

MMAE-EKF를 이용한 SOC 추정 알고리즘 구현 및 검증

윤현용, 김동주, 신승민, 김민국, 이병국[†]
성균관대학교 정보통신대학

Implementation and Verification of SOC Estimation Algorithm using MMAE-EKF

Hyun Yong Yoon, Dong Joo Kim, Seung Min Shin, Min Kook Kim, and Byoung Kuk Lee[†]
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리 SOC 추정 정확도 향상을 위해 기존 EKF 추정 기법에 MMAE 방법을 접목시키는 방법을 제안한다. 노이즈의 세기에 따라 EKF 출력에 비중을 부여함으로써 배터리 사용 전 영역에서 SOC 추정 오차 저감이 가능하며, Matlab 시뮬레이션을 통하여 MMAE EKF 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

전기 자동차용 배터리의 SOC 추정을 위하여 많은 곳에서 전류 적산법 (Ampere Hour Counting)과 OCV (Open Circuit Voltage)를 결합한 방법을 사용한다. 하지만 이 방법은 같은 계열의 배터리라도 화학적 특징이 달라 반복적인 실험이 필요하며, 많은 실험을 통하여 충분한 데이터를 확보하지 않으면 SOC 추정 오차가 커진다. 또한 전기 자동차 구동 중 충분한 휴지 시간이 확보되지 않으면 오차가 누적되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 EKF를 이용한 SOC 추정 방법에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

배터리는 전기적, 화학적, 환경적 요소에 영향을 받기 때문에 EKF에 사용되는 배터리 전기적 모델을 정확하게 구현하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 EKF를 이용한 SOC 추정 성능 향상을 위해 배터리 모델링의 정확한 구현방법 혹은 알고리즘을 통한 모델링 에러 최소화 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다^[1].

본 논문에서는 MMAE EKF 방법을 통하여 배터리 모델링 에러 최소화 방법을 제안한다. MMAE EKF는 노이즈에 따라 비중을 부여하여 SOC를 추정하는 방법으로 Matlab Simulink를 통해 단일 EKF를 이용했을 때와 MMAE EKF를 이용했을 때의 SOC 추정값과 비교하여 타당성을 검증하였다.

2. 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter, EKF)

EKF는 비선형 시스템의 상태 추정에 쓰이는 알고리즘이며, 이를 구성할 시에는 상태 방정식에 따른 모델링 구성이 중요하다. 하지만 본 논문에서는 상태 방정식의 개선을 통한 방식이 아닌, 알고리즘을 통한 SOC 추정 오차 향상을 위해 Simple Model로 배터리 모델링을 구성하였다. Simple Model 시스템의 상태 방정식은 식 (1), (2)와 같다. 칼만 이득은 실제 전압값과

추정 전압값의 오차를 줄이는 데에 이용되고, 입력 노이즈(Q_k), 프로세스 노이즈(R_k), 오차 공분산(P_k)를 이용하여 계산되며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (3)을 통해 실제 전압값과 추정 전압값의 오차를 보정하여 SOC를 추정한다.

$$SOC_{k+1} = SOC_k + i_k \Delta t / C \quad (1)$$

$$V_k = OCV_k - i_k R \quad (2)$$

$$K_k = P_k H_k^T / H_k P_k H_k^T + R_k \quad (3)$$

3. MMAE-EKF

3.1 다중 모델 적응 필터(Multiple Model Adaptive Estimation, MMAE)

MMAE는 병렬로 구성된 상태에 비중을 부여하고, 그 합을 통해 값을 추정함으로써 노이즈에 의한 영향을 감소시키는 방법이다. EKF를 이용한 SOC 추정 방법은 비선형적으로 입력되는 노이즈와 배터리 모델링의 부정확성으로 인하여, 노이즈의 세기가 상대적으로 큰 구간에서의 SOC 추정 오차가 크게 나타난다. 따라서 MMAE 방식을 통해 노이즈의 세기에 비중을 부여하면 배터리 사용 전 영역에 대한 오차 저감이 가능하다.

3.2 MMAE-EKF

MMAE EKF 방법은 EKF에서 추정된 SOC에 노이즈의 크기에 따라 비중을 부여하여 SOC값을 추정하게 되며, 이는 그림 1과 같다^[2]. MMAE EKF에 적용해야할 식으로는 잔류 공분산(S_k), 확률밀도함수($f_n(i_k)$), 비중($p_n(k)$)이 있다.

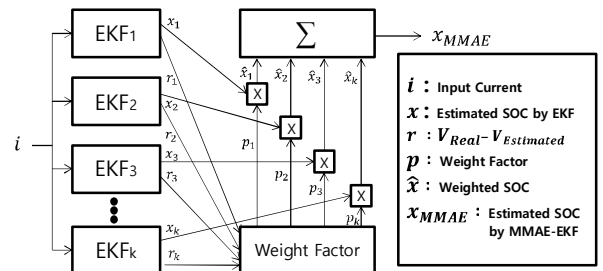


그림 1. MMAE-EKF 블록도.

Fig. 1. MMAE-EKF block diagram.

식 (5)의 r 값은 실제 전압값과 추정 전압값의 차이이다. r 과 S 를 이용하여 $f_n(i_k)$ 를 계산하게 되고, 이는 식 (5)과 같다. $p_n(k)$ 을 표현한 식은 식 (6)과 같다.

$$S_k = H_k P_k H_k^T + R_k \quad (4)$$

$$f_n(i_k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{m/2} |S_k|}} e^{-\frac{r^T S_k^{-1} r}{2}} \quad (5)$$

$$p_n(k) = f_n(i_k) p_n(k-1) / \sum_{j=1}^N f_j(i_k) p_j(k-1) \quad (6)$$

식 (4)~(6)을 이용하여 특정 시간에 감지된 노이즈의 값이 작은 경우에는 비중을 크게 부여하고, 반대로 노이즈의 값이 크게 나타난 경우에는 비중을 작게 부여한다. 따라서 불특정한 노이즈를 반영하는 EKF와 달리, MMAE EKF는 노이즈에 따른 예러와 상관없이 향상된 배터리 SOC 추정이 가능하다.

4. 시뮬레이션

MMAE EKF에 적용되는 EKF 병렬 구성 개수의 효율을 따져보기 위해 2개, 4개, 5개, 7개, 10개의 EKF를 구성하였을 때 발생하는 실제 전압값과 추정 전압값의 오차와 SOC 추정 시뮬레이션 소요 시간을 표 1에 나타내었다.

표 1 병렬 구성한 EKF 블록 개수에 따른 평균오차율 및 추정 시간
Table 1 Average error and estimation time in accordance with the number of paralleled EKF block

Number of EKF	2	4	5	7	10
Error average(%)	1.13	1.01	0.89	0.73	0.63
Simulation time(sec)	1205	1451	1667	2439	4348

병렬 구성한 EKF 블록의 수가 5개 이상인 경우부터 오차율이 1% 미만으로 나타나며, 시뮬레이션 소요 시간 증가율은 병렬 구성한 EKF 블록수가 5개를 초과함에 따라 급격히 증가하는 양상을 확인하였다. 따라서 오차를 측면이나 소요 시간 측면을 고려하여 5 병렬 MMAE EKF를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 단일 EKF를 이용하여 SOC 추정을 한 경우보다 5 병렬 MMAE EKF를 이용하여 SOC 추정하였을 때의 값이 실제 SOC값과 더 가깝게 추정된 것을 확인할 수 있었으며, 그래프는 그림 3과 같고, 단일 EKF와 MMAE_EKF의 오차율을 그림 4와 같이 비교하였다.

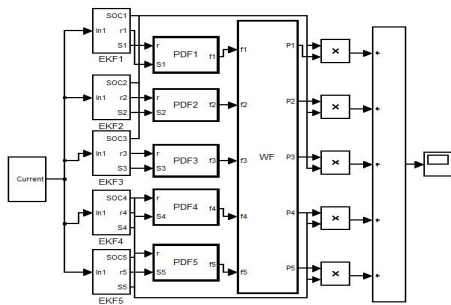


그림 2. 5-병렬 EKF로 구성된 MMAE-EKF 블록도.
Fig. 2. MMAE-EKF block diagram composed five - parallel EKF.

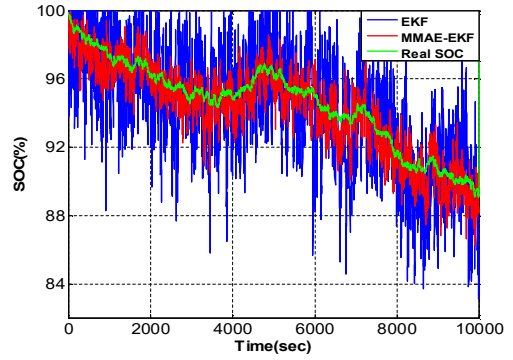


그림 3. EKF 및 MMAE-EKF에 의해 추정된 SOC값 비교.
Fig. 3. Comparison of real SOC, SOC by EKF and MMAE-EKF.

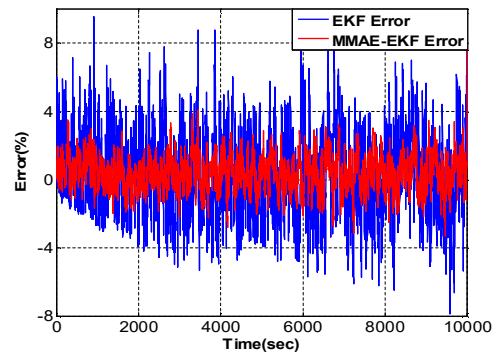


그림 4. EKF 및 MMAE-EKF 오차율.
Fig. 4. EKF and MMAE-EKF error percentage.

5. 결론

본 논문에 적용한 MMAE EKF 알고리즘은 노이즈에 비중을 부여하여 SOC를 추정하는 방법이다. 제안하는 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 검증한 결과, 단일 EKF에 의한 SOC 추정의 경우에는 약 5%, MMAE EKF에 의한 SOC 추정의 경우는 약 2% 정도의 오차가 발생하여, 약 3%의 오차 개선이 이루어지는 것을 확인하였다. 분석된 결과를 통하여 MMAE EKF 알고리즘을 통한 SOC 추정의 정확성 향상을 확인할 수 있었다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.10038825)입니다.

참고 문헌

- [1] Gregory L. Plett, "Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB based HEV battery packs Part 2. Modeling and identification", *Journal of Power Sources*, Vol. 134, Issue 2, pp. 262-276, 2004.
- [2] C. Hide, T. Moore, and M. Smith, "Multiple Model Kalman Filtering for GPS and Low cost INS integration", *Proceedings of the 17th international Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, pp. 1096-1103, 2004.