고속 이동체 환경에서의 이중 연결 기반의 이동 통신 시스템 성능 평가

백승권*, 송재수, 정희상, 김일규
한국전자통신연구원

skback@etri.re.kr, heretic@etri.re.kr, hschung@etri.re.kr, igkim@etri.re.kr

Performance evaluation of mobile communication system with dual connectivity in high speed train scenario

Seungkwon Baek*, Jaesu Song, HeeSang Jung, IlKyu Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

In this paper, we presented the system performance of communication network with EN-DC in high speed train. The simulation result is shown that the performance is degraded in case where train speed is increased due to Doppler shift and ICI.

Ⅰ. 서 론

5G는 드론, 기차 그리고 자동차와 같은 다양한 형태의 이동체에 대해 고속의 데이터 서비스를 고려하고 있다[1]. 이와 관련하여 3GPP의 5G NR(New Radio)에서는 고속 철도(High Speed Train, HST)기반의 이동통신 서비스를 고려하고 있으며 이를 포함한 5G 무선접속망에 대한 표준화 논의를 진행하고 있다.

본 논문에서는 3GPP에서 고려하는 HST 시나리오 및 평가 방식를 기반으로 EN-DC(E-UTRAN NR-Dual Connectivity의 구조를 가진 고속 열차 네트워크에서의 시스템 성능을 제시한다.

Ⅱ. 고속 열차 통신 환경 및 연결 방식

2.1 고속 열차 기반의 통신 특징

- 열차 선로 지형에 따른 다양한 전파 환경

고속 열차는 육교, 교량, 터널, 그리고 기차역과 같은 다양한 형태의 지형 선로상에서 이동을 하면서 서비스를 제공받아야 하므로 이를 고려한 신호의 전파 환경을 고려하여야 한다.

- 고속 이동성에 따른 채널 환경

고속 열차의 이동성은 빠른 시간 변화 채널(Time Varying Channel)을 발생시키고 캐리어간의 간섭(Inter Carrier Interference, ICI)를 발생시킨다. 열차의 고속 이동성에 따른 시간 혹은 주파수의 극단적인 스프레딩은 채널의 추정(Channel Estimation)을 어렵게 하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

- 낮은 다중 경로 특성 및 높은 LoS 특성

고속 열차는 개방된 지역에서 서비스를 제공하는 경우 다수의 다중 경로에서 특정한 하나의 LoS(Line of Sight) 경로의 신호가 강하게 수신되므로 다중 경로를 활용한 전송율 증대를 기대하기 어렵다. 따라서, 다수의 전송점을 통한 협력 전송, 그리고 mmWave 대역 주파수 특성에 따른 빔 포밍(Beam Forming) 및 빔 트래킹(Beam Tracking)등에 대한 고려가 필요하다.

- 선형적인 네트워크 토폴로지

고속 열차는 미리 설정된 선로를 이동하므로 기존의 임의의 이동성을 고려한 셀 배치가 아니라 선로를 커버하는 셀 배치가 예상된다. 따라서 고속 열차 환경에서 이동통신 서비스를 위한 셀 배치는 선로 위의 열차를 서비스하는 형태의 긴 타원 형태의 셀 배치를 고려하며 트리 형태의 토폴로지를 고려한다.

- 고속 이동성에 따른 잦은 셀 선택 및 변경

이동성이 높은 고속 열차 환경에서 지속적인 셀 탐색 및 선택 그리고 잦은 핸드오버가 발생하므로 핸드오버의 횟수를 줄여 이동성과 관련한 지연 및 실패율을 줄이는 방안이 필요하다.

2.2 고속 열차 네트워크를 위한 이중 연결 구조

앞 서 기술한 고속 열차 환경의 통신 고려사항을 기반으로 본 논문에서는 LTE기반의 기지국(eNB)이 전역적인 배치된 환경에서 데이터 부스팅을 위해 NR기반의 기지국(gNB)이 고속 열차 선로 부근에 배치하여 서비스 영역을 제공하는 EN-DC기반의 이중 연결 구조를 이용한다.

5G EN-DC구조에서 고려하는 이중 연결 프로토콜 구조는 그림 1과 같다. 즉 주노드(Master Node)역할을 수행하는 eNB는 SDAP, PDCP, RLC, MAC 그리고 PHY로 구성되며 부노드(Secondary Node)역할을 수행한 gNB는 RLC, MAC 그리고 PHY로 구성된다. 주노드와 부노드는 Xn 인터페이스를 통해서 연동하며 이중 연결을 통해 MCG 베어러, SCG 베어러 그리고 분할 베어러의 설정을 통해 데이터를 전송한다. MCG 베어러는 주노드를 통해서만 데이터가 전송되는 베어러를

의미하며 SCG 베어러는 부노드를 통해서만 데이터가 전송되는 베어러를 의미한다. 분할 베어러는 MCG 베어러와 SCG 베어러를 동시에 사용하여 데이터를 전송하는 것을 의미한다. 이와 더불어 금속으로 구성된 고속 열차의 재질을 고려하고 객차에 탑승한 승객의 이동 단말의 잦은 핸드오버를 고려하여 릴레이 구조를 이용한다. 릴레이 구조에서는 열차 외부(주로 지붕)에 선로 설치된 단말이 위치하고 해당 단말이 객차 내부의 사용자 단말과 외부 기지국과 신호를 중계하는 구조이다.

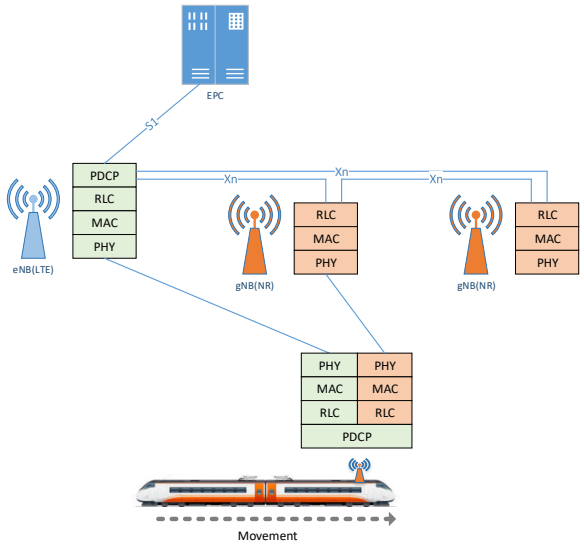

그림 1. EN-DC기반의 고속열차 네트워크 구조

Ⅲ. 성능평가

고속 열차 기반의 이중 연결 구조에서 시스템 성능을 확인하기 위해서 NS-3를 사용하였으며 그림2와 같이 LENA기반의 LTE모듈과 NYU에서 제공하는 mmWave 모듈을 사용하였다.

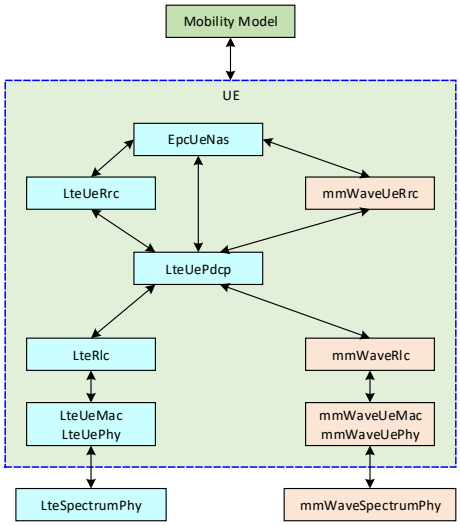

그림 2. 고속 열차 단말 시뮬레이터 구조 (EN-DC)

본 성능 분석에서는 gNB의 주파수는 3GPP TR38.913[2]에서 제시하는 6GHz 이하와 6GHz이상의 주파수 대역을 사용하였으며 하나의 eNB내에 5개의 gNB가 포함되는 토폴로지를 이용하였다. 성능 평가를 위한 메트릭은 SINR과 TCP상의 전송율, 핸드오버시 전송율을 고려하였으며 4GHz대역과 30GHz대역의 주파수에서 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에서 이동성이 높아지거나 부반송파의 간격이 좁아질수록 SINR이 낮아짐을 확인할 수 있으며 이는 도플러 쉬프트 및 ICI에 의해 기인함을 알 수 있다. 특히 열차의 이동 속도가 500Km이고 낮은 SCS를 사용하는 경우 TCP 전송율은 급격하게 떨어지는데 이는 앞서 기술한 SINR 성능 저하와 동일한 원인으로 파악된다. 핸드오버 성능과 관련해서는 EN-DC에 따른 커버리지 보장으로 TCP 전송율이 다소 떨어지나 서비스의 단절없이 제공됨을 볼 수 있다.

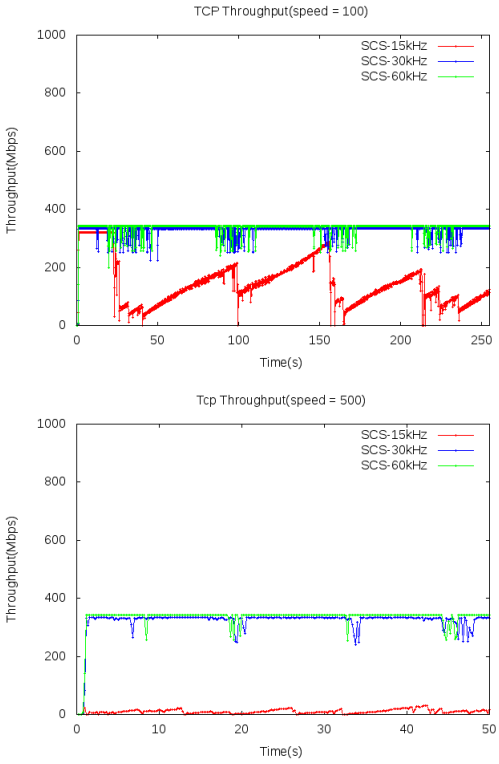

그림 3. TCP 전송율 측정 (4GHz)

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 5G EN-DC 구조에서 HST 시나리오에 대한 시스템 성능을 제시하였다. 시험의 결과 이중 연결의 효과로 유연한 핸드오버는 제공할 수 있지만 고속 이동성이 요구되는 경우 도플러 쉬프트 및 ICI로 인해 NR 셀의 성능이 저하됨을 확인하였다. 향후 본 논문에서 측정된 시스템 성능을 보완할 수 있는 방식을 개발하고 이를 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00746, Tbps 급 무선통신 기술)

참 고 문 헌

[1] Ai, Bo, et al. "Future Railway services-oriented mobile communications network." IEEE Communications Magazine 53.10 (2015): 78-85

[2] TR38.913, Study on scenarios and requirements for next generation access technologies, 3GPP, 2020.