

# BLE 비콘을 위한 에너지 하베스팅 시스템 설계 방안 연구

장 호 덕\*

## Study on Design Method of Energy Harvesting System for BLE Beacon

Ho-deok Jang\*

### 요 약

본 논문에서는 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting) 기술을 적용한 BLE (Bluetooth Low Energy) 비콘에서 전력 관리를 위한 PMIC (Power Management IC)의 출력 전압을 일정하게 유지하기 위한 방안을 연구하였다. 에너지 하베스팅 장치에서 제공되는 에너지를 확보하고 저장하기 위한 축전 장치로 캐패시터를 사용하였고, 주어진 Advertising Interval에서 BLE 모듈에 일정한 전압을 제공하기 위한 최적의 캐패시턴스를 분석하였다.

**Key Words** : Beacon, BLE, Energy Harvesting, PMIC, Solar Cell

### ABSTRACT

This paper investigated the method for the output of power management IC (PMIC) for BLE beacon with energy harvesting device to be maintained constantly. The capacitor was used to store the energy supplied from energy harvesting device such as solar module and the capacitance was estimated to the optimum value according to the interval for the BLE beacon to send advertising signal.

### I. 서 론

최근 사물인터넷 (IoT: Internet of Thing) 기술 기반의 서비스를 제공하기 위한 스마트 디바이스 및 센

서가 상용화됨에 따라서 장치 사용의 편리성과 안정성 확보를 위한 방안 연구가 진행되고 있다. 그 중에서 유한한 에너지를 제공하는 배터리로 동작하는 스마트 디바이스 및 센서는 저전력 기반으로 동작해야 하기 때문에 데이터 전송량과 송신 주기에 대한 제약이 있다. 또한, 배터리 수명이 다하면 교체해야 하는 유지보수 이슈와 그에 따른 비용 발생 문제를 수반하게 된다. 이를 해결하기 위해 빛, 진동, 열, RF 신호와 같은 에너지원으로부터 동작에 필요한 전기에너지를 얻는 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting) 기술이 적용되고 있다<sup>1-5)</sup>. 에너지원으로 태양광을 이용하는 에너지 하베스팅 BLE 비콘의 경우, 300cm<sup>2</sup>의 패널 표면적을 가지는 태양 전지를 적용하여 출력 전력이 0dBm, Advertising Interval이 0.8s인 BLE 비콘이 동작할 수 있다는 연구 결과가 있다<sup>5)</sup>. 본 논문에서는 BLE 모듈에 공급되는 전압이 BLE 비콘의 주기적인 Advertising 동작에 상관없이 일정한 레벨을 유지할 수 있는 전원부 설계 방안을 연구하였다.

### II. 에너지 하베스팅 BLE 비콘 설계

에너지 하베스팅은 BLE 모듈에 전력을 공급하며, 효율적으로 전력을 사용하기 위해서 전력 관리, BLE 비콘 동작 설정 등을 최적화할 필요가 있다. 먼저 전력 관리는 주기적인 BLE 비콘의 동작에 따른 지속적인 에너지 하베스터 출력 전압의 감소를 막기 위해 축전 캐패시터를 사용할 수 있다. 축전 캐패시터를 사용할 경우, 캐패시터에 축전된 전하가 방전되면서 출력 전압이 BLE 모듈에 공급되며, 임계치보다 낮아지면 다시 충전되기 때문에 일정한 전압 레벨을 유지할 수 있다. 한편 BLE 비콘 동작에 따른 전력 소모는 Advertisement 패킷을 브로드캐스팅 하는 주기를 응용 분야에 맞게 최적화해서 줄일 수 있다.

### III. 실험 구성

에너지 하베스팅 전력을 사용한 BLE 비콘은 그림 1과 같다. 에너지 하베스팅 전력원은 태양 전지 (solar cell) 모듈을 사용하였고, 전력 관리를 위한 PMIC, 축전을 위한 캐패시터, 그리고 BLE 모듈로 구성되며, 전력 관리 메커니즘은 그림 2와 같다. PMIC

\* 본 연구는 2016학년도 동양미래대학교 교내 연구지원사업 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Dongyang Mirae University Department of Information & Communication Engineering, teri20@dongyang.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2016-11-353, Received November 16, 2016; Revised December 27, 2016; Accepted January 4, 2017

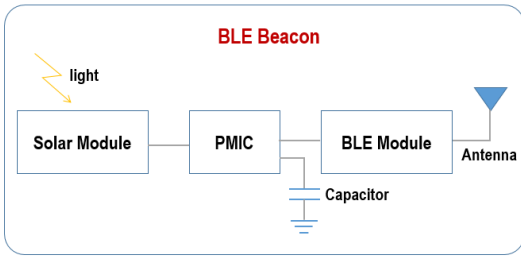


그림 1. 태양광 에너지 하베스팅 BLE 비콘  
Fig. 1. BLE beacon powered by solar cell

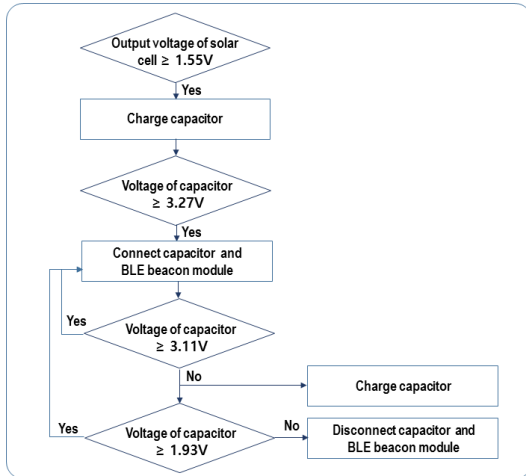


그림 2. 에너지 하베스팅 BLE 비콘의 전력 관리  
Fig. 2. Power management for BLE beacon using energy harvesting

는 태양 전지의 출력 전압이 1.55V 이상이면 구동되며, 1.45V 이하이면 동작하지 않게 된다. PMIC의 입력 전압, 즉, 태양 전지의 출력 전압이 1.55V 이상이면, PMIC에 연결된 캐패시터가 충전되기 시작하며, 캐패시터의 전압이 3.27V ( $V_{OUTH}$ )가 되면 PMIC의 출력 핀과 캐패시터 사이의 스위치가 ON 상태가 되어 연결되며, 캐패시터가 방전되면서 출력 핀에 연결된 BLE 모듈로 전압이 공급된다. 캐패시터의 전압이 1.93V ( $V_{OUTL}$ ) 이하로 떨어질 때까지 PMIC의 출력 핀과 캐패시터 사이의 스위치가 ON 상태가 지속되며, 충전 캐패시터의 전압이  $V_{OUTH}$ 의 95% 아래로 떨어지면 태양 전지의 출력 전압이 충전 캐패시터로 공급되어 충전되게 된다. 다시 말해서, 충전과 방전을 되풀이하면서 최대값의 95~100% 범위의 일정한 출력 전압 레벨을 유지한다.

태양 전지는 200lx 기준으로 4.9V의 출력 전압을 제공하며, 300~600lx의 일반적인 사무실 환경에서 PMIC의 출력 전압은 3.27V가 된다. 태양 전지의 전

류-전압 특성 곡선에서 최대 전력 지점인 MPP (Maximum Power Point)는 최대 전압과 최대 전류의 80%를 반영하여 식1과 같이 계산될 수 있다<sup>6)</sup>. 전류-전압 곡선에서 최대 에너지 수확을 달성할 수 있는 전압을 결정할 수 있고, 이 전압에서 멀어지면 수집되는 전류와 에너지가 줄어들 수 있다.

$$E = (0.8 \times V) \times (0.8 \times I) \quad (1)$$

PMIC는 태양 전지와 배터리의 출력 전압을 모니터링해서 전압 상태에 따라서 입력 전력 공급원을 선택하도록 제어하게 된다. 태양 전지에서 공급되는 PMIC의 입력 전압은 2.0V ~ 5.5V (Typ: 3.3V) 이다. 태양 전지로부터 입력되는 전압이 1.55V 이상이면 태양 전지의 출력에 의해 구동되며, 출력 전압을 BLE 모듈에 공급하게 된다. 한편, 태양 전지의 출력 전압이 1.45V 이하이면 동작하지 않는다.

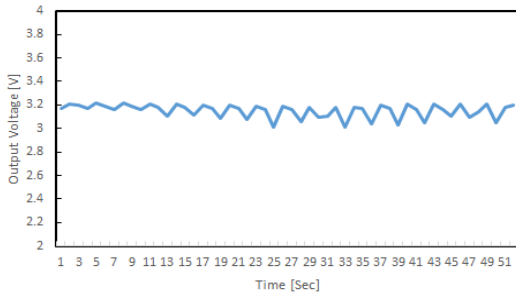
충전을 위한 캐패시터는 PMIC에서 태양 전지의 출력을 입력받아 에너지를 축적하게 된다. 충전 캐패시터의 전압이 3.27V가 되면 PMIC의 출력 전압이 BLE 모듈로 공급된다. 비콘의 지속적인 신호 송신에 의해 충전 캐패시터가 방전되면서 출력 전압이 감소하게 되며, 충전 캐패시터의 전압이 3.27V의 95% 이하로 떨어지면 다시 충전하게 된다.

#### IV. PMIC 출력 전압

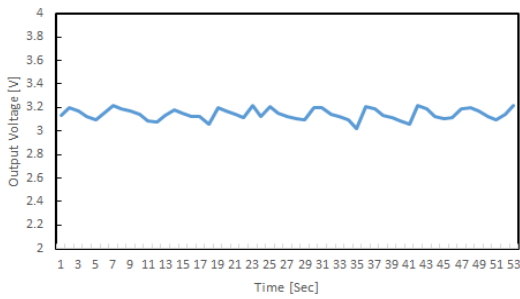
BLE 비콘은 Peripheral 역할을 수행하며 Advertisement 패킷을 브로드캐스팅 하는데, Central 장치에 연결되기 전까지 주기적인 동작이 지속되면 PMIC의 출력 전압은 감소하게 된다. 그러나 충전 캐패시터를 사용하여 출력 전압이 임계값 이하로 낮아지면 충전하도록 제어하면 충전과 방전이 반복되면서 3.11V~3.27V의 일정한 출력 전압을 유지할 수 있다.

그림 3은 200 $\mu$ F의 충전 캐패시터를 사용한 경우의 출력 전압을 측정한 결과이다. (a)는 Advertising Interval이 3초일 때의 출력 전압이고, (b)는 Advertising Interval이 6초일 때의 출력 전압이다. BLE 비콘의 주기적인 브로드캐스팅 동작이 지속되어도 출력 전압이 감소하지 않고, 대략 3.1V의 출력 레벨을 유지하게 된다. 또한 Advertising Interval이 3초에서 6초로 2배 증가함에 따라서 충전 캐패시터의 충전 및 방전 횟수는 역으로 2배 감소하게 된다.

그림 4는 충전 캐패시터의 용량을 200 $\mu$ F에서 420 $\mu$ F로 대략 2배 증가시킨 경우의 출력 전압이다. 측

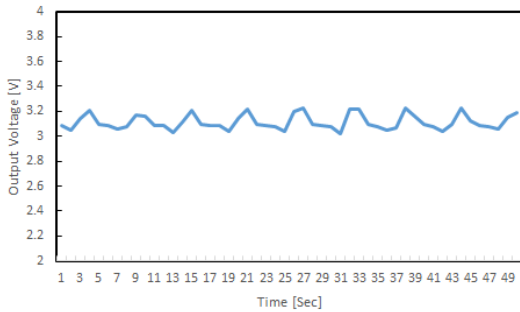


(a) Advertising Interval : 3s

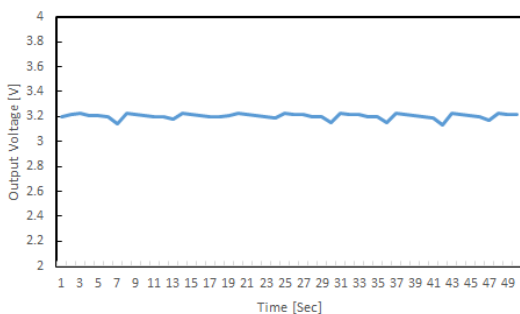


(b) Advertising Interval : 6s

그림 3. PMIC 출력 전압 (축전 캐패시턴스 : 200 $\mu$ F)  
Fig. 3. Output voltage of PMIC (storage capacitance : 200 $\mu$ F)



(a) Advertising Interval : 3s



(b) Advertising Interval : 6s

그림 4. PMIC 출력 전압 (축전 캐패시턴스 : 420 $\mu$ F)  
Fig. 4. Output voltage of PMIC (storage capacitance : 420 $\mu$ F)

표 1. 에너지 하베스팅 BLE 비콘 설정

Table 1. Operating configuration of energy harvesting BLE beacon.

Design & Configuration parameters	
Transmitter Power [dBm]	3
Advertising Interval [s]	6
RSSI [dBm]	-61
Capacitance, Cs [ $\mu$ F]	420

전 캐패시터  $C_S$ 의 캐패시턴스 증가에 따른 시정수 ( $\tau = RC$ )의 증가로  $C_S$ 가 방전되는 시간이 길어져서 출력 전압이 감소하는 기울기가 감소하게 됨을 알 수 있다. 따라서 Advertisement 패킷을 브로드캐스팅 하는 주기인 Advertising Interval이 6초로 긴 경우에는 시정수가 증가한 효과가 더해져서 (b)에서와 같이 거의 일정한 출력 전압 레벨을 유지하게 된다.

## V. 결 론

BLE 비콘은 지정된 매장 내 단말을 설치한 후, 스마트 디바이스를 소지한 사용자가 서비스 범위 내에 진입할 경우 해당 디바이스를 감지해 프로모션 정보나 할인 쿠폰을 제공하는 O2O (Online to Offline) 서비스<sup>[7]</sup>, 백화점이나 대형 쇼핑몰에서 매장의 위치를 확인할 수 있는 실내 측위 기반의 내비게이터, 물건에 부착하거나 노약자가 소지한 BLE 비콘과 Central 장치가 통신하여 실시간 존재 확인을 할 수 있는 도난미아 방지 서비스에서 디지털 콘텐츠, 모바일 게임, 스마트카 등으로 활용 범위가 확대되고 있다. 이렇듯 다양한 BLE 비콘의 응용 분야에 적합한 에너지 하베스터 설계가 요구된다.

PMIC 출력 전압 모니터링을 기반으로 에너지 하베스팅 BLE 비콘의 효율적인 전력 소비를 위한 Advertisement 패킷 브로드캐스팅 동작 설정 및 축전 캐패시터의 캐패시턴스는 표1과 같다. BLE 비콘의 응용 분야에 따라서 주어진 Advertising Interval을 기준으로 축전 캐패시터의 캐패시턴스를 최적화하면 에너지 하베스터의 출력 전압을 일정하게 유지할 수 있다.

## 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 *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 1150-1151, High1 Resort, Korea, Jan. 2016.
- [3] Texas Instruments, *TI Designs, Indoor Light Energy Harvesting Reference Design for Bluetooth® Low Energy (BLE) Beacon Subsystem*, Retrieved Sept., 20, 2016, from <http://www.ti.com/lit/ug/tidu235a/tidu235a.pdf>.
- [4] L. Buccolini, P. Pierleoni, and M. Conti, "Design and energetic analysis of a self-powered bluetooth low energy speed sensor," *2016 IEEE 16th Int. Conf. IEEEIC*, pp. 1-6, Florence, Italy, Jun. 2016.
- [5] K. E. Jeon, T. Tommy, and S. James "Preliminary design for sustainable BLE beacons powered by solar panels," *INFOCOM Wkshps*, pp. 103-109, San Francisco, CA, USA, Apr. 2016.
- [6] Wikipedia, *Solar cell efficiency*(2016), Retrieved Sept., 20, 2016, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell_efficiency).
- [7] H.-I. Kim, J.-H. Shin, M.-J. Han, D.-G. Ha, S.-I. Choi, S.-J. Koh, "Development of BLE beacon-based O2O marketing support system," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 117-118, High1 Resort, Korea, Jan. 2016.