

# LoRaWAN에서 저전력 통신을 위한 Beacon-less 동작 억제 기법

김경태\*, 유영환\*

\*부산대학교 전기전자컴퓨터공학과

e-mail:rudxo8954@pusan.ac.kr

## Beacon-less Operation Control for Low Power Communication in LoRaWAN

Kyungtae Kim\*, Younghwan Yoo\*

\*Department of Electrical and Computer Engineering,

Pusan National University

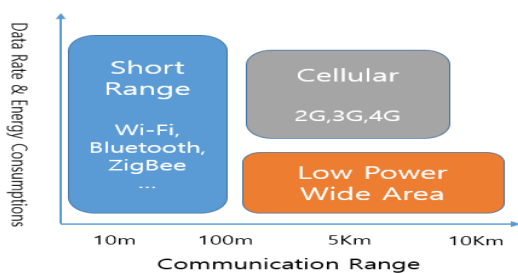
### 요 약

LPWA 기술은 IoT 환경이 가지는 낮은 전송거리와 배터리 제약을 해결할 수 있는 통신규약이다. LPWA에서 주목 받는 LoRa 기술은 디바이스에서 전송방식을 선택할 수 있는 클래스 A, B, C를 제공한다. 이 논문은 클래스 B 옵션에서 동기는 맞으나 전송 중 Beacon 메시지를 분실하였을 경우, 바로 실행되던 Beacon-less 동작을 억제하도록 최대 실패 횟수를 설정한다. 기존방법보다 Beacon-less 동작이 기존 방법에 비해 30배 이상 적게 동작하여 디바이스의 에너지 소모를 줄였다.

### 1. 서론

최근 다양한 분야에서 IoT(Internet of Things)를 활용한 서비스 및 제품들이 각광받고 있다. 하지만 IoT 장치들은 거리와 배터리 제약사항이 많다. 기존 네트워크의 통신기술들 예로는, 에너지소모가 높은 Wifi나 저 전력 Blue Tooth 같은 근거리 통신망 또는 통신장치의 높은 성능이 필요함에 의해 에너지 소모가 높은 2G 또는 3G등이 있다.

현재 LPWA기술 중에서 주목 받고 있는 기술로는 LoRa(LongRange)가 있다. LoRa는 Aloha 통신을 사용하며 비면허 부채널 1GHz 대역대를 이용한다. 그리고 사용자가 직접 서버 와 게이트웨이(이하GW), 장치 등을 구축하여 사용자가 원하는 규모의 망을 만들 수 있다는 장점이 있다. 아래 <그림 2>는 간략한 LoRa의 특징표이다.



<그림 1> 기존 네트워크와 LPWA 비교

이러한 문제를 보완하고자 저전력 장거리 기술인 LPWA(Low Power Wide Area) 기술이 개발되었다. <그림 1>은 기존 네트워크 통신기술들과 LPWA를 비교한 그래프로, 기존 근거리망보다 통신거리가 넓어졌으며, 셀룰러 망보다 훨씬 낮은 전력을 사용한다. 그 결과, 많은 IoT 제품과 서비스들이 LPWA 통신기술을 활용하여 전력 및 통신거리의 제약사항들을 해결하며 향후 수많은 서비스와 제품에 활용될 것으로 예상된다.

|                             | LoRa   |
|-----------------------------|--|
| Modulation                  | CSS  |
| Band                        | Sub-GHz ISM :<br>EU(433, 868MHz), US(915MHz), ASIA(430MHz) |
| Data rate                   | 0.3 - 37.5 kbps(LoRa), 50kbps (FSK)                        |
| MAC                         | unslotted ALOHA  |
| Adaptive Data Rate          | O  |
| Authentication & encryption | AES 128b   |

<그림 2> LoRa 특징

현재 LoRa 통신은 장치의 통신 방법에 따라 클래스 A, B, C로 나눈다. 클래스 B에서는 GW에서 주기적으로 Beacon 메시지를 브로드캐스트하며 장치는 Beacon 메시지 주기에 맞춰 깨어나 동기화 한다. 장치는 주기별 Beacon 메시지를 받지 못하면 곧바로 Beacon-less 동작을 실행한다. 그러나 동기는 맞지만 Beacon 메시지 전송 중 패킷 손실로 Beacon-less 동작이 실행되면 장치는 깨어 있는 시간이 늘어나므로 장치 측의 불필요한 배터리 소모가 커지는 결과를 초래한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 한

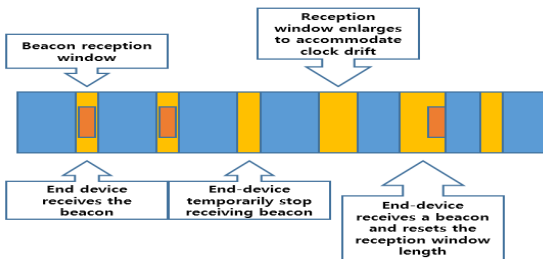
번의 패킷 분실이 일어났을 때 Beacon-less 동작을 곧바로 수행하는 현재의 동작방법 대신, 연속적인 Beacon 메시지 수신 실패 시 Beacon-less 동작을 수행하도록 하였다. 단순한 패킷 분실 경우에도 수행되는 Beacon-less 동작으로 인한 극심한 에너지 소모를 막을 수 있으며 실험에서 제안방법이 기본 방법에 비해 30배 이상 적은 Beacon-less 동작을 수행하는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 LoRa MAC 프로토콜 옵션 설명, 3장은 세부적인 기존 기술의 문제점 및 제안한 방법, 4장은 제안한 실험 방법 및 결과, 5장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대하여 서술한다.

## 2. LoRa MAC 프로토콜

LoRa MAC 계층에서 3가지 MAC 프로토콜 옵션을 제공하는데, 클래스 A, 클래스 B, 클래스 C 이며 본 연구에서는 클래스 B의 MAC 프로토콜 성능향상에 초점을 맞춘다. 클래스 A는 장치측이 송신할 데이터가 있을 때만 깨어나 GW에게 데이터를 전송한 이후 데이터를 받기위해 두 개의 타임 슬롯 동안 활성화 상태로 있다가 비활성화 상태로 전환된다. 3가지 클래스 중에서 가장 에너지 소모가 적은 옵션이다. 한편 클래스 C는 전원이 계속 공급될 때 사용하는 옵션으로 항상 활성화 상태로 있고, 항상 수신 윈도우를 열다가 데이터를 업로드 할 때 잠시 닫는다.

클래스 B는 클래스 A를 기본으로 동기화 주기와 다운링크 주기인 Beacon 주기와 Ping 주기가 더해진 옵션이다. Beacon 주기는 GW와 장치가 동기를 맞추기 위하여 사용되며, 128s 마다 주기적으로 GW가 Beacon 메시지를 브로드캐스트 한다. 장치는 Beacon 주기마다 깨어나 Beacon 메시지를 바탕으로 동기화를 하며, Ping 주기는 Beacon 주기 안에 GW로부터 데이터를 받을 수 있도록 정확한 시간에 깨어나는 주기이다. Beacon 주기 당 Ping 슬롯 개수는  $2^n$  ( $1 \leq n \leq 7$ ) 개로 사용자가 정할 수 있으며 Ping 주기는  $2^{12}$  슬롯 개수 이다. 한 슬롯 당 시간은 30ms이며, Ping 주기-1 범위의 슬롯들 중에서 임의의 슬롯을 선택하는데 이는 충돌과 도청 문제를 피하기 위함이다. 만약 Beacon 메시지가 분실 되면 장치측은 마지막에 받았던 Beacon 메시지 기준으로 자신의 클럭을 120분을 유지해야하며 동기를 맞추기 위해 Beacon 수신 윈도우를 지속적으로 증가시키는데, 이러한 행동을 Beacon-less 동작(이하 BLO)이라고 부른다.



<그림 3> Beacon 분실이 일어났을 때 동작

## 3. 기존 기술 문제점과 개선 방안

### 3.1 기존 Beacon-less 동작 문제

IoT에서 사용하는 저가의 수정 발진기는 오차율이 1시간에 최대  $\pm 0.36s$  (25°C, 100ppm 기준) 차이가 나며, 클래스 B는 GW와 동기를 맞추기 위하여 128s 마다 활성화되어 동기화를 함으로 잘 어긋나지 않는다. 하지만 GW에서 정해진 주기에 Beacon 메시지를 못 보내거나 보내는 도중 간섭에 의해 충돌이 일어나서 Beacon 메시지를 받지 못하면 장치는 바로 BLO를 시작한다.

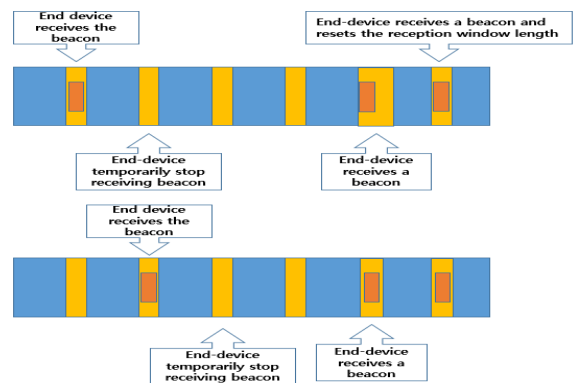
만약 실제로 동기가 맞지 않아 어긋난 동기를 맞추기 위해 Beacon 수신 윈도우를 늘리는 경우, Beacon 수신 윈도우를 늘려 빠른 동기화를 유도 할 수 있으나, 통신장애로 인해 Beacon 메시지 수신에 실패한 경우에도 동일하게 늘어난 Beacon 수신 윈도우가 오히려 활성화 시간을 지속시켜 배터리 소모를 증가시키는 요인이 될 수 있다.

<표 1> RESULTS OF MEASUREMENTS WITH CAR

| Range    | Number of transmitted packets | Number of received packets | Packet loss ratio |
|----------|-------------------------------|----------------------------|-------------------|
| 0-2 km   | 894                           | 788                        | 12%               |
| 2-5 km   | 1215                          | 1030                       | 15%               |
| 5-10 km  | 3898                          | 2625                       | 33%               |
| 10-15 km | 932                           | 238                        | 74%               |
| Total    | 6813                          | 4506                       | 34%               |

<표 1>은 [3]의 실험 논문에서 참고하였으며, 통신거리에 따른 패킷 분실율을 보여주고 있다. 실험환경은 도시로, 거리에 따라 패킷 분실율의 차이가 나며 10km이하의 통신거리에서는 평균 20%의 패킷 분실율이 발생한다. Beacon 주기는 128s를 기준으로 하루에 675번 돌아가는데, 총 Beacon의 20%를 잃는다고 가정하면 평균 135번이나 잃게 된다. 한 시간으로 보면 평균 5.625회 패킷 분실이 발생하게 되며, BLO로 장치가 활성화되는 시간이 11s 늘어나며 이로 인한 추가적인 에너지 소모가 발생한다.

### 3.2 제안방법



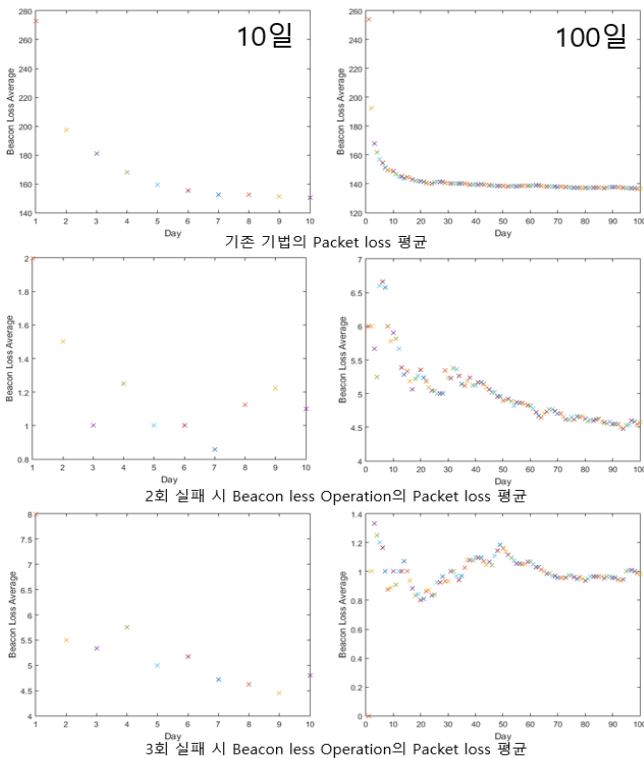
<그림 4> 최대 3회 실패를 설정한 BLO 의 예

<그림 4>에서는 본 논문에서 주장하는 방법으로 BLO를 조절하는 그림으로, 기존 BLO는 한번 Beacon 분실이 발생 시 바로 시작하였지만, 본 논문에서는 연속 2회 또는 3회 실패 시 BLO를 실행한다. <그림 4>에서 위의 그림은 연속 3회 이상 Beacon 분실이 발생한 경우 바로 BLO를 실행한 예이며, 밑의 그림은 3회 안에 한번이라도 들어왔을 경우 바로 BLO를 실행하지 않은 경우이다.

본 연구에서 BLO가 수행되기 위한 연속적인 비콘 수신 실패회수 $N_c$ 를 최대 3회로 선정 한 이유는 저가 수정 발진기가 100ppm을 기준으로 최대 1분당  $\pm 6ms$  씩 어긋나며, 연속된 두 개의 주기 까지는 시간은 4분 16초이므로 최대  $\pm 25.6ms$  오차가 발생한다. Ping 슬롯의 길이는 30ms이므로 동기가 어긋나더라도 30ms 안에 들어올 확률이 있다. 만약 BLO가 수행되기 전 연속적인 수신 실패회수를 4회 이상으로 설정할 경우 Ping 슬롯 이상의 오차가 발생할 수 있으며, 또한 지연시간이 더 길어지기 때문에 본 연구에서는  $N_c$ 를 3회로 선정한다.

**4. 실험 방법 및 실험 결과**

본 실험에서 패킷 분실율을 20%를 가정하고  $N_c$ 를 1,2,3으로 설정하였을 때 발생하는 평균적인 BLO의 동작횟수를 측정하였다. ( $N_c$ 가 1인 경우는 기존방법을 나타낸다.) <표 2>와 <그림 5>는 10, 100, 1000일 동안 동작 하였을 때 평균적인 BLO의 동작횟수를 나타낸 표와 그래프이다.



<그림 5> 기존과 제안 기법의 평균패킷 분실 그래프

<표 2> 기존 및 제안기법 Beacon-less 동작 평균횟수

| $N_c$ | $675 \times 10$ | $675 \times 10^2$ | $675 \times 10^3$ |
|-------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 1     | 150.600         | 136.710           | 134.989           |
| 2     | 4.800           | 4.570             | 4.459             |
| 3     | 1.100           | 0.980             | 0.896             |

<표 2>와 <그림 5> 그래프에 나타난 결과와 같이  $N_c$ 를 2 혹은 3으로 설정할 경우 기존기법에 비해 하루당 BLO가 일어나는 횟수가 각각 0.6%, 0.1%로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안기법은 기존기법 보다 BLO가 훨씬 낮은 횟수였지만 지연시간은 2, 3배 증가한다. 이유는 동기가 맞지 않을 때 2, 3배의 주기를 기다려 보고 BLO를 결정하기 때문이다. 에너지 관리 측면에서는  $N_c$  최대 3회로 잡는 것이 제일 높은 효과를 내겠지만, 클래스 B 특성상 GW와 통신하기 위해서는 낮은 지연시간이 필요하다. 따라서 클래스 B를 사용하지만 많은 통신이 필요하지 않은 장치는 제안한 최대 2회 실패 기법을 사용하면 기존 BLO보다 더 높은 절감 효과를 낼 것으로 예상된다.

**5. 결론 및 향후 연구방향**

본 연구에서는 클래스 B MAC에서 과도한 Beacon-less 동작으로 인해 발생하는 에너지 소모를 줄이기 위해 Beacon-less 동작 시기를 조정하였다. 또한 실험을 통해 본 연구에서 제안한 방법이 기존 방법에 비해 낮은 Beacon-less 동작을 수행하는 것을 확인하였다.

향후 연구방향은 앞으로 많아질 LoRa 장치들의 에너지 절감을 위하여 낮은 간섭과 높은 전송률을 위한 통신방법 및 한 GW당 디바이스 수를 분산시키는 필터링 기법 등에 대하여 연구하고자 한다.

**참고문헌**

[1] <http://loro-alince.org/>  
 [2] Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara “Low Power Wide Area Networks: A Survey”, arXiv:1606.07360v1 [cs.NI] 23 Jun 2016  
 [3] Juha Petäjäjärvi, Konstantin Mikhaylov, Antti Roivainen, Tuomo Hänninen “On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology”, 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)