

5G 네트워크에서 빔-스위칭 기술을 활용한 효율적인 랜덤액세스 방법

원준우*, 김경민*, 이태진°

Enhanced Random Access Process Using Beam-Switching Techniques in 5G Networks

Jun-Woo Won*, Kyoung Min Kim*,
 Tae-Jin Lee°

요 약

빔포밍 기술을 사용하는 기존 랜덤액세스 절차에서 단말은 빔-스위칭 방법으로 프리앰블 메시지를 전송하고, 프리앰블 메시지 전송 과정에서 결정된 최적의 상향링크 빔으로 연결요청 메시지를 전송한다. 기존 절차에서 다수의 단말이 동일한 프리앰블을 선택해 같은 자원을 할당받을 경우, 연결요청 메시지 전송 과정에서 충돌을 회피할 수 없으며 다른 자원을 할당받기 위해 새로운 프리앰블을 전송하는 과정부터 재접속 절차를 시작하게 된다. 본 논문에서는 단말이 랜덤 빔-스위칭 방법으로 프리앰블 메시지를 전송하고, 랜덤 빔-스위칭 방법으로 연결요청 메시지를 전송하면서 최적의 상향링크 빔을 결정하는 개선된 랜덤 액세스 방법을 제안한다. 제안 랜덤액세스 절차는 랜덤 빔-스위칭 방법을 통해 최적의 상향링크 빔으로 연결 요청 메시지가 전송되는 시점을 분리할 수 있기 때문에 다수의 단말이 동일한 자원을 할당받더라도 연결요청 메시지 충돌을 회피할 수 있다. 또한, 충돌이 발생하더라도 새로운 빔-스위칭 순서로 연결요청 메시지를 전송하여 재접속 과정을 시작할 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안 랜덤액세스 방법에서 네트워크의 접속 지연시간을 감소시키는 것을 확인하였다.

Key Words : 5G Network, Random Access, Beamforming, Beam-Sweeping, Beam-Switching

ABSTRACT

In a conventional Random Access (RA) process which uses the beamforming techniques, User Equipments (UEs) transmit preamble messages through a beam-switching method, and the Connection Request (Msg3) message through an optimal up-link beam determined during the preamble message transmission. In the conventional process, UEs cannot avoid a Msg3 collision when they select the same preamble and transmit the Msg3 at the same resource with the other UEs. Furthermore, perceiving the Msg3 collision, UEs perform a re-access procedure from selecting a new preamble to transmit the Msg3 at other resources. In this paper, we propose an enhanced RA process, which transmits preamble messages through a random beam-sweeping method and Msg3 through a random beam-switching method. In the proposed process, UEs which have selected the same preamble can avoid the Msg3 collision since they can transmit the optimal up-link beam containing the Msg3 at different times. Additionally, for the message collision, UEs perform the re-access procedure from the Msg3 retransmission since the Msg3 collision can be avoid by changing the beam-switching sequence. We confirm the performance of the proposed RA process by the simulation.

1. 서 론

밀리미터파(Millimeter Wave)를 사용하는 5G 네트워크는 고주파 신호의 높은 경로손실(Path Loss)을 극복하기 위해 빔포밍(Beamforming) 기술을 사용한다.

* 본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A5A1011478)

• First Author : Sungkyunkwan University, Department of Electrical and Computer Engineering, jw.won@skku.edu, 학생(석사), 학생회원
 ° Corresponding Author : Sungkyunkwan University, College of Information and Communication Engineering, tjlee@skku.edu, 정교수, 중신회원

* Sungkyunkwan University, Department of Electrical and Computer Engineering, sisrla@skku.edu, 학생(박사), 학생회원
 논문번호 : 202009-231-A-LU, Received September 21, 2020; Revised November 4, 2020; Accepted November 5, 2020

빔포밍 기술은 매우 좁은 커버리지 특성을 갖기 때문에 단말(UE, User Equipment)과 기지국(gNB, gNodeB)은 서로에게 맞는 빔 각도를 찾는 빔-정렬(Beam-Alignment) 과정을 랜덤액세스(RA, Random Access) 과정에서 수행하여야 한다^[1]. 3GPP 표준에서는 단말과 기지국의 빔-정렬을 위해 빔을 각도별로 연속 전송하는 빔-스위핑(Beam-Sweeping) 방법과 응답 메시지 수신 여부에 따라 빔을 순차적으로 전송하는 빔-스위칭(Beam-Switching) 방법을 제안하고 있다^[2].

랜덤액세스 절차에서, 단말은 데이터를 전송할 자원을 할당받기 위해 64개의 프리앰블(Preamble) 중 임의의 프리앰블을 선택해 기지국으로 전송한다. 프리앰블들은 서로 직교(Orthogonal) 성질을 가지고 있기 때문에 다수의 단말들이 서로 다른 프리앰블을 선택하고 동시에 전송하더라도 기지국은 각각의 프리앰블 메시지들을 충돌 없이 수신할 수 있다. 하지만 다수의 단말이 동일한 프리앰블을 선택해 랜덤액세스 절차를 진행할 경우, 해당 단말들은 중복된 자원을 할당 받게 되어 연결요청 메시지(Msg3, Connection Request Message) 전송과정에서 충돌이 발생하게 된다^[3,4]. 따라서, 기존 랜덤액세스 절차에 참여하는 단말의 수가 많아질수록 메시지 충돌 확률은 증가하게 되며, 재접속 절차를 수행하는 단말들의 수가 증가하기 때문에 네트워크의 접속 지연시간이 늘어나게 된다.

최근, 랜덤액세스 절차의 접속 지연시간을 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. [5]에서는 단말들의 경쟁을 완화하기 위해 1단계 랜덤액세스 과정에서 단말들을 그룹화하고 2단계 랜덤액세스 과정에서 각 단말들에게 자원을 할당한다. 이 방법은, 단말들을 그룹화하여 랜덤액세스를 진행하기 때문에 네트워크에 단말의 수가 많을 경우 충돌 빈도를 줄여 네트워크 접속 지연시간을 줄일 수 있지만, 2번의 랜덤액세스 절차를 진행하기 때문에 단말의 수가 적은 네트워크에서는 효율적이지 않다. [6]에서는 단말들이 제안방법에 따라 랜덤한 카운터를 설정해 Msg3를 전송한다. 이 방법은 단말들이 동일한 프리앰블을 선택하더라도 재접속 절차 없이 Msg3를 전송할 수 있어 접속 지연시간을 줄일 수 있지만, Msg3를 카운터 이후 전송하기 때문에 단말들이 프리앰블을 중복으로 선택하지 않을 경우 기존 랜덤액세스 절차에 비해 지연시간이 길어진다.

본 논문에서는 빔포밍 기술의 특성을 이용해 Msg3 전송과정에서의 충돌 확률을 줄이고, 네트워크 접속 지연시간을 효율적으로 줄일 수 있는 개선된 랜덤액세스 방법을 제안한다. 제안 절차에서 단말은 랜덤 빔-

스위핑 방법으로 프리앰블 메시지를 전송하고 랜덤 빔-스위칭 방법으로 Msg3를 전송한다. 또한, 제안 방법의 효율을 높이기 위해 Msg3 전송과정에서 충돌이 발생할 경우, 빔-스위칭 순서를 변경하고 Msg3 재전송 과정부터 시작하는 재접속 절차를 제안한다. 제안 랜덤액세스 방법을 통해 단말의 Msg3 충돌 확률을 줄이고 Msg3 충돌이 발생했을 때의 재접속 과정을 간소화 할 수 있으며, 이를 통해 네트워크의 접속 지연시간을 줄일 수 있다.

II. 기존 랜덤액세스 동작

그림 1은 빔포밍 기술을 사용하는 5G 네트워크에서의 기존 랜덤액세스 절차를 나타낸다. 랜덤액세스 절차는 단말이 기지국으로부터 동기신호블록(SSB, Synchronizaion Signal Block)을 받은 후 시작되며, 다음과 같은 메시지 교환 과정을 거친다. 가장 먼저, 단말은 임의의 프리앰블을 선택하고, 최적의 상향링크 빔을 찾기 위해 프리앰블 메시지를 빔-스위칭 방법을 통해 기지국으로 전송한다. 기지국으로부터 응답 시간 내에 랜덤액세스 응답(RAR, Random Access Response) 메시지를 수신한 단말은 할당 받은 자원을 확인하고 직전 프리앰블 메시지를 전송할 때 사용한 빔을 최적의 상향링크 빔으로 결정한다. 이후, 단말은 최적의 상향링크 빔으로 Msg3를 전송하며, 응답 시간 내에 경합해결 메시지(Msg4, Contention Resolution Message)를 수신할 경우 랜덤액세스 과정을 정상적으로 종료한다. 반면, Msg3 충돌로 인해 응답시간 내에 Msg4를 수신하지 못한 단말은 새로운 자

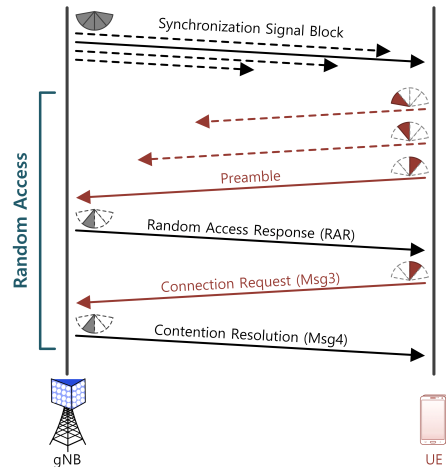


그림 1. 기존 랜덤액세스 절차
Fig. 1. Conventional Random Access Procedure

원을 할당 받기 위해 프리앰블 선택 과정부터 재접속 절차를 시작한다. 이 때, 단말이 Msg3를 전송할 때 충돌이 발생할 확률($P_{C,C}$)은 단말이 선택할 수 있는 프리앰블의 수와 단말의 수에 따라 결정되며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{C,C} = 1 - \left(\frac{N_{Pre} - 1}{N_{Pre}} \right)^{(N_{UE} - 1)} \quad (1)$$

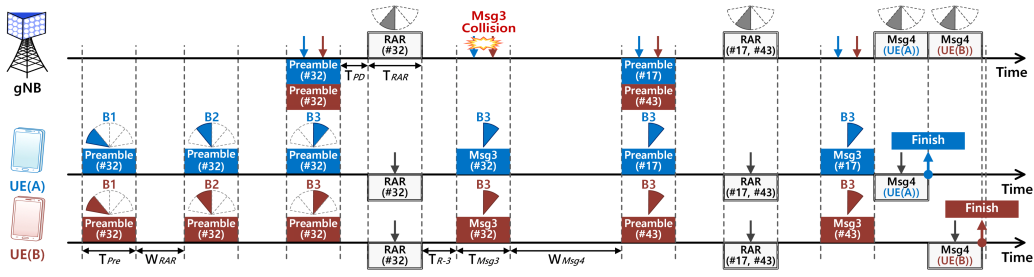
여기서, N_{Pre} 는 단말이 선택할 수 있는 프리앰블의 수, N_{UE} 는 랜덤액세스 절차에 참여하는 단말의 수를 의미한다.

그림 2의 (a)는 재접속 절차가 포함된 기존 랜덤액세스 절차의 동작 예시이다. 단말A와 단말B는 동일한 프리앰블(#32)을 선택하고 빔-스위칭 방법을 통해 프리앰블 메시지를 전송한다. 3번째 빔-스위칭 과정에서 기지국의 RAR을 받은 두 단말은 최적의 상향링크 빔을 B3로 결정하고 최적의 상향링크 빔으로 Msg3

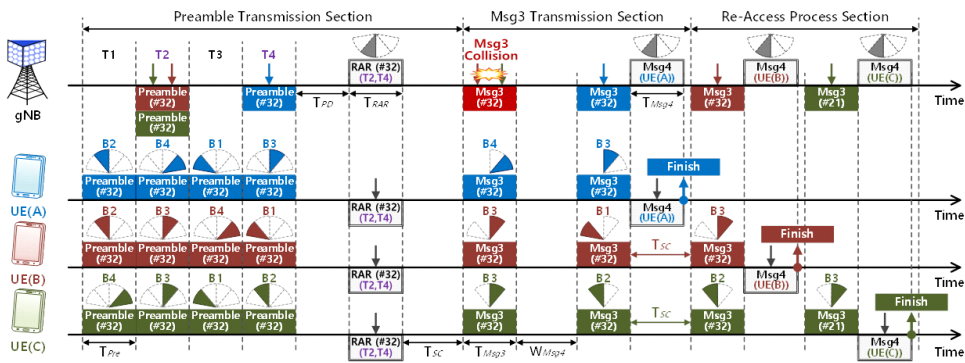
를 전송한다. 동일한 프리앰블을 선택한 두 단말은 Msg3 전송 과정에서 충돌이 발생하며, 충돌로 인해 응답시간(W_{Msg4}) 내에 Msg4를 수신하지 못한 두 단말은 새로운 프리앰블(단말A는 프리앰블 #17, 단말B는 프리앰블 #43)을 선택하고 재접속 절차를 시작한다. 재접속 절차에서 서로 다른 프리앰블을 선택한 두 단말은 Msg3를 충돌 없이 전송하며, 기지국으로부터 Msg4를 수신한 후 랜덤액세스 절차를 종료한다.

III. 제안 랜덤액세스 동작

그림 2의 (b)는 제안 랜덤액세스 절차에서 동일한 프리앰블을 선택한 단말들이 4개의 빔을 사용하고, 기지국이 프리앰블 수신 시간을 4개의 구간으로 구분했을 때의 동작 예시를 보여준다. 제안 절차는 프리앰블 전송 단계, Msg3 전송 단계, Msg3 충돌에 따른 재접속 절차 단계로 구분된다.



(a) 기존 랜덤액세스 절차 ($B_{UE} = 4$)
(a) Conventional random access process ($B_{UE} = 4$)



(b) 제안 랜덤액세스 절차 ($B_{UE} = 4, D_{g,NB} = 4$)
(b) Proposed random access process ($B_{UE} = 4, D_{g,NB} = 4$)

그림 2. 랜덤액세스 절차 동작 예시
Fig. 2. Example of random access process

3.1 랜덤 빔-스위핑을 통한 프리앰블 전송

제안 절차에서, 단말은 랜덤한 순서를 결정하고 빔-스위핑 방법을 통해 프리앰블 메시지를 전송한다. 기지국은 프리앰블을 수신한 시점을 측정하고 해당 정보를 RAR 메시지에 포함시켜 전송한다. RAR 메시지를 수신한 단말은 자신이 전송한 빔 순서와 기지국이 프리앰블을 수신한 시점과 일치하는 빔만을 최적의 상향-링크 빔 목록(Optimal Up-link Beam List)으로 사용한다. 이를 통해, 단말이 Msg3를 전송할 때 사용하는 랜덤 빔-스위칭의 횟수를 최소화할 수 있다. 그림 2의 (b)에서 각 단말들은 프리앰블 #32를 랜덤한 순서의 빔-스위핑을 통해 전송하며, 기지국은 해당 프리앰블을 2가지 시점(T2, T4)에 수신하고 해당 시점을 RAR에 포함시켜 전송한다. RAR 메시지를 수신한 단말들은 T2, T4 시점에 전송했던 빔들을 최적의 상향-링크 빔 목록으로 사용하여 랜덤 빔 순서를 재구성한다.

3.2 랜덤 빔-스위칭을 통한 Msg3 전송

최적의 상향-링크 빔 목록으로 랜덤 빔 순서를 재구성한 단말은 Msg3를 빔-스위칭 방법을 통해 기지국으로 전송한다. 랜덤 빔-스위칭 방법으로 Msg3를 전송할 경우, 다수의 단말이 동일한 프리앰블을 선택하더라도 최적의 상향-링크 빔을 전송하는 시점이 다를 경우 Msg3를 충돌 없이 전송할 수 있다. 따라서, 단말이 사용하는 빔 수가 많을수록 기존 절차에 비해 단말의 Msg3 충돌 확률이 낮아진다. 제안 랜덤 액세스 절차에서 단말이 Msg3를 전송할 때 충돌이 발생할 확률($P_{C,P}$)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{C,P} = 1 - \left(\frac{B_{UE} \times N_{Pre} - 1}{B_{UE} \times N_{Pre}} \right)^{(N_{UE}-1)} \quad (2)$$

여기서, B_{UE} 는 단말이 사용하는 빔의 수를 의미한다. 단말이 응답시간 내에 전송한 Msg3에 대한 Msg4를 수신할 경우, 해당 Msg3를 전송할 때 사용한 빔을 최적의 상향-링크 빔으로 결정하고 랜덤 액세스 절차를 종료한다. 그림 2의 (b)에서, 단말A는 두 번째 빔-스위칭 과정에서 Msg4를 수신하며, Msg4 수신 직전에 전송한 B3 빔을 최적의 상향-링크 빔으로 결정하고 랜덤 액세스 절차를 종료한다.

3.3 Msg3 충돌에 따른 재접속 절차

Msg3 충돌이 발생하여 마지막 빔-스위칭 이후 응답시간 내에 Msg4를 수신하지 못한 단말은 Msg3 충

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Number of UEs in a sector, N_{UE}	1~151
Number of BS's beams, B_{gNB}	8
Number of UE's beams, B_{UE}	8
Number of preambles, N_{Pre}	54
Number of division time of gNB, D_{gNB}	1, 2, 4, 8
Random beam-sequence setting time, T_{SC}	8 ms
Transmission time of preamble, T_{Pre}	1 ms
Processing time of preamble, T_{PD}	2 ms
Transmission time of RAR, T_{RAR}	1 ms
Transmission time of Msg3, T_{Msg3}	3 ms
Transmission time of Msg4, T_{Msg4}	1 ms
Response Time of RAR, W_{RAR}	8 ms
Response Time of Msg4, W_{Msg4}	8 ms

돌을 식별할 수 있다. Msg3 충돌 식별 후 프리앰블을 새롭게 선택해야하는 기존의 재접속 절차와 달리, 제안 재접속 절차는 Msg3를 전송하는 빔-스위칭 순서를 변경하여 랜덤 액세스 절차를 새롭게 시작할 수 있다. 이에 따라, 충돌을 식별한 단말은 최적의 상향-링크 빔 목록에서 새로운 랜덤 빔-스위칭 순서를 정하여 Msg3를 재전송한다. 그림 2의 (b)에서, 단말B와 단말C는 동일한 프리앰블(#32)을 선택하고, 최적의 상향-링크 빔(B3)을 동일한 시점에 전송하여 Msg3 충돌이 발생한다. 마지막 빔-스위칭을 통한 Msg3 전송 이후, 응답시간 내에 Msg4를 수신하지 못한 두 단말은 새로운 랜덤 빔-스위칭 순서를 결정하고 Msg3를 재전송한다. 재접속 절차 과정에서 단말B는 첫 번째 순서에, 단말C는 두 번째 순서에 최적의 상향-링크 빔으로 Msg3를 재전송한다. 충돌 없이 Msg3를 전송한 두 단말은 기지국으로부터 Msg4를 수신하고 랜덤 액세스 절차를 종료한다.

IV. 성능 평가

본 발명에서 제안 랜덤 액세스 절차의 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 통해 단말 수에 따른 네트워크 평균 접속 지연시간을 측정하였다. 기지국은 원점에 위치하며, 단말들은 기지국을 중심으로 균등한 밀도로 위치한다. 표 1은 시뮬레이션에서 사용한 파라미터이다^{7,8)}.

그림 3은 단말 수에 따른 네트워크의 평균 접속 지연시간을 나타낸 그래프이다. 기존 랜덤 액세스 절차와 제안 랜덤 액세스 절차 모두 단말의 수가 늘어나면 프

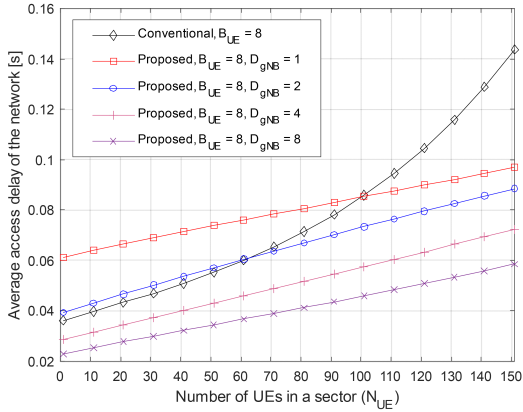


그림 3. 단말 수에 따른 네트워크 평균 접속 지연시간
Fig. 3. Random Access Delay Time for varying number of UEs in a sector

리앰블 중복 및 Msg3 충돌 확률이 높아져 네트워크의 접속 지연시간이 증가한다. 단말의 수가 상대적으로 적은 경우, 다수의 단말들이 프리앰블을 중복으로 선택하고 Msg3 충돌이 발생할 확률이 낮기 때문에 프리앰블에 비해 긴 전송시간을 가지는 Msg3를 빔-스위칭 방법을 통해 전송하는 제안 절차의 접속 지연시간 성능이 기존 절차에 비해 낮아질 수 있다. 반면, 단말의 수가 많아질 경우 다수의 단말들이 프리앰블을 중복으로 선택할 확률이 높아지며, 제안절차에서는 프리앰블 중복 상황에서도 Msg3를 충돌 없이 전송할 수 있기 때문에 지연시간 성능이 좋아진다. 또한, 제안 절차에서 기지국이 프리앰블 메시지를 수신하는 시점을 구체적으로 구분할수록 단말이 RAR 메시지에 포함되어 있는 프리앰블 수신 시점을 통해 최적 상향링크 빔 목록을 많이 줄일 수 있으며, 단말이 Msg3를 전송할 때 사용하는 빔-스위칭 횟수를 감소시킬 수 있어 평균 접속 지연시간 성능이 좋아진다.

V. 결 론

본 논문에서는 단말이 랜덤한 순서의 빔-스위칭 방법을 통해 프리앰블 메시지를 전송하고, 랜덤한 순서의 빔-스위칭 방법을 통해 Msg3를 전송하는 랜덤액세스 절차를 제안한다. 제안 절차에서 기지국은 프리앰블을 수신한 시점에 대한 정보를 RAR 메시지에 담아 전송함으로써 단말의 Msg3 빔-스위칭 수를 줄일 수 있으며, 다수의 단말이 동일한 자원을 사용하여 Msg3를 전송하더라도 랜덤 빔-스위칭을 통해 전송하기 때문에 충돌을 회피할 수 있다. 또한, Msg3 충돌이 발생하더라도 빔-스위칭 순서를 변경하고 재전송하여 다

음 Msg3 충돌을 피할 수 있기 때문에 재접속 절차 과정을 간소화시킬 수 있다. 결과적으로, 제안 랜덤액세스 방법을 통해 단말의 Msg3 충돌 확률을 감소시키고 재접속 절차의 과정을 간소화시킬 수 있으며, 단말들의 접속 효율을 높여 네트워크의 평균 접속 지연시간을 감소시킬 수 있다.

References

- [1] M. Giordani, M. Polese, A. Roy, D. Castor, and M. Zorzi, "A tutorial on beam management for 3GPP NR at mmWave frequencies," *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, 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] H. Seo, J. Hong, and W. Choi, "Low latency random access for sporadic MTC devices in internet of things," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 5108-5118, Jun. 2019.
- [4] T. Kim and S. H. Chae, "A random access based on Pilot-Assisted opportunistic transmission for cellular IoT networks," *J. KIICE*, vol. 23, no. 10, pp. 1254-1260, Oct. 2019.
- [5] R. Cheng, Z. Becvar, Y. Huang, G. Bianchi, and R. Harwahyu, "Two-phase random access procedure for LTE-A networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 4, pp. 2374-2387, Apr. 2019.
- [6] M. Vilgelm, S. R. Linares, and W. Kellerer, "Dynamic binary countdown for massive IoT random access in dense 5G networks," *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, no. 4, pp. 6896-6908, Aug. 2019.
- [7] 3GPP TS 38.211 v16.3.0, "NR; Physical channels and modulation (Release 16)," Sep. 2020.
- [8] Y. Liang, X. Li, J. Zhang, and Z. Ding, "Non-Orthogonal Random Access for 5G Networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 7, pp. 4817-4831, Jul. 2017.