하여 배터리의 고장을 검출하기 위해 사용된다. 고장 검출 신호는 배터리 보호 시스템에 대한 명령으로 사용된다.

이러한 고도화된 배터리 고장 진단은 스탠드 얼론으로는 현실적으로 어렵기 때문에, 클라우드 기반으로 배터리 상태 변화 모니터링 및 이상 신호 감지 시 충방전 차단 등을 실시간 대응할 수 있어야 전기차의 안전을 확보할 수 있을 것이다. 따라서, 제작 비용이나, 통신 지연 문제 등 클라우드 기반 BMS의 다양한 부가적인 이슈에도 관심을 가져야 할 것이다.

*feature extraction: feature는 학습 및 예측할 데이터의 특징, 항목으로, 여기서는 배터리의 전압, 전류, 온도 등의 데이터가 이에 해당되며, feature extraction은 feature가 유용한지 여부를 확인하는 과정

III. 결론

전기차 배터리는 생산자의 생산 단가 인하나 성능 개선에 대한 압박을 꾸준히 받고 있어 배터리 소재 개발에 대한 지속적인 수요가 있을 것이며, 출시되는 배터리의 종류는 점차 다양해질 것으로 예측된다. 따라서 다양한 배터리 시스템에 대해 단 시간에 충전 프로토콜 최적화할 수 있는 머신러닝 기술 확보를 위해 배터리의 전기화학적 특성과 같은 트레이닝 데이터의 축적이 중요하다고 할 수 있겠다.

전기차 배터리의 고장 진단의 몇 가지 일반적인 과제가 있다. 예를 들면, 고장 임계값 정의의 기준, 고장 시뮬레이션 툴 부재, 조기 고장 감지의 한계가 있겠다. 배터리 셀 노화, 배터리 셀 불일치(용량), 등에 대응하는 고장 진단 방법의 개발도 매우 중요한 과제라고 할 수 있겠다. 또한, 단일 고장 진단 방법의 내재적 한계로 인해, 정확성 향상을 목표로 하는 복합적인 고장 특성과 진단 방법을 결합하는 것이 유망한 추세이다.

전기차 배터리에 대한 머신러닝 기반 수명 예측이나 고장 진단이 아직 초기 단계로 해석되지만 갈수록 머신러닝 이론이 풍부해지고 배터리 데이터의 가용성이 높아져 고장 진단에 대한 신뢰는 높아져 갈 것으로 기대된다. 향후 HIL(Hardware-in-the-loop) simulation 등을 이용하여 배터리 관리시스템의 배터리 상태 추정 기능과 알고리즘의 계산 부하 등 적용 가능 여부를 검증해 나갈 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부 국가연구개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.(과제번호: 20SDPT-C158092-01)

참고 문헌

- [1] Attia, P. M., et al. "Closed-loop optimization of fast-charging protocols for batteries with machine learning," Nature '578, pp. 397-402, Feb. 2020.
- [2] Samanta, A., et al. "Machine Learning-Based Data-Driven Fault Detection/Dignosis of Lithium-Ion battery: A Critical Review," Electronics '10, 1309, May 2021.