

## 5G 사용자 성능 일관성을 위한 스플릿 베어러 다중연결 스케줄링 연구

조성식, 이정한

서울대학교 전기 정보 공학부 뉴미디어통신공동연구소

choss@snu.ac.kr, kyunghanlee@snu.ac.kr

## Split Bearer-based Reliable Multi-Connectivity Scheduling for Consistent User-Level Performance in 5G

Seongsik Cho, Kyunghan LEE

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC  
Seoul National University

## 요 약

기존 5G NSA 의 스플릿 베어러 스케줄링 방법은 다양한 주파수 대역의 CC(Component Carrier) 들을 활용하여 평균 비트레이트를 향상시키는 데에는 탁월한 성능을 보이지만, 사용자의 다중 채널 상황에 따른 PDCP 재조합 시간으로 인해 성능 일관성을 유지하기 어렵다. 본 논문은 현재 5G NSA 상용망에서 사용자 성능 일관성을 저해하는 원인을 체계적으로 분석한다. 그리고 3GPP 에 기술된 스플릿 베어러 스케줄링 표준 내용을 바탕으로, 사용자 상태 변화에 따른 역동적인 채널 상황에서도 사용자의 성능을 일관되게 유지할 수 있는 딥러닝 기반 스플릿 베어러 스케줄링 방법을 제안한다.

## I. 서 론

UE 와 다수의 셀룰러 NodeB 가 연결을 맺고 PDCP 계층을 통해 다중 경로로 패킷을 주고 받는 Multi-connectivity 기술은 채널 상태 변화가 빈번히 발생하는 5G 채널에서 유저 요구성능 보장의 신뢰도를 높일 수 있는 이점으로 인해 전 세계적으로 꾸준히 연구 되어 왔다. 예를 들어 다른 채널 특성 분포를 가지는 여러 개의 셀을 이용하여 각각의 가용 전송량을 결합 (aggregation) 한다면 한 채널에서 심각한 성능저하가 발생하더라도 다른 채널을 이용한 적극적인 트래픽 전송이 가능하기 때문에 유저 요구 전송량을 만족시킬 수 있는 신뢰도가 높아진다. 특히 NSA(Non-Stand Alone) 기반의 국내의 5G 상용망 다운링크에서는 수백 Mbps 이상의 비트레이트를 안정적으로 공급하기 위해 gNB 와 eNB 를 동시에 이용하는 Dual Connectivity 기술이 CA(Carrier Aggregation) 기술과 함께 적극적으로 사용되고 있다.

현재 상용망의 PDCP Dual Connectivity 스케줄링 방법은 네트워크 벤더에 따라 구체적인 스케줄링 동작이 상이하나, 상용망 실측 결과 CCW[1]에 기술된 바와 같이 PDCP Dual Connectivity 기술은 스케줄링 시 각 NodeB 의 MAC capacity 를 활용할 때 높은 평균 비트레이트를 달성할 수 있음이 확인되었다. 이와 같은 디자인은 안정적인 PDU(Protocol Data Unit) 평균 다운링크 비트레이트와 평균 지연성능을 달성할 수 있지만, 1% 이하 tail PDU 의 성능 측면에서 평균성능 대비 심각한 성능 저하를 유발하고 어플리케이션 사용자의 체감 성능을 저하시킬 수 있다. 현재의 Dual connectivity 스케줄러는 MAC 재전송과 PDCP 리오더링으로 인한 트랜스포트 레이어 계층의 재전송을 방지하기 위해, 300ms 의 고정적인 PDCP reordering timeout 을 설정하고 있는데 이로 인해 스플릿 베어러를 구성하는 베어러 중 하나의 베어러만 취약해져도 큰 PDCP 재조합 지연을 경험할 수 있다[2, 3]. 이 같은 Dual connectivity PDCP 재조합 지연시간 증가는 tail PDU 의 성능과 5G 사용자의 성능일관성을 크게 떨어뜨릴 수 있다.

## II. 본론

제안하는 연구는 기존 상용 PDCP dual connectivity 기술이 PDU 의 평균 성능을 높게 유지하기 위해 MAC 가용 전송량에 따른 aggregation 만을 수행하는 스케줄링 방법의 문제점을 지적한다. 다가오는 고부가가치 응용(e.g., XR, 실시간 volumetric streaming) 들은 ADU(Application Data Unit) 사이즈가 1MB 이상으로 크다는 특성을 가지고 있는데 이 경우, 공격적인 aggregation 으로 인해 간헐적으로 발생하는 긴 PDCP 재조합 시간이 유저 체감성능에 큰 악영향을 미칠 수 있다.

본 연구는 5G NSA 스플릿 베어러 구조에서 유저 체감 성능을 저하하는 PDCP 재조합 시간의 원인을 체계적으로 분석하고 해결 방법을 제시한다. 구체적으로, 다중 NodeB 의 가용 전송량을 최대한 활용하면서도 스플릿 베어러 스케줄링에 따른 PDCP 재조합 지연시간을 최소화 하기 위해, 그림 1 과 같이 3GPP 표준 인터페이스의 RAN 시그널 정보들을 활용하여 딥러닝 채널 예측 기반 중복 전송을 수행하는 PDCP 재조합 지연 억제 방법을 제시한다.

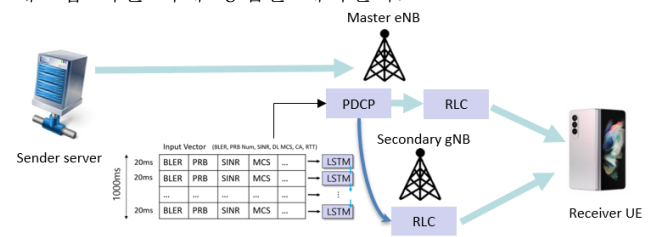


그림 1. 재조합 지연을 최소화하는 PDCP 스케줄러

## III. 결론

본 논문에서는 5G NSA 의 스플릿 베어러 스케줄링으로 인해 사용자 성능 일관성이 저하되는 문제를 해결하기 위해 딥러닝 채널 예측 기반 다중 연결 스케줄링 방법을 제안한다. 본 논문이 제안하는 다중연결 스케줄링 방법은 3GPP 스플릿 베어러 스케줄링 표준 내용에 부합하면서, 셀룰러 네트워크 상의 잦은 채널

변동 상태에서도 최소부하만으로 5G 사용자 성능을  
일관되게 유지할 수 있다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의  
대학 ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-  
2021-0-02048).

#### 참 고 문 헌

- [1] "Capacity and Congestion Aware Flow Control  
Mechanism for Efficient Traffic Aggregation in Multi-  
Radio Dual Connectivity" in IEEE Access'21
- [2] "Packet duplication in dual connectivity enabled 5G  
wireless networks: overview and challenges" in IEEE  
Magazine'18
- [3] "Retransmission Schemes for 5G Radio Interface" in  
IEEE Globecom'16 Workshops