**Literature survey**

**Battery Fault Diagnosis for Electric Vehicles Based on Voltage Abnormality by Combining the Long Short-term Memory Neural Network and the Equivalent Circuit Model**

*Da Li, Zhaosheng Zhang, Peng Liu, Zhenpo Wang and Lei Zhang, Member IEEE*

IEEE Transactions on Power Electronics에 개재된 논문중에 비슷한 방식으로 배터리 fault detection을 한 논문이 있어 소개해 드립니다. 저는 이쪽 분야의 저널에 대해 잘 알지 못합니다만 Impact factor 6 정도의 논문으로 되어있고 충분히 고려할만한 Impact factor라고 생각됩니다.

해당 논문에서는 배터리 모델링의 3가지 방식(Electro-chemical modeling, Equivalent circuit mode, data-driven model) 중에서 equivalent circult model과 LSTM을 활용한 data-driven 모델을 사용합니다.

우선 이 두 모델의 파라미터를 구하여 EV에 사용되는 리튬 이온 배터리의 모델을 구현하는데, 정상 EV 배터리의 주행 데이터를 갖고 학습을 통해 이 두가지 모델의 파라미터를 구합니다. 모델 입력으로는 SOC, Pack voltage, Cell voltage, Current를 입력으로 하고 출력으로는, 정상 Cell voltage를 계산해 냅니다. 따라서, 두 모델 모두 출력으로 정상 EV 배터리의 cell voltage 출력을 계산해 내게 됩니다. 이 계산된 정상 Cell voltage를 기준으로 현재 EV 내 개별 Cell들의 편차(계산된 Cell voltage - Actual cell voltage)를 구하고 이 편차에 따라 Fault 여부를 판가름 해 냅니다. 편차가 크면 클수록 더 심각한 fault이며 편차가 작으면 덜 심각한 fault로 구분합니다.



*그림 1 Fault alarm level detection*

위의 그림에서 그래프는 실제 주행하는 차량의 cell 전압을 보여주는데 빨간선이 계산된 cell voltage, 파란선이 Actual cell voltage, 초록색 선은 편차를 나타냅니다. 여기서 편차가 주황색 점선에 도달하면 first level alarm을 띄우고 빨간색 점선까지 도달하면 second level alarm을 띄우는 방식입니다.

특이한 점으로는, 해당 Equivalent circuit 모델은 cell voltage, current를 입력으로 해서 정상 Cell voltage를 계산해 내는 반면, LSTM 모델은, cell voltage, pack voltage, SOC를 사용하여 계산합니다. 즉, LSTM을 통해 계산된 전압 값은 current를 입력으로 하지 않기 때문에 조금 덜 noise 한 방식의 결과가 나옵니다. 반면, Equivalent circuit 모델은 차량이 가감속 할때마다 cell voltage값이 크게 변동합니다. 이렇게 다른 입력 값을 통해 같은 출력 값을 계산해 내고, 저자는 이러한 방식이 상호 보완적인 작용을 하여 fault detection에 긍정적으로 작용을 한다고 주장합니다.

해당논문의 novelty로는 정상 배터리 데이터만을 기준으로 삼아서 threshold를 잡는다는 것이며, 이로써 faulty battery 데이터가 부족하더라도 충분히 validate 가능한 모델을 구현 할 수 있는데 있습니다.

반면 한계점으로는, SOH를 입력으로 넣지 않음으로 이에 따른 내부저항 변수를 간과하고 있다는 점과, 정상 배터리의 기준이 명확하지 않고 단지 internal resistance가 작은 배터리 팩을 기준으로 잡았다는 점에 있습니다. 그럼에도 충분히 feasible한 결과를 내었다고 판단됩니다.

아래 그림은 fault detection에 사용되는 전체 흐름도입니다. 참고용으로 보시면 됩니다.



*그림 2 Fault detection 구조*