

# 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 communication 에 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 LoRa 는 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 LoRa 의 장점을 더욱 극대화하기 위한 방안으로, 최근에는 LoRa Backscatter 기술이 활발히 연구되고 있다. 기존 LoRa 시스템이 능동적인 무선 송신을 기반으로 한다면, LoRa Backscatter 는 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 Backscatter 의 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 Backscatter 의 성능을 발전시키고자 하고 있다. 본 논문에서는 그러한 연구의 동향을 살펴보고자 한다.

### II. 본론

LoRa backscatter communication 의 가능성을 보여준 LoRa backscatter [1]은 Single tone signal 을 송신하는

RF Source 를 사용하여, backscatter device 가 이를 반사할 때 적절한 frequency shift 를 가하는 방식으로 LoRa packet 을 생성하는 기법을 제시하였다. 이러한 방식으로 communication range 를 2.8km 까지 달성하였지만, LoRa node 가 아닌 추가적인 RF source 가 필요하다는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점의 해결과 동시에 추가적인 개선을 가능케 한 PLoRa [2]는 기존의 LoRa node 가 전송하던 신호를 사용함으로써, 별도의 RF source 없이도 backscatter device 들이 LoRa packet 을 구성할 수 있게 하였다. PLoRa 는 downlink 또는 uplink LoRa signal 을 감지한 이후, 보내고자 하는 bit 에 따라 다른 형태의 frequency shift 를 부여해 backscatter 하는 것으로 성공적인 정보 전송을 가능하게 하였다. PLoRa 는 passive 소자로만 구성되지 않아 backscatter communication 에 일정 수준의 전력을 필요로 하게 되는데, energy harvesting circuit 을 구성하여 동작에 필요한 전력을 스스로 공급할 수 있게끔 하였다.

위의 두 연구는 LoRa backscatter 의 가능성을 보여주었지만, 여러 개의 backscatter device 들이 동시에 전송할 수 있는 network scenario 에 대한 고려를 하지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 P<sup>2</sup>LoRa [3]이 제안되었는데, 주파수 대역에서 신호를 분리하여 backscatter node 들이 반사하는 신호 간의 간섭을 최소화하였다. 이를 통해 최대 101 개의 device 가 동시에 정보를 전송하게 하는데 성공하였지만, 주어진 frequency band 밖의 대역을 사용하기 때문에 인접한 band 에 간섭을 일으킬 수 있다는 문제가 있었다. 이는 곧 Single band 안에서의 concurrency 에 관한 연구가 필요하다는 것을 의미했는데, Prism [4]이 그에 대한 해답을 제시하였다. Prism 은 Curvinglora [5], CurveALOHA [6]에서 제시된 LoRa non-linear chirp 을 적극적으로 사용하였는데, 서로 다른 형태의 LoRa non-linear chirp 간에 quasi-orthogonality 가 존재하여 서로 간의 간섭의 영향이 매우 적다는 것이 Prism 의 기본 아이디어였다. Prism 은 동일한 LoRa ambient signal 을 수신한 여러 대의 backscatter device 들이 서로 다른 frequency shift 를 주는 것으로, 다른 형태의 LoRa non-linear chirp 을 구성해 single band 에서의 concurrency 를 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 부족함이 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*.