

6G 통신에서의 센싱과 통신의 결합 서비스(ISAC)

Sixth-Generation Networks and Integrated Sensing and Communications

백동명 (D.M. Baek, dongmbaek@etri.re.kr) 지능네트워크연구실 책임연구원
김태연 (T.Y. Kim, kimty@etri.re.kr) 지능네트워크연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Sixth-generation (6G) networks may allow to evolve from everything connected to everything sensed. Integrated sensing and communications (ISAC) requires the higher frequencies, wider bands, and more advanced antenna technology offered by 6G technology. We analyze advanced beamforming techniques to overcome the poor propagation characteristics of millimeter and terahertz waves as well as new waveforms designed to include sensing. This paper is intended to provide communication researchers with short summaries of ISAC, use cases, and standardization initiatives as guidelines for exploring new research and development directions.

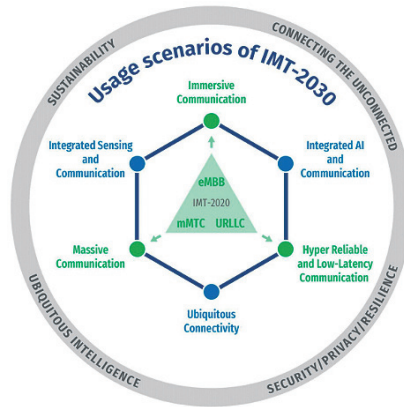
KEYWORDS 6G, ISAC, mmWave, THz

I. 6G 비전과 ISAC

1. ISAC의 등장

IMT2030 비전 문서는 2023년 6월 22일에 초안 이 완료되었다. 이는 ITU 이동통신 작업반(ITU-R WP5D)의 결과물로서, 6G 통신의 미래 비전을 제시하는 문서이다. 이는 M.1645(IMT-2000 비전)와 M.2083(IMT-2020 비전)의 후속 작업으로 진행된 것이다. 사후 작업을 통해 표준화가 완성될 것이다[1].

이 문서에서는 IMT-2020 문서에서 소개된 주요 서비스인 eMBB, mMTC, URLLC가 좀 더 포

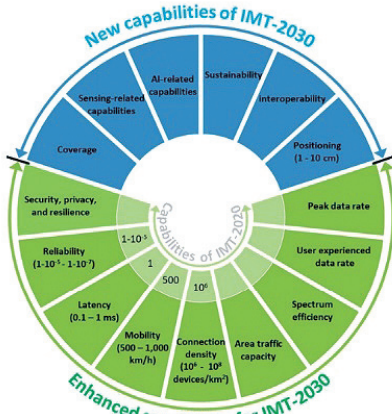


출처 Reprinted with permission from [1].

그림 1 6G 시나리오

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380611>

* 이 논문은 한국전자통신연구원 연구개발사업으로 수행되었음[과제명: 지능형 6G 모바일 코어 네트워크 기술 개발, 과제번호: 23HH6400].



출처 Reprinted with permission from [1].

그림 2 6G 기술역량

괄적인 용어로 재구성되어 소개되며, 추가적으로 세 가지 새로운 서비스가 추가되었다. 이 중 하나가 ISAC(Integrated Sensing and Communication)이다(그림 1). KPI의 경우에는 6개의 새로운 KPI가 추가되고, 기존의 9개 항목은 보다 고도화된 스펙을 요구하고 있다. ISAC은 Coverage 확장, Sensing 관련 역량 강화, 측위(Positioning)의 정밀화를 가능하게 한다(그림 2).

2. 국내의 ISAC 인지 수준

ISAC에 대한 인지 수준은 국내에서는 어느 정도 일까? 이를 조사한 통계 데이터가 없는 상황에서 SKT의 6G 백서(2023년 8월)에 나타난 내용을 보고 간접적으로 예측하는 방법을 사용해보자. ISAC은 6G의 주요 서비스임에는 분명하지만, 기존 통신 설계 패러다임과 매우 달라서 이것을 구축하려면 막대한 예산이 요구되므로 쉽게 도전하기 힘들기 때문이다[2].

- 백서에 따르면, 5G 시스템은 URLLC와 mMTC보다는 eMBB에 중점을 둔 멀티미디어

전송에 주력하고 있다는 사실이 확인되었다. 이러한 맥락에서 초지연 서비스의 고도화와 사물인터넷의 3GPP 통합은 ISAC보다 우선적으로 고려되어야 할 사항으로 해석된다.

- 한국의 통신 3사는 5G의 28GHz 대역, 즉 밀리미터파 대역의 신청을 하지 않았다. 이 대역을 활용하면 eMBB 서비스에서 요구되는 고대역을 더 효율적으로 제공할 수 있는데도 그렇게 하지 않았다. 이러한 결정은 현재로서는 고속 저지연 전송이 센싱보다 우선시되어야 한다는 판단에서 비롯된 것으로 보인다.
- 5G는 4G 시대의 모바일 동영상과 같은 킬러 서비스를 아직 제공하지 못하고 있다. 초기에는 3D 비디오, UHD 스트리밍, AR/VR, 자율주행, 원격수술 등이 킬러 서비스로 예상되었으나, 이러한 서비스들은 아직 활성화 단계에 이르지 못하였다. 이에 따라, 이러한 서비스에 더욱 집중할 필요가 있다.
- 백서에 따르면, 고객들은 4G에 비해 5G에서 기지국이 더 많이 구축되는 데 따르는 비용과 시간적 측면을 충분히 이해하지 못하고 있다. 이로 인해 완성도가 낮은 서비스를 초기에 빠르게 출시하면 클레임이 증가할 위험이 있어 조심스럽게 접근해야 한다.
- 백서는 XR, UAM, 자율주행차, 홀로그래픽 위치 등의 신규 디바이스 타입이 6G만의 서비스를 확산시키는 데 기여할 것으로 보고 있다. 5G와의 차별화를 명확히 하기 위한 시점에서, 이러한 디바이스가 킬러 서비스의 역할을 할 것으로 예상되며, 5G의 성숙도에 따라 ISAC에 관한 관심도 증가할 것으로 전망된다.
- 백서의 내용을 살펴보면 ISAC이 센싱 기술로서 묘사되고 있다. “6G 도입으로 인한 연관 산업의 활성화 및 시너지를 위해 기술 개발을 통

한 네트워크 인프라 측면의 성능 향상뿐만 아니라, 라이프 스타일의 혁신과 같은 고객의 관심사에 주목하고, 인공지능과 센싱 기술 등 미래 기술과의 융합 및 시너지를 모색하여 이동통신 서비스의 패러다임 변화를 추구해야 한다.”라고 밝혀졌다. 이를 통해 한국 통신사들이 ISAC을 ‘인공지능과 센싱 기술’이라는 추상적인 표현으로 인식하고 있으며, 이를 새로운 킬러 서비스로 인식하는 단계에는 아직 도달하지 않았음을 알 수 있다.

ETRI의 6G 비전에서는 ISAC이라는 용어 대신 ‘초정밀측위’라는 표현이 사용되었다. 당시 ISAC 서비스가 명시적으로 언급되지 않은 것에는 그 자체의 이유가 있을 것으로 추정된다. 센싱을 통해 다양한 공간과 시스템의 파라미터가 정밀하게 측정됨에 따라 KPI의 전반적인 향상은 필연적이다. 이러한 맥락에서 측위 서비스가 정밀도만 높아진다면 킬러 서비스로서 가장 주목받을 가능성이 크다고 해석할 수 있다.

II. ISAC의 일반 개요

ISAC의 복합적 특성은 통신과 센싱의 결합에서 기인한다. 이러한 다면적 특성 때문에 ISAC을 일관된 성격의 문헌으로 단일하게 기술하는 것은 적절치 않다. 따라서, 본 연구에서는 ISAC의 다양한 특성과 그 복잡성을 정확히 반영하기 위해 여러 각도와 관점을 통합하여 이를 포괄적으로 기술하였다.

1. 기본 개념: 통신과 센싱의 결합

ISAC의 기본 개념은 Radar 기술에 근간을 두고

있다(그림 3). 레이더 기술은 물체의 거리와 속도를 정확하게 측정하는 데 필수적이다. 만약 사용되는 주파수를 올리면 타겟 물체의 물성까지 분석할 수 있다. 또한, 6G 통신 기술의 맥락에서 로컬 센싱 기술의 통합은 무엇보다 중요하다. 이렇게 통합되면 실질적인 응용 분야에서 혁신적인 변화를 일으킬 것이다. 이런 넓고도 깊은 논의가 필요하겠지만 지면의 제약으로 인해 주요 개념을 나열하는 방식으로 요약하였다.

- ISAC 핵심 개념은 무선 센싱 기술(Wireless Sensing Tech)에 기반을 둔다. 이 기술은 전통적인 센싱 디바이스를 사용하는 방법이 아니라 더 진보된 접근 방식을 채택하여 전파 기술을 센서로 활용하며(NR as a Sensor), 이를 통해 이동통신망 자체를 강력한 센서(Turn the Network into a Sensor)로 전환한다. 즉 전파를 이용하여 땅굴을 발견하고, 차량의 하이패스 통과 여부를 검사하고, 초음파로써 태아의 모습을 그리는 것과 원리적으로 비슷하다.
- 자율주행차에 사용되는 무선 센싱 기술을 요약해보자. 자율주행차는 통신과 연결(Connected)되어 있으므로 하나의 UE여서 ISAC을 상상하기에 적합하다. 센서로는 레이더(Radar), 라이다(Lidar), 초음파 센서, 카메라가 있어서 거리 및 속도를 측정한다. Radar에 사용되는 전파는 마이크로파인데 주야간과 기상에 민감하

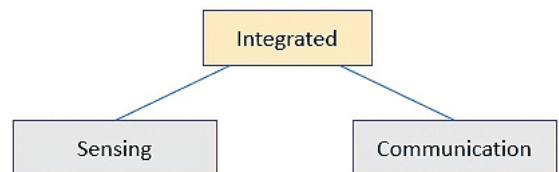


그림 3 ISAC 개념도

지 않아서 환경에 강건한 특징을 지니고 가격도 저렴하다. Lidar는 레이저라는 빛을 이용하므로 훨씬 높은 해상도를 얻을 수 있으나 환경, 오염물 등에 약하고, 가격도 매우 높다. 물론 자율주행차에서는 센서와 통신이 통합되지 않은 채 따로 존재(Co-existence)하여 크루즈 기능을 돕지만, ISAC은 말 그대로 통합(Integrated) 수준으로 구성된다.

- ISAC을 좀 더 일반화해서 설명하자면, 이동통신에서 이용되는 전파(Radio Wave)의 전송, 반사, 산란 등을 측정하여 IoT 센서처럼 사용하려는 것이다. 전파를 통해 보편적 센서(Universal Sensor)로 작동한다고 볼 수 있다. 따라서 이것을 NR as a sensor, Network sensor, Network as sensor, Radio sensor 등으로 다양하게 표현하고 있다. 그런데 Radar의 마이크로파가 아닌 6G의 밀리미터(mm)파 및 서브테라헤르츠(sub THz) 파, 테라헤르츠(THz)파를 사용하므로 물성 분석까지 가능한 것이다. 주파수 스펙트럼은 그림 4[3-5]와 같다.
- ISAC 시스템의 구축이 IoT 시스템보다 선호될만한 이유를 찾는다면 다음과 같다. 첫째, ISAC 시스템은 넓은 지역에 설치된 기지국을 활용할 수 있어 광범위한 지역에 대한 커버리

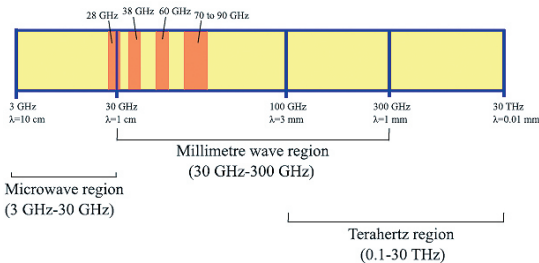
지 확장이 가능하다. 이는 설치 비용의 절감과 함께 짧은 파장의 사용으로 인한 측정 정확도의 향상을 수반한다. 둘째, 카메라를 사용하지 않고도 사람의 동작과 제스처를 정밀하게 인식할 수 있는 기술적 우수성은 개인의 프라이버시 보호에 기여한다. 이러한 특성은 ISAC 시스템이 기존 IoT 시스템을 대체할 수 있는 강력한 잠재력을 내포하고 있다.

ISAC은 통신과 컴퓨팅의 이중 결합을 통해 혁신적인 서비스를 제공하는 전략을 채택하고 있다. 이러한 접근 방식은 JCAS(Joint Communication and Sensing) 및 JRC2LS(Joint Radar, Communication, Computation, Localization, Sensing)와 같은 개념과 연관성이 있다. 이러한 통합적 접근은 Radar Sensing 기술과 Communication 기술이 각각 독립적으로 발전해왔던 전통적 패러다임을 전환하는 방향으로 진화하고 있다. 6G 시스템의 도입과 함께 이 두 기술 영역은 통합되어, 상호 보완적이며 협력적인 기능을 발휘하게 될 것으로 예상된다. 이러한 통합은 더욱 향상된 서비스 품질과 다양한 응용 분야로의 확장을 가능하게 할 것이다.

2. Enabling Technology 원리

통신과 센싱의 결합은 복잡하고 도전적인 목표로서, 이를 실현하기 위한 기술적 요소들을 탐색하는 것이 중요하다. 밀리미터파의 전파 특성, 셀룰러 시스템의 구조, 빔포밍 기술, RIS(Reconfigurable Intelligent Surface) 기술, 그리고 AIML(Artificial Intelligence and Machine Learning) 기술 등이 이러한 통합을 지원하는 주요 기술적 요소로 도출된다. 각 기술에 대해서 요약하였다.

- 현재 레이더 기술에서 주로 활용되는 마이크



출처 Reprinted from [3].

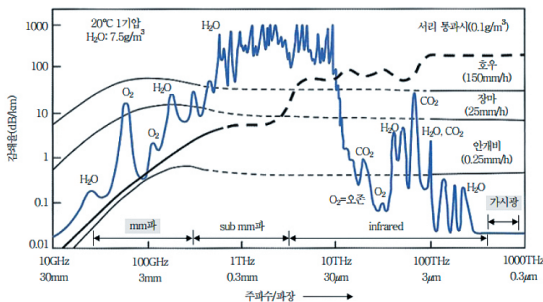
그림 4 주파수 스펙트럼

로파는 주야간, 오염, 그리고 기상 조건에 민감하지 않은 강건한 특성을 지니고 있다. 그러나 밀리미터파와 서브테라헤르츠파는 기상 조건의 변화에 민감하게 반응한다. 구체적으로, 그림 5와 같이 산소와 수증기의 함량 변화에 따라 이들 전파의 감쇄율이 변동함을 알 수 있다. 이러한 특성은 통신의 효율성과 안정성 측면에서는 단점으로 여겨질 수 있으나, 이를 역이용한다면 기상 조건을 ‘센싱’하는 데 활용 가능성이 있다.

- 빔포밍은 무선 통신에서 신호를 특정 방향으로 집중하여 전송하거나 수신하는 기술로, 신호의 효율성을 높이고 간섭을 줄이며 커버리지를 확장하는 데 도움이 되는 기술이다. 6G는 더 높은 데이터 전송 속도, 더 낮은 지연 시간, 더 많은 연결, 더 나은 신뢰성을 제공하려는 목표를 가지고 있으며, 이러한 목표 달성을 위해 빔포밍이 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 빔포밍을 통해 신호를 특정 방향으로 집중시켜 데이터 전송 속도를 높이고 네트워크의 전체 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한, 신호를 특정 디바이스나 방향으로 집중시킴으로써 주변의 불필요한 간섭을 줄이고, 신호의 범

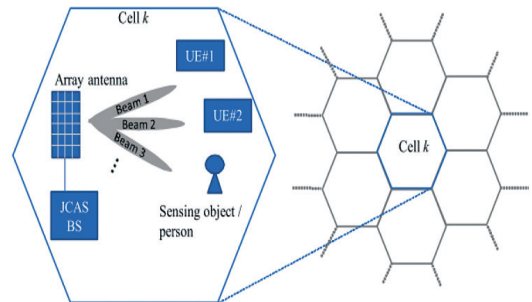
위를 확장하여 더 먼 거리의 디바이스에도 신호를 전달할 수 있게 된다.

- 센싱과 통신이 통합되는 ISAC의 기반에는 그림 6과 같이 셀룰러 시스템이 있기 때문이다. 이 시스템은 네트워크를 여러 개의 작은 셀로 나누어, 각 셀에서 동일한 주파수 대역을 공유한다. 이러한 구조 덕분에 셀룰러 시스템은 작은 스펙트럼 할당으로도 넓은 지역에 서비스를 제공할 수 있으며, 주파수 사용이 효율적이다. 또한, 네트워크 용량을 높이고 쉽게 확장할 수 있는 장점을 가진다. 6G의 경우 훨씬 더 많은 스몰 셀이 필요하므로 셀 경계 간 간섭을 줄이는 기술이 더 필요하다.
- RIS(재구성이 가능한 지능형 표면)는 밀리미터파의 투과력이 약한 약점을 보완하는 데 효과적인 기술로 인식되고 있다. 이 기술은 물질의 유전율과 전도율을 조절함으로써 다이폴 안테나 원리를 활용하여 진입 전파의 투과, 반사, 굴절 등에 영향을 미치는 능력이 있다.
- ISAC 기술은 센서와 통신 시스템의 통합을 통해 정밀한 감지와 제어 능력을 향상시키는 데 중점을 둔다. 반면, AI와 ML은 데이터의 효율적인 처리와 해석을 통해 패턴 인식, 예측, 그



출처 Reprinted from [4], 공공누리 4유형.

그림 5 주파수와 감쇄



출처 Reprinted from [5], CC BY 4.0.

그림 6 셀룰러 시스템

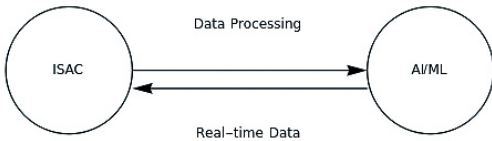


그림 7 AI ML 기술

리고 의사 결정 과정을 최적화하는 데 기여한다. 이러한 맥락에서 그림 7과 같이 ISAC과 AI/ML 간의 시너지는 무시할 수 없다. AI/ML 알고리즘은 ISAC 시스템의 데이터 처리와 분석 능력을 효과적으로 강화하여, 센서 데이터의 정확도와 신뢰성을 높이며, 컨트롤 응답의 효율성을 증대시킨다. 또한, ISAC은 AI/ML에 대한 실시간 데이터를 제공하여 알고리즘의 학습과 최적화를 지원한다.

3. Ambient IoT와의 차이점

ISAC과 Ambient IoT 간의 구분은 매우 중요해서 여기에서 정리한다. 이 기술의 원래 이름은 Ambient Power-enabled IoT이다. 이는 ‘주변에 있는’이라는 의미로, 존재감이 상대적으로 약한 상태를 의미한다. 이 용어는 IoT에서 적은 양 혹은 배터리가 없는 것에 의미가 있다.

그 비밀은 에너지 하베스팅 혹은 커퍼시티와 같은 작은 에너지 저장소를 활용하는 데 있다. 이를 수동적 IoT(Passive IoT)로 분류할 수 있다. 기존의 IoT와 비교했을 때, Ambient IoT는 에너지 소비가 1~500mW로 100배 축소되었고, 비용도 0.01~0.5 달러로 기존보다 10배 저렴하다. 통신 속도 면에서도 기존 IoT 통신 기술인 Bluetooth, LoRa, sigfox, zigbee 등에 비해 10kbps로 10배 더 낮은 데이터 전송 속도를 목표로 하고 있다[6].

이러한 Ambient IoT의 발전은 IoT 디바이스의 활용 범위를 급격히 확장시킬 것으로 예상된다. 특히, 전원 공급 문제로 인해 이전에는 제한적이었던 농장, 시골, 공장과 같은 광범위하거나 거친 환경에서의 IoT 디바이스 사용이 활성화될 것이다.

먼지처럼 작은 크기로 개발된 센서가 기존 5GS 또는 IoT 시스템에 쉽게 통합될 것으로 생각될 수 있으나, 이러한 전제는 다소 잘못된 해석이다. Ambient IoT, 특히 에너지 하베스팅 기술은 고유의 불안정한 에너지 공급 특성과 더불어 수많은 센서에 대한 데이터 전송량의 극도로 제한된 범위 때문에 기존의 SIM 기반 인증과 등록 방식, PDU 세션 컨셉과는 별개의 설계 방식을 필요로 한다.

이러한 현상은 포유류의 번식 전략 중 소수의 자손을 출산하고 이를 정성스럽게 양육하는 전략과 대조적으로, 물고기의 번식 전략 중 수억 개의 알을 낳아두고 이들 중 일부만이 생존할 수 있는 전략 사이에서 유사성을 갖추고 있다. 다시 말해, 기존의 통신 시스템 패러다임과는 체계적으로 차이가 나며 혁신적인 접근 방식을 요구하고 있다.

최종적으로, ISAC은 이동통신망을 활용하여 라디오 센서처럼 작동하는 개념을 내세우고 있다. 반면, Ambient IoT는 에너지 하베스팅 기술을 통해 전통적인 IoT 디바이스의 전원 공급 문제를 해결하고, 이를 통해 IoT의 사용 범위를 획기적으로 확장하는 데 중점을 둔 기술이다. 이 두 기술은 각각의 독특한 방식으로 IoT의 성능과 적용 영역을 확대하는 데 기여하고 있다.

4. M.2516의 기술 요약

ITU-R의 M.2516 문서에는 ISAC의 Waveform 설계에 관한 내용이 포함되어 있으며, 이는 디지털 트윈의 기초 기술로서의 역할을 강조하고 있다. 이

리한 기술적 맥락은 디지털 트윈 기술의 발전과 구현에 있어 ISAC의 중요성을 더욱 강조하고 있다 [7].

- ISAC은 센싱과 통신의 융합체로 정의될 수 있다. 여기서 센싱은 물체의 감지, 거리의 측정, 위치의 지정, 추적, 이미징 등의 과정을 포함한다. 과거 IMT 시스템의 맥락에서는 센싱과 통신은 별개의(Separated) 도메인으로 개발되고 운용되었다. 그러나 6G 시대의 도래와 함께, 이 두 분야는 통합적인 접근 방식 아래에서 재조정되고 통합(Integrated)되었다.
- 센싱과 통신의 통합 수준은 세 가지 단계로 구분될 수 있다. 초기 단계인 ‘co-existence’에서는 서로 다른 하드웨어를 사용하면서 공유 정보를 활용하지 않는 방식이 채택된다. 이어지는 ‘cooperation’ 단계에서는 여전히 분리된 하드웨어를 기반으로 하되, 상호 정보 공유 메커니즘이 도입된다. 현재 6G 시스템의 추구하는 ‘integrated’ 단계에서는 단일 시스템을 통한 정보 공유와 센싱-통신의 동시 진행이 중점으로 취급된다.
- Waveform 설계는 시간, 주파수, 공간의 분리를 활용하는 기술적 접근 방식이다. 이 설계 맥락 내에서는 트레이드오프 관계와 상호 이익 관계, 이 두 가지 주요 요소가 동시에 존재한다. 트레이드오프 관계에서는 센싱과 통신 간의 균형을 맞추는 것이 중요하다. 센싱에 더 큰 비중을 두게 되면 통신의 성능이 상대적으로 감소하는 경향을 보이며, 반대로 통신을 강화하면 센싱의 능력이 약화된다.
- 단대단 서비스(End to End Service)의 구현을 위해서는 여러 기술적 영역에서의 도전을 해결하는 것이 필수적이다. 이러한 도전은 하드웨어, 웨이브폼, 조인트 웨이브폼 디자인, 최적

화, 높은 주파수로 인한 하드웨어 결합 해결 등 다양한 요소에 걸쳐 존재한다. 특히, 웨이브폼 설계에서는 레이더의 churk 방식과 통신의 OFDM 방식 간의 기술적 차이를 극복해야 하는 중요한 과제가 있다. 이 두 방식의 기술적 특성과 요구사항의 다양성은 통합 솔루션을 탐색하는 과정에서 복잡성을 증가시킨다.

- 센싱 기술은 물리적 세계와 디지털 세계 간의 연결 매개체로서 ‘새로운 채널’을 제공한다. 이 채널을 통해 물체의 형태, 거리, 재질 등을 정확히 파악하게 되므로, 이러한 센싱 기술은 디지털 트윈 구축의 핵심 기반이 된다. 추가적으로, 통신의 한계점 중 하나인 외부 세계에 대한 인식 및 센싱 능력이 향상됨으로써 통신 영역의 확장성과 유연성이 증가하는 효과를 얻을 수 있다.

5. 중국 Huawei와 유럽의 실험

ISAC의 현재 상황을 알기 위해 중국 Huawei와 유럽의 Hexa-X프로젝트의 2개 실험을 소개하고자 한다(그림 8)[9,10].

2022년 3월의 보고에 따르면, Huawei의 6G 연구팀은 100~300GHz 대역에서 작동 가능한 테라헤르츠(ISAC-THz) 대역을 사용하여 단말기의 고정밀 감지에 대한 실험을 수행하였다. 실험은 닫힌 상자 내부에 위치한 물체의 문자를 THz 파를 활용하여 식별하는 것에 중점을 두고 있었다. 프로토타입 단말기는 140GHz의 캐리어 주파수, 8GHz의 대역폭, 그리고 4TX16R MIMO 어레이를 구현하였다.

THz 파는 안테나로부터 발생되어 상자를 관통한 뒤 상자 내부의 물체에 반사되어 다시 수신기로 반환된다. 이러한 과정에서 복잡한 알고리즘을 적



Figure 3-6: Hardware setup

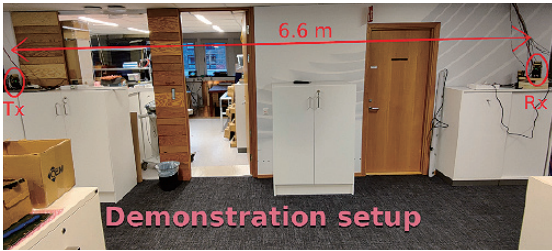


그림 8 HEXA-X PoC 실험

출처 Reprinted from [10].

용하여 신호를 실시간으로 처리하고, 해당 데이터를 기반으로 이미지를 생성한다. 이 연구는 THz 파의 고정밀 감지 능력을 확인하고, 이를 바탕으로 미래의 통신과 센싱 기술의 발전 가능성을 탐색하는데 중요한 기여를 하였다.

실외 환경에서의 실험도 진행되었다. 송신기는 건물 옥상에 설치된 표준 기지국에서 약 500m 떨어진 위치로 240Gbps의 데이터를 직선거리의 무선 인터페이스를 통해 전송하였다. 사용된 프로토타입은 13.5GHz의 대역폭과 220GHz의 주파수에서 작동하였다. 2x2 편파 MIMO 아키텍처와 초광대역, 낮은 비트 양자화 디지털 베이스밴드 처리 기술이 결합되어 채널 추정, 이퀄라이저, 비선형 보상, 복조, 및 디코딩과 같은 고급 신호 처리 기능을 수행하였다. 이러한 구성은 THz 대역에서 실외 초고속 통신이 가능함을 실험적으로 확인하였다. 이 결과는 THz 대역이 미래의 무선 통신 네트워크에서 중요한 역할을 수행할 수 있음을 시사하며, 이에 따른 연구와 개발이 계속될 필요성을 강

조한다.

유럽의 Hexa-X 프로젝트는 다양한 PoC(Proof of Concept)를 통해 6G 기술의 가능성을 탐구하고 있다. 특히, 네 가지 주요 PoC 중 “Joint communication and sensing”은 ISAC 관련 연구의 중요성을 강조한다. 이 PoC는 통신 신호를 활용하여 실내 환경에서 사람의 움직임과 위치를 레이더 기능으로 추정하는 실험을 중심으로 진행되었다.

실험의 파라미터 설정은 다음과 같다. 통신은 캐리어 주파수 60GHz, 대역폭 800MHz, OFDM 방식의 64-QAM을 사용하였으며, Tx와 Rx의 직선거리는 6.6m로 설정하였다. 실험 과정에서 16%의 시간은 통신에, 나머지 84%의 시간은 센싱을 위해 빔 스위핑을 활용하였다.

이러한 실험 설정을 통해 서브테라헤르츠 주파수 대역에서 OFDM 통신 방식을 활용하며 레이더 위치 추적 기능의 기초적인 특성을 검증하였다. 이를 통해 높은 주파수 대역에서의 반도체의 정상 작동 여부, 즉 hardware impairment에 대한 초점을 맞추었음을 알 수 있다.

III. 유스케이스(TR22.837)

ISAC의 다양한 유스케이스는 3GPP TR22.837 문서에 상세하게 기술되어 있다. 그러나 실제로는 시장의 수요와 경제적 가치를 중심으로 기술 개발이 진행될 것으로 예상된다. 이 문서에는 특별한 분류 체계 없이 26개의 유스케이스가 있다. 상당히 현실과 벗어난 사례도 많으나 몰입형 XRM 서비스에 해당하는 Seamless XR streaming이 킬러 서비스로 본다고 판단된다. 본고에서는 4개의 카테고리에서 대표적인 4개의 사례만 소개하였다[11]. 분류 방법은 필자가 임의대로 하여 표 1에 기록하였다.

- [홍수경보] 비즈니스 인프라가 미발달한 시골

표 1 유스케이스 분류

분류	번호 및 유스케이스
야외	02. 고속도로에서 로드킬과 쏟아진 운송 물품을 감지 03. 투과력이 약한 전파특징을 이용하여 정밀 강우 예측 05. 기지국 간의 반사 전파를 이용한 홍수 모니터링 06. 논과 밭에 들어오는 멧돼지와 고라니를 감지 07. 철로에 뛰어드는 짐승을 감지
이동체	09. AGV 주행을 위한 정밀 측위 10. 드론의 궤적 추적 12. 드론 충돌 예방 13. 드론 금지구역 발견 22. 발전소 근처로의 UAV 접근 감지 23. 공장 내 AMR 충돌 방지
홈	01. 도난 방지를 위한 침입 감지 15. 비접촉 방법으로 수면 모니터링 서비스 16. 비인종 정보 잠금 17. 노인건강 모니터링 18. 노인건강 모니터링2 21. 끊임없는 XR 스트리밍 24. 스포츠 모니터링 25. 물입을 위한 조명과 사운드 최적화
기타	04. 개활지에서 대상의 위치를 파악 08. 좀 더 정확한 ADS를 위한 신호 측정 11. 사거리 도로에서 숨은 장애물 감지 14. 관광지 입장객 흐름 제어 19. 다수 센서 이용하기 20. 주차영역 발견 26. 도로 차선에서의 정확한 센싱

과 같은 지역에서는 독립적인 IoT 장치의 설치와 운영이 어렵다. 예컨대, 일정 지역에서 홍수 또는 야생동물의 주기적인 출현이 문제가 될 수 있지만, 그러한 넓은 영역에 카메라 시스템을 체계적으로 배치하는 것은 비용적, 기술적 어려움이 있다. 카메라의 시야 각도와 위치를 동물의 출몰 패턴이나 홍수 발생 지역에 맞추어 조절하는 것은 실질적으로 실행하기 복잡하다. 반면, 전파 기반의 모니터링 시스템은 이러한 공간적 제약 없이 넓은 지역을 경제적으로 효과적으로 감시할 수 있는 장점이 있다.

- 드론과 공장 내 자동화 로봇(AGV, AMR)이 경제적 효율성을 극대화하는 비즈니스 모델로 주목받고 있다. 특히 드론의 경우, 육상과 공

중을 모두 활용하는 복합 통신 네트워크에서 그 중요성이 더욱 부각된다. 이러한 네트워크에서 드론은 충돌을 방지하고, 지정된 금지 지역을 피하며, 위험 시설에 접근할 때 적절한 감지와 대응이 있어야 한다. 이러한 복잡한 운영 환경에서 ISAC은 중요한 역할을 할 것이다.

- [수면 모니터링] 밀리미터파 기술의 발전은 인체의 제스처 감지와 관련된 다양한 응용 분야에서 혁신적인 변화를 촉발할 수 있다. ISAC은 인체의 미세한 움직임과 제스처를 정밀하게 감지할 수 있는 능력을 갖추고 있으며, 이를 통해 수면 모니터링, 노인 낙상 모니터링, 스포츠 동작 코칭 등의 응용 분야에서 중요한 역할을 수행할 수 있다.
- [복합센서] ISAC의 구현과 활용을 위해서는 비 3GPP 센서(예: Lidar, Radar, 카메라 등)의 통합과 관리가 필수적이다. 이 사례는 이러한 센서들의 다양성과 복잡성을 고려하여, 효율적이고 안정적인 센싱을 가능케 하는 센서와 통신 프로토콜의 개발과 최적화를 제안하고 있다.

N. 3GPP 기고서 이슈

3GPP의 기술 발전은 빠르게 진행되고 있어, 정보의 최신성을 유지하는 것이 중요하다. 본고는 2023년 5월 베를린 회의를 기준으로 작성되었다.

기고서를 내는 기업은 china Mobile, Huawei, vivo, OPPO, samsung, xiaomi 등이다. 이러한 기업의 공통점은 새로운 서비스를 통해 시장 영역을 확장하려는 전략을 채택하고 있음을 확인할 수 있다.

베를린 회의 기고서는 표 2와 같이 정리할 수 있다. 기고서들을 분석하면 다음과 같은 예상과 분석을 도출할 수 있다.

- SA1의 유저 케이스 스터디의 완료와 함께

표 2 ISAC 기고서 요약

기업	특징
china Mobile[12]	ISAC이 5GS로 가는 New challenges/opportunities란 주제로서 motivation, sensing mode, sensing contents(action & gesture, shape & size, motion state, info of weather-air quality), user case(드론, 공장, 표준화 일정, 새로운 구조 등의 종합적인 내용)
vivo[13]	sensing mode를 가장 세부적으로 나누고, 이에 따른 구조의 여러 대안(SF의 위치)을 제시함. 또한, 다른 기고서에는 없는 coordination between RAN and SA가 도표로 제시됨. 4개의 WT(architecture, enhancement, procedures, QoS & policy, non-3GPP sensing data usage)
oppo[14]	User case를 5개로 분류하고, sensing method (집은 UE sensing, 환경 모니터링은 gNB sensing)를 3개로 분류함. 현재의 LCS와 sensing을 비교하는 표를 만들. R19 Base란 현안 문제, 아직은 이상적인 문제를 분류함. 현안은 UP sensing, Quality management, Node discovery and selection, Authorization 등임. 미래 문제에서는 Edge processing, coordination with AIML 등도 있음
xiaomi[15]	sensing system의 주요요소를 나열하고 channel과 consumer를 강조함. 5GC의 2가지 option을 제안함. op1은 새로운 NF를 추가하는 것이고, op2는 기존의 eLCS/Ranging SL 구조를 활용함
huawei[16]	표준 일정과 RAN과의 협업에 대한 주요 커멘트 4개가 있음. “a future-proof for supporting all potential sensing modes and is free of RAN dependency”의 방향성. SA1 요구사항은 80%로 2023년 6월에 완료되고, 2023Q3부터 RAN과 SA2 일정이 강하게 진행됨. 즉 현재 상황으로만 ISAC 발전을 파악해서는 안 됨
삼성[17]	“discussion of system aspects of non-3GPP sensing” 주제로서 2page 임. TR22.837의 Transparent Sensing, Sensor Groups, Seamless XR streaming 등에서 non-3GPP sensing(LiDAR, video, sonar) 가능성을 보았음. 공공장소의 3D 매핑을 통한 Digital Twin 상상이 있음

출처 Reproduced from [12-17].

SA2의 구조 논의가 2023년 3분기부터 시작될 것으로 예상되며, 관련 RAN 작업은 2024년 1분기부터 진행될 것으로 예측된다. 현재 주목받는 Task 3개에 대해 살펴보면, WT1은 전반적인 아키텍처 이슈에 집중하고 있다. WT2는 exposure, discovery, control param-

ter, QoS control 등에 관한 논의를 포함하고 있으며, WT3는 시그널링에 대한 주제를 다루고 있다.

- 아키텍처 논의의 핵심은 센싱 모드에 이해에서 시작된다. 통신 분야에서는 송신기와 수신기가 분리된 bistatic 모드가 일반적이지만, 레이더 기술에서는 monostatic 모드, 즉 송신 신호를 발사하여 타겟에 의한 반사 신호를 수신하는 방식이 일반적이다. 이러한 구조적 차이를 극복하고, 각 모드에 따라 적절한 시그널링과 프로토콜을 설계하는 것이 중요하다.
- 시장성 있는 유스케이스에 대한 고려 역시 필수적이다. 여기서 시장성이란 기술의 성숙과 시장의 수요가 만나 경제적 효과를 창출하는 것을 의미한다. 각 센싱 모드에 따라 특정 시장의 존재를 인식하는 것이 중요하며, BS monostatic 모드가 가장 유망한 시장을 가지고 있을 것으로 예상된다. 기지국 간의 센싱 모드는 홍수 경보, 기상 재해 등의 자연재해 경보 시스템에 적합하다. UE monostatic 모드는 개인 단말기가 레이더 기능을 수행함으로써 수면 패턴 감지, 노인 제스처 감지, 가정 내 침입자 감지 등에 활용될 수 있다.
- 이해관계자의 다양성도 ISAC의 구조와 역할에 영향을 미친다. 센서값을 생성하는 엔터티와 이를 필요로 하는 고객이 다를 수 있으므로, 중계를 용이하게 하기 위한 SF 배치, 서버 배치, 그리고 이해관계자들의 역할 구분이 중요하다.

V. 결론

6G의 비전 중 하나는 ‘Internet of Sensor’의 구현이며, 이를 위해 ISAC의 6G 채택이 불가피하다고

- Integrated Sensing and Communication," May 2023, S2-2306535.
- [16] Huawei, HiSilicon, SA2 Meeting #157 Berlin, Germany, "New SID on 5G Architecture Enhancement for Ambient IOT Service," May 2023, S2-2306807.
- [17] Samsung, SA2#157 Berlin, Germany, "Discussion on System Aspects of non-3GPP Sensing," May 2023, S2-2307255.