

PAA 기반 EVs 주행 데이터 압축 및 RGB 색상 기반 데이터 시각화

이상력*, 한동호*, 하태빈*, 김종훈*
 충남대학교 에너지저장변환연구실*

PAA-Based Compression of EV Driving Data and RGB Image Visualization

Sangryuk Lee *, Dongho Han *, Taebin Ha *, Jonghoon Kim*
 Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University*

ABSTRACT

전기 자동차(Electric vehicles; EVs)의 주 전원인 리튬이온 배터리는 사용자의 운전 습관이나 주행 패턴 등의 운용 환경 및 조건으로 인한 열화 경향성이 상이하다. 이에 따라 EVs의 상태 추정 방안의 성능 향상을 위해서는 EVs의 주행 이력데이터가 필수적이다. 하지만 EVs 주행 이력데이터를 원본 그대로 사용하는 것은 비용적인 측면이나 데이터 센터의 저장 공간 한계로 인해 효과적인 압축 방법이 필요하다. 본 논문에서는 PAA(Piecewise Aggregate Approximation)기법을 사용하여 UDDS(Urban Dynamometer Driving Schedule)와 HWFET(Highway Fuel Economy Test)를 사용한 요일 별 주행 모사 데이터를 압축하였다. 또한 압축된 데이터에 RGB 색상을 사용하여 이미지화를 수행하였으며, 해당 압축 방법의 유효성은 4가지 이미지 유사성 평가지표를 통해 나타내었다. 또한 생성된 PNG 파일이 약 94% 이상의 압축률을 달성하였다.

1. 서론

최근 환경오염에 따른 기후 변화에 대응하고, 탄소 중립에 도달하기 위해 리튬이온 배터리를 주 전원으로 사용하는 전기 자동차(Electric vehicles; EVs)가 내연 자동차를 대체하고 있다^[1]. 하지만 리튬이온 배터리는 장기간 사용에 따라 열화가 발생하며, 방전용량이 저하되는 특성을 가지고 있다. 또한 방전용량이 저하되는 경향성은 리튬이온 배터리 어플리케이션의 운용환경 및 운용조건에 따라 동일한 배터리라도 열화 특성이 비선형적으로 나타난다. 이에 따라 EVs 또한 사용자의 운전 습관이나 운행 특성에 따라 열화가 비선형적으로 나타나기 때문에 주행 이력 데이터 확보는 필수적이다. 많은 논문에서는 리튬이온 배터리의 안전하고 효율적인 운용을 위해 상태 추정 방법들을 제안하고 있다^[2]. 이 중 데이터 기반의 방법은 빅데이터를 관리할 데이터 센터가 설립되고, 어플리케이션 내 하드웨어의 성능이 발전함에 따라 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 그럼에도 불구하고 매일 수집되는 대용량의 데이터는 저장 공간을 많이 필요할 뿐 아니라 전송에도 많은 비용을 소비한다^[3]. 이러한 제약사항들은 완화하기 위해서 EVs 주행 이력 데이터의 압축은 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 주행 이력 데이터의 압축을 위해 전압, 전류 데이터를 PAA(Piecewise Aggregate Approximation) 기반으로 압축을 수행하였다. 또한 압축된 데이터를 RGB 색상에 매핑을 통해 픽셀당 압축된 1개의 시계열 정보를 나타냄으로써 압축된 데이터를 이미지화 하였다.

	월	화	수	목	금	토	일
출근 (UDDS Cycle)	1	1	1	1	1	UDDS 1Cycle	UDDS 1Cycle
업무 중 (REST 시간)	90	90	90	90	90	HWFET 2Cycle	HWFET 2Cycle
퇴근 (UDDS Cycle)	1	1	1	1	1	UDDS 1Cycle	UDDS 1Cycle
수면 (REST 시간)	90	90	90	90	-	90	-
총 시간(min)	225.6분	225.6분	225.6분	225.6분	225.6분	161.12분	161.12분
충전(SOC%)	-	-	-	-	완충(97%) (완속 충전 1/5C)	-	완충(97%) (완속 충전 1/5C)
					+300분		+300분
SOC감소량(%)	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	38.8	38.8
현재 SOC(%)	79.6	62.2	44.8	27.4	10~97	58.2	19.4~97

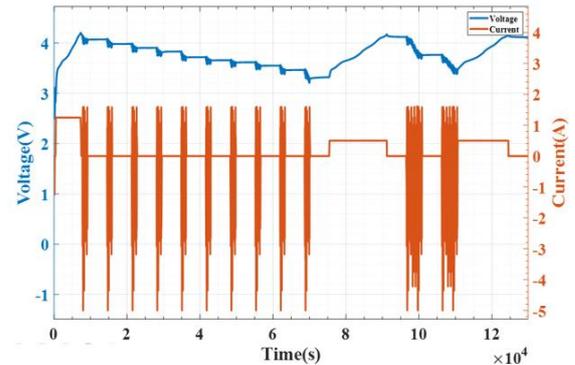


그림 1 일반 직장인의 일주일 치 EVs 주행 모사 데이터
 Fig. 1 Simulation Data of a Week's Worth of EVs Driving History for an Average Office Worker

2. PAA 기반 EVs 주행 데이터 압축 및 이미지화

2.1 일반 직장인의 EVs 주행 모사 배터리 실험 설계

본 논문에서는 EVs의 주행 이력 데이터를 확보하기 위해 일반 직장인의 일주일치 EVs 주행을 모사하는 프로파일을 설계하였으며, 그림 1에 명시하였다. 주행 모사 시험은 항온 챔버를 사용하여 상온 (25℃) 조건에서 진행하였다. 평일인 5일은 UDDS(Urban Dynamometer Driving Schedule) 프로파일을 2번 배치하여 출근과 퇴근을 모사하였으며, 이에 따라 SOC(State of Charge; SOC) 감소량은 평일 기준 하루에 17.4%가 감소하였다. 주말의 경우 UDDS 프로파일 2번과 HWFET(Highway Fuel Economy Test) 프로파일을 1번 배치하여 도시에서 교외로 나가고 돌아오는 상황을 모사하였으며, SOC 감소량은 38.8%였다. 금요일과 일요일 프로파일이 종료된 후, 0.2C-rate의 완속 충전을 진행하였으며, SOC 97%에서 10% 구간 사이에 위치하도록 설계하였다.

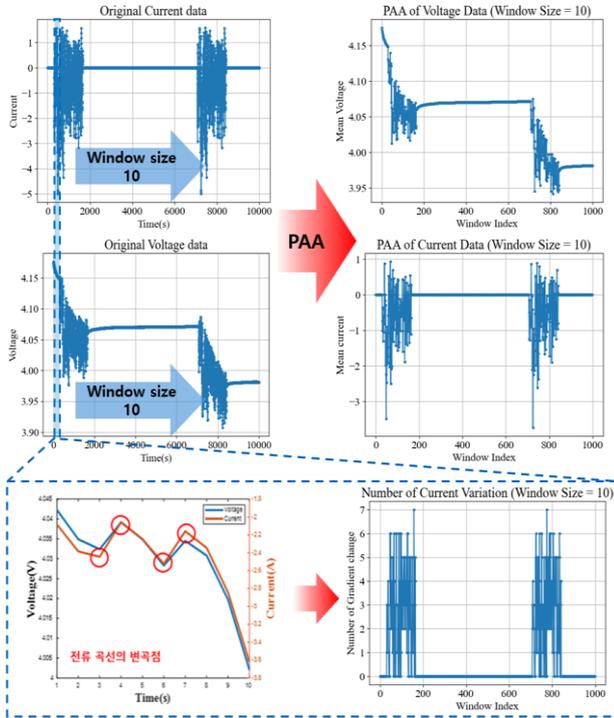


그림 2. PAA 기반 EV 주행 데이터 압축 및 전류 변동성 추출 - 월요일
 Fig. 2 PAA-based EV Driving Data Compression Example - Monday

2.2 PAA 기반 배터리 원본 시계열 데이터 압축

PAA(Piecewise Aggregate Approximation)는 데이터를 균등한 길이의 구간으로 나눈 후 각 구간의 평균값을 계산하여 시계열을 근사하는 시계열 데이터의 차원 축소 기법이다. 계산이 간단하고 효율적이며, 주어진 윈도우 크기 내에서 각 부분의 평균 값을 사용하기 때문에 원본 데이터의 주요 특성을 유지하면서 정보 압축 가능하다. 따라서 배터리 원본 데이터의 차원을 축소하기 위해 적용하였으며 식(1)에 기술한다.

$$\bar{x}_i = \frac{N}{m} \sum_{j=(i-1)\frac{m}{N}+1}^{i\frac{m}{N}} x_j \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

N은 window size에 따른 구간의 개수, m은 전체 데이터의 길이를 의미하며, x_j 는 원본 데이터의 값을 의미한다. 그림 2는 월요일에 추출된 EV 주행 모사 시험의 전류 및 전압 원본 데이터에 PAA 기법을 window size 10으로 적용한 압축 결과를 나타낸다. 압축된 전압은 window size 내의 전압을 평균화해서 저장함으로써, 사용자의 EV 주행이 이루어지고 있는 SOC range에 대한 정보와 DOD에 대한 정보를 추출 가능하다. 그리고 압축된 전류는 사용자의 EV 주행이 이루어질 때 사용하는 평균 C-rate에 대한 정보를 추출 가능하다. 또한 PAA를 기반으로 데이터를 축소 시 window size내 전류 기울기를 계산하여, 전류 변동성을 추출하였다. 전류 변동성은 전류 기울기가 양에서 음, 그리고 음에서 양으로 변하는 점의 개수를 의미하며, 이를 통해 EV에서 일어나는 회생 제동에 대한 정보를 획득한다. 결과적으로 압축된 3개의 데이터는 기존 원본 데이터보다 차원이 축소되어 나타남과 동시에 배터리의 주요 열화 인자에 대한 정보를 추출 가능하다.

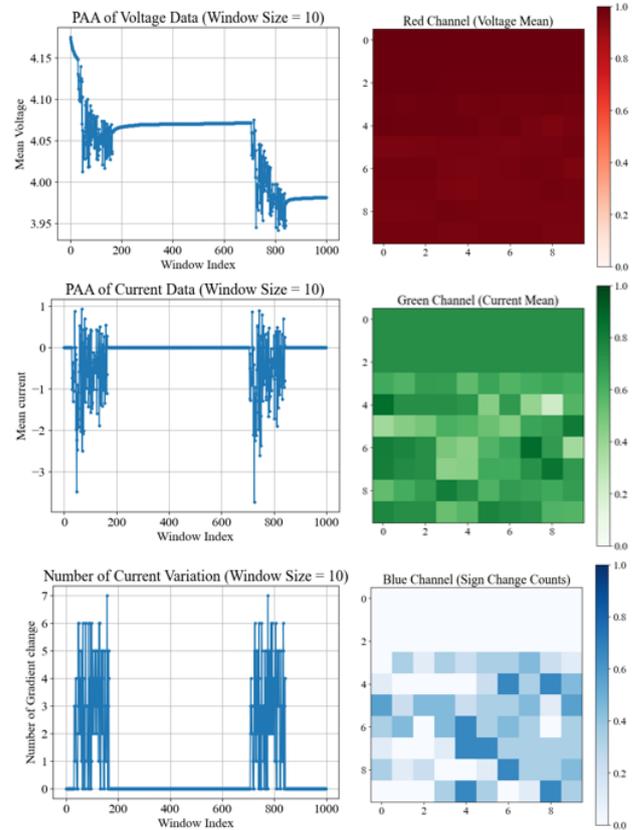


그림 3. PAA 기반 압축된 데이터별 RGB 색상 인코딩 예시 - 월요일
 Fig. 3 RGB Color Encoding for PAA-Based Compressed Data

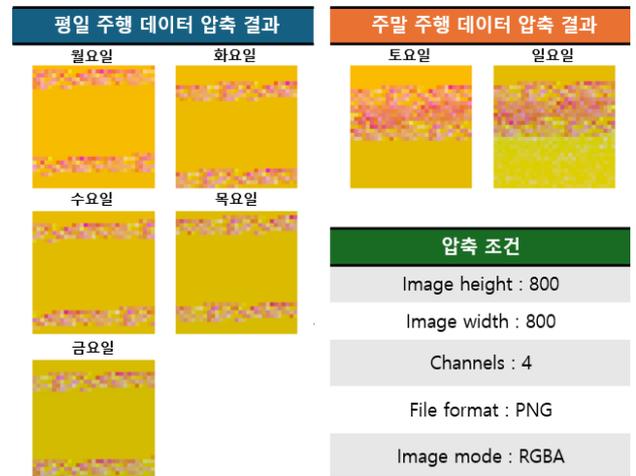


그림 4. RGB 색상 기반 EVs 주행 데이터 이미지화
 Fig. 4 Visualization of EVs driving data based on RGB color

2.3 RGB 색상 기반 시계열 데이터 이미지화

RGB를 사용하여 픽셀당 시계열 데이터를 표현하는 방법은 각각의 RGB 색상에 할당된 데이터 간의 상호작용이나 유사성을 파악하는데 유용하다. 따라서 압축된 전압, 전류 데이터와 전류 변동성 데이터를 기반으로 픽셀 당 RGB 색상을 이용하여 표현하였으며 이를 그림 3에 나타낸다. 1개의 픽셀은 1개의 압축된 결과를 표현하며, 이는 PAA로 압축된 10개의

time step을 나타낸다. 압축된 전압 데이터는 배터리의 전압 범위인 3.2V부터 4.17V를 0부터 1사이로 정규화 하여, 붉은색으로 나타내었으며, 압축된 전류 데이터는 전류량의 범위인 1.8A 부터 -5A를 정규화 하여 초록색으로 나타내었다. 전류 변동성의 경우, window 10 내에서 기울기를 계산하여 추출하기 때문에 1부터 9를 정규화 하여 파란색으로 나타내었다. 결과적으로 압축된 데이터들을 33X33의 픽셀 999개에 표현하였으며, 그림 4에 나타낸다.

2.4 주행 데이터 이미지 유사성 평가

생성된 요일 별 EVs 주행 데이터 이미지를 분석하기 위해 총 4가지 이미지 생성 지표를 사용하였다. 먼저 픽셀 단위의 차이를 평가하는 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 선정하였으며, 식(2)에 기술한다. PSNR의 값이 20이상일 경우 눈에 띄는 차이가 없는 비슷한 품질의 이미지라고 평가한다. 또한 이미지간 색상 분포의 유사성을 측정하기 위한 Histogram 비교지표를 선정하였으며, 1에 가까울수록 두 이미지의 색상분포가 일치함을 의미한다. 추가적으로 전통적인 오차 지표로써 MSE(Mean Square Error) MAE(Mean Absolute Error)를 사용하여 각 채널별로 픽셀 값의 차이를 나타내었으며, 식(3)과 식(4)에 기술한다. MSE와 MAE 모두 0에 가까울수록 이미지가 유사하다고 평가한다.

$$PSNR = 10 * \log_{10}\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right) \quad (2)$$

$$MSE_c = \frac{1}{N * M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_c(i,j) - K_c(i,j))^2 \quad (3)$$

$$MAE_c = \frac{1}{N * M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |I_c(i,j) - K_c(i,j)| \quad (4)$$

생성된 이미지 간의 유사성을 평가하기 위해 월요일의 주행 데이터 이미지를 기반으로 화요일부터 일요일까지 주행 데이터 이미지를 4가지의 지표를 통해 평가 후 표 1에 나타낸다.

표 1 이미지 평가지표 기반 이미지간 유사성 평가

Table. 1 Evaluating the similarity between images

월요일 (비교군)	화	수	목	금	토	일
PSNR	19.35	20.21	22.12	19.13	17.52	17.02
Histogram 비교	0.999	0.993	0.419	0.417	0.991	0.712
MSE	0.015	0.012	0.008	0.016	0.023	0.026
MAE	0.047	0.047	0.040	0.061	0.070	0.092

표 2 이미지 파일 크기 바이트 수

Table. 2 Size of the image file in bytes

	월	화	수	목	금	토	일
byte	5942	5,899	5,915	5,935	5,910	6,644	7,566

유사성 평가 결과 월요일과 나머지 평일 주행 데이터 이미지의 경우 PSNR 값이 20과 가깝거나 높고, 주말 주행 데이터 이미지의 경우 17에 가깝게 나와 픽셀 값의 차이가 크게 나타났다. 픽셀 값을 기반으로 평가하는 MSE와 MAE 또한 평일에 비해 주말의 주행 데이터 이미지의 값이 높게 나온 것을 확인했다. 이는 동일한 프로파일을 사용하는 평일 주행 데이터 이미지끼리 유사하다는 것을 나타낸다. 반면 이미지의 색상 분포를 평가하는 Histogram 비교 지표의 경우 화, 수, 토요일은 0.99 이상의 값이 나왔지만 목, 금, 일의 경우 0.9 이하의 값이 나타났다. 이는 월요일의 주행 데이터와 비교했을 때 상대적으로 월요일 주행보다 낮은 전압 및 SOC 구간에서 운용되는 목, 금, 일의 데이터의 색상 분포 정도가 다르게 나타난 것으로 확인된다. 따라서 평가 지표를 통해 제안된 압축 방법이 주행 이력 데이터의 특성을 반영할 수 있다는 것을 확인하였다. 표 2는 생성된 이미지 파일 크기의 바이트 수를 나타내었으며, 일주일치 주행 데이터의 전압 전류 csv 파일 크기는 828727byte에 반해 이미지 파일의 경우 총 43811byte로 나타났다. 결과적으로 제안된 방법이 약 94.71%의 압축률을 달성하였다.

3. 결론

본 논문은 EVs 주행 모사 데이터를 PAA 기반으로 압축하였으며, 압축된 데이터를 RGB 색상을 통해 이미지화를 수행하였다. 결론적으로 생성된 이미지는 주행 데이터 내 운행 특성에 따른 열화 인자 정보를 반영 가능함과 동시에 높은 압축률을 달성하였다. 이 후 연구에서는 생성한 이미지를 기반으로 다양한 상태추정 모델을 업데이트를 통한 성능 향상을 목적으로 연구를 진행할 예정이다.

본 논문은 지투파워(폐배터리 진단기술 솔루션 반영 및 UBESS 설계)의 지원과 산업기술평가관리원의 재원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고출력 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Sultana, Irin, et al. "Recycled value-added circular energy materials for new battery application: Recycling strategies, challenges, and sustainability—a comprehensive review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10.6 (2022): 108728.
- [2] Braco, Elisa, et al. "State of health estimation of second-life lithium-ion batteries under real profile operation." *Applied Energy* 326 (2022): 119992.
- [3] Azar, Joseph, et al. "Robust IoT time series classification with data compression and deep learning." *Neurocomputing* 398 (2020): 222–234.