

기지국-단말 종단간 초저지연을 위한 전이중 통신 기반 무허가 다중접속

김종현, 이상화, 김동구, 김광순
연세대학교 전기전자공학과

{jonghyun.kim, rheeleo, dkkim, ks.kim}@yonsei.ac.kr

Grant-Free Multiple Access based on Full-Duplex Communication for End-to-End Ultra-Low Latency

Jonghyun Kim, Sanghwa Lee, Dong Ku Kim, and Kwang Soon Kim
School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

요약

본 논문에서는 기지국-단말 종단간 초저지연성을 달성하기 위한 전이중 통신 기반의 무허가 다중접속 기술을 제안한다. 상향링크와 하향링크 지연시간을 포함하는 종단간 지연시간을 최소화하기 위해 전이중 통신을 활용하고, 상향링크에 동시 할당된 자원에 상향링크 무허가 다중접속을 구성함으로써 종단간 초저지연성을 효율적으로 달성할 수 있음을 보였다.

I. 서론

촉각인터넷(Tactile Internet)이나 저지연 중심 사물인터넷(latency-critical Internet of Things) 및 5세대 이동통신에서의 고신뢰 저지연 통신(ultra-reliable low-latency communications)과 같이 초저지연성을 중심으로 하는 서비스 시나리오들에 대해 많은 연구가 진행되고 있다 [1]-[3]. 예를 들어, 자율주행 자동차, 원격 진료 및 수술, 대규모 협력적 게임, 미래 공장에서의 무결점 공정 자동화 등 앞으로 새로운 산업적 가치를 창출할 수 있을 것으로 기대되는 인터넷 서비스들이 이러한 시나리오로부터 개발될 것으로 예상됨에 따라 [4], 많은 연구기관 및 산업체에서 관련 연구를 활발히 진행하고 있으며, 관련 표준화 또한 최근 추진되고 있다 [1]. 이러한 서비스들이 요구하는 종단간 지연시간 조건을 만족시키기 위해서는 전체 네트워크를 구성하는 다양한 계층에서 지연시간을 감소시키기 위한 혁신이 필요하다. 특히, 무선으로 초저지연 서비스들이 동작하기 위해서는 무선 접속 네트워크(radio access network)에서 단말과 기지국 간의 무선 접속 지연시간을 최소화하기 위한 기술 개발이 함께 이루어져야 한다.

무선 접속 구간은 기지국과 단말 간의 전송 방향에 따라서, 단말이 기지국으로 정보를 송신하는 상향링크와 기지국이 단말로 정보를 전송하는 하향링크로 나뉜다. 일반적인 경우에 초저지연성을 요구하는 서비스들은 단말로부터 감지된 이벤트 또는 입력 신호를 중앙 서버로 전송하고 그로부터 피드백을 받아 적절한 대응 동작을 수행하는 제어 루프를 가지고 있다. 따라서 종단간 지연시간은 상향링크 랜덤 액세스로 전송한 정보에 대한 피드백을 하향링크를 통하여 전송 완료하기까지의 시간으로 정의되며, 지연시간의 발생 특성은 상향링크와 하향링크의 듀플렉스 구조에 의하여

달라진다. 듀플렉스 구조는 현재 상용시스템에서는 시분할 듀플렉스(time division duplex, TDD)와 주파수분할 듀플렉스(frequency division duplex, FDD)의 두 가지가 동작하고 있으나, 전이중(full-duplex, FD) 통신 시스템에 대한 이론 연구 및 하드웨어 SDR (software defined radio) 개발이 고도화됨에 따라 5세대 무선 네트워크부터는 전이중 통신 또한 지원될 것으로 예상되고 있다 [5].

본 논문에서는 기지국-단말 종단간 초저지연을 제공하기 위한 전이중 통신 기반의 무허가 다중접속을 제안한다. 전이중 통신을 활용함으로써 상향링크의 프레임 정렬로 인한 누적적 지연을 방지할 수 있으며, 상향링크에 동시에 자원이 할당되므로 상향링크를 무허가 다중접속으로 구성하는 것이 가능하기 때문에, 제안하는 방식을 통하여 종단간 초저지연성을 효율적으로 달성할 수 있음을 보이고, 시뮬레이션을 통하여 수치적 성능 향상을 보였다.

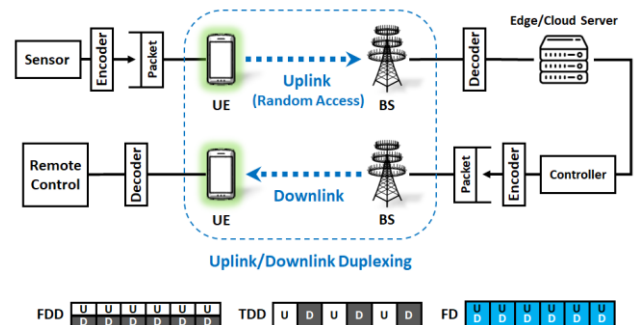


그림 1. 기지국 단말 종단간 패킷 전송 및 상향링크 듀플렉스 모형

II. 본론

단말에서 센서로부터 데이터 패킷이 발생하여 상향링크 랜덤 액세스를 통한 전송이 이루어지고, 에지/클라우드 서버를 통한 컴퓨팅 및 컨트롤러를 통한 데이터 패킷이 하향링크를 통해 전송되어 단말을 통한 원격제어가 이루어지는, 기지국-단말 종단간 패킷 전송구조를 그림 1 과 같이 나타낼 수 있다.

상향링크를 TDD 방식으로 사용하는 경우 상향링크 랜덤 액세스로 전송된 정보 수신 후에 정보처리를 위한 지연시간이 추가로 소요되기 때문에 상향링크 수신 프레임 바로 직후의 하향링크 프레임에 데이터를 전송하지 못하고, 수신 정보처리가 완료된 시점 이후의 하향링크 프레임에 데이터 전송이 가능하므로 프레임 정렬에 의한 종단간 지연시간이 크게 누적된다. FDD 방식에서는 상향링크 프레임과 하향링크 프레임이 다른 주파수에 존재하므로 상향링크 프레임 수신 및 정보처리 완료 후 다른 주파수 자원에 있는 하향링크 프레임에 정보를 바로 보낼 수 있기 때문에 종단간 지연시간 관점에서는 이러한 지연이 없으나, FDD 방식에서는 상향링크 채널과 하향링크 채널이 다른 주파수에 형성되므로, 상향링크와 하향링크 사이의 채널 상호성(channel reciprocity)을 활용하지 못하기 때문에 각각의 채널을 모두 추정하기 위한 레퍼런스 신호 등 오버헤드가 배로 발생하게 된다. 전이중 통신에서는 TDD 와 같이 채널 상호성을 활용할 수 있음과 동시에, FDD 와 같이 상향링크 데이터 수신 및 정보처리 이후에 바로 하향링크 데이터 전송이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 전이중 통신을 사용하기 위해서는 단말과 기지국에서 각각 자가 간섭제거(self-interference cancellation)를 수행하여야 하고 상향링크와 하향링크 사용자 사이의 간섭 또한 발생하므로 이를 처리하기 위하여 [6]과 같이 상향링크 사용자와 하향링크 사용자가 코드 분할(code division)하여 서로 간의 간섭을 제어하는 간섭 정렬 기법을 적용하여야 한다.

많은 수의 안테나를 사용하는 기지국에서 다수의 사용자에게 전이중 통신을 위한 통신자원을 할당할 때에는 상향링크와 하향링크에 시간-주파수 자원이 동시에 할당되고 각 자원 블록(resource block)에서는 다수의 안테나를 이용하는 공간분할 다중접속을 활용할 수 있다. 이 때 다수 사용자에게 자원할당을 동적으로 짧은 주기에 따라 매번 갱신하는 것은 제어 신호 교환에 있어 큰 오버헤드를 초래하게 되므로, 서비스에서 필요로 하는 만큼을 예측하여 통신자원을 초기에 할당하고 반지속적으로 유지시키는 것이 효율적이다. 그래서 상향링크에서는 랜덤한 패킷 발생에 의한 랜덤 액세스를 수행하더라도 이미 하향링크와 함께 자원이 할당되어 있으므로 기존 무선 네트워크에서 수행하는 스케줄링 요청 (scheduling request) 및 스케줄링 허가(scheduling grant)의 전송 절차가 필수적이지 않다. 따라서 [7]과 같은 무허가 다중접속(grant-free multiple access)을 구성함으로써 랜덤 액세스 수행단계를 간략화하여 주파수 효율성을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서 제안하는 전이중 통신 기반 무허가 다중접속(code division duplex grant-free multiple access)과 기존 LTE 의 TDD 기반 요청-허가 랜덤 액세스를 종단간 지연시간과 주파수 효율성 성능 관점에서 비교 시뮬레이션하여 그림 2 와 그림 3 과 같은 성능 결과를 얻었다. 앞선 논의와 같이 전이중 통신과 무허가 다중접속을 결합하여 활용함으로써 기지국-단말 종단간 지연시간을 0.5 ms 이내로 보장하면서도 더 높은 주파수 효율성을 가질 수 있음을 확인하였다.

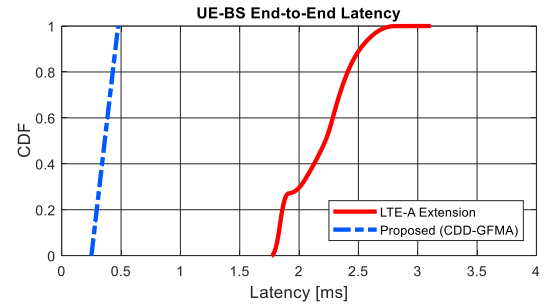


그림 2. 종단간 지연시간 분포

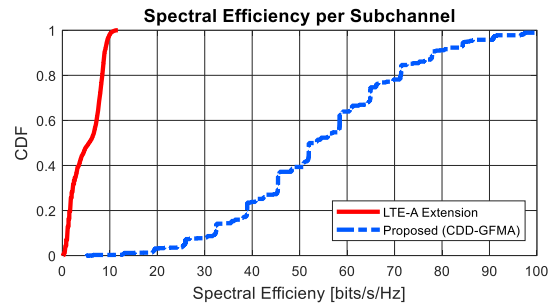


그림 3. 자원 블록 당 주파수 효율성

III. 결론

본 논문에서는 종단간 초저지연성을 달성하기 위한 전이중 통신 기반의 무허가 다중접속을 기지국-단말 종단간의 패킷 전송 구조 및 듀플렉스 모형에 착안하여 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 성능 향상을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2019R1A2C2007982)

참고 문헌

- [1] O. Holland, et al., "The IEEE 1918.1 "Tactile Internet" standards working group and its standards," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 2, pp. 256- 279, Feb. 2019.
- [2] P. Schulz, et al., "Latency critical IoT applications in 5G: Perspective on the design of radio interface and network architecture," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 70- 78, Feb. 2017.
- [3] Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond, Rec. M.2083, ITU-R, Sept. 2015.
- [4] M. Maternia, et al., 5G-PPP Use Cases and Performance Evaluation Modeling, 5G-PPP, Apr. 2016.
- [5] M. Chung, et al., "Prototyping real-time full duplex radios," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 56- 63, Sept. 2015.
- [6] 이상화, 김태우, 김동구, "Massive MIMO 환경에서 코드 분할 이중화 기반 공간 분할 다중 접속 기술 성능 검증," *제 28 회 통신정보 합동학술대회*, 2018 년 5 월.
- [7] 김종현, 이광훈, 류경린, 김광순, "고신뢰 저지연 통신을 위한 무허가 다중접속 기술," *제 27 회 통신정보 합동학술대회*, 2017 년 4 월.