

공개 소프트웨어 기반 5G 프로젝트 개발 동향 분석

Analysis of Current 5G Open-Source Projects

김민재 (M.J. Kim, p3ngdump@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 UST학생연구원

박경민 (K.M. Park, kmpark@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 선임연구원

박종근 (J.G. Park, queue@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 책임연구원

김영수 (Y.S. Kim, blitzkrieg@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 책임연구원

이종훈 (J.H. Lee, mine@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 책임연구원

문대성 (D.S. Moon, daesung@etri.re.kr)

네트워크·시스템보안연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

5G networks are rapidly expanding. Simultaneously, the need for a testbed—not a commercial network—is increasing to verify aspects such as 5G network security vulnerabilities. Open-source projects in 4G networks already exist and are implemented similarly in commercial networks. Due to the compatibility between 5G and 4G networks, 5G networks are being developed and implemented as open-source projects on the basis of 4G networks. In this study, we review the development trends of 5G open-source projects and simulators that can be used for 5G research.

KEYWORDS 5G RAN, 5G Core, Open Source, Simulator, 5G 테스트베드, 공개 소프트웨어

1. 서론

지난 2019년 4월, 세계 최초로 5G 이동통신망이 상용화된 이후로 5G 서비스는 빠르게 확산되고 있으며, 동시에 서비스 품질 및 보안 등에 대한 이슈가 지속해서 제기되고 있다. 따라서 5G망에서의 요구사항들을 만족시키기 위해서는 다양한 분야의 연구가 지속되어야 하고, 이에 따라 기술 개발 및 검증을 위한 테스트베드의 필요성이 증대되고 있다. 공개 소프트웨어 기반 프로젝트는 이동통신

신 표준을 준수하고 사용자의 편의를 고려함으로써 이동통신망 기술 개발을 위한 테스트베드 구축에 사용된다.

현재 5G망에 대한 공개 소프트웨어 기반 프로젝트의 개발 수준은 부분적으로 개발이 완료되었거나 중간 개발 단계의 결과물들이 배포되는 단계이다. 본 고에서는 5G 환경 테스트베드를 구축할 수 있는 공개 소프트웨어 기반 프로젝트 개발 동향을 소개한다. II 장에서는 4G와 5G의 코어망 그리고 RAN을 모두 포괄하는 프로젝트와 이를 활용한

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360209>

* 본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No.2020-0-00952, 5G+ 서비스 안정성 보장을 위한 엣지 시큐리티 기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2021 한국전자통신연구원

관련 연구들을 소개하고, Ⅲ장과 Ⅳ장에서는 각각 5G 코어, 5G RAN과 관련된 공개 소프트웨어 기반 프로젝트들을 소개한다. 마지막으로, Ⅴ장에서는 5G 기술 시험 및 검증에 활용될 수 있는 시뮬레이터를 소개한다.

II. 4G & 5G 오픈소스 프로젝트

이 장에서는 현재 진행되고 있는 공개 소프트웨어 기반 4G 및 5G 풀스택 프로젝트와 이를 활용한 연구들을 소개한다.

1. OpenAirInterface

OpenAirInterface는 Eurecom에서 개발하고 있는 C 언어 기반의 공개 소프트웨어 기반 프로젝트로서 OAI Public License V1.1 라이선스를 준수하고 3GPP Release 15[1]를 기반으로 5G 풀스택 개발 환경을 제공한다[2].

OpenAirInterface는 총 세 단계의 개발 계획을 바탕으로 5G 풀스택을 개발하고 있으며 각 단계별 개발 내용은 표 1과 같다.

현재는 Phase 1 단계로서 도커 컨테이너 기반의 AMF, SMF, UPF와 부분적 5G UE 및 gNB의 개발이 완료된 상황이다.

OpenAirInterface에는 5G의 코어 역할을 하는 5G-CN, 기지국 역할을 하는 gNodeB, 단말 역할

을 하는 UE가 구현되어 있으며, 5G 환경에서의 무결성/암호화 알고리즘인 NIA/NEA도 구현되어 있으므로 5G의 기초적인 테스트베드로서 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

OpenAirInterface는 USRP[3], LimeSDR[4] 등의 SDR(Software Define Radio)을 이용해 실제 무선 신호를 송/수신할 수 있도록 무선 인터페이스를 지원한다. 하지만, 현재까지는 안정성이 보장된 상태로 무선 인터페이스를 지원하는 것이 아니므로 상황에 따라 USRP 장비를 통한 무선 신호 송/수신이 불안정할 수도 있다. 따라서 무선 인터페이스 신호를 송/수신할 수 있는 환경을 포함하는 5G 테스트베드로서는 아직 추가적인 기능 개선이 필요할 상태이다.

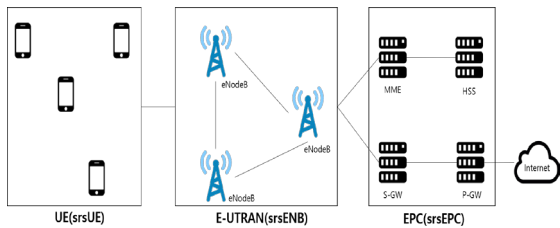
또한, 2020년에 표준화가 완료된 3GPP Release 16[5] 기반의 5G 기능에 대해서는 올해부터 관련 기능이 반영될 예정이다.

2. srsLTE

srsLTE는 Software Radio Systems에서 개발하고 있는 C, C++ 언어 기반의 4G 풀스택 공개 소프트웨어 기반 프로젝트이며, AGPLv3 라이선스를 준수하고 현재는 3GPP Release 14를 기반으로 4G 시스템을 구현하고 있다. 현재 Software Radio Systems

표 1 OpenAirInterface Phase별 내용[2]

단계	포함 내용
Phase1	<ul style="list-style-type: none"> • 5G 코어망: AMF, SMF, UPF • 5G RAN: dsTester 기반 gNB • 5G UE 시뮬레이팅
Phase2	<ul style="list-style-type: none"> • 5G 코어망: UDM, AUSF, NEF, NSSF, Handover
Phase3	<ul style="list-style-type: none"> • Stand-Alone 5G 코어 구현 및 배포



출처 <https://www.srslte.com/>, 기반 재작성

그림 1 srsLTE 도식도

는 공식적으로 오는 4월 중에 5G 풀스택 프로젝트를 배포할 예정이다. 그림 1은 현재 개발 완료된 srsLTE의 전체적인 구성을 나타내는 도식도이다 [6].

srsLTE는 USRP, LimeSDR과 같은 SDR을 이용해 실제 무선 신호를 송/수신할 수 있도록 지원함으로써 실제 무선 신호를 송/수신하는 4G 테스트베드를 제공한다.

srsLTE에는 코어와 RAN 프로젝트가 포함되어 있으며 코어 프로젝트는 코어망 역할인 EPC 기능을, RAN 프로젝트는 기지국 역할인 eNB와 단말 역할인 UE 기능을 포함하며 동시에 4G에서의 무결성/암호화 알고리즘인 EIA/EEA의 지원과 안정성이 보장된 무선 인터페이스를 지원한다. 따라서 srsLTE와 USRP 같은 SDR 장비를 함께 사용하면 실제 신호를 송/수신하는 4G 환경을 구성할 수 있으며, Milenage 방식의 USIM 카드와 XOR 방식의 USIM 카드를 지원하기 때문에 srsLTE와 함께 상용 단말도 테스트에 활용할 수 있다. 동시에, USRP 같은 SDR 장비가 없다 하더라도 ZeroMQ 네트워크 라이브러리를 통해 가상으로 무선 통신 환경을 구축할 수 있도록 지원한다[7].

srsLTE는 현재 4G 환경에 대해서는 풀스택 공개 소프트웨어 기반 프로젝트로서 완성도가 높기 때문에 srsLTE를 활용한 연구들이 다수 진행되었으며, srsLTE가 4G망을 소프트웨어적으로 제어할 수 있도록 지원하기 때문에 4G 환경에서의 보안 취약점 분석 연구에도 활용된 바 있다. 대표적으로 4G 환경에서 허위기지국 등과 관련된 보안 취약점을 분석한 연구[8-10]와 시그널링 프로토콜의 취약점을 분석한 연구[11]를 꼽을 수 있다. 이 외의 연구로는 4G 네트워크 트래픽을 모니터링함으로써 발생하는 취약점을 탐지하고 경고하는 시스템 [12], 4G 네트워크상에서 이루어지는 공격에 대응

하기 위한 물리 계층 보안, 비밀키 생성 알고리즘, 머신러닝을 통한 보안 기술[13], CNN-LSTM 모델을 이용해 MEC 시스템의 배터리 SoE를 예측하는 시스템[14], 그리고 4G 네트워크와 eSIM 기술을 사용한 무선 네트워크 대역폭 임대 기술[15] 등이 있다.

3. OpenLTE

OpenLTE는 C, C++ 언어 기반의 4G LTE 풀스택 공개 소프트웨어 기반 프로젝트이며, Affero GNU Public License를 준수한다. OpenLTE는 srsLTE의 모태가 되는 오픈소스 프로젝트로서 srsLTE와 동일하게 USRP와 같은 SDR 장비를 사용해 무선 신호 송/수신을 지원함에 따라 실제 무선 인터페이스 기반의 4G 테스트베드를 구축할 수 있다[16].

OpenLTE는 4G에 대해서 풀스택 공개 소프트웨어 기반 프로젝트로서 개발이 완료된 상황이다. 4G 코어와 RAN을 포함하며 Milenage 방식의 USIM 카드를 지원함과 동시에 무결성/암호화 알고리즘인 EAI/EEA를 지원하기 때문에 OpenLTE와 함께 상용 단말을 활용할 수도 있다.

III. 5G 코어 오픈소스 프로젝트

이 장에서는 현재 개발되고 있는 공개 소프트웨어 기반 5G 코어 프로젝트를 소개한다.

1. Open5GS

Open5GS는 3GPP Release 16을 준수하는 C 언어 기반의 5G 코어 오픈소스 프로젝트이며 GNU AGPLv3.0 라이선스를 준수하고 상업용 라이선스는 NextEPC社가 보유하고 있다[17]. 5G 네트워크

표 2 Open5GS 지원/미지원 항목[18]

지원 항목	<ul style="list-style-type: none"> • AES/Snow3G/SUC 암호화 알고리즘 • Milenage 기반 USIM 카드 • IPv6 • 다수의 PDU 세션 • S1/X2 인터페이스 및 Xn 핸드오버 • CSFB/SMSoS • VoLTE
미지원 항목	<ul style="list-style-type: none"> • OCS/OFCS • NB-IoT • eMBMS • SRVCC • 로밍 기능 • 긴급 전화 • ePDG

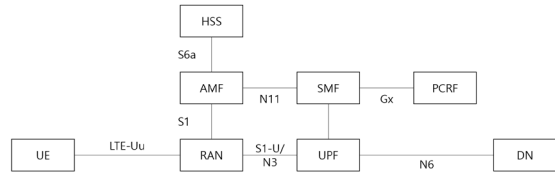
크의 암호화 알고리즘인 NEA에 사용되는 AES, Snow3G, ZUC을 지원하며 Milenage 방식의 USIM 카드를 지원한다. 또한, S1/X2 인터페이스와 Xn 핸드오버를 지원하며 CSFB와 SMSoS 및 VoLTE를 지원한다. 구체적인 지원 및 미지원 항목은 표 2와 같다.

현재 Open5GS에는 5G 코어에서 기본이 되는 AMF, SMF, UPF에 추가로 NRF, UDR 등의 코어 요소들도 구현된 상태이며 현재도 계속해서 추가적인 코어 요소들이 구현되는 중이다. 5G RAN과의 연계성은 공식적으로 IV장 1절에서 설명할 UERANSIM과 연결해 구성할 것을 권장하고 있다. Open5GS의 전체 코드는 Github을 통해서 확인할 수 있다[18].

2. Free5GC

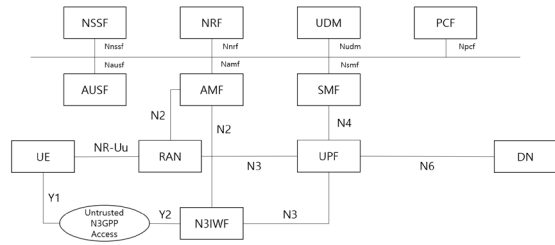
Free5GC는 대만의 국립 자오통 대학에서 개발 중인 Go 언어 기반의 5G 코어 오픈소스 프로젝트이며 Apache 2.0 라이선스를 준수하고 3GPP Release 15를 기반으로 5G 코어 개발환경을 제공한다 [19].

Free5GC는 5G 코어 개발은 세 단계로 이루어지



출처 <https://free5gc.org/roadmap/>, 기반 재작성

그림 2 Free5GC 1단계 개발 계획



출처 <https://free5gc.org/roadmap/>, 기반 재작성

그림 3 Free5GC 2단계 개발 계획

고 있다. 1단계는 그림 2와 같이 5G 코어의 기본적 요소인 AMF, SMF, UPF만이 정의된 형태이며, 2단계는 그림 3과 같이 1단계에 추가적인 5G 코어 요소들이 SBI를 기반으로 구현된 형태이다. 3단계는 2단계를 기반으로 Non-3GPP 액세스를 지원하는 코어 요소인 N3IWF와 ULCL이 추가로 정의된 형태이다.

현재는 3단계까지 모두 개발이 완료된 상태이며 Free5GC와 연계되는 RAN 솔루션은 아직까지 명확하지 않은 상태이다. Free5GC의 전체 코드는 Github을 통해서 확인할 수 있다[20].

IV. 5G RAN 오픈소스 프로젝트

이 장에서는 5G 무선 액세스인 5G RAN과 관련되어 현재 개발되고 있는 공개 소프트웨어 기반 프로젝트들을 소개한다.

1. UERANSIM

UERANSIM은 3GPP Release 15를 기반으로 5G RAN 개발을 지원하는 C 언어 기반의 공개 소프트웨어 기반 프로젝트이며 GPL 3.0 라이선스를 준수한다. UERANSIM은 현재 SA 5G RAN을 지원하는 유일한 공개 소프트웨어 기반 프로젝트로서 5G RAN의 제어 평면과 사용자 평면을 모두 지원한다. 단, SDR 장비를 이용한 실제 무선 신호를 송/수신하는 인터페이스는 아직 구현되지 않았다. UERANSIM은 Open5GS 등의 5G 코어 오픈소스 프로젝트와 결합되어 사용될 수 있다[21].

현재 무선 인터페이스를 제외한 기본적인 5G RAN의 구성 요소들은 개발이 완료되었으며 전체 코드는 Github을 통해서 확인할 수 있다.

2. SD-RAN

SD-RAN은 ONF에서 개발 중인 5G Open RAN에 초점이 맞춰진 5G RAN 프로젝트이며, ONF Member-Only Software License를 준수하고 3GPP의 Open RAN 사양을 기반으로 RAN을 개발한다[22].

Open RAN은 5G RAN에서 안테나/라디오 부분인 RU와 PHY, MAC 등의 일부 프로토콜을 담당하는 DU를 연결하는 프론트홀 규격을 표준화함으로써 개방형으로 5G RAN을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. SD-RAN은 전체적인 5G RAN 환경을 앞에서 소개한 OpenAirInterface를 이용해 구성하며 Open RAN을 기반으로 ONF의 μ ONOS-RIC, RRM Apps, SON Apps, Policy Apps와 같은 추가적인 인터페이스와 어플리케이션으로 구성된다.

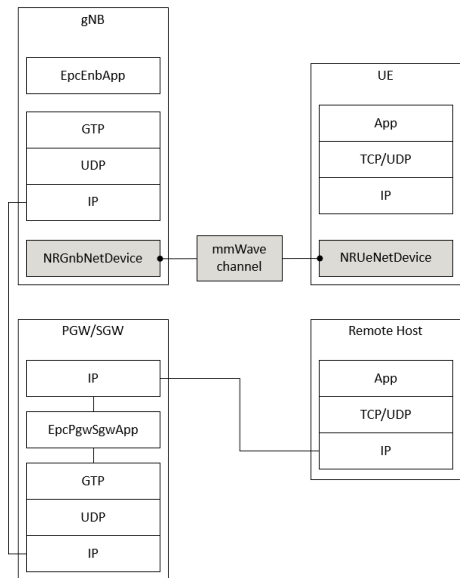
현재 SD-RAN은 Open RAN 사양을 따르는 End-to-End 모바일 RAN 스택인 SD-RAN 1.0을 릴리즈하고 있다.

V. 5G 시뮬레이터

5G 네트워크 기술을 개발하고 테스트하기 위해 5G 환경을 구축하는 것은 시간과 비용이 많이 소요된다. 이 장에서는 실제 테스트베드 환경을 구축하기 전에 효과적으로 개발할 기술의 프로토타이핑과 테스트를 해 볼 수 있는 오픈소스 및 상용 5G 시뮬레이터 기술들을 소개한다.

1. 5G-LENA

2020년 9월, 스페인의 CTTC는 5G 네트워크 시뮬레이터인 5G-LENA v1.0.0을 배포했다[23]. 5G-LENA는 LTE/EPC 네트워크 시뮬레이터인 LENA를 기반으로 하여 ns-3의 플러그인 형태로 개발되었다. LENA는 SON 알고리즘을 설계하고 테스트할 수 있도록 만들어진 오픈소스 LTE/EPC



출처 Reprinted from Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 96, P. Natale et al., An E2E simulator for 5G NR networks, Pages no. 101933, Copyright (2019), with permission from Elsevier

그림 4 End-to-End class overview

네트워크 시뮬레이터이다. 5G-LENA는 ns-3의 LTE 모듈인 LENA의 진화된 버전이며, 5G에서의 mmWave 셀룰러 네트워크 시뮬레이션을 위한 ns-3의 mmWave 모듈을 사용한다.

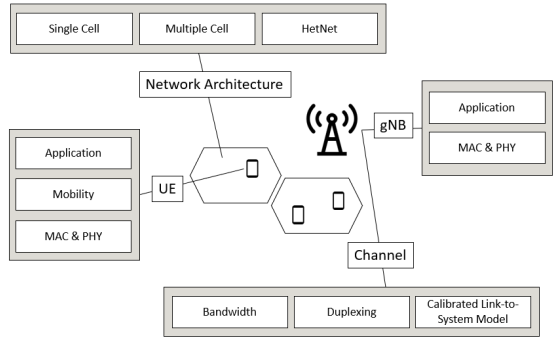
그림 4는 UE와 원격 호스트 간의 End-to-End 추상화를 도식화한 것이다. 5G-LENA는 UE와 gNB를 각각 ns-3 NR 컴포넌트의 NRUENetDevice 클래스와 NRGnbNetDevice 클래스를 이용하여 추상화한다. 두 Device 추상화 간의 채널은 mmWave 모듈로 구성된다. 프로토콜 스택은 기존의 LENA에서 정의된 클래스들로 구성된다.

5G-LENA는 3GPP에서 발표한 최신 표준을 준수하는 NR 시뮬레이터를 구축하였음에도 불구하고 현재까지는 MIMO, Massive MIMO 그리고 FDD 등의 기능은 제한적으로 제공되고 있다.

5G-LENA를 사용하려면 CTTC에서 서비스하는 다운로드 페이지를 통해서 사용자의 Gitlab 정보를 전달해야 한다[24]. CTTC는 전달받은 사용자의 Gitlab 계정에 5G-LENA 프로젝트 미러의 읽기 권한을 부여한다. 5G-LENA는 GPLv2 라이선스를 준수하여 사용해야 한다.

2. 5G-air-simulator

이탈리아 Polytechnic University of Bari의 Telematics Lab에서 개발한 오픈소스 프로젝트인 5G-air-simulator는 실제 NR 환경을 구축하고 프로토타이핑하는 것보다 빠르고 저렴하게 NR에서의 통신 기술 설계, 평가 및 최적화를 제공한다 [25]. 5G-air-simulator는 massive MIMO, extended multicast 및 broadcast, enhanced random access, NB-IoT 등, NR의 핵심 요소를 모델링한다. C++로 구현된 5G-air-simulator는 event-driven 그리고 객체 지향 패러다임을 지향한다. 5G-air-simulator는 잘



출처 Reprinted from Computer Networks, vol. 173, S. Martiradonna et al., 5G-air-simulator: An open-source tool modeling the 5G air interface, Pages no. 107151, Copyright (2020), with permission from Elsevier, 기반 재작성

그림 5 Overview of many customizable features offered by 5G-air-simulator

```

RX CBR ID 119 B 0 SIZE 20 SRC 3 DST 0 D 0.003 0
RANDOM_ACCESS COLLISION UE 12 PREAMBLE 7 TIME 48
DROP VIDEO ID 681 B 29
PHY_RX SRC 2 DST 7 X 240 Y -130 SINR 3.9366 RB 13 MCS 13 SIZE 1131 ERR 1 T 0.052
PHY_RX ...
TX INF_BUF ID 120 B 1 SIZE 1490 SRC 2 DST 3 T 0.052 0
PHY_RX ...

```

출처 Reprinted from Computer Networks, vol. 173, S. Martiradonna et al., 5G-air-simulator: An open-source tool modeling the 5G air interface, Pages no. 107151, Copyright (2020), with permission from Elsevier, 기반 재작성

그림 6 Example of the text trace

알려진 LTE 시뮬레이터인 LTE-sim[26]의 핵심 기능을 기반으로 하여 그림 5와 같이 5G 시뮬레이션을 위한 기능들로 구성된다.

5G-air-simulator는 시뮬레이션이 실행되는 도중에 실시간으로 이벤트를 추적하고 그 결과를 사용자가 확인할 수 있도록, 그림 6의 예시와 같이 텍스트 기반 추적 기능을 제공한다. 각 행의 첫 번째 필드는 trace를 발생시킨 이벤트를 의미한다. TX, RX 그리고 DROP은 각각 패킷 송신, 수신 그리고 삭제를 의미하고, PHY_RX는 물리 계층에서 발생된 trace임을 의미한다. 이 외에도 텍스트 기반 추적 기능은 랜덤 액세스 정보, 패킷에 대한 어플리케이션

선 정보 노드/패킷 식별 정보 그리고 패킷 지연 시간 등등 다양한 trace를 제공한다.

5G-air-simulator 프로젝트 소스코드는 개발자의 Github을 통해 누구나 접근할 수 있으며, 사용자는 GPL-3.0 라이선스를 준수하여 사용해야 한다[27].

3. NetSim

TETCOS 社의 NetSim은 end-to-end, full stack, packet level network 환경들을 기반으로 사용자 친화적인 GUI까지 모두 제공하는 상용 시뮬레이터로서 네트워크 엔지니어에게 프로토콜 모델링, 네트워크 R&D 그리고 military communication을 위한 기술 개발에 앞서 저렴한 비용으로 프로토타이핑을 할 수 있는 환경을 제공한다[28]. NetSim은 academic, standard 그리고 professional 버전으로 구분되며, standard와 professional 버전에서 5G NR 환경을 지원한다.

2019년 8월 NetSim v12부터 5G NR feature들이 포함되기 시작하였으며 현재는 핸드오버 시뮬레이션 기능과 PDCP, RRC, RLC 기능이 개선된 v12.2가 제공되고 있다.

NetSim은 UE, gNB, EPC, Router, Switch, Server 등의 장치들을 비롯하여 NR의 링크와 패킷 제어를 쉽게 시뮬레이션할 수 있도록 GUI 기반의 대시보드를 제공한다. NetSim의 5G 라이브러리는 TCP/IP 계층 이하 모든 네트워크 계층에 걸친 시뮬레이션 환경을 제공한다. NetSim에서 테스트할 수 있는 응용 서비스 모델은 기본으로 제공되는 FTP, HTTP, Voice, E-mail, Database를 포함하여 사용자에게 커스텀한 서비스도 포함된다.

NetSim은 시뮬레이션 workflow에 따라서 최적의 사용자 GUI를 제공한다. 사용자는 Design Window를 통해 장치, 링크, 응용 등의 정적 설정을 수행한다. Animator Window는 패킷 흐름, 속도 제어, UE 이동성 등의 동적 설정을 제공한다. 마지막으로 Result Window를 통해 이벤트 추적, NR 이벤트 로그, 네트워크 지연 및 처리량에 대한 plotting 등을 확인할 수 있다.

위에서 소개한 5G 시뮬레이터 외에도 5G R&D에 활용할 수 있는 도구로써 nuXmv[29]라는 이진 결정 다이어그램 기반 모델 검증 도구가 존재한다. 2019년 ACM CCS에서 발표된 5GReasoner에 따르면, nuXmv를 활용해 5G의 RRC 채널 등에서 발생하는 보안 취약점을 분석한 연구 사례가 존재한다[30].

표 3 5G 코어 공개 소프트웨어 기반 프로젝트 특징 비교 [2,6,17,19]

구분	Free5GC	Open5GS	OpenAir Interface	srsLTE
언어	Go	C	C, C++	C, C++
플랫폼	self	Docker	self	self
라이선스	Apache V2.0	AGPL V3.0	OAI Public License V1.1	AGPL V3.0
Release 버전	15	16	15	14
가지국 연결	none	UERANSIM	OpenAir Interface	srsLTE

VI. 결론

본 고에서 소개된 5G 오픈소스 프로젝트들은 제공하는 기능 별로 풀스택, 5G 코어 그리고 5G RAN으로 분류된다. 5G 오픈소스 프로젝트들은 기존에 3GPP에서 표준화한 기능들에 대한 추가 개발을 지속함과 동시에 새로운 5G 관련 기능이 표준으로 계속 반영됨에 따라 이를 반영하고 업데이트해 나갈 것으로 전망된다. 표 3, 4는 주요 공개

표 4 5G 코어 공개 소프트웨어 기반 프로젝트 기능 개발 현황[2,6,17,19]

기능	Free5GC	Open5GS	OpenAir Interface	srsLTE
AMF	0	0	0	2021년 2분기 개발 예정
SMF	0	0	0	
UPF	0	0	0	
AUSF	0	0	X	
NRF	0	0	X	
PCF/PCRF	0	0	X	
UDR	0	0	X	
UDM	0	0	X	
N3IWF	0	X	X	
NSSF	0	X	X	

표 5 5G RAN 공개 소프트웨어 기반 프로젝트 특징 비교[2,6,21,22]

구분	UERANSIM	OpenAir Interface	srsLTE	SD-RAN
Language	C, Java	C, C++	C, C++	Java
SDR 지원	X	0	X	0
5G Radio Interface	X	0	X	0
Control Plane	0	0	0	0
User Plane	0	0	X	0
라이선스	GPL V3.0	OAI Public License V1.1	AGPL V3.0	Apache V2.0
Release 버전	15	15	15	15

소프트웨어 기반 5G 코어 프로젝트에 대해 현재까지의 주요 특징과 개발 현황을 비교한 것이다.

표 5는 본 고에서 살펴본 공개 소프트웨어 기반 5G RAN 프로젝트에 대해 현재 개발 현황 및 특징을 비교한 것이다.

이동통신은 5G로 발달하면서 더욱 복잡하고 많은 서비스를 제공하게 되었다. 따라서 상용망에서 서비스를 도입하기 이전에 서비스 검증을 위한 테스트베드의 필요성이 높아지게 되었고, 5G 공개 소

프트웨어 기반 프로젝트가 해당 역할을 수행할 수 있을 것으로 전망된다. 향후, 본 고에서 소개한 5G 공개 소프트웨어 기반 프로젝트들을 활용해 5G 테스트베드를 구축함으로써 다양한 서비스의 검증이 가능할 것으로 기대된다.

용어해설

코어 네트워크 이동통신의 핵심망, RAN과 외부 데이터 네트워크 사이에 있으며 사용자에게 음성을 비롯한 다양한 형태의 데이터 서비스를 제공

RAN 단말기의 초기 접속, 기지국과 단말기 간의 데이터 전송, 코어 네트워크와 단말기 간 사용자 데이터와 제어 명령 송·수신, 각 단말기의 서비스별 QoS(Quality of Service) 제어 등을 처리

SDR 하나의 무선기기로 주파수나 출력, 변조방식 등을 소프트웨어적으로 변경하여 다른 무선 통신방식의 서비스를 제공받을 수 있는 기술

용어 정리

- 3GPP The 3rd Generation Partnership Project
- AMF Access and Mobility Function
- AUSF Authentication Server Function
- CN Core Network
- CNN Convolutional Neural Networks
- COTS Commercial Off-the-Shelf
- CSFB Circuit Switched Fall Back
- CTTC Centre Technologic de Telecomunicacions de Catalunya
- CU Central Unit
- DN Data Network
- DU Distributed Unit
- EEA EPS Encryption Algorithm
- EIA EPS Integrity Algorithms
- eMBMS evolved Multimedia Broadcast Multicast Services
- EPC Evolved Packet Core

ePDG	evolved Packet Data Gateway	UDR	Unified Data Repository
FDD	Frequency Division Duplex	UE	User Equipment
HSS	Home Subscriber Server	ULCL	Uplink Classifier
LTE	Long Term Evolution	UPF	User Plane Function
LSTM	Long Short-Term Memory models	USIM	Universal Subscriber Identify Module
MEC	Mobile Edge Computing	VoLTE	Voice over LTE
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output		
N3IWF	Non-3GPP Inter-Working Function		
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things		
NEA	NR Encryption Algorithm		
NIA	NR Integrity Algorithm		
NRF	Network Repository Function		
NR	New Radio		
NSSF	Network Slicing Selection Function		
OCS	Online Charging System		
OFCS	Offline Charging System		
PCF	Policy Control Function		
PCRF	Policy and Charging Rule Function		
PDCP	Packet Data Convergence Protocol		
PDU	Protocol Data Unit		
RAN	Radio Access Network		
RLC	Radio Link Control		
RRC	Radio Resource Control		
RU	Radio Unit		
SAT	Satisfiability		
SDR	Software Define Radio		
SMF	Session Management Function		
SMSoS	SMS Over SGs		
SMT	Satisfiability Modulo Theories		
SoE	State of Energy		
SON	Self Organized Network		
SRVCC	Single Radio Voice Call Continuity		

참고문헌

- [1] 3gpp Release 15, <https://www.3gpp.org/release-15>
- [2] OpenAirInterface, <https://openairinterface.org>
- [3] USRP X310, <https://www.ettus.com/all-products/x310-kit/>
- [4] LimeSDR, <https://limemicro.com/products/boards/limesdr/>
- [5] 3gpp Release 16, <https://www.3gpp.org/release-16>
- [6] srsLTE, <https://www.srsite.com/>
- [7] ZeroMQ, <https://zeromq.org/>
- [8] S. R. Hussain et al., "LTEInspector: A systematic approach for adversarial testing of 4G LTE," in Proc. Network Distrib. Syst. Secur. (NDSS) Symp. San Diego, CA, USA, Feb. 2018.
- [9] T. Fei and W. Wang, "LTE is vulnerable: Implementing identity spoofing and denial-of-service attacks in LTE networks," in Proc. IEEE Glob. Commun. Conf. (GLOBECOM) Waikoloa, HI, USA, Dec. 2019, pp. 1-6.
- [10] M. Kim et al., "Long-term evolution vulnerability focusing on system information block messages," in Proc. Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Convergence (ICTC) Jeju, Rep. of Korea, Oct. 2020, pp. 837-842.
- [11] H. Kim et al., "Touching the untouchables: Dynamic security analysis of the LTE control plane," in Proc. IEEE Symp. Secur. Priv. (SP) San Francisco, CA, USA, May 2019.
- [12] M. Echeverria et al., "PHOENIX: Device-centric cellular network protocol monitoring using runtime verification," arXiv preprint, CoRR, 2021, arXiv: 2101.00328v1.
- [13] C. Lipps et al., "Keep private networks private: Secure channel-PUFs, and physical layer security by linear regression enhanced channel profiles," in Proc. 3rd Int. Conf. Data Intell. Secur. (ICDIS), South Padre Island, TX, USA, June 2020, pp. 93-100.
- [14] Y.-J. Ku et al., "State of energy prediction in renewable energy-driven mobile edge computing using CNN-LSTM networks," in Proc. IEEE Green Energy Smart Syst. Conf. (IGESSC), Long Beach, CA, USA, Nov. 2020, pp. 1-7, 2020.
- [15] T. Sandholm and S. Mukherjee, "A multi-armed bandit-based approach to mobile network provider selection," arXiv preprint, CoRR, 2020, arXiv: 2012.04755v2.
- [16] OpenLTE, <http://openlte.sourceforge.net/>

- [17] Open5GS, <https://open5gs.org/>
- [18] Open5GS, <https://github.com/open5gs>
- [19] Free5GC, <https://free5gc.org/>
- [20] Free5GC, <https://github.com/free5gc/free5gc>
- [21] UERANSIM, <https://github.com/aligungr/UERANSIM>
- [22] SD-RAN, <https://opennetworking.org/sd-ran/>
- [23] N Patriciello et al., "An E2E simulator for 5G NR networks," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 96, 2019, article number: 101933
- [24] 5G-LENA, <https://5g-lena.cttc.es/download/>
- [25] S. Martiradonna et al., "Understanding the 5G-air-simulator: A tutorial on design criteria, technical components, and reference use cases," *Comput. Netw.* vol. 177, 2020, article number: 107314.
- [26] G. Piro et al., "Simulating LTE cellular systems: An open-source framework," *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. 60 no. 2, 2010, pp. 498-513.
- [27] 5G-air-simulator, <https://github.com/telematics-lab/5G-air-simulator>
- [28] Netsim, <https://tetcos.com/netsim-std.html>
- [29] nuXmv, <https://nuxmv.fbk.eu/>
- [30] S.R. Hussain et al., "5GReasoner: A property-directed security and privacy analysis framework for 5G cellular network protocol," in *Proc. ACM SIGSAC Conf. Comput. Commun. Secur.* London, UK, Nov. 2019, pp. 669-684.