

모바일 에지 컴퓨팅(Mobile Edge Computing):
5G 전송 이슈 해결 후보 기술

김 훈 · 칸퍼베즈 · 김대형

인천대학교 전자공학과

2020년경 상용화를 목표로 하는 5G 등 미래 네트워크에서 신뢰도가 높고 빠른 의사 결정을 지원하기 위한 에지 디바이스(edge device)의 진화가 요구되고 있다. 이에 따라 에지 디바이스에 데이터 저장과 프로세싱, 데이터 수집 및 전달 기능이 고도화되고, 인공지능과 같은 보다 스마트한 동작에 대한 연구와 이를 효과적으로 지원하고 응용 서비스에 연계하기 위한 에지 컴퓨팅(edge computing) 시스템에 대한 수요가 부각되고 있다. 에지 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅(cloud computing)의 기능이 네트워크 에지 부분에서 수행되면서 클라우드 컴퓨팅의 장점과 이득을 기대할 수 있음과 동시에 사용자에게 보다 가까이에서 그 기능이 수행되면서 기존 중앙집중식 클라우드(centralized cloud) 구조에서 구현되기 어려운 빠른 종단간(end-to-end, E2E) 지연에도 큰 이득을 가져올 수 있다. 이는 에지 디바이스에서 스트리밍(streaming) 전송과 실시간 데이터 분석이 가능하고, 클라우드 서버에 중앙집중식 분석에 필요한 데이터만을 전송함으로써 제한된 전송 용량에서 대량의 데이터 처리 시 과부하가 발생할 수 있는 클라우드 서버에서의 부담을 개선하는 효과를 가져온다.

본 기고문은 5G 시스템에 적용 가능한 모바일 에지 컴퓨팅(Mobile Edge Computing: MEC)의 전반적인 기술 동향을 소개한다. MEC에 대한 기본 개념, 장점과 이득, 사용 예 등을 제시하며, 관련된 연구 도전 과제와 한계 등도 포함한다. 또한, 현재 기술 해결 방안과 표준화 활동 등에 대한 논의를 기술한다.

I. 서 론

5세대(5th Generation: 5G) 이동통신 등 차세대 네트워크에서 사물인터넷(Internet of Things: IoT)의 확산과 이에 기반

한 다양한 응용 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 2020년경 상용화를 목표로 하는 5G에서는 전송률 향상 외에도 초연결기기, 초저지연, 초고신뢰 등 다양한 IoT 환경을 고려하여 요구 사항을 제시하고 있다. 즉, 데이터량과 접속 기기 등의 폭증하는 상황에서 의미 있는 데이터를 기반으로 높은 신뢰도와 낮은 종단지연 네트워크 특성을 가지며, 빠른 의사 결정을 지원하는 기술적 방안이 요구되고 있다.

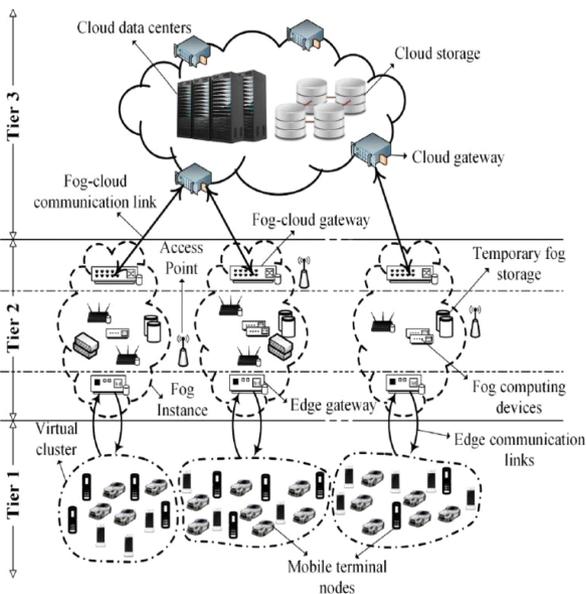
이와 관련하여 최근 무선 네트워크에 에지 컴퓨팅 구조가 접목되는 방안이 부각되고 있다. 에지 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅의 기능이 네트워크 에지 부분에서 수행되면서 클라우드 컴퓨팅의 장점과 이득을 기대할 수 있음과 동시에 사용자에게 보다 가까이에서 그 기능이 수행되면서, 기존 중앙집중식 클라우드(centralized cloud) 구조에서 구현되기 어려운 빠른 E2E 지연에도 큰 이득을 가져올 수 있다. 특히, 에지 디바이스가 빠른 결정 기능을 위해 저장, 프로세스, 데이터 수집과 전송, 인공지능 등의 기능이 점점 보편화되고 스마트해질 것으로 전망됨에 따라, 에지 컴퓨팅 시스템에 대한 실제적인 수요가 점점 증가하고 있다^{[1]~[3]}. 에지 디바이스에서 스트리밍(streaming) 전송과 실시간 데이터 분석이 가능하고, 클라우드 서버에 중앙집중식 분석에 필요한 데이터만을 전송함으로써 제한된 전송 용량에서 대량의 데이터 처리 시 과부하가 발생할 수 있는 클라우드 서버에서의 부담을 저감하는 효과가 기대된다^{[4]~[7]}.

모바일 에지 컴퓨팅(Mobile Edge Computing: MEC)은 이처럼 5G 등 모바일 네트워크에서의 IoT의 확산 및 신규 서비스 개발 지원을 위한 에지 컴퓨팅이 접목된 개념이다. MEC는 클라우드 컴퓨팅, 모바일 컴퓨팅 그리고 무선 네트워크를 결합하여 모바일 사용자, 네트워크 운영자 및 클라우드 컴퓨팅 제공 업체에게 풍부한 컴퓨팅 리소스를 제공하는 기존 모바일 클라우드 컴퓨팅(Mobile Cloud Computing: MCC)

본 연구는 한국연구재단에서 지원하는 이공분야기초연구사업(NRF-2015R1D1A1A01059737) 지원에 의하여 연구되었음.

을 확장한 개념이다. 이는 클라우드 컴퓨팅 기능과 에지 디바이스들에게 가까운 곳에서 보다 좋은 IT 서비스 환경을 제공하는 네트워크 구조이다.

[그림 1]은 MEC의 네트워크 구조를 나타내며, 모바일 네트워크에서 세 개 층의 상이한 자원 유형으로 구분된 에지-포그-클라우드(edge-fog-cloud) 계층들을 보여준다. Tier3에서는 엄청난 양의 데이터를 저장하고 처리할 수 있는 여러 고급형 데이터 센터 및 서버로 구성된다. 에지-포그 컴퓨팅 계층인 Tier2는 저장, 처리 및 데이터 수집 및 전달과 같은 기능이 더 스마트한 장치로 구성된다. 이러한 장치는 지연에 민감한 응용 프로그램에 가장 많이 사용되는 콘텐츠를 캐시할 수 있으므로, 클라우드 컴퓨팅 계층, 즉 Tier3의 부담을 줄인다. 또한, 클라우드 계층과 통신하여 주기적으로 클라우드로 데이터를 전송한다. 에지 게이트웨이(edge gateway)는 프로그래밍이 가능한 자동화 컨트롤러(Programmable Automation Controller: PAC) 기능처럼 프로세싱 전력, 지능 및 통신 기능을 디바이스에 제공한다. PAC는 추가적인 분석을 위해 데이터가 로컬 메모리에 저장될지, 아니면 클라우드로 보내질지 결정한다. Tier1은 에지-포그-클라우드 아키텍처의 최하위 계층을 나타내며, 바로 위의 계층과 통신할 수 있는 모든 단말 노드를 포함한다.



[그림 1] MEC 네트워크 구조(에지-포그-클라우드 계층 구성)⁸⁾

II. 모바일 에지 컴퓨팅의 이점

MEC는 5G 기술 단체에서도 관심 있게 다루어지고 있다. 유럽의 대표적인 5G 프로모션 그룹인 5G PPP(5G Infrastructure Public Private Partnership)에서 MEC는 5G 네트워크 전환을 가능하게 하는 주요 기술 중 하나로 인식되고 있으며, 여러 이점이 제시되고 있다⁹⁾¹⁰⁾. 몇 가지 대표적인 이점으로 효율적인 사용자 맞춤 신규 서비스, 네트워크 지연 축소, 주파수 대역 사용 경감, 코어망 구축 및 사용 비용 부담 감소, 위치 인지 지원, 실시간 무선 네트워크 정보와 향상된 시스템 반응 시간 등이 거론된다. MEC의 이런 이점들은 5G 및 IoT 기반 시스템을 실현 가능하게 하는 핵심 기술 및 아키텍처 개념이다¹¹⁾. 이외에도 MEC는 다음의 추가적인 장점과 이득을 동반한다.

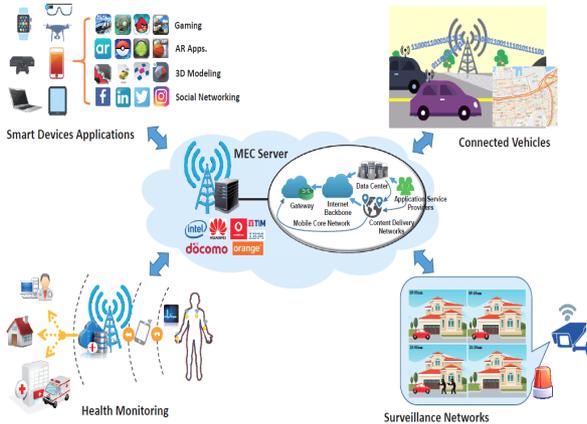
- 통신사업자, 벤더, 장비 업체와 기술 개발자 등에 모두 이득이 되는 모델을 제시한다.
- 데이터 캐시의 장점을 최대한 취하면서 모바일 코어 네트워크의 트래픽 혼잡 발생 가능성을 낮춘다.
- 네트워크를 세분화가 용이하고, 지역 네트워크 자원 구분과 접속 지원이 용이하다. M2M 통신 시나리오에 적합하고, 신뢰성 있는 보안 시스템 적용에 유리하다.
- 빅데이터, IoT 데이터 분석에도 접목이 용이하다.
- 종단 사용자에게 가까운 위치에서 서비스를 제공함으로써 전송시간 및 반응 시간이 단축된다.
- 와이파이와 이동통신망과 같은 무선 네트워크의 일부로 동작되며, 무선 디바이스의 접속 위치와 장소를 파악하는데 활용된다.
- MEC 개념이 실내 또는 실외 모두 적용이 가능하다.
- 실시간 네트워크 정보에 기인한 판매 등 수익을 유발하는 응용 서비스의 개발 연계에 도움이 된다. 사람과 이벤트, 위치를 연결하고, 그들의 요구하는 관심을 연결하는데 도움이 된다¹³⁾.

III. 모바일 에지 컴퓨팅: 사용 예와 서비스 시나리오

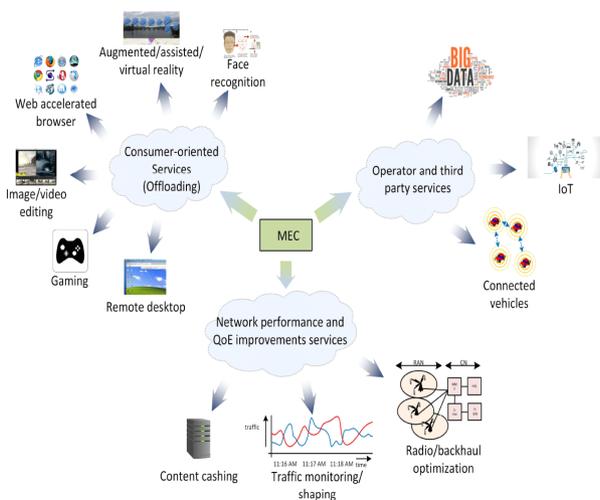
MEC는 네트워크 오퍼레이터에게 다양한 모바일 산업을 창출하는 기회를 제공한다. 각 산업에서의 활용을 위해 그

에 적합한 MEC 구조와 응용 프로그래밍 인터페이스(Application Programming Interface: API)의 개발이 요구되며, 각 사용 예(use case)에 대한 시스템 용량, MEC 기능 등 요구사항이 고려되어야 한다. [그림 2]는 각 산업에서 사용 예에 대한 MEC 시스템 개념도를 보여준다^[12].

유럽통신 표준 기구(European Telecommunications Standards Institute: ETSI)에서는 MEC의 서비스 시나리오를 [그림 3]과 같이 Smart Device Applications, Connected Vehicles, Network Performance and QoE improvement services 등 세 가지 카테고리 구분하고, 각 카테고리에서의 사용 예 구조 등 요구사항을 정리하였다^{[10],[11]}. 카테고리별 요구사항에는 이와 함



[그림 2] MEC 시스템 개념도



[그림 3] ETSI-MEC 시스템 서비스 시나리오^[3]

께 시스템 구축을 위한 설계 제약 조건 또한 포함된다.

3-1 사용자 응용 서비스

MEC와 연계된 대표적인 서비스들은 주로 사용자를 대상으로 하며 혁신적이고 진화된 단말기를 통해 제공된다. 즉, 게임, 원격 데스크톱 응용, 증강현실(Augmented Reality: AR), 가상현실(Virtual Reality: VR) 인지 기능 개선 등 사용자단에서 인기 있는 새로운 응용 서비스를 제공을 목적으로 기능과 성능이 크게 향상된 중단 단말과 결부된다^{[3],[14]}. AR/VR은 사용자의 현재 위치, 움직임 등 상황 내지 사용자 주변 환경 정보를 디지털 정보로 대체하여 각종 응용 서비스와 연계하는 것을 의미한다. 일반적으로 AR/VR 응용 서비스는 초저지연의 성능이 요구되며, 이는 현재의 모바일 네트워크 기술로는 달성이 어렵다. 4G 성능을 개선하고 새로운 요구사항에 대해 도전하고 있는 5G에서 MEC는 이 같은 초저지연 요구사항 달성에 기여가 필요하다. V2V, V2X 산업 또한 MEC의 저지연, 실시간 반응 등의 특성에 크게 의존할 것으로 해당 서비스 시나리오에 관련 MEC 기능 및 시스템 요구사항이 따른다.

3-2 오퍼레이터와 제3자 서비스

MEC로 인해 최종 사용자에게 가까운 곳에 저장 장치와 컴퓨팅 설비가 위치하는 것은 통신사업자의 서비스 제공에도 매우 유리하다. 보편적으로 통신사업자 서비스는 제3자(third party)와 연계하여 동작한다. 여기에는 보안, 위치 추적, 안전 및 빅데이터 서비스 등이 포함될 수 있다. 첫째, 다수의 사용자로부터 생성되는 상당한 양의 데이터의 처리가 MEC에서 수행되고, 그 후 추가적인 분석을 위해 멀리 떨어진 서버에 전달된다. 이는 처리된 데이터의 보안과 신뢰성 있는 안전한 통신에 많은 목적으로 사용된다.

MEC의 IoT 접목은 또 다른 사용 예가 될 수 있다. 실시간 서비스 응답을 지원하는 IoT 서비스의 제공에 활용될 수 있으며, 커넥티드 카(connected car)와 같은 지능 전송 시스템에도 MEC 기능이 유용하게 적용될 수 있다.

3-3 네트워크 성능과 QoE 개선

이 서비스는 응용 서비스 특정 개선에 네트워크 성능 개

선 목적에 따라 개발된다. 최종 사용자에게 완전 새로운 것을 의미하는 것은 아니나, 사용자 경험이 전반적으로 개선됨을 의미한다. 주요 지표로는 네트워크 성능과 영상전송 최적화, 콘텐츠 캐싱 등이 있다. MEC의 분석 서비스를 통해 백홀과 무선망 간 효과적인 연동 기능도 사용 예 중 하나가 된다. 무선/백홀 트래픽 요구사항이 원활하게 만족될 수 있도록 실시간 정보가 전송된다. 응용 리셰이핑당 트래픽과 요구사항에 따른 트래픽 재라우팅이 MEC에서의 최적화 응용에 따라 수행될 수 있다. 전반적인 네트워크 성능 또한 모바일 에지 콘텐츠 캐싱에 따라 개선될 수 있다. MEC 응용은 몇 지역 콘텐츠, 즉 가장 인기 있는 콘텐츠의 저장이 가능하도록 한다. 따라서 사용자가 요구하는 콘텐츠를 백홀로부터 가져올 필요가 없게 된다.

IV. 연구 이슈

MEC의 모든 이득을 활용하기 위한 다양한 연구 이슈와 이외에 다른 오픈 이슈가 제기된다. MEC의 성공에 가장 근본적인 이슈와 도전 과제 몇 가지를 제시한다. 또한 연구 향후 고찰을 위한 연구 방향을 제시한다.

4.1 끊임 없는 핸드오버

서비스를 필요로 하는 모바일 사용자가 아주 빠른 속도로 이동하는 경우, 끊임 없는 에지 수평 핸드오버가 아주 중요하다. 모바일 사용자가 연결된 에지 서버/플랫폼의 서비스 영역으로부터 멀어지면 관계되는 서비스 지연으로 성능 저하를 겪게 된다. 이와 같은 상황은 잦은 핸드오버를 유발한다. 사용자의 이동성이 결정되지 않고, 무선 매체에 의해 제한이 있음에 따라 MEC에서 끊임 없는 핸드오버가 아주 도전적인 과제로 다루어져야 할 것이며, 이에 따라 핸드오버는 연구자들이 고려해야 할 중요한 연구 이슈가 된다^[15].

4.2 보안 및 프라이버시

MEC와 연관 있는 보안과 프라이버시 이슈 또한 주요 관심사로 고려되어야 한다. 종단 사용자로부터 에지 서버로의 오프로딩이 모바일 사용자로부터 에지 서버까지 데이터 전송을 수요로 한다^[16]. 따라서 데이터 전송과정에서 보안 침

해로 인해 프라이버시가 노출되기 십상이다. 이에 따라 보안 메커니즘은 종단 사용자의 배터리 전력 공급 특성을 고려하면서 이루어져야 하는 아주 중대한 요소이다. 또한, 이와 같은 이슈에 대한 솔루션은 수행 시간도 감안하여 보완해야 한다. 환경 다이버시티와 복잡도 문제는 이 같은 이슈를 아주 어려운 도전 과제로 만든다.

4.3 에지 캐싱

캐싱의 목적은 저장과 데이터 전송 간 트레이드오프나 절충을 달성하기 위함이다. 에지 캐시(edge cache)는 에지 서버의 주요 요소이며, 기지국이 추가적인 신호처리 기능을 가능도록 한다. 즉, 물리계층의 몇 가지 프로세스 기능, 더욱이 캐시 메모리는 기지국에서 메모리 내에서 사용자가 종종 요구하는 콘텐츠를 전송한다. 클라우드 서버의 부하를 줄일 수 있으나, 모든 콘텐츠를 클라우드 서버로부터 캐시로 미리 가져오는 것은 종단 간 지연 성능을 저하시키기 때문에, 권장하지는 않는다. 따라서 일부 콘텐츠만 캐시에 저장되어야 하며, MEC에서 캐싱 성능 개선이 주요 요소이다^{[17][18]}. 이외에도 몇 가지 도전 과제가 있다. 전통적인 클라우드 방식에서의 중앙 캐시에 비해 캐시 저장 공간이 아주 제한적이다. 이는 상대적으로 특정 사용자가 캐시에서 요청한 내용을 얻을 확률이 낮다. 이를 개선하기 위해 캐시의 효율적인 자원 할당과 지능 메커니즘이 필수적임을 의미한다.

4.4 실시간 데이터 처리

증가하는 데이터 수요에 따라, 사용자에게 QoS를 제공하는 것이 무척 중요해졌다. 최근 연구에서 2020년까지 50억 이상의 디바이스가 서로 연결되어 기능, 로드, 등록 등에 확장성을 지원하는 것이 이슈가 되었다. 이 수십억 디바이스의 상호 연결성은 어마어마한 데이터 생성을 의미하고, 에지 노드가 실시간으로 데이터 처리를 하기에 더욱 어려워짐을 의미한다. 이는 에지 디바이스의 로드의 상당한 증가를 의미하기도 한다. 따라서 여러 저지연을 요구하는 응용 서비스는 성능 저하를 겪게 된다. 이와 같은 확장성에 대한 이슈는 조속히 해결해야 할 사안이다.

V. 기술적 해결책 및 한계

여러 MEC의 잠재력에도 불구하고, MEC의 성능을 최대한 이끌어내기 위해 여러 제약과 구현 이슈가 존재한다.

- 첫째, MEC 서버는 연산 능력에서 기존 중앙 클라우드 방식 대비 현저히 낮은 물리적 제약을 가지고 있다. 이는 MEC 서버가 집중적인 연산 임무 처리를 수행하는 데 아주 큰 어려움이 따름을 의미한다. 이 이슈를 해소하기 위해 가능한 해결책 중 하나는 이기종 통신 기능을 수행하는 MEC 서버와 계층 네트워크 구조를 개발하는 것이 필요하다.
- 둘째, 스몰셀 기지국 제공자와 MEC 벤더의 협력할 동기 부여의 부족은 몇 가지 도전 과제와 이슈를 제기한다. 이 이슈를 해결하기 위해 스몰셀 기지국 소유자가 기지국 설치 장소를 임대하도록 유도해야 하는 적절한 방안이 필요하다.
- 셋째, 스몰셀 기지국에 MEC 서버를 설치함에 따른 보안 문제가 제기된다. 왜냐하면 이들이 외부 공격에 노출되고, 접근이 용이하기 때문이다. 이는 신뢰도의 수준을 저하시킬 수 있다.

VI. 산업 동향 및 표준화 움직임

지난 몇 년 동안 모든 통신사업자들이 5G, IoT, Cloud, Virtualization 등 통신을 위한 대규모의 논의와 투자가 이루어졌다. 향후 몇 년 동안 많은 오퍼레이터들이 개념을 정립하고, 실제 구현하는 모습을 볼 수 있을 것이다.

통신 오퍼레이터들이 통신 산업에 큰 변화와 함께 디지털 전송에 새로운 시대에 진입하고 있다. 모바일 에지 컴퓨팅의 진화는 CISCO 등 자신을 포함한 주요 산업을 매혹시키고 있다. 유사한 개념으로 MEC는 에지-클라우드 기능과 융합되어 포그 RAN과 연동하는 것이다^{[19],[20]}.

사용자의 큰 데이터 요구를 지원하기 위해 캐시기능이 있는 포그 접속 포인트가 지연에 민감한 사용자의 응용 서비스를 지역적으로 제공하게 한다. 이는 또한, 프로트홀의 부담을 크게 줄인다.

Industry Specification Group(ISG)은 ETSI에서 모바일 구조와 접목된 에지 컴퓨팅 개념을 발전시켰다^[2]. 최근 ETSI는 MEC에 대한 개념의 개발과 표준화 활동에 깊게 관여되어

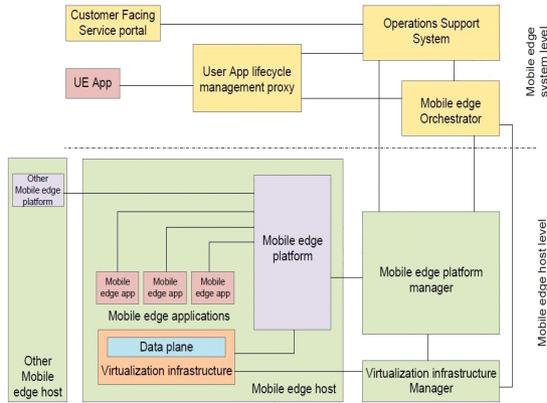
있다. DOCOMO, TELECOM Italia and Vodafone 등 주요 모바일 오퍼레이터는 MEC 표준화와 연관이 되어 있으며, Intel, Huawei, Nokia and IBM과 같은 제조업체 또한, 표준화 활동에 참여하고 있다. ISG의 MEC에 대한 해결책은 모바일 네트워크에 에지 컴퓨팅 기능을 연계하는 것이며, 이는 다음의 두 공통 트렌드를 가진다.

1. Virtualization Techniques(NFVs principles)과 관련이 있다. MEC가 제공하는 가상화된 자원을 활용하기 위해 네트워크 가상화가 매우 중요하다.
2. 제어부와 데이터처리부가 분리된 Software Defined Networking(SDN) 장점을 최대한 이용한다. 이는 사용자의 요구 사항과 트래픽 패턴 변화에 맞춰 네트워크가 동적으로 작동이 가능하게 한다.

VII. ETSI-MEC 시스템 구조

ETSI에서 기술된 MEC 구조는 어플리케이션 소프트웨어 구현의 가능성을 보여주며, 모바일 에지 플랫폼은 MEC 어플리케이션이 가능하도록 요구되는 기능과 환경을 제공한다^[21]. 가상머신에서 실행되는 MEC 응용 프로그램은 응용 프로그램 라이프사이클과 관련된 지원 절차를 수행하기 위해 모바일 에지 플랫폼과 상호 작용한다. 또한, 가상화 인프라는 MEC에서 수신한 트래픽 규칙을 실행하고, 응용 프로그램 간에 트래픽을 라우팅하는 데이터처리부로 구성된다. 호스트 계층 관리는 모바일 에지 플랫폼과 가상화 인프라 관리자로 나누어진다. 모바일 에지 플랫폼 관리자는 응용 프로그램 라이프사이클을 관리하고, 충돌을 해결하며, 트래픽 규칙을 관리하는 반면, 가상화 인프라 관리자는 가상화 인프라의 시각화 된 리소스를 할당 및 관리한다.

오퍼레이션 지원 시스템은 라이프사이클 매니지먼트 프록시 또는 고객 서비스 포털을 통해 고객과 제3의 고객으로부터 사용자의 요구를 받는다. 오퍼레이션 지원 시스템은 그 후 해당 요구를 수용할지 아닐지를 결정한다. 수용된 요구는 추후 진행을 위해 MEC orchestrator를 향한다. MEC orchestrator는 배치된 MEC 호스트에 의존하는 전체적인 관점을 유지하는 MEC 서버, 자원, 토폴로지서 이용 가능한 핵심 기능이다.



[그림 4] ETSI-MEC 시스템 구조^[22]

Ⅷ. 결 론

본 기고는 MEC의 기본 개념과 네트워크 구조, 서비스 등을 기술하였고, 5G 전송을 달성 등에 여러 이점을 소개하였다. 또한, 현재의 기술 수준에서 해결 방향과 표준화 활동에 대해서도 살펴보았다. MEC는 클라우드 컴퓨팅을 보완하며, 모바일 네트워크의 에지에서 상당한 양의 저장, 신호 처리, 통신, 제어, 연산 및 관리 응용을 제공한다. 또한, 중앙 집중식 클라우드를 위한 채널을 구축하는 MCC와 달리, 클라우드 컴퓨팅의 장점을 네트워크 에지 형태로 사용자에게 제공함으로써 E2E 지연을 줄여 클라우드 컴퓨팅 개념을 보완, 확장한다. 이와 같은 MEC의 구조와 기능을 달성하는 연구는 5G 시스템 요구사항 달성에 매우 중요한 역할을 할 것이며, 네트워크 진화에도 큰 의미를 가질 것이다.

참 고 문 헌

[1] T. Taleb, S. Dutta, A. Ksentini, M. Iqbal, and H. Flinck, "Mobile edge computing potential in making cities smarter", *IEEE Communications Magazine*, IEEE, pp. 38-43, 2017.
 [2] S. Wang, X. Zhang, Y. Zhang, L. Wang, J. Yang, and W. Wang, "A survey on mobile edge networks: Convergence of computing, caching and communications", *IEEE Access*, Mar. 2017.
 [3] P. Mach, Z. Becvar, "Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading", *IEEE Communi-*

cations Surveys & Tutorials, Mar. 2017.

[4] M. Peng, S. Yan, K. Zhang, and C. Wang, "Fog-computing-based radio access networks: Issues and challenges", *IEEE Network*, IEEE, pp. 46-53, Jul. 2016.
 [5] R. Mahmud, R. Buyya, "Fog computing: A taxonomy, survey and future directions", *arXiv preprint arXiv:1611.05539*, Nov. 2016.
 [6] G. I. Klas, "Fog computing and mobile edge cloud gain momentum open fog consortium, ETSI MEC and Cloudlets", 2015. [Online]. Available: <http://www.engpaper.com/mobile-computing-2015.htm>
 [7] W. Shi, S. Dustdar, "The promise of edge computing", *Computer*, vol. 49, no. 5, pp. 7-81, May 2016.
 [8] N. Mohan, J. Kangasharju, "Edge-fog cloud: A distributed cloud for internet of things computations", *IEEE CIoT*, pp. 1-6, 2016.
 [9] 5G Vision: The 5G Infrastructure Public Private Partnership: The Next Generation of Communication Networks and Services, accessed on Oct. 1, 2016. [Online]. Available: <https://5gpp.eu/wpcontent/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>
 [10] Y. C. Hu, M. Patel, D. Sabella, N. Sprecher, and V. Young, "Mobile edge computing a key technology towards 5G", *ETSI White Paper*, vol. 11, no. 11, pp. 1-16, 2015.
 [11] ETSI GS MEC 002: Mobile Edge Computing(MEC); Technical Requirements V1.1.1, Mar. 2016.
 [12] Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, and K. B. Letaief, "Mobile edge computing: Survey and research outlook", *arXiv preprint arXiv:1701.01090*, 2017.
 [13] S. Nunna, A. Kousaridas, M. Ibrahim, M. Dillinger, C. Thuemmler, H. Feussner, and A. Schneider, "Enabling real-time context-aware collaboration through 5G and mobile edge computing", *IEEE ITNG*, Las Vegas, NV, pp. 601-605, 2015.
 [14] A. A. Shuwaili, O. Simeone, "Optimal resource allocation for mobile edge computing-based augmented reality applications", 2016. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1611.09243.pdf>

[15] O. Mäkinen, "Streaming at the edge: Local service concepts utilizing mobile edge computing", In *IEEE 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, pp. 1-6, 2015.

[16] R. Roman, J. Lopez, and M. Mambo, "Mobile edge computing, Fog et al.: A survey and analysis of security threats and challenges", *Future Generation Computer Systems*, 2016.

[17] M. T. Beck, M. Werner, S. Feld, and T. Schimper, "Mobile edge computing: A taxonomy" *International Conference on Advances in Future Internet(AFIN)*, 2014.

[18] M. Peng, S. Yan, K. Zhang, and C. Wang, "Fog-computing-based radio access networks: Issues and challenges", *IEEE Network*, vol. 30 no. 4, pp. 46-53, 2016.

[19] CISCO, "Cisco fog computing solutions: Unleash the power of the internet of things(whitepaper)", 2015. [Online]

[20] K. Hong, D. Lillethun, U. Ramachandran, B. Ottenwälder, and B. Koldehofe, "Mobile fog: A programming model for large-scale applications on the internet of things", In *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Mobile Cloud Computing*, pp. 15-20, 2013.

[21] ETSI GS MEC 003, Mobile Edge Computing(MEC) Framework and Reference Architecture V1.1.1, 2016.

[22] Y. Ai, M. Peng, and K. Zhang, "Edge cloud computing technologies for internet of things: A primer", *Digital Communications and Networks*, 2017.

≡ 필자소개 ≡

김 훈



1998년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)
 1999년: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2004년: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
 1998년~2001년: 한국전자통신연구원 위촉연구원

2004년~2005년: 삼성전자 책임연구원
 2005년~2007년: 정보통신부 사무관
 2007년~2008년: 스탠포드대학교 방문연구원
 2014년~2015년: 스탠포드대학교 방문연구원
 2008년~현재: 인천대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 통신망, 이동통신, 최적화기법

김 대 형



2016년: 인천대학교 전자공학과 (공학사)
 2016년~현재: 인천대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 포그 컴퓨팅, 클라우드 렌, 무선네트워크, IoT

칸퍼베즈



2003년: Peshawar University Computer Science (공학사)
 2006년: Peshawar University Computer Science (공학석사)
 2015년: 인하대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 [주 관심분야] 무선통신, 무선센서네트워크, MAC 프로토콜 디자인, 클라우드 컴퓨팅, 에지컴퓨팅,

IoT