

## 5G 무선통신을 위한 저지연 서비스 시나리오 및 플랫폼

이호원 · 이인호 · 최현호

국립한경대학교 전기전자제어공학과, IT융합연구소

### 목 차

- I. 서론
- II. 저지연 무선통신 연구 동향
- III. 저지연 서비스 시나리오
- IV. 저지연 서비스 플랫폼
- V. 결론

### I. 서론

미래 이동통신 트래픽 양은 10년 내 1000배 이상 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다 [1,2]. 이는 기존 모바일 브로드밴드 서비스의 지속적인 확장에 의한 것일 뿐만 아니라, 통신 기능이 다양한 사물들에게까지 부여됨에 따라 추가적으로 발생하는 트래픽에 의한 것이다. 아울러, 이러한 사물 통신 기능은 2020년까지 500억 개 이상으로 통신 단말의 증가를 가속화시킬 것으로 예상되고 있다. 이러한 환경변화는 사용자들에게 다양한 use cases를 제공하면서 시스템에 새로운 요구사항을 제시할 것이다.

미래에는 증강현실, 가상현실, 실시간 온라인게임 등과 같은 다양한 실시간(real-time) 인터랙티브(interactive) 멀티미디어 서비스가 증가할 것이다. 이러한 서비스를 사용하는 사용자들이 자연스러운 인터랙션을 경험하기 위해서는 저지연 무선통신 서비스의 제공이 꼭 필요하다 [3,4]. 일반적으로, 인간이 미디어를 통해 시청각 정보를 받아들일 때 느끼는 청각 정보는 약 100 ms 이내에 전달되어야 하며, 시각 정보는 약 10 ms의 허용 지연시간 이내에 전달되어야 한다 [5]. 만약 정보를 전달하는 데에 그 이상의 지연시간이 발생하게 된다면 사람들은 해당 서비스에 대해 부자연스러움 느끼게 된다. 더 나아가, 교통, 스포츠, 교육, 의료, 제조 등과 같은 다양한 무선통신 응용 영역에서 최대 수 ms 이내의 종단 간 지연(end-to-end latency)을 요구하는 새로운

무선통신 서비스들이 창출될 것이다. 예를 들어, 차량 간 통신(vehicular-to-vehicular (V2V) communications) 및 차와 인프라간의 통신(vehicular-to-infrastructure (V2I) communications)은 교통안전 서비스 제공을 위하여 극단적으로 짧은 무선 통신 지연을 필요로 한다. 또한, 긴급한 상황에서 부상자가 이동 중인 경우에 로봇 등을 통한 원격 수술의 높은 신뢰성 및 안정성 보장을 위해서는 교통안전 서비스와 마찬가지로 매우 짧은 지연을 보장할 수 있는 무선통신 기술의 제공이 요구된다.

5세대 이동통신의 핵심적인 기능으로 주목을 받고 있는 Tactile Internet은 촉각 정보가 전달될 만큼의 저지연 무선통신 서비스를 제공해 줄 수 있는 인터넷을 말하며, 사용자의 요청에 대해 극단적으로 짧은 반응 지연시간을 필요로 한다 [3,4,6]. [7,8]에 따르면, 인간의 오감 중 지연시간에 가장 민감한 촉각 정보를 무선통신 시스템을 통하여 제공한다고 가정할 때 사용자가 어색함을 느끼지 않도록 하기 위해서는 허용 지연시간을 1 ms 이내로 설정하는 것이 필요하다. 그렇지 못할 경우에는 사용자가 불편을 느끼게 되며 이것을 cyber sickness라 부른다. 이러한 cyber sickness 문제의 해결을 위해서는 사용자의 요청에 대하여 극단적으로 짧은 반응 지연시간을 가지는 무선통신 시스템 개발을 위한 사용자 중심의 서비스 시나리오 발굴 및 관련 기술의 개발이 필요하다.

본고에서는 현재까지의 저지연 무선통신과 관련된 기존 연구 동향에 대하여 살펴보고, 미래에 발생할 수

있는 다양한 저지연 서비스 시나리오들을 예측해볼 것이다. 또한, 이 서비스들을 실현할 수 있는 새로운 네트워크 구조 및 저지연 서비스플랫폼 기술에 대해서도 살펴볼 것이다.

## II. 저지연 무선통신 연구 동향

인체에서 신경을 통해 전기신호가 전달되는데 걸리는 속도는 최대 120m/s 정도로 알려져 있다. 이는 손으로 느낀 감각정보가 10 ms 이내에 뇌까지 전달된다는 것을 의미한다. 따라서 무선통신 시스템에서 인체에서 신경을 통해 전기신호가 전달되는 것과 같은 만큼의 자연스러움을 반영하기 위해서는 수 ms 이내의 중단 간 지연시간의 보장이 필요하다. 하지만, 현재 무선 통신 기술 및 반도체 기술 등은 이러한 저지연 무선 통신 서비스를 제공하기에는 많은 문제점들을 가지고 있다. 다시 말해서, 스마트폰의 스크린 터치 인식 지연 시간, 모뎀, 기지국 및 망에서의 지연시간, 보안, 인증, 데이터 압축 지연시간 등의 해결해야 할 매우 많은 이슈들이 존재한다. 본 장에서는 물리계층, MAC계층, 네트워크 계층 등을 비롯한 다양한 관점에서 저지연 무선 통신 기술 및 서비스와 관련된 다양한 관련 연구들에 대하여 살펴본다.

### 2.1. 물리계층

4세대 이동통신에서는 물리계층 기술로써, 주로 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기술이 사용되고 있다. 하지만 OFDM 기술은 수 ms 이내의 지연시간을 가지는 저지연 무선통신 시스템을 지원하기에는 몇 가지 문제점을 가지고 있다 [6]. 3GPP LTE (long-term evolution) 시스템의 경우 서브프레임(subframe)의 길이가 1ms 인데, 데이터를 전송하는 시간 외에도 데이터 전송 준비를 하기까지도 수 ms가 필요하기 때문에 중단 간 수 ms 지연시간을 보장하는 무선통신시스템을 구현하기에는 한계가 있다. 또한 이 문제를 해결하기 위해서 현재의 66.7  $\mu$ s인 심볼 길이를 줄이는 방안을 고려해 볼 수 있다. 하지만 이렇게 되면 다중경로 채널 지연으로 인한 심볼간 간섭 문제의 해결을 위해 길이의 변경이 어려운 cyclic

prefix (CP)를 항상 붙여서 전송해야하는 문제는 여전히 존재하기 때문에, 데이터 전송에 있어서 상당히 비효율적인 결과를 야기하게 된다. 따라서 부채널(subchannel) 간의 직교성을 필요로 하지 않는 generalized frequency division multiplexing (GFDM)이나 filter bank based multi-carrier transmission (FBMC) 등의 기술이 저지연 무선통신 시스템을 위한 주요 기술로 주목받고 있다 [9]. 이 기술들은 OFDM과 같이 별도로 엄격하게 동기를 맞출 필요가 없고, 유효 대역 밖으로 누설되는 전력량이 OFDM 보다 적다는 장점을 가지고 있다. 물론 송수신 구조가 OFDM 기술보다 복잡하며, multi-input multi-output (MIMO) 기술의 적용에 어려움이 있다는 단점도 역시 존재한다. 현재 FP7의 5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signaling (5GNOW) 프로젝트 그룹에서 관련연구를 활발히 진행하고 있다. 또한, 아래의 그림 1은 Tactile Internet의 물리계층 지연 요구사항을 보여준다 [3].

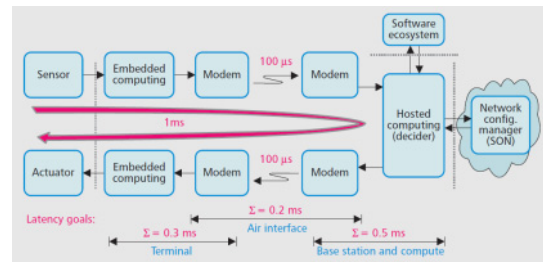


그림 1. Tactile Internet의 물리계층 지연 요구사항 [3]

### 2.2. MAC 계층 및 네트워크계층

Medium Access Control (MAC) 계층에서는 제어 신호 설계 및 시그널링 절차의 최적화를 목적으로 MAC tunneling, concise control signaling, latency aware scheduling, fast uplink random access 등의 기술이 연구되고 있다. 또한, 네트워크 계층에서도 지연시간의 최소화를 위하여 플랫 토폴로지 기반의 네트워크 구조 최적화, 실시간 콘텐츠 캐싱 기반 mini/micro 클라우드 컴퓨팅, 네트워크 컴퓨팅 등의 연구도 매우 활발히 진행되고 있다. Tactile Internet에서는 수 ms 이내의 저지연 무선통신 서비스의 지원을 위하여 신호 처리, 프로토콜 핸들링, 스위칭 지연 등을 고려할 때, control/steering 서버의 위치가 사용자로부터 15 km 이내에

존재해야한다고 언급하고 있다.

종단간 지연이 수 ms 이내인 저지연 무선통신 서비스를 지원하기 위해서는 물리계층, MAC 계층 및 네트워크 계층 기술 이외에도 그 밖의 다른 계층들의 기술 개발이 필수적이다. 한 요소에서라도 종단 간 지연 요구사항을 초과하는 지연이 발생하게 된다면 이 시스템은 저지연 무선통신 서비스를 지원할 수 없게 되는 것이다. 하드웨어적으로 보았을 때, 터치스크린 자체의 반응속도도 매우 빨라야 하며, mobile operating system (OS)도 복잡도를 최소화하여 OS 내부 정보 송수신 및 처리를 위해 소요되는 시간을 최소화할 수 있어야 한다. 이렇듯 다양한 계층에서 저지연 무선통신 서비스의 지원을 위한 활발한 연구 개발이 필요하다.

### III. 저지연 서비스 시나리오

#### 3.1. 저지연 서비스 시나리오 분류

저지연 서비스 시나리오는 각각의 시나리오가 요구하는 지연시간 성능의 특성에 따라 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있다.

- Reality 시나리오: 기존의 지연시간 성능을 개선한 가상현실 또는 증강현실 서비스 시나리오
- Control 시나리오: 절대적인 지연시간 요구치가 존재하는 서비스 시나리오
- Competition 시나리오: 경쟁 대상이 존재하는 상황에서 상대적인 지연시간 성능이 중요하게 고려되는 서비스 시나리오

Reality 시나리오는 가상의 현실감을 제공하는 서비스와 현실 세계를 반영하여 실제 환경에 작용하는 서비스에 중점을 두며, 이와 관련된 서비스 시나리오는 서버 기반으로 운영되는 온라인 가상현실 게임 시나리오, 이동 중 사무실과 동일한 업무환경을 제공하는 원격 사무실 시나리오, 센서 및 액추에이터(actuator)를 이용하여 멀리 떨어져 있는 대상과 실제와 유사한 교감을 할 수 있는 텔레프레즌스(telepresence) 시나리오, 터치스크린(touch screen)을 이용하는 스마트 기기에서 사용자의 빠른 손가락 움직임을 감지할 수 있는 초고속 터치 응답 시나리오 등이 있다.

Control 시나리오는 안전과 직결되는 서비스에 중

점을 두며, 이와 관련된 서비스 시나리오는 교통관리 시스템과 차량간 저지연 통신을 통한 교통 제어 시나리오, 보행자와 운전자의 부주의로 인한 돌발 상황에서 사고를 예방하기 위한 저지연 통신 기반의 교통안전 시나리오, 차량집단 무인운행을 통하여 차량 사고 예방을 위한 플래투닝(platooning) 시나리오, 로봇을 이용하여 멀리 떨어져 있는 환자의 수술을 안정적으로 수행하기 위한 원격 수술 시나리오 등이 있다.

Competition 시나리오는 경쟁을 수반하는 서비스에 중점을 두며, 이와 관련된 서비스 시나리오는 경쟁 대상자들이 각자 사용하는 통신 네트워크의 지연시간 성능이 상이한 경우만을 고려한다. 따라서 다수 경쟁자들이 존재하는 온라인 게임 상에서의 아이템 획득 경쟁 시나리오, 온라인을 이용하는 주식시장에서의 매매 경쟁 시나리오, 전자거래에서의 자동화 매매 경쟁 시나리오, 수장 신청 경쟁 시나리오 등이 있다.

다음 절에서 Reality, Control, Competition의 시나리오들을 구체적으로 소개한다.

#### 3.2. 저지연 서비스 시나리오 소개

##### 3.2.1. Reality 시나리오

그림 2는 원격 사무실 시나리오를 보여준다. 원격 사무실이란, 그림 2와 같이 클라우드 서버와의 저지연 통신을 통하여 언제 어디서든 무선 통신기기를 이용하여 실제 사무실에서 개인 컴퓨터로 업무를 수행하는 것과 같이 끊임 없고 자연스러운 업무가 가능한 시스템을 말한다. 여기서, 클라우드 서버가 데이터의 저장과 처리 기능을 모두 수행하기 때문에 사용자가 휴대한 무선 통신기기는 데이터 송수신과 디스플레이 기능만을 필요로 한다.

그림 3은 스마트 패드를 이용하여 드론을 제어하는 초고속 터치 응답 시나리오를 보여준다. 실제로 많이 이용되는 무선 조정기의 경우 제어 대상을 자연스럽게 제어할 수 있다. 그러나 터치스크린을 무선 조정기로 이용할 경우 터치스크린의 응답 속도 제한으로 자연스러운 제어가 어려울 수 있다. 여기에서, 터치스크린의 응답 속도란 터치스크린 위에 접촉된 손가락의 움직임에 스크린이 반응하는 속도를 의미한다. 따라서 이 응답 속도가 느릴 경우, 그림 3과 같이 제어 대상을 자연스럽게 제어할 수 없다. 초고속 터치 응답 시나리오는

무선통신의 저지연 성능뿐만 아니라 스마트기기의 센싱과 처리시간의 저지연 성능과도 관련된다.

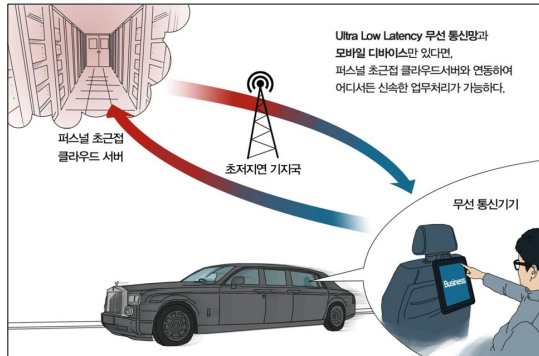


그림 2. 원격 사무실 시나리오

지연 통신을 이용하여 차량을 자동 제어하는 이유는 지연 통신의 경우 상황 감지 후 차량 제어까지 수 ms 또는 수십 ms의 지연시간이 발생하는 반면에 운전자가 돌발 상황을 인지한 후 차량을 제어하기까지 최소 2.5초의 지연시간이 발생하기 때문이다 [10].

그림 5는 차량집단 무인운행 플레투닝 시나리오를 보여준다. 플레투닝 기술은 그림 5와 같이 선도 차량 운전자가 직접 운전하며 후방에 따라오는 차량들을 간접적으로 제어하는 차량 집단 무인주행 기술이다. 또한, 차량간 통신을 통해 운행정보를 공유하여 고속 주행 차량의 안전 및 교통체증 해소에 도움을 줄 수 있다. 플레투닝 기술에 저지연 통신 기술을 접목하면, 고속 주행 차량간 운행정보의 빠른 공유가 가능해져 플레투닝 기술의 효과적이고 안정적인 운영이 가능해진다.

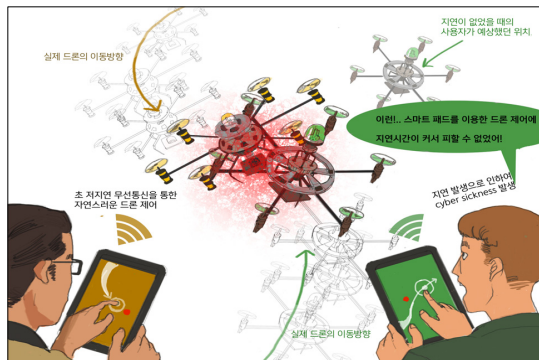


그림 3. 초고속 터치 응답 시나리오



그림 4. 교통안전 시나리오

### 3.2.2. Control 시나리오

그림 4는 차량 간 또는 차량과 보행자간 충돌 사고를 방지하기 위한 교통안전 시나리오를 보여준다. 그림 4와 같이 보행자가 휴대한 무선통신기기 및 차량들은 GPS를 통해 얻은 좌표 정보를 인접 기지국으로 전송한다. 좌표 정보를 획득한 기지국은 차량 및 보행자의 이동 방향 및 속도 등을 추정하고 이 추정 자료를 토대로 충돌 상황을 예측할 수 있으며, 위험 상황 감지 시 차량을 자동적으로 제어한다. 기지국을 이용한 저지연 통신 기반 교통안전 시스템은 차량과 보행자간 P2P 통신을 통해 위험 상황을 차량이 감지할 수 없는 경우를 대비하기 위한 시스템으로 P2P 통신 기반의 시스템 보다 포괄적인 안전 관리가 가능하다. 이처럼 저

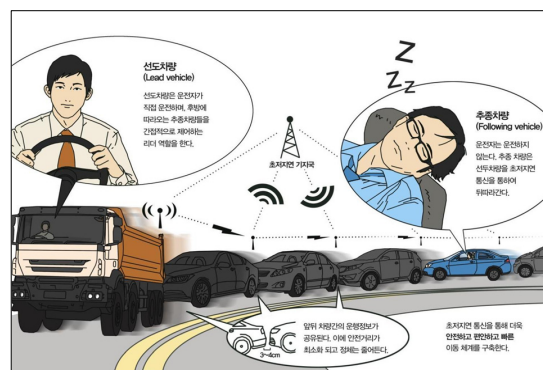


그림 5. 차량집단 무인운행 플레투닝 시나리오

### 3.2.3. Competition 시나리오

그림 6과 그림 7은 온라인 게임 상에서의 아이템 획득을 위한 경쟁 시나리오와 수강 신청을 위한 경쟁 시나리오를 각각 보여준다. 두 시나리오는 모두 경쟁 대상들이 지연시간 성능이 다른 통신 네트워크를 사용한다고 가정한다. 그림 6은 게임 상의 아이템을 획득하기 위하여 일반 무선 인터넷을 사용하는 사용자가 먼저 마우스를 클릭하였음에도 불구하고 저지연 무선 인터넷을 사용하는 사용자가 아이템을 획득하는 상황을 보여준다. 그림 7은 두 사용자 모두 저지연 통신 네트워크를 이용하지만, 네트워크의 지연시간 성능이 1ms 차이가 있어 수강 신청 경쟁에서 지연시간이 짧은 네트워크의 사용자가 수강 신청에 성공하는 상황을 보여준다. 이처럼 온라인상에서 경쟁이 수반되는 상황에서는 저지연 서비스의 중요성이 더욱 두드러진다.

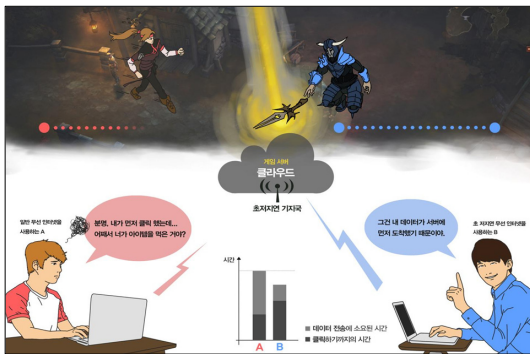


그림 6. 온라인 게임 상에서 아이템 획득 경쟁 시나리오

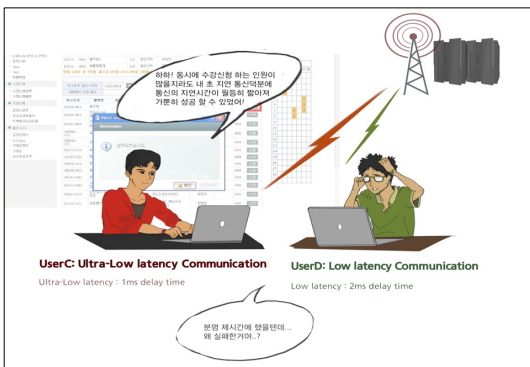
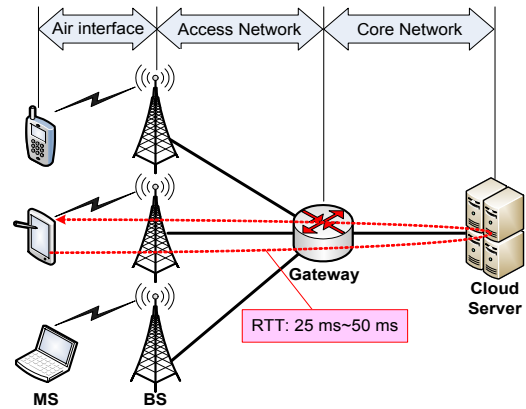


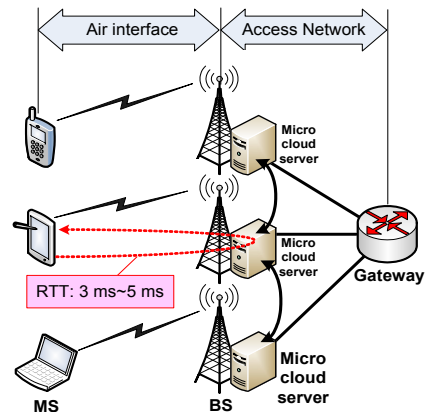
그림 7. 수강 신청 경쟁 시나리오

### IV. 저지연 서비스 플랫폼

본 장에서는 저지연 서비스를 위한 네트워크 구조 및 플랫폼을 제시한다. 그림 8은 기존 네트워크 구조와 저지연 서비스를 위한 새로운 네트워크 구조를 보여준다. 기존 네트워크 구조에서 이동 단말(mobile station; MS)은 기지국(base station; BS)을 통하여 접속 네트워크와 코어 네트워크를 거치면서 서버에게 서비스를 요청하고 제공받는다. 단말은 기지국, 접속 네트워크의 게이트웨이, 코어 네트워크를 거쳐서 서버와 연결되는데, 이때 대략 25~50 ms의 양방향 지연(round trip time; RTT)이 발생한다고 알려져 있다 [11]. 지연이 발



(a) Conventional Network Architecture



(b) Network Architecture for Low Latency

그림 8. 기존 네트워크 구조 및 저지연 서비스를 위한 네트워크 구조



생하는 가장 큰 이유는 각 노드에서 발생하는 대기 및 프로세싱 지연 때문이다. 따라서 양방향 지연을 줄이기 위해서는 단말과 서버 사이의 전송 홉 수가 줄어들도록 네트워크 구조를 변경할 필요가 있다.

고려하는 저지연 서비스를 위한 네트워크 구조에서는 기존의 코어 네트워크에 존재하던 클라우드 서버가 마이크로 클라우드 서버라는 이름으로 기지국에 분산 배치된다. 이러한 구조에서 단말은 단일 홉으로 서버와 직접 연결되어, 기지국과 통신하는데 걸리는 시간만으로 서비스를 받을 수 있다. 이 경우 대략 3~5 ms의 양방향 지연이 소요된다 [11]. 마이크로 클라우드 서버는 저지연 어플리케이션에 대한 서비스를 제공하며 서버 상호간에 직접 링크를 통해 정보를 공유할 수 있도록 한다.

그림 9는 네트워크 상의 노드들이 저지연 서비스를 제공하기 위한 서비스 플랫폼을 나타낸다. 먼저 접속 플랫폼은 무선 인터페이스의 물리계층 및 MAC 계층에 해당되며, 저지연 송수신을 위한 변복조, 접속제어, 스케줄링 등의 기능을 담당한다. 네트워크 플랫폼은 구성 노드의 네트워크 및 전송 계층에 대응되며, 저지연 네트워킹을 위한 망 기능 및 정책 제어, 보안 기능, 망 최적화 등의 기능을 담당한다. 마지막으로 응용 플랫폼은 응용 계층의 역할을 담당하며, 다양한 저지연 응용 서비스를 제공한다. 이러한 저지연 서비스 플랫폼을 바탕으로 네트워크를 구성하는 단말, 기지국, 서버는 필요한 기능에 따라 계층을 선택적으로 사용하게 된다.

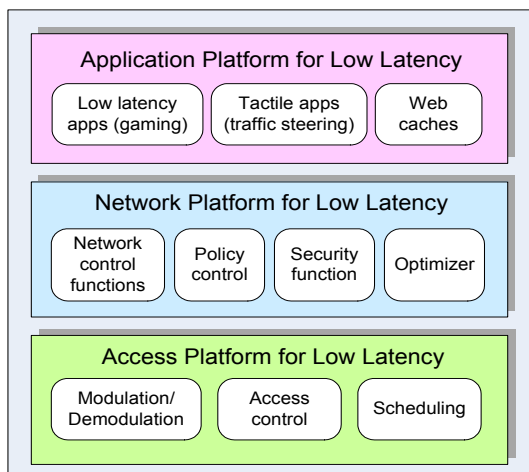


그림 9. 저지연 서비스 플랫폼

## V. 결론

2013년 Wireless World Research Forum (WWRF)에서 저지연 통신의 촉감 인터넷이 5G 이동통신의 핵심 기능이 될 것이라고 발표된 바 있고, 유럽연합 METIS 프로젝트에서는 저지연 통신 기반의 실시간 통신을 5G 시나리오의 하나로 선정하고 있다. 이처럼, 초고속 데이터 전송을 목표로 했던 4G 이동통신과는 달리 5G 이동통신은 저지연 통신을 목표로 하고 있다. 이에 발맞추어 본고에서는 5G 저지연 통신 서비스의 시나리오를 크게 Reality, Control, Competition 시나리오로 분류하였고, 게임, 로봇, 교통, 의료, 금융 분야에서의 저지연 서비스 시나리오를 소개하였다. 또한, 저지연 통신의 실현을 위한 플랫폼을 제시하였고, 플랫폼은 센싱, 처리, 유·무선 전송 등에서 발생하는 시간을 최소화하기 위하여 설계되었다. 이와 같이, 저지연 통신을 위해서는 통신 시스템 구조의 변화와 무선통신기기의 성능 개선이 요구된다. 따라서 5G 저지연 통신의 실현을 위하여 통신 시스템 구조 변화의 범주 및 방법, 통신기기·장비의 하드웨어·소프트웨어 개선 등과 관련한 많은 도전 과제의 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [14-000-04-001, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술 개발]

## 참고문헌

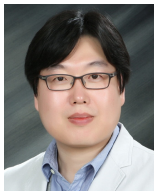
- [1] A. Osseiran, "Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty twenty (2020) Information Society," Future Network & Mobile Summit 2013, July 2013, retrieved from <http://www.metis2020.com>.
- [2] Cisco VNI Forecast, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile data Traffic Forecast Update 2013-2018," Cisco Public Information, Feb. 2014.

- [3] G. Fettweis and S. Alamouti, "5G: Personal Mobile Internet beyond What Cellular Did to Telephony," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp. 140-145, Feb. 2014.
- [4] G. Fettweis, "The Tactile Internet - Applications and Challenges," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 64-70, Mar. 2014.
- [5] M. T. G. Pain and A. Hibbs, "Sprint Starts and the Minimum Auditory Reaction Time," J. Sports Sciences, vol. 25, no. 1, pp. 79 - 86, Jan. 2007.
- [6] 한국방송통신전파진흥원, "5세대 이동통신의 새로운 이슈, Tactile Internet의 소개," 방송통신기술 이슈&전망, Korea Communications Agency, no. 49, Feb. 2014.
- [7] E. Steinbach et al., "Haptic Communications," Proc. IEEE, vol. 100, no. 4, pp. 937 - 56, Apr. 2012.
- [8] T. DeFanti and R. Stevens, "Teleimmersion," Ch. 6, The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Elsevier Series in Grid Computing, pp 131 - 55.
- [9] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM Versus Filter Bank Multicarrier," IEEE Signal Processing Magazine, pp. 92-112, May 2011
- [10] The Chronological Evolution of Driver's Perception Reaction Time, 교통기술과정책, Dec. 2011
- [11] W. Haeffner, "Networks at the Speed of Light pave the way for the tactile internet," Symposium "Das Takile Internet", Oct. 2013



**이호원(Howon Lee)**

2009년 KAIST 전기및전자공학과 박사  
2009년~2012년 KAIST IT융합연구소 팀장/연구조교수  
2012년~현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
2012년~현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수  
※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, D2D 통신, 최적 CSMA, 지식융합기술 등



**이인호(In-Ho Lee)**

2008년: 한양대학교 전자전자제어계측공학과 공학박사  
2008년~2010년: 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원  
2011년~현재: 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
※관심분야 : 무선 협력 통신, MIMO 전송, 물리계층 성능 분석



**최현호(Hyun-Ho Choi)**

2007년: KAIST 전기및전자공학과 공학박사  
2007년 ~ 2011년 2월: 삼성중합기술원 전문연구원  
2011년 ~ 현재: 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수  
※관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 매체접속제어, 분산자원관리, 저전력 프로토콜, 생체모방 알고리즘