

3GPP ISAC 표준화 동향 및 Large-Scale 시뮬레이터 구현

정홍재, 최서연, 정재훈*, 정민채*

세종대학교 정보통신공학과, 세종대학교 지능정보융합학과*

{xswi000, always02}@sju.ac.kr, jaydenick@naver.com, mcjung@sejong.ac.kr

3GPP ISAC Standardization Trends and Large-Scale Simulator Development

Hongjae Jeong, Seoyeon Choi, Jaehoon Jeong*, and Minchae Jung*

Department of Information and Communications Engineering, Sejong University

Department of Artificial Intelligence and Information Technology, Sejong University*

요 약

본 논문에서는 3rd Generation Partnership Project (3GPP)의 release 19 표준화 회의에서 논의된 integrated sensing and communication (ISAC) 기반 unmanned aerial vehicle (UAV) 센싱 시나리오의 채널 모델링 표준화 동향에 대해서 알아본다. 3GPP 표준화 동향을 바탕으로 ISAC UAV 센싱 시나리오에서 large-scale 시뮬레이터를 구현하였다. 또한 표준화 회의에 참석한 기업들이 제공하는 calibration 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하여 일치함을 확인하였다. 이를 통해 구현된 시뮬레이터가 표준에서 논의된 채널 모델을 충실히 반영하고 있으며, 성능 검증을 위한 도구로서 유효함을 보여준다.

I. 서 론

Integrated sensing and communication (ISAC)은 무선 시스템에서 통신과 센싱을 동시에 수행함으로써 자원 효율을 극대화하는 6G 핵심 기술로 주목받고 있다[1]. 특히 ISAC은 unmanned aerial vehicle (UAV) 서비스에서 센싱을 수행하기 위한 유망한 기술로 인식된다[2]. UAV 서비스 확산으로 탐지·추적·식별 기반의 센싱 수요가 증가하고 있으나, UAV 탑재 센서는 기상 환경에 취약하고 전용 감시 레이더의 대규모 구축은 비용과 부지 측면에서 부담이 크다. 반면에 ISAC은 기존 통신 인프라와 스펙트럼 자원을 재사용해 추가 장비 없이 UAV 센싱이 가능하기에 비용과 설치 부지 부담을 줄이면서 안전 운항을 효율적으로 뒷받침할 수 있다[2]. 이와 같이 ISAC 기반 UAV 센싱의 중요성이 커짐에 따라, 3rd Generation Partnership Project (3GPP) release 19 표준화 회의에서는 ISAC 환경에서 UAV 센싱 타겟을 고려한 채널 모델링 및 센싱 관련 파라미터에 대한 논의를 진행하였다[3]. 본 논문에서는 논의된 3GPP ISAC 채널 모델링을 기반으로 UAV 센싱 시나리오에 대한 large-scale 시뮬레이터를 구현하고, 센싱 모드 및 주파수 대역에 따른 coupling loss를 계산한다.

II. 본론

3GPP 표준 ISAC 채널 모델은 하나 이상의 물리적 객체를 고려하며, 해당 객체의 위치, 레이더 단면적, 편파 특성과 같은 사전에 알려진 물리적 특성을 반영하여 구성된다[3]. 여기에서 물리적 객체는 센싱의 대상이 되는 타겟 객체와 위치는 알려져 있으나 센싱 대상에는 포함되지 않는 환경 객체로 구분된다. 송신 단과 수신 단 사이의 ISAC 채널은 타겟 채널과 배경 채널의 합으로

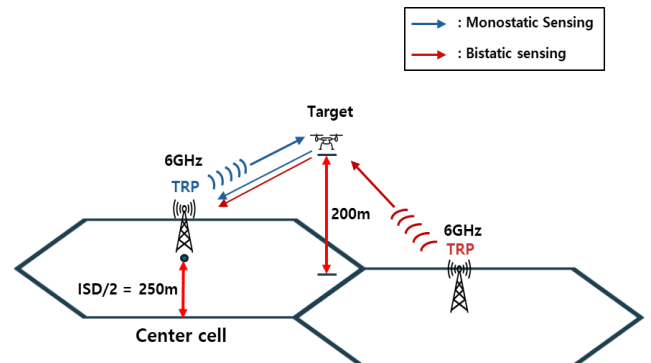


그림 1. ISAC - UAV 센싱 시나리오 시스템 모델

모델링 된다. 타겟 채널은 센싱 타겟에 의해 형성되는 다중경로 성분을 포함하고, 배경 채널은 그 외의 다중 경로 성분으로 구성된다.

3GPP 표준 ISAC 시스템에서는 송신 단과 수신 단의 배치에 따라 monostatic 센싱 모드와 bistatic 센싱 모드가 정의된다[3]. Monostatic 센싱 모드는 동일한 통신 노드가 송신과 수신을 수행하는 구조인 반면, bistatic 센싱 모드는 서로 다른 통신 노드가 송신과 수신을 수행하는 구조이다. 센싱 모드는 transmission and reception point (TRP)와 user equipment (UE)의 조합을 통해 구성되며, TRP와 UE 모두 송·수신 역할을 수행할 수 있다. 센싱 시나리오는 타겟의 유형에 따라 UAV, 교통수단, AGV, 인간 그리고 도로 및 철도 환경에서 위험을 유발할 수 있는 객체를 포함한 총 다섯 가지로 구분된다[3].

3GPP 표준 ISAC 채널 모델의 성능을 객관적으로 검증하고 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 calibration이 수행된다. Calibration은 고려하는 채널 성분의 범위에 따라 large-scale calibration과 full-

scale calibration 으로 구분된다. Large-scale calibration 은 경로 손실과 섀도우 페이딩 등 large-scale 파라미터만을 고려한 calibration 을 의미하며, full-scale calibration 은 여기에 fast fading 성분을 추가하여 수행되는 calibration 으로 정의된다[3].

본 논문에서는 그림 1 과 같이 UAV 센싱 시나리오에서 TRP monostatic 및 TRP-TRP bistatic 센싱 모드를 고려한 large-scale 시뮬레이터를 구현하였다. 3GPP ISAC 표준에서 정의한 large-scale calibration 파라미터에 따라, 시뮬레이션의 측정 지표로 coupling loss 를 사용하였다. Coupling loss 는 송신 단과 수신 단 사이의 경로 손실, 섀도우 페이딩, 그리고 타겟의 레이더 단면적(RCS) 성분을 포함하며, 다음과 같이 정의된다[3].

$$L_{couple} = PL_{dB}(d_1) + PL_{dB}(d_2) + 10\lg\left(\frac{c^2}{4\pi f^2}\right) - 10\lg(\sigma_{RCS,A}) + SF_{dB,1} + SF_{dB,2}. \quad (1)$$

여기에서 $PL_{dB}(d_1)$ 과 $PL_{dB}(d_2)$ 는 송신 단 - 타겟 및 타겟 - 수신 단 구간의 경로 손실을 의미하며, $SF_{dB,1}$ 과 $SF_{dB,2}$ 는 각 구간에 대한 섀도우 페이딩 성분으로서 정규 분포를 따라 생성된다. Monostatic 센싱 모드에서는 두 링크가 동일한 전파 조건으로 형성된다. 센싱 타겟은 단일 또는 복수의 산란점으로 모델링되며, 각 산란점에 대해 정의된 레이더 단면적의 첫번째 구성요소 $\sigma_{RCS,A}$ 는 Large-scale calibration 파라미터로 제공된다. Large-scale 시뮬레이션에서는 타겟 채널이 항상 line-of-sight 조건으로 형성된다고 가정하며, 기지국과 센싱 대상 UAV 사이에 생성되는 송신-수신 쌍 중 coupling loss 가 가장 작은 4 개의 값을 이용해 cumulative distribution function (CDF)를 구성한다[4].

UAV 센싱 시나리오는 urban macro - aerial vehicle 환경을 기반으로 구성되며, 총 19 개의 육각 셀로 이루어진 셀 레이아웃을 사용한다. 각 셀에서 기지국의 높이는 25 m, 인접 기지국 간 거리는 500 m 로 설정하였고, 기지국의 송신 전력은 56 dBm 사용 대역폭은 100 MHz 반송파의 주파수는 6 GHz 로 설정하였다[3]. 센싱 타겟의 경우, 단일 소형 UAV 를 중앙 셀 영역 내에서 균등 분포를 따르는 위치에 배치한다. Large-scale 페이딩만을 고려했기 때문에 UAV 의 높이와 위치는 시간에 따라 변화하지 않고 지상으로부터 200 m 의 고정된 높이에 위치하도록 설정한다.

이러한 시뮬레이션 환경을 바탕으로, 송신 단과 수신 단이 동일한 TRP monostatic 센싱 모드와 서로 다른 TRP 를 사용하는 TRP bistatic 센싱 모드에 대해 coupling loss 를 산출하였다. 그림 2 는 시뮬레이션에서 계산된 coupling loss 의 CDF 와 3GPP ISAC 표준화 회의에 참여한 기업들이 제공한 결과를 비교하여 나타낸 그래프이다[5]. 그림 2 에서 붉은 선으로 표시된 Sejong University 결과는 본 논문에서 구현한 시뮬레이터의 결과를 의미한다. 제시된 결과는 기업들이 제공한 값들과 전반적으로 일치하는 경향을 보이며, 이를 통해 구현한 시뮬레이터가 표준화 회의에서 정의된 large-scale ISAC 채널 모델을 반영하고 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 3GPP release 19 에서 논의된 ISAC 채널 모델링에 대한 전반적인 구조에 대하여 분석하였고, 이를 바탕으로 센싱 타겟이 UAV 인 시나리오에서 TRP monostatic 및 TRP-TRP bistatic 에 대한 large-scale 시뮬레이터를 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 산출한 coupling loss 를 3GPP ISAC 표준화 회의에서 제공된 기

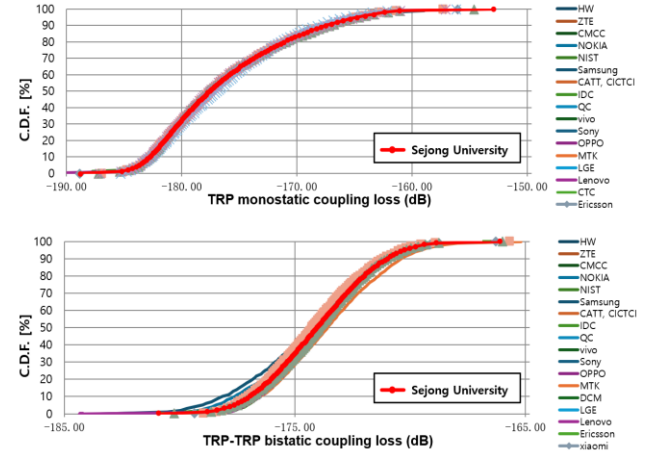


그림 2. ISAC UAV 센싱 시나리오에서 센싱 모드에 따른 coupling loss CDF

업들의 결과와 비교하였으며, 구현된 시뮬레이터가 표준을 충실히 반영하는 시뮬레이터임을 확인하였다. 본 논문에서 구현한 UAV large-scale 시뮬레이터는 향후 fast fading 을 포함하는 ISAC full-scale 시뮬레이터 구현 시, 성능 검증을 위한 도구로 활용될 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (No. 2021R1C1C1012950)과 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. RS-2024-00359235, 3GPP 표준 기반 저궤도 군집 위성통신 지상국 핵심기술 개발)

참고 문헌

- [1] A. Kaushik et al., "Toward integrated sensing and communications for 6G: Key enabling technologies, standardization, and challenges," *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 8, no. 2, pp. 52-59, Jun. 2024.
- [2] Technical Specification Group TSG SA; Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication, Standard TR 22.837, V19.4.0, 3rd Generation Partnership Project, Nov. 2024.
- [3] Technical Specification Group Radio Access Network; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz, Standard TR 38.901, V19.0.0, 3rd Generation Partnership Project, Sep. 2025.
- [4] ITRI, Tron Future Tech Inc, "R1-2504539: Discussion of calibration for UAV sensing targets," 3GPP TSG RAN WG1, meeting 121, St Julian's, Malta, May. 2025.
- [5] AT&T, "R1-2506616: ISAC channel model calibration Results," 3GPP TSG RAN WG1, meeting 122, Bengaluru, India, Aug. 2025.