

# 5G mMTC 환경에서 2-pair UE NOMA 를 이용한 sectorization 랜덤 액세스 절차의 성능 비교

김지하, 박소민, 김용호, 유철우, 박현희\*  
명지대학교

{yaki5896, thalsi, yhkim98, cwyou, \*hhpark}@mju.ac.kr

## Performance Comparison of sectorization Random Access Procedures with 2-pair UE NOMA in a 5G mMTC Environment

Jiha Kim, Somin Park, Yongho Kim, Cheolwoo You, Hyunhee Park\*  
Myoungji Univ.

### 요 약

본 논문에서는 5G mMTC 환경에서 하나의 셀을 영역별로 나누고 NOMA를 적용한 랜덤 액세스 절차의 성능을 비교한다. 기지국은 자원 할당을 위해 UE에 의해 전송된 PRACH를 수신할 때 각 영역에 대한 프리앰블의 충돌을 검출한다. 또한, NOMA를 적용함으로써, 하나의 uplink grant는 power 도메인의 관점에서 두 개의 UE에 의해 별도로 사용된다. 시뮬레이션을 통한 성능 비교 결과, UE 수가 10만대일 때 sectorization 및 NOMA를 적용하였을 때 두 기법을 모두 적용하지 않았을 때에 비해 약 0.2467의 성능 향상을 보였다.

### I. 서 론

5G의 KPI 중 하나인 mMTC(massive machine type communication)는 기기 간 자율적인 데이터 통신을 의미하며 데이터 수집 및 전송과 같은 간단한 작업을 수행하는 다수의 무선 장치를 통합한다. 따라서 MTC 장치의 설계는 주로 크기, 비용 및 전력 소비를 줄이도록 설계되어 있다[1].

일반적인 통신 환경과 마찬가지로, MTC 환경의 UE 들은 채널에 접속하여 통신을 수행하기 위해 랜덤 액세스 절차를 수행해야 한다. 그러나 기존의 orthogonal multiple access(OMA)를 사용하는 랜덤 액세스 절차만으로는 mMTC 환경을 커버하기에 충분하지 않다.

이를 위해, power 도메인 측면에서 UE 를 구별하는 non-orthogonal multiple access(NOMA)를 랜덤 액세스에 적용한 non-orthogonal random access(NORA)[2]를 사용한다. NORA의 이점은 전력 영역 측면에서 동일한 프리앰블의 충돌을 다중화할 수 있다. 그러나, 다수의 UE 들이 동시에 접속을 시도할 때 발생하는 프리앰블의 충돌 확률을 감소시키는 것은 불가능하다.

본 논문에서는 프리앰블의 충돌 확률을 줄일 수 있는 sectorization 과 기존의 NOMA 를 이용한 랜덤 액세스 절차를 제안하고, 시뮬레이터 구현을 통해 성능을 분석한다.

### II. 본론

랜덤 액세스의 절차는 프리앰블을 전송하는 MSG 1, uplink grant 를 할당하는 MSG 2, 자원을 요청하는 MSG 3, 자원 요청을 수락하는 MSG 4 의 절차로 진행된다. 여기서 NOMA를 적용할 경우 MSG 2에 해당하는 uplink

grant 를 2 개의 UE 가 동일한 grant 를 할당 받을 수 있다.

랜덤하게 분산된 UE 들은 3GPP TR 37.868[3]에 명시된 트래픽 모델 2 에 따라 랜덤 액세스 절차를 수행하게 된다. 식 (1)은 트래픽 모델 2에서 시간에 따라 접근하는 분포를 나타낸다. 여기서  $\alpha$ 와  $\beta$  값은 각각 3, 4 로 설정한다.  $T$ 는 랜덤 액세스 절차를 수행하기 위해 PRACH (physical random access channel)를 전송하는 슬롯의 수를 의미하며  $t \in T$ 가 된다.

$$p(t) = \frac{t^{\alpha-1}(T-t)^{\beta-1}}{T^{\alpha+\beta-1}\text{Beta}(\alpha, \beta)} \text{ where } \alpha > 0, \beta > 0 \quad (1)$$

UE 들은 셀 반경 500m 내에 랜덤하게 분포되며, NOMA 가 적용되는 환경을 위해 기지국으로부터 35m 외에 분포한다.

5G NR 통신 시스템은 기존 LTE-A 시스템과 달리 프레임 단위로 전송한다. 프레임 내에 존재하는 특정 서브 프레임을 PRACH 로 전송하는 방식으로 랜덤 액세스 절차를 수행한다.

### III. 시뮬레이션 결과

랜덤 액세스 절차상에 필요한 파라미터는 3GPP TR 37.868 표준 문서[3]를 참고하여 표 1과 같이 정의한다. 표 1 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Total number of preambles	54
Total number of UL grants per RAR	12
Maximum number of preamble transmission	10
RA-Response window size	5ms
Contention Resolution timer	48ms
Backoff indicator	20ms
SNR	12dB
NOMA 2-pair UE failed probability ( $p$ )	30%
Number of sectors	6

본 논문의 실험에서 2-pair UE 의 실패 확률은 SNR 이 12dB 라는 것을 가정으로 30%의 확률로 설정한다. 2-pair UE 의 실패는 중첩된 신호를 수신한 UE 들 중 하나의 UE 가 NOMA 검출이 불가능한 경우를 의미한다. 이는 시뮬레이션에서 두 개의 UE 중 랜덤 한 하나의 UE 에만 uplink grant 를 할당하는 것으로 구현한다.

식 (1)과 (2)의  $NSP_{collision}$ ,  $SP_{collision}$  은 각각 sectorization 을 수행하지 않을 때와 했을 때의 프리앰블 충돌 확률을 나타낸다.  $N_{preamble}$  은 사용할 수 있는 프리앰블의 수,  $N_{sector}$  분할된 영역의 수를 의미한다.  $UE_t$  는 시간  $t$  에서 접근을 시도하는 UE 들의 수를 의미한다.

$$NSP_{collision} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{N_{preamble}} \right)^{UE_t-1} \right) \quad (2)$$

$$SP_{collision} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{N_{preamble} * N_{sector}} \right)^{UE_t-1} \right) \quad (3)$$

랜덤 액세스 절차상의 메시지 처리시간 및 전파 지연시간의 정보는 3GPP TR 36.912[4]의 값을 적용하여 그림 2 와 같이 정의한다.

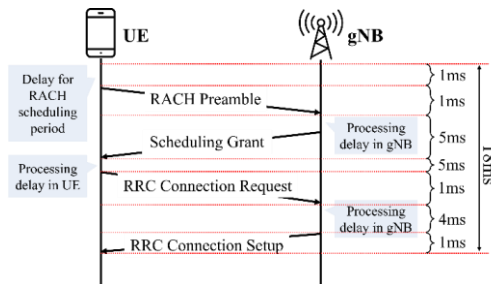


그림 1. 절차에 따른 지연시간 정의

랜덤 액세스 절차가 프리앰블의 충돌 없이 한 번에 진행될 경우의 최종 지연시간은 18ms 으로 설정된다.

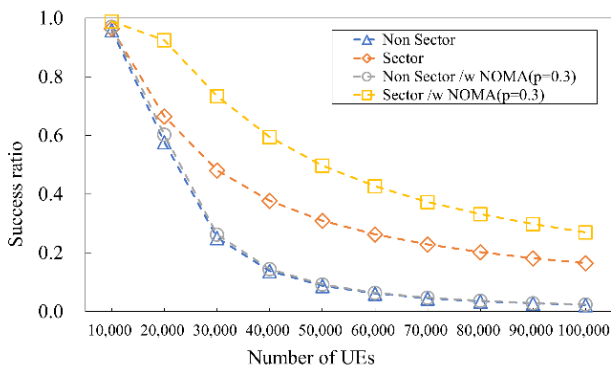


그림 2. Sectorization 과 NOMA 적용에 따른 성공률

본 논문의 실험에서는 영역의 수를 6 으로 설정하여 실험을 진행한다. 그림 3 은 UE 수에 따른 랜덤 액세스 절차를 수행한 결과를 보여준다. 실험 결과 sectorization 의 경우 성공률은 없는 경우보다 NOMA 를 적용하지 않았을 때와 했을 때 각각 평균 0.1631, 0.3165 증가하는 것을 보인다. 또한 UE 의 수가 10 만대 일 때 약 0.2467 의 성능 향상을 보인다.

Sectorization 을 적용했을 때 성공률이 높아지는 이유는 전체적인 프리앰블의 충돌 확률이 작기 때문이다. 프리앰블의 충돌은 영역별로 검출될 수 있으므로, 동일한 프리앰블을 선택하더라도 서로 다른 영역에 속하는 UE 들에게 uplink grant 가 부여될 수 있다. 또한 NOMA 를 적용할 경우 성공률이 증가하는 것은 줄어든 프리앰블 충돌 확률에 의해 두 개의 UE 가 하나의

uplink grant 를 동시에 받을 수 있으므로 MSG 2 의 성공 확률이 증가하기 때문이다.

Sectorization 이 없는 경우는 uplink grant 의 자원의 수가 고정되어 프리앰블의 충돌이 없더라도 권한을 할당할 수 있는 UE 의 수가 제한되기 때문에 성공률에 차이가 없다.

따라서, 랜덤 액세스 절차의 성공률은 uplink grant 의 총 수와 프리앰블의 충돌 확률에 따라 결정되는 것으로 보인다. 하지만 그림 4 와 같이 평균 지연시간의 경우 NOMA 를 적용할 경우 이를 위한 전 처리 시간이 추가되어 증가하는 것으로 보인다.

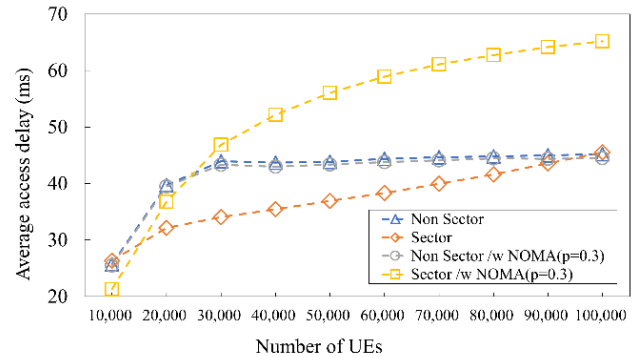


그림 3. Sectorization 과 NOMA 적용에 따른 지연시간

#### IV. 결론

본 논문에서는 5G mMTC 환경에서 랜덤 액세스 절차의 성능 향상을 위한 sectorization 과 NOMA 를 적용한 시뮬레이션 결과를 비교한다. sectorization 과 NOMA 를 적용한 경우 약 0.2467 의 성능 향상을 보이는 반면 평균 접근 지연시간은 약 20ms 더 증가하는 결과를 보인다. 하지만 실험 결과에는 sectorization 에 따른 안테나 간섭을 고려하지 않았으므로 실제 성능과는 차이가 있다.

본 논문의 향후 연구 계획으로 안테나 간섭이 반영된 성능 평가를 진행한다. Sectorization 을 적용할 때는 다른 영역에 영향이 없도록 안테나의 송출범위를 작게 주어야 하지만 이는 다른 셀에 간섭으로 작용한다. 그렇기 때문에 송출범위를 줄이는 것에는 한계가 있다. 따라서 송출범위를 최적화하여 셀 내에서 안테나 간섭을 줄일 수 있는 기법을 연구할 계획이다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00990, 설명가능한 인공지능 기반 무선랜 네트워크 시스템 고도화 핵심 기술 연구, No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발)

#### 참 고 문 헌

- [1] Leyva-Mayorga, I., Stefanovic, C., Popovski, P., Pla, V., Martinez-Bauset, J. "Random Access for Machine-Type Communications," 2019, Wiley 5G Ref: The Essential 5G Reference Online, pp. 1-21.
- [2] Liang, Y., Li, X., Zhang J., Ding, Z. "Non-orthogonal random access for 5G networks," IEEE Transactions on Wireless Communications '16, pp. 4817-4831, Jul. 2017.
- [3] 3GPP TR 37.868, *RAN Improvements for Machine-type Communications*, (Release 10)
- [4] 3GPP TR 36.912, *Further Advancements for E-UTRA*, (Release 17)