

오픈 5G 플랫폼에서 핸드오버 개발 동향 및 핸드오버 트리거 개발

김재호, 고남석
한국전자통신연구원

rdins@etri.re.kr, nsko@etri.re.kr

Handover Implementation Trends in Open 5G Platforms and Handover Trigger Design

Kim Jae Ho, Ko Namseok
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 5G 오픈소스 플랫폼들의 핸드오버 기능 개발 현황을 분석하고, 실제 네트워크 환경과 유사한 자동화된 핸드오버 테스트의 어려움을 조명한다. 현재 대부분의 오픈소스 기반 UE는 3GPP 표준의 주변신호 측정 보고(A3 이벤트 등)를 지원하지 않아 자동 핸드오버 트리거 구현이 어렵고, 수동 명령 방식에 의존하고 있다. 또한 상용 UE를 활용한 테스트의 경우, 셀 간 신호 세기 차이를 유도하기 위한 단말의 물리적 이동이 필수적이며, 이는 반복성 및 재현성을 저해한다. 더불어, 실험에 자주 사용되는 n78 대역은 상용망과의 혼선 가능성이 있어 신뢰성 있는 환경 구축에 장애 요소가 된다. 이에 본 연구는 셀 간 RF 신호 세기를 인위적으로 조절할 수 있는 제어 장치와, 이를 활용한 핸드오버 트리거 제어 소프트웨어를 제안함으로써, 자동화된 핸드오버 실험의 구현 가능성과 테스트베드의 현실성을 높이고자 한다.

I. 서 론

5G 오픈소스 플랫폼에서의 핸드오버 기능은 최근 활발히 개발되고 있으나, 실제 네트워크 환경과 유사한 자동화된 핸드오버 구현에는 다음과 같은 여러 가지 제약이 존재한다. 우선, 대부분의 오픈소스 기반 UE(예: OAI UE, UERANSIM)는 3GPP에서 정의한 RRC 측정 보고 절차를 완전하게 구현하지 못하고 있어, A3 이벤트와 같은 조건 기반 자동 핸드오버 트리거가 불가능하다. 이로 인해 핸드오버는 CLI(telnet, netcat 등)를 통한 수동 명령 방식으로 유도해야 하며, 이는 실증 실험과 반복 테스트의 현실성을 크게 저해하는 주요 요인이다.

둘째, 자동 핸드오버 트리거가 불가능한 상태에서 상용 UE(COTS UE)를 활용한 테스트는 직접 단말을 이동시켜 셀 간의 RSRP(Reference Signals Received Power) 차이를 발생시켜야 한다. 이는 실내 환경이나 고정형 실험 장비에서는 구현이 어렵고, 실험 재현성과 정확도 확보에 불리하다. 특히, 셀 간 물리적 거리가 충분하지 않은 경우, 다중경로 페이딩 및 셀 간 간섭 현상으로 인해 트리거가 임의적으로 작동하거나 핸드오버가 실패하는 문제가 불규칙적으로 발생한다.

셋째, 오픈소스 기반 테스트베드에서 주로 활용되는 n78(3.3GHz~3.8GHz) 대역은 국·내외에서 이미 상용망이 사용하는 경우가 많아, UE가 상용 기지국의 셀로 잘못 연결되거나 테스트 중 혼선이 발생하는 문제가 있다. 이는 핸드오버 시나리오의 신뢰성과 실험 제어 능력을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다.

마지막으로, 트리거를 반복적으로 수행하기 위한 자동화 기능이 부족하며, 단순한 shell 스크립트 또는 루프를 통해 고정 시간 간격으로 강제 핸드오버를

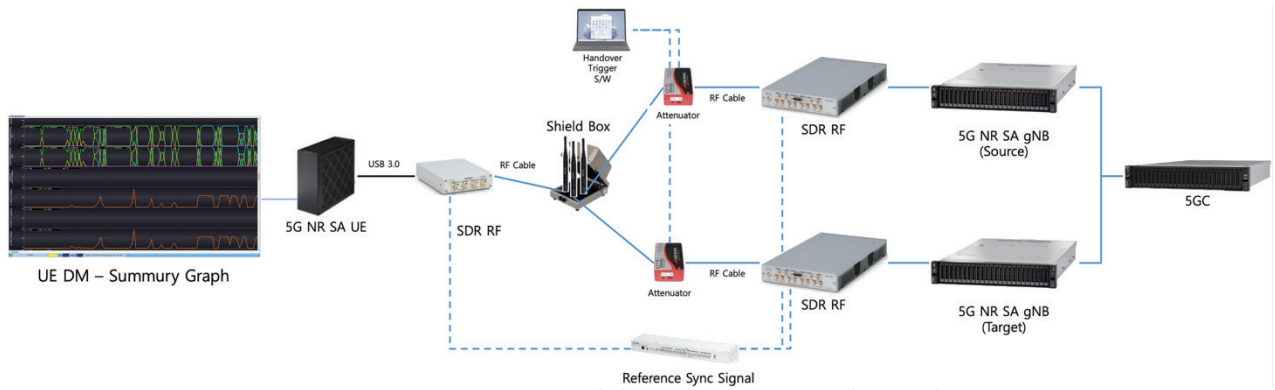
시도하는 수준에 머물러 있다. 이는 실제 UE 상태나 네트워크 상황을 반영하지 못한 채 무조건적 트리거를 발생시켜, 세션 끊김이나 핸드오버 실패로 이어질 가능성이 높다.

본 논문에서는 5G 오픈소스 프로젝트들의 핸드오버 기능 개발 동향을 살펴보고, 핸드오버 기능의 안정성과 실효성 확보를 위해, 셀간 RF 신호 세기 변화를 인위적으로 조절하기 위한 장치와 이를 기반으로 한 핸드오버 제어 소프트웨어를 제안하였다.

II. 본론

srsRAN[2]은 24.04 버전부터 Intra-gNB 핸드오버, 즉 동일한 CU-CP에 연결된 셀들 간의 핸드오버 기능을 지원한다. 핸드오버는 명령줄(Command Line)을 Tx gain 조절을 통한 수동 트리거 또는 UE의 물리적 이동에 의한 자동 트리거 방식으로 발생시킬 수 있다.

OAI[1] 5G RAN 프로젝트 그룹은 F1 Handover 기능을 개발 완료하고, 현재 N2 및 Xn Handover 절차 개발을 활발히 진행하고 있다. F1 Handover 기능은 OAI UE와 COTS UE를 활용하여 테스트할 수 있다. OAI UE를 활용한 Handover는 하나의 CU와 두개의 DU0, DU1을 F1 인터페이스를 연결한 구조에서, UE가 DU0에 연결된 상태에서 DU1로의 핸드오버를 수행한다. 현재 OAI UE는 측정 보고와 이동성 지원을 위한 RRC Reconfiguration 처리 기능이 완전하지 않기 때문에, 핸드오버는 telnet을 통해 수동으로 트리거한다. COTS UE는 측정 보고 기능을 지원하므로, DU 간의 신호 세기 차이를 기반으로 자동 핸드오버가 가능하다. 이를 위해 CU에서 DU 간의 이웃 관계를 설정하고, A3 이벤트를 활용하여 핸드오버를 트리거한다.

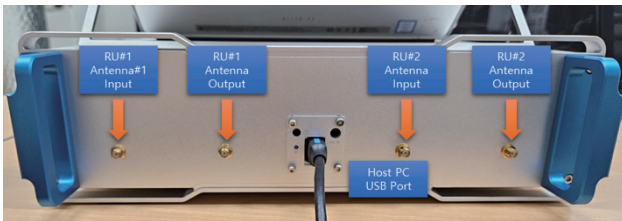


[그림 1] OAI RAN 기반 F1-Handover 테스트 베드

Free5GC[3]는 직접 데이터 포워딩과 동일 AMF 내에서의 N2 핸드오버 및 Xn 핸드오버 기능을 지원한다. 핸드오버 기능을 테스트하기 위해, Free5GC는 UE와 gNB를 에뮬레이터로 생성하고, N2 및 Xn Handover 절차를 테스트할 수 있는 테스트 스크립트를 제공한다. UE/gNB 에뮬레이터는 UE Context와 gNB Context를 ASN.1 메시지로 인코딩하지 않고, Hex Message 형태로 하드 코딩한 형태로 구현되어 있으며, 단방향 일회성 핸드오버 테스트만 지원한다.

PacketRusher[4]는 Hewlett Packard Enterprise에서 개발한 고성능 5G UE/gNB 시뮬레이터이자 CP(Control Plane) 및 UP(User Plane) 부하 테스트 도구이다. PacketRusher는 5G 코어 네트워크의 성능 테스트와 기능 검증을 위해 설계되었으며, 다수의 사용자 장비(UE)와 기지국(gNB)을 시뮬레이션할 수 있다. 이 도구는 N1(NAS), N2(NGAP), N3(GTP-U) 인터페이스를 지원하며, Xn 및 N2 핸드오버 뿐만 아니라 SUCI Concealing/Deconcealment, PDU 세션 생성/삭제, 서비스 요청, GUTI 재등록, 5G 로밍 등 다양한 제어 평면 테스트 기능을 구현하고 있다.

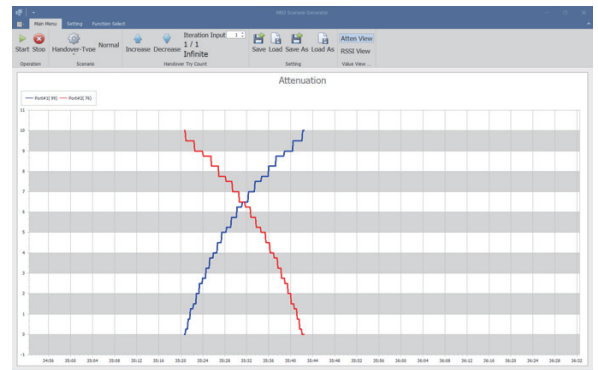
본 연구에서는 5G 오픈소스 기반의 핸드오버 테스트를 위한 그림 1과 같이 물리적 시험망을 구성하였다. 전체 시스템은 RU-DU-CU 구조로 구성되며, RU는 USRP N310 SDR 장비를 사용하여 4Rx/4Tx, 10 MHz~6 GHz 주파수 대역 및 최대 153.6 MS/s의 샘플레이트를 지원한다. 핸드오버 트리거링을 위해 개발한 그림 2의 RF 감쇠기 장치는 2 채널, 90dB 감쇠 범위, 0.5dB 스텝을 지원하며, Shield Box 내 4 SMA 포트를 통해 외부 간섭을 차단하고 안정적인 테스트 환경을 제공한다.



[그림 2] 핸드오버 트리거 장치의 RF 연결포트

테스트용 단말은 5G SA 모드를 지원하는 삼성 Galaxy S22/S23 및 Quectel RM520N 모듈을 사용하였다. 핸드오버 절차 중 단말의 RRC 상태 및 신호 측정 보고 전송 여부를 확인하기 위해, Innoreless Optis-S 장비를 활용하였다. 해당 장비는 상용 단말의 내부 프로토콜 메시지를 실시간으로 추출하여 3GPP RRC/NAS 계층에서 발생하는 이벤트들을 시각화하며, 핸드오버 시작, 재구성, 완료 여부를 정확하게 파악하는

데 활용되었다. Shield Box 내부에 위치한 테스트 단말의 상태 모니터링 및 제어를 위해 scrcpy 오픈소스 툴을 활용하여 단말 화면을 실시간으로 PC에 미러링하였다. gNB 하드웨어 구성은 CU와 DU로 분리되며, CU는 Intel Xeon Gold 6342 기반 서버, DU는 AMD Ryzen Threadripper 7970X 기반 장비로 10GbE NIC를 통해 고속 처리를 지원한다. 핸드오버 트리거 장치는 소프트웨어 제어를 통해 그림 3과 같이 채널별 감쇠값을 실시간 조절함으로써, 셀 간 신호 세기 변화 조건을 반복 가능하게 생성할 수 있도록 설계하였다.



[그림 3] 핸드오버 트리거 장치의 GUI 화면

III. 결론

오픈소스 UE의 측정 보고 미지원, 상용망 혼선, 수동 트리거 방식의 한계 등 현재의 제약사항을 극복하기 위해, 본 연구는 신호 세기 기반의 셀 간 핸드오버 조건을 정밀하게 제어할 수 있는 RF 감쇠기 기반 핸드오버 트리거 장치를 설계하고, 이를 통해 반복 가능한 핸드오버 시나리오를 구현하였다. 본 연구의 테스트베드 구성과 자동화된 트리거 제어 방식은 향후 5G 네트워크의 핸드오버 성능 검증 및 알고리즘 개발에 있어 실용적인 기준점을 제공하며, 6G 대비 실시간 이동성 관리 기술의 검증 환경으로도 확장 가능하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부) 재원으로 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [RS-2024-00405354, Evolved-SBA 프레임워크 및 제어/유저평면 NF 핵심기술 개발].

참 고 문 헌

- [1] OpenAirInterface, <https://openairinterface.org/>
- [2] srsRAN, <https://docs.srsran.com/projects/project/>
- [3] Free5GC, <https://www.free5gc.org/>
- [4] PacketRusher: <https://github.com/HewlettPackard>