

마이크로파 무선전력전송을 위한 주파수 오프셋 추정과 빔포밍

이지호 · 임용석*

고려대학교, 전자부품연구원*

Frequency Offset and Beamforming Algorithm for Microwave Wireless Power Transfer

Ji-Ho Lee · Yong-Seok Lim*

Korea University, Korea Electronics Technology Institute

E-mail : arnoldjiho@korea.ac.kr / busytom@keti.re.kr*

요 약

본 논문에서는 마이크로파 무선전력전송에서 성능을 열화시키는 요인인 주파수 오프셋 문제와 위상 오차에 대해서 다룬다. 2.4GHz 대역을 사용하는 무선랜 표준에서 주파수 오프셋을 추정하기 위한 알고리즘을 소개하고 수신 전력을 증가시키기 위한 RF 빔포밍에 대해서 논의하였다.

키워드

Wireless Power Transfer, Frequency Offset, RF Beamforming

I. 서 론

최근 무선통신기술의 발달로 다양한 사물인터넷(IoT) 기반의 장비들의 사용이 급속도로 확산되고 있다. 더불어, 안정적으로 전원을 공급받을 수 없는 무선 IoT 장비들의 수명을 늘리기 위한 방안으로 무선전력전송에 대한 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 무선전력전송은 충전 방식에 따라서 비방사형 방식으로 분류되는 자기 유도 방식과 자기 공진 방식이 있으며, 방사형 방식으로 분류되는 마이크로파 방식이 있다.

마이크로파 기반의 RF 무선전력전송 시스템은 근거리 전력 전송에 사용되는 방사형 방식의 기술에 비해 수 m의 원거리 전력 전송에 사용될 수 있다 [1]. RF 무선전력전송 환경에서는 IoT 장비들의 움직임에 의한 도플러 효과와 송수신 국부발진기(Local Oscillator) 간의 주파수 차이에 의해서 주파수 오프셋 문제가 발생한다 [2]. 이러한 주파수 오프셋은 다중 입출력 안테나(MIMO) 시스템에서 각 안테나로부터 수신된 전력의 합에 대한 성능의 열화를 발생시킨다. 또한 주파수 오프셋이 보정되었더라도 무선채널의 산란 특성에 의해서 각각의 안테나에서 수신한 신호의 위상은 서로 다르다. 수신

전력을 최대화하기 위해서는 각 안테나를 통해 수신된 신호의 위상을 정렬하는 것이 필수적이다. 본 논문에서는 무선랜 환경을 기반으로 RF 무선전력전송 시스템에서 수신단에서 주파수 오프셋을 보정하기 위한 알고리즘을 소개하고, RF 영역에서 간단한 위상변화기를 통하여 수신 전력을 높일 수 있는 방법에 대해서 토론하겠다.

II. 주파수 오프셋 추정 알고리즘

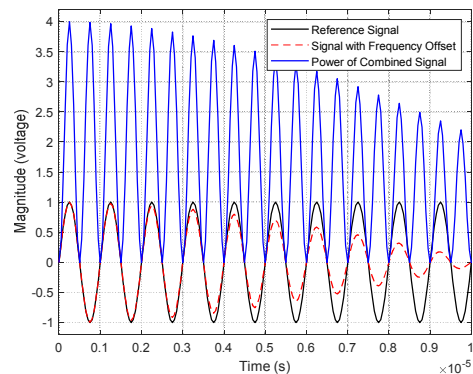


그림 1. 주파수 오프셋에 의한 전력 손실

그림 1은 송수신 주파수 오프셋에 의한 수신 전력의 열화를 시뮬레이션 하였다. 기준이 되는 신호

* corresponding author

는 1MHz의 sine wave를 가정하였고, 주파수 오프셋은 반송주파수 2.4GHz의 10ppm인 24kHz로 설정하였다. 시뮬레이션 결과를 보면 주파수 오프셋의 영향으로 인해 수신된 신호의 합의 전력이 감소하는 것을 알 수 있다.

이번 장에서는 주파수 오프셋을 추정하는 다양한 알고리즘 중에서 2.4GHz 대역을 사용하는 무선랜에서 사용되는 알고리즘에 대해서 소개하겠다. Wi-Fi 표준인 IEEE 802.11 패킷 구조에는 주파수 오프셋 추정을 위한 short training field (STF)와 long training field (LTF)가 존재한다. 수신된 STF 신호를 기반으로 넓은 범위의 주파수 오프셋을 추정할 후 LTF 신호를 기반으로 세밀한 주파수 오프셋을 추정하게 된다. 단말에서 수신된 통과대역 신호는 간략히 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(t) = x(t)e^{j2\pi f_{tx}t} + n(t)$$

여기서 y 는 수신 신호, x 는 STF와 LTF, n 은 백색잡음, f_{tx} 는 송신주파수이다. 주파수 하향 변환과 샘플링을 한 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_k &= x_k e^{j2\pi(f_{tx} - f_{rx})kT_s} + n_k e^{-j2\pi f_{rx}kT_s} \\ &= x_k e^{j2\pi f_{\Delta}kT_s} + n_k e^{-j2\pi f_{rx}kT_s} \end{aligned}$$

첨자 k 는 k 번째 샘플을 의미하고, r 은 샘플링된 수신 신호, T_s 는 샘플링 주기, f_{rx} 는 수신 국부발진기의 주파수다. 동일 심볼이 반복되는 STF, LTF 특성을 이용하여 샘플과 지연 수신된 샘플과의 상관값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} z &= \sum_{k=0}^{L-1} r_k r_{k+D}^* \\ &= \sum_{k=0}^{L-1} x_k e^{j2\pi f_{\Delta}kT_s} (x_{k+D} e^{j2\pi f_{\Delta}(k+D)T_s})^* \\ &= e^{j2\pi f_{\Delta}DT_s} \sum_{k=0}^{L-1} |x_k|^2 \end{aligned}$$

z 는 상관값, L 은 전체 샘플의 수, D 는 지연된 샘플과의 샘플 거리, f_{Δ} 은 주파수 오프셋이다. 여기서 잡음의 영향을 줄이기 위해 L 은 충분히 큰 값으로 설정하여야 한다. 샘플 거리 D 는 STF일 때 16샘플, LTF일 때 64샘플이다. 상관값 수식에서 f_{Δ} 를 제외한 모든 값을 알고 있기 때문에 수신된 신호의 자기 상관 값을 통해서 주파수 오프셋 f_{Δ} 을 추정할 수 있다. 주파수 오프셋 추정 알고리즘은 그림과 같이 하드웨어 적으로 구현할 수 있다.

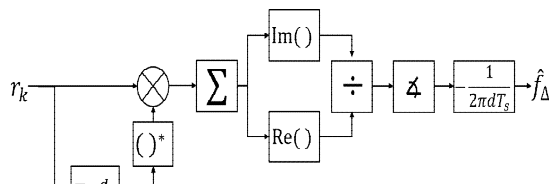


그림 2. 주파수 오프셋 추정 블록다이어그램

III. RF 빔포밍

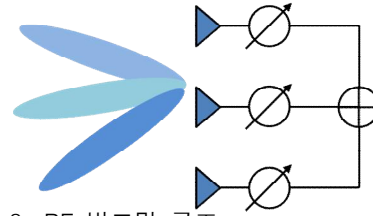


그림 3. RF 빔포밍 구조

추정된 주파수 오프셋을 보정한 후, 수신된 전력을 최대화하기 위해서 그림 3과 같이 배열 안테나를 통해서 수신 RF 빔포밍을 적용할 수 있다. 무선통신채널의 방사 특성에 의하여 각 안테나는 서로 다른 위상을 가진 신호를 수신하게 된다. 수신단은 송신단으로 파일럿 신호를 보내는 채널 사운딩 절차를 통해서 송수신단 사이의 채널을 추정할 수 있다. 무선랜 환경에서는 LTF를 통해서 MIMO 채널을 추정하게 된다. 추정한 채널의 위상값을 바탕으로 각 안테나에 연결된 위상 변화기의 위상 값을 변화시키면 그림 4와 같이 특정방향으로 다양한 빔을 형성하여 수신 전력을 증대시킬 수 있다.

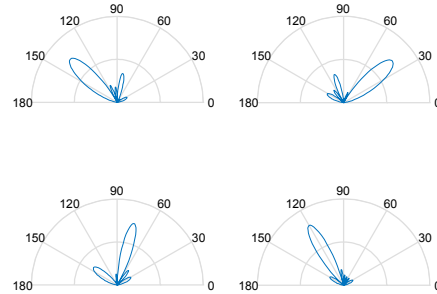


그림 4. 위상 변화기의 위상 변화에 따른 다양한 RF 빔 패턴

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로파 기반의 RF 무선전력 전송 시스템에서 주파수 오프셋을 추정하는 방법과 수신 전력을 증대시키기 위한 RF 빔포밍에 대해서 논의하였다. 향후 다수의 안테나를 사용한 RF 빔포밍 이득을 통해서 기존의 무선전력전송 기술보다 원거리의 무선전력전송이 가능할 것이다.

Acknowledgment

본 논문은 2017년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.10079984, 웨어러블 디바이스용 무구속 멀티모달 무선에너지공급 기술 개발)

References

- [1] C. R. Valenta and G. D. Durgin, "Harvesting Wireless Power: Survey of Energy-Harvester Conversion Efficiency in Far-Field, Wireless Power Transfer Systems," in *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 15, No. 4, pp. 108-120, June 2014.
- [2] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," in *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 45, No. 12, pp. 1613-1621, Dec. 1997.