

협력 재구성 모듈러 빔포밍 무선 전력 전송 플랫폼 개발

윤창석, 안현석, 김영한

csyoon@keti.re.kr, hsahn@keti.re.kr, ekmyph@keti.kr

Development of Cooperative Reconfigurable Modular Beamforming Platform for Wireless Power Transfer

Chanseok Yoon, Hyun-Seok Ahn, Young-Han Kim
Korea Electronics Technology Institute

요 약

무선 전파 기술은 통신을 넘어 그 적용 범위를 점차 늘려 나가고 있다. 그 중 무선 전력 전송 분야는 IoT 디바이스 내 파워 측면에서의 제약을 극복하여 무선 통신의 응용 저변을 확대해 나가는데 있어서 핵심적인 기능을 할 것이라 예상된다.

본 논문에서는 공간 내 효과적인 무선 충전의 테스트를 위하여 SDR 플랫폼과 단위 재구성이 가능한 모듈러 빔포밍 유닛을 제안하여 개발하고 다수의 유닛들을 협력하여 사용할 수 있는 방안을 제시하였다. 구축된 시스템은 sub 6GHz 대역에서 운용 시나리오에 적합한 무선 전력 전송 모듈의 재구성이 가능할 뿐 아니라 다중 채널 데이터 분석을 통하여 수신기의 위치를 인식하고 이를 기반으로 빔 추적을 가능하게 하는 기능을 수행할 수 있도록 설계되었다.

I. 서 론

최근 인공지능 (AI) 기술과 센싱 기술의 발전으로 현실 세계의 정보를 디지털 세계에 실시간으로 반영하고 이를 분석 활용할 수 있는 디지털트윈 기술이 다양한 분야에 걸쳐 활발히 도입되고 있다. 효과적인 디지털트윈 환경 구축을 위해서는 대규모 IoT 센서들을 대상 공간에 설치하여 운용하여야 한다. IoT 디바이스들은 각기 동작을 위해서 지속적인 전력 공급이 필요하기 때문에 대규모 디바이스에 효율적인 에너지를 공급 방법이 필요하다.

그 중 원거리 무선전력전송 (Wireless power transfer, WPT) 기술은 송신기 측에서 전력을 전력 신호 형태로 변조하고 안테나를 통하여 전자기파의 형태로 변환하여 자유공간 상으로 방사한다. 이 전자기파는 수신기 측 안테나에서 수집되어 최종적으로 수신기 시스템을 구동할 수 있는 전력으로 변환한다. 이 기술은 송신기를 기준으로 원거리에 위치하는 다수의 수신기들의 에너지 공급에 효과적이다.

수신기 측으로 효율적으로 전자기파를 전달하기 위해서는 다수의 안테나를 활용한 빔포밍 기술이 필요하다. 빔포밍을 통하면 수신기 안테나로 전자기파를 집중할 수 있어 전송 효율을 증대할 수 있을 뿐 아니라 공간 상에 불필요한 전자기파 누설을 줄일 수 있다.

하지만 빔포밍 기술을 활용하더라도 송신기와 수신기 사이의 상대적인 위치 및 전송 환경의 특성에 따라서 효율적인 전자기파 전달이 어려울 수 있다. 이를 위해서 단일 무선전력전송 장치가 아닌 다수의 분산 무선전력전송 송신기를 협력적으로 활용하면 수신기 측에 공간 상에서 끊이지 않고 에너지 공급이 가능할 수 있는 시스템의 구축이 가능하다.

최근 이동 통신 시스템의 표준 RF 시스템 구조를 이용하여 센싱, 전력 전송 등 다양한 분야로 응용 분야를 확대하려고 하는 시도가 늘어나고 있다. [1] 기존 기지국에 무선전력전송 기술을 도입하는 경우 특별한 장치 설치 없이 기존 설치된 시스템에 기능 재구성을 통하여 효과적인 부가 서비스 제공이 가능하다. 이동 통신 환경에서도 이와 같이 공간 내 균일한 통신 서비스 품질을 제공하기 다수의 기지국 장치들이 협력적으로 동작하도록 설계되기에 협력 전력 전송에 대한 연구가 필요하다.

지금까지 무선전력전송 기술의 효과적인 연구 개발을 위하여 다양한 단독 송신기 플랫폼들이 제공되어 왔다. 하지만 동작 시나리오에 따라 단위 송신기 모듈 성능의 재구성이 가능하며 다수의 무선전력전송 유닛들을 효과적으로 연계하여 협력 에너지 전송을 테스트하기 위한 플랫폼은 없었다.

본 논문에서는 동작 시나리오에 따라 단위 유닛의 재구성이 가능하며, 다중 유닛들을 효과적으로 조합하며 필요에 따라서 재설정할 수 있으며 협력 무선전력전송 플랫폼을 구성하고 이를 기반으로 효과적으로 동작할 수 있는 시스템을 구성하였다.

II. 본론

무선전력전송 시스템은 우선 다수의 안테나들을 활용하여 수신기들의 위치를 인식하고 전송 환경 상에 위치한 장애물들을 감지하여 인식된 수신 디바이스 위치로 효과적으로 에너지를 집중하여 전달하는 순으로 동작한다. 협력 무선전력전송 시스템의 경우에는 각 무선전력전송 유닛들이 하나의 시스템과 같이 연계되어 신호를 수신하여 분석하고 이를 기반으로 에너지 전달을 수행하여야 한다. 이를 위한 동작 구조와 하드웨어 구성

및 통합 제어에 대한 부분이 고려된 시스템 개발이 필요하다. 그림 1 에는 협력 빔포밍 무선전력전송의 동작에 대하여 도시하였다. 단계 별로 동작을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

협력 빔포밍 무선전력전송 플랫폼은 기본적으로 수신기 측에서 위치 인식 및 전력 전송 최적화를 위해 전송된 비콘 (Beacon) 신호를 수신한다. 이 신호는 무선전력전송 플랫폼의 안테나에서 수신되며 이를 기반으로 개별 유닛들은 수신기 측과의 관계를 확인하게 된다. 무선전력전송을 위한 다수의 수신기가 존재하는 경우 각각 비콘 신호를 기반으로 공간 상에 수신기의 위치 및 상태를 파악하게 된다.

또한 협력 빔포밍 무선 전력 전송 플랫폼은 전송 공간 상에 장애물 감지를 수행할 수 있어야 한다. 각각의 무선전력전송 단위 유닛은 송신과 수신 동시에 수행하여 모노스태틱 (Monostatic) 스캐닝을 통하여 전송 환경 내에 변화를 인식할 수 있어야 하며, 다수 유닛들을 협력적으로 활용하는 바이스태틱 (Bistatic), 멀티스태틱 (Multistatic) 스캐닝을 통하여 그 감도를 높이고 감지 음영 지역을 줄이는 작업이 요구된다.

수신기의 위치 확인 및 장애물 감지 작업이 완료된 후 단위 유닛들을 협력적으로 구동하여 무선전력전송을 수행하게 된다. 무선전력전송은 다수의 수신기에 효과적으로 에너지를 전달하는 알고리즘을 통하여 시분할 혹은 빔분할 방식등으로 전달하며 이를 통하여 다수의 장치들에 효과적으로 에너지를 전송할 수 있도록 한다. 다수의 유닛들 간의 위상 정합이 이루어진 경우 수신 측에서의 위상 정합을 통하여 협력 빔포밍 동작도 가능하다.

협력 재구성 모듈러 빔포밍 무선 전력 전송 송신 플랫폼의 단위 빔포밍 무선전력전송 유닛은 그림 2 와 같이 구성된다. 단위 유닛은 총 16 개의 5.8 GHz 단위 안테나들을 4x4 배열로 배치하였으며 각각의 안테나에는 RF 모듈이 연동된다. RF Chain 의 축소를 위해 2x2 단위의 RF 모듈/안테나 세트들은 1:4 분배/결합기를 통해 단일 송수신 RF 포트에 연결된다. 연결되는 RF 송수신기는 총 4 개의 독립 RF 체인을 제공하여 포트 별로 송수신을 동시에 수행할 수 있으며 단위 무선전력전송 시스템 독립 제어를 가능하게 한다.

RF 모듈은 안테나의 송수신 신호 분리를 위한 RF 프론트엔드 모듈, RF 신호 전력 증폭 모듈, 위상/진폭 제어를 위한 Corechip 모듈로 구성된다. 개별 RF 모듈을 기능에 따라 모듈러하게 설계하여 동작 시나리오에 적합하도록 채널 당 전력을 변경할 수 있도록 설계하였다. 추가적으로 RF 모듈과 연결되는 분배/결합기 구조를 조정하면 안테나 서브어레이 구조를 조정할 수 있도록 개발하였다.

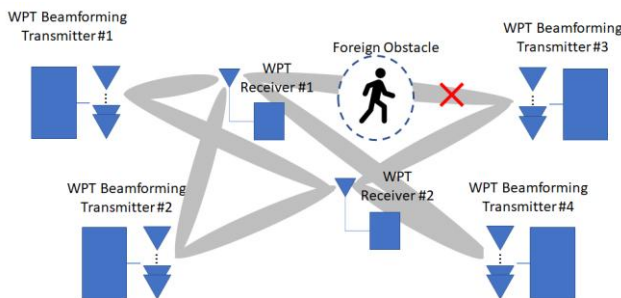


그림 1. 협력 재구성 모듈러 빔포밍 무선 전력 전송 구조

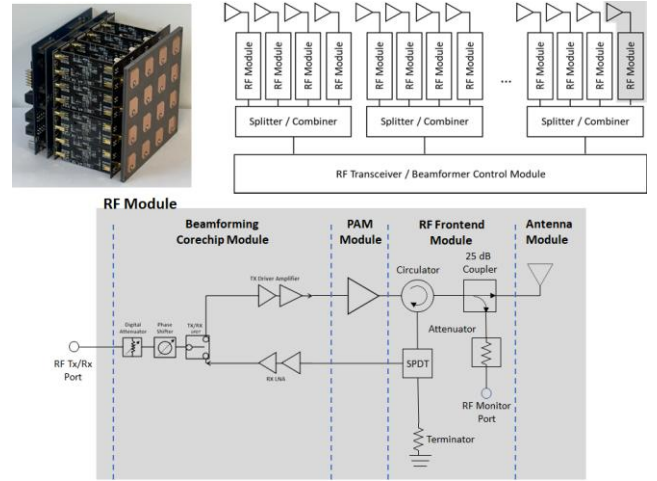


그림 2. 모듈러 무선 전력 전송 모듈

협력 동작을 위하여 단일 유닛은 단일 위상 고정 루프(PLL) 을 기반으로 동작하기 때문에 다수 유닛 간의 위상 정렬을 위해서는 지속적인 PLL 간의 위상 정렬이 필요하다. 이를 위해서는 외부에서 공동의 기준 클럭을 이용한 동기화를 수행할 수 있다. 이를 기반으로 단위 빔포밍 유닛 간의 위상 정렬을 수행할 수 있다. 이를 위해서 단위 유닛들은 10MHz 의 기준 클럭 입력 포트를 가지며 동일 LO 를 기준으로 유선, 무선을 통하여 위상 정렬을 수행하도록 개발하였다.

분산 실시간 통합 운영 시스템을 통한 다수 빔포밍 무선 전력 전송시스템의 실시간 동작을 위해서는 각각의 단위 빔포밍 모듈들이 효과적으로 연동되어 동작할 수 있어야 한다. 이를 위해서 하나의 단위 무선 전력 전송 유닛이 마스터 장치로 동작하며 이를 기준으로 이외의 무선 전력 전송 유닛은 슬레이브 장치로서 네트워크 인터페이스를 통하여 개별 장치들이 연동되며 이를 기반으로 협력 동작을 수행할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 다수 안테나를 활용한 협력 재구성 모듈러 빔포밍 무선 전력 전송을 위한 테스트 플랫폼을 제시하였다. 제안된 시스템은 통신, 센싱, 전력전송 기능을 제공하는 독립적인 무선 전력 전송 단위 시스템으로 이를 결합하거나 공간 상에 분리하여 배치함으로써 공간 내에 효과적인 전력 전송을 수행할 수 있는 가능성을 확인할 수 있도록 하였다. 이후 연구로 6G NR 무선 환경을 고려하여 대량의 안테나를 사용하는 mmWave 급의 협력 재구성 모듈러 빔포밍 무선 전력 전송 송신 플랫폼에 대한 연구를 진행이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 한국전자기술연구원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 401C4911, 미래 전파 기반 Over-the-Air 전파빔 무선충전기술)

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Study on Communication for Ambient IoT," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Report 22.837, version 17.1.0, Jun. 2023. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org>