

# 통합 감지 및 통신 시스템에 대한 최신 연구 동향 조사

이동현, 송치현, 오준석, 원동욱, 허동현, 홍성훈, 노승환\*, 조성래

중앙대학교, \*공주대학교

{dhlee, chsong jsoh, dwwon, dhur, shong}@uclab.re.kr, \*rosh@kongju.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

## An Investigation of Integrated Sensing and Communication systems

Lee Donghyun, Song Chihyun, Oh Junsuk, Won Dongwook, Hur Donghyeon,

Hong Seonghun, Soong Hwan Ro\*, Sungrae Cho

Chung-Ang Univ., \*Kongju National Univ.

### 요약

6G 무선 시스템은 자율주행차 내비게이션을 레이더 센싱, 로봇 내비게이션을 위한 실내 측위, 스마트홈을 위한 WiFi 센싱 등 다양한 고정밀 센싱 서비스를 제공할 것으로 예상된다. 센서가 많아짐에 따라 동일한 주파수 대역과 하드웨어를 공유할 수 있도록 센싱 시스템과 통신 시스템을 공동으로 설계하여 스펙트럼 효율성을 향상시키고 하드웨어 비용을 절감하는 것이 바람직하다. 따라서 차세대 무선 이동 통신의 주요한 기술로 동일한 주파수 및 통합된 하드웨어를 사용하는 통합 센싱 및 통신 기술이 주목받고 있다. 따라서 본 논문에서는 센싱 대상이 센싱 신호를 전송 및 수신할 수 없거나 센싱 절차가 센싱 대상의 전송 및 수신에 의존하지 않는 센싱과 감지 대상이 센싱 신호를 전송 및 수신할 수 있고 감지 절차가 감지 대상의 전송 및 수신에 의존하는 센싱을 분류하고 조사한다.

### I. 서론

6G 무선 시스템은 자율주행차 내비게이션을 레이더 센싱, 로봇 내비게이션을 위한 실내 측위, 스마트홈을 위한 WiFi 센싱 등 다양한 고정밀 센싱 서비스를 제공할 것으로 예상된다. 센싱과 통신 시스템은 일반적으로 별도로 설계되며 서로 다른 주파수 대역을 차지한다. 그러나 밀리미터파와 매시브 MIMO 기술의 광범위한 개발 및 확산으로 인해 미래 무선 시스템의 통신 신호는 시간 영역과 각도 영역 모두에서 고해상도를 갖는 경향이 있고 통신 신호를 사용하여 고정밀 센싱이 가능해진다. 따라서 동일한 주파수 대역과 하드웨어를 공유할 수 있도록 센싱 시스템과 통신 시스템을 공동으로 설계하여 스펙트럼 효율성을 향상시키고 하드웨어 비용을 절감하는 것이 바람직하다 [1]. 특히 자율주행차와 같은 시스템에는 많은 수의 센서가 장착되므로 센싱과 통신 하드웨어를 통합하는 것은 더욱 중요하다. 이처럼 통합 센싱 및 통신 시스템은 APAR (Active Phased Array Radar)를 기반으로 개발되는데, 이는 APAR이 통신 기술과 쉽게 통합되기 때문이다 [2]. 본 논문에서는 통합 센싱 및 통신 시스템에 대해 여러 가지 관점에서 조사하여 분류한다.

본 논문의 본문에서는 통합 센싱 및 통신 시스템을 분석한 연구들을 조사하여 시스템의 특성별로 분석하며, 결론에서는 미래의 연구방향을 토론하며 한계점을 분석하여 마무리한다.

### II. 본론

#### 1) Device-Free Sensing

Device-Free Sensing이란 센싱 대상이 센싱 신호를 전송 및 수신할 수 없거나 센싱 절차가 센싱 대상의 전송 및 수신에 의존하지 않는 센싱을 의미한다. 장치가 필요 없는 센싱의 일반적인 예는 레이더 센싱으로 자율주행차를 예로 들면 주변 환경, 도로, 사람 및 중앙분리대 등을 감지하는

데 사용되는 센싱이다. Device-Free Sensing에서는 목표물을 향해 전파 방향 또는 방향성 탐지 신호를 전송하고 탐지 신호가 대상에 반사되어 레이더 에코가 레이더에 수신되며 수신된 에코로부터 목표의 매개변수를 추정함으로써 목표의 위치를 추정한다.

[3]에서는 통합 감지 및 통신을 이용한 대규모 MIMO OFDM 시스템을 위한 Degree of Arrival (DoA) 추정 및 추적 기법을 제안했다. DoA 추정 및 추적을 위한 파일럿 신호 전처리 방법으로 Coherent 결합 및 다중경로 결합 방법을 제안했다. 제안된 방법으로 낮은 SNR에서도 정확한 DoA 추정을 얻을 수 있으며 기존 추정 방법보다 성능이 우수함을 보여주었다.

[4]에서는 위상 MIMO 레이더로 불리는 동일한 위치의 안테나를 갖춘 MIMO 레이더를 기반으로 송신 측의 일관된 처리 이득인 위상 배열 레이더의 장점을 희생하지 않고 MIMO 레이더의 장점을 활용하기 위해 전송 어레이를 중첩이 허용되는 여러 하위 어레이로 분할하여 활용하는 통합 감지 및 통신 시스템을 제안했다. 분할된 하위 어레이는 공동으로 결합되어 MIMO 레이더를 형성하여 더 높은 각도 분해능을 제공한다. 위상 배열 및 MIMO 레이더 기술과 비교하여 [4]에서 제안된 위상 MIMO 기반 통합 센싱 및 통신 시스템은 위상배열 레이더와 MIMO 레이더의 장점을 결합하여 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

#### 2) Device-Based Sensing

Device-Based Sensing은 감지 대상이 센싱 신호를 전송 및 수신할 수 있고 감지 절차가 감지 대상의 전송 및 수신에 의존한다는 것을 의미한다. 대표적인 예로 모바일 기기의 위치를 파악하기 위한 기지국 기반 무선 위치 파악이 있다.

[5]에서 저자들은 레이더와 통신 주파수 대역의 중첩을 완화하기 위해 마이크로 기지국이 표적 감지와 협력 통신을 동시에 수행하는 시스템을 제안했다. 감지 장비 역할을 하는 MiBS는 중단 간 통신을 지원하는 진이

중 디코드 및 전달 릴레이 역할도 수행한다. [5]에서 정확한 Outage probability과 점근적 Outage probability, 에르고딕 속도 및 감지 성공 확률을 특성화했다.

[6]에서 저자들은 전이중 기지국이 다운링크와 업링크 통신 사물인터넷 장치에 서비스를 제공하고 동시에 대상을 탐지할 수 있는 통합 센싱 및 통신 시스템을 조사했다. 통신을 위해 NOMA를 채택하여 통신 및 센싱 성능뿐만 아니라 스펙트럼 효율 향상을 위한 시스템을 제안했다. [6]에서 다운링크 및 업링크 장치의 점근적인 Outage probability가 도출되었다.

### III. 결론

본 논문에서는 차세대 무선 이동 통신의 주요 기술로 평가받는 통합 센싱 및 통신 시스템에 대해 조사했다. 통합 센싱 및 통신 시스템은 크게 Device-Free Sensing과 Device-Based Sensing으로 나누어지며 각각의 주제에서도 사용하는 안테나에 따라 MIMO 안테나를 사용하여 센싱하는 MIMO 센싱과 위상 MIMO 안테나를 사용하는 위상 MIMO 센싱으로 나누어진다. 통합 센싱 및 통신 기술의 초기 작업은 다양한 시스템을 위한 실용적인 기술의 설계, 분석 및 최적화에 중점을 두었다. 이러한 일련의 작업도 필요하지만, 현재의 최첨단 기술과 성능 한계 사이의 격차를 이해하고 개발에 유용한 통찰력과 지침을 제공하기 위해서는 통합 센싱 및 통신의 근본적인 한계를 연구하는 것도 마찬가지로 중요해 보인다.

## ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2024-RS-2022-00156353, IITP-2024-RS-2023-00258639)

## 참고 문헌

- [1] A. Liu et al., "A Survey on Fundamental Limits of Integrated Sensing and Communication," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 2, pp. 994-1034, Secondquarter 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3149272.
- [2] X. Cheng et al., "Intelligent Multi-Modal Sensing-Communication Integration: Synesthesia of Machines," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 26, no. 1, pp. 258-301, Firstquarter 2024, doi: 10.1109/COMST.2023.3336917.
- [3] Xu, Kui, et al. "Robust DOA estimation and tracking for integrated sensing and communication massive MIMO OFDM systems." *Science China Information Sciences* 66.10 (2023): 202302.
- [4] A. Hassaniien and S. A. Vorobyov, "Phased-MIMO Radar: A Tradeoff Between Phased-Array and MIMO Radars," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 58, no. 6, pp. 3137-3151, June 2010, doi: 10.1109/TSP.2010.2043976.
- [5] M. Liu et al., "Performance Analysis and Power Allocation for Cooperative ISAC Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 7, pp. 6336-6351, 1 April, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3225281.
- [6] M. Liu, M. Yang and A. Nallanathan, "On the Performance of Uplink and Downlink Integrated Sensing and Communication Systems," *2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Rio de Janeiro, Brazil, 2022, pp. 1236-1241, doi: 10.1109/GCWkshps56602.2022.10008554.