

하이브리드 MAC을 위한 가변 타임슬롯 설계

Design of Variable Timeslot for Hybrid MAC

류정규¹ · 이성렬^{2*}

¹(주)블루텍

²목포해양대학교 항해정보시스템학부

Jeong-Kyu Ryu¹ · Seong-Real Lee^{2*}

¹BLUTek Inc, Deajeon, 34185, Korea

²Division of Navigational Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

[요 약]

사물 인터넷 (IoT; internet of things) 네트워크는 게이트웨이와 센서 노드 사이의 데이터 양, 통신 주기 등의 특성과 경제성 등을 고려하여 하이브리드 매체 접근 제어 (MAC; media access control) 방식을 사용한다. 하이브리드 MAC 방식은 일반적으로 TDMA와 CSMA 방식을 결합한 형태를 이용한다. 해양 IoT 네트워크에서 센서 노드와 게이트웨이 사이의 거리는 수시로 바뀔 수 있다. 따라서 해양 IoT 네트워크에 적용되는 하이브리드 MAC 설계에 있어 통신 거리에 따라 타임슬롯의 주기는 가변되어야 한다. 본 논문에서는 해양 IoT 네트워크에 적용될 수 있는 하이브리드 MAC 중 TDMA에서 통신 거리에 따른 가변 주기의 타임슬롯 설계 방안을 제안하였다. 분석 결과 제안된 TDMA MAC을 이용해 LoRa의 최대 통신 거리에서 하루에 72회까지 센서 노드와 게이트웨이 간 통신이 가능하다는 것을 확인하였다.

[Abstract]

Hybrid media access control (MAC) is used in internet of things (IoT) network, because of communication feature concern with data capacity and communication interval between gateway and sensor nodes and the cost efficiency. Hybrid MAC consists of TDMA and CSMA generally. The distance between gateway and sensor node is openly changed in marine IoT network. Therefore, it is needed to control the period of timeslot of hybrid MAC used in marine IoT network. In this paper, the design rule of TDMA timeslot with the variable period depending on communication distance was proposed. It was confirmed from the analysis that 72 times communication between gateway and sensor nodes is possible in LoRa network by using the proposed TDMA variable timeslot scheme.

Key word : Hybrid MAC, Spreading factor, Timeslot, LoRa network, Marine IoT.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.6.613>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 November 2020; Revised 26 November 2020

Accepted (Publication) 26 December 2020 (30 December 2020)

*Corresponding Author; Seong-Real Lee

Tel: +82-61-240-7264

E-mail: reallee@mmu.ac.kr

I. 서론

다양한 분야에서 적용하기 위해 연구되고 개발 중인 4차 산업혁명 기술 중 사물 인터넷 (IoT; internet of things)은 다른 기술에 비해 기술 진화 속도가 빠르고, 서비스 제공의 다양성과 확장성 때문에 가장 활발히 적용되고 있다. IoT의 구현에 있어 무선통신은 사물과 사물, 사물과 사람을 연결시키는 필수적인 요소이다 [1]. IoT에 적용되는 무선통신 기술에 따라 다양한 통신 환경과 전송 특징을 가지게 되며 그 특징에 따라 응용되는 분야가 달라진다 [1],[2].

다양한 무선통신 기술 중 저전력 광대역 (LPWA; low power wide area) 통신 방식은 IoT를 위한 통신 기술로 최적화되었다고 볼 수 있다. 이 방식은 다른 방식에 비해 낮은 데이터 전송률을 지원하는 반면에 매우 넓은 통신반경 (3~15 km)을 제공함과 동시에 매우 낮은 전력으로 동작할 수 있는 특징이 노드(node)의 수가 매우 많아야 일정 수준 이상의 서비스 기능을 제공할 수 있다는 IoT의 기본 특성을 만족하기 때문이다.

LPWA 기술 중 LoRa (long range)는 NB(narrow band)-IoT에 비해 비허가 대역을 사용한다는 장점을 가지고 있으며, NB-IoT는 LoRa에 비해 높은 최대 전송률 및 넓은 통신반경을 제공한다는 장점을 제공한다[3]. LoRa 네트워크에서 단말 노드 (terminal node 또는 end device)들은 성형 (star topology) 구조로 연결된 게이트웨이를 통해 서버 장치와 접속되어 통신을 수행한다. 단말 노드와 게이트웨이와의 통신은 데이터 통신 반경과 정보 전송 시간에 따라 각각 다른 통신 채널과 데이터 전송률을 사용하여 이루어진다 [1],[4].

이때 사용되는 1개 이상의 전송 채널에 대해 수많은 단말 노드들은 매체 접근 제어 (MAC; media access control) 기술을 통해 논리적 링크 설정을 해야 한다. 즉 여러 단말 노드들이 채널을 공유하여 통신하기 위해서 임의의 한 채널에서 데이터 간의 충돌이 발생하지 않도록 관리하는 방법이 필요하다 [5],[6]. 다중 접근 제어 방식 중 TDMA (time division multiple access) 방식은 노드 간의 충돌이 발생하지 않고 일정한 간격으로 데이터를 전송할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 채널 이용 효율이 낮다는 단점도 동시에 가지고 있다. 반면 노드들 간 경쟁을 통하여 매체에 접근하는 기술인 CSMA (carrier sensing multiple access)는 데이터 전송 요구가 없는 노드에게 채널을 할당하지 않아 낭비되는 채널을 줄일 수 있다는 장점이 있는 반면 실시간 데이터나 QoS 보장이 필요한 데이터 전송에는 비효율적인 방식이다 [7].

이러한 두 가지 방식의 단점을 보완하기 위한 방식이 TDMA/CSMA 기반의 하이브리드 MAC 기술이다. 이 방식은 TDMA를 기반으로 노드들에게 타임슬롯(timeslot)을 할당하고, 사용되지 않는 타임슬롯에 대해서는 CSMA 알고리즘으로 접근하도록 하는 방식이다 [5].

본 연구에서는 IoT 서비스를 위한 LoRa 네트워크에서 망 운용 효율성을 제고할 수 있는 하이브리드 MAC 기술을 제안한다.

다. 구체적으로 설명하면 센서 노드 (sensor node)의 용도에 따라서 CSMA/CA 또는 TDMA를 선택할 수 있도록 프로토콜을 개발하는 데 연구 목적이 있다. 하지만 본 논문에서는 최소한의 지연 또는 효율을 보장하는 TDMA 프레임(frame) 구조와 전송 거리에 따른 가변형 타임슬롯 구성의 기술 방안을 제안한다.

II. TDMA 타임슬롯 설계를 위한 파라미터 설정

2-1 네트워크 구조 및 기본 파라미터

본 연구에서 제안하는 하이브리드 MAC 설계의 기본 방향은 우선 IoT 센서 노드의 Tx/Rx/Sleep 스케줄링이 TDMA 기반의 MAC을 통해 가능하도록 하여 저전력 운용을 보장하고, 동시에 CSMA/CA를 통해 전송 효율을 증대할 수 있도록 구성하는 것이다.

그림 1은 게이트웨이(G/W)를 중심으로 센서 노드들이 성형으로 연결된 LPWA 네트워크 구조를 나타낸 것이다. 게이트웨이는 모든 센서 노드들의 통신에 대한 결정 권한을 가지며, 자원에 대한 배분을 담당한다. 이러한 통신 구조에서 근거리 LPWA 노드는 낮은 확산 계수 (SF; spreading factor)를 사용해서도 통신이 가능할 수 있기 때문에 동일 용량을 전송하는 경우 빠른 전송 시간을 가질 수 있다. 반면 게이트웨이와 멀리 떨어져 있는 LPWA 노드는 높은 SF를 사용해야 통신이 가능하게 된다. 즉, 동일한 데이터의 송신 시간이 상대적으로 길어지게 된다.

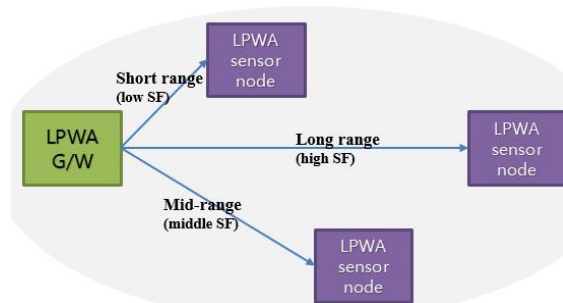


그림 1. LPWA 네트워크 구조
Fig. 1. Network configuration of LPWA.

표 1. CSS 파라미터
Table 1. CSS parameters.

Parameter	Value
Bandwidth of chirp	80 MHz
Duration of chirp	1 μ s
Center frequency of chirp (ISM band)	2.442 GHz
Relative speed between transmitter and receiver	2,000 km/h
Frequency shift due to Doppler effect	4.52 kHz
Equivalent shift of message on the time axis	56.5 ps

표 2. SF에 따른 데이터 전송률과 감도

Table 2. Data rate and sensitivity depending on SF.

Spreading factor	Data rate (bps)	Sensitivity (dBm) @ 820 - 1020 MHz
7	5469	-123
8	3125	-126
9	1758	-129
10	977	-132
11	537	-133
12	293	-136

본 연구에서는 그림 1의 네트워크 구조에서 게이트웨이와 센서 노드와의 거리를 고려하여 LPWA 통신 방식 중에서 LoRa를 선정하여 TDMA MAC 설계를 수행하였다. LoRa에서 사용하는 변조 방식인 CSS (chirp spread spectrum)에 대한 파라미터를 표 1과 같이 선정하였다.

표 2는 SF에 따른 전송 속도와 수신 감도를 나타낸 것이다. LoRa 네트워크 운용은 원거리에서 있는 센서 노드와 게이트웨이 간에 원활한 통신이 가능하도록 지원해야 하고, 표 2에서 보는 바와 같이 동일 전송 데이터 양에 대해 낮은 SF의 송신 시간과 높은 SF의 송신 시간이 너무 많은 차이를 갖는다. 동일한 길이의 타임슬롯을 배정하여 TDMA로 구성하는 것은 자원 낭비가 심하므로 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 가까운 노드에는 짧은 타임슬롯을, 멀리 떨어져 있는 노드에게는 상대적으로 긴 타임슬롯을 배정할 필요가 있다.

2-2 Time on air의 계산

각 센서 노드에게 할당되는 타임슬롯의 주기는 ToA (time on air)를 통해 계산할 수 있다 [8]. 하나의 심볼의 주기 T_{sym} 은 아래 식 (1)과 같이 주어진다.

$$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (1)$$

여기서, SF 는 확산 계수이고, BW 는 채널 대역폭이다. 그리고 프리앰블(preamble)의 주기 $T_{preamble}$ 은 아래 식 (2)와 같이 주어진다.

$$T_{preamble} = T_{sym} (NP + 4.25) \quad (2)$$

여기서, NP 는 프리앰블의 비트 수이다.

다음으로 페이로드(payload)의 주기는 아래 식 (3)과 같이 주어진다.

$$T_{payload} = T_{sym} \left(8 + \max \left(\left\lceil \frac{8PL - 4SF + 28 + 16 - 20H}{4(SF - 2DE)} \right\rceil (CR + 4), 0 \right) \right) \quad (3)$$

여기서, PL 은 페이로드 크기이며, H 는 헤더가 있는 경우 (즉 하향 링크에서) 1, 없는 경우 (즉 상향 링크에서) 0이다. 또한 DE 는 기준 주파수 변화에 대해 강인하도록 하는 오버헤드로 저속 최적화 기능이 있는 경우 1, 없는 경우 0으로 한다. CR 은 코드율 (code rate)로 1은 4/5 코드율, 2는 4/6 코드율, 3은 4/7 코드율, 4는 4/8 코드율을 의미한다. 결과적으로 패킷의 전송 시간 ToA는 다음과 같다.

$$ToA = T_{preamble} + T_{payload} \quad (4)$$

III. TDMA 프레임과 가변 타임슬롯 설계

3-1 프레임의 구성

본 연구를 통해 제안하는 TDMA/CSMA-CA 기반의 하이브리드 MAC은 어업 활동 등에 활용 가능한 해상 IoT 시스템에서 해상 센서 노드와 어선 등에 설치되는 게이트웨이와의 통신을 위한 것을 적용 목표로 하고 있다.

그림 2는 해상 IoT 서비스와 같이 센서 노드들의 데이터가 비교적 적은 IoT 네트워크에 적용 가능한 TDMA 프레임 구성을 보이고 있다. 본 연구의 하이브리드 MAC 중 TDMA 채널은 저속의 LoRa 네트워크에서 동작하고, 해당 저속 네트워크에서 통신 대상의 거리에 따라서 SF를 변경함으로써 데이터 전송률을 조절하고 이를 통해 전송 거리를 조절함으로써 거리가 멀어 지더라도 통신을 지원할 수 있도록 지원하는 점이 핵심 사항이다.

저속으로 동작하는 LoRa 네트워크에서 해상에 부유하고 있는 어구 (fishing gear)로부터 얻는 센싱 데이터의 특성을 고려하여 모니터링 대상이 되는 전체 어구의 센서 노드들과 최소 하루 1회 이상으로 송신하는 것을 기본 조건으로 설정하여 그림 2와 같은 구조로 TDMA 프레임을 설계하였다. 하지만 그림 2의 superframe이 갖는 긴 주기 때문에 각 센서 노드 (어구)에게 할당 또는 점유되는 타임슬롯을 하나의 superframe 상에 분할하는 것은 비효율적이고, 본 연구의 핵심인 SF에 의한 타임슬롯 주기의 가변이 기술적으로 복잡하기 때문에 프레임이 계층적 구조로 동작하도록 설계하였다.

즉 그림 2에서 보는 바와 같이 하나의 superframe은 여러 개의 frame, 이 프레임은 다시 sub-frame으로 논리적으로 분할되고, 이 sub-frame을 통해 각 센서 노드에게 타임슬롯을 가변적으로 제공하도록 하였다. 이렇게 계층 구조로 설계하는 목적은 데이터 양이 비교적 적은 어구 정보 센싱 등의 해양 IoT 분야 외에 센싱 데이터 양이 비교적 많은 다른 분야에서도 유연하게 적용할 수 있도록 하기 위함이다. 또한 동일한 구조로 서비스되는 어구 대상 IoT 시스템에서 조업 종류 (즉 안강망, 유자망 어업 또는 가두리 양식)에 따라 달라지는 센서 노드의 수와 데이터 전송률에 대해 프레임 계층 구조에 변화를 줄 수 있도록 하기

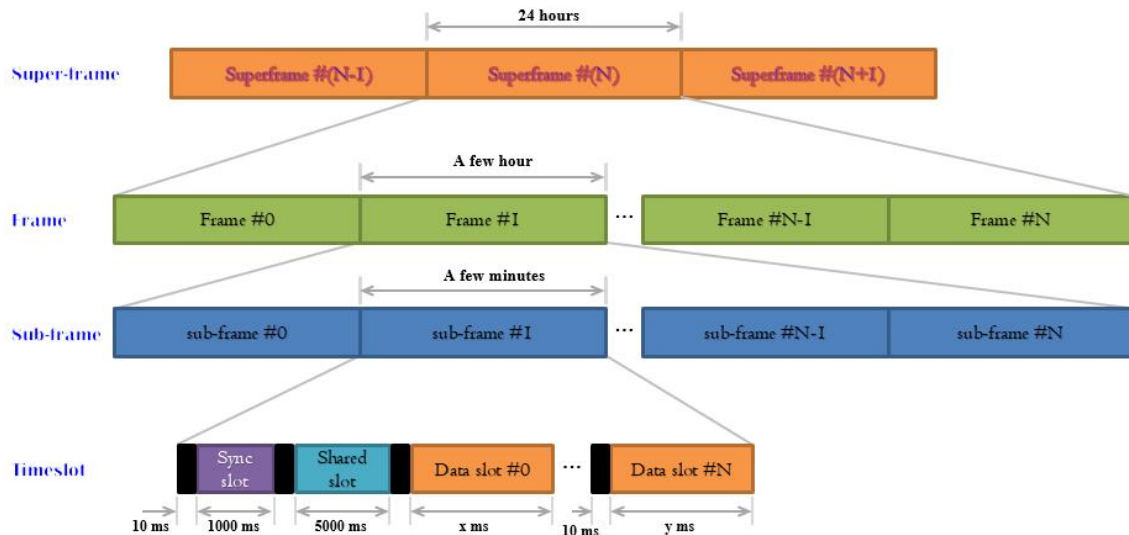


그림 2. TDMA 프레임의 계층 구조
 Fig. 2. Frame hierarchy of TDMA.

위해서 그림 2와 같은 구조로 설계하였다.

Superframe의 주기는 1일(24시간)을 기준으로 하였으며, 그 하위의 frame과 sub-frame의 주기는 임의로 설정하였다. 그 이유는 sub-frame을 구성하는 각각의 타임슬롯 주기가 게이트웨이와 센서 노드의 이격 거리에 따라 SF에 의해 가변되고, 센싱 정보 크기와 빈도에 따라 추후 변경 가능하도록 하기 위해서이다. 그리고 superframe의 하위 frame과 sub-frame은 센싱 데이터 송수신 외에 각종 제어 데이터 송수신을 위해 일정 주기로 반복되는 구조를 갖도록 하였다. 반면 타임슬롯은 주기가 가변되는 특성 상 반복 구조를 갖지 않도록 하였다. 그리고 데이터 슬롯 외에 네트워크 관리와 타임슬롯 관리를 위한 타임슬롯을 추가로 할당할 수 있도록 설계하였다. 각 센서 노드가 접근하는 타임슬롯은 다음과 같이 구성시켰다.

o Guard time

- 각 타임슬롯 사이에 할당되는 시간
- SF와 무관하게 고정 길이를 가짐
- Processing delay + Propagation delay + RX/TX switching time

o Sync timeslot

- 동기화를 위한 용도로 활용되는 타임슬롯
- 게이트웨이가 비콘 프레임을 송신하는 구간
- 고정된 길이를 가짐, 최대 SF

o Shared timeslot

- 새로운 통신 노드가 접속을 수행하거나 접속을 끊는데 사용되는 구간
- CSMA/CA 방식으로 동작하는 contention 구간
- 고정된 길이를 가짐
- 최대 SF

o Data timeslot

- 센싱 데이터 프레임 및 ACK 프레임이 송신되는 타임슬롯
- 가변 SF로 타임슬롯의 길이가 가변으로 운영
- SF는 통신 노드와 게이트웨이 간 거리에 따라 결정
- 타임슬롯의 길이는 ACK 수신 시간을 포함하거나 포함하지 않게 정의할 수 있음

또한 각 센서 노드가 전달하는 frame의 형식은 일정 주기의 보고 프레임 (report frame)과 비주기성을 가진 이벤트 프레임 (event frame)으로 구분하였다. 주기성 프레임의 경우, 그 크기가 동일하며, 이것은 등록 절차에 의해 알려진 프레임의 크기가 게이트웨이에 의해 파악되며, 프레임의 길이 결정에 사용되어 타임슬롯의 낭비 없이 꽉 채워진 할당이 가능하도록 하였다. 이와 반대로, 가변의 길이를 가진 프레임의 전달이 필요할 경우, 이벤트 프레임으로 분류하여 임의 전송할 수 있도록 정의하였다. 이러한 모든 일련의 타임슬롯 길이 및 superframe 내의 타임슬롯 구성에 대한 결정은 게이트웨이가 가지게 된다.

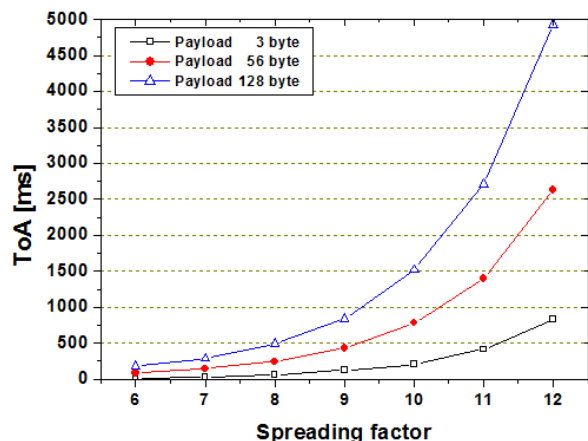


그림 3. SF와 페이로드 길이에 따른 ToA
 Fig. 3. ToA as a function of SF and payload length.

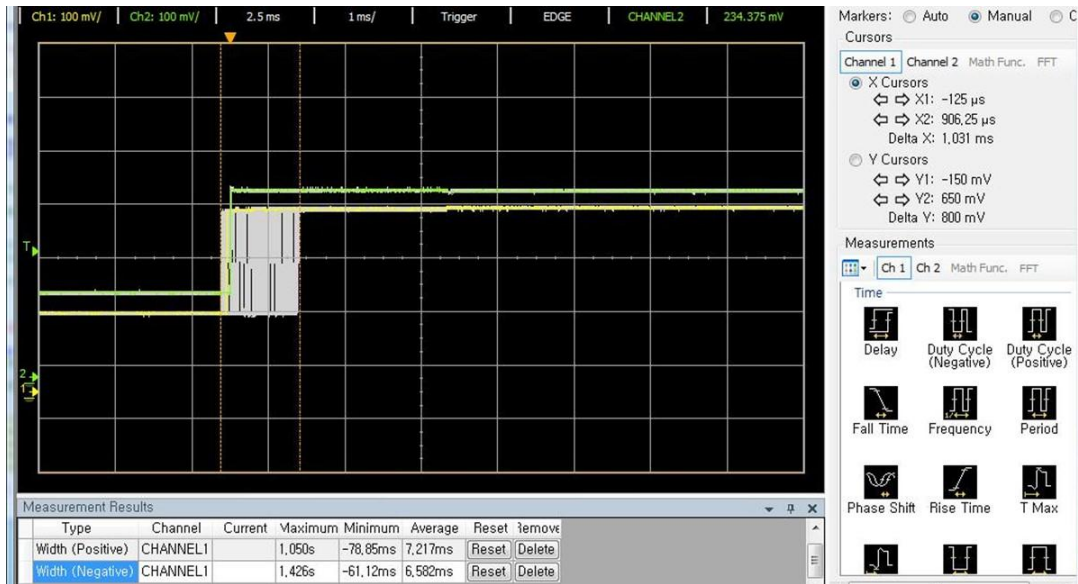


그림 4. 게이트웨이와 센서 노드 간 TDMA 시간 동기 오차 측정 결과

Fig. 4. Result of TDMA timing synchronization error between gateway and sensor node.

3-2 가변 주기 타임슬롯

앞서 각 센서 노드에게 할당되는 타임슬롯의 주기는 ToA를 통해 구할 수 있다고 하였다. LoRa 신호 대역폭과 SF를 고려한 ToA를 계산하여 그림 2의 프레임 구조에서 각 타임슬롯의 주기에 대한 분석을 통해 제안하는 계층 구조의 TDMA MAC의 설계 및 운용 기준을 검토하였다.

그림 3은 대역폭 125 kHz이고 코드율이 1인 프레임의 ToA를 확장 계수와 페이로드 크기에 따라 나타낸 것이다. 확장 계수와 페이로드 크기가 커질수록 프레임 주기, 즉 타임슬롯의 길이가 커져야 하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 IoT 서비스는 어구 (fishing gear) 등의 위치 및 상태 정보 모니터링 등을 위한 해양 IoT 분야이다. 해양 IoT 서비스용 페이로드의 길이는 50 byte 정도로 크지 않다. 6 byte의 여유 공간을 확보해서 설계한다면 확산 계수 12의 경우 타임슬롯의 길이는 2.6 sec 정도로 설정되어야 하는 것을 그림 3을 통해 알 수 있다. 즉 그림 3의 결과를 바탕으로 TDMA 타임슬롯과 MAC 프레임을 설계하여야 한다.

LoRa 통신 칩 공급사인 Semtech의 설계 가이드에 의하면 SF7의 전송 거리는 2 km, SF8은 4 km, SF9은 6 km, SF10은 8 km, SF11은 10 km, SF12는 10 km 이상으로 적용하도록 권고하고 있다 [9]. 본 연구를 통해 고려하고 있는 LoRa 통신의 line of sight는 최대 10 km를 목표로 하고 있다. 이 경우 적용되는 SF는 11이어야 한다. 56 byte의 페이로드를 전송하기 위해 10 km 떨어진 센서 노드에게 할당해주어야 하는 타임슬롯 주기는 그림 3의 결과에 따라 1,400 ms 정도 된다. 만일 센서 노드의 수가 10개라면 각 센서 노드와 게이트웨이간 통신 주기가 약 20

분 정도가 된다.

이 값은 그림 2에서 sub-frame 주기가 20분으로 설계되어야 한다는 것을 의미하고, 프레임 72개로 하나의 superframe을 구성한다는 것을 의미한다. 결과적으로 10개의 어구에 대해 하루 기준 각각의 어구들은 게이트웨이와 20분 간격으로 총 72번의 통신을 수행할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 어구 활동 중의 어구 모니터링은 항상성을 요구하지 않는 특성이 있다. 따라서 그림 2에서 제안한 계층 구조에서의 가변 타임슬롯 구조는 조업 모니터링을 위한 해양 IoT 서비스를 위한 TDMA MAC 알고리즘으로 충분히 적용 가능하다고 판단할 수 있다.

더욱이 지금 분석한 내용은 LoRa 네트워크 내에서 센서 노드와 게이트웨이의 최대 이격 거리를 대상으로 분석한 것이기 때문에 이격 거리가 더욱 가까워지면 짧은 통신 간격으로 좀 더 다양한 센싱 정보의 모니터링이 가능할 것으로 기대할 수 있다. 한 가지 더 언급하면 상기 분석에서 전제 조건은 10개의 센서 노드가 항상 데이터를 송출한다는 것이었다. 즉 점유되고 있지 않은 타임슬롯을 CSMA-CA 방식으로 센서 노드에게 언제든지 할당해 줄 수 있는 하이브리드 MAC 알고리즘이기 때문에 이용 효율을 제고할 수 있는 방식이라고 할 수 있다.

3-3 타임슬롯 동기화

앞서 언급한 바와 같이 LoRa 네트워크는 게이트웨이를 중심으로 운용되며, TDMA 시스템은 동기 정보의 유지가 중요한 요소 가운데 하나이다. 대부분의 정밀 TDMA 시스템의 경우, GPS의 PPS 정보를 이용하여 시간 동기화를 수행한다. 하지만, 본 연구에서 고려한 센서 노드의 경우 저가의 저전력 시스템을 기본으로 동작하여야 한다. GPS 모듈을 장착할 경우, 이 두 가

지를 모두 이루기 어려워진다.

본 연구에서는 게이트웨이가 송신하는 가장 높은 레벨의 SF를 적용한 비콘 프레임을 이용하여 동기를 수행하도록 설계하였다. 최소한의 동기 정보 및 타임슬롯 관련 정보만을 포함한 비콘 프레임을 송신함으로써 관리하는 모든 망에 시간 정보 및 망 정보를 전달할 수 있게 된다.

게이트웨이는 주기적(1 sub-frame 간격)으로 비콘 프레임을 전송하고 각 단말은 전력 효율 설정에 따라서 주기적으로 wake-up하여 비콘 프레임을 수신하도록 동작한다. 이를 통해 게이트웨이가 운용하는 망의 superframe 동기를 획득하게 된다. superframe의 동기 정보는 superframe의 시작, frame의 시작, sub-frame의 시작 정보를 말한다.

단말 노드는 아래와 같은 절차로 비콘 프레임의 수신을 통한 동기화를 수행하도록 하였다.

1. 설정된 SF에 따른 비콘 프레임의 ToA와 프레임 수신 후 처리 시간을 더한다.
2. 1의 결과에 guard time을 더한다.
3. superframe 전체 시간에서 2의 결과 값을 빼서 다음 superframe의 시작점까지 남은 시간을 도출한다.
4. 3의 결과 값을 타이머의 타임 아웃 값으로 설정한다.

타임 아웃되는 시점을 대략적인 superframe의 시작점으로 볼 수 있다. 이후 좀 더 정확한 동기화를 위하여 보정 작업을 수행한다. 보정 작업은 다음과 같이 수행한다.

1. superframe의 시작점과 비콘 프레임을 수신한 시간 차이를 구한다.
2. 설정된 SF에 따른 비콘 프레임의 ToA, frame 수신 후 처리 시간과 guard time을 더한다.
3. 1과 2의 결과의 차를 구하고 이 과정을 3회 반복하여 평균 값을 도출한다.
4. 평균값을 반영하여 다음 superframe의 타임 아웃 시간을 결정한다.

이와 같은 절차를 통해 각 노드는 게이트웨이와 시간적으로 동기를 유지하게 되며, 지속적으로 비콘을 관찰하여 자신의 동기를 게이트웨이에 맞추게 된다. 그림 4는 이런 절차를 토대로 센서 노드와 게이트웨이 사이의 동기 오차를 측정할 결과로 약 1~2 ms의 오차로 수렴함을 확인할 수 있다.

3-4 SF의 가변

대부분의 LoRa 네트워크는 게이트웨이가 고정되어 있으며, 센서 노드도 고정되어 있는 경우가 많다. 그러나 조업 지원을 위한 해양 IoT 네트워크에서는 이 둘의 이동을 고려해야 한다. 이러한 경우 고정된 SF를 가지고 서로 통신을 수행하는 것은 네트워크에서 이탈했다가 다시 연결하는 동작을 반복하여야 한다.

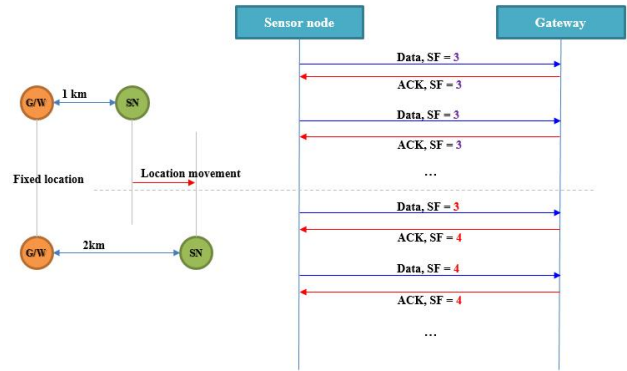


그림 5. 통신 거리 변화에 따른 SF 변환
 Fig. 5. SF switching of the change of communication distance.

이런 경우를 게이트웨이에서 판단하여 결정할 수 있도록 그림 5와 같이 SF를 변환하는 알고리즘을 정의하였다. 연결(association) 시에 결정된 SF를 이용하여 센서 노드가 게이트웨이로 데이터를 전달하게 되며, 시간이 흐름에 따라서 센서 노드 또는 게이트웨이의 위치가 바뀌어 서로 간의 거리가 바뀌게 되면, 이를 게이트웨이가 판단하여 ACK frame을 이용하여 SF를 변경할 수 있게 된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 LoRa 네트워크를 위한 하이브리드 MAC에서 TDMA MAC의 계층 구조 프레임 구조와 전송 거리에 따른 가변 타임슬롯의 설계 방안을 제안하였다. 제안된 TDMA MAC은 어구 모니터링 등 해양 IoT 서비스를 위해 구체화될 수 있다. 그리고 본 연구에서 제안한 계층 구조의 프레임 구성은 해양 IoT 뿐만 아니라 산업용, 환경 감시용 등 적용 분야의 요구 조건과 통신 환경에 맞게 계층 변경과 세부 구성 변경을 통해 확장 가능할 것으로 기대된다. 실제적 적용에 있어 전송 거리, 그리고 SF에 따라 타임슬롯의 주기가 길어진 경우에 대해서는 프레임 계층 수를 줄여 주어야 하지만 그에 따른 제어 정보 송수신과 처리 등의 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 하이브리드 MAC은 TDMA 타임슬롯을 각 센서 노드에게 비동기식으로 할당하고 비어 있는 타임슬롯에 대해서는 CSMA/CA 방식으로 센서 노드가 접속하여 사용하도록 하는 것이다. 하지만 본 논문에서는 CSMA/CA 방식에 대한 내용은 다루지 않았다. 또한 제안하는 하이브리드 MAC의 성능 평가도 수행되지 않았다. CSMA/CA 방식 설계에 있어서도 SF에 따라 타임슬롯의 주기를 가변하는 방안을 채택할 것이다. 관련 연구를 검토해 보면 SF가 클수록 수율이 개선되는 것을 알 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 TDMA뿐만 아니라 CSMA/CA 방식에서 수율 등 성능을 개선하는 기술 방안이 대

해 제안할 예정이다.

Acknowledgments

본 논문은 과학기술정보통신부의 정보통신방송연구개발사업의 “해상/산업용 IoT 복합센싱 Chip 개발 및 상용화”(과제번호: 2019-0-00045) 과제의 지원에 의해 수행됨.

Reference

[1] W. Cho, “LoRa for LPWA network: Overview and its performance enhancement technologies,” *Journal of the KIECS*, pp. 283-288, Vol. 14, No. 2, pp. 283-288, Apr. 2019.

[2] J. Y. Joo and J. C. Oh “Development of LoRa wireless network based water supply control system for bare ground agriculture,” *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 13, No. 6, pp. 1373-1378, 2018.

[3] U. Raza, P. Kulkarni, an M. Sooriyabandara, “Low power wide area networks: an overview,” *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 2, pp. 855-873, 2017.

[4] R. S. Sinha, Y. Wei, and S.-H. Hwang, “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*, Vol. 3, pp. 14-21, 2017.

[5] W. J. Lee and S. H. Rhee, “A study on performance improvement of hybrid TDMA/CSMA MAC using the limitive CSMA,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 8 No. 1, pp. 102-109, Feb. 2009.

[6] J. H. Nam, “A priority-based time slot allocation protocol for hybrid MAC in WSNs,” *Journal Korea Institute of Information Communication Engineering*, Vol. 18, No. 6, pp. 1435-1440, Jun. 2014.

[7] B. A. Forouzan, *Data Communication and Networking*, New York, NY: McGraw Hill, 2003

[8] H. G. Yoon, J. S Um, and B. J. Jang, “Performance Analysis of a LoRa Device on Duty Cycle Local Regulation of Korean RFID/USN Frequency Band,” *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering Science*, Vol. 28, No. 2, pp. 113-119, 2017.

[9] What are LoRa® and LoRaWAN®?, [Internet] Available: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>



류 정 규 (Jeong-Kyu Ryu)

1993년 2월 : 대전대학교 컴퓨터공학과(공학사),
 2006년 9월 ~ 2015년 7월 : 휴메이트 기술연구소 부장,
 2015년 8월 ~ 현재 : 블루텍 대표이사
 ※관심분야 : IoT, 근거리통신, Ad-hoc network

2000년 1월 ~ 2001년 6월 : 삼성전자 무선사업부 연구원
 2011년 2월 : 충남대학교 전자정보통신공학 (공학석사)



이 성 렬 (Seong-Real Lee)

1990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사),
 2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사),
 2004년 3월 ~ 현재 : 국립목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수
 ※관심분야 : WDM 전송 시스템, 광의 비선형 현상 분석, IoT 등

1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
 2002년 6월 ~ 2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장