

5G 네트워크에서 랜덤 빔-스위칭을 활용한 랜덤액세스 방법

원준우, 김경민, 이태진

성균관대학교 정보통신대학

{jw.won, sisrla, tjlee}@skku.edu

Random Access with Enhanced Beam-Switching in 5G Networks

Jun-Woo Won, Kyoung Min Kim, and Tae-Jin Lee

College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요약

본 논문에서는 5G 네트워크에서 빔-스위핑과 빔-스위칭 기법을 활용한 효율적인 랜덤액세스 방법을 제안한다. 제안방법에서 사용자단말은 빔-스위핑 기법으로 프리앰블 메시지를 전송하고, 랜덤한 순서의 빔-스위칭 기법으로 Msg3를 전송한다. 또한, Msg3 전송 과정에서 충돌이 발생할 경우, 프리앰블 재전송부터 시작하는 기존 재접속 절차와 달리 Msg3 재전송을 통해 충돌을 회피함으로써 재접속 절차를 간소화 할 수 있다. 제안 랜덤액세스 절차를 통해 Msg3 전송 과정에서 발생하는 충돌 문제를 완화시켜 사용자단말의 평균 접속 지연시간과 사용자단말이 전송하는 메시지 수를 줄여 평균 에너지 소모량을 줄일 수 있다.

I. 서론

URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communication)을 지향하는 5G 네트워크에서는 밀리미터파(Millimeter Wave) 대역의 주파수를 사용하며, 고주파 신호의 높은 경로손실(Path Loss)을 극복하기 위하여 빔포밍(Beamforming) 기술을 사용하고 있다. 빔의 좁은 커버리지 특성을 고려했을 때, 빔포밍 기술을 통해 사용자단말과 기지국이 데이터를 교환하기 위해서는 사용자 단말이 기지국에 접속을 시도하는 랜덤액세스(Random Access Channel) 과정에서 서로에게 맞는 빔 각도를 찾는 빔-정렬(Beam-Alignment) 과정이 요구된다 [1]. 현재 3GPP 표준에서는 기지국과 사용자단말 사이의 빔을 정렬하기 위해 빔을 각도별로 연속 전송하는 빔-스위핑(Beam-Sweeping) 기술과 빔을 조건에 따라 순차적으로 전송하는 빔-스위칭(Beam-Switching) 기술을 제안하고 있다.

빔포밍 기술을 사용하는 5G 네트워크에서 기존 랜덤액세스 절차의 경우, 기지국의 동기신호블록(SSB, Synchronization Signal Block)을 받은 사용자단말이 임의의 프리앰블을 선택하고 고정된 순서의 빔-스위칭 기술을 사용해 선택한 프리앰블 메시지를 전송한다. 프리앰블 메시지를 전송한 후 응답시간 내에 기지국으로부터 RAR(Random Access Response) 메시지를 수신할 경우, 사용자단말은 해당 프리앰블 메시지를 전송할 때 사용한 빔을 최적의 상황-링크 빔으로 결정하고 해당 빔을 사용해 Msg3(Connection Request)를 전송한다. 사용자단말이 기지국으로부터 자신이 전송한 Msg3에 해당하는 Msg4(Contention Resolution)를 수신할 경우 랜덤액세스 및 빔-정렬 과정이 정상적으로 종료된다 [2].

기존 랜덤액세스 절차에서, 사용자단말이 선택하는 프리앰블들은 직교(Orthogonal) 성질을 갖기 때문에 서로 다른 프리앰블을 선택한 사용자단말들이 선택한 프리앰블을 동일한 시간에 전송하더라도 메시지 충돌은 발생하지 않는다 [2]. 하지만, 기지국은 동일한 프리앰블 메시지들을 동시에 수신할 경우 해당 프리앰블 메시지들을 구분할 수 없으며, 복수의 프리앰블에 대한 하나의 RAR 메시지만을 전송한다. 중복된 프리앰블을 선택한 사용자단말들은 기지국이 전송한 RAR 메시지로부터 동일한 자원을 할당받게 되며, 동일한 자원을 사용하여 Msg3를 전송하게 되어 메시지 충돌이 발생한다. Msg3를 전송한 후, 메시지 충돌로 인해 응답시간 내에 Msg4를 받지 못한 사용자단말들은 충돌을 회피하기 위해 새로운 프리앰블을 선택하고 프리앰블 메시지 전송단계부터 재접속 절차를 시작한다.

빔포밍을 사용하는 5G 네트워크에서, 기존 랜덤액세스 절차는 다수의 사용자단말들이 동일한 프리앰블을 선택하는 경우 Msg3 충돌을 회피할 수 없다. 또한, Msg3 충돌이 발생할 경우 사용자단말은 새로운 프리앰블을 선택해야만 충돌을 회피할 수 있기 때문에 재접속 절차에서 불필요한 메시지 전송 과정이 많아진다. 이에 따라, 본 논문에서는 사용자단말이 빔-스위핑 기법으로 프리앰블 메시지를 전송하고, 랜덤한 순서의 빔-스위칭 기법으로 Msg3를 전송하는 랜덤액세스 절차를 제안한다. 이를 통해, 각 사용자단말들이 최적의 상황-링크 빔으로 Msg3를 서로 다른 시간에 전송할 수

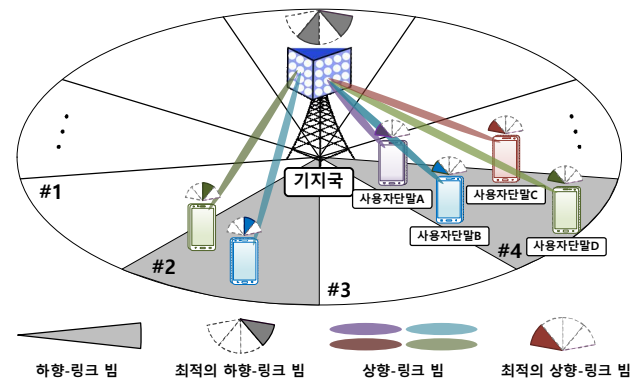


그림 1. 빔포밍 기술을 사용하는 5G 네트워크의 구성 예시

있으며, 다수의 사용자단말이 동일한 프리앰블을 선택한 경우에도 충돌 없이 Msg3를 전송할 수 있다. 또한 제안 랜덤액세스 절차에서 Msg3 충돌이 발생할 경우, 사용자단말은 빔-스위칭에 사용할 새로운 랜덤 빔 순서를 정하여 Msg3 충돌을 회피할 수 있기 때문에 새로운 프리앰블을 선택하지 않고 Msg3를 재전송함으로써 재접속 절차를 간소화할 수 있다. 이를 통해, 사용자단말의 평균 접속 지연시간과 사용자단말이 전송하는 메시지 수를 줄임으로써 평균 에너지 소모량을 줄일 수 있다.

II. 제안 랜덤액세스 동작

그림 1은 제안 랜덤액세스 절차를 수행하는 5G 네트워크 구성의 예시이다. 네트워크는 하나의 기지국과 랜덤액세스 절차를 통해 기지국으로 접속을 시도하는 다수의 사용자단말로 구성되어 있다.

제안 절차에서, 사용자단말들은 기지국의 동기신호블록을 받은 이후 임의의 프리앰블을 정하고 빔-스위핑을 통해 선택한 프리앰블을 연속적으로 전송한다. 그림 2는 제안 랜덤액세스 절차와 재접속 절차의 동작 예시를 보여준다. 사용자단말들의 프리앰블을 수신한 기지국은 수신한 프리앰블들에 대한 자원 정보를 담은 RAR 메시지를 통해 응답한다. 자신이 전송한 프리앰블에 대한 RAR 메시지를 받은 사용자단말들은 랜덤 빔 순서를 정하고, 빔-스위칭 방식을 통해 Msg3를 전송한다. 사용자단말A와 사용자단말B는 서로 다른 프리앰블(#27, #32)을 선택하여 기지국으로부터 서로 다른 자원을 할당받아 Msg3를 전송하게 되어 메시지 전송 간 충돌이 발생하지 않는다. 사용자단말A와 사용자단말B의 Msg3를 수신한 기지국은 Msg4를 전송하며, Msg4를 수신한 사용자단말A와 사용자단말B는 랜덤액세스 과정을 정상적으로 종료한다. 사용자단말B, 사용자단말C와 사용자단말D는 동일한 프리앰블(#32)을 선택하고 랜덤액세스 절차를 진행한다. 사용자단말B의 경우 사용자단말C, 사용자단말D와 다른 시점에 최적의 상황-링크 빔으로 Msg3를 전송하여 충돌이 발생하지 않으며, Msg4를 받아 랜덤액세스 과정을 종료한다. 반면, 사용자단말C와 사용자단말D의

표 1. 시뮬레이션 파라미터 [3], [4]

Parameter	Value	Parameter	Value
사용자단말 수(N_{UE})	0 ~ 1000	Msg4 전송 시간(T_{Msg4})	1ms
사용자단말의 빔 수(B_{UE})	3~12	프리앰블 처리 시간(T_{PD})	$(B_{UE}-1)ms$
최대 재전송 횟수(L)	4	랜덤 빔 순서 결정 처리 시간(T_{SC})	2ms
프리앰블 전송 시간(T_{Pre})	1ms	RAR 응답 대기 시간(W_{RAR})	4ms
RAR 전송 시간(T_{RAR})	1ms	Msg4 응답 대기 시간(W_{Msg4})	32ms
Msg3 전송 시간(T_{Msg3})	3ms	사용자단말의 최대 출력(P_{Max})	23dBm

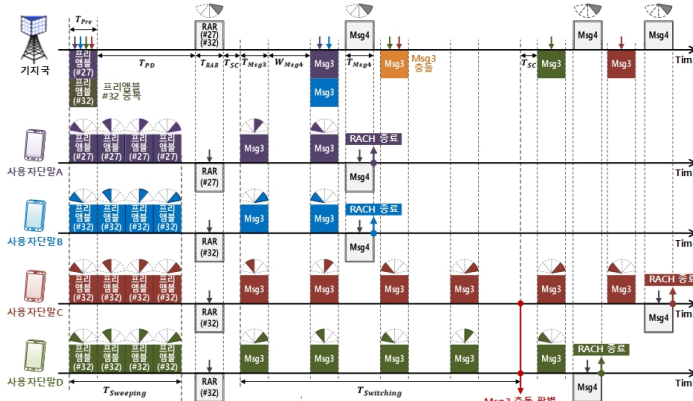


그림 2. 제안 랜덤액세스 절차 동작 예시

경우 같은 시점에 최적의 상향-링크 빔으로 Msg3를 전송하여 충돌이 발생하며 모든 각도로 빔-스위칭을 하였음에도 불구하고 기지국의 Msg4를 수신하지 못하게 된다. 응답시간 내에 Msg4를 수신하지 못한 사용자단말 C와 사용자단말 D는 프리앰블 중복 및 Msg3 충돌을 인지하게 되며, 빔-스위칭에 사용할 새로운 빔 순서를 정하고 Msg3를 재전송한다. 변경된 랜덤 빔 순서를 통해 Msg3를 충돌 없이 전송한 사용자단말 C와 사용자단말 D는 기지국으로부터 Msg4를 수신하며, 정상적으로 랜덤액세스 절차를 종료한다.

III. 성능 평가

본 발명에서 제안 랜덤액세스 절차의 성능을 확인하기 위해 사용자단말과 기지국을 네트워크 구성에 맞게 배치하고, 사용자단말 수에 따른 Msg3 충돌 확률과 평균 네트워크 접속 지연시간을 시뮬레이션을 통해 측정하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 파라미터이다. 기지국은 원점에 위치하며 사용자단말은 기지국을 중심으로 균등한 분포로 배치하였다.

그림 3은 사용자단말 수에 따른 네트워크 평균 접속 지연시간을 나타낸 그래프이다. 기존 랜덤액세스 절차 및 제안 랜덤액세스 절차 모두 사용자단말의 수가 늘어날수록 프리앰블 및 Msg3의 충돌 빈도가 높아져 평균 접속 지연시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 사용자단말의 수가 적어 사용자단말들이 하나의 프리앰블을 중복적으로 선택할 확률이 낮은 경우, 프리앰블에 비해 긴 전송시간을 가지는 Msg3를 빔-스위칭을 통해 전송하는 제안 절차의 접속 지연시간 성능이 기존 절차에 비해 낮아질 수 있다. 반면, 사용자단말의 수가 많아질 경우 사용자단말들이 프리앰블을 중복적으로 선택할 확률이 높아지며, 제안 절차에서는 프리앰블 중복 상황에서 Msg3를 충돌 없이 전송할 수 있어 평균 접속 지연시간 성능이 좋아진다.

그림 4는 제안 절차에서 사용자단말이 사용하는 빔의 수에 따라 데이터를 전송하는데 소모되는 평균 전력 소비를 나타낸 그래프이다. 제안 절차에서 사용자단말이 사용하는 빔의 수가 적을 경우, Msg3 전송 과정에서 충돌이 많아지게 되고 사용자단말이 전송하는 메시지의 수가 증가한다. 반면, 사용자단말이 사용하는 빔의 수가 많을 경우 Msg3 충돌을 회피할 수 있지만, Msg3 전송 과정에서의 빔-스위칭 횟수가 많아져 사용자단말이 전송하는 메시지의 수가 증가한다. 이에 따라, 사용자단말 수에 따라 사용할 최적의 빔의 수를 결정할 수 있으며, 해당 시뮬레이션 결과를 통해 에너지 효율을 높이기 위한 사용자단말 수에 따른 최적의 상향-링크 빔의 수를 구할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 랜덤액세스 절차에서 사용자단말이 랜덤한 순서의 빔-스위칭을 통해 Msg3를 전송함으로써 충돌을 완화하고, Msg3 충돌에 의한 재접속 절차를 간소화함으로써 사용자단말이 전송하는 메시지 수를 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 제안 랜덤액세스 절차를 통해 다수의 사용자단말로 구성된 네트워크에서 사용자단말의 평균 접속 지연시간을 단축시키고 평균 소비전력을 감소시킬 수 있다.

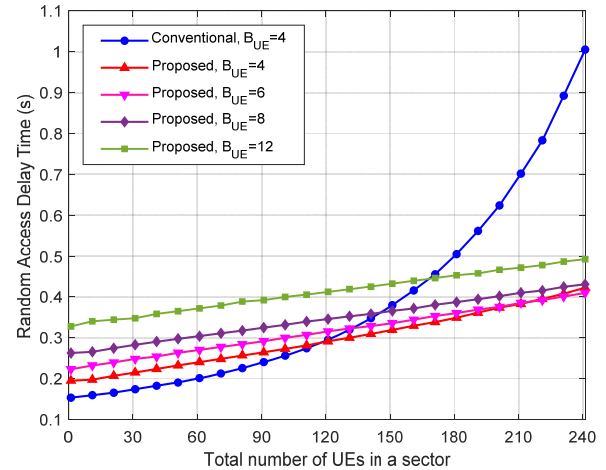


그림 3. 사용자단말 수에 따른 네트워크 접속 지연시간

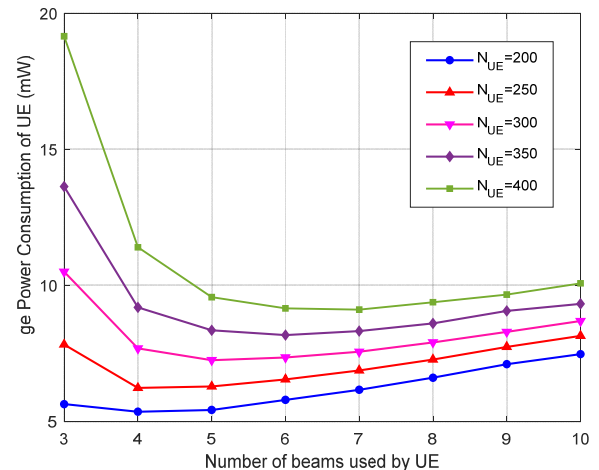


그림 4. 사용자단말의 빔의 수에 따른 소비전력

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A5A1011478)

참고 문헌

- [1] M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor, and M. Zorzi, "A Tutorial on Beam Management for 3GPP NR at mmWave Frequencies," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 173–196, Feb. 2019.
- [2] 3GPP TR 38.912 v16.0.0, "Study on New Radio (NR) access technology (Release 16)," Jul. 2020.
- [3] A. Yadav, O. A. Dobre, and N. Ansari, "Distributed energy and resource management for full-duplex dense small cells for 5G," in *Proc. of 2017 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 133–139, Jun. 2017.
- [4] Y. Liang, X. Li, J. Zhang, and Z. Ding, "Non-Orthogonal Random Access for 5G Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 7, pp. 4817–4831, Jul. 2017.