

오픈소스 소프트웨어를 활용한 NWDAF 구현 및 성능 분석

이주영
고려대학교 전기전자공학부
dendy01@korea.ac.kr

요 약

본 논문은 OpenAirInterface (OAI) 오픈 소스를 활용하여 Network Data Analytics Function (NWDAF) 테스트베드를 구현하고, 이를 통해 네트워크 자동화를 목적으로 NWDAF의 성능을 테스트한 결과를 다룬다. NWDAF는 네트워크 성능, 사용자 행동, 트래픽 패턴 등을 AI/ML 기술을 통해 분석하여 네트워크 최적화와 운영 효율성 향상에 기여하는 역할을 수행한다. 논문에서 구현된 네트워크 환경에서의 NWDAF는 가입자 수, 세션 성공률, UE(사용자 장비) 통신 통계, UE의 이동성 정보 등 중요한 네트워크 지표들을 실시간으로 분석한다. 더불어 AMF와 SMF의 데이터 분석을 통해 네트워크 상태와 성능에 대한 자세한 데이터에 대한 분석을 진행한다.

II. NWDAF 구현 및 성능 분석

I. 서론

최근 5G 네트워크 상용화와 함께 실시간 애플리케이션에 대한 수요가 증가하고, 네트워크 트래픽이 급증하고 있다. 이러한 배경하에, 인공지능(AI) 및 머신러닝(ML) 기술의 고도화와 더불어 네트워크 자동화에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이에 따라 네트워크 자동화의 핵심적인 기능 중 하나인 Network Data Analytics Function (NWDAF)의 개발과 적용에 대한 필요성이 증가하고 있다.

NWDAF는 3GPP에서 Release 15부터 도입하였으며, 데이터 분석을 제공하는 역할을 한다. NWDAF는 네트워크 성능, 사용자 행동, 트래픽 패턴 등 Network Function (NF)들로부터 데이터를 수집하고 AI/ML을 통해 분석한다. 분석을 제공함으로써 네트워크를 최적화하도록 돕고, 네트워크 운영 및 유지관리에 기여한다.

현재 NWDAF는 네트워크 자동화를 목적으로 하는 다양한 기능을 제공한다. 본 논문에서는 NWDAF의 다양한 기능의 성능을 분석하기 위해 OpenAirInterface (OAI)라는 오픈 소스 소프트웨어 기반 프로젝트를 활용하여 가상환경에서 구현된 테스트베드를 사용한다. OAI에서 제공하는 테스트베드를 기반으로, Access Management Function (AMF), Session management function (SMF)을 중심으로 다른 NF에 대한 분석을 제시하고자 한다.

본 논문은 OpenAirInterface에서 구현되어 있는 Network Data Analytics Function (NWDAF) 테스트베드에서의 분석을 진행한다. 이 과정에서 NWDAF의 핵심 구조에 대해 파악하고, 분석 정보 API와 이벤트 구독 API를 통해 분석 결과를 도출한다. 이를 통해 네트워크 성능 개선과 사용자 경험 향상에 기여할 수 있는 방법을 제시한다.

1) NWDAF 세부 구조

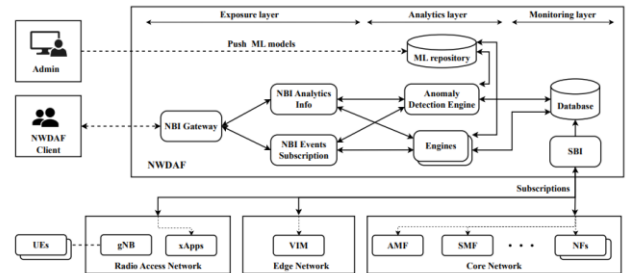


그림 1 NWDAF architecture

그림 1은 OpenAirInterface NWDAF의 내부 아키텍처이며, Exposure layer, Analytics layer, monitoring layer로 구성되어 있다. 각 레이어 및 모듈과 동작 과정에 대한 설명은 다음과 같다. 첫째로, Exposure Layer에서는 NBI Gateway를 통해 클라이언트 요청을 받아들이며 모듈로 전달한다. 기본적으로 두 가지 주요 서비스를 클라이언트에게 제공한다. 먼저, NBI Analytics Info 모듈로는 특정 유형의 분석 정보를 실시간으로 요청할 수 있다. 그리고 NBI Event Subscription 모듈을 통해 다양한

분석 이벤트에 구독하거나 구독 해제할 수 있으며, 구독된 이벤트의 알람을 통해 데이터를 받을 수 있다. Analytics Layer에서는 다양한 분석 엔진을 통해 네트워크 데이터에 대한 심층 분석을 수행한다. 예를 들어, 이상 탐지 엔진(Anomaly Detection Engine)은 ML을 활용하여 네트워크에서 비정상적인 트래픽 패턴을 식별한다. Monitoring Layer에서는 SouthBound Interface (SBI)로 NF 들을 구독하며 수집한 데이터들을 데이터베이스에 저장한다. NWDAF 내부 구조에서 대부분의 모듈들은 빠른 성능과 확장성을 제공하는 GO 언어로 개발되었으며, 특정 엔진에서는 기계학습 라이브러리를 사용하기 위해 Python 언어를 사용하고 있다. [1]

2) OAI NWDAF 구현

오픈소스 소프트웨어인 OAI 를 활용하여 3GPP 표준에 준수하여 NWDAF 를 구현할 수 있다. 이를 위해 리눅스 기반의 운영체제와 Git, Docker 등 특정 라이브러리의 개발 환경이 요구된다. 본 논문에서는 NWDAF 와 5G Core Network 의 구성 요소들을 docker 를 통해 설치하고, 이를 gNodeB 및 UE 와 연결한 환경을 사용한다. 설치한 5G 테스트베드 환경에서 NWDAF 의 이벤트 구독 API 와 분석 정보 API 를 통해 기능을 테스트한다. 현재 구현된 OAI NWDAF 에서는 다음과 같은 사용 사례를 지원한다 : (i) num_of_ue, 특정 시간 동안의 UE 연결 요청 수 ; (ii) sess_succ_rate, 세션 성공률 ; (iii) ue_comm, 업링크 및 다운링크의 패킷 수와 같은 UE 통신 통계; (iv) ue_mobility, UE 의 셀 ID. 또한, 기계 학습(ML)의 비정상 트래픽을 감지하는 서비스를 제공한다. 이는 3GPP 표준에서 “abnormal_behaviour” 정의되며, Auto Encoder 모델로 업링크와 다운링크의 볼륨을 학습하여 비정상적인 트래픽을 감지한다. 추가로 AMF 와 SMF 에서의 데이터를 NWDAF 데이터베이스에서 조회 및 분석을 할 수 있다.

3) NWDAF 성능 분석

NWDAF 의 이벤트 구독 API 와 분석 정보 API 를 통해 다양한 사용 사례에 대한 데이터 조회 및 분석이 가능하다.

먼저 네트워크에 접속되어 있는 사용자 수 정보를 ‘numUe’를 통해 파악할 수 있다. 가상 환경 내에서 ‘absolutenum’이라는 지표를 통해 네트워크 내 총 가입자(UE)수를 알 수 있다. 이러한 정보는 네트워크 전체 규모와 수용 능력을 파악하여

네트워크 슬라이싱 및 트래픽 관리에 사용된다. 그림 2 는 UE 를 연결했을 때 ‘absolutenum’의 변화를 보여준다. 가상환경에서 UE 를 5G Core 와 연결했을 때, 값이 1 이 된다. 이를 통해 데이터가 정확하게 출력되고 있음을 확인할 수 있었다.

```

(a) Initial state:
{
  "nwPerfs": [
    {
      "networkArea": {},
      "nwPerfType": "NUM_OF_UE",
      "relativeRatio": 0,
      "absoluteNum": 0,
      "confidence": 0
    }
  ]
}

(b) After UE connection:
{
  "nwPerfs": [
    {
      "networkArea": {},
      "nwPerfType": "NUM_OF_UE",
      "relativeRatio": 0,
      "absoluteNum": 1,
      "confidence": 0
    }
  ]
}

```

그림 2 'numUE (a) 초기 상태 (b) UE 연결 후

다음으로 ‘numPdu’는 ‘numUe’에서의 사용자에게 의해 특정 시간 동안 처리된 Protocol Data Unit (PDU) 세션 수에 대해 파악할 수 있다. 이를 통해 세션 성공률 분석을 통한 실시간 서비스 모니터링이 가능하며, 세션 수 변화에 따른 트래픽 예측, 비정상적인 세션 실패 패턴 탐지 및 대응을 할 수 있다.

또한, 사용자의 통신 정보는 ‘ueComm (UE Communication)’에서 확인할 수 있다. 사용자의 트래픽 정보인 업링크와 다운링크 볼륨, 분산, 패킷 수 등을 파악할 수 있다. 이 데이터를 네트워크 성능 분석, 트래픽 관리, 사용자 경험 개선 등의 목적으로 활용할 수 있다.

더불어 NWDAF 의 이벤트 구독 API 를 통해 클라이언트가 다양한 분석 이벤트에 대해 구독하고 분석한 데이터를 확인할 수 있다. OAI 에서 확인할 수 있는 이벤트에는 이상 행동 감지, 사용자의 mobility, 주기적인 통신 정보가 있다.

먼저, 네트워크에서 이상 행동 (anomaly)를 주기적으로 감지할 수 있다. 본 논문에서 구현된 가상환경에서는 "ABNORMAL_BEHAVIOUR"

이벤트에 대한 정보를 확인할 수 있었다. 이때의 비정상적인 트래픽 비율이 '48'의 수치로 측정됨을 확인할 수 있다. Traffic generator 로 정상적인 트래픽을 보냈을 때, 비율(ratio)은 0 에 점점 가까워지며, 다시 비정상적인 트래픽을 보내면 값이 올라가는 것을 확인할 수 있었다. 추가로 정상적인 트래픽을 보냈을 때 감소하는 ratio 값의 속도는 비정상적인 트래픽을 보내서 증가할 때보다 더 느렸다. 이러한 실시간 분석을 통해 네트워크의 비정상적인 트래픽의 비율 분석과 서비스 품질 저하 탐지, 불법 접근 탐지 등에 도움을 줄 수 있다.

다음으로 NWDAF 의 'mobility'는 사용자의 이동에 대해 예측함으로써 효율적인 mobility 관리를 지원할 수 있습니다. 예시로는 사용자의 이동 경로를 예측하여 핸드오버를 사전에 준비함으로써 끊김 없는 서비스를 제공할 수 있으며, 사용자의 모빌리티 패턴을 분석하여 개인화된 서비스를 제공할 수 있다. 네트워크에 연결된 UE 의 수를 분석하고, 그 과정에서 발생하는 트래픽을 분석하여 비정상적인 트래픽 감지 및 패턴을 통하여 사용자들을 대상으로 네트워크 운영 최적화를 구현할 수 있다.

'networkPerf_ueComm'은 사용자 수, 세션 성공률, 데이터 볼륨을 주기적으로 얻을 수 있다. 연결된 UE 의 수와 PDU 세션의 수를 볼 수 있으며, 일정 시간동안의 데이터 볼륨과 분산을 확인할 수 있다. 이 데이터를 통해 UE 간의 통신 정보를 분석할 수 있고, 네트워크의 상태를 모니터링하여 효율적으로 관리하는 데 사용할 수 있다.

구현된 네트워크 환경에서는 NWDAF 데이터베이스에 저장된 AMF 와 SMF 의 데이터를 불러올 수 있다. Access and Mobility Management Function (AMF)는 5G 네트워크의 핵심 기능 중 하나로, 접속 관리, 이동성 관리, 세션 관리 등의 역할을 수행한다. 또한, 다른 네트워크 기능(UPL, SMF 등)과 상호작용하여 5G 네트워크의 전반적인 운영과 관리에 필수라고 볼 수 있다. AMF 데이터 분석으로 UE 의 위치 정보, 네트워크를 식별하는 고유 번호, UE 의 등록 상태 및 접속 유형 등을 알 수 있다. 이때 UE 의 위치 정보는 TAI(Tracking Area Identity), NCGI(NR Cell Global Identity), gNB(gNodeB) ID 등으로 표현된다. AMF 는 이러한 위치 정보를 관리하여 UE 의 이동성을 지원할 수 있다. 본 논문에서 구현된 환경에서는 'plmnid: { mcc: '208', mnc: '95' }'의 코드를 확인할 수 있었으며, 이는 통신망에서 고유한 이동통신망을 식별하는 데 사용할 수 있다.

Session Management Function (SMF)는 단말과 데이터 네트워크 간의 세션을 제어하는 역할을 한다. IP 주소 할당, PDU 세션 터널 생성, QoS 관리 등의 기능을 수행한다. 추가로 데이터 평면 상호작용, 법적 요구사항 지원 등을 제공하며, 단말의 이동성을 지원하기 위해 핸드오버 등의 기능을 수행한다. SMF 에서 얻은 데이터를 통해 QoS 모니터링 정보, 사용자 정의 데이터, 사용량 보고서, 패킷 수, 보고 트리거, 사용량 보고 순번, 데이터 볼륨, PDU 세션 ID 등을 파악할 수 있다. 이 데이터는 사용자 경험을 모니터링하고 네트워크 품질을 관리하는 데 사용할 수 있다. 더불어 데이터의 세부 내용을 통해 네트워크 성능 문제를 진단하고 사용자에게 제공되는 서비스의 품질을 개선할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 오픈소스 소프트웨어인 OAI 를 통해 NWDAF 를 5G 코어 네트워크에 구현하고, 그 아키텍처와 분석 결과를 제시하였다. NWDAF 는 네트워크에 접속한 가입자 수, 세션 성공률, UE 통신 통계, UE 의 이동성 등 중요한 네트워크 지표들을 실시간으로 분석하였다. 이를 기반으로 네트워크 운영의 최적화 및 사용자 경험 개선에 기여할 수 있음을 확인하였다. 또한, AMF 와 SMF 에서의 데이터 분석을 통해 네트워크 상태와 성능에 대한 데이터를 자세하게 파악할 수 있었다. 이러한 NWDAF 의 테스트베드 구축 및 성능 분석은 실제 운영 환경에 적용하기 전 NWDAF 의 성능을 평가하는 목적으로 사용할 수 있다. 향후 연구에서는 확장된 네트워크 환경에서 NWDAF 의 성능을 평가하고, 다양한 네트워크 조건에서의 안정성을 분석하는 연구를 진행할 예정이다. 이는 NWDAF 의 확장성과 가용성을 높이기 위한 연구에 도움이 될 것으로 예상된다.

IV. 참고 문헌

- [1] Mekrache, A., Boutiba, K., Ksentini, A., "Combining Network Data Analytics Function and Machine Learning for Abnormal Traffic Detection in Beyond 5G," 2023 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp. 1-6, 2023