DBpia

논문 19-45-02-22 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '20-02 Vol.45 No.02
https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.2.383

GPS 신호를 이용한 주행 중 차량용 무선 충전 시스템 전원 제어

김 효 민◆, 송 용 준*, 심 유 진*, 정 구 호**, 조 동 호°

Power Control of Wireless Charging System Using GPS Signal for Moving Electric Vehicle

Hyo-min Kim◆, Yong-joon Song*, Yu-jin Sim*, Gu-ho Jung**, Dong-ho Cho°

요 약

전기 자동차의 기존 무선충전 시스템은 RFID 기술을 사용하였다. 이때, RFID 리더기는 차량 하부에 장착되고 태그는 도로에 설치되었다. 하지만 이 방식은 빠른 속도로 주행하는 차량에 대한 인식률이 떨어지고, 도로에 태그를 추가로 매설해야 한다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하고자 차량에서 전송된 GPS신호에 기반하여 차량 도착 시간을 예측하여 인버터 전원을 제어하는 새로운 방안을 제안하고 제안 방식이 RFID 기술 대비, 인버터 전원을 더욱 정확하게 제어함을 검증하였다.

키워드 : 범지구 위치결정 시스템, 무선 전력 전송, 인버터 제어, 전력 제어, 전기 자동차
Key Words : GPS, Wireless Power Transfer, Inverter control, Power Control, Electric Vehicle

ABSTRACT

Previous wireless dynamic charging system for electric vehicles used RFID technology. Then, RFID reader was attached at the bottom of electric vehicles and tags were installed under the road. However, previous method has poor tag recognition accuracy when vehicles are moving fast, and has the problems to install additional tag under the roads. To overcome these problems, we proposed a new method which controls the power of inverter by predicting the arrival time of electric vehicle based on GPS signal transmitted from vehicle and verified that the proposed method controls inverter power more exactly compared to RFID technology.

Ⅰ. 서 론

최근 전기 자동차의 기술이 발전하고, 수요가 증가함에 따라 다양한 충전 기술에 대한 요구가 증가되고 있다. 특히, 도로의 급전 장치에서 생긴 자기장을 차량 하부에 부착된 집전장치에서 전기 에너지로 변환시키는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1,2] 주행 중 무선 충전 기술을 활용하면, 차량이 충전을 위해 멈출 필요 없이, 급전선로 위를 주행하면서 충전을 하는 무선 충전 시스템을 만들 수 있다. 기존 무선 충전 시스템에서는 차량에 부착된 RFID 리더기가 급전 선로에 매설된 태그를 인식하는 방법을 사용하였

※ This research was supported by the KAIST-KU Joint Research Center, KAIST, South Korea(N11190248)
◆ First Author : School of EE, KAIST, hyomina1@kaist.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : School of EE, KAIST, dhcho@kaist.ac.kr, 종신회원
* School of EE, KAIST, yjqkrtk@kaist.ac.kr; yjsimyj@kaist.ac.kr
** Wireless Power Transfer Research Center, KAIST, ghjung9595@kaist.ac.kr
논문번호 : 201911-319-D-LU, Received November 25, 2019; Revised November 29, 2019; Accepted December 1, 2019

www.dbpia.co.kr

다.[3] 하지만 차량이 고속으로 급전선로에 접근하는 경우 인식률이 떨어져서 전원이 인가되지 않는 경우가 발생하고, 도로에 추가로 센서를 매설해야 한다는 단점이 있다.

또한, 인버터의 경우 높은 전력이 필요하므로 정확하게 차량이 급전 세그먼트에 들어오는 시간과 인버터를 켜는 시간의 동기가 맞지 않으면 높은 전력 손실이 발생한다. 기존 방식의 단점 극복과 더 효율적인 전력 활용을 위해, 본 논문에서는 GPS 정보를 이용해 차량의 급전 세그먼트 도착 시간을 예측 하고, 그 정보를 기반으로 인버터의 전원을 제어하는 시스템을 제시하고 구현하여 제대로 동작하는 것을 시험 검증한다.

Ⅱ. 시스템 구성도 및 동작원리

2.1 시스템 구성도

본 시스템은 그림 1과 같이 크게 차량용 GPS정보 획득 장치, 무선 통신망, 차량 도착시간 예측 및 인버터 전원 제어장치로 구성되어 있다.

차량용 GPS 정보 획득 장치의 경우, 우선 차량에 설치되어 주행 중인 현재 차량의 위치 정보를 획득한다. 이렇게 획득한 차량의 위치 정보를 인버터와 차량 간의 WiFi 혹은 셀룰러 통신 시스템을 이용하여 인버터에 전송한다.

차량 도착시간 예측 및 인버터 전원 제어장치에서는, 차량의 GPS 정보들을 기반으로 인근의 주행 경로들을 데이터베이스화하여 차량의 이동 경로를 분석하고, 차량들이 인버터 급전 세그먼트에 도착하는 시간과 나가는 시간을 예측한다.

도착시간 예측 및 인버터 전원 제어 장치의 경우, 그림 1과 같이 인버터 내의 다수의 급전 세그먼트에 대한 다량의 차량 접근에 대해 효율적으로 인버터 전원을 관리하기 위한 차량 도착 시간 예측 알고리즘을 사용한다. 차량이 급전 세그먼트에 들어오는 시간 및 나가는 시간과 인버터를 켜고 끄는 시간의 동기가 맞지 않는 경우 전력손실이 발생하기 때문에 정확한 전원 인가 및 차단 알고리즘이 필요하다.

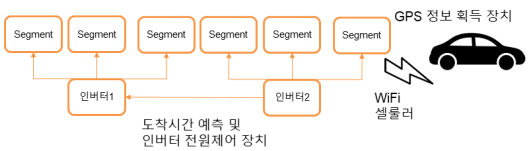

그림 1. 무선충전 인프라 구조
Fig. 1. Structure of wireless charging infrastructure

2.2 동작원리

전체 시스템의 동작 시나리오는 크게 인버터에 전원이 인가되는 경우, 전원이 차단되는 경우로 분류할 수 있다.

인버터에 전원이 인가되는 경우는 예측한 도착 시간을 이용해 차량이 급전 세그먼트에 들어올 때 전원을 인가하는 경우이며 인버터가 켜질 때까지 소요되는 시간도 고려해야 한다. 여러 대의 차량이 짧은 간격으로 들어오는 경우에는 인버터를 끄고 켜는데 소요되는 시간을 고려해 인버터를 차단하지 않고 전원을 인가시킨다.

인버터에 전원이 차단되는 경우는, 차량이 급전 세그먼트에서 나가는 경우이며 이때는 전원을 차단시킨다. 또한 사람이 지나가는 경우에, 전자기파의 위험이 존재하므로 전원을 차단시킨다.

Ⅲ. 핵심 장치 SW 설계 및 구현

3.1 차량용 GPS 정보 획득 및 통신 장치의 SW 설계 및 구현

차량용 SW는 안드로이드 OS 위에서 JAVA로 구현하였다. 차량용 SW는 GPS 좌표를 수신하여, 인접한 범위 내에 존재하는 인버터들에게 WiFi 혹은 셀룰러 통신을 통해 GPS 정보를 전송하는 기능을 수행한다.

차량용 GPS 정보 획득 및 통신 SW 구조는 그림 2와 같다. GPS 좌표 수신부는 1초 간격으로 GPS 좌표를 수신하여 업데이트한다. GPS 좌표 수신부는 안드로이드 OS에서 기본으로 제공하는 API를 사용하여 구현하였다. GPS 좌표를 확보한 후에, 인버터들과의 거리를 확인하여, 인접 범위 내의 인버터가 확인되면, WiFi 혹은 셀룰러 통신망을 통해 GPS 정보를 전송한

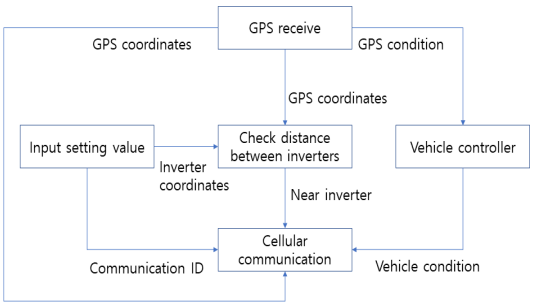

그림 2. 차량용 GPS 정보 획득 및 통신 SW 구조
Fig. 2. Structure of GPS information aquisition and communication software for vehicle

www.dbpia.co.kr

다. 이때 인버터들의 셀룰러 ID는 설정값으로 입력받는다. 또한, GPS 좌표 수신부에서는 차량의 제어부와 소켓 통신으로 연결되며 차량의 제어부에 GPS 좌표 수신 상태를 알려, 비정상 상태인 경우 차량의 제어부에서 관리자에게 통보하여 수동 제어가 가능하도록 한다. 또한, 차량에 비정상 상태가 발생한 경우, 차량의 제어부에서 셀룰러 통신을 통해 인버터에게 차량의 상태를 알리도록 한다.

3.2 도착시간 예측 및 인버터 전원제어 장치의 SW 설계 및 구현

3.2.1 도착시간 예측 SW 설계 및 구현

각 차량의 GPS 정보를 이용하여 차량이 인버터에 근접함을 인지하면 전력을 제어하기 위해, 각각의 인버터에서는 차량의 급전 세그먼트 진입 경로를 파악하고 있어야 한다. 정밀 GPS 정보를 이용해 도로의 차선정보, 이동 경로를 분석하기 위해서는 새롭게 인버터 인근의 주행 경로를 데이터베이스화해야 할 필요성이 있다. 기록한 도로의 차선 상황과 진행 경로 정보를 이용하여 이동 경로상 주행 중 차량이 급전 세그먼트의 진입 시까지 남은 시간을 예측할 수 있으며, 주행 차선이 급전 선로와 같은 차선인지 판단하여 인버터의 전원 인가를 판단할 수 있다.

기록한 GPS 로그 정보를 이용하여 차량의 위치를 매핑하는 과정은 위의 그림 3과 같다. 차량의 현재 위치에서 GPS 로그 상의 모든 i번째 점과 i+1번째 점 사이의 경로들에 수선을 그어 거리를 측정한다. 이 때, 수선의 발이 두 점을 벗어났을 경우, 가까운 i번째 점 혹은 i+1번째 점을 선택한다. 경로 상의 모든 구간에 매핑한 거리 중 가장 짧은 거리가 미리 설정한 차선폭 기준치를 상회할 경우 다른 차선에 있다고 판단하게 된다. 이동한 경로를 이용하여, 속도를 계산하여 인버터까지 남은 이동 경로에 적용하여 차량이 도착할 때까지 남은 시간을 예측하여 인버터의 전원 제어에 활용할 수 있도록 한다.

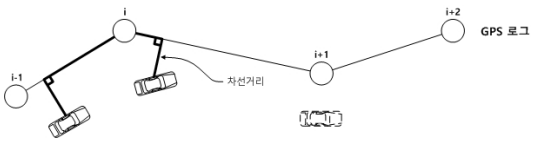

그림 3. GPS 로그 정보에 현재 차량의 위치를 매핑하는 과정
Fig 3. Process mapping current vehicle's location to GPS log information

3.2.2 인버터 전원제어 SW 설계 및 구현

다양한 차량의 접근에 따라 인버터 내의 다수의 급전 세그먼트들의 전원을 제어하기 위해서는 전체 타임테이블을 조율하는 알고리즘이 필요하다. M개의 차량과 N개의 급전 선로가 존재하는 상황을 가정하였다. 이 때, 각각의 급전 세그먼트 혹은 급전 세그먼트들의 그룹으로 전원을 제어한다.

차량의 도착 시간을 기반으로 전력 제어를 하기 위해서, 전력 제어 타임 테이블을 계산하는 과정이 필요하다. 차량의 다양한 상태를 고려하여 인버터의 전원을 제어해야 하기 때문에, 각각의 차량의 요구 사항을 반영하여 타임 테이블을 작성해야 한다. 차량의 충전 요구에 따라 충전이 필요한 상황을 ON, 세그먼트에 존재하지 않거나 충전이 필요 없는 상황을 SKIP, 이외에 다양한 예외상황에 의해 전원이 인가되지 않아야 하는 상황을 OFF라 정의하고 단위 시간마다 요구사항을 정리한다. 차량이 주행 중인 상태에서 전력을 최대로 제공받기 위해서는 전원인가와 전원 차단에 소요되는 시간도 고려해야 한다. 이 각각의 소요 시간을 t_{ON}, t_{OFF}라 정의하고 차량의 도착 전후에 해당 시간을 고려하여 전원 인가 및 차단을 진행하기 위하여 그림 4의 병합과정을 진행하게 된다. ON 요구에 대해서는 앞뒤로 t_{ON}, t_{OFF}만큼 여유시간을 추가하고 OFF 요구에 대해서는 앞뒤로 t_{danger}만큼 여유시간을 추가하여 타임 테이블을 보정한다. 또한, 짧은 시간 동안 급전 세그먼트에 전원을 인가한 후에 바로 전원을 차단하는 전력 낭비를 막기 위해, t_{margin}을 정의하여, 보정된 테이블에서 OFF의 지속시간이 t_{margin}보다 짧은 경우, ON 요구로 병합하여 전력 제어를 할 수 있도록 타임 테이블을 갱신한다.

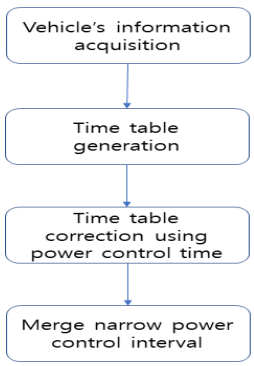

그림 4. 차량 도착 예측 시간을 이용하여 전원 제어 타임 테이블을 제작하기 위한 플로우 차트
Fig. 4. Flow chart of time table construction for power control based on estimated arrival time of vehicle

www.dbpia.co.kr

Ⅳ. 시험 및 결과 분석

4.1 차량용 GPS 획득 장치

차량용 GPS 정보 획득 및 통신 SW를 구현하여 통신 지연시간을 측정해 보았다. 통신 지연시간은 차량용 어플리케이션에서 메시지를 전송하는 시간부터, 인버터용 어플리케이션에서 메시지를 수신하고 내용을 읽어오는 시간까지로 정의하였다. 통신 지연시간을 최소화하기 위하여 같은 이동통신사에 가입된 스마트폰을 이용했으며, 정확도가 높은 dual GPS를 지원하는 스마트폰을 사용하여 실험하였다. 초기에는 소켓 통신 기반의 통신 방식을 고려하였지만, 셀룰러 통신의 경우 스마트폰이 고정 IP를 갖지 않기 때문에 소켓 통신의 구현은 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 MMS와 SMS 기반 통신을 구현하여 통신 지연시간을 비교해 보았다. MMS의 경우는, 통신 지연 시간이 약 7.9초였고, SMS의 경우는 통신 지연시간이 약 0.67초였다. 따라서 통신 지연시간을 최소화하기 위해 SMS 기반 셀룰러 통신 방식을 이용하였다. 향후, VPN 방식 등을 사용하여 가변 IP 문제를 해결하여 소켓 통신을 이용한다면, 통신 지연시간을 더욱 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 도착시간 예측 및 인버터 전원 제어 장치

인버터 제어를 위한 도착시간 예측 SW의 차선 구분 성능 확인을 위해 아래의 그림 5의 좌측 그림과 같이 대전광역시 유성구 온천동로의 약 133미터의 직선 구간을 사용하였다. 그림 5의 우측 그림과 같이 차량에 차선 구분 SW가 탑재된 스마트폰을 설치하여 차량의 이동경로를 측정하였으며, 차선 구분 정도를 확인하고자 하였다. 3차선에 급전 세그먼트가 존재한다고 가정하였으며, 초기의 GPS 로그 정보를 저장하기 위한 3차선 주행을 제외하고 총 5가지의 주행 시나리오를 시행하여 차선 구분 성능을 확인하였다.

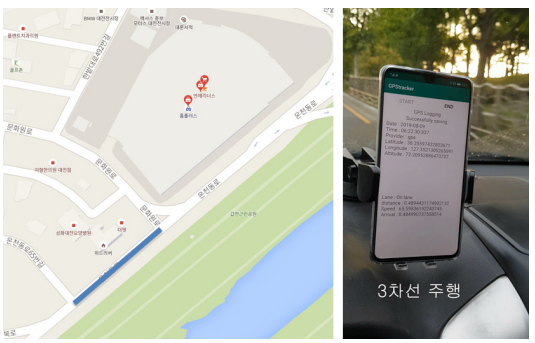

그림 5. 차량의 도착시간과 차선의 예측 SW의 실측 환경
Fig. 5. Measurement environment for estimation sofware of arrival time and lane

차량의 주행을 통해 얻은 실험 결과는 아래의 그림 6과 같다. 차량이 주행하면서 얻은 GPS 정보를 위도와 경도의 형태로 그렸으며, 사전 GPS 로그 정보에 매핑하였다. 이때, 차선의 너비를 3미터라 가정하여, 차선 구분 정보를 확인하였다. 사전 GPS 로그 정보를 제외한 5개의 시나리오에서 총 58개의 GPS 포인트를 확보하였으며, 2차선 주행 시나리오의 1점에서 확인된 차선 구분 오류를 제외한 57개의 점에서 주행 차선 정보를 정확하게 구분할 수 있음을 확인하였다.

또한, 인버터 전원제어 SW의 구현에 있어서, 설계 시에 고려하였던 전원 제어 시간 이외에도 GPS 정보 통신 시간 및 GPS 정보 처리 시간이 존재함을 확인하였다. 앞의 4.1에서 기술한 것과 같이 SMS를 사용한 통신 시스템을 구현함으로써 약 0.67초의 통신 지연 시간이 존재하였으며, Huawei Mate Pro 20 스마트폰의 GPS 정보 처리 시간은 약 0.005초가 소요되었다. 이러한 통신 및 정보 처리 시간 소요에도 불구하고 도착시간 예측 정보의 정밀함을 유지하기 위하여, GPS 정보의 송신 시에 GPS 정보 측정 시간을 함께 보내줌으로써 통신 시간 및 GPS 정보 처리 시간 과정에 소요된 시간을 측정해낼 수 있도록 하였으며, 본 측정 결과를 고려하여 인버터의 전원 제어 SW를 보정하였다.

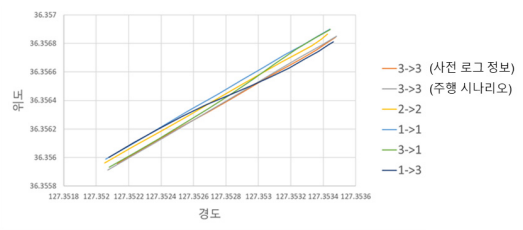

그림 6. 차량의 주행경로 측정 자료 및 차선 구분 성능
Fig. 6. Driving route measurement data of vehicle and lane classification performance

4.3 종합 시험 결과 분석

그림 7과 같이 전원을 공급하는 인버터와 급전 선로 및 무선충전 전기 차량을 이용하여, 앞에서 설명한 차량용 GPS 정보 획득 SW와 도착시간 예측 및 인버터 전원 제어 SW의 동작을 검증하였으며 차량 주행 속도가 바뀌더라도 차량이 급전 세그먼트에 진입시 인버터의 전원이 인가됨을 확인하였다.

기존의 RFID를 이용한 무선 충전 시스템의 경우, 100km/h의 속도를 가지는 차량에 대해 4개의 RFID

www.dbpia.co.kr

그림 7. 시험에 사용된 인버터와 급전선로 및 전기 자동차
Fig. 7. Inverter, power line and electric vehicle for test

태그를 5m 간격으로 배치하는 시나리오에서 최대 80%정도의 인식률을 보였다.[3] 그에 반해, 본 논문에서 제시한 시스템의 경우, 속도가 증가하더라도 예측되는 도착시간의 오차만 존재할 뿐, 인식이 되지 않는 경우는 존재하지 않는다. 하지만, 이러한 예측시간의 오차는 GPS 오차에 기반하여 발생하며, 극단적인 경우 GPS 측정 주기 사이에 차량이 급전 세그먼트에 진입했음에도 불구하고 잘못된 예측에 의해서 전원 공급이 늦어지는 경우에 GPS 기반 무선 충전 시스템의 충전 시간이 줄어드는 효과가 있게 된다.

GPS 측정 오차에 의한 무선 충전 시스템의 충전시간 감소확률을 계산하기 위한 시스템 모델은 그림 8과 같다. 기존 RFID 기반의 차량 인식 시스템[3]에서 사용한 바와 같이 등속으로 움직이는 차량을 가정하였으며, GPS 측정은 본 연구에서 사용한 Huawei Mate Pro 20 스마트폰의 GPS 위치 성능치를 기반으로 약 30cm의 표준편차를 가지는 정규 분포를 따른다고 가정하였다. 이 때, 본 시스템은 GPS 측정 주기에 따라 매 주기마다 도착 시간을 갱신하기 때문에, 차량이 급전 세그먼트가 존재하는 위치, d를 지나가기 전의 최종 도착 시간 예측 위치에서 현재 속도를 기반으로 도착 시간을 예측하는 상황을 가정하였다. 이때, d는 [v,2v]의 구간에서 연속 균등 분포를 가진다고 가정하였다. 최종적으로 GPS 측정 결과를 이용하여 예측한 d까지의 예측시간이 GPS 측정 주기보다 클 경우, 본 시스템은 충전 시간 감소를 가져온다고 할 수 있다. 이때, 속도에 따른 충전 시간 감소 확률은 다음과 같다.

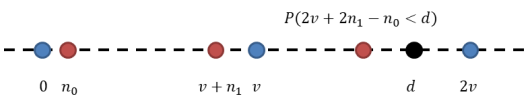

그림 8. GPS신호를 이용한 무선 충전 시스템의 충전시간 감소 확률 계산을 위한 시스템 모델
Fig. 8. System model for calculating charging time reduction probability of wireless charging system using GPS signal

$$P_e = P(2v+2n_1-n_2<d) \tag{1}$$

여기서, n_1은 $N(0,\sigma^2)$ 분포를 갖고, n_2는 $N(0,\sigma^2)$ 분포를 갖는다. 위의 (1) 식에서 $X=\frac{2n_1-n_2}{v}$가 $N(0,\frac{5\sigma^2}{v^2})$ 분포를 갖고, $Y=\frac{d}{v}-2$ 가 $U(-1,0)$ 분포를 갖는다고 정의하면, (1) 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P(X-Y<0)=P(r<0) \tag{2}$$

한편 (2)의 식에서 X-Y로 정의되는 r의 pdf는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$f(r)=f_N(r)*f_U(r)=\int_{-\infty}^{\infty} f_U(t)f_N(r-t)dt$$
$$=\int_{r-1}^{r} f_N(t)dt=Q(\frac{(r-1)v}{\sqrt{5}\sigma})-Q(\frac{rv}{\sqrt{5}\sigma}) \tag{3}$$

한편, 위의 (3)식에서 얻은 pdf를 (2)식에 적용하면 다음의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$P(r<0)=\int_{-\infty}^{0} Q(\frac{(r-1)v}{\sqrt{5}\sigma})-Q(\frac{rv}{\sqrt{5}\sigma})dr \tag{4}$$

본 무선 충전 시스템의 경우 위의 수식에 따라서, 속도가 증가함에 따라 차량의 GPS 위치정보 오차가 상대적으로 작아지므로 충전시간이 감소할 확률은 오히려 줄어들게 되며, 30cm의 표준편차와 100km/h (약 30m/s)의 속도를 가정하였을 경우, 약 0.89%의 충전시간 감소 확률을 가짐을 확인할 수 있었다. 반면에 RFID 기반의 무선 충전 시스템의 경우에 100km/h의 속도를 가지는 차량에 대해 RIFD 태그를 5m 간격으로 배치하는 먼지 없는 좋은 환경에서 최대 80%의 인식률을 보였다. 따라서 제안 방식은 RFID 기반의 시스템에서 차량이 고속 주행을 할 때 발생하는 인식률 저하 문제를 극복할 수 있음을 알 수 있었다.

www.dbpia.co.kr

V. 결 론

본 논문은 GPS 위치 정보를 이용하여 급전세그먼트 진입 시간과 진출 시간을 예측하고 이를 이용하여, 인버터를 제어하는 시스템을 개발하여 실제 환경에 적용하였다. 기존의 RF 태그를 이용하던 방식과 달리 빠른 속도로 이동하는 차량의 경우에도 정확히 인식이 가능하며, 도로에 태그를 매설할 필요가 없어 경제적이다. 특히, 차량의 위치정보 분석을 통한 인버터 전원 제어 기술로써, 주행 중 차량의 효율적인 충전을 지원하고 서비스를 제공받기를 원하는 차량들만 선별하여 충전하는 방식으로도 확장이 가능하다.

References

[1] G. Buja, C. Rim, and C. C. Mi, "Dynamic charging of electric vehicles by wireless power transfer," in *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 10, pp. 6530-6532, Oct. 2016.

[2] M. K. Lee and C. Hong, "Dynamic algorithm based ev charging information management method using distributed cloud" in *Proc. KIISE*, pp. 1094-1096, Dec. 2018.

[3] E. Lee, Y Yoo, C. Park, M. Kim, and M. Geria, "Installation and evaluation of RFID readers on moving vehicles," in *Proc. ACM Int. Workshop on VehiculAr InterNETworking*, pp. 99-108, Sep. 2009.

김 효 민 (Hyo-min Kim)
2019년 2월 : 한양대학교 융합전자공학부 졸업
2019년 3월~현재 : KAIST 전자 공학과 석사
<관심분야> 이동통신, AI 통신 융합
[ORICD:0000-0001-5844-1106]

송 용 준 (Yong-joon Song)
2016년 2월 : KAIST 전자 공학과 졸업
2016년 3월~현재 : KAIST 전자 공학과 석박통합과정
<관심분야> 이동통신, AI 통신 융합
[ORCID:000-0001-5751-3171]

심 유 진 (Yu-jin Sim)
2016년 2월 : 한양대학교 융합전자공학부 졸업
2016년 3월~현재 : KAIST 전자 공학과 석박통합과정
<관심분야> 이동통신, AI 통신 융합
[ORCID:0000-0001-8059-4942]

정 구 호 (Gu-ho Jung)

1992년 2월 : 한양대 전자 공학과 졸업
1994년 2월 : KAIST 전자 공학과 석사
1999년 2월 : KAIST 전자 공학과 박사
2009년 3월~현재 : KAIST 무선전력전송 연구센터 책임연구원
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 무선충전, 전력전자
[ORCID:0000-0003-4599-6270]

조 동 호 (Dong-ho Cho)

1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
1981년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
1985년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
1985년 3월 : KIST 선임연구원
1987년 3월 : 경희대 교수
1990년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학부 교수
2009년 5월 : KAIST 무선전력 전송 연구센터장
<관심분야> 이동통신, 무선충전, 바이오인포매틱스
[ORCID:0000-0001-9849-4392]

www.dbpia.co.kr