

RF 에너지 하베스팅 BLE 장치의 무선전력전송시스템 설계 방안 연구

장 호 덕*

Study on Implementation Method of Wireless Power Transfer System for RF Energy Harvesting BLE Device

Ho-deok Jang*

요 약

본 논문에서는 RF 에너지 하베스팅 BLE (Bluetooth Low Energy) 장치의 WPTS (Wireless Power Transfer System) 설계 방안을 연구하였다. 무선전력전송 시스템은 신호손실과 안테나 크기를 고려하여 915MHz 주파수대역을 사용하고 출력은 3W EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)로 설정하였다. BLE 장치에 수신되는 RF 신호 전력과 RF-DC 변환 효율을 측정하여 수치 해석 결과와 비교 분석하였다.

Key Words : BLE, Energy Harvesting, RF, Sensor, WPTS

ABSTRACT

This paper investigated the implementation method of the WPTS (Wireless Power Transfer System) for RF energy harvesting BLE (Bluetooth Low Energy) device. The source of RF energy in the WPTS operates at 915MHz and the power output is 3W EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). The received RF power and RF-DC conversion efficiency is compared with the numerical result.

I. 서 론

IoT (Internet of Things: 사물인터넷)는 주위의 모든 사물이 각종 센서와 통신 네트워크를 통해 인터넷에 연결되는 것을 의미한다. 최근 WiFi, LTE, Bluetooth, Z-Wave, ZigBee 등 무선통신 네트워크의 발달과 각종 센서 및 무선통신 모듈이 탑재된 모바일 기기의 비약적인 소형화에 힘입어 향후 미래 정보통신기술 융합산업의 패러다임을 이끌어갈 유망 기술로 각광받고 있다. 가트너 (Gartner)에서는 2014년 가장 주목해야 할 10대 전략 기술 중 하나로 IoT를 선정하였고, ABI리서치는 인터넷에 연결된 기기의 수가 2014년 103억 개에서 2020년에는 295억 개까지 증가할 것으로 예상했다. 하지만 유한한 에너지를 제공하는 배터리로 동작하는 스마트 디바이스 및 센서는 저 전력 기반으로 동작해야 하기 때문에 데이터 전송량과 송신 주기에 대한 제약이 있다. 또한, 배터리 수명이 다하면 교체해야 하는 유지보수 이슈와 비용 발생 문제를 수반하게 된다. 이를 해결하기 위해 빛, 진동, 열, RF 신호와 같은 에너지원으로부터 동작에 필요한 전기에너지를 얻는 에너지 하베스팅 기술이 적용되고 있다^[1-4]. 본 논문에서는 무선 RF 신호를 정류하여 DC 전원으로 변환하는 WPTS를 이용하여 BLE 장치의 전원공급부를 설계하는 방안을 연구하였다.

II. RF 에너지 하베스팅 BLE 장치

BLE 장치는 스마트 센서이며, 센서부, 마이크로프로세서 신호처리부, BLE 무선통신 인터페이스, 전원 공급부로 구성된다. 신호처리부는 센서의 출력신호로부터 IoT 서비스를 위한 정보를 수집 및 처리하며, BLE 무선통신 인터페이스를 통해 센서 네트워크로 전달하는 기능을 수행하게 된다. 상시 그리고 짧은 주기로 동작하는 스마트 센서의 전원 공급 이슈는 RF 에너지 하베스팅 기술을 적용하여 해결할 수 있으며, RF 에너지 하베스팅 BLE 장치는 그림 1과 같이 구성할 수 있다. BLE 장치는 목적에 적합한 센서, 마이크로프로세서, BLE 모듈, 안테나, WPTS 전원공급부로 구성된다. WPTS 전원공급부는 RF 신호를 수신하기 위한 안테나, 정류회로로 구성되는 RF-DC 변환기, 전력 관리를 위한 PMIC (Power Management IC), 그리

* 본 연구는 2018학년도 동양미래대학교 교내 연구지원사업 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0001-5552-4256)Dongyang Mirae University Department of Information & Communication Engineering, teri20@dongyang.ac.kr, 정희원

논문번호 : 201812-400-C-LU, Received December 31, 2018; Revised January 15, 2019; Accepted January 15, 2019

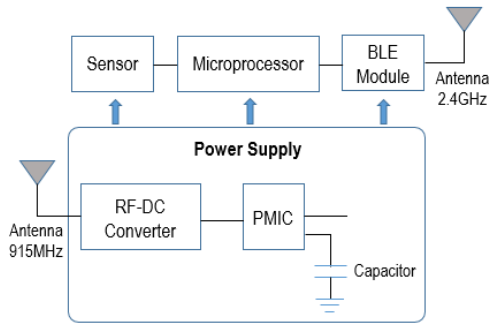


그림 1. RF 에너지 하베스팅 BLE 장치의 구성도
Fig. 1. Schematic diagram of RF energy harvesting BLE device

고 축전을 위한 캐패시터로 구성된다. 축전 캐패시터를 사용할 경우, 캐패시터에 축전된 전하가 방전되면서 출력 전압이 공급되며, 임계치보다 낮아지면 다시 충전되기 때문에 일정한 전압을 유지할 수 있다⁵⁾.

2.1 WPTS 전원공급부

WPTS의 RF 주파수대역은 신호 손실과 안테나 크기를 고려하여 선택할 수 있다. 주파수가 높아질수록 허용되는 최대 출력 전력이 낮아지고 전송 손실이 증가하기 때문에 1m 이상의 거리에서는 사용할 수 없다. 낮은 주파수대역은 이러한 문제점을 해결할 수 있지만, 안테나가 소형 BLE 장치에 사용할 수 없을 정도로 커지게 된다. 40MHz 주파수대역의 경우, 반파장 다이폴 (dipole) 안테나의 길이는 대략 3.6m에 달한다⁶⁾. 따라서 최대 출력 전력, 전송 손실, 안테나 크기를 절충하여 915MHz 주파수대역을 선택하였고, WPTS의 전력 수신기 안테나는 표 1에서와 같이 PCB 다이폴 안테나와 패치 (patch) 안테나를 사용하여 무선 전력 전송 특성을 비교하였다. RF-DC 변환기의 출력 전압은 PMIC에 연결된 캐패시터로 공급되어 충전되게 되며, 일정 레벨 이상 충전되면 캐패시터가 방전되면서 PMIC 출력 핀에 연결된 센서 및 BLE 모듈로 전압이 공급된다.

표 1. 915MHz WPTS 전력 전송 수신기의 안테나 특성
Table 1. Antenna specification of 915MHz WPTS receiver

	Dipole antenna	Patch antenna
Directivity	omni-directional	directional
Polarization	vertically polarized	vertically polarized
Beamwidth	360°	azimuth : 122° elevation : 68°
Gain	1.0dBi	6.1dBi

2.2 BLE 무선 통신 인터페이스

스마트센서의 무선 통신 인터페이스는 저전력 단거리 무선통신에 적합한 BLE 기술을 적용하여 설계하였다. BLE 무선통신에서 마이크로프로세스부를 포함한 스마트센서는 Peripheral 역할을 수행하게 되며, Central 역할의 gateway와 통신 연결되면 센싱한 데이터를 송신하고, 제어신호를 수신하게 된다. BLE 무선통신의 최대 전송 거리는 100m 정도이며, 건물 등 장애물에 따라서 10m~100m 범위의 무선 커버리지를 가지게 된다⁷⁾.

III. RF-DC 변환 출력전력

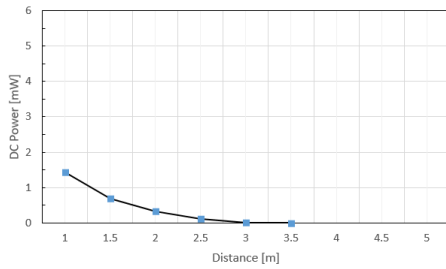
WPTS 무선 전력 수신기의 안테나로 수신되는 RF 신호는 RF-DC 변환되며, 에너지 하베스팅 효율을 분석하기 위해서 축전을 위한 캐패시터의 충전 전류를 측정하여 수치 해석 결과와 비교하였다. 무선 전력 송신기의 출력은 3W EIRP이며, 무선 전력 수신기의 안테나 특성은 표 1과 같다. 안테나 이득의 경우, 다이폴 안테나는 1.0dBi이며, 패치 안테나는 6.1dBi 이다.

무선 전력 수신기에 수신되는 RF 신호 전력의 수치 해석은 식 1의 Friis 방정식을 이용하였다. 무선 전력 송신기의 출력 (P_t)과 송신 안테나 이득 (G_t)의 곱은 3W이며, 915MHz RF 신호의 파장은 0.328m 이다. 무선 전력 송신기와 수신기 사이의 거리 (R)에 따라서 수치 해석한 수신 전력은 표 2와 같다. 패치 안테나를 사용한 경우 다이폴 안테나 보다 대략 3배 크다. 3m에서 0.92mW이고 5m에서 0.33mW이다. 반면, 다이폴 안테나를 사용한 경우, 3m에서 0.29mW이고 5m에서 0.1mW이다. DC 전력은 RF-DC 변환 효율에 따라서 계산할 수 있으며, 수치 해석한 결과는 그림 2와 같다. 무선 전력 수신기에서 변환된 DC 전력의 수치 해석 결과는 패치 안테나의 경우, 3m에서 0.54mW이고, 5m에서 0.03mW이다.

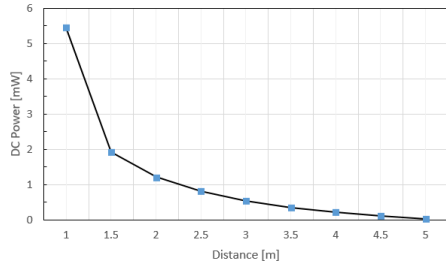
$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1)$$

표 2. 무선 전력 수신기 입력 전력 (단위: mW)
Table 2. Input power of wireless power receiver [unit: mW]

	Distance [m]								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Dipole antenna	2.57	1.14	0.64	0.41	0.29	0.21	0.16	0.13	0.1
Patch antenna	8.31	3.69	2.08	1.33	0.92	0.68	0.52	0.41	0.33



(a) Dipole antenna



(b) Patch antenna

그림 2. 무선 전력 수신기의 DC 전력
Fig. 2. DC power of wireless power receiver

BLE 장치는 소비 전류와 축전을 위한 캐패시터에 흐르는 충전 전류를 비교하여 장치 가동 여부를 판단할 수 있다. BLE 장치의 소비 전류는 그림 3과 같다. 게시 주기가 짧아질수록 평균 소비 전류가 증가하게 된다. 게시 주기가 1000ms 일 때 페이로드의 크기가 14bytes인 경우 평균 소비 전류는 29 μ A 이고, 27bytes인 경우 34 μ A 이다. 게시 주기가 100ms로 줄어들게 되면, 각각 274 μ A, 322 μ A로 평균 소비 전류가 급격하게 증가하게 된다. 따라서 그림 4의 무선 전력 송신기와 수신기 사이의 거리에 따른 충전 전류 경향을 보면 거리가 증가할수록 허용할 수 있는 게시 주기는 길어지게 된다. 예를 들어, 패치 안테나를 사용하면 3m에서 충전 전류가 180 μ A이기 때문에 페이로드 크기가 14bytes인 경우 대략 150ms 까지 게시 주기를 줄일 수 있다. 하지만 4m에서는 충전 전류가 72 μ A로 감소하여

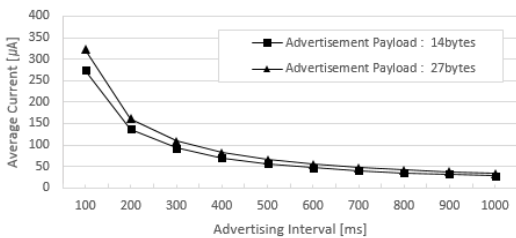
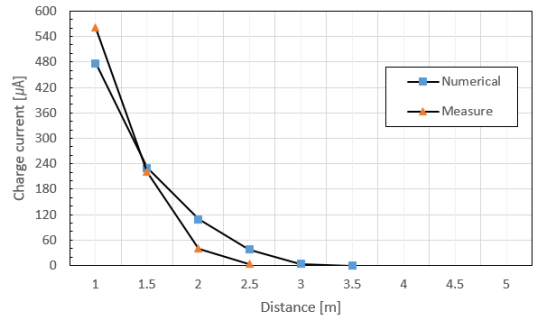
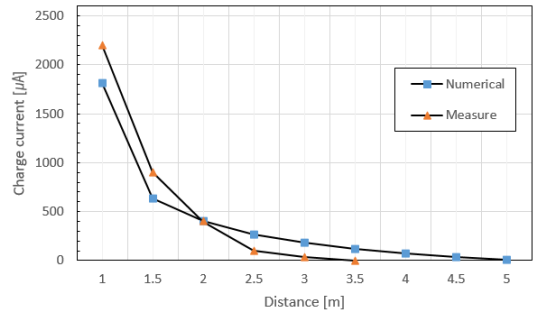


그림 3. BLE 장치의 평균 소비 전류
Fig. 3. Average current consumption of BLE device



(a) Dipole antenna



(b) Patch antenna

그림 4. 무선 전력 수신기의 충전 전류
Fig. 4. Charge current of wireless power receiver

허용할 수 있는 게시 주기는 390ms로 늘어나게 된다.

IV. 결 론

BLE 장치는 Central 장치와의 연결을 위해 주기적으로 게시를 하기 때문에, 빈번하게 active 모드에서 stop 모드로 전환하여 저전력으로 동작하는 특성을 가지고 있다. 하지만 배터리 수명 문제를 해결하기 위해서 WPTS를 BLE 장치의 전원공급부로 적용하여 에너지 하베스팅 BLE 장치를 구현할 수 있다. RF-DC 변환된 충전 전류를 분석한 결과, 무선 전력 송신기와 수신기 사이의 거리가 증가할수록 허용되는 BLE 장치의 게시 주기가 늘어나게 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 BLE 장치의 응용분야에 따라서 적합한 게시 주기를 선정하여 무선 전력 송신기와 무선 전력 수신기로 전원공급부를 설계한 BLE 장치 사이의 거리를 결정해야 한다.

References

[1] A. A. Aziz, D. Tribudi, L. Ginting, P. A. Rosyady, D. Setiawan, and K. W. Choi, "RF

- energy transfer testbed based on off-the-shelf components for IoT application,” *J. KICS*, vol. 40, no. 10, pp. 1912-1921, Oct. 2015.
- [2] S.-J. Lee, D.-D. Choe, and N.-Y. Kim, “A feasibility study on the energy harvesting technology for batteryless beacon system,” in *KICS Winter Conf.*, pp. 1150-1151, High1 Resort, Korea, Jan. 2016.
- [3] L. Buccolini, P. Pierleoni, and M. Conti, “Design and energetic analysis of a self-powered bluetooth low energy speed sensor,” *2016 IEEE EEEIC*, pp. 1-6, Florence, Italy, Jun. 2016.
- [4] K. E. Jeon, T. Tong, and J. She, “Preliminary design for sustainable BLE beacons powered by solar panels,” *2016 IEEE INFOCOM Wkshps*, pp. 103-109, San Francisco, CA, USA, Apr. 2016.
- [5] H. Jang, “Study on design method of energy harvesting system for BLE beacon,” *J. KICS*, vol. 42, no. 1, pp. 149-152, Jan. 2017.
- [6] O. Galinina, K. Mikhaylov, S. Andreev, A. Turlikov, and Y. Koucheryavy “Smart home gateway system over bluetooth low energy with wireless energy transfer capability,” *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, vol. 2015, no. 178, Jun. 2015.
- [7] Bluetooth, Retrieved Dec. 7, 2018, from <http://www.beaconi.co.kr>.