

극다중 IoT 네트워크용 직교주파수도약 다중접속기법

최소연, 장한승, 정방철
충남대학교

soyeonchoi@cnu.ac.kr, jhanseung@gmail.com, bcjung@cnu.ac.kr

Orthogonal Frequency Hopping Multiple Access for Massive IoT Networks

So Yeon Choi, Han Seung Jang, and Bang Chul Jung
Chungnam National University

요약

본 논문은 극 다중 IoT 단말기들의 짧은 길이 패킷 전송을 위한 상향링크 직교주파수도약 다중 접속 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 짧은 길이 패킷에 효과적인 극 부호를 이용하여 데이터를 전송하고 이용 주파수 충돌을 고려한 log-likelihood ratio (LLR) 값 계산법을 이용하여 데이터 복호 성능을 향상시킨다. 또한 제안된 시스템에서 수용가능한 단말기의 수를 제시하여 극 다중 IoT 네트워크에 효과적임을 보인다.

I. 서론

본 논문에서는 극 다중 IoT 단말기들의 짧은 길이 패킷 전송을 위한 상향링크 직교주파수도약 다중접속기법을 제안한다. 제안된 기법은 단말기의 전송채널과 주파수 충돌여부를 판단하기 위하여 태그가 달린 프리앰블을 이용하며 짧은 길이 패킷전송에 적합한 극 부호(polar code) [1]를 패킷 복호에 이용한다. 또한 극 다중 단말 상황에서 발생하는 주파수 충돌문제의 해결을 위해 충돌 발생 상황을 고려한 새로운 log-likelihood ratio (LLR) 계산법을 제안한다.

II. 상향링크 직교 주파수 도약 다중접속시스템

상향링크 직교 주파수 도약 다중접속시스템의 데이터 전송 프레임 구조는 크게 프리앰블영역과 상향링크 데이터 송신을 위한 주파수영역으로 구성된다. 각 단말기들은 프리앰블 영역에 Zadoff-chu(ZC) 시퀀스 기반의 태그가 달린 프리앰블을 전송하고 프리앰블 검출과정에서 충돌이 발생한 단말기 정보, 충돌 주파수의 위치, 채널 정보를 알 수 있다 [2]. 제안하는 시스템은 이용 주파수 간에 서로 충돌이 발생하지 않도록 각 단말기가 미리 할당된 직교 주파수 도약 패턴에 따라 상향 링크 데이터를 전송하는 시스템이지만 단말기의 수가 많아지는 극 다중 IoT 네트워크 상황에서 단말기 간에 직교 주파수 도약 패턴의 충돌이 아래와 같은 확률로 발생 한다 [3].

$$P_c = 1 - \left(1 - \frac{\bar{v}}{N_F}\right)^{M-1} \quad (1)$$

이때 $\bar{v}$ 는 채널 활동인수, N_F 는 직교 주파수의 수, M 은 활성 단말기의 수를 나타낸다. i 번째 단말기의 k 번째 수신 심벌 신호 $y_{i,k}$ 는 아래와 같다.

$$y_{i,k} = \begin{cases} h_{i,k} \sqrt{E_{i,k}} s_{i,k} + n_{i,k} & \text{without HP collisions} \\ h_{i,k} \sqrt{E_{i,k}} s_{i,k} + \sum_{l=1, l \neq i}^L h_{l,k} \sqrt{E_{l,k}} s_{l,k} + n_{i,k} & \text{with an HP collision} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $s_{i,k}$ 는 BPSK 변조를 통해 전송되는 심벌을 나타내고 L 은 동일한 도약 패턴을 가지는 단말기의 수, $s_{l,k}$ ($1 \leq l \leq L$)는 동일한 주파수 도약 패턴을 사용하는 l 번째 단말기의 심벌 신호를 나타낸다. $h_{i,k}$ 는 채널 계수, $E_{i,k}$ 는 전송 심벌 에너지를 나타내며, $n_{i,k}$ 는 열잡음을 나타낸다. i 번째 단말기의 k 번째 심벌에 대한 LLR 계산식은 충돌이 발생하지 않은 경우와 충돌이 발생한 경우로 구분하여 계산하는데 먼저 충돌이 발생하지 않은 상황에서의 LLR 계산식은 다음과 같다.

$$LLR(s_{i,k}) = \ln \left(\frac{\Pr(y_{i,k} | s_{i,k} = +1)}{\Pr(y_{i,k} | s_{i,k} = -1)} \right) = \frac{2h_{i,k} \sqrt{E_{i,k}} y_{i,k}}{\sigma^2} \quad (3)$$

여기서 σ^2 은 열잡음의 분산을 나타낸다. 다음으로 충돌이 발생한 상황에서의 LLR 계산식은 다음과 같다.

$$LLR(s_{i,k}) = \log \frac{\sum_{m=1}^{2^{L-1}} \exp \left\{ -\frac{(y_{i,k} - b_{+1,m})^2}{2\sigma^2} \right\}}{\sum_{m=1}^{2^{L-1}} \exp \left\{ -\frac{(y_{i,k} - b_{-1,m})^2}{2\sigma^2} \right\}} \quad (4)$$

여기서 $b_{+1,m}$ 과 $b_{-1,m}$ 은 각각 $s_{i,k} = +1$ 과 $s_{i,k} = -1$ 이 전송됐을 때 수신된 심벌을 나타낸다. 프리앰블로부터 얻은 충돌 발생 여부에 따라 알맞은 LLR 값을 이용하여 극 부호 패킷 데이터를 복호한다.

III. 실험 및 결론

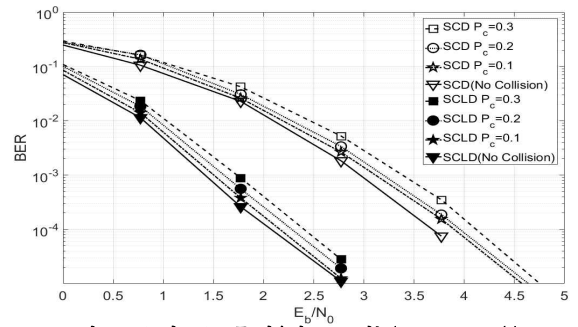


그림 1. SCD와 SCLD를 이용한 BER 성능(K=256, Rc=1/3)

실험에서는 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였고 극 부호의 복호 방법으로는 연속제거 복호(SCD)와 연속제거 리스트 복호(SCLD)를 이용하였다. SCLD에서 리스트의 수는 16으로 설정하였고, CRC비트의 수는 8비트로 가정하였다. 그림 1에서 주파수 충돌확률 P_c 와 E_b/N_0 에 따른 bit error rate (BER) 성능을 보여 준다. SCD의 경우보다 SCLD를 사용했을 때 약 1.7dB의 성능이득을 얻는 것을 확인하였다. 또한 직교 주파수의 수(N_F)를 64, 채널 활동인수($\bar{v}$)를 5%로 가정하고 시스템에서 요구되는 BER 성능이 10^{-4} 일 때, 충돌이 발생하지 않는 ($P_c = 0$) 경우 최대 64개의 단말이 상향 링크 데이터 전송이 가능 하지만 제안된 시스템에서 각 단말기들이 약 0.8dB 에너지를 더 사용한다면 30%의 충돌 상황에서 약 450개의 단말기들이 상향링크 데이터 전송을 할 수 있게 되어 극 다중 IoT 네트워크에 매우 효과적임을 알 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2016R1A2B4014834).

참고 문헌

- [1] E. Arıkan, "Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051-3073, Jul. 2009.
- [2] H. S. Jang, S. M. Kim, H.-S. Park, and D. K. Sung, "An Early Preamble Collision Detection Scheme Based on Tagged Preambles for Cellular M2M Random Access," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 66, no. 7, pp. 5974-5984, July 2017.
- [3] B. C. Jung, S. S. Cho, and D. K. Sung, "Uplink Capacity Improvement Through Orthogonal Code Hopping in Uplink-Synchronized CDMA Systems," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, Vol. 8, No. 11, pp. 5404-5410, Nov. 2009.