

배터리 시스템에서 효과적인 충전/방전 스케줄링

김동완, 송승택, 이진규

성균관대학교 컴퓨터공학과

seankim@skku.edu, sst0217@skku.edu, jinkyu.lee@skku.edu

Effective Scheduling of Charging and Discharging in Battery Systems

Dongwan Kim, Suengtaek Song, Jinkyu Lee

Department of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

최근 전기 자동차에 대한 관심이 급증하는 가운데, 아직도 상용화가 되지 않는 가장 큰 원인 중 하나는 바로 짧은 주행 거리다. 컴퓨터 공학에서는 배터리의 물리적인 성질들의 이해를 바탕으로 어떤 배터리를 방전할 지에 대한 스케줄링을 하여 배터리 시스템의 지속 시간을 증가시키는 노력을 하고 있다. 현재까지 시스템 작동 중에 발생하는 충전을 다룬 연구는 많지 않았으며, 이 논문에서는 시스템의 지속 시간을 증가시키기 위해 충전과 방전을 종합적으로 함께 고려한 스케줄링 문제를 제기하며, 이를 풀기 위한 첫 단추로써 충전과 방전 스케줄링간의 관계를 분석하고, 간단한 스케줄링 기법을 제시한다.

1. 서 론

제임스 와트가 증기기관을 발명한 이후 무분별한 화석 연료로 인해 환경오염은 시간이 갈수록 더욱 나빠지고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 사람들은 친환경 동력인 전기에너지로 눈을 돌리기 시작하였다. 그 선두주자인 미 대통령, 버락 오바마는 2011년 연설 당시에 2015년까지 백만 대의 전기 자동차가 도로에 주행하게 만들겠다고 말했다 [1]. 그러나 2015년 현재, , 미국 내 전기 자동차 수는 오바마가 말한 목표량의 1/3 에도 미치지 못하고 있다 [2]. 그의 계획이 실패한 가장 큰 기술적인 이유는 전기 자동차의 짧은 주행 거리 때문에 소비자들이 구매를 꺼리기 때문이다.

현재 시장 조사에 따르면, 전기 자동차의 주행거리가 대부분 130 ~ 160 km 에 지나지 않는다 [3]. 이는 전기 충전소가 충분히 설치되지 않은 지역에서 주행하기에는 턱없이 부족한 거리이다. 이렇게 부족한 전기 자동차의 주행거리를 늘리기 위해, 단순히 배터리 용량만을 증가시키는 것은 차량의 무게나 크기 면에서 분명 물리적인 한계가 존재한다.

컴퓨터 공학 분야에서는 위의 물리적인 한계를 넘어서기 위해, 어떤 배터리를 방전/휴식 시킬지 결정하는 스케줄링 기법을 통한 주행거리 향상에 대한 연구가 이루어지고 있다. 배터리는 천천히 방전시킬수록 더 오래 사용할 수 있는 성질과 사용 직후 일정시간 휴식을 취하는 경우 사용한 에너지를 일부분 회복하는 성질을 가지고 있다. 이 두 성질 때문에 부하와 휴식의

조합이 시스템의 지속 시간에 영향을 주게 되며, 이는 시스템의 지속 시간을 최대화 하는 부하와 휴식의 조합을 찾는 문제가 된다. 그런데, 이 문제는 가능한 조합의 수가 셀 수 없이 많으며, 배터리의 성질들에 대해 정량적인 비교를 할 수 없기 때문에 간단히 해결하기 힘들다.

반면, 자동차 제조업체들은 더 긴 주행 거리를 확보하기 위해 자동차가 사용한 에너지를 다시 회수하는 에너지 재생 시스템을 탑재하기 시작했다. 예를 들면, 자동차 회사 BMW에서는 브레이크 에너지 재생이라는 기술을 이용하여 기존보다 긴 주행 거리를 확보하였다. 사용자가 브레이크를 밟을 때 자동차의 운동에너지를 전기에너지로 바꾸고, 그로 인해 발생한 충전 전류를 재사용하는 원리다 [4]. 에너지 재생 시스템들을 통해, 전기 자동차는 주행 중에 소량의 충전이 가능하게 되었다.

이를 이용하여 최종적으로 충전과 방전을 종합적으로 고려하여 시스템의 지속 시간을 늘릴 수 있는 스케줄링을 고안하고자 한다. 이 논문에서는 그 초석으로 충전과 방전의 스케줄링 조합에 따라 성능이 최대 24% 차이가 날 수 있음을 보여준다.

2. 배경지식

배터리가 가지는 특성은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째 특성은 배터리의 지속 시간은 방전 속도와 비선형적인 관계를 지닌다는 것이다. 그림 1에서와 같이, C의 방전 속도로 방전하면 지속 시간이 60분인

배터리는 2C의 방전 속도로 방전하면 절반에 못 미치는 28분만을 동작하게 된다. 또, 4C의 방전 속도로 방전할 경우에는 15분에 못 미치는 12분만에 한계에 도달하게 된다. 이런 배터리의 특성을 rate-capacity effect라고 한다.

두 번째 특성은 배터리가 방전한 후 일정 시간 휴식을 취하면 소모한 전압의 일부분을 회복한다는 것이다 (recovery effect). 그림 2. 는 4C의 방전 속도로 2분간 방전한 뒤 15분의 휴식을 취하는 작업을 7회 반복한 뒤 C의 방전속도로 방전을 한 그래프다. 두 번째 방전에서 3.7V까지 내려간 전압은 약 3.8V까지 다시 회복되는 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 그림 1. 에서 4C의 방전 속도로 13분간 방전할 수 있었지만, 배터리가 휴식을 취함으로써 4C의 방전속도로 14분을 방전할 수 있었고 C의 방전 속도로 약 45분을 추가적으로 방전할 수 있었다.

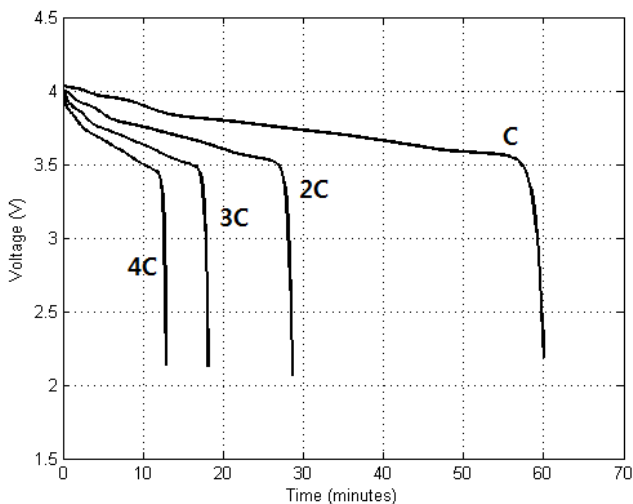


그림 1. rate-capacity effect

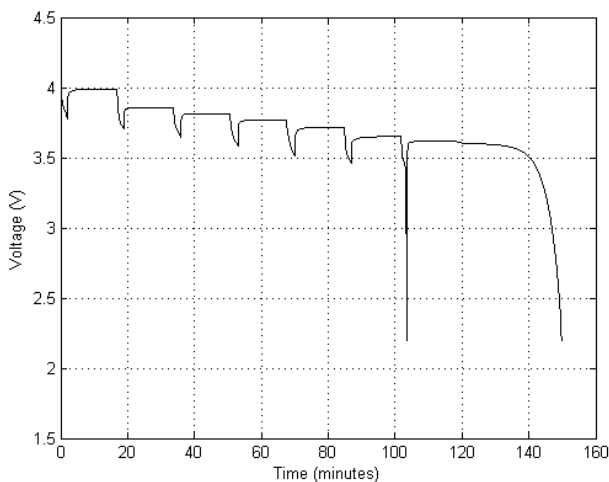


그림 2. recovery effect

(위 그림들은 dualfoil5.1 버전의 시뮬레이터로 얻은

terminal voltage를 그래프로 나타낸 것들이다.)

앞서 말한 두 가지 특성을 통해 다음의 두 가지 방전 전략을 세울 수 있다.

- 각 배터리에 분배되는 부하를 최소화 한다.
- 각 배터리의 작업 중간에 휴식을 삽입한다.

이러한 특성을 이용한 기존의 방전 스케줄링 기법에는 nRR, 1RR이 있다. nRR 기법은 시스템에 요구되는 부하를 모든 배터리 개수로 나누어서 각각 분배하는 방식이다. 이것은 각 배터리에 분배되는 부하를 최소화하고 rate-capacity-effect를 고려한 방식이다. 반면, 1RR 기법은 시스템에 요구되는 부하를 가장 높은 SoC (State of Charge) 를 갖는 배터리에 분배하는 방식이다. 다른 배터리들은 모두 휴식을 취할 수 있기 때문에 1RR은 recovery effect를 고려한 방식이다.

3. Problem statement

시스템에는 다수 개의 배터리 셀들이 존재한다. 시스템에 지속적인 방전 부하가 들어오며, 산발적으로 충전 전류가 발생한다. 요구되는 부하의 양을 스케줄링 당시에 알 수 없다고 가정한다. 충전 전류는 브레이크를 밟고 있는 동안만 발생하기 때문에 충전 시간은 수초가 채 되지 않을 정도로 지극히 짧다. 발생하는 충전 전류를 어떤 배터리에게 어느 정도의 양으로 분배할지 스케줄링 하여 시스템의 지속 시간을 증가시키는 것을 목표로 한다.

들어오는 부하를 수행할 수 있는 배터리가 하나도 없을 때 시스템이 중단된다고 하면, 시스템이 중단되는 시점은 방전 스케줄링에 따라 달라진다. 1RR의 경우에는 가장 SoC가 높은 배터리가 현재 부하를 처리할 수 없을 때가 시스템이 중단된다. nRR은 가장 SoC가 낮은 배터리가 현재 부하를 처리할 수 없을 때 시스템이 중단된다. 이런 점에서, 충전 스케줄링을 통한 성능향상은 방전 스케줄링에 종속적이라는 사실을 알 수 있다.

1RR 방전 스케줄링 기법은 큰 부하를 수행할 수 있는 배터리를 요구한다. 발생한 충전 전류를 모든 배터리에 균등하게 분배한다면, 배터리를 빠르게 충전할 수 없으며 방전 부하를 처리 할 수 있는 배터리를 만들어낼 수 없기 때문이다. 그러므로 1RR 방전 스케줄링에 대해서는 하나의 배터리를 빠르게 충전하는 것이 더 유리할 것이다. 또, 1RR 방전 스케줄링이 지니고 있는 recovery effect의 이점을 더욱 살리기 위하여 가장 낮은 에너지의 배터리에 충전을 하는 것이 좋을 것이다. 앞으로 어떤 부하가 나올지 모르니 가장 많은 에너지를 갖는 배터리를 충전하는 것이 더 효과적일 것이라고 생각 할 수 있지만, 그 배터리의 휴식을 줄이기 때문에 이점을 보기 쉽지 않기 때문이다.

반면 nRR 방전 스케줄링 기법은 모든 배터리들의 SoC가 균등하게 분포하기를 요구한다. 한 배터리만 발생한 충전 전류를 이용해 충전을 한다면 Soc의 불균형을 야기하고, 아무리 많은 양의 에너지를 가지고 있다 하더라도 모두 같은 양을 소비하기 때문이다. 따라서 충전 스케줄링은 모든 배터리에 같은 양의 충전 전류를 흘려준 것이 적합할 것이다.

그림 3.에서는 앞서 설명한 1RR-nRR 방전/충전 스케줄링과 nRR-1RR 방전/충전 스케줄링의 극단적인 경우를 설명하고 있다. 빨간 선 이하로 배터리의 에너지가 내려가면 더 이상 그 배터리를 쓸 수 없기 때문에 시스템이 중단된다. 즉, 빨간 선 위의 부분은 사용할 수 있는 에너지를 의미한다. 파란 선은 현재 부하를 처리하기 위해 필요한 에너지 양이다. 두 가지 경우 모두 파란 선이 요구하는 에너지 레벨을 모두 만족하고 있지만, 분배가 잘 못 되어있기 때문에 더 이상 작업을 수행하지 못하고 시스템을 중단 시켜야 하는 상황이다.

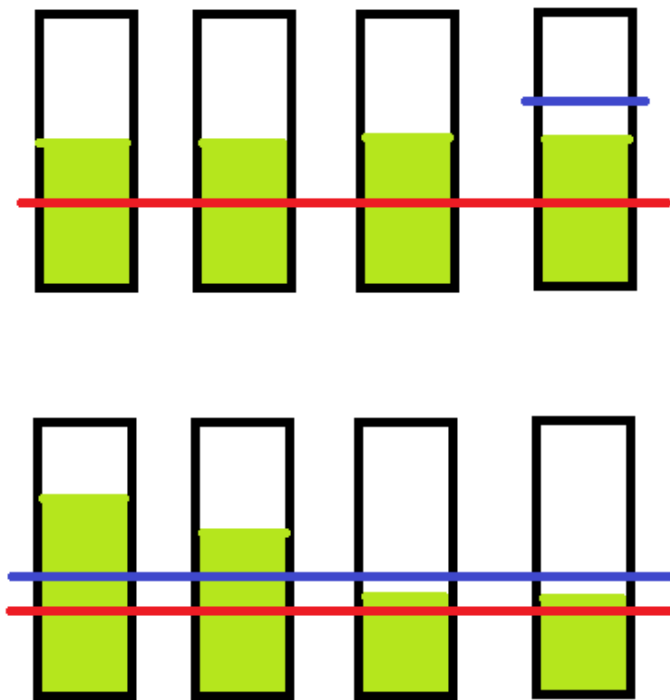


그림 3. 1RR과 nRR에서 시스템이 중단되는 경우

4. 실험 및 결과 분석

실험은 배터리 시뮬레이터 dualfoil5.1 버전을 사용하였으며 총 4개의 배터리 시스템으로 진행하였다. 방전 부하와 충전 부하의 빈도는 10:1 이며, 부하의 최대 크기는 17C로 설정하였다. 1RR-1RR 의 방전/충전 스케줄링은 45.65 분 수행할 수 있었고, 1RR-nRR 스케줄링은 42.15 분 수행할 수 있었다. nRR-1RR 36.8 분, nRR-nRR 스케줄링은 37.6 분 수행

할 수 있었다.

기본적으로 nRR 방전 스케줄링 기법이 1RR 방전 스케줄링 기법보다 낮은 성능을 보여주고 있다. 방전 부하가 지속적으로 끊임없이 들어오기 때문에 nRR 방전 스케줄링이 recovery effect의 혜택을 받지 못하기 때문이다.

또한 방전 스케줄링에 따른 충전 스케줄링이 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 1RR 방전 스케줄링의 경우 1RR 충전 스케줄링을 사용하였을 때 높은 성능을 나타내었고, nRR 방전의 경우 nRR 충전 스케줄링이 좋은 결과를 보였다.

5. 결론 및 향후 연구

배터리가 가지는 물리적인 특성을 이해하여 배터리를 스케줄링 함으로써 시스템의 지속시간을 늘릴 수 있었다. 어떤 방전 스케줄링을 취하는지에 따라 지속 가능한 시간에 차이를 보였으며, 방전 스케줄링과 충전 스케줄링의 조합에 따라서도 차이를 볼 수 있었다. 시스템에 들어오는 부하를 분배하는 입장에서 recovery effect와 rate-capacity effect 모두에서 이득을 취하기는 쉽지 않은 문제다. 그 문제를 해결 하기 위해 1RR과 nRR 사이의 최적의 알고리즘으로 제시한 kRR 스케줄링 기법이 있다 [5]. 현재까지 연구를 토대로 처음부터 충전과 방전을 동시에 고려한, kRR 방전 스케줄링을 뛰어 넘는 스케줄링 알고리즘을 개발할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A1A1035827).

참 고 문 헌

- [1] https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/1_million_electric_vehicles_rpt.pdf
- [2] <http://time.com/money/3677021/obama-electric-cars-gas/>
- [3] <http://www.cheatsheet.com/automobiles/top-10-electric-vehicles-with-the-longest-driving-range.html/?a=viewall>
- [4] http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/efficientdynamics/phase_1/measures_brake_energy_regeneration.html
- [5] H. Kim and K. G. Shin, "Scheduling of battery charge, discharge, and rest," in Real-Time Systems Symposium, 2009, RTSS 2009. 30th IEEE. IEEE, 2009, pp. 13-22.