

초정밀·초절전 관점에서의 3GPP 표준 기술

김용선, 장갑석, 조원철, 고영조
 미래이동통신연구본부, 통신미디어연구소, 한국전자통신연구원
 {door i,kschang,woncheol,koyj}@etri.re.kr

A Study on Ultra-Precision and Ultra-Low Power 3GPP Standard Technologies

Yongsun Kim, Kapseok Chang, Woncheol Cho, and Young-Jo Ko
 Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문에서는 6G의 주요 서비스인 초정밀·초절전 서비스와 연관된 3GPP 표준 기술을 소개한다. 대표적인 6G 초정밀 서비스로는 디지털트윈, XR, 메타버스, 자율주행, 스마트 시티 등이 있다. ISAC(Integrated Sensing and Communication)은 통합 감지 및 통신을 위한 채널 모델링을 연구 중이며, Ambient IoT는 배터리 없이 에너지를 수확하여 구동되는 장치를 목표로 하며, 커버리지 목표는 실내 장치와 최대 거리 10-50m 이다. RTT(Round Trip Time) 기반 표준 동기 기술은 기지국과 사용자 단말 간의 전파지연을 추정하여 동기화를 개선한다. 모바일 TSN(Time Sensitive Network)은 유선 TSN을 무선 네트워크로 확장하여, 공장 자동화와 같은 시간에 민감한 서비스에도 성능을 만족시킬 수 있다.

1. 서론

국제 표준화 기구인 ITU-T SG13에서는 6G 서비스로 고정밀 서비스를 제안하였으며, NET2030 포커스 그룹을 통해 6G의 새로운 네트워크 프로토콜 및 구조에 대한 연구를 개시했다[1]. 또한, 2023년 6월 ITU-R WP5D#44 회의에서 승인된 IMT(International Mobile Telecommunication)-2032에서는 ISAC(Integrated Sensing and Communication)이 새로운 사용 시나리오로 정의되면서 센싱과 통신의 융합을 통한 초정밀·초절전 서비스의 중요성이 높아지고 있다[2]. 이러한 6G 초정밀·초절전 서비스로는 디지털트윈, XR(extended Reality), 메타버스, 자율주행 및 비행, 협업 로봇, 공장자동화, 스마트 시티/홈/팩토리, 제로 에너지 IoT 등이 있다. 특히 공장 자동화는 이동성과 확장성을 위해 점차 무선화되고 있으며, 유선 수준의 순차적이고 동시적인 운영을 달성하기 위해서는 무선 환경에서의 초정밀 동기화가 필수적이다. 이때 기지국의 전송 요청과 장치의 응답으로 이루어진 신호 교환 통신 절차에서 장치 간 허용 시간 동기 오차는 $\pm 0.5 \mu s$ 이다[3]. 본 논문에서는 6G의 초정밀·초절전 서비스를 위한 표준화에 대해 3GPP 표준 기구 관점에서 다루고자 한다. 단, 현재의 표준화는 6G가 아닌 5G에 해당하는 것으로 향후 6G로의 진화를 어느정도 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 ISAC, Ambient IoT(Internet of Things), RTT(Round Trip Time) 기반 동기 표준기술 및 모바일 TSN(Time Sensitive Network) 표준 동향에 대해 소개하고자 한다.



(a) Isochronous Industrial Control, (b) Sensor fusion, (c) Extended Reality
 그림 1. 6G 초정밀 응용 예시

3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 5G 서비스 목록에 무선 센싱 서비스 포함하였고(TR 22.261), 5G 기반 센싱에 대해 객체 탐지 및 트래킹, 환경 감지, 모션 감지의 세 가지 서비스 카테고리 및 요구사항을 정의하였다(TR 22.137). 또한, 5G 기반 센싱 사용 사례 32개 시나리오 및 요구사항을 정의한 바 있다(TR 22.837). ISAC은 2023년 12월 RAN(Radio Access Network) #102 회의에서 통합 감지 및 통신(ISAC)을 위한 채널 모델링을 스터디 아이টে็ม으로 합의하였고, 이 스터디 아이টে็ม은 객체 감지 및 추적을 지원하기 위한 채널 모델링을 정의하는 것을 목표로 한다. 주요 대상은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle), 실내의 인간, 자동차, 실내 공장 자동 유도 차량, 도로/철도 위험 객체이다. 채널모델은 네 가지 센싱 모드 즉, TRP(Transmission and Reception Point)-TRP 양방향, TRP 단방향, TRP-UE(User Equipment) 양방향, UE-TRP 양방향, UE-UE 양방향, UE 단방향으로 고려하며, 주파수 범위는 0.5에서 52.6 GHz 까지이며, 최대 100 GHz 까지 확장 가능하다. 2024년 4월 RAN1 #116bis 회의에서는 통합 감지 및 통신(ISAC) 채널 모델링을 위한 공통 프레임워크로서, Tx-타겟 링크와 타겟-Rx 링크의 LOS(Line of Sight) 또는 NLOS(Non-Line of Sight) 조건을 모델링하기 위해 케이스 1: Tx-타겟 링크는 LOS, 타겟-Rx 링크는 LO, 케이스 2: Tx-타겟 링크는 LOS, 타겟-Rx 링크는 NLOS, 케이스 3: Tx-타겟 링크는 NLOS, 타겟-Rx 링크는 LOS, 케이스 4: Tx-타겟 링크는 NLOS, 타겟-Rx 링크는 NLOS에 대한 논의가 진행 중에 있다[4].

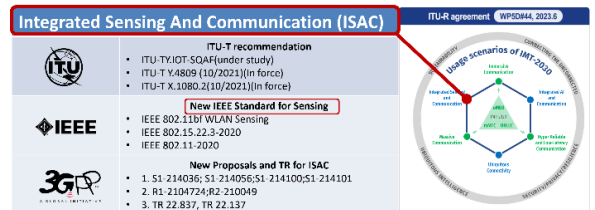


그림 2. IMT2030 사용 시나리오 및 ISAC 표준

2. 초정밀·초절전 3GPP 표준 동향

2.1 ISAC 표준 기술

2.2 Ambient IoT 표준 기술

IoT 장치를 모두 배터리로 구동하는 것은 불가능하며, 이는 높은 유지보수 비용, 환경 문제, 안전 위험을 초래한다. 산업의 자동화와 디지털화는 배터리가 필요 없거나, 수동으로 교체하거나 충전할 필요가 없는 에너지

저장 장치를 지원하는 새로운 IoT 기술을 요구하고 있다. 주변 전력을 활용한 IoT는 라디오파, 빛, 움직임, 열 등 다양한 에너지원으로 구동된다. 바코드와 RFID(Radio-Frequency Identification)는 초저복잡성과 작은 형태가 장점이지만, 제한된 읽기 범위로 인해 노동 집약적이고 비용이 많이 든다. 이에, 3GPP에서는 2023년 RAN #102 회의에서 Ambient IoT를 스타터 아이템으로 승인하였고 이는 최소한의 차이로 통합된 무선 인터페이스를 설계하여 에너지 저장 장치를 가진 Ambient IoT 장치를 지원하는 것을 목표로 한다. 장치의 최대 전력 소모는 ~1 μW에서 몇 백 μW까지이며, 초기 샘플링 주파수 오프셋(SFO)은 최대 10^X ppm(X는 표준화 단계에서 결정)이다. UL(Uplink) 전송은 외부 반송파를 반사하거나 내부에서 생성될 수 있다. 커버리지 목표는 실내 장치와의 최대 거리 10-50m이다. 토폴로지 1과 2(네트워크 제어 하의 중간 노드로서의 UE)에서는 RRC(Radio Resource Control) 상태, 이동성, HARQ(Hybrid Automatic Repeat request), ARQ 없이 작동하는 것이 특징이다[5]. 2024년 4월 RAN #116bis 회의에서 A-IoT DL(Downlink)은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 파형을 포함하며, 변조 방식에 따른 CP(Cyclic Prefix) 처리 및 OFDM 파형의 특성을 연구한다. OFDM 파형의 유형은 A-IoT 장치에 영향을 미치지 않으며, DL 송신기 관점에서 다른 파형 제안이 가능한 상태로 TR 38.869 정의 기반의 OOK(On-off Keying)-1과 OOK-4로 합의되었다.

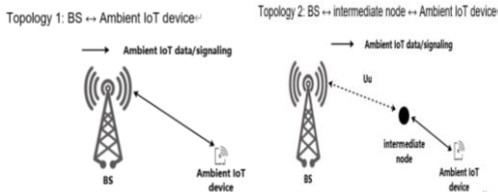


그림 3. Ambient IoT 토폴로지 종류

2.3 RTT 기반 표준 동기 기술

3GPP Rel-17에서는 BS(Base Station)와 UE 간에 신호를 송수신하여 전파지연을 추정하는 RTT 기술이 사용된다. 구체적으로, BS는 처음에 t_1 시간에 RTT 신호를 전송하지만, 실제로는 다운링크(DL) 송신 타이밍 오류 $e_{BS,DL,TX}$ 로 인해 t_{1a} 에 전송된다. 이 신호는 t_2 에 UE에 도달하며, t_{2a} 와 t_{1a} 의 차이가 DL 전파지연을 나타낸다. 하지만, 수신 타이밍 오류 $e_{UE,DL,RX}$ 로 인해 UE는 BS가 보낸 신호를 t_2 시간에 수신한 것으로 추정한다. 마찬가지로, UE는 t_3 시간에 업링크(UL) RTT 신호를 전송하지만, 실제로는 UL 송신 타이밍 오류 $e_{UE,UL,TX}$ 로 인해 t_{3a} 에 전송되고, 이 신호는 t_{4a} 에 BS에 도달한다. 이때 t_{4a} 와 t_{3a} 의 차이가 UL 전파지연을 나타낸다. BS는 UL 수신 타이밍 오류 $e_{UE,UL,RX}$ 로 인해 t_4 시간에 신호를 수신한 것으로 추정한다. $e_{indication}$ 은 Rx-Tx 시간 차이에 대한 세분화 오류를 의미한다. 송신 타이밍 오류는 지터 등으로 인해 발생하며 표준 기술로 해결이 어려운 반면, 수신 타이밍 오류는 표준 기술로 일정 부분 해결할 수 있으나 광대역폭이 필요하다.

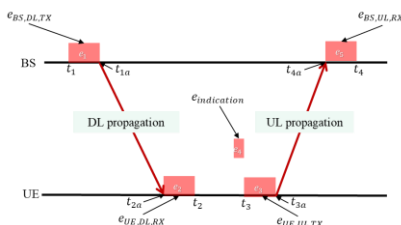


그림 4. RTT 기반 전파지연 추정 절차

2.4 모바일 TSN 표준 기술

공장 자동화와 같은 시간 민감 서비스의 성능을 향상시키기 위해 도입된 유선 기반 TSN은 IEEE1588v2에서 서브 나노초 수준의 절대 동기 정확도를 제공한다. 하지만, 무선으로 확장된 모바일 TSN은 무선 구간에서의 성능 저하로 인해 중단 기준으로 1 μs를 충족하지 못하는 경우도 발생할 수 있다. 현재 3GPP 표준에서 정의한 모바일 TSN의 세 가지 시나리오에서는 무선 디바이스와 기지국 간 UU (User-to-User) 인터페이스, 즉 무선 액세스 링크에서 절대 동기 정확도 요구사항을 충족하지 못하는 경우가 있다[6]. 그림 5의 시나리오 2를 구현하기 위해서는 무선 액세스 링크에서 최소 100ns의 절대 동기화 성능이 필요하므로 이를 충족시키기 위한 3GPP 표준화가 요구된다.

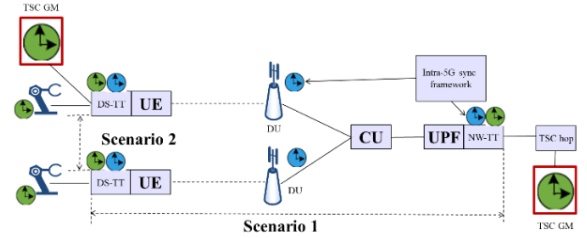


그림 5. 모바일 TSN 시나리오 1과 2

3. 결론

본 논문에서는 6G의 초정밀·초절전 서비스를 위한 3GPP 표준으로 ISAC(통합 감지 및 통신), Ambient IoT, RTT 기반 동기 기술, 모바일 TSN 표준 기술을 소개하였다. ISAC은 UAV, 인간, 자동차 등 다양한 객체를 감지 및 추적하기 위한 채널 모델링을 목표로 하고 있으며, Ambient IoT는 배터리 없는 에너지 수확 장치를 위한 통합 무선 인터페이스 설계를 목표로 한다. RTT 기술은 전파 지연을 추정하여 동기화를 개선하며, 모바일 TSN은 무선 구간에서의 성능 저하를 극복하고 절대 동기화 성능을 확보하는 것을 목표로 한다. 아직 6G 표준화가 진행되고 있지 않지만, 이러한 후보 표준 기술들이 진정한 6G의 초정밀·초절전 서비스를 위한 표준으로 발전할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실)

참고 문헌

- [1] "Towards a New Internet for the Year 2030 and Beyond," ITU IMT-2020/5G Workshop, July 2018.
- [2] ITU-R, "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond," WP5D, June, 2023.
- [3] "Wireless Time Sensitive Networking: next generation wireless for time-critical performance", ICC2022 Tutorial, May 2022
- [4] "Summary #2 on ISAC channel modelling", R1-2402681, April 2024
- [5] "New SID: Study on solutions for Ambient IoT (Internet of Things) in NR", RP-234058, 3GPP TSG RAN Meeting #102, Dec. 2023
- [6] "Summary of E-mail discussion: [Post111-e][924][R17 URLLC/IIoT] Propagation delay for TSN (Nokia)", R2-2009755, 3GPP TSG-RAN WG2 Meeting #112e, Nov. 2020