

3GPP 표준 기반 랜덤 액세스 타입 별 절차 및 지연 시간 분석

이강우, 유원석, 김상도, 정종문*

연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과, 연세대학교 전기전자공학과, *연세대학교 전기전자공학과

gang5541@yonsei.ac.kr, wsbm34@yonsei.ac.kr, sangdokim96@yonsei.ac.kr, *jmc@yonsei.ac.kr

Procedure and latency analysis by random access type based on 3GPP specifications

Gangwoo Lee, Wonsuk Yoo, Sangdo Kim, Jong-Moon Chung*

Yonsei Univ. Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ. Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ. Electrical and Electronic Engineering, *Yonsei Univ. Electrical and Electronic Engineering

요약

3rd Generation Partnership Project (3GPP) 표준에서 이동통신 시스템의 랜덤 액세스 기법은 프리앰블 사전 할당 여부와 메시지 교환 횟수에 따라 네 가지 기법으로 분류된다. 본 논문은 3GPP 표준 문서에서 제공하는 랜덤 액세스 기법들의 세부 절차를 비교하고 이를 기반으로 각 랜덤 액세스 기법 별 지연 시간을 분석하였다.

I. 서론

Fifth generation (5G) 이동통신 시스템에서 단말은 기지국으로 상향링크 전송을 위해 셀 내부 다른 단말과 충돌이 발생하지 않는 무선 자원을 할당 받아 이용한다. 할당 받은 무선 자원이 존재하지 않는 경우 단말은 랜덤 액세스 절차를 통해 무선 자원을 할당 받는다.

3rd Generation Partnership Project (3GPP) 표준 문서에서는 랜덤 액세스 절차 시작 시 단말이 전송하는 프리앰블이 무작위로 정해지는 경우를 contention-based random access (CBRA), 사전에 할당되는 경우를 contention-free random access (CFRA)로 구분하고 있다. 또한 3GPP Release-16 표준에서 랜덤 액세스 절차 중 메시지 교환 횟수를 간소화한 2-step 랜덤 액세스가 도입되어 4-step 랜덤 액세스와 구분하고 있다. [1]

본 논문에서는 3GPP 표준에 명시된 랜덤 액세스 기법들의 절차를 비교하고 각 절차를 수행하는데 걸리는 평균 지연 시간을 분석한다.

II. 본론

랜덤 액세스는 단말이 주변 기지국으로 상향링크 전송을 수행할 때 다른 단말과의 충돌이 발생하지 않도록 무선 자원을 할당 받아오는 절차에 해당한다. 기본적으로 랜덤 액세스는 radio resource control (RRC) 프로토콜 상태가 RRC_IDLE 상태인 단말이 네트워크에 초기 접속을 수행하는 과정에서 진행된다. 이 외에도 RRC_INACTIVE 상태에서의 재연결, 핸드오버, RRC 연결 재설정 등의 상황에서 랜덤 액세스가 진행된다.

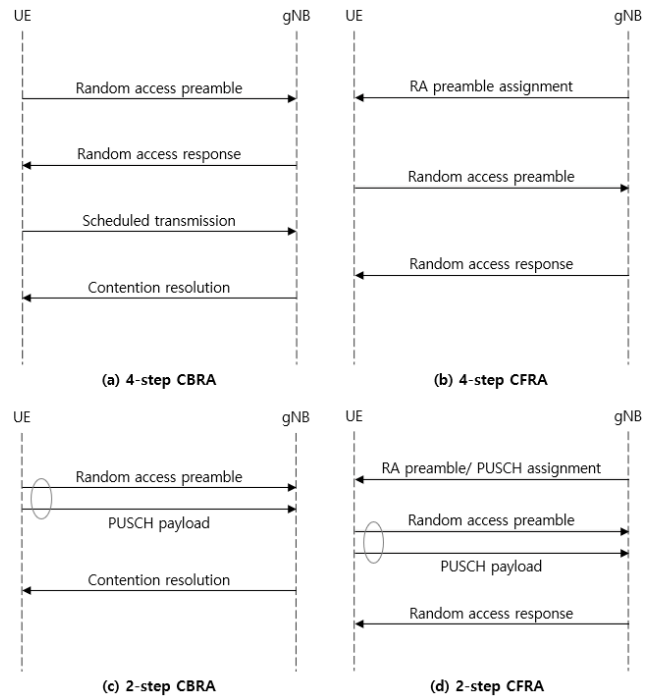


그림 1. 3GPP 표준 랜덤 액세스 절차

그림 1은 3GPP 표준 문서에 정의된 5G new radio (NR) 랜덤 액세스 절차를 보여주고 있다. CFRA 자원이 할당되지 않은 경우 단말은 reference signal received power 를 기준으로 2-step CBRA 또는 4-step CBRA 절차를 선택해 진행하며, CFRA 자원이 할당된 경우 할당된 CFRA 자원을 기준으로 2-step CFRA 또는 4-

step CFRA 를 선택해 진행한다. 만약 2-step 랜덤 액세스가 반복해서 실패하는 경우 4-step CBRA 절차를 수행하게 된다. [1]

그림 1 (a)는 무작위 프리엠블을 이용하고 다른 단말과의 경쟁 해소 여부까지 확인하는 4-step CBRA 절차를 보여준다. 랜덤 액세스 절차가 시작되면 단말은 64 개의 서로 다른 프리엠블 중 CFRA 타입에 사용되는 프리엠블을 제외한 나머지에서 무작위로 하나를 선택해 접속을 시도하는 기지국에 전송하고 응답을 기다린다. 해당 기지국은 상향링크 전송 타이밍, 무선 자원 정보 등을 포함하는 random access response (RAR)로 단말에게 응답한다. 단말은 RAR 정보를 기반으로 경쟁 해소를 위한 상향링크 전송을 수행하고, 기지국으로부터 하향링크를 통해 경쟁 해소 메시지를 수신한다.

상향링크 자원이 미리 할당되어 있지 않으므로 첫 번째 메시지 전송 시 여러 단말이 동일한 프리엠블을 선택할 수 있다. 이 경우, 단말들은 동일한 RAR 을 수신하고, 동일한 무선 자원을 이용해 상향링크 메시지를 전송한 뒤 경쟁 해소 메시지를 수신한다. 따라서 단말과 기지국이 서로 교환한 메시지로부터 radio network temporary identifier 를 기반으로 성공 단말이 선택되고, 나머지 단말은 실패를 선언한 뒤 첫 번째 단계부터 다시 랜덤 액세스 절차를 수행한다.

그림 1 (b)는 단말이 랜덤 액세스 절차에 사용할 프리엠블을 사전 할당 받은 경우에 해당하는 4-step CFRA 절차를 보여준다. 프리엠블 사전 할당으로 여러 사용자가 동일한 프리엠블을 이용하는 충돌 발생 위험이 없기 때문에 단말이 RAR 을 성공적으로 수신하면 랜덤 액세스가 성공한다. RRC_INACTIVE 상태, 핸드오버 등 프리엠블 사전 할당이 가능한 경우 경쟁 해소 단계를 생략한 CFRA 기법이 이용 가능하다.

그림 1 (c), (d)는 2-step 랜덤 액세스 절차를 보여준다. 그림 1 (c)의 2-step CBRA 는 4-step CBRA 에서 단말과 기지국이 전송하는 메시지를 각각 하나의 메시지로 묶어서 진행하는 방식을 이용한다. 그림 1 (d)의 2-step CFRA 는 4-step CFRA 기법의 프리엠블 사전 할당 과정에 상향링크 자원 할당을 추가해 랜덤 액세스 과정에서 충돌 발생 위험을 제거한다. 2-step 랜덤 액세스 기법은 절차 간소화라는 장점이 있지만, 프리엠블을 반복 전송하는 경우 상향링크 메시지에 의한 추가 오버헤드가 발생하는 단점이 존재한다. [2],[3]

본 논문에서는 랜덤 액세스 타입 별 절차를 기반으로 프리엠블 전송 시점부터 경쟁 해소 메시지 또는 RAR 수신까지 소모되는 지연 시간을 분석해 비교한다.

[5]에서 3GPP 표준 문서 [4]에 정의된 long term evolution (LTE) 시스템에서의 랜덤 액세스 절차 지연 시간을 기반으로 NR 시스템에서 랜덤 액세스를 진행할 때 각 절차마다 발생하는 지연 시간을 정의하고 있다. NR 에서 도입된 mini-slot 을 고려해 LTE 에서의 1 ms transmission time interval (TTI)을 1/7 ms TTI 로 변경하고, LTE 시스템과 동일한 처리 지연 시간을 가정해 분석한 NR 시스템에서 랜덤 액세스 절차의 지연 시간은 표 1 의 4-step CBRA 와 같다.

해당 분석 방법과 그림 1 의 랜덤 액세스 절차를 기준으로 4-step CFRA, 2-step CBRA, 2-step CFRA 의 지연시간을 표 1 과 같이 분석한다. 2-step 랜덤 액세스에서 PUSCH 전송은 프리엠블 지연 시간과 같은 방식으로 분석하기 위해 같은 TTI 를 갖는다고 가정한다.

분석 결과로부터 4-step CBRA 절차에 비해 메시지 교환 및 내부 처리 과정의 생략으로 나머지 랜덤 액세스 절차의 지연 시간이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 랜덤 액세스 절차 별 지연 시간

| Description | 4-step | | 2-step | |
|-------------------------|--------------|-------------|------------|------------|
| | CBRA | CFRA | CBRA | CFRA |
| Scheduling delay | 1/14 | 1/14 | 1/14 | 1/14 |
| RACH preamble | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 1/7 |
| PUSCH payload | - | - | 1/7 | 1/7 |
| Preamble detection | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Random access response | 1/7 | 1/7 | - | 1/7 |
| Processing delay in UE | 5 | - | - | - |
| Scheduled transmission | 1/7 | - | - | - |
| Processing delay in gNB | 4 | - | - | - |
| Contention resolution | 1/7 | - | 1/7 | - |
| Total delay [ms] | 11.64 | 2.36 | 2.5 | 2.5 |

또한 mini-slot 을 고려해 TTI 를 설정했기 때문에 프리엠블과 PUSCH 전송이 동시에 이루어지는 2-step 랜덤 액세스가 4-step CFRA 보다 큰 지연 시간을 갖게 되는 것으로 분석할 수 있다. 메시지 교환 횟수 감소가 지연 시간 감소에 큰 영향을 미치지만, 접속 실패를 고려해 상황에 맞는 기법을 선택하는 것이 중요하다.

III. 결론

본 논문에서는 3GPP 표준을 기반으로 랜덤 액세스 기법들의 절차를 분석하고 각 절차에 소모되는 지연 시간을 분석해 비교하였다. 기본적인 형태의 4-step CBRA 에 비해 메시지 전송 및 내부 처리 절차 감소로 나머지 랜덤 액세스 기법의 지연 시간이 작은 값을 갖는 것을 확인하였다. 다만, 표준에서 랜덤 액세스 진행 시 채널 상태, 무선 자원 할당 등을 기준으로 랜덤 액세스 기법을 선택하기 때문에 지연 시간이 작은 기법만 선택할 수는 없다. 한정된 자원으로 저지연, 사물 통신 등 이동통신 시스템의 요구 사항을 만족시키기 위해서 각 랜덤 액세스 타입의 세부 절차와 지연 시간을 기반으로 효율적인 기법 선택에 대한 개선이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "NR: Overall description; Stage 2," 3GPP TS 38.300 V17.5.0, June 2023.
- [2] 3GPP, "NR: Medium Access Control (MAC) Protocol specification," 3GPP TS 38.321 V17.5.0, June 2023.
- [3] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *5G NR: The next generation wireless access technology*, Academic Press, 2018.
- [4] 3GPP, "Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA", 3GPP TR 36.912 V17.0.0, Apr. 2022.
- [5] Samsung, "4G-5G Interworking RAN-level and CN-level Interworking," white paper, June 2017.