

# LoRaWAN에서 LoRa Class B의 에너지 소비 모델

홍지연<sup>o</sup>, 이경현<sup>\*</sup>, 유주상<sup>\*\*</sup>  
동의대학교, 디지털미디어공학과<sup>o</sup>  
동의대학교, IT융합학과<sup>\*</sup>  
동의대학교, 산업ICT기술공학과<sup>\*\*</sup>

e-mail: anasis6095@gmail.com<sup>o</sup>, typhoon33759@gmail.com<sup>\*</sup>, jsyoun@deu.ac.kr<sup>\*\*</sup>

## Energy Consumption Model of LoRa Class B in LoRaWAN

Jiyeon Hong<sup>o</sup>, Gyeongheon Lee<sup>\*</sup>, Joosang youn<sup>\*\*</sup>  
Dept. of Digital Media Engineering, Dong-Eui University<sup>o</sup>  
Dept. of IT Convergence, Dong-Eui University<sup>\*</sup>  
Dept. of Industrial ICT Technology, Dong-Eui University<sup>\*\*</sup>

### ● 요약 ●

최근 몇 년간 소량의 데이터를 송수신하는 Massive IoT 네트워크에 많은 관심을 가지고 있다. 이러한 환경을 구축하기 위해서 저전력 광역 네트워크(LPWAN) 기술 중 LoRa(Long Range) 네트워크를 사용하고 있다. 대부분의 IoT 응용 서비스는 디바이스가 장시간 안정적으로 작동해야 하므로 에너지 효율성을 중점으로 두고 LoRa 디바이스의 수명을 최대화하기 위한 디바이스의 여러 동작들을 설계하는 에너지 소비 모델링이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 LoRa Class B 통신 방식의 에너지 소비 모델을 정의하고 성능을 평가한다.

키워드: LoRaWAN, LoRa Class B, Energy Consumption Model

### I. Introduction

최근 몇 년 동안 스마트 미터링, 스마트 농업 및 스마트 그리드 등의 IoT 응용 서비스는 수백만 개의 디바이스를 수용하며 소량의 데이터를 전송할 때 효율적으로 에너지를 소모할 수 있는 Massive IoT 네트워크 환경을 필요로 하고 있다. 이를 구축하기 위해 LPWAN 기술 중 LoRa 네트워크를 사용하여 소량의 데이터를 효율적으로 전송이 가능하며, 게이트웨이는 수십만 개의 디바이스를 수용한다. LoRa 네트워크에는 3가지 통신 방식의 종류에는 전류 소모가 적은 순서대로 Class A, Class B, Class C 중 선택하여 사용할 수 있다.

본 논문에서는 LoRaWAN Class B 통신 방식을 에너지 소비 모델링한다. 모델링을 할 때 LoRa 디바이스 하드웨어 동작과 LoRaWAN의 매개 변수 및 메커니즘 설정의 영향을 고려한다[1]. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 LoRaWAN Class A, Class B의 동작 방식에 대해서만 논의한다. 3장은 Class B 통신 방식을 이용해 에너지 소비 모델링 및 성능 평가를 한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

Delay1과 RXDelay2)을 가진 뒤 두 개의 짧은 다운링크 수신 창으로 이어지는 양방향 통신을 허용한다[2]. 이 경우 단말의 업링크 전송을 한 직후 서버로부터 다운링크 통신만 필요로 함으로 3가지 통신 방식 중 전력 소모가 가장 작은 방식이다. 그러나 다운링크 통신 후 다음 스케줄링 된 업링크까지 기다려야 하고, 스케줄링은 랜덤 시간을 기준으로 하기 때문에 단말이 슬립모드(Sleep)일 때 전송이 되면 데이터를 전송받지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 Fig 2의 Class B처럼 비콘을 이용해 게이트웨이와 단말간의

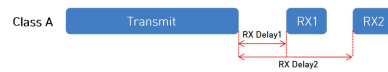


Fig. 1. LoRaWAN Class A

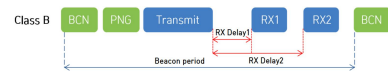


Fig. 2. LoRaWAN Class B

### II. LoRa Class A와 Class B 동작

LoRaWAN의 단말들은 기본적으로 ALOHA 방식을 사용한다[2]. Fig 1의 Class A는 단말이 업링크 전송을 하게 되면 일정 시간(RX

시간 동기화를 통해 예약된 시간에 추가 수신 창을 열 수 있도록 하고, 예약된 시간에 수신 창을 열기 위해서 핑(Ping)메시지를 수신한

다. 이로써 추가적인 수신 창을 열 수 있게 된다. 하지만 수신창이 추가적으로 사용되기 때문에 Class A에 비해 전력소모가 높아진다는 단점이 있다[2].

### III. Class B 에너지 소비 모델

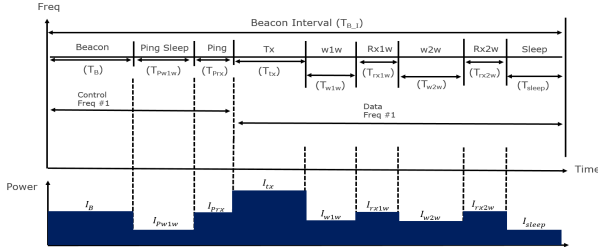


Fig. 3. Class B 에너지 소비 모델

Fig 3에서는 LoRaWAN Class B의 비콘 통신 주기(Beacon Interval)를 재 정의한 에너지 소비 모델링을 나타낸다. 우선, 비콘 메시지를 받기 전에 디바이스는 웨이크 업(Wake up)이 된 상태로 정의한다. 그 다음 주파수를 크게 컨트롤 주파수(Control Frequency)와 데이터 주파수(Data Frequency)로 나누어 정의하여 나타낸다. 먼저 컨트롤 주파수 시간에는 비콘을 수신 받아 게이트웨이와 디바이스 간의 메시지를 보내는 시간을 동기화하고, 핑 메시지를 받기 전에는 슬립모드로 있으며 에너지 소비량을 최소화 한 상태로 유지하다가 주기적인 핑 메시지를 수신 받는다(핑은 하나를 전송). 그 후는 기존의 방식과는 다르게 데이터 주파수 시간을 따로 정의한다. 데이터 주파수 시간에는 Class A 통신 방식으로 동작하며 Class B의 주기가 끝이 난다. 앞서 설명한 Class B의 주기를 순서대로 각 상태 당 시간 변수 및 전력(Power)을 변수 화하고 실제 값들을 표에 나타낸다.

Fig 4에서는 앞서 재 정의한 Class B 에너지 소비 모델의 전체적인 그림을 보여주고 있다. 실제 값들은 [2]에서는 컨트롤 주파수 시간을 정의할 때 사용되는 Class B 비콘 주기의 시간(128초)과 비콘 수신 시간(5,120ms) 및 핑 메시지 수신 시간(30ms)을 가져와 사용하고, 측정 소모량의 경우는 [1]에서 정의한 수신창(rx1w)의 에너지 소모량을 비콘 수신창과 핑 메시지 수신창의 에너지 소모량으로 정의하고 Ping 슬립시간의 소비량은 슬립모드의 소비량으로 정의한다. 핑 메시지를 받은 후의 Class A 동작 방식은 [1]에서 SF12를 기준으로 Class A의 에너지 소비 모델링을 할 때, 에너지 측정 기기로 측정된 값들을 사용하여 Class B 통신 방식을 새롭게 재 정의하고 수식 화하여 성능을 측정한다.

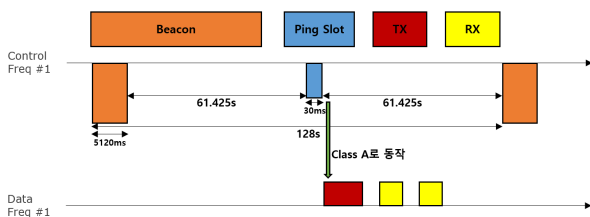


Fig. 4. 재 정의한 Class B 동작 방식

Table 1. State, variables and their values for LoRaWAN Class B transmission.

| State Number | Description        | Duration    |              | Current Consumption |                     |
|--------------|--------------------|-------------|--------------|---------------------|---------------------|
|              |                    | Variable    | Value (ms)   | Variable            | Value (mA)          |
| 1            | Beacon receive     | $T_B$       | 5,120        | $I_B$               | 27.0                |
| 2            | wait Ping window   | $T_{Pw1w}$  | 61,425       | $I_{Pw1w}$          | $45 \times 10^3$    |
| 3            | Ping receive       | $T_{Prx}$   | 30.0         | $I_{Prx}$           | 27.0                |
| 4            | Transmission       | $T_{Tx}$    | 991.8        | $I_{Tx}$            | 83.0                |
| 5            | wait 1st window    | $T_{w1w}$   | 983.3        | $I_{w1w}$           | 27.0                |
| 6            | 1st receive window | $T_{rx1w}$  | 262.14       | $I_{rx1w}$          | 35.0                |
| 7            | wait 2nd window    | $T_{w2w}$   | 33.0         | $I_{w2w}$           | 27.0                |
| 8            | 2nd receive window | $T_{rx2w}$  | 33.0         | $I_{rx2w}$          | 35.0                |
| 9            | Sleep              | $T_{sleep}$ | Equation (4) | $I_{sleep}$         | $45 \times 10^{-3}$ |

위 표1의 시간 변수들과 전력 소비량 변수들을 이용해 컨트롤 주파수 시간과 데이터 주파수 시간으로 나누어 수식 화하고 값을 대입하여 Class B의 에너지 소모량을 나타냈다. 먼저 Class B의 총 시간별 에너지 소비량을 BE라 하고(Class B의 주기의 시간은 128초), 컨트롤 주파수 시간에는 총 에너지 소비량을 CE로 라고 하며, 데이터 주파수 시간에는 총 에너지 소비량을 DE라고 한다. 슬립모드는 따로 정의한다. 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$BE = CE + DE + T_{sleep} * I_{sleep} \quad (1)$$

컨트롤 주파수 시간에 사용한 에너지 소비량의 식

$$CE = T_B * I_B + T_{Pw1w} * I_{Pw1w} + T_P * I_P \quad (2)$$

데이터 주파수 시간에 사용한 에너지 소비량의 식:

$$DE = T_{Tx} * I_{Tx} + T_{w1w} * I_{w1w} + T_{rx1w} * I_{rx1w} + T_{w2w} * I_{w2w} + T_{rx2w} * I_{rx2w} \quad (3)$$

슬립모드 시간의 식(TCE와 TDE에 해당하는 T값(소요 시간)의 총합) :

$$T_{sleep} = T_{B,1} - (TCE + TDE) \quad (4)$$

이 식에 값 들을 대입하면 다음과 같다.

- CE(컨트롤 주파수 시간에 사용한 에너지 소비량) = 141,814.125mA/ms
- DE(데이터 주파수 시간에 사용한 에너지 소비량) = 120,089.4mA/ms
- Tsleep(슬립모드 시간) = 59,121.76mA/ms

- BE(Class B의 총 시간별 에너지 소비량)  
= 264,564.0042mA/ms

이러한 결과로 Class B의 통신 방식의 한 주기의 에너지 소모량으로 264,564.0042mA/ms을 소모한다는 것을 알 수 있고, 한 주기가 128초이므로 0.000574mAh를 사용한다는 것 또한 알 수 있다. 그러므로 AA건전지 하나(2000mAh)를 사용하면서 하루에 메시지를 10번 정도 보낸다고 가정하면, 약 39년 정도 사용이 가능하다.

### III. Conclusions

본 논문을 LoRaWAN Class B의 통신 방식을 이용하여 매개 변수 및 매커니즘 설정의 영향을 고려한 에너지 소비 모델링을 하였다. 향후 연구에서는 정의한 모델을 활용하여 다양한 시뮬레이션을 통해 에너지 소모량이 최적화된 Massive IoT 구축 연구를 진행할 계획이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) (NRF-2017 R1D1A1B03034689) and by the BB21+ Project in 2019

## REFERENCES

- [1] Casals, L.; Mir, B.; Vidal, R.; Gomez, C. Modeling the Energy Performance of LoRaWAN. *Sensors* 2017, 17, 2364.
- [2] "LoRa Alliance", LoRaWAN 1.0.3 specification. Lora-Alliance. Org 1, 2018.