

Papers Review

Deep Reinforcement Learning-Based Battery Conditioning Hierarchical V2G Coordination for Multi-Stakeholder Benefits

Yubao Zhang, Xin Chen*, Yi Gu, Zhicheng Li and Wu Kai

김상훈

shkim@ds.seoultech.ac.kr



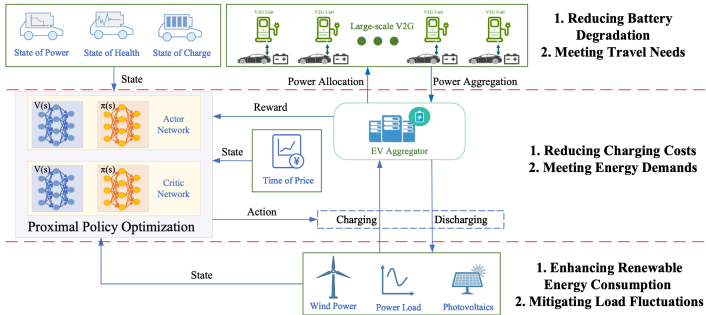
서울과학기술대학교 데이터사이언스학과

Abstract

전력망, 전기차 집합 관리자(EVA), EV 사용자들을 고려하여 전체 이익을 최대화함

1. PPO 기반 전력망과 EVA 조정
2. PoS(Proof of Stake) 기반 EVA 전력 할당

Framework



- EVA가 전체 전기차의 충/방전량을 결정함
 - 전력망 : 부하 변동성 최소화, 재생 에너지 소비 최대화
 - EVA : 에너지 불균형 및 충전 비용 최소화
 - 사용자 : Battery degradation 고려

Objective function

The objective function for **maximizing the overall profit of the power grid, EVA, and EV users** is formulated as follows:

$$\max_{P_k^{\text{EVA}}} (F_1 + F_2 + F_3)$$

- P_k^{EVA} : charge/discharge power of EVA at time k
- F_1 : function for the power grid
- F_2 : function for the EVA
- F_3 : function for the EV users

Objective function of the power grid

The objective function F_1 , **considering load fluctuations and renewable energy consumption**, is defined as:

$$F_1 = \frac{\alpha}{\sigma^2} + \beta(P_{\max} - P_{\min}) + \frac{\psi}{f_1}$$

- σ^2 : Load variance of the power grid

$$\sigma^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (P_k - P_{\text{ave}})^2$$

Objective function of the power grid

$$F_1 = \frac{\alpha}{\sigma^2} + \beta(P_{\max} - P_{\min}) + \frac{\psi}{f_1}$$

- P_{\max} : Maximum power load during past 24-hour
- β : Negative coefficient

$$P_{\max} = \max(P^{k-23}, \dots, P^k)$$

Objective function of the power grid

$$F_1 = \frac{\alpha}{\sigma^2} + \beta(P_{\max} - P_{\min}) + \frac{\psi}{f_1}$$

- f_1 : Average net grid load
- ψ : Negative coefficient

$$f_1 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_{\text{load}}^k$$

Objective function of the EVA

The objective function F_2 , **considering energy constraints and charging costs**, is defined as follows:

$$F_2 = \begin{cases} \chi(\overline{E^k} - E^k) + \nu C_{\text{ch}} & \text{if } E^k > \overline{E^k} \\ \chi(E^k - \underline{E^k}) + \nu C_{\text{ch}} & \text{if } E^k < \underline{E^k} \end{cases}$$

- C_{ch} : Charging/Discharging cost

$$C_{\text{ch}} = \sum_{k=1}^K c^k P_{\text{EVA}}^k \Delta t$$

- c^k : TOU price at time k
- P_{EVA}^k : charge/discharge power of EVA

Objective function of the EVA

$$F_2 = \begin{cases} \chi(\overline{E^k} - E^k) + \nu C_{\text{ch}} & \text{if } E^k > \overline{E^k} \\ \chi(E^k - \underline{E^k}) + \nu C_{\text{ch}} & \text{if } E^k < \underline{E^k} \end{cases}$$

- E^k : Energy state of the EVA at time k (Total SOC of EVs)
- $\overline{E^k}$: Upper bound of energy state
- $\underline{E^k}$: Lower bound of energy state

Objective function of the EV users

The objective function F_3 , considering energy fluctuations of the EVA for minimize DoD, is defined as:

$$F_3 = \frac{\rho}{|E_k - E_{k-1}|}$$

- E^k : Energy state of the EVA at time k

$$E_k = E_{k-1} + P_{\text{EVA}}^k \Delta t$$

State S_t

The state S_t is defined as:

$$S_t = \{P^{k-23}, \dots, P^k, E^k, \sigma_k^2, c^k, |E^k - E^{k-1}|\}$$

- P^{k-23}, \dots, P^k : The past 24-hour power grid load values at the time k
- E^k : Energy state of EVA
- σ_k^2 : The variance of the power grid load
- c^k : ToU price
- $|E^k - E^{k-1}|$: Change in EVA energy between time k and $k - 1$

Action A_t :

The action a_k refers to charge/discharge power of the EVA at time k :

$$a_k = P_{\text{EVA}}^k$$

- $a_k > 0$: Charging
- $a_k < 0$: Discharging

Reward r_t

Same as objective function

$$r = F_1 + F_2 + F_3$$

PoS?

Proof of Stake (PoS) 알고리즘은 블록체인 시스템에서 사용되는 메커니즘으로, 거래에 참가할 **참여자**를 그들의 **지분(stake)**에 따라 선택함

- **지분 기반 선택**: 참여자는 시스템 내에서 일정량의 암호화폐를 “잠그고(stake)” 그 양에 따라 선택됨
- **효율적 운영**: PoS는 복잡한 연산을 요구하지 않아 분산형 관리 시스템에 적합함

Power allocation by PoS

EVA가 충/방전 전략을 결정하면, PoS 알고리즘에 따라 개별 사용자들에게 할당함

1. EV 사용자들이 EVA의 결정에 참여할건지 의사를 밝힘
2. PoS 알고리즘이 각 사용자의 상태 (SoH, SoC, SoP 등)를 고려하여 참여자를 선택함
3. 선택된 참여자는 자신이 기여할 수 있는 충전/방전할 전력량을 제안함
4. PoS 알고리즘이 제안된 충/방전량과 배터리 상태를 고려하여, 우선순위를 배정함

State of Power (SoP)

배터리가 견딜 수 있는 최대 충전 및 방전 전력

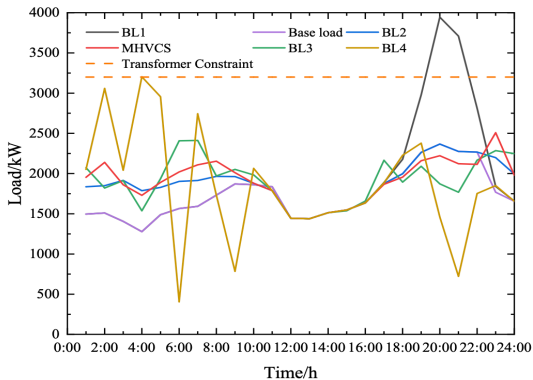
- SoC, 온도, 배터리 설계 등에 의해 달라짐

Results

Benchmarks

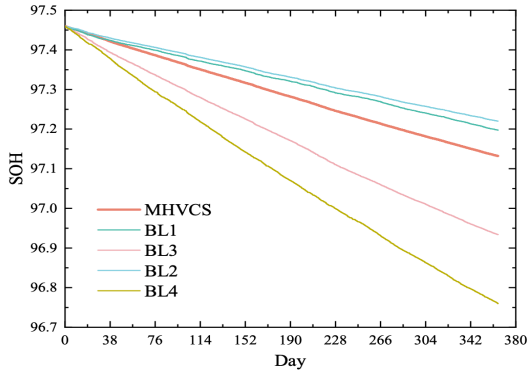
- **BL1 (Uncontrolled Charging):** EV 사용자가 전력 가격과 전력망 부하를 고려하지 않고 집에 돌아오면 최대 전력으로 충전함
- **BL2 (Optimal Charging):** EV 사용자가 배터리 상태와 전력망 부하를 고려해 충전함
- **BL3 (Minimizing Grid Load Fluctuation):** EV 사용자가 전력망 부하 변동을 최소화하도록 충전함
- **BL4 (Minimizing Cost):** EV 사용자가 TOU 요금을 고려해 최소 비용으로 충방전을 수행하며 배터리 노화를 고려하지 않음

Results



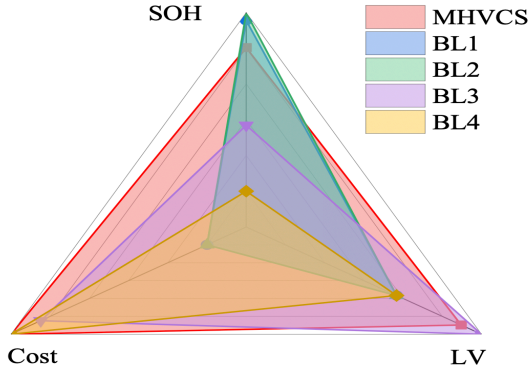
- proposed strategy (MHVCS)가 다른 벤치마크들에 비해 peak shaving에서 가장 우수함

Results



- 충전만 하는 벤치마크들에 비해서는 SoH 감소가 더 발생함

Results



- SOH, LV(부하 변동), 비용 측면을 종합적으로 고려했을 때 가장 우수함

Multi-Stakeholder Benefits 를 고려했다고 할 수 있는가?

- 논문에서는 개인이 방전에 따라 이익을 취하는 구조가 아니기 때문에
- EVA의 전체 충전 비용 최소화 + SoH degradation 최소화 => EV user benefit 고려함
- 그럼에도, PoS가 전체 시스템 결정에 기반해 개인의 결정을 취합하는 탑다운 방식이기 때문에 개인의 이익을 충분히 고려했다고 할 수 없음

"Thank you for listening"