

## LoRa backscatter 기술의 연구 동향에 관한 고찰

이건희, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

ghlee@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

## A Study on the Research Trends of LoRa Backscatter Technology

Geonhee Lee, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

### 요 약

본 논문은 저전력 무선 네트워크에서 활발히 연구되고 있는 LoRa backscatter communication에 관한 연구 동향을 분석한다.

### I. 서 론

LoRa(Long Range)는 장거리 무선 통신을 위해 고안된 기술로, 긴 전송 거리와 낮은 전력 소모라는 두 가지 주요 장점을 갖는다. 이 기술은 물리 계층에서 Chirp Spread Spectrum(CSS) 방식을 사용하여 수 킬로미터에 이르는 거리에서도 안정적인 통신을 제공한다. 이러한 특성은 넓은 지역에 분산된 센서들이 실시간으로 데이터를 전송해야 하는 농업 환경이나, 도시 인프라 관리가 요구되는 스마트 시티와 같은 응용 분야에 적합하다. 또한 LoRa는 전력 효율성 측면에서도 뛰어나다. 대부분의 LoRa 디바이스는 배터리로 구동되며, 매우 낮은 에너지를 사용해 장시간 동작할 수 있도록 설계되어 있다. LoRa 네트워크는 일반적으로 넓은 지리적 범위에 걸쳐 구성되기 때문에, 빈번한 배터리 교체가 어려운 환경에서는 이러한 저전력 특성이 특히 유리하게 작용한다.

이러한 LoRa의 장점을 더욱 극대화하기 위한 방안으로, 최근에는 LoRa Backscatter 기술이 활발히 연구되고 있다. 기존 LoRa 시스템이 능동적인 무선 송신을 기반으로 한다면, LoRa Backscatter는 외부에서 생성된 LoRa 신호를 반사하고 변조하는 방식으로 데이터를 전달한다. 이 방식을 활용하면 송신 회로의 복잡성을 줄이고, 소비 전력을 극도로 낮출 수 있기 때문에 배터리 없이도 통신이 가능한 초저전력 IoT 시스템 구현이 가능하다. 특히 에너지 공급이 어려운 환경이나, 수많은 센서가 밀집된 대규모 네트워크에서는 LoRa Backscatter의 적용 가능성이 크다. 반사 기반 통신이라는 구조적 특징은 시스템 비용 절감과 디바이스 수명 연장이라는 이점을 제공하며, 기존 LoRa 인프라와의 호환성도 비교적 잘 유지할 수 있다는 점에서 실용적인 가치를 갖는다. 이러한 이유로, 최근 다양한 연구들이 LoRa Backscatter의 성능을 발전시키고자 하고 있다. 본 논문에서는 그러한 연구의 동향을 살펴보고자 한다.

### II. 본론

LoRa backscatter communication의 가능성을 보여준 LoRa backscatter [1]은 Single tone signal을 송신하는

RF Source를 사용하여, backscatter device가 이를 반사할 때 적절한 frequency shift를 가하는 방식으로 LoRa packet을 생성하는 기법을 제시하였다. 이러한 방식으로 communication range를 2.8km까지 달성하였지만, LoRa node가 아닌 추가적인 RF source가 필요하다는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점의 해결과 동시에 추가적인 개선을 가능케 한 PLoRa [2]는 기존의 LoRa node가 전송하던 신호를 사용함으로써, 별도의 RF source 없이도 backscatter device들이 LoRa packet을 구성할 수 있게 하였다. PLoRa는 downlink 또는 uplink LoRa signal을 감지한 이후, 보내고자 하는 bit에 따라 다른 형태의 frequency shift를 부여해 backscatter하는 것으로 성공적인 정보 전송을 가능하게 하였다. PLoRa는 passive 소자로만 구성되지 않아 backscatter communication에 일정 수준의 전력을 필요로 하게 되는데, energy harvesting circuit을 구성하여 동작에 필요한 전력을 스스로 공급할 수 있게끔 하였다.

위의 두 연구는 LoRa backscatter의 가능성을 보여주었지만, 여러 개의 backscatter device들이 동시에 전송할 수 있는 network scenario에 대한 고려를 하지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 P<sup>2</sup>LoRa [3]이 제안되었는데, 주파수 대역에서 신호를 분리하여 backscatter node들이 반사하는 신호 간의 간섭을 최소화하였다. 이를 통해 최대 101개의 device가 동시에 정보를 전송하게 하는데 성공하였지만, 주어진 frequency band 밖의 대역을 사용하기 때문에 인접한 band에 간섭을 일으킬 수 있다는 문제가 있었다. 이는 곧 Single band 안에서의 concurrency에 관한 연구가 필요하다는 것을 의미했는데, Prism [4]이 그에 대한 해답을 제시하였다. Prism은 Curvinglora [5], CurveALOHA [6]에서 제시된 LoRa non-linear chirp을 적극적으로 사용하였는데, 서로 다른 형태의 LoRa non-linear chirp 간에 quasi-orthogonality가 존재하여 서로 간의 간섭의 영향이 매우 적다는 것이 Prism의 기본 아이디어였다. Prism은 동일한 LoRa ambient signal을 수신한 여러 대의 backscatter device들이 서로 다른 frequency shift를 주는 것으로, 다른 형태의 LoRa non-linear chirp을 구성해 single band에서의 concurrency를 성공적으로 늘릴 수 있었고,

band 안에 최대 8 개의 device 가 성공적으로 동시 전송을 할 수 있었다. Prism 은 P<sup>2</sup>LoRa 와 평행하게 동작하기 때문에, 둘 모두를 사용하여 매우 큰 크기의 network 를 구성할 수 있다는 장점 또한 존재한다.

하지만, 이러한 연구 상황에도 앞으로 발전할 부분은 존재하는 것으로 보여진다. Prism 은 여러 대의 device 가 single band 에서 동시 전송을 가능케 했지만, 그 수가 실제 네트워크를 serve 하는 데에는 여전히 부족한 점이 존재한다. 또한 LoRa backscatter communication 은 LoRa symbol 하나 당 1 bit 를 보내게 되는데, 긴 symbol duration 으로 인해 data rate 이 매우 낮다는 단점 또한 여전히 가지고 있다. 따라서 이러한 문제를 모두 해결할 새로운 LoRa backscatter 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

## III. 결론

본 논문에서는 기존의 LoRa backscatter 관련 주요 연구들을 정리하고, 그 발전 방향에 대해 고찰하였다. 초기 연구들은 LoRa backscatter 의 실현 가능성과 기본적인 통신 구조를 제시하였고, 이후 연구에서는 네트워크 규모 확장과 동시 전송 능력 향상을 위한 다양한 방법들이 제안되었다. 특히, non-linear chirp 기반의 신호 설계를 통해 single band 환경에서의 동시 전송 가능성을 크게 확장한 Prism 은 중요한 전환점이라 할 수 있다. 하지만 여전히 동시 전송 가능한 device 수의 한계, 낮은 전송률 등 해결되지 않은 과제가 존재하며, 실제 환경에서의 대규모 네트워크 운영을 위해서는 추가적인 개선이 필요하다. 따라서 향후에는 더 높은 concurrency 와 data rate 을 동시에 달성할 수 있는 새로운 형태의 backscatter 방식, 혹은 chirp 설계 기법에 대한 연구가 요구된다. 이를 통해 LoRa backscatter 기술이 보다 실용적인 초저전력 IoT 네트워크의 핵심 기술로 자리잡을 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Talla, V., Hesar, M., Kellogg, B., Najafi, A., Smith, J. R., & Gollakota, S. (2017). Lora backscatter: Enabling the vision of ubiquitous connectivity. *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies*, 1(3), 1-24.
- [2] Peng, Y., Shangguan, L., Hu, Y., Qian, Y., Lin, X., Chen, X., ... & Jamieson, K. (2018, August). PLoRa: A passive long-range data network from ambient LoRa transmissions. In *Proceedings of the 2018 conference of the ACM special interest group on data communication* (pp. 147-160).
- [3] Jiang, J., Xu, Z., Dang, F., & Wang, J. (2021, October). Long-range ambient LoRa backscatter with parallel decoding. In *Proceedings of the 27th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking* (pp. 684-696).
- [4] Ren, Y., Cai, P., Jiang, J., Du, J., & Cao, Z. (2023, May). Prism: High-throughput LoRa backscatter with non-linear chirps. In *IEEE INFOCOM 2023-IEEE Conference on Computer Communications* (pp. 1-10). IEEE.

[5] Li, Chenning and Guo, Xiuzhen and Shuangguan, Longfei and Cao, Zhichao and Jamieson, Kyle, CurvingLoRa to Boost LoRa Network Throughput via Concurrent Transmission, 2022, *Proceedings of USENIX NSDI*.

[6] Li, Chenning, Cao, Zhichao and Xiao, Li, CurveALOHA: Non-linear Chirps Enabled High Throughput Random Channel Access for LoRa, 2022, *Proceedings of IEEE INFOCOM 2022*.