

6G 이동통신 시스템의 X-mMTC 를 위한 NOMA 기반 Random Access 에 관한 연구

박소민, 김지하, 박현희, 유철우*
명지대학교 정보통신공학과

thalsi@mju.ac.kr, yaki5896@mju.ac.kr, hhpark@mju.ac.kr, *cwyou@mju.ac.kr

A Study on NOMA-based Random Access for X-mMTC in 6G

Somin Park, Jiha Kim, Hyunhee Park, Cheolwoo You*
Myongji University

Abstract

본 연구에서는 6G 이동통신 시스템 상의 X-mMTC(eXtreme-massive Machine Type Communication)를 위한 랜덤 액세스 (Random Access: RA) 절차 성능 개선을 위해 비직교 다중 접속 (Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA) 기반 RA 를 고려한다. 증가하는 무수히 많은 기기들에 대한 수용 조건과 한정된 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)의 문제를 극복하기 위해 NOMA 를 적용한 RA 절차를 제안하고 이를 기존의 직교 다중 접속 (Orthogonal Multiple Access: OMA) 기반 RA 와 성능을 비교한다. 시뮬레이션 결과를 통해 한정된 자원을 동일하게 이용하였을 때 기존의 기법보다 2-user NOMA 기법을 적용한 RA 가 더 높은 성공률을 보임을 확인하였다. 이를 통해 6G 이동 통신 시스템 상의 X-mMTC 를 위한 RA 절차로 기존의 OMA 보다 NOMA 기반 RA 가 적합함을 알 수 있다.

I. 서론

5G 주요 과제인 mMTC (massive Machine Type Communication)와 URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications)를 만족하기 위해서는 더 많은 기기들과 빠른 통신이 필요하다. 3GPP 에서 제시한 5G mMTC 단말 수용 요구 조건은 1km² 당 100 만 대로, 현재의 랜덤 액세스 (Random Access: RA) 절차로는 해당 조건을 만족하기 어려울 것으로 예상된다[1]. 6G 이동 통신 시스템 상의 X-mMTC (eXtreme-mMTC)의 경우 5G 보다 더 많은 기기들을 수용해야 한다. 따라서 기존의 RA 절차를 유지하면서 동일 시간동안 보다 더 많은 기기들을 연결할 수 있는 방법이 필요하다.

[1]에서는 프리앰블 개수, 프리앰블 최대 재전송 횟수, msg2 window 사이즈 변화에 따른 RA 절차의 성능을 평가하였다. 이 실험 결과에서 위 파라미터들을 변화시키더라도 PDCCH (Physical Downlink Control Channel) 자원이 한정되어 있어 성능 개선에도 한계가 있는 것을 확인할 수 있다. PDCCH 자원이 한정되어 있으므로 Uplink (UL) grant 의 수도 한정되어 있다[2].

본 논문에서는 UL grant 수를 늘리기 위한 방법으로 기존 PDCCH 의 한정된 자원을 보다 효율적으로 이용할 수 있는 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)[3] 기법을 고려한다.

II. 본론

NOMA 는 기지국의 신호 중첩(Superposition) 기술과 수신 기기의 SIC (Successive Interference Cancellation) 기술 사용을 통해 동일 주파수 대역에서 신호의 전력 차이로 단말을 구분할 수 있다. 2-user NOMA 를 RA 에 적용할 경우, 동일 자원을 사용하여 UL grant 를 2 대의 단말에 동시에 전송할 수 있다.

2-user NOMA 를 진행하기 위해 채널 이득의 크기가 일정 dB 이상 차이나는 두 단말을 적절히 페어링해야 한다. 이때 i ($i \in 1, 2$) 번째 단말의 채널 이득 h_i 는 다음 식(1)을 통해 계산할 수 있다. d_i 는 단말과 기지국간의 거리, r_i 는 레일리 페이딩 채널 이득을 의미한다. α 는 경로 손실 계수로, 자유 공간을 가정하여 2로 설정한다.

$$h_i = \sqrt{\frac{r_i}{1 + d_i^\alpha}} \quad (1)$$

페어링된 단말들 중 채널 이득이 더 낮은 단말은 더 큰 전력 p_1 을 할당 받는다. 다른 단말은 p_2 만큼의 전력을 할당 받는다. 여기서, p_1 과 p_2 는 $p_1 > p_2$, $p_1 + p_2 = 1$ 을 가정하였다. 송신되는 중첩 신호 y 는 다음 식(2)으로 표현할 수 있다. 이때 s_1 과 s_2 는 각 단말이 받을 신호를 의미한다.

$$y = \sqrt{p_1}s_1 + \sqrt{p_2}s_2 \quad (2)$$

$$r_i = h_i y + n_i \quad (3)$$

식(3)은 i 번째 단말의 수신 신호이며, 여기서 n_i 는 분산이 σ^2 인 부가 백색 가우스 잡음이다. 1 번째 단말에서는 전력이 약한 s_2 를 잡음으로 간주하고 s_1 를 복호화 한다. 2 번째 단말에서는 전력이 큰 s_1 를 검파하여 수신 신호에서 우선 제거한 후 신호 s_2 를 복호화 한다.

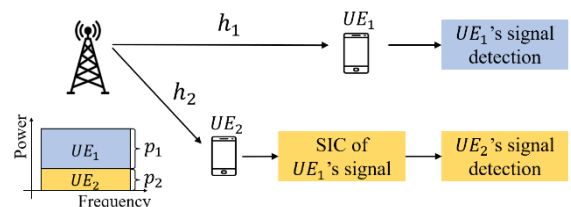


그림 1. Two-user NOMA 개념도

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Setting
Cell bandwidth	10 MHz
PRACH Configuration Index	6
Total number of preambles	54
Maximum number of preamble transmission	10
Number of UL grant per RAR	3
Number of CCEs allocated for PDCCH	16
Number of CCEs per PDCCH	4
Ra-ResponseWindowSize	5 subframes
mac-ContentionResolutionTimer	48 subframes
Backoff indicator	20ms
SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)	10dB

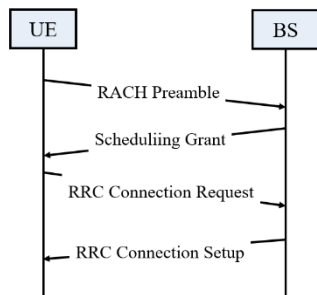


그림 2. RA 기본 절차

III. 모의 실험 결과

본 논문상의 실험들은 TR 37.868 상의 파라미터를 참고하였으며, 대표적인 파라미터는 표 1에 기술하였다 [4]. 10,000~100,000 대의 기기들이 셀 반경 1.5km 내에 랜덤으로 분포되어 있고, 기기들이 10 초동안 베타 분포로 접근하며, 5ms 마다 RA 절차가 이루어진다고 가정하였다. 프리앰블 충돌이 일어나지 않은 기기들 중 채널 이득의 크기가 10dB 이상 차이 나는 두 기기가 페어를 이룬다고 가정하며, 이때 두 기기의 파워는 각각 $p_1 = 0.9$ 와 $p_2 = 0.1$ 로 설정하였다. 그림 2는 본 실험에서 고려한 RA 기본 절차를 도식화한 것이다. 이때 각 지연 시간은 3GPP 표준[5]에서 정의하는 값으로 설정하였다.

일반적으로 PDCCH 자원이 한정되어 있으므로 모든 기기들에게 UL grant를 할당할 수 없는 경우가 빈번히 발생한다. UL grant를 할당 받지 못한 기기는 대기시간을 거친 후 프리앰블을 다시 전송하게 된다. 만일 2-user NOMA RA를 적절히 사용할 경우 동일한 자원으로 UL grant를 2대의 기기에 동시에 줄 수 있으므로 PDCCH 자원을 2배 늘리는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다. 이로 인해 불필요한 재전송이 줄어 RA 절차의 성공률이 향상될 수 있다. 물론 항상 적절한 페어링이 일어나지는 않으므로, 정확히 2배 늘리는 효과를 보여주지는 못한다.

본 논문에서는 12 및 24 개의 UL grant를 할당한 OMA (Orthogonal Multiple Access)와 12 개의 UL grant를 할당한 NOMA를 모의 실험을 통해 비교하였다. 그림 3에 나타난 것처럼, 단말이 RA 절차에서 성공하기까지의 지연 시간은 NOMA를 적용한 경우와 OMA가 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 반면에, 그림 4에서 도시된 것처럼, NOMA를 적용한 경우 OMA에 비해 약 15.25% 더 높은 RA 성공률을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 6G 이동 통신 시스템의 X-mMTC 들의 RA 과정에서 발생할 수 있는 문제점들이 기존 OMA 방식 대신 NOMA 기반 RA를 적용할 때 해결될 수 있다는 가능성을 보여 준다.

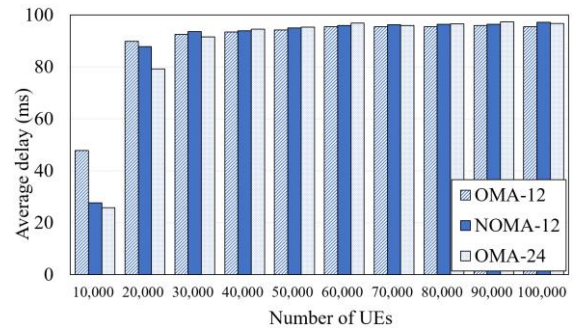


그림 3. 기기 수에 따른 RA 절차 지연 시간

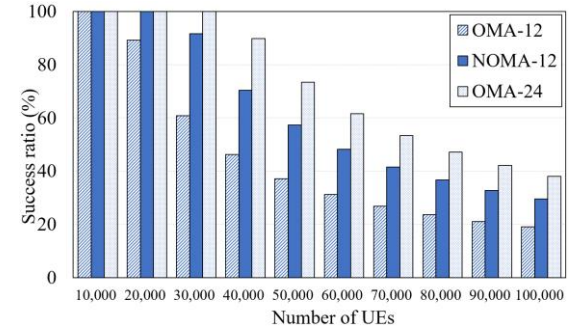


그림 4. 기기 수에 따른 RA 절차 성공률

IV. 결론

본 논문에서는 6G 이동 통신 시스템 상의 X-mMTC를 고려하여, 증가하는 수많은 기기들을 수용하고 한정된 PDCCH의 문제를 극복하기 위해 NOMA를 적용한 RA 절차를 제안하고 이를 기존의 OMA RA와 성능을 비교하였다. 간단한 모의 실험을 통해 한정된 자원을 동일하게 이용하였을 때 기존의 기법보다 2-user NOMA 기법을 적용한 RA가 평균 15.25% 더 높은 성공률을 달성할 수 있음을 확인하였다. 그 결과, X-mMTC의 RA 절차의 중요 후보 기술로 NOMA 기반 RA를 고려할 필요가 있다고 판단되어진다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021R1A2C1005877). 또한, 본 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발)

참고 문헌

- [1] 유승수, 이성형, 신재승, 오성민, 김재현, "IoT 서비스를 위한 LTE-A 랜덤 액세스 절차 성능 평가," 한국통신학회논문지 41.8, pp. 965-973, 2016.
- [2] Leyva-Mayorga, I., Stefanovic, C., Popovski, P., Pla, V., Martinez-Bauset, J., "Random Access for Machine-Type Communications," Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online, pp. 1-21.
- [3] Islam, S. M., Kim, J. M., Kwak, K. S., "On non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 2549-2558, 2015.
- [4] 3GPP TR 37.868, Study on RAN Improvements for Machine-type Communications.
- [5] 3GPP TR 36.912, Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced).