

Beacon-Less Operation and Idle Ping Slot Control for Low Power Communication in LoRaWAN

Kyungtae Kim[†] · Younghwan Yoo^{††}

ABSTRACT

A Class B device in LoRaWAN periodically receives a Beacon message from a gateway for synchronization, and it also periodically activates a ping slot to receive data from the server. In this paper, we save energy consumption by controlling the beacon-less operation which is immediately started on the packet loss. In addition, we propose a method that the server inactivates the ping slots of a device according to the amount of messages, which have to be received from the server, to save energy consumption resulting from activated but unused empty slots. The experiment with the 20% of packet loss rate showed that the reduced beacon-less operation and the inactivation of the ping slot decrease the energy consumption by 96.7% and 60% as compared to the existing method.

Keywords : LoRa, Low-Power, IoT

LoRaWAN의 저전력 통신을 위한 Beacon-Less 동작 및 유휴 Ping 슬롯 억제 기법

김 경 태[†] · 유 영 환^{††}

요 약

LoRa 네트워크의 클래스 B 단말장치는 게이트웨이로부터 주기적으로 비콘을 받아 동기화를 하며, 동기화가 된 단말장치는 서버로부터 데이터를 수신하기 위해 주기적으로 Ping 슬롯을 활성화 한다. 본 논문에서는 비콘이 분실되었을 경우 바로 수행되던 Beacon-less 동작 조건을 완화하여 불필요한 에너지 소비를 줄였다. 또한, 서버에서 전송할 데이터의 유무에 따라 동기화된 단말장치의 Ping 슬롯 비활성화를 조절하여 빈 슬롯이 발생하는 에너지 소비를 줄였다. 패킷 분실률이 20%인 실험 환경에서 Beacon-less 동작 조건 완화는 기존 방법에 비해 96.7% 에너지 절감을 보였으며, 서버의 전송데이터 유무에 따른 Ping 슬롯 비활성화는 약 60% 이상의 에너지 소모를 줄였다.

키워드 : LoRa, 저전력, IoT

1. 서 론

최근 다양한 분야에서 IoT(Internet of Things)를 활용한 서비스 및 제품들이 각광받고 있다. 하지만, 많은 IoT 단말장치들은 거리와 배터리 제약사항을 갖고 있다. 기존 통신기술

들 중 통신거리로 분류할 때 근거리 통신은 에너지소모가 높은 Wifi와 저전력 통신인 Bluetooth 등이 있으며, 장거리 통신은 통신단말장치의 높은 성능이 필요함에 따라 에너지 소모가 높은 이동통신망(2G, 3G) 등이 있다. 하지만 낮은 전력을 사용하면서 이동통신망처럼 넓은 통신거리를 가진 기술은 없었다.

이러한 문제를 보완하고자 저전력 장거리 기술인 LPWA (Low Power Wide Area) 기술이 개발되었다. Fig. 1은 기존 네트워크 통신기술들과 LPWA를 비교한 그래프로, 기존 근거리 망보다 통신거리가 증가하였으며, 이동통신망보다 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[1].

* 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1A2B4016588).

** 이 논문은 2016년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 'LoRa통신에서 저전력 동작을 위한 Beacon-less 동작 조절 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준 회원 : 부산대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사과정

†† 종신회원 : 부산대학교 컴퓨터공학부 교수

Manuscript Received : December 21, 2016

First Revision : February 8, 2017

Accepted : February 13, 2017

* Corresponding Author : Younghwan Yoo(ymomo@pusan.ac.kr)

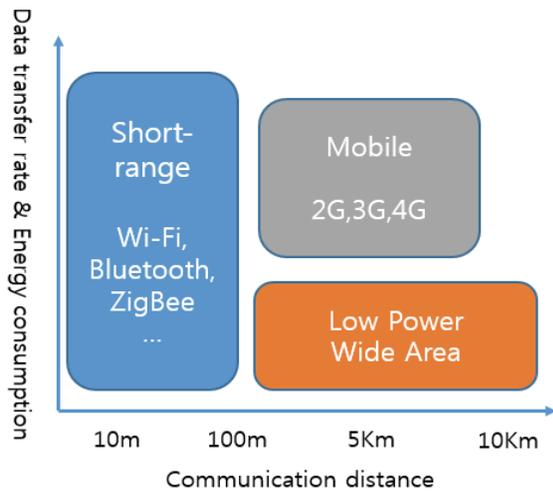


Fig. 1. Comparison of Existing Networks and LPWA

현재 LPWA기술 중에서 주목 받고 있는 기술로는 LoRa가 있다. LoRa는 단말장치와 게이트웨이 사이에서 알로하 통신을 사용하며 비면허 부채널 1GHz 대역대를 이용한다. 알로하 통신을 사용함으로써 단말장치가 복수의 게이트웨이로 전송이 가능하며, 네트워크는 단말장치가 보내온 신호의 세기와 패킷 에러율을 통해 최적의 경로를 찾을 수 있다. 또한, 저렴한 칩셋 가격으로 직접 서버와 게이트웨이(이하 GW), 단말장치 등을 구축하여 사용자가 필요한 규모의 망을 값싸게 구성할 수 있다는 장점을 가진다. 아래 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 간략한 LoRa의 네트워크와 특징을 요약한 그림이다[2].

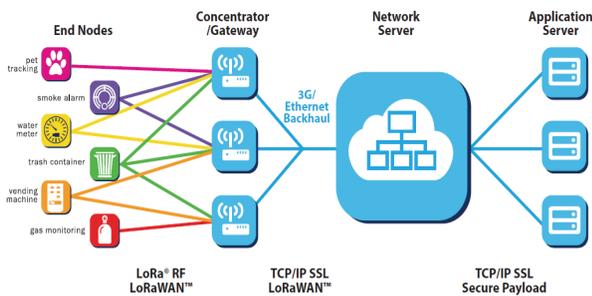


Fig. 2(a). LoRa Networks

	LoRa
변조	CSS(Chirp Spread Spectrum)
대역	Sub-GHz ISM : EU(433, 868MHz), US(915MHz), ASIA(430MHz)
전송 속도	0.3 – 37.5 kbps(LoRa), 50kbps (FSK)
MAC	unslotted ALOHA
Adaptive Data Rate	지원
인증 & 암호화	AES 128b

Fig. 2(b). LoRa Feature

현재 LoRaWAN은 단말장치의 통신 방법에 따라 클래스 A, B, C로 나뉘며, GW는 주기적으로 비콘을 브로드캐스팅한다. 클래스 B로 설정된 단말장치는 비콘 주기에 맞춰 활성화하여 서버와 단말장치간의 동기화를 진행하며, 동기화된 단말장치는 비콘 사이 Ping이라 불리는 다운링크 시간에 활성화하여 서버로부터 데이터를 받을 수 있다. 다음 Fig. 3은 이해를 돕기 위한 그림이다.

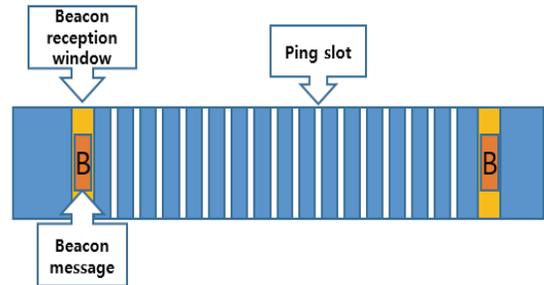


Fig. 3. Beacon and Ping Slots

현재 LoRa 표준은 클래스 B에서 불필요한 에너지를 소모하는 두 가지 문제점이 있다.

첫 번째는, 단말장치가 비콘 주기에 비콘을 수신하지 못할 경우 서버간의 동기화를 맞추기 위하여 곧바로 Beacon-less 동작(beacon-less operation: BLO)을 실행한다. Beacon-less 동작은 단말장치가 비콘을 받기 위하여 주기의 활성화 시간을 더 증가시키는 동작이다. 만약 동기는 맞지만 비콘 전송 중 패킷손실로 Beacon-less 동작이 실행되면 단말장치는 활성화 되어있는 시간이 늘어나므로 단말장치 측의 불필요한 배터리 소모가 커지는 결과를 초래한다.

두 번째는 단말장치가 서버로부터 데이터를 받기 위해 다운링크인 Ping 슬롯을 개방하는데, 서버에서 보낼 메시지가 없음에도 불구하고 지속적으로 Ping 슬롯을 개방하여 단말장치 측의 불필요한 배터리 소모를 가중시킨다.

LoRa 단말장치는 배터리 잔량과 비콘 세기에 따라 Ping 슬롯의 개수와 데이터 속도를 결정하는데, 두 가지 불필요한 에너지 소모 문제점은 잦은 Ping 슬롯 개수변화와 데이터 속도 변화를 일으킨다. 이는 곧 LoRa 망의 혼잡을 발생시키는 요인이 된다[4].

이를 해결하기 위해 본 논문에서는 두 개의 해결책을 제안한다. 비콘의 패킷 분실이 일어났을 경우 Beacon-less 동작을 곧바로 수행하는 현재의 방법 대신, 연속적인 비콘 수신 실패 시 Beacon-less 동작을 수행하도록 한다. 또한, 서버가 단말장치로 전송할 데이터가 없다면 Ping 슬롯의 활성화를 중지하도록 명령메시지를 전송하여 빈 Ping 슬롯의 활성화로 인한 에너지 소모를 줄인다. 실험에서 제안방법이 기존 기술에 비해 적은 Beacon-less 동작을 수행하여 96.7% 에너지 절감을 보였으며 또한, Ping 슬롯 비활성화 명령으

로 인해 60% 이상 에너지 소모를 줄였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 제안한 기법을 설명하기 위한 LoRaWAN 프로토콜 옵션, Beacon-less 동작, 단말장치에서 클래스 변경절차에 대해 설명한다. 3장은 세부적인 기존 기술의 문제점 기술하며, 4장은 기존 기술의 문제점을 바탕으로 한 개선 방안을 기술한다. 5장에서 제안한 실험 방법을 설명하며 실험을 통해 제안 방법의 성능을 평가하고 6장은 향후 연구방향에 대하여 서술한다.

2. LoRaWAN 프로토콜

2.1 LoRaWAN 프로토콜

Fig. 4와 같이 LoRaWAN 계층에서 3가지 MAC 프로토콜 옵션을 제공하는데, 클래스 A, 클래스 B, 클래스 C이며 본 연구에서는 클래스 B의 MAC 프로토콜 성능향상에 초점을 맞춘다[5].

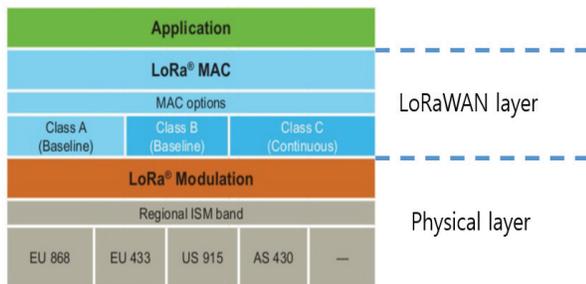


Fig. 4. LoRaWAN Protocol Structure

클래스 B에 초점을 맞추는 이유는 현재 다양한 IoT 응용들에서 이벤트가 일어났을 경우만 서버로 이벤트 값을 보내는 클래스 A와 같은 단조로운 작업보다 동기화를 통하여 서버와 단말장치측이 원하는 시각에 통신을 하여 사용자가 원하는 행동을 할 수 있는 클래스 B의 이점이 더 많기 때문이다. 그 이점인 지속적인 통신을 위하여 전력 소모를 줄이는 것은 매우 중요하다.

참고로 클래스 A는 단말장치측이 송신할 데이터가 있을 때만 활성화 하여 GW에게 데이터를 전송한 후 GW의 응답을 받기위해 두 개의 타임 슬롯 동안 활성화 상태로 있다가 비활성화 상태로 전환된다. 3가지 클래스 중에서 가장 에너지 소모가 적은 옵션이며, 클래스 B, C는 클래스 A에 기능을 더한 옵션이다. 즉, 클래스 B, C에서도 전송을 하고난 후 2개의 타임슬롯 동안 활성화 상태로 있으며 각 옵션 특징별로 행동을 한다.

클래스 C는 전원이 계속 공급될 때 사용하는 매우 단순한 동작의 프로토콜로서 항상 활성화 상태로 있고, 항상 수신 윈도우를 열어두다가 업로드 할 때만 잠시 닫는다.

반면 클래스 B는 클래스 A를 기본으로 동기화 주기와 다

운링크 주기인 비콘 주기와 Ping 주기가 더해진 옵션이다. 비콘 주기는 GW와 단말장치가 동기를 맞추기 위하여 사용되며, 128s 마다 주기적으로 GW가 비콘을 브로드캐스팅 한다. 단말장치는 비콘 주기마다 활성화 하여 비콘을 바탕으로 동기화를 하며, Ping 주기는 비콘 주기 안에 GW로부터 데이터를 받을 수 있도록 정확한 시간에 활성화 하는 주기이다. 비콘 주기 당 Ping 슬롯 개수는 2^n ($1 \leq n \leq 7$)개로 사용자가 정할 수 있으며 Ping 주기는 2^{12} /슬롯개수 이다. 한 슬롯 당 시간은 30ms이며, “Ping 주기 - 1” 범위의 슬롯들 중에서 임의의 슬롯을 선택하는데 이는 충돌과 도청 문제를 피하기 위함이다[6].

2.2 비콘을 분실하였을 경우

만약 비콘이 분실되면 단말장치 측은 마지막에 받았던 비콘 기준으로 자신의 클럭을 120분 동안 유지해야하며 동기를 맞추기 위해 비콘수신 윈도우를 지속적으로 증가시키는데, 이러한 행동을 Beacon-less 동작(이하 BLO)이라고 한다. Fig. 5에서 BLO가 동작하는 과정을 볼 수 있다.

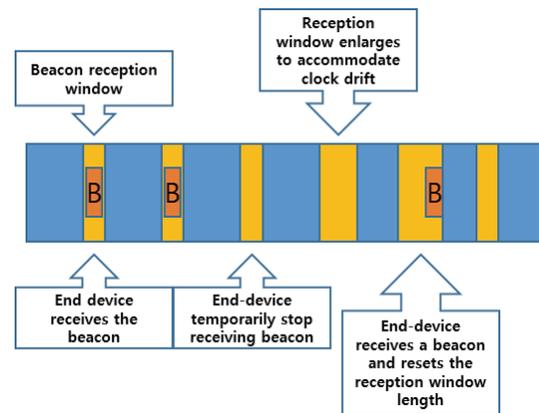


Fig. 5. Beacon Less Operation

2.3 클래스 A에서 클래스 B 변경 절차

모든 LoRa 단말장치의 초기 설정은 클래스 A, B, C 옵션 중 클래스 A로 시작된다. 단말장치가 클래스 B로 변경이 필요할 경우 응용에서 LoRaWAN 계층으로 클래스 전환을 요청을 한다. LoRaWAN 계층은 비콘을 검색하여 나온 결과를 응용계층에게 전달한다. 응용은 전달받은 결과에 따라 다시 비콘을 검색하거나 검색된 비콘의 수신세기 및 배터리 용량에 따라 단말장치의 Ping 슬롯의 데이터속도 및 주기를 선택하여, LoRaWAN 계층에게 이를 요청한다. 그리하여 클래스 B로 변경되면 MAC 계층에서 전송된 모든 업링크 프레임은 FCTRL 필드를 1로 설정하여 단말장치가 클래스 B로 전환된 것을 알린다. 만약 클래스 B에서 120분 동안 비콘이 수신되지 않으면 LoRaWAN 계층은 다시 클래스 A로 전환되었다는 것을 응용에게 알린 후 모든 업링크에서 FCTRL

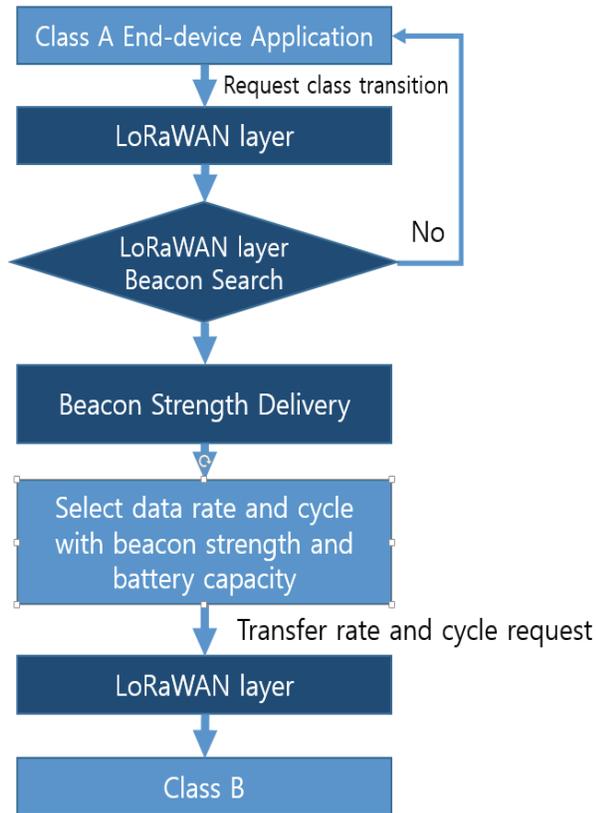


Fig. 6. A transition procedure of Class B

필드를 0으로 설정하고 클래스 A로 변경한다. Fig. 6은 단말장치가 클래스 A에서 B로 변경하기 위한 절차를 설명한 그림이다[6].

3. 기존 기술 문제점

3.1 기존 Beacon-less 동작 문제

IoT에서 사용하는 저가의 수정 발진기는 오차율이 1시간에 최대 ±0.36초(25°C, 100ppm 기준) 차이가 나며, LoRa 통신에서 클래스 B는 GW와 동기를 맞추기 위하여 128초마다 활성화되어 동기화를 진행하므로 클럭 드리프트가 쉽게 일어나지 않는다. 하지만 GW에서 정해진 주기에 비콘을 못 보내거나 보내는 도중 간섭에 의해 충돌이 일어나서 비콘을 받지 못하면 단말장치는 바로 다음 비콘 수신 윈도우부터 BLO(beacon-less operation)를 시작한다.

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

Table 1은 주기적으로 GW에게 패킷을 보내는 LoRa 단

Table 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%

말장치를 움직이는 자동차에 부착하여 거리에 따른 패킷 분실율을 보여주는 표이다[3]. 참조 논문의 실험환경은 해안도시인 핀란드 오울루(Oulu)이며 주로 지형이 평평하고 고도의 큰 변화가 없어 LoRa 통신이 원활하다. 이 실험결과표에서 10km이하의 통신거리는 평균 20%의 패킷 분실율이 발생된다는 것을 알 수 있다. 비콘주기는 128초를 기준으로 하루에 675번 돌아가는데, 총 비콘의 20%를 잃는다고 가정하면 평균 135번이나 잃게 된다. 한 시간으로 보면 평균 5.625회 패킷 분실이 발생하게 되며, BLO 동작으로 인해 비콘 수신 윈도우가 1~2초 늘어난다고 가정하면 최소 5.6~11.2초까지 단말장치가 활성화되는 시간이 늘어나며 이로 인한 추가적인 에너지 소모가 발생한다.

3.2 배터리 소모에 따른 Ping 슬롯과 데이터속도 변경 문제

기존 Ping 슬롯의 Ping 데이터속도와 주기는 단말장치 내의 응용에서 자율적으로 설정한다. 비콘의 수신세기와 배터리 용량에 따라 Ping의 데이터속도와 개수가 달라지는데, 비콘의 수신세기가 같다면 배터리 잔량에 의해 데이터속도와 주기가 달라진다. 배터리 잔량이 많은 상태는 높은 데이터 속도와 많은 Ping 슬롯 수를 가지게 될 것이며, 만약 서버가 단말장치에게 보낼 데이터가 많지 않다면 단말장치는 필요치 않은 과다 빈 Ping 슬롯 때문에 불필요한 에너지 소모를 증가시키는 요인이 된다.

과도한 Ping 슬롯으로 인한 높은 에너지 소모는 잦은 단말장치의 Ping 전송속도 및 개수를 변경시키는 요인이 된다. 따라서 잦은 클래스 변경이 예상되며 더 나아가, 단말장치는 클래스 변경에서 오는 오버헤드가 높을 것으로 예상된다. 반면, 너무 낮은 Ping 슬롯 수는 저전력 동작 측면에서 장점을 가지고 있으나 LoRa 망에서 데이터 전송이 길어지는 단점이 있다. 이로 인해 다운링크를 위한 채널 점유 시간이 길어지게 되며, 이러한 문제는 다른 단말장치의 간섭과 결합되어 긴 처리시간의 문제를 발생시킨다.

다음은 서버가 전송하는 비콘이 이따금 발생할 경우 현재 시스템에서 어느 정도의 빈 슬롯이 낭비되는지를 보이고자 한다. 만약 서버가 하나의 비콘주기 동안 30% 확률로 데이터를 한번 보낸다고 가정할 때, 하루에 675번의 비콘 주기를 가지므로 70%인 비콘 주기 472.5회 동안 Ping 슬롯을 열어둬서 에너

지 소비를 한다. 비콘 한주기당 한 개의 Ping 슬롯으로 계산하면 하루에 14.175초를 낭비하며, 최대 Ping 슬롯 개수인 128개가 있다 가정하면 1814.4초, 약 30분을 낭비하는 셈이다.

4. 개선 방안

4.1 Beacon-less 동작 억제 제안방법

기존 방법은 비콘이 한 번만 분실되면 바로 BLO가 동작하였지만, 본 논문에서 제안하는 방법은 연속 2회 또는 3회 실패 시 BLO를 실행한다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 제안 방법 중 최대 3회를 적용한 그림의 예이다. Fig. 7(a)의 그림은 연속 3회 이상 비콘 분실 시 BLO를 실행한 경우이며, Fig. 7(b)는 비콘 주기 3회 이내에 비콘을 수신하였을 경우 BLO를 실행하지 않았을 경우이다.

본 연구에서 BLO가 수행되기 위한 연속적인 비콘 수신 실패회수 N_c 를 최대 3회로 선정한 이유는 저가 수정 발진기가 100ppm을 기준으로 최대 1분당 $\pm 6ms$ 씩 어긋나며, 연속된 두 개의 비콘 주기까지의 시간은 4분 16초이므로 최대 $\pm 25.6ms$ 오차가 발생한다. 단말 장치가 서버로부터 데이터

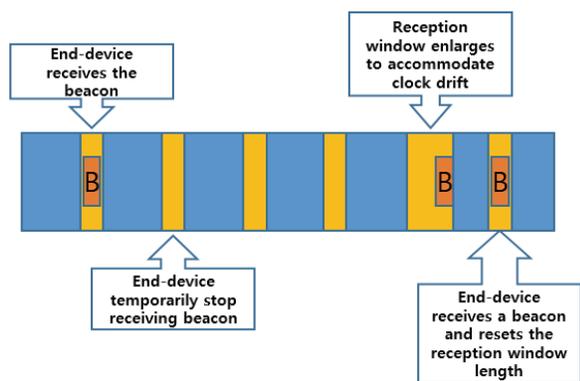


Fig. 7(a). Behavior in the Case of Three Consecutive Failures During Beacon Reception, Under the Assumption that the Maximum Number of Failures is Three

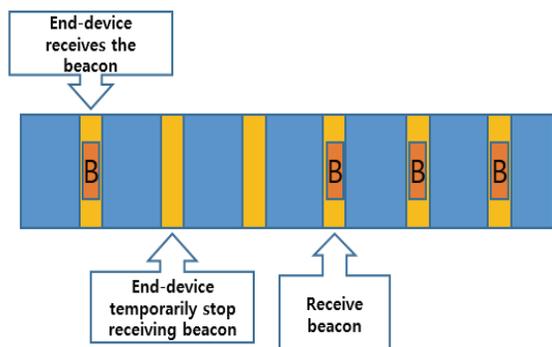


Fig. 7(b). Behavior in the Case Where the Number of Consecutive Failures is Less than Three, Under the Assumption that the Maximum Number of Failures is Three

를 받기위해 활성화하는 Ping 슬롯의 시간은 30ms이므로 동기가 최대한 틀어져도 30ms 안에 수신할 가능성이 있다. 실패 횟수가 3회 초과할 경우 Ping 슬롯 시간 이상의 오차인 최대 $\pm 40ms$ 가 발생할 수 있으며, 단말장치와 동기가 실제로 틀어진 경우 5분 이상의 지연시간이 발생되므로 본 연구에서는 N_c 를 최대 3회로 선정하였다.

4.2 Ping 슬롯 낭비 감소 제안 방법

Fig. 8은 본 논문에서 제안하고 있는 단말장치의 Ping 슬롯의 낭비 감소 동작을 보여주고 있다. 기존 기술은 단말장치의 배터리와 비콘의 세기로 단말장치가 Ping 횟수와 데이터 속도를 조절하여 에너지 소모를 줄였다. 본 논문에서 제안 방법은 이전기법에서 서버 측의 명령을 추가하여 단말장치의 빈 Ping 슬롯을 억제하여 에너지를 소모를 줄인다.

서버는 이후 주기 n 회 시간동안 단말장치로 보낼 데이터가 없다고 예측되면 단말장치에게 마지막 비콘을 기준으로 n 회 주기만큼 Ping 슬롯을 비활성화 하도록 명령한다. 단말장치는 마지막 비콘을 받은 후의 Ping 슬롯까지만 정상적으로 활성화후 다음 비콘 주기 이후 서버에서 전송 받은 n 회 주기 동안 Ping 슬롯을 활성화 하지 않는다.

또한, 단말장치에서 이벤트가 발생하면 기존방법대로 전송 후 2 슬롯 동안 다운링크를 열어 비콘 슬롯도 기존 방법대로 주기마다 동기화를 실시한다.

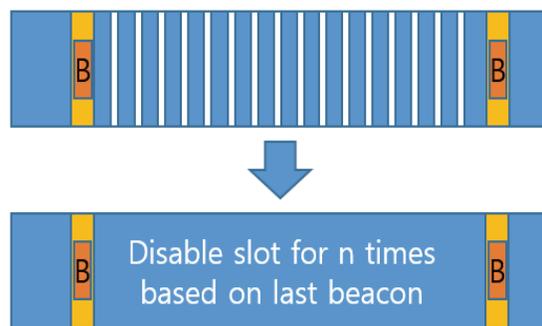


Fig. 8. Deactivation of the Ping Slots During n Cycles

5. 실험 방법 및 실험 결과

본 장에서는 실험을 통해 제안방법의 성능을 평가하고 한다. Matlab 2015a를 이용하여 시뮬레이터를 구현하였으며, Table 1의 0~10Km까지의 평균 패킷 손실률을 평균값으로 사용하여 Beacon-less 동작 억제 기법 실험과 Ping 슬롯 낭비 완화 실험을 구현하여 실험하였다.

5.1 Beacon-less 동작 억제 기법 실험

본 실험에서 패킷 분실율을 20%를 가정하고 N_c 를 1, 2, 3

으로 설정하였을 때 발생하는 평균적인 BLO의 동작횟수를 측정하였다(N_c 가 1인 경우는 기존방법과 동일하다). 또한 실험환경은 Table 2와 Fig. 9(a), Fig. 9(b), Fig. 9(c)는 100일 동안 동작 하였을 때 평균적인 BLO의 동작횟수를 나타낸 표와 그래프이다.

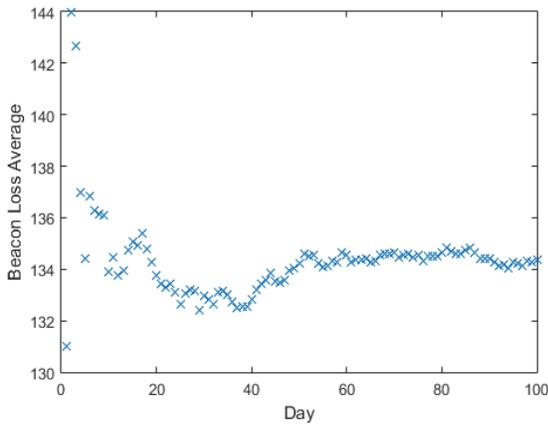


Fig. 9(a). Average Packet Loss in the Existing Method

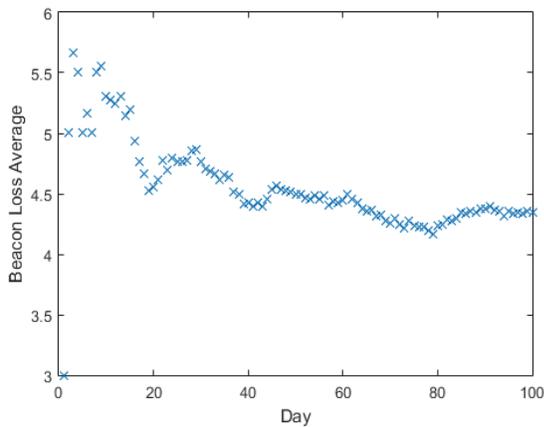


Fig. 9(b). Average Packet Loss in the Proposed Method with $N_c = 2$.

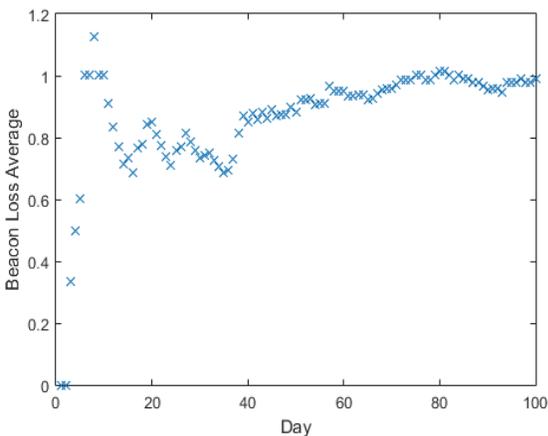


Fig. 9(c). Average Packet Loss in the Proposed Method with $N_c = 3$

Table 2. The Average Number of BLOs in the Existing and Proposed Method Respectively

N_c	10 days	100 days	1000 days
1	150.600	136.710	134.989
2	4.800	4.570	4.459
3	1.100	0.980	0.896

Table 2와 Fig. 9(a), Fig. 9(b), Fig. 9(c) 그래프에 나타난 결과와 같이 N_c 를 2 또는 3으로 설정할 경우 기존기법에 비해 하루당 BLO가 일어나는 횟수가 각각 0.6%, 0.1%로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안기법은 기존기법보다 BLO가 훨씬 낮은 횟수였지만 지연시간은 2, 3배 증가한다. 이유는 동기가 맞지 않을 경우 기존 비콘 주기의 2, 3배 동안 대기 후 BLO를 결정하기 때문이다. 에너지 절약 측면에서는 N_c 최대 3회로 잡는 것이 가장 높은 효과를 내겠지만, 클래스 B 특성상 GW와 통신하기 위해서는 낮은 지연시간이 필요하다. 따라서 클래스 B를 사용하지만 많은 통신이 필요하지 않은 단말장치는 제안한 최대 2회 실패 기법을 사용하면 기존 BLO보다 더 높은 에너지 절감 효과를 낼 것으로 예상된다.

5.2 Ping 슬롯 낭비 완화 기법

본 실험에서 서버와 단말장치 간 동기화는 일치하며 패킷 분실율은 위의 실험과 동일한 20%로 가정하였으며 서버에서 단말장치로 데이터를 보내는 전송 확률을 40%로 설정하였다. Ping 슬롯은 한주기당 2회, 128회로 최소, 최댓값으로 실험을 하였다.

Table 3은 기존 및 제안 방법으로 100일의 비콘 횟수인 67500번 주기 내 Ping 횟수를 각각 2, 128회씩 설정하고 실험한 Ping 횟수표이다. Fig. 10(a)와 Fig. 10(b)는 Table 3의 Ping 횟수인 128회를 그래프로 나타내었으며, Fig. 10(a)의 그래프에서 ‘*’ 모양의 그래프는 Ping 손실 및 빈 Ping 슬롯들을 합친 그래프, ‘.’ 모양의 그래프는 Ping 수신 그래프이다. 그리고 Fig. 10(b)은 제안기법의 그래프이며 Fig. 10(a)에서 추가된 그래프인 ‘o’모양 그래프는 서버로부터 명령을 받아 Ping 슬롯을 비활성화 하여 빈 슬롯들을 에너지 소모를 줄인 그래프이다.

Table 3. The Statistical Results in the Existing and the Proposed Method

Number of Pings within a beacon period	Ping reception	Ping loss	Saved Pings
Existing method 2 times	43593	92959	0
Existing method 128 times	2798566	5940762	0
Suggestion method 2 times	43705	10911	81936
Suggestion method 128 times	2797709	699587	5242032

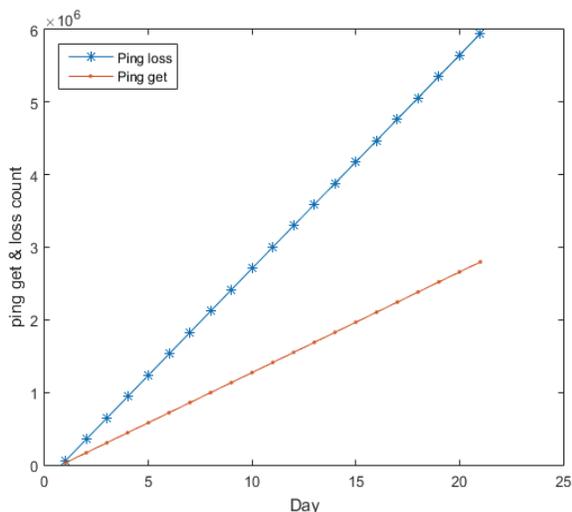


Fig. 10(a). The Number of Receive and Lost Ping in the Existing Method

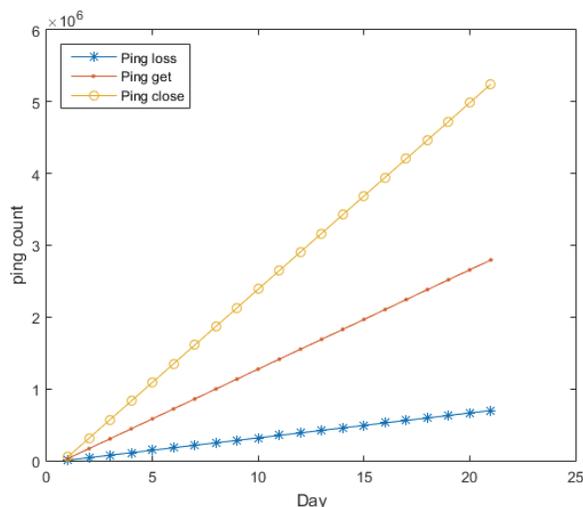


Fig. 10(b). The Number of Receive and Lost Ping in the Proposed Method

기존방법 그래프의 수신 그래프는 제안 방법에 비해 손실 그래프가 월등히 높은 반면, 제안 그래프는 수신그래프가 손실 그래프에 비해 더 높은 기울기와 값을 가진다. 이유는 기존방법의 빈 Ping 슬롯들을 비활성화 하면서 오로지 패킷 분실로 인한 빈 Ping 슬롯들만 남았기 때문이다.

앞으로, 서버에서 단말장치에게 전송할 데이터를 유추하여 빈 슬롯이 없게 예상하는 일은 실현된다면 기존의 LoRa 기술보다 훨씬 더 높은 에너지 절약효과를 얻게 될 것으로 예상된다.

6. 결론 및 향후 방향

본 연구는 클래스 B에서 과도한 Beacon-less동작으로 인해 발생하는 에너지 소모를 줄이기 위해 Beacon-less 동작

시기를 조정하는 방법을 제안하였다. 또한, 빈 Ping 슬롯으로 인한 에너지 소모를 줄이기 위해 단말장치에서 뿐만 아니라 서버에서도 Ping 슬롯을 조정하여, 필요 이상으로 활성화되던 Ping 슬롯을 억제하였다. 실험을 통해 본 연구에서 제안한 방법이 기존 방법에 비해 더 낮은 Beacon-less동작을 수행하는 것과 통신하지 않는 빈 Ping 슬롯 동작이 줄어든 점과 확인하였다.

향후 연구에서는 점차 증가할 LoRa 단말장치들의 에너지 절감을 위하여 낮은 간섭과 높은 전송률을 위한 통신방법 및 한 GW당 단말장치 수를 분산시키는 필터링 기법을 연구하고자 한다.

References

- [1] Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara "Low Power Wide Area Networks: A Survey," arXiv:1606.07360v1 [cs.NI], 23 Jun., 2016.
- [2] Semtech, A technical overview of LoRa® and LoRaWAN, <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>.
- [3] Juha Petäjäjärvi, Konstantin Mikhaylov, Antti Roivainen, and Tuomo Hänninen, "On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology," *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*.
- [4] Marco Centenaro, Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella, and Michele Zorzi, "Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios," arXiv:1510.00620v1 [cs.NI], 2 Oct., 2015.
- [5] Semtech, "LoRaWANTM What is it?" Nov., 2015, <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>.
- [6] Semtech, "LoRaWAN Specification v1.0," Jan., 2015, <https://www.lora-alliance.org/portals/0/specs/LoRaWAN%20Specification%201R0.pdf>.



김경태

e-mail : kyungtae8954@pusan.ac.kr

2014년 동의대학교 정보통신공학과(학사)

2015년~현 재 부산대학교

전기전자컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : Sensor network, Ad-hoc network, LoRa



유 영 환

e-mail : ymomo@pusan.ac.kr

1996년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1998년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2004년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

2004년~2006년 신시내티대학교

전기컴퓨터공학부 연구원

2007년~현재 부산대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야: 5G, IoT, Wireless/Mobile network, Underwater network