

차세대 초저지연/고효율 이동통신 기술 연구 동향

최경준, 이진녕, 김종현, 김광순

연세대학교

{kyungjun.choi,jnlee,jhkim,ks.kim}@yonsei.ac.kr

A Study on Ultra-Low Latency/High Efficiency Cellular Systems

Kyung Jun Choi, Jinnyung Lee, Jong Hyun Kim, Kwang Soon Kim

Yonsei Univ.

요약

최근 화두로 떠오른 사물인터넷 서비스는 초저지연/고효율 통신 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 사물인터넷 서비스를 통신 시스템 요구 조건에 따라 분류하고, 차세대 초저지연/고효율을 위한 이동통신 시스템의 최신 기술 개발 동향에 대하여 조사한다. 최신 기술을 PHY단의 웨이브폼 기술, MAC 단의 다중 접속 기술로 나누어 각 기술 별 장·단점을 서술하고, 앞으로 필요한 기술에 대하여 제시한다.

I. 서론

최근 가트너, 딜로이트, 삼성 SDS 등 국내의 기관들은 정보통신 기술이 사용자의 삶 속에 깊숙이 들어와서 정보를 습득하고 이용할 수 있도록 만들어 주는 '초연결사회'가 도래할 것이라고 전망하였고, 이를 실현하기 위하여 사물인터넷(Internet of things, IoT) 서비스의 개발이 중요하다고 발표하였다.[1] 사물인터넷이란 인간의 명시적 개입 없이 사물이 상호 협력적으로 센싱, 네트워킹, 정보처리 등 지능적 관계를 형성하는 새로운 미래 서비스를 의미한다. 이러한 IoT 서비스는 가전, 헬스케어, 홈케어, 자동차, 교통, 건설, 농업, 환경, 엔터테인먼트, 에너지, 식품 등 같은 다양한 산업과의 융·복합으로 확대되고 있으며, 이를 통하여 인간의 교육, 안전, 복지 등에 대한 미래 서비스를 제공하는데 필수적 역할을 할 것으로 기대될 뿐만 아니라 매년 30% 성장하여 2022년에 23조원에 이르는 시장을 형성할 것이라고 전망된다.

사물인터넷의 등장으로 인하여 통신시스템의 변화가 필요해지고 있다. 4세대 이동통신 시스템까지는 사람이 직접적으로 사용하는 장치에게 높은 품질의 서비스를 제공해주는 것이 목표이었으나, 사물인터넷 서비스를 지원해야 하는 5세대 이동통신 서비스에는 기존의 서비스에 자율적으로 형성된 사물 네트워크에도 사물인터넷 서비스를 제공해 주어야 한다. 사물인터넷 서비스는 통신 요구 조건에 따라 Massive IoT와 Critical IoT로 분류할 수 있다. Massive IoT는 낮은 데이터 용량 등 낮은 통신 요구조건을 가진 다수의 사물들이 연결되는 네트워크를 필요로 하며 낮은 비용과 낮은 에너지로 서비스를 다수의 사물들에게 제공하는 것이 중요하다. 예를 들어, 스마트 미터, 위치 기반 수화물, 지능형 가로등 등이 Massive IoT에 속할 수 있다. Critical IoT는 Massive IoT와 달리 높은 데이터 용량, 높은 정확도, 매우 낮은 지연 등의 통신 요구조건을 가진 사물들 간의 네트워크가 필요한 서비스이다. 예를 들어, 촉각 통신, 스마트 카, 가상 현실, 공장 자동화 등이 Critical IoT의 대표적인 예이다.

Massive IoT와 Critical IoT의 통신 요구 조건을 만족하기 위해서 새로운

통신 시스템 연구 및 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 최근에 연구 중인 IoT관련 통신 시스템 기술에 대하여 정리하고, 앞으로의 연구 방향에 대하여 제시한다.

II. Massive/Critical IoT 통신 요구 조건

Massive IoT와 Critical IoT의 통신 요구 조건은 latency, throughput, reliability, connectivity에 따라 표 1에 정리되어 있다. Massive IoT의 특징은 매우 많은 다수의 사물들이 동시에 연결되어 있는 것이고, 이를 위하여 다수의 사물들이 동시에 연결할 수 있는 통신 시스템이 필요하다. 대신, Massive IoT는 개별 사물들의 통신 요구 사항이 낮은 것을 특징으로 한다. Critical IoT는 매우 높은 지연 요구 사항과 높은 데이터 전송 용량, 매우 정확한 통신을 요구하는 사물들로 이루어져 있다. 이러한 Critical IoT의 통신 요구 조건을 만족하기 위해서는 현재의 이동통신 시스템과 비교하여 10배 이상의 주파수 효율과 0.5ms 이하의 무선구간 지연을 제공하는 초저지연/고효율 이동통신 시스템이 필요하다.

	Massive IoT	Critical IoT
Latency	Insensitive	Ultra-low latency (less than 0.5ms)
Throughput	Low (Textmessage)	High (Videostreaming)
Reliability	Not too high (retransmission)	Ultra-reliability (higher than 99.9999% without retransmission)
Connectivity	Massive devices	Many devices

표 1. 통신 요구조건에 따른 사물인터넷 서비스 구분

III. 초저지연/고효율 이동통신기술 연구 동향

A. PHY 기술

PHY단에서 발생하는 지연은 송신 모뎀에서 수신 모뎀까지 발생하는 지연시간으로 정의한다. 여기서 발생하는 지연은 시스템에서 사용하는 전송 웨이브폼에 따라 결정된다.[1]

4세대 이동통신 시스템은 orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 방식의 웨이브폼을 사용한다. 이러한 OFDM 방식은 낮은 복잡도의 송수신기 설계 및 flexible 자원 관리관점에서 우수하다. 하지만, 1) 긴 심볼 주기로 인하여 초저지연 요구조건을 만족하지 못하며, 2)cyclic prefix로 인하여 고효율 요구조건을 만족하지 못한다. 이를 극복하기 위하여 새로운 웨이브폼 기술이 연구되고 있다. 대표적으로 독일의 드레스덴 대학의 Gerhard P. Fettweis 교수가 제안한 Generalized frequency division multiplexing (GFDM)은 부반송파의 대역폭을 늘려 심볼 주기를 줄일 수 있다.[2] 하지만, 늘어난 부반송파의 대역폭으로 인하여 무선 채널의 주파수 선택성으로 인한 심볼간 간섭(inter-symbol interference), 반송파간 간섭(inter-carrier interference)이 발생하고, 수신기에서 매우 복잡한 등화기를 사용하여야 한다. 따라서 GFDM방식은 수신기에서 높은 연산 지연이 발생하므로 여전히 초저지연에 적합하지 않다. 또한 낮은 복잡도의 수신기를 사용할 경우, OFDM 대비 50%~70% 정도의 낮은 전송용량을 가지므로 고효율 요구조건을 달성하지 못한다. 이외에 5GNOW가 연구중인 filter-bank multi-carrier (FBMC)와 Bell-Lab이 제안한 Unified frequency multi-carrier (UFMC)등의 웨이브폼 기술도 활발히 연구되고 있으나, 여전히 GFDM과 같은 문제점을 가지고 있다. [3]

B. MAC 기술

MAC 단에서 발생하는 지연은 무선 접속에 따른 지연, 재전송 프로토콜에 의한 지연이 대표적이다. [1]

4 세대 이동통신 시스템은 하나의 자원을 한 사용자에게 할당하는 orthogonal multiple access (OMA)을 사용하였다. 이 방식은 1) 정보이론적으로 최적이지 않고, 2) 자원의 수에 따라 동시에 지원 가능한 사용자의 수가 결정되므로 초저지연/고효율을 달성하기 어렵다. 따라서, 새롭게 연구되는 무선 접속 방식은 정보이론적으로 최적인 하나의 자원으로 다수의 사용자에게 전송하는 방식은 non-orthogonal multiple access(NOMA)이다. 대표적으로, 일본의 NTT DoCoMo에서는 NOMA를 사용하였을 때, 상/하향링크의 시스템레벨 성능이 OMA대비 40%이상 증가하는 것을 보였다. 하지만, 한 자원에 여러 사용자의 신호가 섞여 있으므로 이를 복호하기 위해서 높은 복잡도가 필요하다. 이 문제점을 해결하기 위하여 중국의 Huawei는 NOMA와 채널 코드를 함께 고려한 sparse code multiple access(SCMA)를 제안하였다. 이 방식은 데이터를 다중 차원 채널 코드 워드에 분산하는 방식으로 전송한다. 이 방식은 데이터가 분산되어 있으므로, 낮은 복잡도의 수신기를 사용할 수 있다. 하지만 NOMA 및 SCMA 방식은 셀당 전송 용량을 비약적으로 높일 수 있으나, 사용자 간의 간섭으로 사용자 당 높은 전송 용량을 제공하기 어렵다.

재전송 프로토콜로 인한 지연을 줄이기 위해서는 transmission time interval (TTI)을 0.5ms 이하로 줄이고, H-ARQ 없이 동작하는 시스템을 만들어야 한다. TTI를 줄이기 위하여 OFDM 시스템에서 상황에 따라 cyclic prefix를 전송하지 않는 방식의 프레임 구조가 제안되었고, ETRI에서는 상황에 따라 다양한 TTI를 혼합하여 사용하는 multiple TTI 시스템에 대한 연구를 진행 중이다. 또, H-ARQ없이 매우 높은 시스템 reliability를 제공하는 시스템에 관한 기술도 활발히 연구되고 있다. [2]

	기술명	장점	단점
PHY 기술	GFDM, FBMC, UFMC	· 짧은 심볼 주기로 인한 low-latency	· 채널 등화를 위한 매우 복잡한 송수신기 구조 · 저복잡도 수신기 사용시 낮은 전송용량
MAC 기술	NOMA, SCMA	· 다수의 사용자 동시전송 가능 · 높은 셀당 전송용량	· 비직교 신호 검파를 위한 복잡한 수신기, · 낮은 사용자 당 전송 용량

IV. 결론

본 논문에서는 사물인터넷을 통신 요구 조건에 따라 Massive IoT와 Critical IoT로 나누고 각각의 특징에 대하여 살펴보았다. IoT 서비스를 제공하기 위하여 기존 통신 시스템과 비교하여 10배 이상의 주파수 효율과 0.5ms 이하의 무선구간 지연을 제공하는 초저지연/고효율 통신 시스템이 필요하고, 이를 달성하기 위한 기술로 PHY기술로 웨이브폼 기술, MAC 기술로 다중 접속 기술 및 프로토콜 기술의 연구 동향에 대하여 정리하였다.

대표적으로 PHY단 기술로 GFDM, MAC기술로 NOMA는 새롭게 떠오르고 있는 기술이나 여전히 Massive IoT와 Critical IoT 서비스를 제공하기 위한 요구조건을 충족시키지 못 하는 것으로 나타났다. 따라서 앞으로 사물인터넷 서비스를 제공하기 위한 PHY/MAC 기술에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by ICT R&D program of MSIP/IITP. [B0126-15-1012, Multiple Access Technique with Ultra-Low Latency and High Efficiency for Tactile Internet Services in IoT Environments]

참 고 문 헌

- [1] 사물인터넷 동향과 전망, 인터넷정보학회지 제14권 제2호, 2013.6, pp. 32-46.
- [2] J. F. Monserrat, G. Mange, V. Braun, H. Tullberg, G. Zimmermann, Ö. Bulakci "METIS research advances towards the 5G mobile and wireless system definition," EURASIP J. Wireless Communications and Networking, 2015.
- [3] N. Michailow, M. Matthe, I. S. Gaspar, A. N. Caldeilla, L. L. Mendes, A. Festag, and G. Fettweis, "Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks," IEEE Trans. Commun., vol. 62, no. 9, pp. 3045-3061, Sep. 2014.
- [4] Frank Schaich, and Thorsten Wild, "Waveform contenders for 5G - OFDM vs. FBMC vs. UFMC", ISCCSP 2014. pp. 457-460.
- [5] A. Benjebbour, A. Li, Y. Kishiyama, H. Jiang, and T. Nakamura, "System-level performance of downlink NOMA combined with SU-MIMO for future LTE enhancements," Globecom workshop 2014. pp. 706-710.
- [6] H. Nikopour, E. Yi, A. Bayesteh, K. Au, M. Hawryluck, H. Baligh, and J. Ma, "SCMA for downlink multiple access of 5G wireless networks," Globecom 2014, pp. 3940-3945.