

통합 센싱 및 통신 기술 동향: 사용 사례 및 채널 모델 중심으로

김근영, 김경표, 장갑석, 고영조
한국전자통신연구원

kykim12@etri.re.kr, kpkim@etri.re.kr, kschang@etri.re.kr, koyj@etri.re.kr

Technology Trend on Integrated Sensing and Communication

Keunyoung Kim, Kyeongpyo Kim, Kapseok Chang, Young-Jo Ko
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

6G 이동통신 기술은 5G 대비 통신 성능 향상과 더불어 대상 및 공간 정보를 획득하기 위한 센싱 서비스 제공을 목표로 진화 중이다. 세계 각국은 6G 기술 주도권 확보를 위해, 통합 센싱 및 통신 기술 개발을 진행 중이다. 통합 센싱 및 통신 기술에 대한 사용 사례로 5G 시스템 기반으로 32 가지, 6G 시스템 기반으로 18 가지가 제시되었다. 3GPP에서는 센싱 표적과 관련된 표적채널과 동일한 센싱 송신기-센싱수신기 쌍 사이의 배경 산란을 기술하는 배경 채널로 구성된 ISAC 표준 채널 모델을 정의하였다.

I. 서 론

이동통신 기술은 단순한 데이터 전송을 넘어 우리 주변 환경을 감지하고 상호작용하는 새로운 패러다임으로 진화하고 있습니다[1]. 이러한 변화의 중심에 ISAC(Integrated Sensing and Communication, 통합 센싱 및 통신) 기술이 있다. ISAC 기술은 통신을 위해 송수신하는 무선 신호를 주변 환경 감지, 혹은, 대상 위치 감지에 동시에 활용한다. 이는 통신 주파수와 하드웨어 자원을 효율적으로 사용하게 하여 비용을 절감하고, 스마트 팩토리, 가상현실, 증강현실, 드론 제어 등 미래 핵심 서비스들은 ISAC 기술을 통해 한 단계 더 발전할 것으로 기대된다.

물리적 공간에 대한 인식을 위해 다양한 전용 센서와 이러한 센서들의 집합인 센서 네트워크 구축은 센싱 영역이 넓어질수록 더 많은 센서의 배치가 필요하고 유지 관리에 상당한 비용과 노력이 필요하다. 별도의 센서 배치를 통해 실용적인 센싱 커버리지를 확보하기 위해서는 집, 캠퍼스, 시장, 공항, 사무실과 같은 다양한 환경에서 센싱 대상에 대한 탐지 및 추적 시스템이 필요하며, 이것은 결국 상당한 비용 증가를 유발한다. 특히, 도시 전체와 같은 대규모 센싱이 필요한 경우에는 복잡도가 더 심화되고 설치 및 유지 관리 비용이 엄청날 것이다. CCTV를 통한 공간 정보 획득은 프라이버시 보호 관련 법적 이슈와 비가시 경로 정보 획득 불가 등으로 인해, 광범위한 정보 수집이 어렵다.

현재 이동통신 시스템과 인프라는 인간의 주요 활동 공간 대부분을 포괄하고 있으며, 6G 이동통신 기술은 5G 대비 통신 성능 향상과 더불어 대상 및 공간 정보를 획득하기 위한 센싱 서비스 제공을 목표로 진화 중이다. 본 논문에서는 ISAC 기술 동향 중 사용 사례와 채널 모델을 중심으로 소개한다.

II. 본론

국내 관련 동향으로, 과기 정통부는 2026년 Pre-6G 시연 및 2028년 상용화 준비를 목표로 6G R&D 예타 사업을 추진 중이며, 연구 세부 분야에 정밀 센싱/위치 기반 ISAC 기술이 포함되어 있다. SK 텔레콤은 MWC 2025 전시에서 6G 네트워크 고도화 일환으로 AI-RAN(Artificial Intelligent Radio Access Network) 기술과 더불어 ISAC 기술을 공개하였다. ETRI는 2024년 씨앗형 도전연구사업을 통해 이동통신 기반 ISAC 기술 선행연구를 수행하였으며, 이중 빔 및 광대역 신호를 이용한 센싱 방식을 연구하고, AI 기반 객체 모델링 및 센싱 정보 추출 기법을 개발하였다. 또한, 시뮬레이션을 통한 RD (Range-Doppler) map을 생성하고, 이를 활용한 객체 분할/구분/클러스터 제거 기술을 연구하였다.

국외 관련 동향으로, DARPA는 Spectrum Collaboration Challenge(SC2)를 통해 스펙트럼 공유 및 협업 네트워크 연구를 지원하고 있다. Qualcomm은 '5G Advanced to 6G' 로드맵에서 6G ISAC의 중요성을 강조하고 있다. Horizon Europe의 6G-SNS(Smart Networks and Services) 프로그램은 EU가 투자하는 6G 연구 프레임워크로, 하위 프로젝트인 Hexa-X-II 프로젝트를 통해 ISAC 아키텍처, 파형 설계, 활용 시나리오 등에 대한 연구를 진행 중이다. Nokia Bell Labs(독일)은 Hexa-x-II 주요 선도 기관으로, 상용 mmWave 대역 OFDM 레이더 알고리즘에 기반한 실시간 ISAC PoC로 보행자 검출 시연을 진행하였다. Fraunhofer HHI(독일)는 Hexa-x-II 프로젝트 참여 파트너로 160 GHz 대역에서 4 GHz 대역폭으로 동기 신호를 이용한 실시간 통신+레이더 연구 플랫폼을 6G Summit 2024에서 시연하였다. ZTE와 China Unicom(중국)은 저고도 혈액 물류 드론 운용을 위한 5G-A ISAC 기지국을 2024년 11월 세계 최초로 상용 배치하였다. Huawei(중국)는 100-300 GHz 대역에 적용 가능한 ISAC-THz 프로토타입을 구축하였다[2].

3GPP에서는 ISAC 기술 센싱 모드로 TRP (Transmit Receive Point) monostatic, UE (User Equipment) monostatic, TRP-TRP bistatic, TRP-UE bistatic, UE-TRP bistatic, UE-UE bistatic 6 가지 모드를 정의하였으며, 6 가지 모드에 센싱 송수신기로 추가 UE 나 TRP 를 넣어 multi-static 센싱으로 확장될 수 있다.

3GPP 는 또한 5G 시스템에서 자율주행, V2X, UAVs, 3D 맵 생성, 스마트 시티, 스마트 홈, 스마트 공장, 건강 관리, 해양 분야 등 다양한 산업에 센싱 서비스를 제공하기 위한 사용 사례로 32 가지를 제시하였다[3].

<표 1. 센싱 대상에 기반한 5G 시스템 센싱 사용 사례>

<p>(1) UAVs</p> <ul style="list-style-type: none"> UAV 비행 경로 추적 UAV 충돌 방지 네트워크 보조 센싱 UAV 침입 탐지용 센싱 스마트 그리드 주변 UAV, 차량 및 행인 탐지 	<p>(2) 실내외 사람</p> <ul style="list-style-type: none"> 스마트 홈에서 침입 탐지 비접촉 수면 모니터링 서비스 택내 건강 모니터링 비간섭 건강 모니터링의 서비스 연속성 스포츠모니터링 센싱서비스를 위한 로밍 센싱 기반 물입 경험 공공 안전 검색, 구조 및 경고
<p>(3) 차량</p> <ul style="list-style-type: none"> 센싱 보조 차량 조정 및 운행 주차 공간 결정을 센싱 ADAS 용 차량 센싱 RAN 서비스 상황에서 차량 조정 및 운행용 센싱 사각 지대 탐지 	<p>(4) 자동 운송 설비 (실내 공장)</p> <ul style="list-style-type: none"> 공장 내 자동 운송 설비 탐지 및 추적 스마트 공장에서 자동 운행 로봇 충돌 방지 ADAS 용 차량 센싱
<p>(5) 도로/철도 위험 초래 물건</p> <ul style="list-style-type: none"> 고속도로 위 행인/동물 침입 탐지 철도 침입 탐지용 센싱 횡단보도 내 장애물 유무 탐지 차량 조정 및 운행용 정밀 센싱 	<p>(6) (1)~(5) 조합 및 기타</p> <ul style="list-style-type: none"> 강수 모니터링 Transparent 센싱 사용 사례 스마트 시티에서 홍수용 센싱 스마트 홈 주변 침입 탐지 여행지 교통 관리용 센싱 센싱 정보 보호 다수 센서 활용 끊김없는 XR 스트리밍 앱 조정 및 물입 경험용 동작 인식

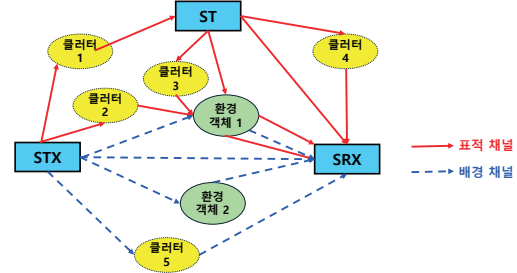
유럽 표준화 기관인 ETSI에서는 6G 시스템에서 지원될 것으로 보이는 18 가지 사용 사례로 인간 동작 인식, 신체 근접 센서, 공중 플랫폼 기반 환경 재구성 센싱, 고해상도 지형/환경 지도 생성, 비전 기반 스마트 교통 관리, 실시간 건강 위험 및 재난 위험 모니터링, 긴급 상황에서의 수색 및 구조, 옥외 의료 센싱 및 모니터링, 원격제어 로봇을 활용한 시니어 케어, 디지털 트윈 기반 협업 로봇, 로봇 파지 작업을 위한 정밀 위치 결정, 산업 작업현장의 실시간 사이버-물리 시스템, 구조물 미세 변형 센싱, 도로 교차로 교통 처리량 향상 및 안전 관리, UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 활용한 안전하고 경제적인 운송, 항공 자동 유도 차량 지원 서비스, 응급 차량 경로 최적화 및 우선 통행 관리, 센싱 기반 네트워크 성능 향상과 자원 효율화를 제시하였다[4].

새로운 통신 기술을 개발하고 성능을 검증하기 위해서는 실제 환경과 유사한 가상의 무선 환경을 구축하여 시뮬레이션을 수행해야 한다. 이때 사용되는 것이 채널 모델이다. 채널 모델은 송신기에서 보낸 무선 신호가 수신기에 도달하기까지 겪는 다양한 물리적 현상(거리 감쇠, 장애물로 인한 반사, 회절, 산란 등)을 수학적으로 모델링한 것이다.

ISAC 기술은 기존 통신과 달리 센싱이라는 새로운 목표를 가진다. 통신에서는 송신기에서 수신기로 신호가 잘 전달되는 것이 중요하지만, 센싱에서는 특정 표적에 맞고 반사되어 돌아오는 채널의 특성을 분석하는 것이 핵심이다. 즉, 우리가 파악하고자 하는 내용이 통신은 무선 신호에, 센싱은 무선 채널에 들어있다. 따라서 ISAC 기술의 성능을 정확히 평가하기 위해서는 기존 통신 채널 모델에 더해, 표적의 크기, 형태, 재질, 움직임 등에 따라 신호가 어떻게 변화하는지를 정밀하게

모델링할 수 있는 새로운 채널 모델이 반드시 필요하다. 이러한 필요에 따라, 3GPP에서는 ISAC 표준 채널 모델을 정의하였다[5].

ISAC 채널은 STX(센싱 송신기)→ST(센싱 표적)→SRX(센싱수신기)를 통해 형성되는 표적 채널과, 동일한 STX-SRX 쌍 사이의 배경 산란을 기술하는 배경 채널로 구성된다. 이는 센싱의 관점에서 우리가 관심 있는 표적 신호와 그 외의 모든 배경 신호를 구분하기 위함이다.



<그림 1. ISAC 채널 기본 구성>

채널 생성은 공통의 환경/배치 설정을 수행한 뒤, 표적 채널과 배경 채널을 각각 생성하고, 마지막에 두 채널을 선형 합하여 최종 채널을 얻는다.

III. 결론

본 논문에서는 ISAC 기술 국내외 기술 동향과 사용 사례 및 채널 모델을 기술하였다. 중국, 유럽, 미국, 일본 등 주요 강국은 6G 기술 주도권 확보를 위해, ISAC 관련 활발한 연구개발을 진행 중이다. 3GPP 와 ETSI에서는 ISAC 사용 사례로 5G 시스템 기반 32 가지, 6G 시스템 기반 18 가지를 제시하였다. 3GPP에서는 표적채널과 동일한 배경 채널로 구성된 ISAC 표준 채널 모델을 정의하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2018-0-00218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실).

참 고 문 헌

- [1] F. Liu et al. "Integrated Sensing and Communications: Toward Dual-Functional Wireless Networks for 6G and Beyond," IEEE JSAC, vol. 40, no. 6, pp. 1728-1767, June 2022.
- [2] 김선우 등, "차세대 통신을 위한 ISAC 시스템 동향," 한국인터넷진흥원 월간보고서, 2024 년 11 월.
- [3] 3GPP TR 22.837 V19.4.0, "Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication (Release 19)," June 2024.
- [4] ETSI GR ISC 001 V1.1.1, "Integrated Sensing And Communications (ISAC); Use Cases and Deployment Scenarios," March 2025.
- [5] 3GPP TR 38.901 V19.1.0, "Study on Channel Model for Frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 19)," Sept. 2025.