

초저지연 서비스를 위한 무선 접속 기술

Wireless Technologies for Ultra Low Latency Communications

김은경 (Eunkyung Kim, ekkim@etri.re.kr)

박현서 (Hyunseo Park, hspark@etri.re.kr)

이안석 (Anseok Lee, alee@etri.re.kr)

이희수 (Heesoo Lee, heelee@etri.re.kr)

이유로 (Yuro Lee, yurolee@etri.re.kr)

김태중 (Taejoong Kim, aisma@etri.re.kr)

무선원천기술연구실 선임연구원

무선원천기술연구실 책임연구원

무선원천기술연구실 선임연구원

무선원천기술연구실 책임연구원

무선원천기술연구실 책임연구원/실장

이동전송연구부 책임연구원/부장

* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 ‘범부처 Giga KOREA 사업’의 지원을 받아 수행된 연구임[No. GK17P0500, 5G URLLC서비스를 위한 초저지연 무선 접속 기술 개발].

In wireless access networks, it is extremely important to provide high quality of real time and interactive services, including voice and video traffic. Furthermore, low latency communication is shifting toward new paradigm which enhances user's high quality of experience, meeting the requirements for specific applications such as tactile internet, remote-control robot and machines, and mission critical application. In this paper, we introduce the approaches to achieve the extremely low latency service. The approaches include the core requirements and the key technologies providing low latency communication maintaining high reliability in wireless access networks.



본 저작물은 공공누리 제4유형

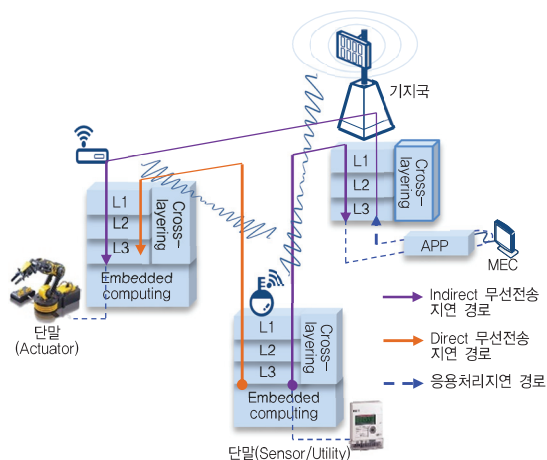
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

- I. 머리말
- II. 초저지연 서비스/개발 동향
- III. 초저지연 서비스를 위한 무선 전송/접속 지연
- IV. 초저지연 서비스를 위한 후보 기술
- V. 맺음말

I. 머리말

무선 접속망은 고용량의 데이터 서비스를 제공하여 고품질의 음성통화와 영상통화 제공에 더불어 현대사회의 밀집한 생활공간에서 정보의 정확하고 신속한 공유와 영상데이터를 포함한 고속 데이터 전송을 제공하도록 발전 중이다. 또한, 무선 접속망은 실시간 상호 작용 기반 융합 서비스 제공을 통한 새로운 기술 패러다임 변화에 적응하여 발전 중이다. 무선 접속망을 이용하는 대표적인 실시간 상호 작용 기반 융합 서비스는 자율주행을 위한 V2X 통신, 드론 통신, 원격 의료, 산업용 IoT, 증강/가상 현실 등의 초저지연 서비스로, (그림 1)처럼 무선 데이터를 주고받는 통신 주체를 제어하고 무선 데이터 전송을 위한 직/간접 무선 전송 지연으로 구분할 수 있다. 특히 통신 주체간 높은 전송속도 및 전송효율과 더불어 밀집된 환경에서 극단적으로 짧은 전송 지연과 강건한 데이터 전송과 이를 제어하기 위하여 엄격한 시간 지연이 요구된다.

본고에서는 초저지연 서비스 제공을 위한 서비스와 개발 동향과 초저지연 서비스를 제공하기 위해 무선 구간간의 지연 개념과 무선 전송과 접속 관점의 분류에 대해 소개한다. 그리고 전송 지연 감소를 위한 무선 전송/접속 기술을 소개한다.



(그림 1) 무선 접속 망의 지연 개념도

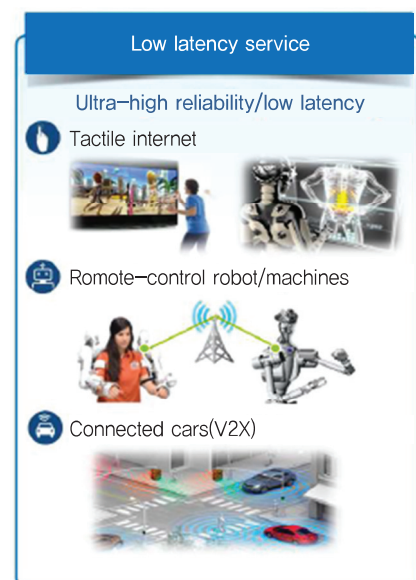
II. 초저지연 서비스/개발 동향

4G 무선 접속망은 약 20ms 수준의 양방향 도달 시간을 지원할 수 있으며, 이는 이동 무선 인터넷, 음성 및 영상 통화, 메시지전달 등 현재 널리 사용되는 많은 응용 서비스를 지원할 수 있다. 하지만, 초저지연 서비스들을 위해서는 초저지연 무선 접속망이 지원하는 수 ms 이내의 매우 짧은 양방향 도달 시간이 필수적이다.

(그림 2)는 초저지연 서비스의 예이다. 초저지연 서비스는 매우 짧은 지연시간을 필수로 요구하며, 촉각 상호 작용이 가능한 수준의 인터넷 서비스를 의미하는 Tactile Internet이라는 용어로도 대표된다[1].

대표적인 초저지연 서비스는 다음과 같다.

- 가상, 증강 및 혼합 현실: 가상현실이란 실제와 유사한 가상의 환경을 만들고, 이를 경험하게 하여 몰입형 서비스를 제공하는 서비스를 의미하며, 증강 또는 강화 현실은 실제 시각에 가상의 물체 등을 합성하여 실제 환경에 가상의 환경을 더하여 경험하게 하기 위한 서비스를 의미한다



(그림 2) 초저지연 서비스의 예[2]

[출처] ETRI, 5G Vision and Enabling Technologies, Feb. 2016.

[3]. 무선 접속망은 이러한 서비스의 제공을 위하여 사용자의 위치 또는 시선의 움직임을 중앙 처리장치로 전달하여 이에 대한 응답 정보를 사용자에게 빠르게 전달해야 한다. Oculus Rift, Google Glass 등의 장치가 가상 및 증강현실을 위하여 개발되었으며, Microsoft의 HoloLens, Leap Motion의 Magic Leap 등의 솔루션이 가상 및 증강현실의 대중화를 목표로 출시, 또는 개발 중이다.

- 자동차 및 비행체의 자율주행: 자동차 및 비행체의 자율주행 기술은 사람의 개입 없이, 또는 최소한의 개입을 통하여 이동체를 안전하게 주행하게 하기 위한 서비스이다. 이를 위하여 자동차는 스스로 주변 환경을 인식, 위험을 판단, 주행 경로를 계획한다[4]. 또한, 인프라는 경로, 교통량, 교통안전 등의 정보를 빠르게 이동체와 교환해야 하며, 그뿐만 아니라 이동체 간 탐색 및 정보 교환이 가능해야 한다. 자동차회사, 이동통신 장비회사, 이동통신 사업자 등이 협력하여 커넥티드 카 및 자율주행 자동차에 대한 개념과 시연을 최근 MWC(Mobile world congress) 및 CES(Consumer electronics show) 등의 행사를 통하여 공개하고 있다. MWC 2017에서는 AT&T와 벤츠사가 자율주행 트럭 관련 기술들을 소개하였으며, 보더폰과 화웨이는 V2X 기술을 이용한 앞차를 통해 전방 영상을 보게 해주는 See through 기술 등 여러 가지 커넥티드 카 시연을 하였다.
- 실시간 원격 기기 제어: 초저지연망을 이용한 또 다른 응용 서비스로 실시간 원격 기기 제어가 있다. 실시간 원격 기기 제어는 산업 현장에서의 생산성과 안전성을 높이기 위하여 요구되며 또한, 다양한 공장 자동화를 위하여 활용될 수 있다. 실시간 원격 기기 제어를 위해서는 다양한 센서 데이터 및 제어 정보의 빠르고 정확한 수집

과, 이에 기반을 둔 제어 정보를 각종 장치에 마찬가지로 빠르고 정확하게 전달하는 기술이 필요하다. 독일의 KoI 프로젝트는 공장 자동화를 위한 요구사항을 도출하고, 이를 지원하기 위한 통신 구조를 제시하였다[5]. 에릭슨은 5G World 2016에서 SDN(Software Defined Networking) 기술로 원격 수술 장비를 시연하였고, MWC 2017에서는 5G(5th Generation) 무선 접속망을 이용한 원격 차량 운행을 시연하였다.

이 밖에도 실시간 게이밍, 원격 검진 및 수술 등 의료 서비스 등이 초저지연 특성을 필요로 하는 미래 응용 서비스 분야이다.

III. 초저지연 서비스를 위한 무선 전송/접속 지연

1. 무선 전송 지연

초저지연 서비스를 제공하는 무선 전송 지연은 크게 무선 통신 링크 지연과 전송 및 전송에 대응하는 수신 처리 지연(Processing latency)으로 구분할 수 있다. 또한, 전송/수신 프로세싱 지연은 프로토콜 계층별로 기저 대역과 RF(Radio frequency) 안테나 처리 성능에 의해 결정되는 L1 처리 지연과 L1 계층과 응용계층 사이의 데이터를 응용 계층으로부터 L1 계층 또는 L1 계층으로부터 응용 계층으로 전달하기 위해 L2 계층에서 처리하는 L2 처리 지연으로 구분할 수 있다.

무선 통신 링크 지연은 데이터 전송을 위하여 전송 프레임 상세하게는 기본 전송 단위(TTI: Transmission time interval)와 기본 전송 단위에 포함되는 데이터 전송을 위한 심볼의 개수와 심볼의 시간 길이(예, OFDM symbol duration)에 따라 결정된다. 예를 들어, 3GPP LTE(3rd Generation Partnership Project Long Term Evolution)의 경우, 1 TTI는 14개의 OFDM 심볼과 1ms의 시간 길이로 구성되어 최소 무선 통신 링크 지연은

1ms이다. 그러나 3GPP 5G NR(New Radio)의 경우에는 1ms보다 짧은 시간의 TTI를 지원하며 하나의 TTI에는 1개에서 최대 14개의 OFDM 심볼로 구성할 수 있다 [6]. 만약 시스템이 6GHz 이하 시스템 대역에서 부반송파간 간격이 60kHz로 운용되며 1 TTI가 2개의 OFDM 심볼로 구성되는 경우에는, $35.71\mu s$ 의 최소 무선 통신 링크 지연을 제공한다. 프로세싱 지연 중 L1 프로세싱 지연에 영향을 미치는 기능은 무선 데이터 전송과 수신에 대응하여 변조/복조 채널 부호화/복호화, 무선 프레임의 심볼 및 부캐리어의 자원 매핑/디매핑, 안테나 매핑/디매핑 등이 있다. L2 프로세싱 지연은 응용 계층으로부터 전달받은 데이터의 암호화 및 데이터 헤더의 압축 및 생성과 L1 계층으로부터 전달받은 암호화 되어 있는 데이터의 헤더 분해 및 복호화 등으로 구성된다.

무선 전송 지연과 프로세싱 지연과 함께 프로세싱을 시작/종료하는 지점을 기준으로 무선 구간 전송 지연(wireless transmission latency), 단대단 전송 지연(end-to-end transmission latency), 재전송 지연(retransmission latency)으로 구분하며 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 무선 구간 전송 지연: 송신단에서 데이터를 L2 계층으로부터 전달 받은 시점에서, 변조 등의 L1 계층의 무선 데이터 전송 처리(TX L1 Proc.) 후 무선 링크를 통해 전송한 무선 데이터를 수신단에서 데이터를 L1 계층의 수신 처리(RX L1 Proc.)가 완료되어 L2 계층으로 전달하기 직전까지의 시간.
- 단대단 전송 지연: 송신단에서 데이터를 응용계층으로부터 전달받은 시점부터, 데이터 헤더 생성 등 L2/L3 계층의 무선 데이터 전송 처리(TX L2/L3 Proc.)와 L1 계층의 무선 데이터 전송 처리 후 무선 링크를 통해 전송한 무선 데이터를 수신단에서 데이터를 L1 및 L2/L3 계층의 수신

처리(RX L2/L3 Proc.)가 완료되어 응용 계층으로 전달하기 직전까지의 시간.

- 재전송 지연: 송신단의 L1 계층의 무선 데이터 전송 처리 후 무선 링크를 통해 전송한 무선 데이터를 수신단에서 L1 계층의 수신 처리 후, 수신 성공 여부를 L1 계층의 송신처리 후 무선 링크를 통해 피드백 한 신호(ACK: ACKnowledgment/NACK: Negative ACK)를 송신단의 L1 계층의 수신 처리가 완료되어 재전송을 준비하는데 까지 걸리는 시간.

2. 무선 접속망 지연

이동 단말의 무선 접속망을 통한 초저지연 서비스를 제공하기 위해서는 단말의 배터리 소모를 줄이면서도 강건하고 빠른 데이터 전송을 위한 무선 접속 지연과 이동 중에도 끊김 없는 데이터 송수신을 위한 핸드오버 서비스 지연으로 구분하며 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 무선 접속 지연: 단말의 배터리 소모를 줄이기 위하여 단말의 상태를 비활성(Inactive) 상태로 활성(Connected) 상태로 정의하며, 비활성 상태 단말이 데이터 송/수신 등을 위한 활성 상태로 천이하는데 소요되는 시간.
- 핸드오버 서비스 지연: 단말이 기지국을 바꿔 핸드오버 하는 동안 데이터가 끊기는 시간인 핸드오버 서비스 단절 시간(MIT: Mobility interruption time).

IV. 초저지연 서비스를 위한 후보 기술

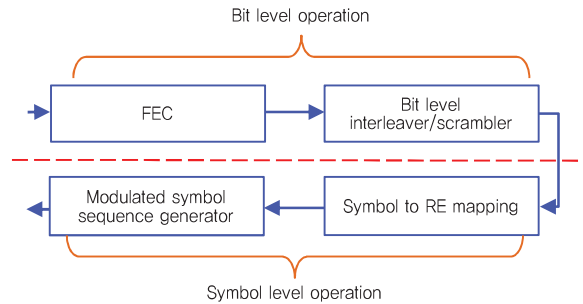
1. 무선 전송 지연 감소 기술

초저지연 서비스를 위한 무선 데이터 전송은 무선 자원 매핑의 경우 주파수/시간 축의 동일한 시간의 주파수 자원에 우선 매핑하고 다음 시간상의 자원에 자원을

매핑하여 수신 측에서 수신 처리를 심볼 단위로 수행하여 시간 지연을 감소할 수 있다. 또한, 무선 데이터 처리를 위한 복호화, 채널 추정 등을 위한 참조 신호(RS)를 우선 전송하여 지연 감소가 가능하다.

일반적으로 상향 링크 전송이 이루어지려면 단말의 스케줄링 요구, 기지국의 자원 할당 및 정보 전송, 그리고 마지막으로 할당된 자원을 사용한 단말의 데이터 전송의 과정을 거치게 된다. 단말의 상향 링크 데이터 전송이 이루어지기까지의 이러한 복잡한 절차는 초저지연 전송의 경우 매우 커다란 문제이다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 하나의 방안은 저지연 전송을 위한 단말에 미리 전용 자원(Dedicated resource)을 할당하고 이 자원을 사용하여 송신하는 것이다. 그러나 저지연 전송이 필요한 모든 단말에 이러한 전용 자원 할당은 커다란 자원 낭비를 가져올 수 있다. 이러한 자원 낭비를 줄일 방안 중의 하나가 NOMA(Non-orthogonal Multiple Access)를 사용하는 것이다.

전통적인 다중접속 방식인 OMA(Orthogonal Multiple Access)는 하나의 직교 자원(예, 주파수, 시간, 직교 코드 등)에 하나의 사용자가 할당되어 사용하는 것이다. 반면 NOMA는 하나의 직교 자원을 다수의 사용자가 공유하는 방식이다. NOMA를 사용하는 경우 동일한 자원에 더 많은 사용자를 수용할 수 있는 장점이 있으나, 기본적으로 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference)이 발생할 수밖에 없다. 이러한 다중 접속 간섭을 해결하기 위해 SIC(Successive Interference Cancellation) 등의 좀 더 복잡한 수신기를 사용하기도 한다. NOMA는 위에 기술한 바와 같이 상향 링크 저지연 전송을 위해서도 매우 유용한 방식이며, 시스템의 상향 링크 용량을 증대시킬 수 있다. 또한, 많은 수의 단말이 작은 데이터를 전송하고 저전력 통신이 중요한 mMTC(Massive Machine Type Communications)에도 매우 유용하게 쓰일 수 있다.



(그림 3) Unified framework of NOMA[12]

한편, NOMA는 복수의 사용자 신호를 다중화하기 위해 bit level interleaver/scrambler을 쓸 수도 있고 symbol-level code/sequence/pattern spreading/scrambling을 사용할 수도 있다[7]. 또는 이 두 가지를 혼합 사용할 수도 있다. (그림 3)에는 이를 통합한 구조를 나타낸다. 지능적인 수신기에 덧붙여 다중 접속 간섭의 영향을 최소화하고 성능을 향상 시키기 위해 송신 측면에서도 특별히 고안된 방법을 사용한다. 이러한 방식 중에 대표적인 것으로는 LDS-CDMA(Low Density Signature CDMA)[8], SCMA(Space Code Multiple Access)[9], NCMA(Non-orthogonal Coded Multiple Access)[10], PDMA(Pattern Division Multiple Access)[11], MUSA(Multi-user Shared Access)[12], RSMA(Resource Spread Multiple Access)[13] 등이 있다. 이들 각각의 방식의 주요 특징은 다음과 같다.

- LDS-CDMA[8]: 심볼 동기가 맞추어진 CDMA 시스템에서 LDS-CDMA는 spreading, zero-padding, interleaving의 과정을 거친다. Spreading 과정은 비교적 작은 개수의 칩 위에서 이루어진다. 여기에 zero-padding은 비교적 큰 개수의 0을 padding 한다. 마지막으로 사용자마다 다른 인터리빙을 수행한다. 이렇게 하면 사용자마다 다른 패턴의 다중접속 간섭을 겪는다.
- SCMA[9]: 먼저 SCMA 인코더는 송신 비트열을 K 차원의 복소코드워드로 매핑한다. 이렇게 만

들어진 코드워드는 K 개의 직교 자원을 사용하여 송신된다. 코드북 내의 각 코드워드는 다수의 0을 포함하고 있어 K 개의 직교자원 중 송신에 사용되지 않는 직교 자원이 다수 생겨난다. LDS-CDMA와 마찬가지로 각 사용자에게는 서로 다른 코드북을 할당함으로써 사용자마다 다른 간섭 패턴을 갖게된다.

- NCMA[10]: NCMA는 다중 사용자 간섭을 완화하기 위해 비직교 코드워드를 통한 자원 확산 방식을 사용한다. 성능 최적화를 위해 최소상관계수를 갖는 확산코드를 설계하여 사용한다. 이러한 최소상관계수 확산코드는 Grassmannian line packing problem을 풀어 얻을 수 있다.
- PDMA[11]: PDMA는 다수의 자원에 확산을 기반으로 하는 NOMA 기법이다. PDMA는 NOMA를 사용할 경우 발생하는 다중 사용자 간섭을 해결하기 위해 SIC를 사용하는 경우를 고려한다. SIC 수신인 경우 앞선 사용자의 Decoding 결과에 에러가 발생한 경우, 이후에 수행되는 Decoding에 에러가 발생할 확률이 매우 높아진다. 이를 Error propagation이라 부른다. 따라서 앞선 사용자의 Decoding 결과에 에러가 발생하지 않도록 Spreading 하는 자원 수를 사용자마다 달리하는 NOMA 방식이다.
- MUSA[12]: MUSA는 확산코드에 기반을 둔 NOMA 방식이다. 다른 방식과 다르게 Binary spreading code 대신 Complex spreading code를 사용한다. 일반적으로 Binary spreading code를 사용하는 경우 수신 과정에서 처리복잡도 및 지연을 증가시키며, 송신 과정에서도 전송 지연 및 소비전력이 증가한다. Complex spreading code의 사용은 이와 같은 단점을 보완한다.
- RSMA[13]: RSMA는 낮은 부호율의 채널 코드를 사용한다. 이와 함께 서로 다른 사용자를 구

별하기 위해 좋은 상관특성을 갖는 스크램블 코드를 사용한다. 선택적으로 사용자 구분을 위해서 서로 다른 인터리버를 추가로 사용한다.

무선 데이터 전송의 특성상 전송 시 전송 에러가 발생하며, 전송 에러를 줄이려는 방법으로 재전송을 지원한다. 그러나 재전송의 경우 전송 지연이 발생하여, 재전송을 줄이기 위한 방법으로 순방향 에러 정정(FEC)과 재전송이 결합된 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request)를 통해 무선 데이터 전송을 보장할 수 있다. 그러나 HARQ도 전송 에러를 근원적으로 해결할 수 없다. 따라서 시간, 주파수, 공간상에 여러 번의 부호화된 데이터를 전송하는 방식(Diversity)과 데이터 패킷 중복(Packet duplication) 전송 기술을 통해 강건한 무선 데이터 전송을 보장할 수 있다. 예를 들어, 3GPP NR에서는 동일한 PDCP(Packet Data Convergence Protocol) PDU(Protocol Data Unit)를 서로 다른 캐리어 또는 셀 그룹으로 두 번 전송하여 수신 측의 피드백 기반 HARQ나 ARQ 재전송의 도움 없이 패킷 중복 전송 기술을 지원한다[14].

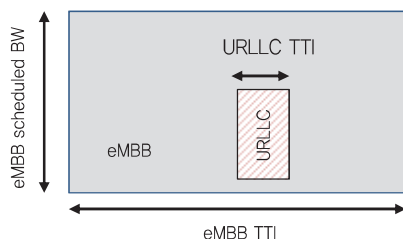
한편, 무선 접속망의 간섭 관리나 용량 증대 등을 통해 평균 전송 시간을 감소할 수 있다. 주요 기술로는 여러 기지국 간 협력을 활용하는 CoMP(Coordinated Multi Point) 기술, 셀 간 간섭 관리 기술, 다중 안테나 전송 기술 등이 있다. 그리고 짧은 주기의 정확한 채널 피드백 정보 전송, 빠른 TCP(Transmission Control Protocol) 응답 전달 등이 가능하여, 더 높은 사용자 평면 전송률과 이에 따른 평균 파일 전송 시간을 감소할 수 있다[15].

2. 지연 감소를 위한 자원관리 기술

3GPP LTE Rel-14는 무선 지연 감소를 위해, 상향 링크 사전 스케줄링을 위한 짧은 SPS 주기, 패딩 데이터 감소기술 등에 대한 규격화를 진행하였다[16]. 해당

기술은 1 TTI 단위의 짧은 시간 간격으로 SPS(Semi-persistent Scheduling) 전송 스케줄링이 가능하게 하여, 상향 링크 데이터가 발생할 경우 별도의 스케줄링 요청(SR: Scheduling Request) 절차 없이 상향 링크 데이터를 전송하도록 할 수 있다. 이때, 상향 링크 데이터가 없는 경우에는 패딩 데이터 전송에 의한 전력 소모, 간섭 증가 등을 막기 위하여 해당 자원에서의 패딩 데이터 전송을 수행하지 않는다.

3GPP NR에서는 대용량의 데이터 전송을 요구하는 eMBB(enhanced Mobile BroadBand) 서비스와 짧은 지연시간을 요구하는 URLLC(Ultra Low Latency Communication) 서비스를 동시에 지원한다. 특히 URLLC의 빠른 전송을 위하여 eMBB 서비스를 위한 OFDM 수치(Numerology)와 URLLC 서비스를 위한 OFDM 수치를 동시에 사용하는 것이 가능하며, (그림 4)와 같이 전송 자원을 동적으로 구성하는 동적 자원 공유 방법을 지원한다. 특히 URLLC 서비스를 위한 데이터 전송을 지원하기 위하여 eMBB 용 트래픽 전송이 진행 중인 자원에서 URLLC 서비스를 받는 단말을 위한 전송이 수행될 수 있는 선점 방식의 스케줄링 방식이 논의 중이다[6]. 그리고 스케줄링 요청(SR), 버퍼상태 보고(BSR: Buffer Status Report) 절차에 따른 상향 링크 전송 지연을 줄이기 위해 LTE와 마찬가지로 SPS를 지원한다. 만약 단말이 전송할 데이터가 없는 경우, 해당 SPS grant를 스킵하여 간섭을 줄일 수 있다. SPS와는 달리, 상향 링크 전송 지연을 줄이기 위해 특정 자원을 여러 단말에 할당하고, 경쟁 기반으로 전송하는

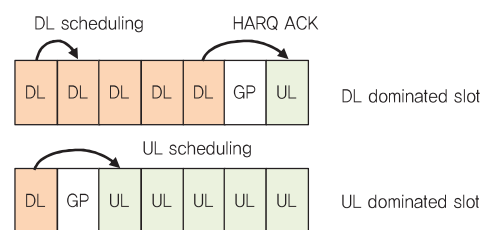


(그림 4) URLLC를 위한 동적 자원 공유의 예[17]

Grant-free 전송 기술이 논의 중이다[18].

한편, FDD(Frequency Division Duplexing)는 상향 및 하향 전송을 위한 주파수 쌍을 필요로 하며, 단말 및 기지의 동작이 단순하고, 셀 커버리지가 큰 장점이 있다. 반면, TDD(Time Division Duplexing)는 주파수 쌍을 요구하지 않아 주파수 자원 활용성이 높으며, 상향 및 하향 링크의 자원을 가변할 수 있으므로 다양한 트래픽을 더 효율적으로 지원할 수 있는 장점이 있다. 그뿐만 아니라 상향 및 하향 링크 전송이 같은 주파수 대역에서 수행됨으로써 채널 상반성 특성을 활용할 수 있으며, 이에 따라 많은 수의 송신 안테나를 활용하는 경우에 장점이 있다[19]. 하지만 TDD는 상향 및 하향 링크 이중화에 따른 추가적인 지연시간이 발생하여 짧은 지연시간을 요구하는 서비스에는 적합하지 않은 특성이 있다. 이에 3GPP LTE Rel-13에서는 TDD에서의 트래픽 상황에 맞게 상향/하향 슬롯 스케줄을 빠르게 재구성할 수 있도록 동적 TDD 기술을 지원한다[20]. 동적 TDD 기술을 적용하게 되면 상향 및 하향 링크 전송을 위한 자원 활용성이 향상되어 평균 지연시간이 감소할 수 있다. 하지만 최소 5ms인 상향 및 하향 링크 스위칭 간격에 의한 최소 지연시간은 여전히 남아있다.

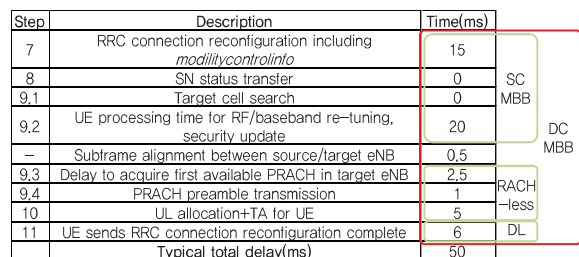
3GPP NR에서는 상향 및 하향 링크 전송을 최소 슬롯 단위의 동적 할당하기 위한 지원이 논의 중이며, 이를 통하여 TDD의 최소 지연시간은 슬롯 길이 수준으로 매우 줄어들게 될 것으로 보인다. 또한, NR에서는 URLLC 응용을 위한 빠른 데이터 전송 및 재전송을 위하여, (그림 5)처럼 하나의 슬롯 내에서 하향 링크 제어



(그림 5) Self-contained TDD 기술의 예[21]

동일대역 양방향(IFD: Inband Full Duplex) 통신 기술은 동일 슬롯에서 양방향 통신을 가능하게 하여 주파수 자원 활용률을 높일 수 있으며, 이중화에 따른 최소 지연시간도 감소시킬 수 있다. 하지만 구현의 복잡도, 소모 전력의 증가 등으로 모든 단말이 IFD 기능을 가지기는 어려우며, 기지국은 양방향 통신, 단말은 단방향 통신을 수행하는 환경이 일반적으로 고려된다. 이러한 환경에서도 셀 내 및 셀 간 간섭의 증가에 의한 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 스케줄링 및 간섭 관리 기술이 필요하다.

(그림 6)은 LTE 핸드오버 동작과 서비스 단절시간 및



핸드오버 동작의 각 step에 소요되는 일반적인 시간(위)과 SC(Single Connection) MBB(Make-Before-Break) HO(HandOver), RACH(Random Access Channel)-less HO, DC(Dual Connection) MBB HO 기술로 줄일 수 있는 서비스 단절시간(아래)을 도기한 것이다[15], [18], [20]. LTE Rel-14에서는 MIT를 줄이기 위해 MBB HO와 RACH-less HO를 지원한다[20]. 단말이 어느 한 시점에 하나의 기지국과 통신이 가능한 SC MBB HO는 단말이 HO Command를 수신하고, 타깃 기지국으로 최초 상향 링크 전송 시간까지 소스 기지국과 연결을 계속 유지하는 기술이다. 그 결과로 HO 서비스 단절 시간 중 $T_{proc} + T_{interrupt}$ 에 해당하는 Step 7부터 Step 9.2에 소요되는 시간인 35ms를 줄일 수 있다. 반면에, RACH-less HO는 타깃 기지국으로의 상향 링크 Timing advance(TA)를 미리 획득할 수 있는 경우, 타깃 기지국으로 랜덤 액세스(RA: Random Access) 절차를 생략하고, HO Complete를 전송하여 핸드오버를 완료할 수 있다. 그 결과로 HO 단절 시간 중 T_{rach} 에 해당하는 Step 9.3부터 Step 10에 소요되는 시간인 8.5ms를 줄일 수 있다.

한편, 이동 중인 단말에 끊김 없는 데이터 전송과 자율주행 차량 등 V2X 통신, 드론 통신, 원격 수술과 같이 고속 이동 환경에서 초저지연 서비스를 제공하기 위해 MIT를 최소한으로 줄여야 한다. 특히 3GPP NR에서는 단말이 기지국을 바꿔 핸드오버 하는 동안 데이터가 끊

기는 시간의 최소 요구사항을 0ms로 정의하고 있다[23].

3GPP NR에서는 LTE와 동일한 핸드오버 절차를 기본 핸드오버 절차로 확정하였다[13]. 또한, MIT를 줄이기 위해 LTE Rel-14 MBB HO와 RACH-less HO를 적용하기로 하였다. 그러나 RACH-less HO는 타깃 기지국의 TA가 0 이거나, 소스 기지국과 동일한 경우에만 적용 가능하다. 또한, 멀티빔 환경에서 RA 동작으로 최적빔을 선택할 수 있으므로 RA 동작을 생략하는 것이 바람직하지 않을 수도 있다. 그래서 NR에서는 MBB HO를 주요한 저지연 핸드오버 기술로 고려하고 있고, 최대 0ms MIT 요구사항을 만족시키기 위해, 단말이 어느 한 시점에 두 기지국과 동시에 통신이 가능한 DC MBB HO 기술이 논의되고 있다. DC MBB HO는 단말이 HO Command를 수신하고, 타깃 기지국으로부터 하향 링크 데이터를 수신한 이후 일정 시간까지 소스 기지국과 연결을 계속 유지한다.

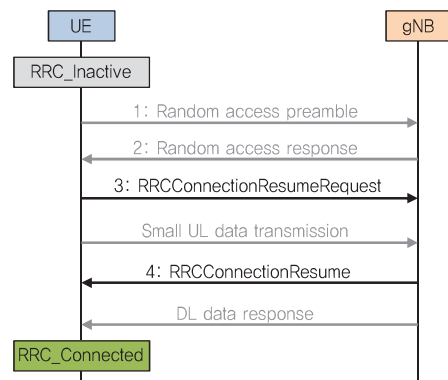
MBB HO에서는 어떤 시점에 소스 기지국이 단말로 데이터 전송을 중단하고, 타깃 기지국으로 해당 데이터를 포워딩하는지, 그리고, 어떤 시점에 타깃 기지국이 단말로 데이터 전송을 시작하는지가 MIT에 큰 영향을 미친다. 그리고 RACH-less HO에서는 타깃 기지국의 단말로 상향 링크 grant 전송 시점이 MIT에 큰 영향을 미친다. LTE Rel-14에서는 소스 기지국과 타깃 기지국이 단말의 핸드오버 시점을 유추하는 것으로 표준화가 진행되었다. 그러나 소스 기지국이나 타깃 기지국은 정확한 단말의 핸드오버 시점을 알 수 없기 때문에 부정확한 예측은 MIT를 더 증가시키는 문제가 있다.

3GPP NR에서는 핸드오버 실패 확률을 줄이기 위해 conditional HO 기술이 표준화 논의되고 있다. Conditional HO는 소스 기지국이 타깃 기지국을 미리 준비시키고, 단말이 HO Command를 수신한 이후 바로 핸드오버를 수행하지 않고 타깃 기지국의 신호 세기가 일정 조건을 만족하면, 단말이 해당 타깃 기지국으로 핸드오버를 실행한다. 핸드오버 실패 문제는 주로 소스 기

지국과 채널 상태가 좋지 않을 때 HO Command가 전송되기 때문에 채널 상태가 좋을 때 HO Command를 미리 전송하여 핸드오버 실패 확률을 줄일 수 있다. Conditional HO에서는 핸드오버 실행 시점을 단말이 결정하기 때문에 소스 기지국이나 타깃 기지국이 정확한 단말의 핸드오버 시점을 유추하기가 더 어려울 수 있다. 따라서 단말과 소스 기지국, 타깃 기지국이 판단하는 단말의 핸드오버 시점을 동일하게 하는 핸드오버 타이밍 동기화가 요구된다.

3GPP NR에서는 단말의 배터리 수명 요구사항을 만족시키기 위하여 저지연 무선 접속 기술을 도입하였다[14]. 저지연 무선 접속 기술에서 단말은 RRC_Connected 상태에서 배터리 소모를 줄이기 위해 RRC_Inactive 상태로 천이할 수 있다. RRC_Inactive 상태에서 단말은 RRC_Idle 상태와 유사하게 배터리 소모를 줄이고, 송수신할 데이터가 있는 경우 빠르게 데이터를 송수신할 수 있고 필요에 따라 RRC_Connected 상태로 빠르게 천이할 수 있다. 단말이 RRC_Inactive 상태에서 빠르게 데이터를 송수신하고 필요에 따라 RRC_Connected 상태로 빠르게 천이할 수 있도록 단말과 기지국에서는 RRC_Idle 상태와 다르게 단말의 AS 컨텍스트 정보를 유지한다.

(그림 7)은 RRC_Inactive 상태에서 상향 링크 데이터 전송의 한 예를 도시한 것이다. LTE 시스템에서는 단말



(그림 7) RRC_Inactive 상태에서 상향 링크 데이터 전송

이 전송할 상향 링크 데이터가 있는 경우, RRC_Idle 상태에서 RRC_Connected 상태로 천이한 후, 상향 링크 데이터를 전송할 수 있었다. RRC_Connected 상태로 천이하는데 수십 ms 정도 지연이 발생된다. RRC_Inactive 상태에서 단말이 전송할 상향 링크 데이터가 있는 경우, *RRCConnectionResumeRequest* 메시지를 전송하면서 상향 링크 데이터를 전송할 수 있다. 따라서, 상향 링크 데이터를 전송하는데 걸리는 지연을 상당히 줄일 수 있다. 또한, grant-free 전송 기술을 활용하는 경우, 지연을 더욱 줄일 수 있다.

V. 맺음말

본고에서는 무선 접속망을 통한 초저지연 서비스 제공, 특히 짧은 전송 지연 제공을 위한 무선 전송/접속 기술에 대해 살펴보았다.

용어해설

초저지연 서비스 통신 주체 간 높은 전송속도 및 전송효율과 더불어 밀집된 환경에서 극단적으로 짧은 전송 지연과 강건한 데이터 전송과 이를 제어하기 위한 엄격한 시간 지연이 요구되는 서비스.

NOMA 하나의 직교자원(예, 주파수, 시간, 직교 코드 등)에 하나의 사용자가 할당되는 전통적인 다중 접속과 달리 하나의 직교자원을 다수의 사용자가 공유하는 다중 접속 기술.

Grant-free 전송 단말로부터 기지국으로 데이터 전송을 위한 상향 자원할당 절차를 생략하고 단말이 상향 데이터를 전송하는 기술.

Make-Before-Break HO 단말의 핸드오버 시 타깃 기지국으로부터 하향 링크 데이터를 수신한 이후 일정 시간까지 소스 기지국과 연결을 계속 유지하는 핸드오버 기술.

RACH-less HO 단말의 핸드오버 과정 중 타깃 기지국으로의 랜덤 액세스를 통해 획득하는 상향 링크 timing advance (TA)를 미리 획득하여, 타깃 기지국으로 랜덤 액세스 절차를 생략하는 핸드오버 기술.

약어 정리

3GPP	Third Generation Partnership Project
5G	5 th Generation
ACK	ACKnowledgment
ARQ	Automatic Repeat reQuest

AS	Access Stratum
BSR	Buffer Status Report
CoMP	Coordinated Multi Point
DC	Dual Connection
eMBB	enhanced Mobile BroadBand
FDD	Frequency Division Duplexing
HARQ	Hybrid Automatic Repeat request
HO	HandOver
IFD	Inband Full Duplex
LDS-CDMA	Low Density Signature CDMA
LTE	Long Term Evolution
MBB	Make-Before-Break
MIT	Mobility Interruption Time
mMTC	Massive Machine Type Communications
MUSA	Multi-User Shared Access
NACK	Negative ACK
NCMA	Non-orthogonal Coded Multiple Access
NOMA	Non-orthogonal Multiple Access
NR	New Radio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OMA	Orthogonal Multiple Access
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol
PDMA	Pattern Division Multiple Access
PDU	Protocol Data Unit
RA	Random Access
RACH	Random Access CHannel
RF	Radio Frequency
RRC	Radio Resource Control
RSMA	Resource Spread Multiple Access
SC	Single Connection
SCMA	Space Code Multiple Access
SDN	Software Defined Networking
SIC	Successive Interference Cancellation
SPS	Semi-persistent Scheduling
SR	Scheduling Request
TA	Timing Advance
TDD	Time Division Duplexing
TCP	Transmission Control Protocol
TTI	Transmission Time Interval
URLLC	Ultra Low Latency Communication
V2X	Vehicle-to-Everything

참고문헌

- [1] M. Simsek et al., "5G-Enabled Tactile Internet," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, no. 3, Feb. 2016, pp. 460–473.
- [2] ETRI, *5G Vision and Enabling Technologies*, Feb. 2016.
- [3] 임양미, "가상현실 콘텐츠 및 기술 동향," 한국통신학회지(정보와 통신), 제33권 제12호, 2016, pp. 49–55.
- [4] 이재관, "자율주행 자동차 개발현황 및 시사점," 전자공학회지, 제41권 제1호, 2014, pp. 22–29.
- [5] B. Holfeld et al., "Wireless Communication for Factory Automation: an Opportunity for LTE and 5G Systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 6, June 2016, pp. 36–43.
- [6] 3GPP TR38.802, *Study on New Radio(NR) Access Technology; Physical Layer Aspects(Release 14)*, 2017.
- [7] 3GPP R1-1608852, *Categorization and Analysis of MA Schemes*, Huawei and HiSilicon, Oct. 2016.
- [8] R. Hoshyar et al., "Novel Low-Density Signature for Synchronous CDMA Systems Over AWGN Channel," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 56, no. 4, Apr. 2008, pp. 1616–1626.
- [9] K. Au et al., "Uplink Contention Based SCMA for 5G Radio Access," *IEEE Globecom Workshops*, Austin, TX, USA, Dec. 8–12, 2014, pp. 900–905.
- [10] 3GPP R1-162517, *Considerations on DL/UL Multiple Access for NR*, LG Electronics, Apr. 2016.
- [11] 3GPP R1-162306, *Candidate Solution for New Multiple Access*, CATT, 3GPP RAN1 #84bis, Apr. 2016.
- [12] Z. Yuan et al., "Multi-user Shared Access for Internet of Things," *Veh. Technol. Conf.(VTC Spring)*, Nanjing, China, May 15–18, 2016, pp. 1–5.
- [13] 3GPP R1-163510, *Candidate NR Multiple Access Schemes*, Qualcomm Incorporated, Apr. 2016.
- [14] 3GPP TS38.300, *NR: NR and NG-RAN Overall Description; Overall Description; Stage 2(Release 15)*, 2017.
- [15] 3GPP TR36.881, *Study on Latency Reduction Techniques for LTE(Release 14)*, 2016.
- [16] 3GPP RP-160667, *Work Item on L2 Latency Reduction Techniques for LTE*, Ericsson, 3GPP RAN#71, Mar. 2016.
- [17] 3GPP R1-1609050, *Numerology for URLLC*, Samsung, #86bis, Oct. 2016.
- [18] 3GPP TR38.804, *Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects(Release 14)*, 2017.
- [19] F. Boccardi et al., "Five Disruptive Technology Directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, 2014, pp. 74–80.
- [20] 3GPP TS36.300, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Overall description; State 2(Release 14)*, 2016.
- [21] 3GPP R1-166104, *Discussion on Time Domain Structures*, Huawei and HiSilicon, #86, Aug. 2016.
- [22] 예충일 외, "5G 이동통신 표준화 현황", 전자통신동향분석, 제31권 제5호, 2016, pp. 80–89.
- [23] 3GPP TR38.913, *Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies(Release 14)*, 2017.