



White Paper

Integrated Sensing & Communication

목 차

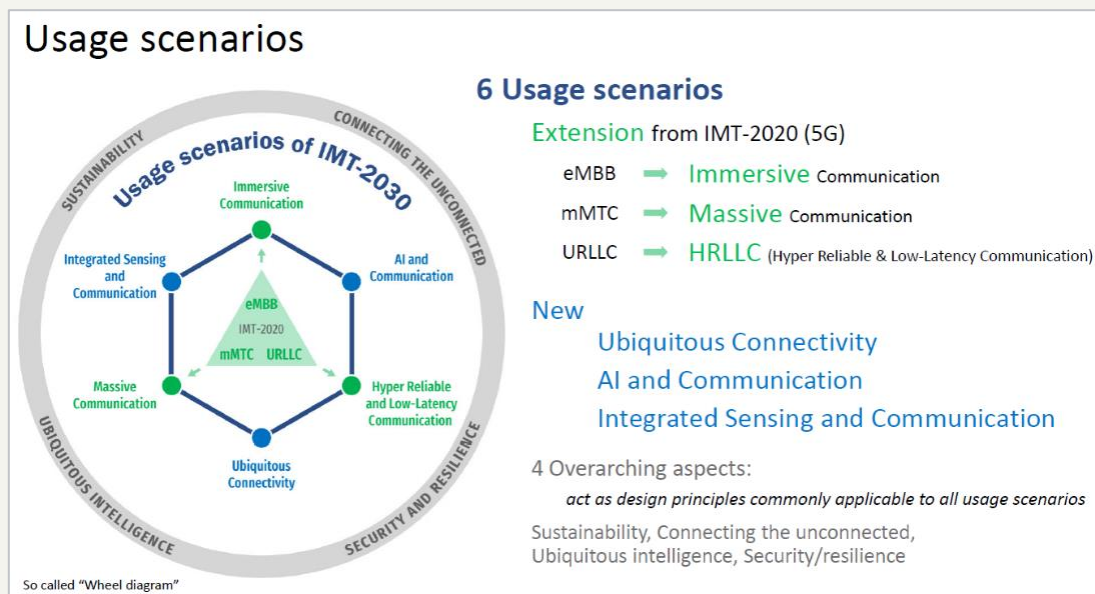
1. 서론: 6G 시대, 통신과 센싱의 융합.....	2
1.1. 5G 를 넘어 6G 로 : IMT-2030 비전과 통신 패러다임의 전환	2
1.2. ISAC 의 부상: '연결'을 넘어 '인지'로 확장되는 네트워크	3
1.3. 백서의 목적과 구성	3
2. ISAC 개요.....	4
2.1 ISAC 의 개념 및 기술적 원리.....	4
2.2 ISAC 기술동향.....	6
2.3 글로벌 표준화 동향.....	8
3. ISAC 주요 활용 사례 (Use Case).....	9
3.1 주요 ISAC 서비스	9
3.2 ISAC 시나리오 및 요구 사항	10
3.3 통신사 관점의 새로운 기회 및 시사점.....	14
4. ISAC 구현을 위한 핵심 기반 기술.....	14
4.1 통신-센싱 융합을 위한 물리채널	14
4.2 통신-센싱 성능 트레이드오프 분석 및 최적화 기술	16
4.3 차세대 RF/안테나 기술	17
4.4 시스템 아키텍처	19
4.5 AI/ML 기반 환경 인지 및 예측 기술	20
5. 결 론.....	22
Abbreviations	23
Reference.....	25

1. 서론: 6G 시대, 통신과 센싱의 융합

1.1. 5G 를 넘어 6G 로 : IMT-2030 비전과 통신 패러다임의 전환

지난 수십 년간 이동통신 기술은 10년 주기의 세대적 진화를 거듭하며 사회와 산업 발전의 필수 인프라로 자리매김했다. 4G(LTE)가 모바일 동영상 스트리밍 시대를 열고, 5G는 초고속(eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC)이라는 세 가지 핵심 성능을 바탕으로 확장현실(XR), 스마트 팩토리, 사물인터넷(IoT), NTN 등 다양한 융합 서비스의 가능성을 제시했다. 그러나 5G 상용화 이후 수년이 지난 현시점에서의 평가는 4G 시대의 스마트폰과 모바일 동영상처럼 시장을 폭발적으로 견인하는 '킬러 애플리케이션'의 부재에 대한 아쉬움을 표하고 있다. 특히 URLLC와 mMTC 서비스의 상용화는 일부 산업 분야에 국한되어 있으며, 5G의 킬러 서비스로 기대를 모았던 XR 서비스도 대중화되지 못하며 5G의 온전한 가능성을 펼치지 못하였다.¹

이러한 상황 속에서 국제전기통신연합(ITU)을 비롯한 글로벌 기술 표준화 기구들은 2030년 상용화를 목표로 하는 6G 이동통신에 대한 비전 수립에 착수했다. ITU-R(ITU Radiocommunication Sector)이 제시한 6G 비전, 즉 'IMT-2030' 프레임워크는 6G가 단순히 5G의 성능을 개선하는 수준을 넘어, 통신 네트워크의 역할과 패러다임 자체를 근본적으로 바꾸는 변혁을 가져올 것임을 시사한다. IMT-2030은 기존 5G의 세 가지 사용 시나리오를 확장하는 동시에, '센싱·통신 융합(Integrated Sensing and Communication, ISAC)', '인공지능 통신 융합(Integrated AI and Communication)', '유비쿼터스 연결(Ubiquitous Connectivity)'이라는 세 가지 새로운 사용 시나리오를 공식적으로 채택했다.¹



[그림 1] ITU-R 6G Usage scenarios

이러한 비전의 핵심은 통신 네트워크가 데이터 전송이라는 전통적인 역할을 넘어, 새로운 부가가치를 창출할 수 있다는 점이다. 6G는 물리적 세계와 디지털 세계 간의 밀접한 융합을 가능하게 하는 네트워크로 진화할 것이며, 이를 통해 인간·사물·서비스 전반의 연결성이 한층 강화되어 단순한 전송 인프라를 넘어 주변 환경을 인지하고 이에 적응할 수 있는 기능적 기반을 제공하게 될 것이다.

1.2. ISAC의 부상: '연결'을 넘어 '인지'로 확장되는 네트워크

IMT-2030 비전의 핵심 기술 중 하나로 ISAC(Integrated Sensing and Communication)가 주목받고 있다. ISAC은 기존 통신 인프라와 무선 신호를 단순 전송 수단에 그치지 않고, 주변 환경과 객체의 상태를 감지·분석할 수 있는 센서로 활용하는 개념이다. 다시 말해, 네트워크 전체가 센서로 기능하도록 하는 접근으로, 기존 무선 통신 패러다임에 새로운 차원을 추가한다. ISAC의 가장 큰 차별점은 네트워크에 연결되지 않은 비단말(passive) 객체까지 탐지할 수 있다는 점이다. 예를 들어, 단말기를 보유하지 않은 보행자의 움직임, 도로 위 장애물, 제조 설비의 미세 진동 등도 감지 대상이 된다. 이는 무선 신호가 객체에 반사·산란·회절되는 특성을 활용함으로써, 위치뿐 아니라 거리, 속도, 각도, 크기와 같은 다양한 매개변수를 추출할 수 있기 때문이다.

5G가 상용화 과정에서 명확한 투자수익률(ROI)을 제시하는 데 어려움을 겪었던 점은 ISAC장점을 부각시키는 근거가 되었다. ISAC은 'Sensing-as-a-Service'라는 구체적인 수익 모델을 제시함으로써, 통신 사업자가 이미 구축한 기지국 인프라를 기반으로 추가 대규모 투자 없이 새로운 센싱 서비스를 제공할 수 있는 가능성을 보여준다. 이런 맥락에서 ISAC은 6G시대를 견인할 핵심 성장 동력으로 평가되고 있다. 실제로 ISAC은 ITU-R에서 정의한 6대 핵심 사용 사례에 포함되면서, 5G의 "모든 것을 연결"하는 역할을 넘어 6G: "모든 것을 인지"하는 역할로 확장될 잠재력을 인정받고 있다.

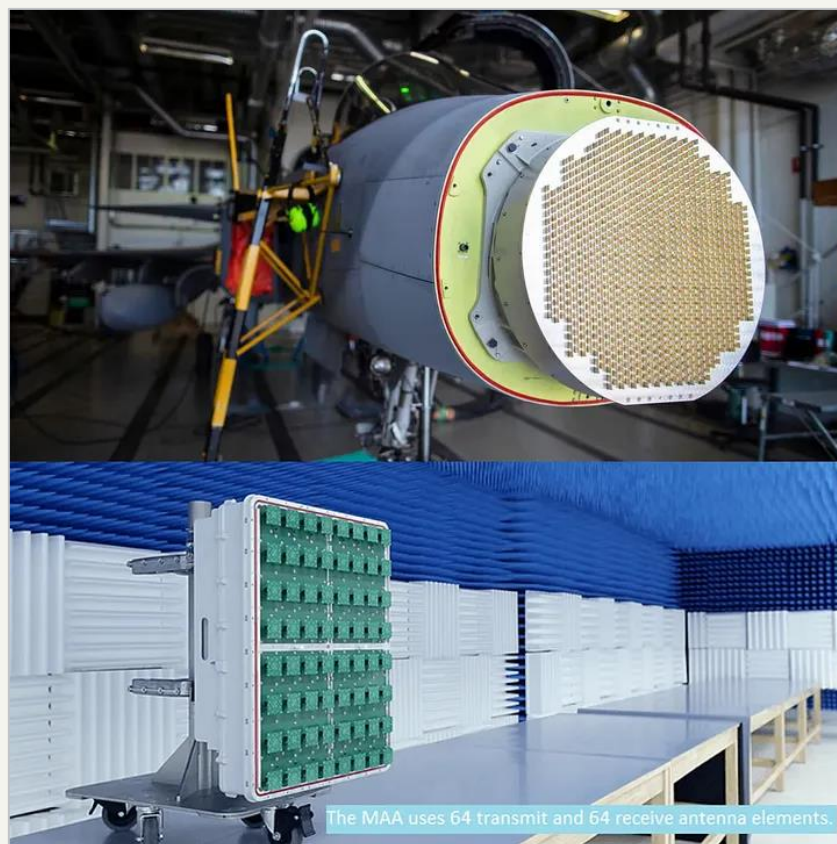
1.3. 백서의 목적과 구성

본 백서는 6G시대 주요 기술로 부상한 ISAC에 대한 LG유플러스의 관점을 제시한다. 우선 ISAC의 개념과 원리를 정리하고, 다양한 산업 분야에서 예상되는 활용 시나리오와 사업 모델을 논의한다. 이어 ISAC구현에 필요한 기반 기술과 표준화 동향, 그리고 기술적·산업적 과제를 검토한다. 마지막으로, ISAC이 향후 통신 사업자와 장비 제조업체, 서비스 기획자, 연구개발자에게 제시하는 기회와 과제를 살펴보고, 6G시대 준비를 위한 전략적 시사점을 제공하고자 한다.

2. ISAC 개요

2.1 ISAC의 개념 및 기술적 원리

센싱 기술의 개념이 무엇인지 이해하기 쉽도록 간단히 예를 들면, 현재 가장 많이 사용되고 있는 대표적인 센싱 기술로 군대에서 항공기와 미사일 등의 탐지와 추적을 위해 사용하는 레이더를 들 수 있다. 이동통신 네트워크에서 레이더와 같은 센싱 기능을 활용할 수 있게 된 것은, 레이더와 기지국 안테나의 하드웨어 구조가 비슷해 진 덕분에 기지국에서도 레이더의 표적 탐지 및 추적 기술을 쉽게 적용할 수 있게 된 영향이 크다.



출처 - (위) 'Active Electronically Scanned Array radar' SAAB[1], (아래) 'AirScale Massive MIMO Adaptive Antenna' Nokia[2]

[그림 2] 레이더와 기지국 안테나 형상 비교

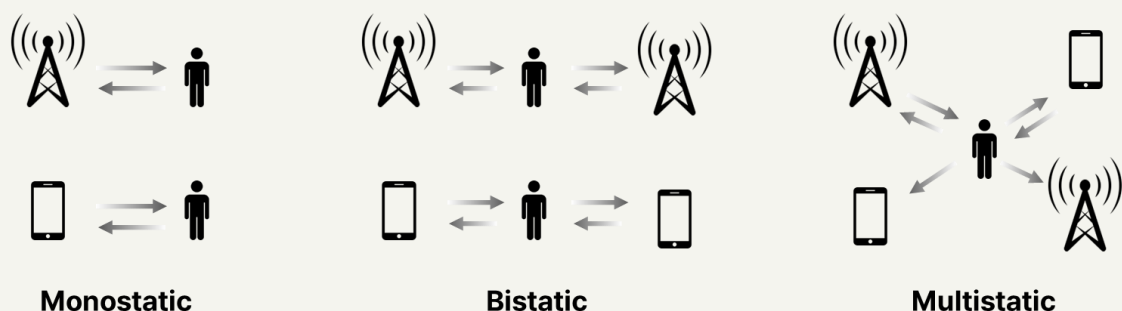
위의 사진은 전투기의 전방에 탑재되는 레이더이고, 아래의 사진은 5G 기지국의 안테나이다.

현대의 레이더는 전파가 전송되는 방향을 기계적으로 조정하면서 물체를 탐지하는 대신에 배열 안테나를 구성하는 수 백, 수 천 개의 안테나 요소 각각의 위상을 조절함으로써 특정 방향으로 송신 전파를 집중시켜 물체를 탐지할 수 있다.

동일한 방식으로 5G 기지국의 안테나도 수십, 수백 개의 안테나 요소의 위상을 조절하여 스마트폰 등의 단말이 위치한 특정 방향으로만 지향성 전파를 전송하는 방식으로 신호의 세기를 높여 보다 먼 거리에서도 통신이 가능하도록 해 주는 빔포밍(beamforming) 기술을 사용한다.

이와 같이 레이더와 기지국 안테나는 동일한 방향으로 수렴 진화한 결과, 거의 유사한 하드웨어를 갖추게 되었다. 단지 차이점은, 레이더는 특정 방향으로 전파를 전송한 후 물체에 반사되어 돌아온 신호를 감지하는 방법으로 물체의 거리와 방향을 측정하는 반면, 5G 기지국 안테나는 특정 단말이 위치한 방향으로 전송하는 전파에 데이터를 실어 보낼 뿐이다.

ISAC 의 동작 방식은 센싱에 참여하는 기지국과 단말의 조합에 따라 Monostatic, Bistatic, Multistatic 으로 구분할 수 있다. Monostatic 센싱은 송신기와 수신기가 동일한 위치에 있는 가장 기본적인 형태로 레이더와 그 형상이 비슷하다. 반면에 Bistatic 센싱은 송신기와 수신기가 서로 다른 위치에 분리되어 있는 형태로 송신기와 수신기의 동기화가 중요한 방식이다. 마지막으로 Multistatic 센싱은 복수의 송/수신기가 센싱에 참여하는 형태로 센싱 성능과 커버리지를 극대화할 수 있는 형태이다. Monostatic 과 bistatic 의 경우 물체의 형태에 따라 반사면이 달라지므로 수신기가 echo 신호를 수신하지 못하는 경우가 발생하지만, Multistatic 은 여러 방향에서 센싱을 수행할 수 있으므로 센싱 감지율이 높을 뿐만 아니라 다수의 수신기에서 측정한 결과를 바탕으로 센싱 정확도 또한 높일 수 있는 장점이 있는 방식이다.

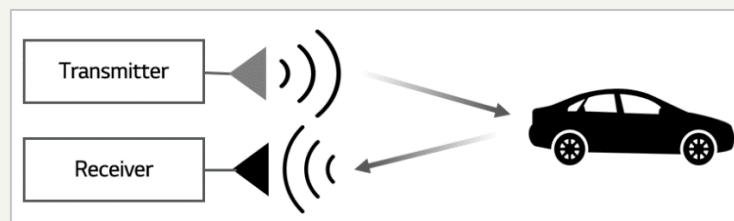


[그림 3] Monostatic, Bistatic, Multistatic 비교

2.2 ISAC 기술동향

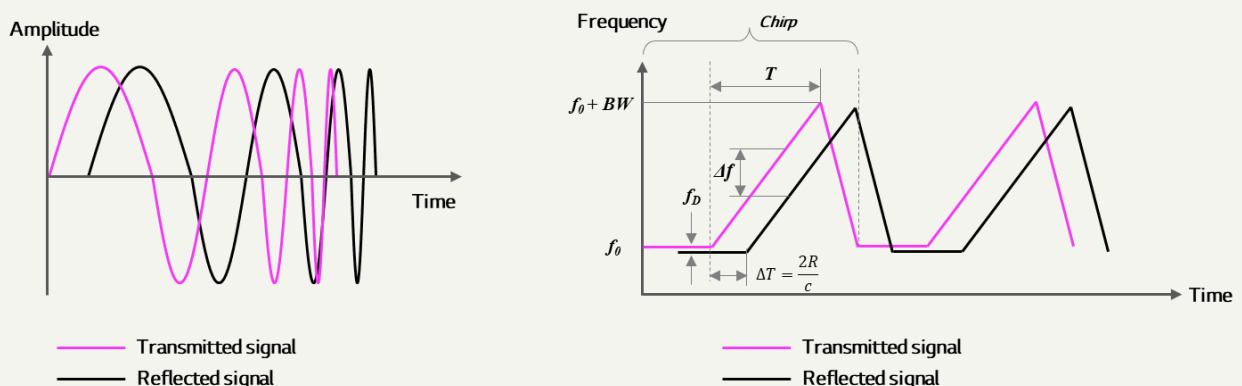
센싱에 사용될 수 있는 시그널 방식으로는 pulse 방식인 UWB(Ultra Wide Band), 변조되지 않은 연속파를 사용하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave), IEEE 802.11bf 에 적용된 OFDM 등 여러가지 기술이 있다.

초기의 ISAC 연구에서는 현재 판매되는 대부분의 자동차 모델에 적용되는 FMCW 기술을 OFDM 기반 통신 시스템에 적용하는 방안이 주로 검토되었다. FMCW 는 매우 간단한 구조로 정확한 거리와 방향을 측정할 수 있는 매우 효율적인 센싱 기술이다. 아래 [그림 4]에서 볼 수 있듯이 FMCW 의 동작원리는 레이더와 동일하게 송신기가 전송한 전파가 물체에 반사되어 돌아온 echo 신호를 수신기가 측정한 후 그 지연 시간을 거리로 환산하는 방법이다.



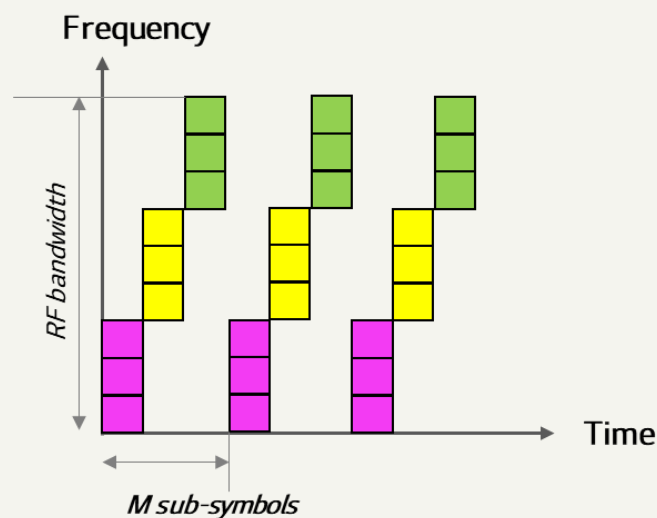
[그림 4] 자동차에서의 FMCW 동작 개념

이 때, 연속적인 서비스를 제공하기 위해서는 수신기가 측정한 echo 신호가 전송된 시간이 언제 인지 구분할 수 있어야 한다는 요구사항이 있다. FMCW 에서는 이를 해결하기 위하여 송신기에서 전송하는 신호의 주파수를 연속적으로 변경하는 방법을 사용한다. 아래 [그림 5(좌)]와 같이 송신기는 시간에 따라 전송 신호의 주파수를 계속 변경하기 때문에, 수신기는 [그림 5(우)]와 같이 echo 신호의 주파수를 측정한 후 현재의 송신 신호와의 주파수 차이를 통해 송수신 시간 차이를 계산할 수 있다.



[그림 5] FMCW echo 시그널의 수신 시간 차이를 이용한 거리 측정

FMCW 는 이와 같이 매우 단순한 구조로도 비교적 정확한 거리 측정이 가능하기 때문에 ISAC 의 후보 기술로 검토될 수 있지만, 그 장점만큼이나 단점 또한 명확하다. 거리 측정을 위하여 연속적으로 주파수를 변경하는 FMCW 방식의 특성상, 정확한 거리를 측정하기 위해서는 그만큼 넓은 주파수 대역폭이 필요하다. 실제로 FMCW 는 1 GHz 이상의 대역폭을 사용하며 이러한 넓은 대역폭을 확보하기 위해 77 GHz 이상의 고주파 대역을 사용한다. 만약 기존의 OFDM 기반 5G 시스템에 FMCW 를 적용하려면 아래 [그림 6]와 같이 FMCW 의 주파수가 변경될 때마다 해당 주파수 자원은 데이터 통신에서 배제되어야만 한다.[3]



[그림 6] FMCW 시그널 전송을 위한 무선 자원 할당

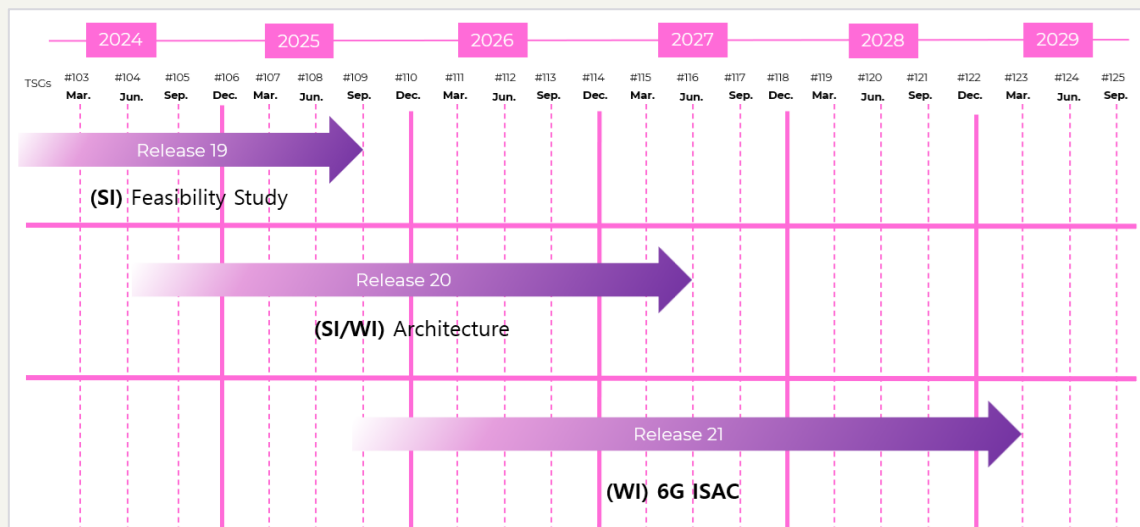
센싱을 위해 별도의 무선 자원을 할당해야 한다는 점은 ISAC 을 도입하는데 있어서 가장 큰 장애물이 될 수 있다. 센싱과 통신의 융합을 위해서 통신 성능 저하를 감수해야만 하기 때문이다. FMCW 와 OFDM 은 신호 파형이 전혀 다르기 때문에 FMCW 를 위한 무선 자원과 OFDM 을 위한 무선자원이 명확히 구분되어야 하고 센싱 성능을 보장하기 위하여 FMCW 에 더 많은 대역폭과 time slot 을 할당할수록 데이터 속도는 저하될 수밖에 없다.

이러한 이유로 최근에는 FMCW 가 아닌 OFDM 기반의 센싱 시그널이 주로 연구되고 있다. 기존의 reference signal 또는 ISAC 을 구현하기 위해 새로 설계된 OFDM 기반 센싱 시그널을 이용함으로써 데이터 속도에 대한 영향도를 최소화하고 호환성 문제를 해결할 수 있기 때문이다. 그 대표적인 예로 beam refinement 와 지연시간 추정을 위해 사용하는 golay sequence 를 센싱 시그널로 활용하는 IEEE 802.11bf 를 들 수 있다.

2.3 글로벌 표준화 동향

3GPP에서는 5G Advanced 규격인 Release19의 study item 중 하나인 'Study on Integrated Sensing and Communication'에서 ISAC의 Use case와 Requirement에 대해 연구를 시작하였다. Release 19에서는 UAV를 대표적인 WUse case로 하여 ISAC으로 감지 가능한 범위와 센싱 정확도 등의 주요 KPI를 논의하고 센싱 환경에 대한 시뮬레이션 평가 등을 수행하였으며, Release 20부터는 센싱을 구현하기 위한 시스템 아키텍처를 설계하고 센싱 데이터를 처리하기 위한 절차를 정의하고 있다. Release 20에서는 비록 Mono-static 센싱만 제한적으로 구현할 수 있지만, 6G 표준화 완료 전에 ISAC을 실제로 테스트해 볼 수 있는 pre-6G ISAC 기술로서 큰 의미가 있다.

그리고 6G의 첫 규격인 Release 21에서는 무선 신호의 파형 (waveform) 등을 포함한 물리 계층과 측정, 보고 등의 센싱 프로토콜, 코어 네트워크 등 센싱을 구현하기 위한 상세 규격을 모든 계층에 걸쳐 정의하게 될 것이다.



[그림 7] 3GPP의 Integrated Sensing and Communication 표준화 계획

3. ISAC 주요 활용 사례 (Use Case)

ISAC 은 6G 이동통신 인프라의 역할을 단순히 데이터를 전송하는 통신 기능을 넘어 센싱 기능을 통해 지능형 환경 인식 및 객체 상호 작용으로 확장시키는 기술이다. 통신과 센싱의 융합을 통해 재난 대응, 보행 안전, 자율주행, 산업 자동화 등 새로운 서비스 패러다임을 가능하게 한다. 3GPP 에서도 ISAC 을 위한 다양한 사용 사례와 서비스 시나리오가 논의되고 있으며 (TR 22.870), 이 장에서는 ISAC 의 주요 서비스 트렌드와 통신사 관점에서의 주요 시나리오 및 요구사항을 살펴본다.

3.1 주요 ISAC 서비스

ISAC 의 주요 사용 사례는 사용 목적과 통신과 센싱의 융합 정도에 따라 크게 세 가지로 구분된다.

- 1) 센싱을 통해 통신 성능 향상을 지원 (Sensing-assisted Communication)
 - 2) 통신을 활용하여 센싱 기능을 지원 (Communication-assisted Sensing)
 - 3) 통신과 센싱의 융합 서비스 (Converged Communication and Sensing Services)
- 6G 에서는 통신과 센싱 기능이 본격적으로 통합되어 활용될 예정이며, 이를 통해 새로운 서비스와 시나리오가 제시될 것이다.

1) 센싱을 통해 통신을 지원 (Sensing-assisted Communication)

센싱 보조 통신은 네트워크가 센싱 데이터를 활용하여 통신 성능을 향상시키는 서비스이다. 예를 들어, 도심 환경에서 빌딩이나 차량 등 장애물 정보를 센싱하여 최적의 빔포밍 경로를 선택하거나, 사용자의 움직임 패턴을 감지해 예측 기반 핸드오버를 수행할 수 있다. 이를 통해 신호 단절을 최소화하고, 초고주파 대역에서의 통신 안정성을 보장할 수 있다. 주요 사용 사례는 초고주파 대역 빔 관리, 예측 기반 핸드오버, 에너지 효율적 네트워크 제어 등이 있으며, 이를 통해 통신 품질 향상, 지연 감소, 전력 소모 최적화 등이 가능하다.

2) 통신을 통해 센싱을 지원 (Communication-assisted Sensing)

통신 보조 센싱은 통신 인프라와 무선 신호 정보를 활용해 센싱 능력을 강화하는 서비스다. 예를 들어, 기지국의 무선 신호를 이용해 UAV 나 보행자의 위치와 속도를 고정밀로 추적하거나, 다중 기지국 간 신호 분석을 통해 도심 내 3D 매핑을 지원할 수 있다. 이는 네트워크가 하나의 큰 센서 역할을 하는 시나리오로 기존 전용 센서 없이도 통신망을 센싱 플랫폼으로 확장하는 것이 가능하다. 주요 사용 사례는 UAV 감시 및 충돌 방지, 보행자 보호, 도심 객체 매핑 등이 있으며, 이를 통해 사회 안전 강화, 교통 체계 효율성 증대, 비용 절감이 가능하다.

3) 통합 서비스 융합 (Converged Communication and Sensing Services)

통합 서비스 융합은 통신과 센싱을 동시에 활용하는 새로운 융합 서비스이다. 이는 단순히 두 기능을 결합하는 것을 넘어, 새로운 부가가치를 창출하는 방향으로 진화한다. 예를 들어, 대규모 재난 현장에서 ISAC은 구조대에 끊임 없는 통신을 제공함과 동시에, 재난 상황에서 생존자를 탐지하여 실시간 구조 지원을 가능하게 한다. 또한, 스마트 팩토리에서는 로봇 제어용 초저지연 통신과 3D 객체 재구성을 동시에 수행해 안전성과 생산성을 함께 보장할 수 있다. 주요 사용 사례는 재난 구조 지원, 스마트 팩토리 안전 관리, UAM 실시간 제어 등이 있으며, 이를 통해 새로운 융합 서비스 창출, 산업 혁신, 초지능형 사회 구현이 가능하다.

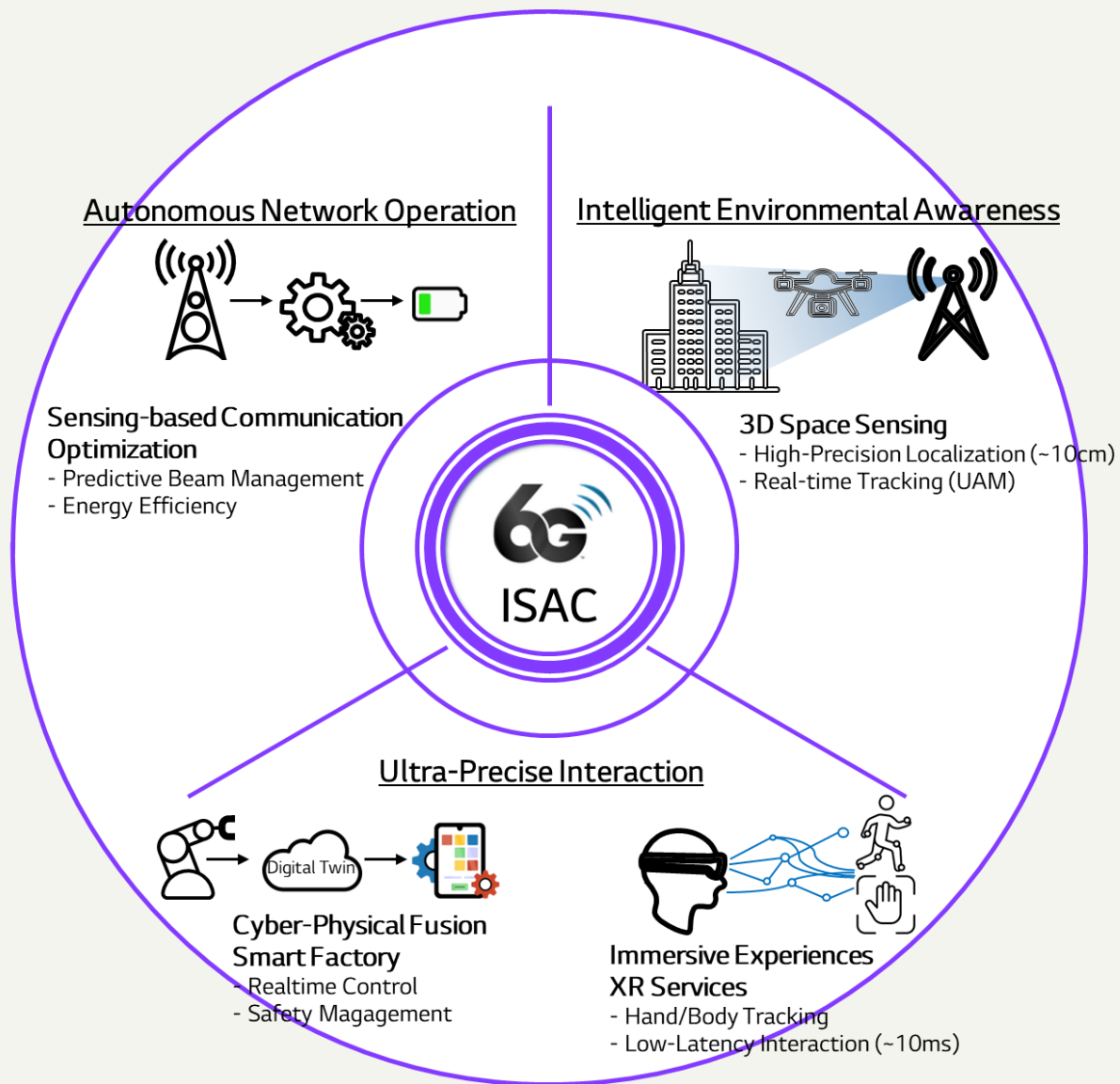
이처럼 ISAC의 주요 서비스는 단순히 통신 기능을 보완하는 부가적 역할에 그치지 않고, 오히려 네트워크가 센싱을 통해 통신을 강화하고, 통신을 통해 센싱을 확장하며, 나아가 양자의 융합으로 새로운 서비스를 창출하는 방향으로 진화하고 있다. 이는 곧 6G에서 ISAC이 단순 연결성을 넘어 부가적 가치를 창출하는 것을 의미한다.

3.2 ISAC 시나리오 및 요구 사항

ISAC 기술은 통신과 센싱 기능을 동일한 인프라와 주파수 자원에 통합함으로써, 통신 사업자에게 비용 효율적인 센싱 인프라 구축과 동시에 새로운 수익 모델 창출의 기회를 제공한다. 즉, 6G에서 ISAC 기술은 통신과 센싱을 융합하여, 네트워크가 단순히 연결성을 제공하는 역할을 넘어서서, 환경을 인지하고 상황을 이해하여 상호 작용하는 지능형 플랫폼 형태의 새로운 서비스 사업자로 진화하는 것을 가능하게 한다.

ISAC의 도입은 기존 통신 사업의 한계를 극복하고, 안전, 모빌리티, 산업 전반의 디지털 인프라 영역으로 사업자의 가치 영역을 확장시키고, 혁신을 촉진하는 핵심 성장 동력이 될 것이다. 특히, ISAC은 5G에서 분리되어 있던 통신 네트워크와 센싱 인프라를 하나의 네트워크로 통합함으로써, 네트워크 자체가 센서로 동작이 가능하다. 이는 기존에 카메라, 라이다, 레이더 등 별도의 센싱 장비가 수행하던 환경 인식 기능을 6G에서는 기지국과 단말 등 네트워크 구성 요소가 직접 수행함으로써 비용 효율적이고 대규모 확장 가능한 인프라 구축이 가능하다.

이 장에서는 통신사 관점에서 고부가가치 창출이 가능한 주요 ISAC 시나리오를 제시하고, 이를 구현하기 위한 기술적 요구사항을 3GPP TR 22.870을 기반으로 상세히 살펴본다.



[그림 8] ISAC 시나리오 및 요구사항

1) 자율 네트워크 운영: 센싱 기반 통신 최적화

ISAC은 네트워크가 스스로 주변 환경을 감지하고 학습하여, 자율적으로 자원을 최적화하는 6G 네트워크를 가능하게 한다. 특히 사업자는 센싱 보조 통신 기능을 활용하여 네트워크 운영의

효율성과 서비스 품질을 높일 수 있다. 이는 통신 품질을 보장하고 운영 비용을 절감하는 내부 효율화 측면의 핵심 시나리오다.

상세 시나리오를 살펴보면, 고주파수 대역을 사용하는 기지국은 센싱을 통해 주변의 빌딩이나 차량 등 장애물의 움직임을 예측하고, 신호 단절이 발생하기 전에 빔 방향을 선제적으로 조정하는 예측적 빔 관리를 수행한다. 또한, 네트워크가 센싱을 통해 트래픽이 없는 구역을 탐지하여 해당 구역의 셀이나 빔을 저전력 모드로 전환함으로써 불필요한 전력 소모를 최소화하고 에너지 효율을 극대화한다.

2) 지능형 환경 인지: 사각지대 없는 3 차원 공간 센싱

ISAC은 도심, 해양, 항공, 실내외를 아우르는 3 차원 공간 센서로 기능하여 사각지대 없는 환경 인지를 가능하게 한다. 사업자는 통신 보조 센싱을 통해 기존 무선 네트워크 커버리지를 센싱 플랫폼으로 확장함으로써, 도시 전체에 대한 고정밀 환경 인지 서비스를 제공하여 새로운 사업 영역으로 확장이 가능하다.

상세 시나리오를 살펴보면, 도심의 교차로, 터널 입구 등 차량 센서의 사각지대에서 6G 기지국은 비가시선(NLOS) 상의 보행자, 이륜차의 위치와 속도를 10cm 이하의 고정밀로 감지한다. 이 센싱 데이터는 초저지연 통신을 통해 자율주행 차량이나 교통 관제 서버에 즉시 전송되어 충돌 위험을 선제적으로 회피하게 한다. 또한, 저고도 공간을 이용하는 UAM에 대해서는 3 차원 위치(고도 포함)와 궤적을 끊임 없이 추적하는 3 차원 공간 트래킹 서비스를 제공하여 안전한 비행 관제를 지원한다.

3) 초정밀 상호작용: 디지털 트윈 기반 사이버 물리 공간 융합

ISAC은 인간, 기계, 그리고 가상 공간이 실시간으로 상호작용하는 초정밀 서비스를 가능하게 한다. 현실 세계에서 수집한 센싱 데이터를 네트워크를 통해 전송 및 분석하고, 이를 기반으로 정밀한 디지털 트윈을 구현하여 실제와 가상이 긴밀히 연결이 가능하다. 사업자는 통합 서비스 융합 기능을 활용하여 현실 세계의 상태를 실시간으로 가상 세계에 반영하고 상호작용하게 하는 고부가가치 산업 서비스를 제공할 수 있다.

상세 시나리오를 살펴보면, 스마트 팩토리나 물류 창고에서 6G 네트워크는 로봇 제어용 초저지연 통신과 동시에 cm 단위의 초정밀 센싱을 수행한다. 네트워크가 수집한 작업자와 로봇의 실시간 위치 및 동작 센싱 데이터는 엣지 컴퓨팅의 디지털 트윈 모델에 즉시 반영되어, 안전 영역 관리나

작업 경로 최적화와 같은 제어 명령을 실시간으로 도출한다. 이와 더불어 XR 서비스에서는 사용자의 3 차원 손동작 및 자세를 고정밀로 센싱하고 10ms 이내의 초저지연으로 전송하여 몰입형 경험을 위한 현실과 가상 상호작용을 보장한다.

4) ISAC 시나리오별 주요 요구사항 (KPI)

ISAC 의 세 가지 시나리오에서 제시된 KPI 는 기존 5G 인프라에서도 통신과 센싱을 분리된 형태로 개별 구현하는 것은 부분적으로 가능했으나, 6G 에서는 네트워크 자체가 주변 환경을 인지하는 네트워크 센서 (Network-as-a-Sensor)로 동작하는 개념으로 근본적인 전환을 이루게 된다. 6G 네트워크 자체가 센서로 동작하여 동일한 무선 자원과 인프라(기지국, 안테나, 엣지 서버 등)를 활용하여 통신과 센싱 성능을 동시에 만족시키는 것이 가능해진다.

구분	주요 시나리오	위치 정확도	갱신율 / 예측 시간	지연 시간	데이터 용량 / 기타 KPI
자율 네트워크	예측 기반 빔 관리, 에너지 효율 네트워크 제어	채널 상태 예측 정확도 $\geq 90\%$	예측 시간 ≥ 100 ms	제어 반응 ≤ 1 s	에너지 절감
지능형 환경 인지	교차로, 터널 등 사각지대 보행자 감지, UAM 3D 추적	≤ 10 cm	≥ 100 Hz	≤ 10 ms (E2E)	3 차원 궤적 연속 추적 지원
초정밀 상호작용	스마트 팩토리, 물류창고 로봇 협업, XR 기반 몰입형 서비스	≤ 1 cm (상대)	실시간 동기화 ≤ 5 ms	≤ 10 ms (XR)	각도 정확도 $\leq 1^\circ$, 전송 용량 ≥ 100 Mbps

[표 1] ISAC 시나리오별 성능 요구사항

다만, 통신과 센싱 기능이 동일한 자원을 공유함에 따라 간섭, 자원 분배, 지연, 데이터 처리 효율성과 같은 기술적 문제를 해결하기 위한 혁신이 필수적이다. 이러한 KPI 를 달성하고 완전한 융합을 구현하기 위해서는 단순히 통신 성능 개선을 넘어, 6G 에서 기술적 진화가 요구된다.

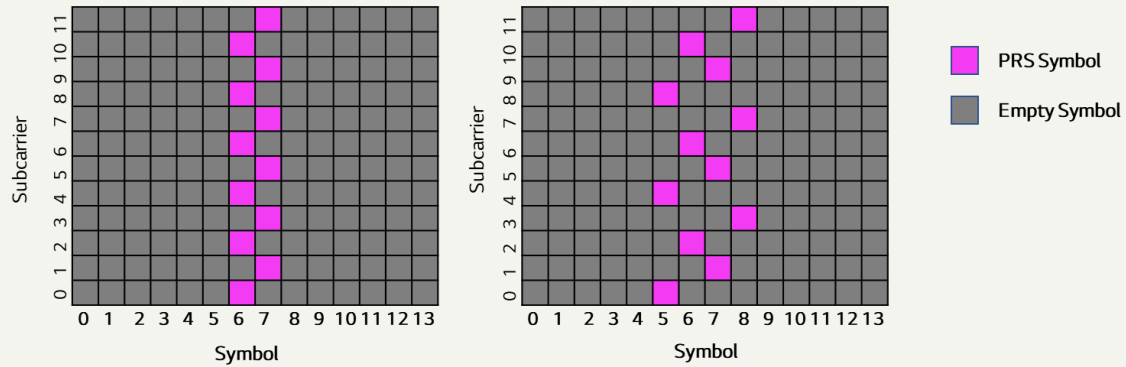
3.3 통신사 관점의 새로운 기회 및 시사점

ISAC 은 6G 에서 통신 사업자에게 데이터를 전달하는 네트워크 제공자에서 세상을 감지하고 이해하고 상호 소통이 가능한 지능형 플랫폼으로의 역할로 확장시킬 수 있다. 이러한 확장은 세 가지 핵심 가치를 제공한다. 첫째, 비용 효율성 측면에서 기존 기지국 인프라를 센싱 자원으로 재활용하여 CAPEX 를 절감하며, AI 기반의 자율 네트워크 운영을 통해 에너지 최적화 등 OPEX 를 줄일 수 있다. 둘째는, '지능형 환경 인지'나 '조정밀 상호작용'과 같은 시나리오를 통해 확보한 고정밀 환경 데이터를 외부 산업에 Sensing-as-a-Service(SaaS) 형태로 제공을 하여 스마트시티, 자율주행, 산업 자동화 등 고부가가치 시장으로 진출할 수 있고, 연결성 제공을 넘어 다양한 정보를 제공하는 신규 수익의 창출이 가능한 점이다. 셋째, ISAC 을 통해 수집된 데이터를 AI 가 분석하고 예측함으로써 자율 네트워크를 통해 제어, 장애 예측, 에너지 최적화가 가능해져 AI-native 네트워크로의 진화가 가능하며, 내부 효율성과 외부 서비스 차별화 제공이 가능하다. 결국 ISAC 은 통신사업자가 기존 인프라를 효율적으로 활용하여 통신 네트워크의 경제적 가치와 기능적 역할을 확장하고, 데이터 기반 플랫폼 사업자로 전환하고 지속 가능한 성장을 이룰 수 있게 하는 6G 시대의 핵심 전략 기술이다.

4. ISAC 구현을 위한 핵심 기반 기술

4.1 통신-센싱 융합을 위한 물리채널

5G NR 시스템에서 센싱을 위해 활용할 수 있는 기존의 reference signal 로는 PRS (Positioning Reference Signal)가 고려될 수 있다. 아래 그림 9 에서 볼 수 있듯이 PRS 는 subcarrier 단위로 무선 자원을 할당함으로써 데이터 통신과 동일한 OFDM 신호 체계 내에서 동작 가능하다. 수신기는 송신기가 전송한 PRS 와 동일한 echo 신호가 수신되는지 여부를 cross correlation 연산을 통해 감지할 수 있고 이 때의 송수신 delay 를 기반으로 물체와의 거리를 계산할 수 있다.

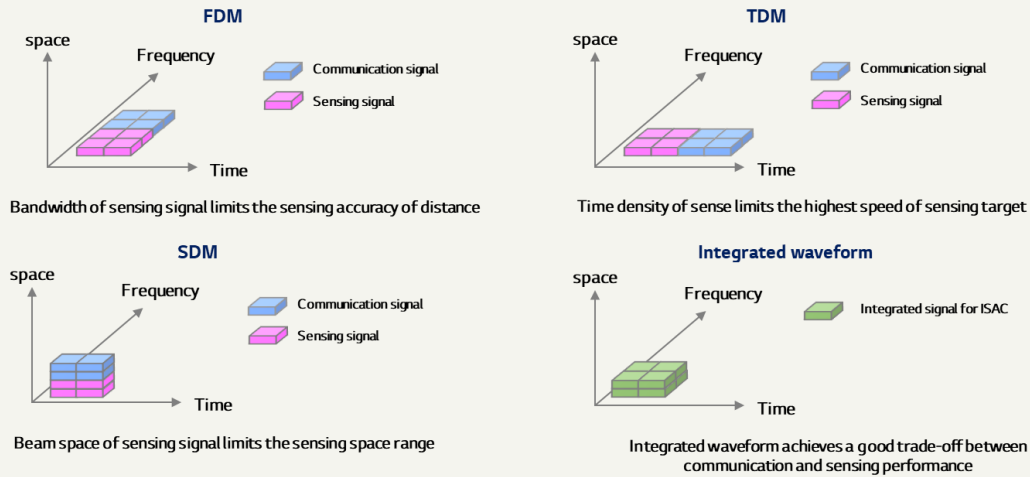


[그림 9] OFDM 기반 센싱을 위한 PRS resource mapping

그러나 설사 PRS를 사용하여 ISAC을 구현하더라도 기존에 NR에서 PRS 기반으로 positioning을 하듯이 PRS를 위해 사용되는 resource element 이외의 무선 자원을 데이터 전송을 위해 할당하는 것은 어렵다. 기존의 데이터 통신은 상향 링크와 하향 링크가 서로 다른 주파수 밴드로 분리되어 있거나 시간 영역에서 구분되어 있는데 반하여, 센싱은 송신기로 전송한 동일한 주파수를 수신기가 수신해야 되기 때문이다. 따라서 센싱을 위하여 무선 자원을 할당할 때는 해당 센싱 신호를 전송하기 위한 전송 시간뿐 아니라 신호가 물체에 반사되어 돌아오는 시간까지 계속 비워두어야 한다는 문제가 있다. 그리고 충분한 센싱 가능 거리를 확보하기 위해서는 무선 자원을 할당하는 시간도 동일하게 증가되어야만 한다.

센싱과 통신이 융합되기 위해서는 아래 [그림 10]에서 볼 수 있듯이 통신과 센싱을 위한 무선 자원을 주파수, 시간 또는 공간 영역에서 분리하여 물리적인 간섭을 배제해야 한다. 비록 PRS가 resource element 단위로 정교한 무선 자원 스케줄링이 가능하지만, 센싱 성능을 높이기 위해 센싱을 위한 PRS를 많이 할당할수록 데이터 속도는 제한될 수밖에 없다.

통신과 센싱을 융합할 수 있는 새로운 센싱 신호 파형을 설계함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다. 센싱 기능이 융합된 reference signal은 PRS와는 다르게 echo 신호를 수신할 수 있는 연속된 time slot이 제공되어야 하므로 random access를 위한 preamble 신호와 같이 연속된 PN code와 같은 형태가 고려될 수 있다. 이때, preamble 신호와의 차이점으로는 첫째로 상향 신호가 아닌 하향 신호라는 점, 둘째로 timing advance 정보를 기반으로 지연 시간을 예측할 수 있는 random access와는 다르게 target과의 거리를 예상할 수 없다는 점이다. 따라서 센싱 서비스의 감지 거리에 따라 PN code의 길이와 time slot을 최소화할 수 있는 reference signal의 형태를 검토해야만 한다.



[그림 10] 센싱 시그널을 위한 무선 자원 할당

4.2 통신-센싱 성능 트레이드오프 분석 및 최적화 기술

ISAC은 하나의 무선 자원을 활용하여 통신과 센싱을 수행하며, 이처럼 자원을 공유하는 구조는 필연적으로 두 기능 간의 성능 트레이드 오프를 발생시킨다. 따라서 ISAC 기술의 상용화를 위해서는 이 트레이드오프의 요인을 명확히 분석하고, 다양한 서비스 요구사항에 맞춰 이를 동적으로 최적화하는 지능형 기술의 확보가 무엇보다 중요하다.

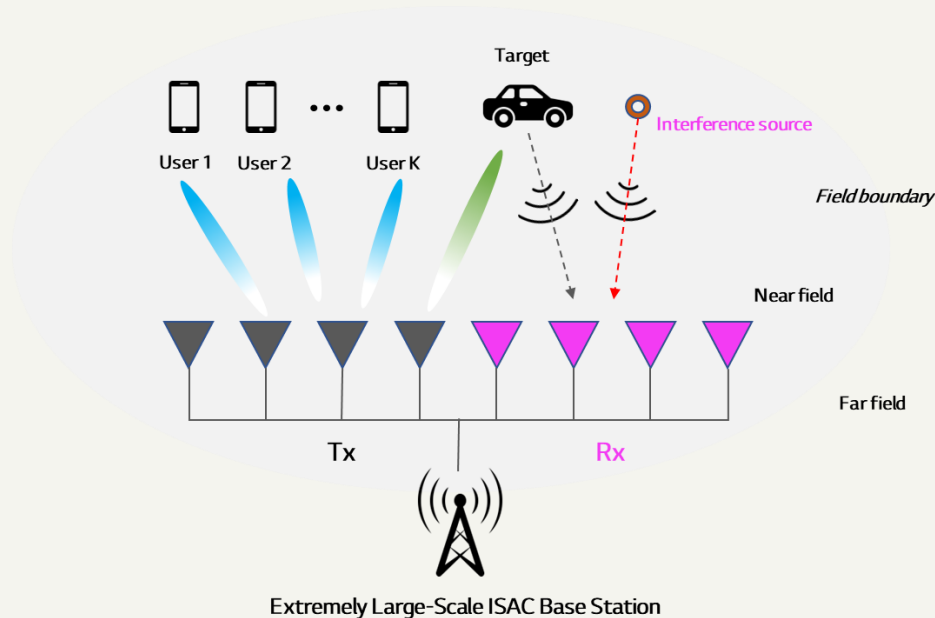
이러한 트레이드오프는 한정된 무선 자원을 상이한 목표에 할당해야 하는 구조적 특성에서 비롯된다. 예를 들어, 통신은 특정 사용자에게 빔을 집중시켜 효율을 높이는 것이 유리하지만, 센싱은 넓은 영역을 탐지하기 위해 빔을 넓게 사용해야 한다. 또한, 원거리 객체 탐지를 위해 센싱의 송신 전력을 높이면 주변 통신 사용자에게는 심각한 간섭으로 작용할 수 있다. 특히, 센싱의 정밀도를 높이려 PRS(Positioning Reference Signal) 같은 Reference signal을 넓은 대역으로 자주 전송하게 되면, 그만큼 데이터 통신에 할당될 자원이 줄어들어 통신 속도가 저하되는 직접적인 상충 관계를 갖는다. 이처럼 ISAC의 자원 관리는 통신과 센싱이라는 두 목표 사이에서 최적의 균형점을 찾아야 하는 복잡한 문제이다.

이러한 복잡한 최적화 문제를 해결할 수 있는 열쇠는, 네트워크 운영의 주체인 이동통신 사업자가 쥐고 있다. 사업자는 망에서 발생하는 트래픽, 사용자 분포, 채널 상태, 센싱 피드백 등 방대한 실시간 데이터를 독점적으로 보유하고 있어, 이를 기반으로 한 정교한 해결책 적용이 가능하다. 그 대표적인 예시가 바로 AI를 활용하는 것이다. AI 모델에 이 데이터를 학습시켜, 현재 상황에 가장 적합한 자원 할당을 자동으로 수행하게 할 수 있다. 예를 들어, AI가 통신량이 많은 지역에서는 센싱용 자원을

줄여 통신 품질을 보장하고, 반대의 경우에는 고정밀 센싱을 위해 자원을 더 할당하는 식의 정교하고 동적인 제어가 가능해진다.

이와 같은 지능형 최적화가 효과적으로 동작하기 위한 근본적인 기술 프레임워크는 시시각각 변하는 서비스 요구사항에 맞춰 자원을 동적으로 관리하는 것이다. 자율주행처럼 통신과 센싱 모두 최고 성능이 필요한 서비스와, XR 처럼 통신 성능이 더 중요한 서비스의 요구사항은 명백히 다르다. 이처럼 서비스마다 상이한 요구사항을 효율적으로 충족시키기 위한 핵심 기술이 바로 네트워크 슬라이싱이다. 6G 에서는 기존의 통신 QoS 에 더해 센싱 서비스 QoS(Sensing QoS; SQoS)라는 개념을 함께 고려하는 ISAC 슬라이스의 도입이 필수적이다. 각 ISAC 슬라이스는 Sensing Plane 을 고려하여 통신과 센싱의 성능 요구치가 고유의 서비스 QoS 를 갖게 된다. 또한, RAN slicing 을 통해 각 슬라이스에 최적의 주파수 자원을 할당할 수 있다. 예를 들어, mmWave 는 넓은 대역폭을 활용할 수 있어 초고속 통신에 유리하고, 파장이 짧아 높은 해상도의 정밀 센싱이 가능하다. 따라서 이 대역은 앞서 언급한 자율주행 슬라이스나 XR 슬라이스에 할당하는 것이 효과적이다. 반면, FR1 의 저주파 대역은 전파 도달 거리가 길어 넓은 커버리지를 확보하는 데 유리하므로, '스마트 시티 환경 모니터링 슬라이스'와 같이 광범위 센싱이 중요한 서비스에 할당할 수 있다.

4.3 차세대 RF/안테나 기술



[그림 11] ELAA 를 활용한 ISAC 구성도

6G ISAC의 차세대 RF/안테나 기술은 하나의 만능 대역을 고르는 문제가 아닌, 서로 다른 물리적 제약과 장점을 지닌 다중 주파수 대역을 상호 보완적으로 엮어 원하는 센싱 성능을 얻는 기술적 구성의 문제다. 센싱의 거리/속도/각도 분해능은 기본적으로 사용 가능한 대역폭과 반비례하는 파장에 의해 결정되고, 반대로 커버리지는 경로 및 투과 손실과 안테나 이득에 좌우된다. 따라서 FR1(Sub-6 GHz), FR2(mmWave), FR3(7-24 GHz), Sub-THz(≥ 100 GHz)라는 네 개의 축에서 서비스 시나리오에 따른 센싱 거리 및 분해능 등의 요구사항에 따라 가장 좋은 성능을 낼 수 있는 대역을 취사선택하는 것이 6G RF 설계의 출발점이다.

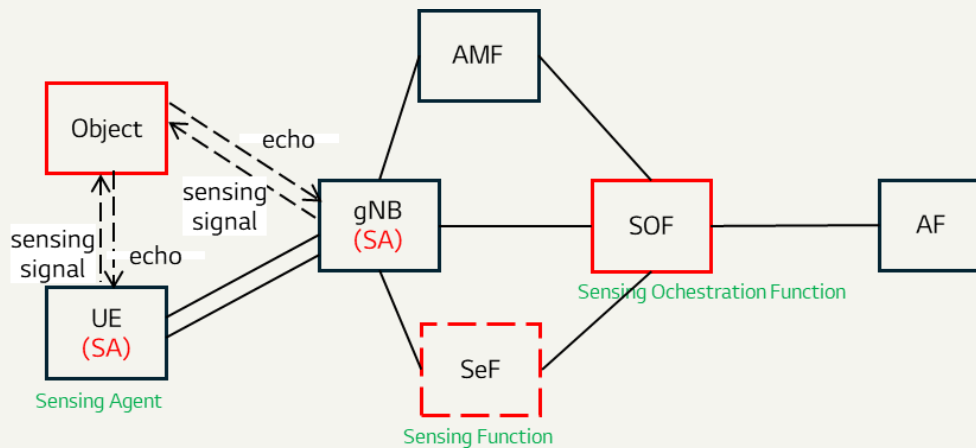
FR1은 대역폭이 비교적 작아 해상도는 낮지만 광역 커버리지와 투과성이 뛰어나 도시 규모 존재 감지 같은 저해상도 및 광역 응용에 적합하다. FR2는 수백 MHz 이상의 넓은 대역폭을 통해 고정밀 센싱과 객체 탐지에 유리하나, 높은 경로 손실과 차폐에 취약하여 커버리지 확장에 불리하다. FR3는 이 둘 사이의 균형점으로, FR1보다 넓은 연속대역을 확보하면서도 FR2보다 경로 손실이 작아 자율주행, 드론 탐지, 디지털 트윈 환경 매핑처럼 정밀도와 범위를 동시에 요구하는 서비스의 주력 대역으로 부상하고 있다. Sub-THz는 수 GHz 이상 광대역폭으로 초고해상도 센싱이 가능하지만 대기 흡수와 차폐가 극심하여 초단거리 특화 시나리오에 적합하다. 이러한 물리적 상충관계를 극복하는 해법으로 초대형 개구면 배열(ELAA; Extremely Large Aperture Array), 근거리장(near-field) 센싱, 그리고 FR1 단말 빔포밍이 있다.

고주파로 갈수록 전파 손실은 커지고, 특히 연속 대역폭을 크게 확보할수록 효율 좋은 전력증폭 및 저 위상잡음 등이 까다롭게 요구된다. 이때 ELAA는 두 가지 이유로 필수적이다. 첫째, 많은 안테나 소자의 대형 배열이 만들어내는 높은 배열 이득과 좁은 빔폭은 경로 손실을 보상해 중장거리에서의 안정적인 통신 및 센싱을 보장한다. 둘째, 더 본질적으로는 개구면 크기(D)가 커지고 파장(λ)이 짧아지면서 근거리장(near-field)과 원거리장(far-field)을 구분하는 레일리 거리($\propto D^2/\lambda$)가 확장되어, 기존 원거리장을 가정하여 만든 RF 요구사항에 해당하지 않는 근거리장 영역이 늘어나게 된다. 근거리장에서는 평면파 대신 구면파의 곡률이 두드러져 배열의 각 안테나 소자마다 서로 다른 거리 및 각도를 갖는다. (원거리장에서는 같다고 가정) 이 새로운 정보를 통해 동일한 주파수 및 대역폭을 사용하더라도 더 정밀한 센싱을 할 수 있게 된다.

이러한 안테나 진화와 더불어 ISAC에서 고려해야 할 현실 과제가 있다. FR1 단말의 빔포밍 부재다. 5G에서는 FR1 UE가 방향성 빔포밍을 사실상 지원하지 않아 결과적으로 5G에서는 센싱에서 UE의 역할은 제한적이었지만 6G에서는 FR1 단말에도 제한적인 빔포밍을 도입하여 센싱 성능의 향상을 기대할 수 있다. 지금까지 FR1 단말에 빔포밍을 적용할 수 없던 가장 큰 이유는 여러 안테나를 실장하기 위한 공간의 부족이었지만 최근들어 폴더블 폰과 같이 큰 형태의 폼 팩터가 시장에

나타나고 있어 3GPP 에서도 이에 맞춰 6Rx 등 여러 안테나를 활용하는 규격을 논의 중에 있다. 6G 에서는 이를 고려하여 폼 팩터에 따라 많은 안테나를 활용한 빔포밍을 적용하여 FR1 에서도 ISAC 성능을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

4.4 시스템 아키텍처



[그림 12] ISAC 시스템 아키텍처

ISAC 서비스를 효율적으로 운영하기 위해서는 방대한 센싱 데이터를 처리할 수 있는 새로운 네트워크 아키텍처가 필수적이다. 기존 5G 구조의 한계를 넘어서기 위한 핵심적인 아키텍처 재설계 방향은 새로운 Plane의 도입, 네트워크 노출 기능의 고도화, 그리고 분산 처리 구조라는 세 가지 축으로 요약할 수 있다.

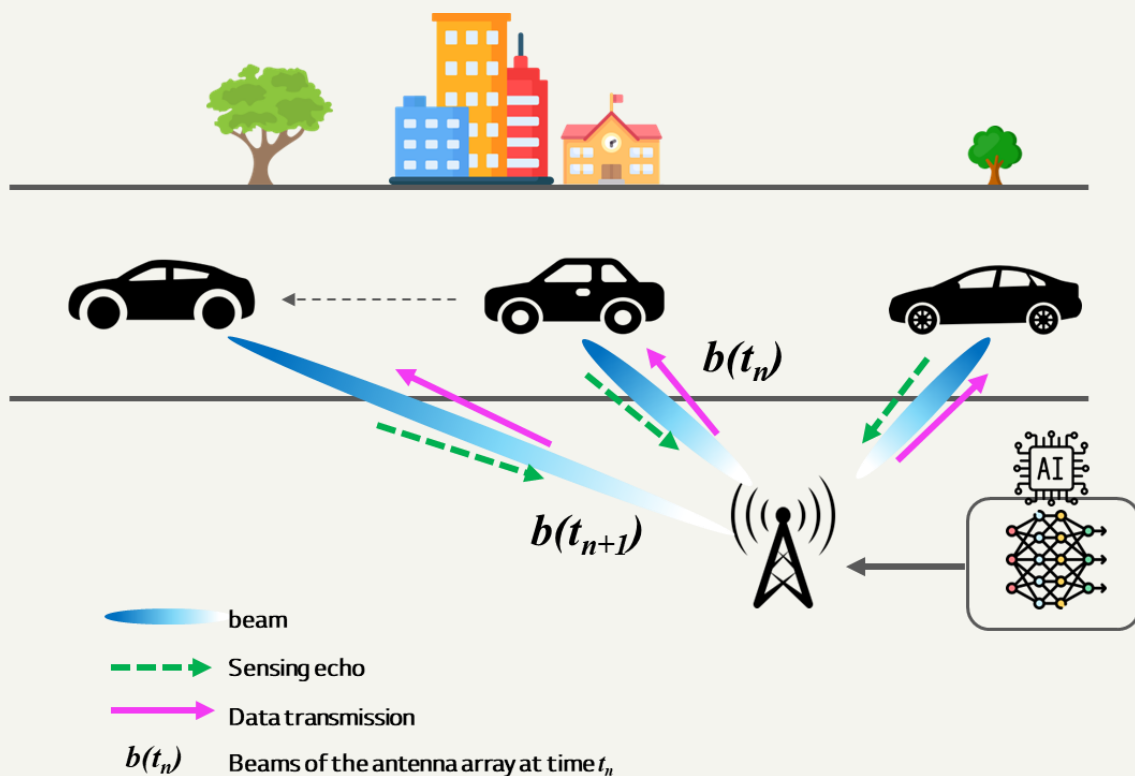
첫째, 센싱 데이터의 폭발적인 증가는 기존의 Control Plane이나 User Plane으로는 효율적인 처리가 불가능하다. 따라서 이 거대한 데이터를 전송, 처리, 관리하기 위한 전용 Sensing Plane의 도입이 필수적이다. 이 새로운 Sensing Plane은 대규모 센싱 데이터를 기존 통신 트래픽과 분리하여 독립적으로 관리하고, 데이터 특성에 맞는 최적의 경로로 효율적인 전송을 전담함으로써, 네트워크가 통신과 감지라는 두 가지 핵심 기능을 안정적으로 동시에 수행할 수 있게 한다.

둘째, 이렇게 전송된 센싱 데이터를 유의미한 서비스로 연결하기 위해서는 네트워크 노출 기능(NEF; Network Exposure Function)의 진화가 필요하다. 6G 시대의 NEF는 센싱 서비스 전용 API인 ISAC-API를 제공하는 핵심 창구로 발전할 것이다. 허가된 외부 애플리케이션(스마트시티 관제 시스템, 디지털 트윈 등)은 이 API를 통해 네트워크에 특정 지역의 객체 정보나 환경 맵과 같은 센싱 서비스를 요청하고, 처리된 결과를 안전하게 제공받을 수 있다. 이는 통신사가 네트워크의 감지 능력

자체를 상품으로 제공하는 Sensing-as-a-Service(SaaS)라는 비즈니스 모델을 구현하여 새로운 산업 생태계를 창출하는 기반이 된다.

셋째, 모든 raw 센싱 데이터를 중앙 서버까지 전송하는 것은 막대한 네트워크 부하와 서비스 지연을 초래한다. 이를 해결하기 위해 분산 처리 아키텍처의 도입이 필수적이다. 이 구조는 데이터가 생성되는 지점인 단말, 기지국이나 인접한 엣지 클라우드에서 raw 데이터를 1차적으로 처리하는 것을 핵심으로 한다. 엣지에서 AI/ML 알고리즘을 통해 객체 목록, 위치 등 의미 있는 정보만을 신속하게 추출하고, 이 가공된 소량의 정보만을 코어 네트워크로 전송하거나 NEF 를 통해 노출하는 것이다. 이를 통해 네트워크 부하를 획기적으로 줄이고 초저지연을 실현하여 디지털 트윈과 같은 실시간 서비스의 품질을 보장할 수 있다.

4.5 AI/ML 기반 환경 인지 및 예측 기술



[그림 13] AI/ML 기반 환경 인지 및 예측 기술 적용 예시

AI/ML 은 ISAC 에서 단순한 최적화 도구를 넘어, 센싱 결과 데이터를 해석하여 의미있는 정보를 추출하고 센싱 서비스의 효율을 높이는 핵심 동력으로 작용한다. 특히, 모든 raw 데이터를 중앙 서버로 전송하는 비효율적인 방식에서 벗어나, 데이터가 생성되는 지점에서 즉시 AI/ML 로

가공하여 핵심 결과만을 전달하는 분산 지능형 아키텍처를 가능하게 한다. 이 접근 방식은 컴퓨팅 및 통신 자원이 제한적인 단말이나 기지국에 막대한 효율성을 제공하며, 정교한 타겟 추적과 같은 고도화된 기능을 지원하는 기반이 된다.

AI/ML은 채널 상태 정보나 센싱측정 데이터와 같은 무선 측정 raw 데이터로부터 직접 복잡하고 비선형적인 관계를 학습한다. 예를 들어, 거리-도플러 이미지에 나타난 객체의 고유한 데이터를 분석하여, 단순히 객체의 존재 유무를 넘어 그것이 보행자인지, 차량인지, 혹은 드론인지를 분류해내는 것을 가능하게 한다. 또한, 실내처럼 NLoS 신호를 포함하여 다중 경로 신호가 많은 환경에서도 고해상도 측위를 실현한다. 이처럼 AI 모델은 raw 데이터를 엣지에서 직접 가공하여 타겟 정보같은 정보로 변환하므로, 막대한 양의 raw 데이터를 코어망으로 전송할 필요가 없어 네트워크 부하를 획기적으로 줄여준다.

이러한 AI 기반의 정보 추출 능력은 타겟 트래킹과 같은 고도의 ISAC 기능을 구현하는 데 결정적인 역할을 한다. 엣지 노드(기지국 등)는 센싱을 통해 얻은 시계열 데이터를 AI 모델로 분석하여 "차량 A가 3초 후 교차로에 진입할 확률 95%"와 같은 예측 정보를 생성하고, 이 핵심 정보만을 자율주행 차량이나 관제 센터로 전송할 수 있다. 이는 실시간 반응이 필수적인 자율 협력 주행이나 드론 관제 시스템에서 통신 지연을 최소화하고 예측 기반의 선제적 대응을 가능하게 하는 핵심 기술이다.

이 고정밀 예측 추적 기술은 6G의 핵심 서비스가 될 디지털 트윈 구현에 있어 필수 구현 기술이다. 디지털 트윈은 물리적 세계의 객체, 시스템, 혹은 전체 환경을 가상 공간에 실시간으로 복제한 것이다. 이 가상 모델이 현실 세계와 동일하게 동작하기 위해서는 현실로부터의 지속적이고 정확한 데이터가 필요하며, ISAC이 센싱 데이터를 공급하는 역할을 수행한다.

여기서 AI 기반 타겟 트래킹은 단순히 객체의 현재 위치를 반영하는 것을 넘어 이동 경로와 미래 상태를 예측하여 디지털 트윈과 현실 세계 간의 동기화를 유지하는 핵심 메커니즘으로 작동한다. 즉, 네트워크 지연이나 일시적인 센싱 데이터 유실이 발생하더라도 AI가 이를 보완하여 가상 모델의 연속성과 정확성을 보장해 준다.

5. 결론

본 백서는 6G 시대를 이끌 핵심 기술로 주목받는 ISAC 의 비전부터 구체적인 활용 사례와 성공적인 상용화를 위한 핵심기술까지 다각도로 분석하였다.

우리가 5G 상용화 과정에서 겪었던 '킬러 애플리케이션 부재'와 '투자수익률(ROI) 확보'라는 현실적인 고민에 대해, ISAC 은 Sensing-as-a-Service(SaaS)라는 구체적이고 강력한 비즈니스 모델을 제시한다. 이는 통신 사업자가 단순한 '네트워크 연결' 제공자에서 벗어나, 스마트시티, 자율주행, UAM 관제와 같이 고부가가치가 확실한 B2B 및 B2G 시장으로 사업 영역을 확장할 수 있는 명확한 기회 일 수 있다. 즉, 네트워크가 단순한 '데이터 파이프'에서 벗어나 환경을 인지하고 상호작용하는 '지능형 플랫폼'으로 진화하는 것이다. 그러나 이 비전은 단순히 기존 5G NR 에 센싱 기능을 덧붙이는 수준이 아닌 네트워크 전반에 걸친 근본적인 기술 혁신을 전제로 한다.

핵심은 통신-센싱 성능 트레이드오프 문제이다. 통신 품질을 희생시키지 않으면서 정밀한 센싱을 동시에 구현하기 위해서는, 3GPP 표준화 단계에서부터 새로운 물리계층 파형 설계가 치열하게 논의되어야 한다. 또한, ELAA 나 근거리장 센싱 같은 하드웨어 혁신은 물론, 이 복잡한 자원 배분 문제를 실시간으로 최적화할 AI/ML 기반의 동적 자원 할당 기술이 필수적이다.

아키텍처 관점에서도, 폭증하는 센싱 원본 데이터를 효율적으로 처리하기 위해 센싱을 위한 전송 채널을 도입하고, 엣지단에서의 AI 기반 분산 처리 구조를 6G 코어망에 견고하게 설계해야 한다.

결론적으로 ISAC 은 6G 의 성패를 가를 게임 체인저임이 분명하다. 5G 의 한계를 넘어선 새로운 가치를 창출할 이 기회를 선점하기 위해서는, 지금부터 치열한 기술 개발과 3GPP 를 위시한 글로벌 표준화 경쟁에서 주도권을 확보해야 한다. 본 백서에서 제시한 기술적 과제들을 해결해 나가는 것이야말로, 다가올 6G 시대를 선도하는 첫걸음이 될 것이다.

Abbreviations

API	Application Programming Interface
ELAA	Extremely Large Aperture Array
FDM	Frequency Division Multiplexing
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FR	Frequency Range
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT-2030	International Mobile Telecommunications 2030
ISAC	Intergrated Sensing and Communication
ITU	International Telecommunication Union i
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NEF	Network Exposure Function
NloS	Non-Line of Sight
NTN	Non-Terrestrial Network
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PN code	Pseudo Noise code
PRS	Positioning Reference Signal
QoS	Quality of Service
SaaS	Sensing-as-a-Service
SDM	Space Division Multiplexing
SeF	Sensing Function
SOF	Sensing Ochestration Function
TDM	Time Division Multiplexing
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

UWB	Ultra Wide Band
XR	Extended Reality

Reference

- [1] <https://www.saab.com/markets/india/gripen-for-india/technology/aesa-a-sensor-suite-for-advanced-threats>
- [2] <https://www.everythingrf.com/news/details/8512-China-Mobile-Adopts-Nokia-s-Massive-MIMO-Adaptive-Antenna-Solution-for-5G>
- [3] Q. Wang, A. Kakkavas, X. Gong and R. A. Stirling-Gallacher, "Towards Integrated Sensing and Communications for 6G", 2022 2nd IEEE International Symposium on Joint Communications & Sensing, Mar. 2022
- [4] "IMT towards 2030 and beyond" <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/pages/default.aspx>
- [5] 3GPP TR 22.870, "Study on 6G Use Cases and Service Requirements"
- [6] 3GPP TR 22.837, "Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication"
- [7] <https://www.huawei.com/en/huaweitech/future-technologies/6g-isac-thz>
- [8] "The Low-Altitude Network by Integrated Sensing and Communication", China Telecom Ericsson, Nokia, Huawei, ZTE, CICT Mobile OPPO, Xiaomi, vivo, Lenovo Qualcomm, Mediatek, UNISOC