6G 초정밀 초절전 센싱 시스템 기술 검증을 위한 플랫폼 구현

이유성, 김용선*, 장갑석*
(주)시그웍스, *한국전자통신연구원

yusung.lee@sigworks.co.kr, *{doori, kschang}@etri.re.kr

Platform Implementation for 6G Ultra-Precision and Ultra-Low-Power Sensing System

Yusung Lee, Lee, Kapseok Chang*, Yong Sun Kim*
Sigworks, *Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 ISAC(Integrated Sensing and Communication) 시스템기술로 제안된 CUPPS 기술 검증을 위한 플랫폼 구현 결과를 제시한다. 본 플랫폼은 초고주파 OFDM 기반 무선액세스 기술을 포함하며, 초정밀 센싱을 수행하는 FMCW 레이더 모듈이 결합된 TRP 와 초절전 백스케터 태그가 결합된 UE 플랫폼으로 구성되며, 초정밀·초절전 센싱 기능과 통신 기능이 통합되어 구성되는 CUPPS 시스템 개념검증에 활용된다.

Ⅰ. 서 론

ITU-R 은 2023 년 6 월 IMT-2030 프레임워크 발표를 통해 6G 의 핵심 서비스 시나리오와 성능 지표를 제시하였으며, 고정밀 서비스와 직접적으로 관련이 있는 ISAC(Integrated Sensing and Communication)을 5G 와 차별화되는 새로운 사용 시나리오로 승인하였다[1]. 최근 ISAC 기술은 OFDM 기반 통신과 센싱을 통합하는 프레임워크를 포함하고 있으며, 이를 통해 초정밀 센싱을 필요로 하는 다양한 6G 이동통신시스템 서비스 실현에 중요한 기술로 간주되고 있다[2].

6G 이동통신 초정밀 서비스를 위한 ISAC 선행 연구개발로 초정밀·초절전 센싱 기능과 통신 기능이 통합되어, 통신의 도움을 받아 초정밀 센싱을 수행할 수 있는 일종의 Communication-assisted sensing 형태의 시스템이 제안되었다[3],[4]. [4]에서 제안된 CUPPS (Communication-assisted Ultra-Precision ultra-low Power Sensing system)은 초고주파 기반 이동통신 무선액세스 기술과 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더 기반 센싱 기능을 통합한 ISAC 기술로, 초정밀 센싱을 수행하는 TRP(Transmission Reception Point)와 초절전 특성의 태그가 결합된 UE 로 구성된다. CUPPS 시스템은 FMCW mono-static radar 기술을 활용하여, TRP 와 UE 간 전파지연 추정/센싱을 통해, 절대동기(Absolute Time Synchronization, ATS)를 포함하는 스마트 팩토리 자동화, XR 게임 및 스트리밍, 자율주행, 무인항공기 제어, 물류 관리 등의 다양한 응용 서비스를 실현하는 시스템 솔루션이다.

본 논문에서는 CUPPS 기술 개념검증을 위한 검증 플랫폼 구현 결과를 제시한다. CUPPS 시스템 절차 검증을 위해 구성된 TRP/UE 플랫폼 구성과 탑재 구현된 초고주파 OFDM 기반 무선액세스 모뎀 설계 결과를 제공한다.

Ⅱ. CUPPS 시스템 검증용 플랫폼 구성

CUPPS 시스템은 6G 대역의 TRP 전체 가용 대역폭에서 통신기능과 센싱기능 통합 운용이 가능하도록 설계된 절대동기 시스템 솔루션이다. 절대동기 지원을 위해 적용된 FMCW 레이더를 이용한 센싱 기술은 기존 무선 RTT(Round-Trip Time) 방법을 통한 절대동기 3GPP Rel-17 표준 기술에 비해 초정밀·초절전 센싱이 가능하나, 레이더 기술의 한계인 주변 환경으로부터의 클러터 노이즈(Clutter noise) 로 인해 센싱 정확도가 감소하는 문제를 안고 있다. 이를 위해 CUPPS 시스템은 그림 1 의 시스템 기술 절차를 통해 위의 문제를 해결한다.

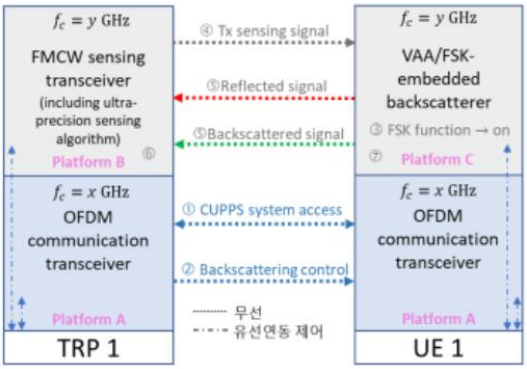

그림 1 CUPPS 시스템기술 절차 [4]

CUPPS 시스템은 FMCW 레이더와 VAA(Van-Atta Array)/FSK(Frequency Shift Keying) 내재 백스케터를 각각 TRP 와 UE 에 탑재하여, TRP 관점에서 초정밀 센싱을, UE 관점에서 초절전 센싱을 달성한다. 초고주파 OFDM 기반 무선액세스 모뎀은 백스케터의 FSK 변조

및 ON/OFF 제어를 제공하여 센싱 정확도 및 초절전을 달성한다.

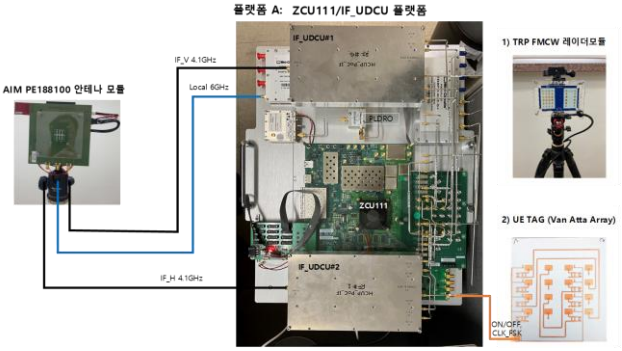

그림 2 CUPPS 시스템 검증용 플랫폼 형상

그림 2 는 CUPPS 시스템 검증용 플랫폼 형상을 나타낸다. 검증용 플랫폼은 CUPPS 시스템 기술 절차를 지원하기 위해 통신 플랫폼 A 와 FMCW 레이더 모듈이 결합된 TRP 플랫폼과 VAA/FSK 내재 백스케터가 탑재된 UE 플랫폼으로 구성된다. 통신 플랫폼 A 는 Xilinx RFSoC ZCU111, IF 모듈, 초고주파 대역 지원 AIM(Antenna-Integrated Module)로 구성된다. 다이버시티 요소기술을 포함한 OFDM 웨이브폼 모뎀 탑재를 통해 CUPPS 시스템 접속 절차를 제공한다. UE 로 활용되는 통신 플랫폼 A 는 TRP 와의 통신 접속을 통해 VAA 태그의 FSK 기능 on/off 제어와 주파수 제어를 위한 Clock 신호 입력을 지원한다.

Ⅲ. CUPPS 시스템 검증용 플랫폼 모뎀 설계

CUPPS 시스템 탑재 통신 플랫폼 A 의 모뎀은 고신뢰/저지연 기반으로 설계되었다. 그림 3 은 CUPPS 시스템 프레임워크의 물리계층 프레임 구조 및 Numerology 를 나타낸다. TDD 에 기반하며, 빔 스위핑을 위한 SSB(Synchronization Signal Block) 프레임과 SFBC(Space Frequency Block Coding) 다이버시티 기반 UL/DL 데이터 프레임으로 구성된다.

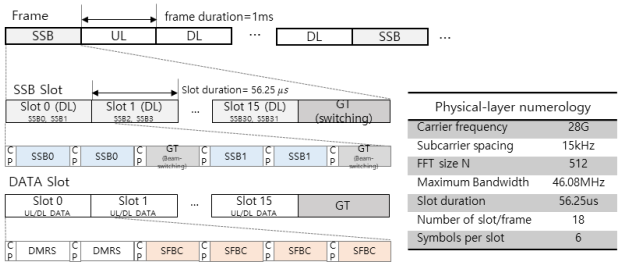

그림 3 물리계층 프레임 구조 및 Numerology

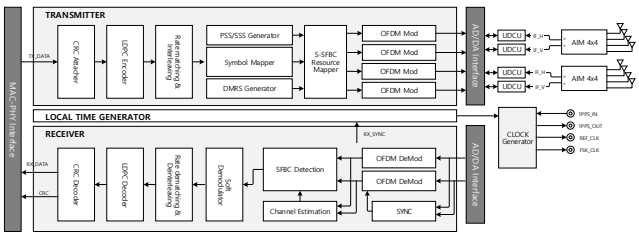

그림 4 CUPPS 시스템 탑재 모뎀 구조도

그림 4 는 CUPPS 시스템 탑재 모뎀 구조도를 나타낸다. 고신뢰·저지연 모뎀 구현을 위해 LDPC 채널 코딩이 적용되었으며, 다중안테나 다이버시티 획득을 위해 S-SFBC(Sparse-SFBC)가 적용된다.

CUPPS 시스템 프레임워크 파라미터에 따라 설계된 초고주파 대역의 OFDM 웨이브폼 기반 무선액세스 모뎀은 RFSoC ZCU111 단일 FPGA 에 탑재하여 구현 검증을 수행하였다. 표 1 는 구현된 SFBC-OFDM 기반 무선액세스 모뎀에 대한 구현 결과를 나타낸다. 송신 Latency 측정은 LDPC Encoding/Rate-matching, OFDM 변조를 포함하여 DA 입력단까지의 시간지연으로 측정되었으며, 수신 Latency 는 수신 입력단부터 최종 디코더 출력까지의 지연시간으로 측정되었다. CUPPS 시스템에서 목표로 하는 총 송수신 latency 성능지표 0.2 ms 이내를 만족함을 보여준다.

표 1 플랫폼 탑재 모뎀 구현 결과

항목		TRP	UE
Resource Used	LUT	36796	147503
	LUTRAM	5524	5889
	Flip-flop	48408	198355
	Block RAM	111	221.5
	DSP	616	1068
Latency	Total	TX: 77us, Rx: 87us	

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 초정밀·초절전 ISAC 기술인 CUPPS 기술 개념검증을 위한 검증 플랫폼 구현 결과를 제시하였다. 구현된 CUPPS 탑재 플랫폼은 고신뢰/저지연 다이버시티 기술이 적용된 OFDM 기반 무선 액세스 기술을 통한 신뢰성 있는 시스템 접속 기능을 제공하며, FMCW 기반 레이더 모듈 및 백스케터와의 연동을 통한 절대동기 측정 기능을 제공한다. 다양한 운용 환경에서의 플랫폼 검증을 통해 CUPPS 시스템 기술 개념 검증을 가능케 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2018-II180218, 초고주파 이동통신 무선백홀 전문연구실)

참고문헌

[1] ITU-R, “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond,” WP5D, June, 2023.

[2] 3GPP 6G Workshop, “Chair’s summary of the 3GPP workshop on 6G,” WP5D, 6GWS-250238, March 10-11, 2025.

[3] 장갑석, 김용선 외, “6G 초정밀-초절전 센싱 시스템 기술에 관한 연구,” KICS 하계통신학술대회, June, 2024

[4] 장갑석, 김용선, 외, 6G 초정밀 초절전 센싱 시스템기술에 관한 개념검증,” JCCI 2025, April, 2025.