

# IoT LoRa 네트워크에서 Overhearing 기술을 활용한 신뢰성 및 에너지 효율 최적화 다중 홉 통신 프로토콜

Mugerwa Dick, 남영주, 최현석, 신용제, 이의신  
충북대학교

{dmugerwa, imnyj, hschoi, yjshin, eslee}@cbnu.ac.kr

## The multi-hop communication scheme optimizing the reliability and the efficiency of energy based on Overhearing in IoT LoRa Networks

Mugerwa Dick, Youngju Nam, Hyunseok Choi, Yongje Shin, Euisin Lee  
Chungbuk Univ.

### 요 약

Internet of Things (IoT)에서 요구하는 저전력, 저비용 및 장거리 전송 네트워크에 대한 해결책으로 Low Power Wide Area Networks (LWAN)가 대두되고 있다. 광범위한 통신 범위와 낮은 소비 전력 및 호환성의 이유로 LoRa 기술은 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나, 이 기술은 몇 가지 난제로 인하여 어려움을 겪고 있다. 따라서, 본 논문은 Overhearing 기술을 활용하여 송수신 신호가 약한 노드의 메시지를 게이트웨이에게 전달하기 위한 방안을 제시한다. 이 방안은 송수신 신호가 약한 노드의 메시지를 보강함으로써 통신의 신뢰성을 향상시키고 전체적인 노드들의 배터리 잔량 정보를 통하여 네트워크의 유지 시간을 증가시킬 수 있다.

### 1. 서 론

최근 10 년 동안 4 차 산업혁명을 통하여 공장 제어 및 자동화가 도입되었으며, 이러한 패러다임으로 IoT 의 통신과 계산 능력의 성능이 향상되고 있다[1, 2]. 스마트 공장에서, IoT 를 사용하여 최적화된 생산성, 인적 결함 감소, 생산 품질 향상, 다량의 자동화 프로세스 및 기타 다양한 최신 기술을 수행한다. 이러한 산업에는 군사, 보건, 농업, 스마트 시티 및 제조업 등이 포함된다. LWAN 은 무선 통신을 통하여 센서 노드들이 게이트웨이에게 산발적으로 데이터 패킷을 전송하는 배터리 사용 장치들의 저비용 네트워크 배치, 제한된 전력 소비 및 장치 수명 연장을 가능하게 하는 IoT 백본으로써 부상되고 있다[3].

IoT 네트워크의 안정적이고 효율적이며 탄력적인 LPWAN 기술에 대하여 LoRa, Sigfox, NB-IoT 및 Ingenu 와 같은 기술들이 개발되고 있다[4, 7]. 이는 도시 지역에서 5km, 비도시지역에서 40km 이상의 저전력 장거리 통신 범위를 제공하기 때문에, 저렴한 비용으로 상업적 배치가 가능하다. 또한, LoRa 네트워크는 낮은 비용으로 자율 네트워크를 설정할 수 있는 오픈 소스 및 비면허 ISM 하위 GHz 대역을 사용하기 때문에 LPWAN 어플리케이션에 광범위하게 배치가 가능하여 스마트 시티, 스마트 팜 및 스마트 홈과 같은 IoT 어플리케이션에서 호환이 가능하다[5].

LoRa에 대한 규격은 LoRa의 물리 계층과 LoRaWAN의 MAC 계층에 대하여 명확히 명시하고 있다. WAN MAC

계층 프로토콜은 다음과 같이 요약될 수 있다. LoRa 는 변조를 위하여 Chirp spread spectrum (CSS) 기술을 사용하는 물리 계층이다. Chirp 는 특정 대역폭 내에서 주어진 시간에 따라 주파수가 변하는 신호다. 이 기술은 장거리 전송에 강력한 이점을 가지고 있다[5, 6]. 또한, 각 LoRa 전송에 사용되는 세가지 주요 변수는 7 에서 12 사이의 값을 가지는 Spreading Factor(SF), Bandwidth(BW), Code rate(CR)이다. 강력한 간섭 해결 기능, 오류 수정 기능 및 신뢰성 높은 통신 범위에 도달하기 위해서 이 변수들은 신중히 조정되어야 한다.

LoRaWAN MAC 계층 프로토콜은 다수의 엔드 노드가 LoRa 변조를 사용하여 게이트웨이와 통신할 수 있게 한다. 게다가, LoRaWAN 은 스타 토폴로지를 사용하여 서버에 대한 모든 엔드 노드의 통신이 게이트웨이를 통과한다[6]. LoRaWAN MAC 은 ALOHA MAC 및 TDMA 모드를 배포하여 장치 간의 최종 전송 시간을 나눈다.

따라서, 본 논문에서는 IoT 의 신뢰성과 장치 수명을 향상시키기 위해 Overhearing 기술을 활용한 메시지 전달 방안을 제시한다. 센서를 통하여 정보를 게이트웨이에게 보내는 엔드 노드는 일정 시간 동안 게이트웨이로부터 신호를 받기 위하여 수신 능력이 활성화되어 있다. 이 점을 활용하여 수신 능력이 활성화되어있는 노드가 게이트웨이로부터 멀리 있어 송신 능력이 약한 노드의 메시지를 듣는 기술인 Overhear 기능을 사용하여 해당 노드의 송신을 돕는다. 모든 노드가 해당 노드를 도울 경우, 노드들의 배터리 수명에 심각한 타격을 초래할 수

있기 때문에, 게이트웨이에서 송신을 도울 노드들을 선택하여 일부만 기능하게 한다. 이를 통하여, 최소한의 에너지 소모를 바탕으로 송신 능력이 약한 노드의 전송률을 향상시킬 수 있다.

## II. 본론

본 논문은 Overhear 기능을 활용하여 송신 능력이 약한 센서 노드의 정보 전달력을 강화함으로써 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시한다. 송신 능력이 약한 노드의 원인은 다음과 같다:

- 1) 센서 노드의 송신 전력이 부족한 경우
- 2) 게이트웨이가 수신한 신호의 잡음비가 SF 임계값보다 작은 경우
- 3) 같은 SF를 가진 노드 간의 간섭이 발생하는 경우
- 4) 게이트웨이와 센서 노드 간의 거리가 너무 먼 경우

이러한 이유로 발생하는 게이트웨이의 수신 실패는 정기적으로 정해진 시간에 송수신되는 정보의 공유 방식으로 인하여 감지될 수 있다. 따라서, 수신 실패가 감지된 경우, 게이트웨이는 센서 노드들의 Bit Error Rate (BER) 정보와 배터리 잔량 정보, 위치 정보를 통하여 최적의 Overhear 기능을 활용할 센서 노드를 선정한다.

우선, 위치 정보를 통하여 전송에 실패한 노드와 게이트웨이 간의 선을 직경으로 가지는 원을 그려 그 안의 센서 노드를 후보로 선정한다. 그 이후 BER 과 배터리 잔량 정보가 임계 값보다 낮은 노드들을 후보에서 제외한다. BER 과 배터리 잔량을 0 과 0.5 사이의 값으로 치환하며 두 값을 가중치를 통하여 0 과 1 사이의 값을 가지는 하나의 변수로 통합한다. 통합된 변수는 재전송 가능한 최대 시간 값으로 곱해지며, 각 센서 노드들에게 전송된다. 즉, 배터리 잔량이 가장 많으며 BER 이 좋은 노드가 가장 작은 시간을 받게 된다. 시간 값을 받은 노드들은 타이머를 활용하여 해당 시간이 다 되었을 때, Overhear 를 통하여 가지고 있던 송신 실패한 노드의 메시지를 게이트웨이에게 전달한다. 각 노드에게 주어지는 시간에 대한 함수는 식 (1)과 같다.

$$t_i = t_{max} \times (\alpha \times \frac{100-E_i}{200} + (1-\alpha) \times \frac{L_i-L_{min}}{L_{max}-L_{min}})(1)$$

Overhear 노드가 게이트웨이에게 송신 실패한 메시지를 전달한 경우, 주위의 후보 노드들은 해당 메시지를 Overhear 하기 때문에, 자신들의 타이머를 해제한다. 만일 가장 좋은 노드가 스케줄링의 이유나 간섭의 이유로 전송에 실패한 경우, 주위 후보들 또한 해당 메시지를 Overhear 하지 못하기 때문에, 다음 후보가 해당 메시지를 전달한다.

## III. 결론

본 논문에서는 송신 능력이 약한 센서 노드의 메시지를 Overhear 노드들을 게이트웨이가 선정하여 전송에 실패한 메시지를 재송신함으로써 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시한다. 게이트웨이는 센서 노드들이 정기적으로 전송하는 정보를 토대로 위치, 배터리 잔량, BER 등의 정보를 추가적으로 테이블에 저장하고 관리하여 수신하지 못한 메시지에 대하여 Overhear 노드들을 선정한다. 선정된 노드들은 각자의 기량에 따른 시간 값을 받게 되며 시간에 따라 타이머를 설정한다. 가장 좋은 요건을 가진 노드가 가장 먼저 재전송을 시도하며 전송에 실패할 경우, 다음 후보가 재전송을 시도하게 된다. 이로써, 배터리 및 BER 을 기반으로 전송 실패에 대한 복구를 하기 때문에 IoT 네트워크의 에너지 소모를 적게 하면서 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] G.C. Patru, D.C. Tranca, C. M. Costea, D. Rosner and R.V. Rughinis, "LoRA based, low power remote monitoring and control solution for Industry 4.0 factories and facilities," in IEEE 18th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet), pp. 1-6, October 2019.
- [2] L. U. Khan, M. Alsenwi, I. Yaqoob, M. Imran, Z. Han, and C. S. Hong, "Resource optimized federated earningenabled cognitive internet of things for smart industries," in IEEE Access, no. 8, pp. 168854-168864, September 2020.
- [3] E. Sisinni, D. F. Carvalho, and P. Ferrari, "Emergency communication in IoT scenarios by means of a transparent LoRaWAN enhancement," in IEEE Internet of Things Journal, vol.7, no.10, pp.10684-10694, July 2020.
- [4] M. Rady, M. Hafeez and S. A. R. Zaidi, "Computational Methods for Network-Aware and Network-Agnostic IoT Low Power Wide Area Networks (LPWANs)," in IEEE Internet of Things Journal, vol.6, no.3, pp.5732-5744, March 2019.
- [5] J. P. S. Sundaram, W. Du and Z. Zhao, "A survey on lora networking: Research problems, current solutions, and open issues," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no.1, pp. 371-388, October 2019.
- [6] L. Leonardi, F. Battaglia, G. Patti and L. L. Bello, "Industrial LoRa: A novel medium access strategy for LoRa in industry 4.0 applications,". In IECON 2018-44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 4141-4146, October 2018.
- [7] D. Bankov, E. Khorov and A. Lyakhov, "On the Limits of LoRaWAN Channel Access," 2016 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT), 2016, pp. 10-14, doi: 10.1109/EnT.2016.011.