

LoRa non-linear chirp의 형태에 따른 성능 분석

이건희, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

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

Performance analysis based on the form of LoRa non-linear chirp

Geonhee Lee, Saewoong Bahk

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

요약

본 논문은 저전력 무선 네트워크에서 사용되는 다양한 프로토콜 중 LoRa 프로토콜에서 사용되는 non-linear chirp의 형태에 따른 성능을 분석한다.

I. 서론

LoRa 혹은 Long Range는 원거리 통신을 위하여 설계된 무선 통신 기술 중 하나이다. LoRa의 가장 큰 특징은 초 장거리 통신과 낮은 전력 소모이다. 먼저 LoRa는 Chirp Spread Spectrum (CSS) 기반의 PHY layer를 통해 km 단위의 거리 사이에서의 통신을 가능케 한다. 이러한 특성은 농업용 센서 네트워크 또는 스마트 시티 등의 넓은 범위에 걸친 통신이 요구되는 상황에서 효과적이다. LoRa는 주로 배터리로 구동되는 디바이스들에 적합한 저전력 소모 특성을 가지고 있다. 초 장거리 통신 특성과 맞물려, LoRa network는 물리적으로 큰 규모를 가지고 있는 경우가 많은데, 이러한 환경에서 오랜 기간동안 배터리를 교체하지 않아도 되는 것은 큰 장점으로 작용한다.

CSS는 주파수가 선형적으로 증가하는 linear chirp의 형태로 하나의 symbol을 변조하는 방식이다. 넓은 주파수 범위에 신호 성분을 흩뿌려놓는 형태를 통해 interference에 효율적으로 대응할 수 있고, 이는 낮은 SNR 상황에서도 성공적인 decoding을 보장한다.

하지만, 이러한 LoRa의 통신 방식은 충돌 상황에서의 capture effect에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 가장 널리 사용되는 MAC protocol인 LoRaWAN은 ALOHA 방식을 사용하는데, ALOHA의 특성 상 packet 간의 충돌이 빈번히 발생하게 되고, 그 때마다 capture effect가 발생해 더 강한 신호만이 decoding되어 network throughput이 감소하는 문제가 발생하게 된다. 따라서 다양한 연구들이 이러한 throughput 감소 문제를 해결하기 위해 더 정밀한 decoding 등의 방식을 제안했다.

CurvingLoRa [1]와 CurveALOHA [2]는 기존 CSS의 기반이 되는 linear chirp 대신 비선형적 형태의 non-linear chirp을 사용하는 것으로 위의 문제를 해결했다.

먼저, linear chirp의 경우에는 최저 주파수에서 최대 주파수까지 sweep하는 chirp의 형태가 한 가지로 고정된다. 하지만 non-linear chirp의 경우에는 무한한 가지수의 chirp의 형태가 가능하고, 서로간의 형태는 유의미하게 달라질 수 있다.

CSS에서 decoding은 주파수가 감소하는 형태의 down chirp을 곱하는 것으로 이루어진다. 이때 non-linear

chirp의 경우에는 각 형태에 따라 down chirp의 형태 또한 달라지게 되는데, 이를 이용하여 서로 다른 형태의 non-linear chirp 간의 충돌이 발생하여도 서로 다른 decoding 방식을 이용하기 때문에 interference chirp보다 세기가 약한 target chirp도 성공적으로 decoding을 할 수 있다.

이러한 특징은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째로 같은 형태의 non-linear chirp 간의 충돌이 발생했을 때 나타나는 energy scattering effect와 서로 다른 형태의 non-linear chirp 간의 충돌이 발생했을 때 나타나는 quasi-orthogonality이다. 이 두 가지의 특성을 통해 non-linear chirp은 효과적으로 충돌에 대응하고, 궁극적으로 network의 throughput을 증가시키는 데 활용될 수 있다.

본 연구에서는, non-linear chirp의 형태에 따른 성능을 monte-carlo simulation을 통해 알아보고자 한다.

II. 본론

1) 실험 환경

Non-linear chirp의 성능 분석을 하기 전에, 무한한 가지수가 가능한 non-linear chirp의 형태는 polynomial로 제한하였다. 2~8차 convex, concave 함수 형태의 non-linear chirp을 사용하여 총 14개이며, Spreading Factor로는 9를 사용했다.

또한, 성능을 나타내는 지표로는 SIR threshold를 사용했다. SIR threshold란 1% 미만의 symbol error rate를 달성하기 위한 target chirp과 interference chirp의 세기 차이이다. 만약 interference chirp의 세기가 더 클 때에도 decoding이 된다면, SIR threshold 값은 음수가 된다.

실험은 MATLAB을 통한 simulation으로 이루어졌으며, monte-carlo 방식을 사용하였다. Random한 정보를 담고 있는 target chirp을 build한 다음, random delay를 갖게끔 interference chirp을 target chirp의 앞뒤로 배치하였다. 이를 통해 충돌 상황을 구현할 수 있고, target chirp과 interference chirp의 형태에 따른 SIR threshold 값을 heatmap으로

표현했다. Error 가 40 회 발생할 때 까지 iteration 을 반복하였다.

2) 실험 결과

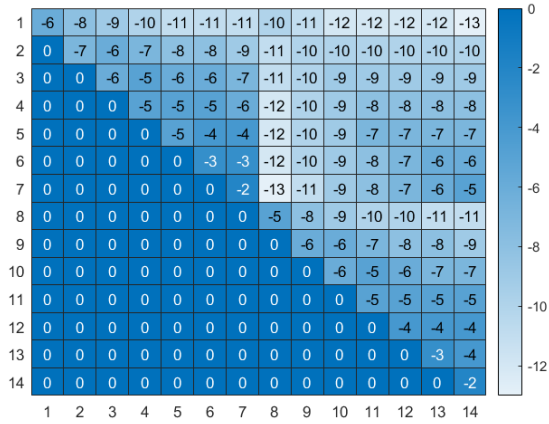


그림 1. Non-linear chirp 의 형태에 따른

SIR threshold

위의 실험 방식으로 얻은 실험 결과는 위와 같다. 먼저 heatmap 의 각 성분은 y 축 기준 위, x 축 기준 왼쪽부터 2 차 convex~ 8 차 convex 형태와 2 차 concave~8 차 concave 형태이다. Heatmap 에 채워진 값들은 각 형태끼리 충돌했을 때의 SIR threshold 값을 나타낸다.

경향성을 살펴보면, 먼저 대각선 성분의 경향성을 확인할 수 있다. 대각선 성분은 같은 형태의 chirp 끼리 충돌했을 때의 SIR threshold 값으로, energy scattering effect 에 의한 것이다. 함수의 차수가 증가할수록 SIR threshold 값이 0 에 가까워져 성능이 하락하게 되는데, 이는 함수의 형태가 극단적으로 변하게 되며 나타나는 현상으로 보여진다. 또한, 서로 다른 chirp 간의 충돌에서 나타나는 SIR threshold 값은 함수의 형태의 차이가 커짐에 따라 작아지게 된다. 따라서 형태의 차이가 큰 non-linear chirp 으로 network 를 구성했을 때 이러한 방식은 큰 효과를 볼 수 있을 것이라 예상된다.

III. 결론

본 논문에서는 non-linear chirp 의 형태에 따른 성능을 분석하였다. 분석 결과 형태에 따라 서로 간의 상성이 달라짐에 따라 성능이 변화하는 것을 확인할 수 있었고, 이에 의해 네트워크의 성능까지 영향을 미칠 수 있음이 예상된다. 따라서, 성능을 최대한으로 끌어올리는 non-linear chirp 의 형태와 구성을 찾는 방식을 통해 LoRa network 의 throughput 을 증가시키는 후속 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음"

(IITP-2024-2021-0-02048)

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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.