

6G 프레임워크 실현을 위한 모바일 네트워크 시스템 아키텍처 진화 전망

고남석 TTA 한국ITU연구위원회 ITU-T SG11 연구반 반장/6G포럼 네트워크기술WG 의장,
한국전자통신연구원 모바일코어네트워크연구실 실장

1. 머리말

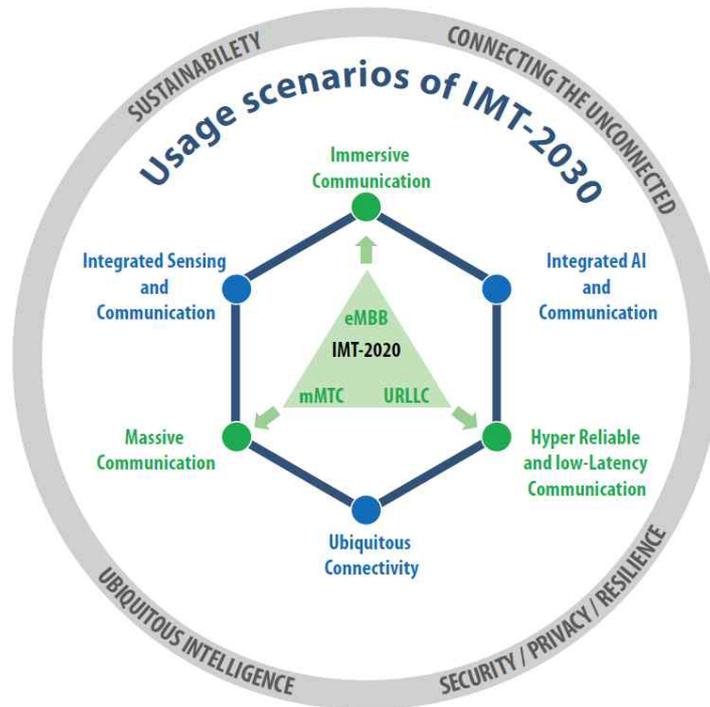
3GPP는 릴리즈 15를 시작으로 모바일 네트워크의 최신 기술인 5G에 대한 표준화를 진행하였으며 이를 기반으로 2019년 세계 최초 상용화가 이루어졌다. 5G는 기존 4G까지의 네트워크 노드 중심 구조에서 탈피하고, 네트워크 기능(NF, Network Function)을 중심으로 새로운 서비스의 수용 능력을 향상한 서비스 기반구조(SBA, Service-Based Architecture)의 채택, 네트워크 슬라이싱 도입 등으로 구조적 혁신이 이루어졌다[1]. 이후 3GPP 릴리즈 16과 17을 거쳐 URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication), 사설망(NPN, Non-Public Network), 네트워크 자동화, 비지상 네트워크(NTN, Non-Terrestrial Network) 등 확장·개선이 진행되었다[1].

현재 5G 표준에서 좀 더 진화된 기술로서 5G-Advanced 표준이 진행되고 있다. 5G-Advanced 첫 번째 릴리즈로 표준화가 진행 중인 3GPP 릴리즈 18은 2024년 3월 완료 예정으로 에지 컴퓨팅 등 버티컬 산업 지원을 위한 확장 기능, 네트워크 슬라이싱 개선, 몰입형 XR(Extended Reality) 및 멀티미디어 서비스 지원, 네트워크 자동화 기능 개선, 비지상 네트워크에 대한 확장 등 5G로부터의 많은 기술 진화를 다루고 있다. 3GPP 릴리즈 18의 시스템 아키텍처 및 서비스에 대한 단계 2(Stage 2) 작업이 완료됨에 따라 차기 5G-Advanced 표준인 3GPP 릴리즈 19 작업 역시 논의가 시작되었다. 2023년 6월에 3GPP TSG (Technical Specification Group) RAN (Radio Access Network) 그룹과 TSG SA (Service & System Aspects) 그룹이 각각 100차 총회 동안 릴리즈 19 워크숍을 개최하여 각 회원사로부터 3GPP 릴리즈 19 표준을 위한 관심 주제 의견을 청취하였으며, 이를 기반으로 3GPP 릴리즈 19 표준 연구 아이템 선정 절차에 돌입하였다. 향후 3GPP 릴리즈 19 표준 연구 아이템은 2023년 9월 101차 총회와 2023년 12월 102차 총회를 거쳐 최종 승인이 이루어질 예정이다.

6G에 대한 표준도 2023년 6월 개최된 제44차 ITU-R WP5D 회의에서 6G 목표 서비스와 핵심 성능 등 개념을 담은 IMT-2030 프레임워크 권고안 개발이 완료되며 본격화되었다[2]. 6G 프레임워크¹⁾ 권고안은 오는 9월 ITU산하 지상통신연구반(SG5) 회의에서 채택되면, 이후 승인절차를 거쳐 올해 말경 권고안으로 최종 확정될 예정이다. 이를 바탕으로 성능기준·평가방법 정의(2024~2026년), 후보기술제안(2027~2028년) 및 평가·선정(2028~2029년) 과정을 거쳐 2030년에 6G 표준 개발 및 승인이 완료되는 일정으로 진행된다. [그림1]에 보이는 것처럼 6G 사용 시나리오(Usage scenarios)로 5G의 eMBB(Enhanced Mobile Broadband), mMTC(Massive Machine Type

1) 초기 문서 제목에 vision이란 용어가 사용되어 '6G 비전' 문서로 불렸으며, 표준 문서 제목으로는 적절하지 않다는 판단에 따라 제목에서 삭제됨

Communication), URLLC(Ultra Low Latency Communication)를 보다 더 향상한 세 개의 성능 시나리오에 더해 '센싱과 통신의 결합(Integrated sensing and communication)', '인공지능과 통신의 결합(Integrated AI and communication)', '편재 연결(Ubiquitous connectivity)' 등 세 개의 추가적인 시나리오가 정의되었다. 또한 이 모든 서비스에 적용되어야 하는 포괄적 특성으로 '지속가능성(Sustainability)', '보안/개인정보보호/회복탄력성(Security/Privacy/Resilience)', '비연결의 연결(Connecting the unconnected)'을 통한 연결성 확장, 편재 지능화(Ubiquitous Intelligence) 개념이 선정되었다.



[그림 1] 6G 사용 시나리오 및 포괄적 특성 [2]

6G 핵심성능지표로(KPI)는 기존 5G 지표의 9개 항목(최대전송속도, 사용자체감속도, 주파수효율, 면적당트래픽용량, 연결밀도, 이동성, 지연시간, 신뢰성, 보안·개인정보보호·회복탄력성)에 더해 6개 항목(커버리지, 포지셔닝, 센싱지표, 인공지능지표, 지속가능성, 상호운용성)이 추가되어 총 15개 항목이 선정되었다. 신뢰성, 지연시간, 연결밀도는 5G 대비 최대 10배까지 향상된 목표값을 제시하였으나, 아직 구체적으로 목표값 제시가 어려운 지표에 대해서는 향후 기술성능 요구사항 단계(2024~2026년)에서 결정하기로 하였다.

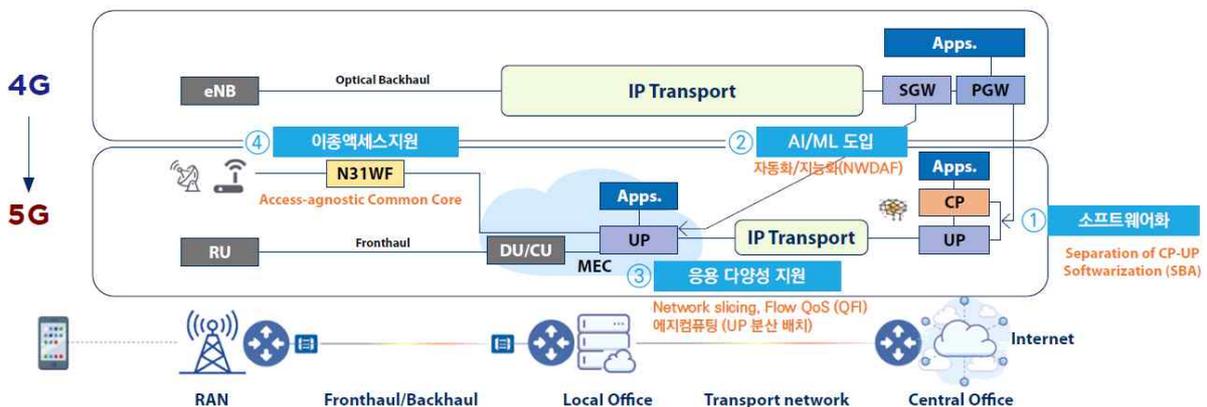
3GPP는 ITU-R이 제시하는 성능기준을 고려하여 6G 후보기술 표준화를 추진할 예정이며, 릴리즈 21이 6G 표준화의 첫 번째 릴리즈가 될 것으로 전망된다. 3GPP에서의 모바일 네트워크에 대한 표준화는 단말기와 무선 기지국 사이의 연결에 관련된 무선 액세스 네트워크와 단말이 무선 액세스 네트워크를 통해서 인터넷 등 데이터 네트워크에 연결될 수 있도록 해주는 모바일 코어 네트워크(CN: Core Network)로 크게구분되어 진행된다. 본고는 이 중 모바일 코어 네트워크 시스템 아키텍처의 진화를 전망해 보고자 한다. 2장에서 먼저 6G로의 진화 전망에 앞서 그 실마리로서 4G에서 5G/5G-Advanced로 모바일 코어 네트워크의 시스템 아키텍처가 어떻게 진화하였는지 현황을 살펴본다. 3장에서는 5G/5G-Advanced 모바일 코어 네트워크 시스템 아키텍처 발전의 틀

을 유지하며 ITU-R에서 제시된 6G 사용 시나리오를 만족하기 위해서 어떻게 진화할지 그 전망을 제시하고 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

2. 5G/5G-Advanced 시스템 아키텍처 진화현황

5G 이전의 모바일 코어 네트워크 기능은 전용하드웨어 장치와 전용 하드웨어 장치 간 고정된 인터페이스를 통해 제공되었기 때문에 장비 제조사에 대한 의존성이 강했으며, 새로운 기술 도입이나 기능 개선에 있어 유연성이 현저하게 떨어지는 단점이 있었다. 5G는 이러한 단점을 극복할 뿐 아니라 공장, 자율주행차, 의료와 같은 다양한 버티컬 산업을 위한 인프라로서 역할을 할 수 있도록 기술적 진화가 이루어졌다.

본고는 그러한 진화 기술을 3장에서 6G로의 진화에 연계되어 설명이 용이하도록 [그림 2]에서 보이는 바와 같이 관련성이 높은 기술 개념으로 묶어 '네트워크 소프트웨어화', 'AI/ML 도입 및 지원', '응용 다양성 지원 강화', '이종종 액세스 네트워크 지원' 등 크게 4가지 큰 주제로 현황을 설명해보고자 한다.



[그림 2] 4G에서 5G로의 모바일 코어 시스템 아키텍처 진화 현황

2.1 네트워크 소프트웨어화

4G의 마지막 3GPP 릴리즈에 해당하는 릴리즈 14를 시작으로 소프트웨어 정의형 네트워킹(SDN, Software Defined Networking) 개념인 제어 플레인과 유저 플레인의 분리(CUPS, Control Plane and User Plane Separation)가 도입되었다[3]. 제어 플레인과 유저 플레인 간 의존성을 없애 플레인 별로 독립적 진화 발전이 이루어질 수 있을 뿐 아니라 유저 플레인 기능을 에지에서 코어 까지 필요에 따라서 자유롭게 도입할 수 있도록 설계되었다. 5G에서는 이러한 개념을 좀 더 확장하여 4G의 SGW(Serving Gateway), PGW(PDN Gateway), MME(Mobility Management Entity) 등 하드웨어 장비에서 수행되는 제어 플레인 기능을 액세스 및 이동성 관리 기능(AMF, Access and Mobility Management Function), 세션 관리 기능(SMF, Session Management Function) 등과 같이 기능별로 모듈화하였다. 또한 그렇게 모듈화된 기능은 소프트웨어로 개발되어 컨테이너(Container) 형태로 범용 서버 또는 클라우드에 쉽게 도입할 수 있게 되었다. 이른바 모바일 코어 네트워크의 클라우드 네이티브화가 시작되어, 클라우드 인프라에서 제공되는 민첩성(Agility),

가용성(Availability), 확장성(Scalability), 회복탄력성(Resilience) 등의 장점을 모바일 코어 네트워크가 그대로 가지고 갈 수 있게 되었다.

이러한 소프트웨어화와 클라우드 네이티브화가 가속화될 수 있었던 결정적인 이유는 5G 모바일 코어 네트워크의 구조적 혁신에서 찾아볼 수 있다. 5G는 모듈화된 네트워크 기능 간 통신 방식을 기존 폐쇄형의 점대점(P2P, point-to-point) 구조 대신 개방화된 서비스 기반 인터페이스(SBI, Service-Based Interface) 방식을 지원하는 서비스 기반 구조(SBA)를 채택하였다. 점대점 방식의 경우 통신을 하는 두 엔티티 간 필요에 따라서 고정된 여러 개의 인터페이스를 정의한 후 통신하는 구조로서 엔티티 간 연결이 많아지면 상호 의존성이 강해지게 되고, 그로 인해 기능의 확장 및 개선이 쉽지 않게 된다. 반면 서비스 기반 구조는 각 네트워크 기능(NF, Network Function) 모듈이 모듈 내부에서 수행할 수 있는 기능 요소(Functionality)를 SBI 형태로 외부에 공개(Expose)함으로써 다른 네트워크 기능 모듈이 쉽게 그 기능 요소가 공개하는 서비스를 사용할 수 있도록 한다[4].

2.2 AI/ML 도입 및 지원

모바일 코어에서의 AI/ML은 두 가지 관점으로 접근할 수 있다. 이른바 'Network by AI(NBA)'로 불리는 모바일 코어 네트워크의 자동화/지능화를 위한 AI/ML의 적용 기술과 'Network for AI(NFA)'로 불리는 AI/ML 응용서비스를 모바일 코어 네트워크에서 어떻게 잘 지원해 줄 수 있는가에 관련된 기술이 있다.

NBA는 3GPP 릴리즈 15에서 새로운 제어기능으로써 모바일 데이터 수집 및 분석 서비스를 제공하는 NWDAF (Network Data Analytic Function)[1][5]가 표준화 되면서 적용되기 시작했다. 초기 네트워크 슬라이스의 부하 분석과 같은 단순한 유스케이스에서 출발하여 단말에서 AF까지 트래픽 전송 시간 지연 분석 등으로 유스케이스를 확장하고 네트워크 자동화를 실현하는 데 필요한 데이터 수집, 분산/계층형 NWDAF 개념 도입, 학습의 신뢰성 보장, 학습 모델의 공유 방법 등과 같은 기능 확장이 이루어졌다.

NFA는 NBA보다는 늦게 3GPP 릴리즈 16에서 eNA (Study of enablers for Network Automation for 5G) [6]를 통해 표준화가 진행되어왔다. 단말의 AI/ML 오프로딩을 위해 AI/ML 모델을 최적으로 분리(Split)하는 기술, 모바일 코어 네트워크를 통한 AI/ML 모델 및 데이터의 분배/공유 기술, 모바일 코어 네트워크를 통한 분산 학습 및 연합 학습 기술 등이 표준화되었다. 또한 모바일 코어 네트워크에서 AI/ML 응용서비스를 지원하기 위해 네트워크 상태 정보를 외부 AI/ML 응용에 공개(Expose)할 수 있도록 하고, AI/ML 응용으로부터 QoS 요구사항을 받아 모바일 코어 네트워크에서 해당 AI/ML 트래픽을 QoS에 맞게 제어할 수 있게 되었다.

2.3 응용 다양성 지원 강화

5G/5G Advanced 표준 규격에서는 응용 별로 상이한 QoS 요구사항을 잘 수용하기 위한 구조적 변화도 이루어졌다.

네트워크 슬라이싱을 통해 하나의 코어 네트워크 내에서 응용의 특성 별로 여러 개의 논리적 코어 네트워크를 지원할 수 있게 되었다. 네트워크 접속 시 적절한 네트워크 슬라이스를 선택할

수 있도록 NSSF (Network Slice Selection Function)를 정의하였으며, 현재 정의된 eMBB (Enhanced Mobile Broadband), URLLC(Ultra Reliable and Low Latency Communications), mMTC (Massive Internet of Things), V2X(Vehicle to Everything) 등 4개의 슬라이스 유형(SST, Slice/Service Type)뿐만 아니라 사설망 또는 MVNO(Mobile Virtual Network Operator) 등 사업자가 개별적으로 정의해서 사용할 수 있다.

응용서비스에 대한 QoS 지원 단위도 좀 더 세분되었다. 4G에서는 단말과 데이터 네트워크 간 데이터 전달을 위한 논리적인 터널인 EPS(Evolved Packet System) 베어러 단위로 제공되었다. EPS 베어러는 무선 액세스 네트워크에서의 무선 베어러와 모바일 코어망의 GTP(Generic Tunnel Protocol) 터널을 1:1로 대응해서 구성된다. 따라서 서로 다른 QoS의 트래픽을 전달하기 위해서는 무선 베어러와 GTP 터널을 새롭게 설정해야 하는 등 복잡한 신호 절차를 거쳐야 했다. 반면 5G는 무선 베어러와 모바일 코어망의 GTP(Generic Tunnel Protocol) 터널을 n:1로 매핑한 PDU 세션 개념을 사용한다. QoS는 하나의 PDU 세션 내에서 QoS 구분자인 QFI(QoS Flow Identifier)를 사용함으로써 동일 PDU 세션 내에서 새로운 QoS를 지원하더라도 새로운 GTP 터널이 만들어질 필요가 없어 신호 절차가 단순해지고 관리도 쉬워졌다.

자율차, XR(Extended Reality)과 같은 실시간 저지연 서비스를 좀 더 쉽게 수용할 수 있는 에지 컴퓨팅 지원 구조도 표준화되었다. 앞서 2.1절의 모바일 코어의 소프트웨어화에서 언급된 바와 같이 제어 플레인과 유저 플레인의 분리가 이루어지면서 유저 플레인 기능이 에지에 자연스럽게 위치할 수 있는 구조가 되었다. 이러한 구조가 표준화되기 전에는 비표준적인 방식으로 패킷을 조사하고 관련 패킷을 선별하여 처리하였으나, 5G를 시작으로 에지에 있는 유저 플레인을 제어함으로써 표준화된 방식으로 에지 컴퓨팅을 지원할 수 있게 되었다. 하지만 모든 서비스가 에지에만 놓일 수 없으므로 모바일 코어 네트워크를 통한 실시간 저지연 서비스를 지원하기 위한 기술 표준화가 진행되었다. 5G-TSN은 이더넷 기반의 근거리 초저지연을 제공하는 산업 네트워크 기술인 IEEE 802.1 TSN(Time Sensitive Networking) 지원 단말에 대해 5G 시스템 자체가 하나의 TSN 브리지와 같이 동작하도록 하여 종단간 확정적(Deterministic) QoS가 제공될 수 있도록 하고 있다[7]. 근거리 망으로 한정된 TSN기술의 공간적 한계를 극복하고자 제안된 광역에서의 시간확정형 네트워킹 기술인 IETF DetNet(Deterministic Networking)을 지원하기 위한 표준화 역시 진행되고 있다[7].

2.4 이기종 액세스 네트워크 지원

3GPP는 무선 액세스 네트워크의 성능 한계 극복 등을 위해 3GPP 표준으로 정의한 무선 규격이 외에 WiFi와 같은 Non-3GPP 액세스 지원을 위한 노력을 지속해왔다. 하지만 5G 이전까지 이러한 Non-3GPP 액세스에 대한 지원은 3GPP 액세스에 주어지는 트래픽 부하를 줄이기 위한 트래픽 오프로딩 정도로만 사용되어왔으며 실제로는 거의 사용되지 않고 있다. 이는 Non-3GPP를 통해 모바일 네트워크 시그널링이 전송되지 않았고, 이기종 액세스 간 이동성도 지원되지 않기 때문에 Non-3GPP 액세스가 모바일 네트워크에 통합되어 지원되는 의미가 크지 않았기 때문이다. 5G를 시작으로 WiFi, Fixed-Broadband 등의 Non-3GPP 인터페이스를 통해서도 3GPP 시그널링이 교환될 수 있도록 규격화되었다. 기존에는 복잡한 연동 기능을 통해서만 활용할 수 있었던

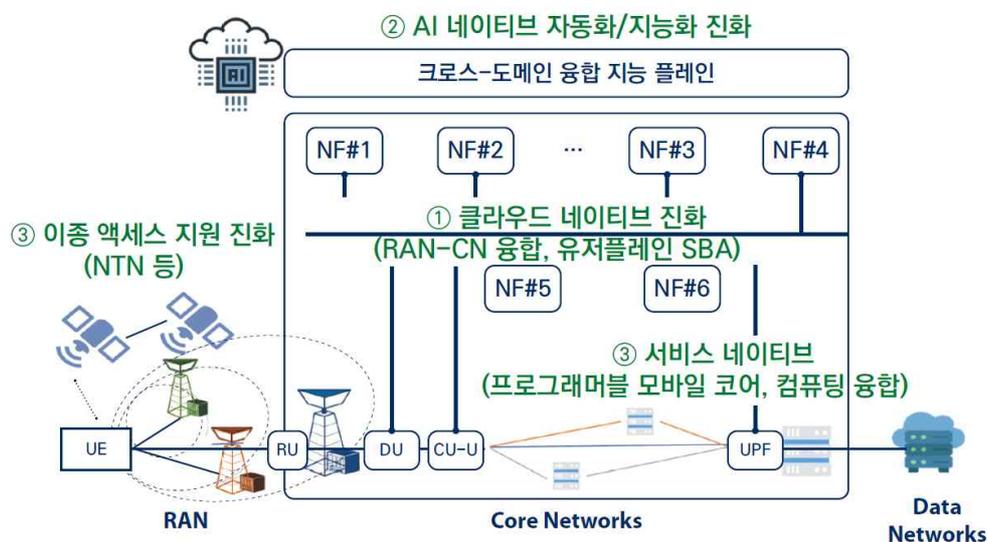
이종 액세스 기술이 5G에서는 새롭게 정의된 N3IWF(Non-3GPP Interworking Function)를 통해 3GPP 무선 액세스와 동일한 신호절차를 수행할 수 있게 되었다. N3IWF를 통해 이종 액세스 기술에 영향을 받지 않는 공통 코어 네트워크(Access-Agnostic Common Core Network)를 실현할 수 있게 된 것이다.

Non-3GPP 인터페이스와 3GPP 인터페이스가 모두 연결되어 있을 때 두 인터페이스를 사용하여 효율적으로 트래픽을 제어하기 위한 표준도 정의되었다. ATSSS(Access Traffic Steering, Switching & Splitting) 기술을 통해 트래픽 부하나 서비스 특성 등을 고려해 최적의 액세스로 경로를 자동 설정함으로써 폭증하는 데이터 트래픽을 효율적으로 대응할 수 있게 되었다.

3. 6G 시스템 아키텍처 진화 전망

6G의 진화 방향 예측에 앞서 앞 장에서 먼저 이전 세대에서 5G로의 전환에 이루어진 핵심적인 진화를 살펴봤다. 이번 장에서는 6G에서 어떠한 변화가 요구될지를 예측해 보고자 한다. 6G로의 진화는 5G에서 새롭게 도입되었던 기술 개념에 대해 상용화 단계를 거치며 나타난 이슈를 해결하고 발전시키기 위한 점진적 진화 관점과 기존 5G에는 없던 새로운 개념 도입의 혁신적 관점에서 예측해 볼 수 있다. 하지만 6G에 관해 전 세계 각국에서 다양한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 혁신적 관점을 논하기에는 아직 모두가 공감할 수 있는 새로운 개념에 대한 구체화된 기술적 흐름은 없다[8][9]. 또한 5G 상용서비스를 제공하는 전 세계 통신사업자 중 5G 코어 네트워크가 실제 사용되는 SA(Standalone)모드를 제공하는 사업자는 아직 전체 사업자의 10% 수준 밖에 되지 않고, 나머지는 5G NR과 4G 코어 네트워크를 활용한 NSA (Non-Standalone) 형태로 상용서비스를 제공하는 실정이다[10].

이러한 상황을 고려할 때 6G에서는 5G에서의 개념을 더욱 안정화해나가는 점진적 진화 관점으로 진행될 가능성이 더 커 보인다. 따라서 본고에서는 아직 구체화되지 않은 혁신적 개념보다는 앞서 논의된 5G 기술 진화의 4가지 기술 범주 각각이 6G에서는 어떻게 점진적으로 발전이 이루어져야 하는지 살펴보기로 한다. [그림 3]은 모바일 코어 네트워크 시스템 구조의 진화를 요약하여 보여주고 있다.



[그림 3] 6G 모바일 코어 시스템 아키텍처 진화 전망

3.1 Cloud-Native 구조 진화

5G를 시작으로 촉발된 소프트웨어화와 클라우드 네이티브화는 5G-Advanced를 거쳐 6G까지 계속 진화가 이루어질 것이다. 초기 제어 플레인에 한정되어 정의된 SBA는 5G-Advanced 표준 규격을 통해 점차 유저 플레인으로까지 확장되고 있다. 현재 유저 플레인 기능은 에지로 전진 배치된 기능인 I-UPF(Intermediate User Plane Function)와 최종 데이터 네트워크(DN, Data Network)에 연결되는 PSA(PDU Session Anchor)로 구분되어 있다. 이러한 유저 플레인 기능이 서비스 기반 인터페이스를 통해서 NWDAF와 같은 제어 플레인 기능에 직접 이벤트를 전달할 수 있도록 하는 등 기능 확장이 이루어지고 있다. 6G에서는 유저 플레인에서 제어 플레인에 페이징 등을 위해 데이터 트래픽을 직접 전송하는 것 이외에는 SMF-UPF 간 인터페이스인 N4 인터페이스가 SBA로 진화될 수 있을 것이다.

6G 유저 플레인은 기본 포워딩 기능 이외에 다변화된 새로운 기능 처리가 요구될 것이다. 예를 들어, ITU-R의 6G 프레임워크 권고안에서 새로운 시나리오로 포함된 센싱과 통신의 결합 시나리오를 고려하면 향후 6G 유저 플레인에서는 센싱을 통해 발생하는 데이터를 효율적으로 저장/처리/전달하는 기능이 필요할 것으로 보인다. 또한 PSA와 데이터 네트워크 사이에서만 수행되고 있는 DPI(Deep Packet Inspection), 비디오 최적화(Video Optimization)과 같은 기능이 유저 플레인 기능으로 흡수될 수도 있다. 이러한 다양한 유저 플레인 기능이 모듈화되고 서비스 형태로 제공되면 진정한 의미의 클라우드 네이티브 유저 플레인으로 진화되고 운영/유지 유연성이 극대화될 것이다. 또한 사용자 요구 및 응용 특성에 따라서 유저 플레인 서비스를 선별적으로 제공하는 유저 플레인 서비스 체이닝(Service Chaining)을 적용하여 개인화된 네트워크 슬라이싱(Personalized Network Slicing) 지원도 가능해질 수 있을 것이다.

최근 들어 무선 액세스 네트워크에서도 소프트웨어화와 개방화가 가속화되고 있다[11]. 무선 액세스 네트워크 또한 서비스 기반 아키텍처로 진화하고 코어 네트워크와의 자연스러운 통합이 이루어질 것으로 전망된다. 이른바 무선 액세스 네트워크와 코어 네트워크 융합이 실현될 수 있다. 무선 액세스 네트워크와 코어 네트워크의 서비스 기반 아키텍처가 융합되면, 현재 무선 액세스 네트워크와 모바일 코어 네트워크 제어 플레인 기능인 AMF(Access and Mobility Management Function) 간 N2 인터페이스를 통해 주고받는 1:1 고정 시그널링의 비효율성을 개선할 수 있다. 무선 액세스 네트워크의 서비스와 모바일 코어의 제어 플레인 서비스 간 통신을 SBI 기반 서비스 호출 방식으로 전환하면 기존 N2 인터페이스의 시그널링 오버헤드를 효과적으로 줄일 수 있으며 정보 교환이 용이해진다. 예를 들어, O-RAN 얼라이언스에서 정의한 RIC(Radio Intelligent Controller)에서의 '지능적인 이동성 제어 서비스'는 관련된 코어 네트워크 제어 기능 서비스를 직접 호출하여 가입자 정보, 응용 정보, 네트워크 분석 정보 등을 쉽게 활용할 수 있다.

NAS(Non-Access Stratum) 시그널링으로 불리우는 단말과 모바일 코어 네트워크 간 N1 인터페이스를 통해서 주고받는 제어 메시지 통신 방식 또한 서비스 기반 아키텍처로 진화될 수 있다. 단말의 기능을 서비스화하여 무선 액세스와 코어의 서비스 기반 융합 아키텍처에 새로운 역할로 참여한다면, 관련된 무선 액세스 네트워크 및 코어 네트워크 기능이 제공하는 서비스와 단말 간에 유연하고 효율적인 시그널링이 가능할 것이다. 무선 액세스와 코어 네트워크가 융합된 서비스 아키텍처는 하나의 클라우드가 아니라 여러 클라우드에 분산되어 도입 및 운용될 수 있으므로,

다수의 클라우드 환경에 배포된 제어 기능 서비스 간 효율적인 통신을 위해서 서비스 메시 기능이 핵심적으로 지원되어야 할 것이다. 5G SBA의 NRF와 SCP(Service Communication Proxy)를 기반으로 하는 서비스 등록, 디스커버리 과정 등은 각 기능의 비즈니스 로직과 밀결합(Tight coupling) 되어있어 복잡하다는 문제를 안고 있다[12]. 향후 6G에서는 이러한 밀결합 이슈를 해결하기 위해 멀티 클라우드 기반 서비스 메시 적용이 고려되어야 한다.

3.2 AI-Native 구조 진화

ITU-R의 6G 프레임워크 권고안에서 새로운 사용 시나리오로 '인공지능과 통신의 결합'이 추가되고 포괄적 특성으로 편재지능이 추가된 것으로 알 수 있는 것처럼 6G에서 AI의 역할은 점차 확대될 것이다.

그 중요성을 고려하여 현재 AI를 기반으로 한 네트워크 자동화는 AI/ML 분석기능의 정확성 향상과 인간의 개입이 최소화될 수 있는 신뢰성 향상 등 많은 구조적 진화가 요구되고 있다. AI/ML 기반 학습 및 분석의 결과가 실제 네트워크에서 정상적인 동작이 이루어질 수 있을지 확신을 할 수 없다면 실제 네트워크에 적용하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 따라서 6G에서는 학습 모델의 정확도 향상을 위한 작업이 꾸준히 진행될 것이다. 실제 네트워크와 동일한 모사환경을 샌드박스로 만들어 실제 네트워크에 영향을 주지 않고 학습 모델 및 그 분석 결과를 검증하는 방법 등 다양한 방법이 고민될 것으로 보인다.

이러한 증강된 AI/ML의 신뢰성을 바탕으로 5G에서 NWDAF가 AI/ML에 대한 분석 서비스만을 제공했다면, 6G에서는 분석을 통한 최종 결정(Decision)이 내려지는 형태로 진화할 것으로 보인다. 이를 위해 5G NWDAF가 일반적인 AI 모델을 가정했다면, 6G에서는 각 네트워크 기능에 최적화된 형태의 전용 AI 모델을 만들고 그 기능으로부터의 요구에 따른 맞춤형 분석뿐만 아니라 결정까지 내려줌으로써 모바일 코어네트워크의 자동화 레벨을 한 단계 더 진화시킬 것이다.

6G 모바일 네트워크는 모바일 코어 네트워크뿐만 아니라 무선 액세스 네트워크 및 모바일 코어 네트워크의 하부 전달 네트워크까지 융합되어 제어되어야만 한다. 6G에서 NWDAF의 진화된 기능은 무선 액세스 네트워크 및 전달 네트워크에서 그와 동일한 역할을 하는 기능과의 밀착된 유기적 협업을 통해서 네트워크 종단간의 완벽한 자동화가 추진될 수 있다. O-RAN에서 추진 중인 RIC가 3GPP 구조와 결합되는 구조가 될지 아니면 자체 표준을 별도로 규정할지는 아직 미지수이지만 O-RAN 얼라이언스의 적극적인 표준활동의 상황을 고려한다면 모바일 코어네트워크 입장에서 RIC가 그 연계 대상으로 고려되어야 할 것으로 보인다.

3.3 Service-Native 구조 진화

현재까지의 모바일 네트워크의 기술적 발전은 응용서비스의 발전과는 독립적으로 진행되었다. 모바일 네트워크는 대역 확장 및 응용에 대한 QoS 보장을 위한 구조적 진화를 거듭해왔지만, 응용은 QUIC 프로토콜과 같이 네트워크의 QoS와는 독립적으로 나름의 진화를 해왔다. 응용의 입장에서 네트워크는 전달 파이프에 불과했으며 네트워크의 대역이 충분히 제공되면 문제가 없는 형태로 동작을 해왔다. 그러나 초저지연 특성을 요구하는 원격 수술이나 다중 세션에 대한 조율(Coordination)이 요구되는 메타버스와 같은 새로운 서비스를 효율적으로 지원하기 위해서는

네트워크와 응용서비스 간 유기적인 협력이 이루어져야 한다. 또한 응용서비스의 요구사항에 최적으로 대응하기 위해서 응용 별 네트워크 경로뿐 아니라 네트워크 서비스가 수행될 수 있는 컴퓨팅 자원 역시 효율적으로 활용될 수 있도록 제어되어야 한다.

모바일 네트워크는 초기 회선 교환망(Circuit Switching Network)에서 시작하여 4G 이후 완벽하게 All-IP 패킷망으로 전환되었지만 무선 베어러와 GTP 터널로 구성된 5G의 PDU 세션 개념은 여전히 회선 교환망에서의 하나의 회선과 같은 고정된 연결을 모사하고 있다. 즉, 회선이 내포하는 바와 같이 패킷 전달을 위한 경로 설정을 위해 도입된 개념이다. 하지만 6G가 요구하는 경로의 다변화와 클라우드 네이티브화된 유저 플레인 서비스의 서비스 체이닝 등을 지원하기 위해서는 PDU 세션 관리 방식에 대한 변경이 이루어져야 할 것으로 보인다. 물론 단말의 이동을 기본적으로 가정하는 모바일 네트워크 환경에서 IP 응용에 대한 세션 연속성 보장을 위해 터널링의 개념을 없애긴 쉽지 않다. 하지만 현재의 GTP 터널링을 좀 더 IP 친화적 프로토콜로 전환할 필요가 있다. 따라서, IPv6에 기반을 두고 네트워크 프로그래머빌리티 제공이 가능한 SRv6가 그 대안으로 고려될 수 있다[13].

단말 중심의 서비스 제공 방식에 대한 개선도 필요하다. 현재까지 모바일 네트워크의 서비스는 사용자 중심이 아닌 단말 중심의 서비스가 이루어지고 있다. 이는 네트워크가 서비스 사용자를 인지하지 못하고 단말만을 인지하는 현재의 인증체계 등의 한계에서 기인한다. 사용자가 여러 개의 단말을 보유하고 있고, 여러 개의 단말을 순차적으로 혹은 동시에 네트워크에 연결하여 사용하는 상황에서도 개별 단말에 대하여 개별적인 연결성/이동성만을 인지하고 지원할 수 있을 뿐, 사용자와 단말과의 관계, 사용자의 단말 간의 관계성을 인지하지 못한 상태에서 서비스가 제공되는 상황이다. 향후 XR 서비스 등이 도입되면 사용자가 여러 개의 단말을 동시에 사용하게 될 수 있는 상황에서 XR의 특징에 따라 단말이 인지되어 서비스가 이루어져야 하는 것을 가정하면 현재의 개별 단말 중심의 네트워크 서비스는 사용자 중심의 서비스로 확장이 필요하다.

3.4 Heterogeneous Access-Native 구조 진화

5G를 시작으로 Non-3GPP 액세스에 대한 표준 기반의 공식적인 지원이 본격적으로 시작되었으며, 향후 6G에서는 신규 6G 무선 액세스와 더불어 기존 E-UTRA(Evolved Universal Terrestrial Radio Access), NR (New Radio)등으로 구성된 무선 액세스가 공존하는 형태로 진화할 것으로 전망된다.

6G 후보 주파수로 Upper-midband(7-24GHz) 등이 고려되고 있지만 초광대역 무선 액세스 지원을 위한 초고주파 대역(THz)의 활용도 여전히 고려의 대상이다. 주파수 대역이 높아지면 높아질수록 현재의 셀 기반 무선 액세스 구조보다는 셀-프리(Cell-free) 무선 액세스 네트워크 구조가 고려될 수 있다. 이러한 셀-프리 무선 액세스 환경을 위해서 6G 모바일 코어는 단말의 이동에 따라서 동적으로 DU(Distributed Unit)의 클러스터링을 재구성하고, CU(Central Unit)간 협력 제어를 위한 기능 추가를 고려해야 한다.

ITU-R의 6G 프레임워크의 새로운 사용 시나리오로 제시된 '편재 연결'과 포괄적 특성으로 제시된 '지속가능성', '비연결의 연결' 실현을 지원하기 위해서는 NTN(Non-Terrestrial Network)을 포함한 6G 입체통신이 지원되어야 한다. 5G는 지상 100m까지의 휴대전화 중심 이동통신 서비스

를 제공했지만, 6G에서는 드론이나 에어택시·항공기까지 커버할 수 있도록 지상 10km 높이까지 이동통신 무선 액세스 공간 확장과 저궤도(LEO, Low Earth Orbit) 위성 등을 이용한 커버리지 확대가 제공될 것이다. 이러한 6G 입체통신 실현을 위해 모바일 코어 네트워크의 진화가 필요하다. 특히 LEO 위성이 기지국 기능만을 갖는지 또는 모바일 코어 네트워크 기능의 일부를 포함하는지와는 별개로, 현재의 모바일 코어 네트워크의 신호 체계가 그대로 유지된다면 각 위성에서 너무 많은 시그널링 처리(위성 하나에 초당 104 시그널링)가 필요하게 된다.[14] 더구나 모바일 코어 네트워크 기능의 일부가 탑재될 때는 LEO 위성의 빠른 이동(초당 7.8km)으로 인해 각 기능에 유지되는 사용자 세션에 대한 컨텍스트가 빈번하게 업데이트되어야 하는 문제가 있다. 이처럼 6G 입체통신을 고려한 모바일 코어는 각 제어평면 기능에 상태유지가 최소화될 수 있도록 신호 체계와 제어평면 기능 자체의 개선이 반드시 이루어져야만 한다.

4. 맺음말

5G는 개인의 휴대전화 중심 통신 서비스를 공장, 자율주행차, 의료와 같은 산업 영역으로 확대하였으며 융복합 혁신을 이끌 기반 인프라로서 자리를 잡아가고 있다. 6G는 그러한 융복합을 전 산업·사회영역으로 확대하고, 더욱 발전시킬 수 있도록 진화해 나갈 것이다. 6G가 갖는 사회·경제적 파급효과를 구체적으로 분석하지 않고도, 전 세계적으로 6G 기술 주도권 확보를 위한 치열한 연구개발이 진행되는 것만 보더라도 이 기술이 향후 국가 경쟁력에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 쉽게 짐작할 수 있다. 국내에서는 2021년에서 2025년까지 5년간 2,000여억 원을 투입하여 6G 핵심기술개발사업을 추진 중에 있으며, 별도의 예비타당성을 거쳐 2024년부터는 6G 상용화를 앞당기기 위해 6G 산업기술개발사업 역시 진행할 예정이다. 6G 산업기술개발사업에서는 2026년 Pre-6G 시연으로 상용화 가능성을 조기 확인하는 목표도 담고 있다. 본고는 ITU-R의 6G 프레임워크를 실현하는데 있어 핵심기술 및 산업화기술 연구개발이 고려할 필요가 있는 모바일 코어 네트워크의 시스템 구조를 4가지 범주로 나누어 전망하였다. 전 세계적 기술 추세에 따라 조정이 필요하겠지만, 이러한 기술적 전망이 6G 모바일 코어를 연구하는 국내 산학연의 공감대 형성을 위한 역할을 할 것으로 기대한다.

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원(IITP)의 정보통신·방송기술 국제공동연구 사업의 일환으로 수행하였음. [2021-0-02094, 6G 네트워크 아키텍처 및 핵심 요소기술 국제협력 연구]

[참고문헌]

- [1] 3GPP TS 23.501, "System architecture for the 5G System (Release 18)," 2023. 6.
- [2] Draft New Recommendation ITU-R M.[IMT.FRAMEWORK FOR 2030 AND BEYOND], "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond," 2023. 6.
- [3] 3GPP, "Control and User Plane Separation of EPC nodes (CUPS)," <https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/cups>, 2017. 7.

- [4] NGMN Alliance, "Service-Based Architecture in 5G Case Study and Deployment Recommendations," 2019. 6.
- [5] 3GPP TS 23.288, "Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support network data analytics services (Release 18)," 2023. 6.
- [6] 3GPP TR 23.700-81, "Study of Enablers for Network Automation for the 5G System (5GS); Phase 3 (Release 18)," 2022.12.
- [7] A. Nasrallah et al., "Ultra-Low Latency (ULL) Networks: The IEEE TSN and IETF DetNet Standards and Related 5G ULL Research," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 1, pp. 88-145, Firstquarter 2019.
- [8] 고남석, 박노익, 김선미, "6G 모바일 코어 네트워크 기술 동향 및 연구 방향, " 전자통신동향 분석, 36권 4호 (통권 191), 2021. 8.
- [9] 5G PPP Architecture Working Group, "The 6G Architecture Landscape - European Perspective," 2023. 02.
- [10] GSA, "5G-Market Snapshot May 2023," 2023.07.30.,
<https://gsacom.com/paper/5g-market-snapshot-may-2023>.
- [11] O-RAN Alliance, 2023, 2023.07.30., <https://www.o-ran.org>.
- [12] Q. T. Thai and N. Ko, "Towards realizing a cloud-native B5G mobile core architecture," ICTC 2022, pp. 1018-1023, 2022.10.
- [13] S. Matsushima, et. al., "Segment Routing over IPv6 for the Mobile User Plane," RFC 9433, 2023. 07.
- [14] Yuanjie Li, et. al., "A Case for Stateless Mobile Core Network Functions in Space," SIGCOMM '22, pp. 298-313, 2022. 08.

※ 출처: TTA 저널 제208호