

MILS 설계를 위한 시스템 불확실성을 고려한 V2G 시뮬레이터 개발

공덕호, 서민규, 한세경

경북대학교

rhdejrgh15@naver.com, mgseo1218@gmail.com, skhan@knu.ac.kr

Development of V2G simulator considering system uncertainty for designing MILS

Gong Deok Ho, Mingyu Seo, Sekyung Han

Kyungpook National Univ.

요약

V2G(Vehicle-to-Grid) 서비스가 활발히 연구되면서 V2G 최적화에서 불확실성 매개 변수의 중요성이 높아지고 있다. 불확실성을 고려함으로써 집계기는 각 목적에 대해 보다 효율적이고 강력한 충전/방전 일정을 생성할 수 있다. 현재 연구되고 있는 V2G 방법론은 EV 자체에 초점을 맞추고 있으며, 플러그 오류 및 통신 오류와 같은 갑작스러운 이벤트로 간주되지 않는다. 이 모델은 EV 사용자 행동과 EV 및 EVCS의 일시적 이벤트를 할당하여 개선된 시뮬레이터를 제안한다. 또한 이 모델은 루프 시뮬레이션을 통해 일반적인 V2G 스케줄과 불확실성이 적용된 스케줄을 비교하여 비용, 전력 등을 분석한다.

1. 서론

V2G(Vehicle-to-Grid) 기술은 전기 자동차(Electric Vehicle, EV) 배터리가 가상 발전소(Virtual Power Plant, VPP)로서 가능성을 제시한다. EV가 보유하는 에너지의 양이 시스템보다 적기 때문에, EV 내의 배터리가 있는 그리드에 전력을 정밀하게 공급하기 위해서는 V2G 애그리게이터가 필요하다. 그러나 EV 자체의 행동은 V2G 애그리게이터의 주요 불확실성 중 하나로 변한다. 따라서 불확실성을 고려하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 통신 지연, 플러그 이탈 등의 물리적 오류와 같은 실제 환경에서 발생하는 불확실성을 고려하지 않기 때문에 실제의 오차가 발생한다. 따라서, 본 논문의 주요 목표는 다음과 같다.

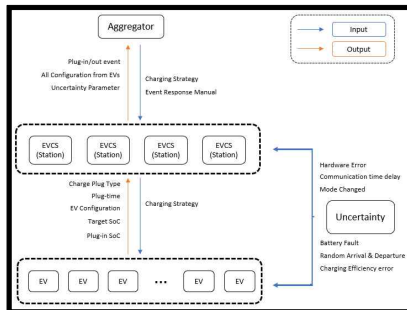


그림 1. 본 논문의 모델 프레임워크

- 실제 사용 중에 발생할 수 있는 불확실성을 정의하고 시뮬레이터에서 이를 고려하기 위한 프레임워크를 설명함
- EV와 전기차 충전소(EVCS)의 하드웨어 이벤트를 고려하여 그 영향을 분석함

2. 본론

2.1 불확실성 정의

그림 1에서 제시한 불확실성을 고려하여 정규 분포와 이항 분포를 통해 실제 환경에서 발생할 수 있는 하드웨어, 소프트웨어 오류 및 가변성을 추가로 정의한다.

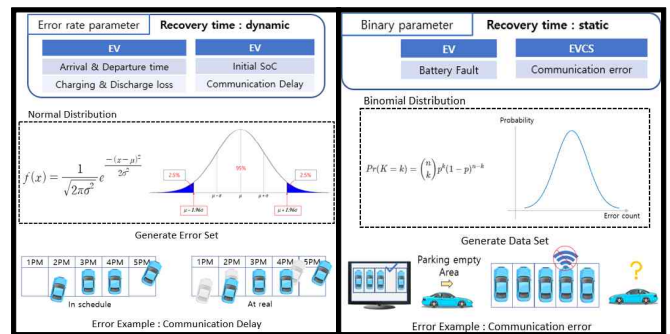


그림 2 불확실성 유형 : 정규분포와 이항분포

2.2.1 정규분포와 이항분포

불확실성은 발생 방식에 따라 두 가지 유형과 유형에 따라 두 가지 유형으로 나눌 수 있다. 첫째, 그림 2에는 정규 분포와 이항 분포가 있다. 정규 분포는 평균과 분포를 변수로 지정하여 발생한다. 이를 aggregator에서 발생한 최적화된 충전/방전 스케줄을 변경함으로써 발생하는 차이를 분석한다. 정규분포에 따른 불확실성 파라미터로는 plug-in, plug-out 시간, SoC(State of Charge), 충전/방전 손실, 통신 지연 등이 있으며 서로 다른 평균과 편차를 통해 데이터가 생성된다.

이항 분포를 통해 발생하는 불확실성은 트리거 변수인 이진 변수이다.

충/방전 상황에서 EV와 EVCS에서 불확실성을 부여한다. 프레임워크에는 EV의 배터리 결함과 EVCS의 통신 오류가 있지만, 본 논문에서는 EVCS 통신 오류만 다룬다. 정규 분포와 달리 이항 분포는 발생 확률과 생성된 데이터의 수를 변수로 가지고 있습니다. 따라서 기존 데이터를 사용하여 발생 확률도 계산해야 합니다. V2G가 상용화되지 않은 현 시점에서는 현재 충전소에서 통신 오류 데이터를 얻기 어렵기 때문에 2022년 '한국전기안전공사 전기차 충전시설 안전성 조사'를 활용하였다. 이를 바탕으로 (1)과 같이 이항분포함수에 사용되는 포아송 확률함수 $p(x)$ 를 통해 1시간 동안 EVCS 오차가 발생할 확률을 계산하고 도출하였다.

$$p(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (1)$$

$$\Pr(K=k) = \binom{n}{k} p(x)^k (1-p(x))^{n-k}$$

2.3 모델 구현

2.3.1 Flow Chart

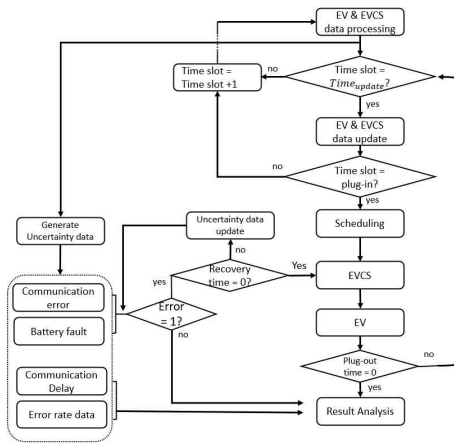


그림 3 본 논문의 플로우차트

시간 간격이 경과함에 따라 변경되는 매개 변수를 업데이트합니다. EV의 plug-out 시간이 time-slot 보다 크면 EV는 루프에서 나올 것이다. 불확실성의 경우, 이진 파라미터만 루프에 참여하며, 정규분포 파라미터는 결과분석 단계에 적용된다. 이진 파라미터가 트리거되면 해당 전략이 EV 및 EVCS에 전달된다. Time-slot은 분 단위로 진행되며 update 시간이 될 때마다 ToU(Time-of-Use)가 변경된다.

2.3.2 목적함수 및 제약조건

본 논문의 모델은 MILP(Mixed-Integer Linear Programming)을 사용한다.

$$\arg \min \sum_{t=0}^M X_t \times Cost_t^{tou} \quad (2)$$

$$X_t = \sum_{vdx=1}^n P_{t,chg}^{vdx} + P_{t,dchg}^{vdx} \quad (3)$$

X_t 는 시간 슬롯당 사용되는 충전량과 방전량의 합이며, $Cost_t^{tou}$ 는 그 당시의 전력 비용이다. ToU는 경부하, 중부하, 최대부하로 구분된다. Scheduling의 제약 조건은 다음과 같다.

$$SoC_{\min} < SoC_{initial} < SoC_{target} < SoC_{\max} \quad (4)$$

$$U_t^{vdx} \in \{0,1\} \quad (5)$$

$$P_{t,chg}^{vdx} < U_t^{vdx} \times P_{\max}^{evcs} \quad (6)$$

$$(1 - U_t^{vdx}) \times P_{\min}^{evcs} < P_{t,dchg}^{vdx} \quad (7)$$

$$P_{\max} < P_{t,dchg}^{vdx} < P_{\min} \quad (8)$$

$$\sum_{t=Time_{out}^{vdx}}^{Time_{in}^{vdx}} P_t^{vdx} \geq SoC_{target} \times capacity^{vdx} \quad (9)$$

식 (4)는 SoC boundary 설정으로, SoC가 0% ~ 100% 사이에 존재하도록 한다. 식 (6-7)은 충전량과 방전량이 동시에 발생해서는 안되기 때문에 결정변수 U_t^{vdx} 를 사용하여 구현한다.

2.4 시뮬레이션 결과

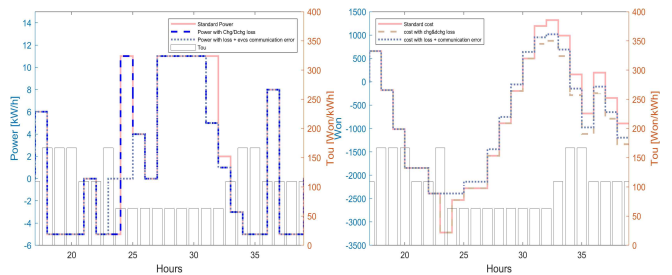


그림 4 시뮬레이션 결과 : 일반, 충/방전 효율, 통신오류

위 그림은 불확실성이 적용되지 않은 스케줄(분홍), 일시적인 충/방전 효율 오류(붉은 점선), 통신 오류(실 점선)의 시뮬레이션 결과이다. 왼쪽 그림은 EV 1 대의 48 시간 충/방전 스케줄이다. 정상적인 스케줄의 경우, 마지막 시간대에 SoC가 80% 도달하였다. 그러나 충/방전 손실의 경우는 손실로 인하여 제약 조건을 고려할 수 없었고, 통신 지연 역시 목표치에 도달하지 못하였다.

오른쪽 그림은 그림 14는 EVCS의 이진 오차 파라미터인 통신 오류 스케줄로, 발생 시간 동안 충/방전이 중단된다. 23-24 구간에서 통신 끊김 현상이 발생했고, 이로 인해 정상적인 일정은 충/방전이지만 통신 끊김 일정은 아무것도 하지 않는다.

3. 결론

본 논문은 다양한 상황에서 불확실성의 영향을 분석한다. 그러나 본 논문의 시스템은 규칙 기반 모델이기 때문에 EV 배터리 결함 및 완전 EVCS와 같은 다양한 시나리오에 적용하는 데 한계가 있다. 향후 연구에서는 언급된 불확실성을 고려하여 보다 정밀한 시뮬레이터를 설계할 것이다. 또한 관련 논문의 불확실성 제어 결과, 고려된 불확실성 수에 따른 결과, 실시간 제어 및 전달 제어 결과를 비교할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20191210301990)