

6G 센싱-통신 융합 서비스의 기술 개발 동향

Technology Development Trends in Integration of Communication and Sensing in 6G Networks

유성진 (S.J. You, sjyou@etri.re.kr)

RF기술연구실 책임연구원

김형주 (H.J. Kim, kimhyungju@etri.re.kr)

RF기술연구실 선임연구원

안장용 (J.Y. Ahn, jangyong.ahn@etri.re.kr)

RF기술연구실 선임연구원

황정환 (J.H. Hwang, jhhwang@etri.re.kr)

RF기술연구실 책임연구원/실장

박재준 (J.J. Park, jjpark@etri.re.kr)

전파원천기술연구실 책임연구원

박승근 (S.K. Park, seungkp@etri.re.kr)

전파연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

Wireless communication, including mobile networks and local area networks, has become an essential service in the society. Wireless communication is evolving to include sensing services, as demonstrated by the increasing attention in organizations and standards such as 3GPP and IEEE 802.11. This survey presents technology trends in the integration of sensing and communication. The standardization status along with use cases provided by standards are explained. In addition, core and supporting technologies such as channel modeling, waveform design, and artificial intelligence are analyzed.

KEYWORDS 3GPP, 802.11bf, 레이더, 센싱-통신 융합, 채널 모델

1. 서론

통신 기술의 성공은 현대 사회의 발전에 크게 기여하고 있으며, 이에 통신 기술의 확장 및 발전에 대한 요구는 현재까지 지속되고 있다. 이러한 통신 기술의 발전 방향 중 하나로 최근 통신 기능에 센싱 기능을 더하는 융합기술이 많은 관심을 받고 있다. 이미 잘 갖추어진 통신 인프라를 활용하여 센싱 기능을 수행할 수 있다면 새로운 서비스를 제공할 수 있

다. 예를 들어 실내에서 사람의 존재 여부를 센싱하여 건물 보안, 전력 효율화 및 각종 재난 상황에 대처에 활용할 수 있다. 생체 신호 센싱을 바탕으로 수면이나 심장 건강 등을 모니터링할 수 있고, 공장에서는 로봇 제어에 센싱 기능을 사용할 수 있다. 이와 더불어 센싱 정보를 통해 얻은 통신 채널 환경에 관한 정보를 통신 자체의 성능을 개선하는 데 이용할 수 있다.

통신에 센싱 기능을 융합하기 위해서는 통신 시

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390103>

* 본 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음(23ZH1100, 연결의 한계를 극복하는 초연결 입체통신 기술 연구).



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2024 한국전자통신연구원

시스템과 마찬가지로 센싱 절차에 대한 표준화가 요구된다. 그리고 센싱-통신 채널모델과 더불어 통신을 제공하면서 센싱 기능을 수행하는 데 효율적인 신호 파형의 설계가 필요하다. 본고에서는 센싱과 통신의 융합 서비스에 대해서 간략히 살펴보고, 센싱-통신 융합과 관련하여 채널 모델과 주요 기술을 소개한다.

II. 센싱-통신 융합 기술

그림 1에서와 같이 전파를 사용하는 센싱과 통신 기술 각각은 독립적으로 개발되었다. 센싱과 통신은 분리된 시스템을 사용하고 각각의 시스템은 서로 다른 서비스에 사용되었다. 5G가 상용화되고 차세대 무선 통신으로 6G가 등장하면서 무선 통신 주파수는 밀리미터파 대역을 포함하여 6GHz 이상의 대역으로 확대되고 있다. 이러한 높은 주파수 대역에서는 신호손실이 매우 높으며 이를 극복하기 위해 배열 안테나 및 빔포밍 기술이 적용된다.

이러한 변화는 통신과 센싱 기술이 서로 융합되는 기술적 바탕이 된다. 또한, 주파수가 밀리미터파 대역으로 증가하면서 데이터 통신 속도가 높아지고 동시에 센싱의 해상도 성능이 향상된다. 서로 다른 주파수 대역에서 기능하는 통신과 센싱이 동일한 혹은 인접한 주파수를 사용하고, 따라서 단일 시스템으로 두 가지 기능이 동시에 동작한다. 즉, 그림

1과 같이 통신과 센싱 서비스가 융합되는 새로운 서비스가 등장한다.

센싱과 통신 융합 서비스에서는 언제 어디서든 센싱 서비스가 제공될 수 있다. 이는 곳곳에 배치된 무선 통신 기지국이나 AP(Access Point)와 같은 통신 기반 시설을 활용하여 통신용 전파를 센싱의 용도로 사용할 수 있기 때문이다. 사물을 비롯하여 주변 환경과 사람을 센싱하고 유용한 정보를 추출 및 가공하여 필요한 곳에 제공한다.

센싱과 통신이 융합되면서 주파수 스펙트럼과 에너지의 효율성이 증가한다. 이는 동일한 전파를 사용하여 통신과 동시에 센싱 기능을 수행하기 때문이다. 또한, 통신에 사용되는 하드웨어 및 소프트웨어의 일부 혹은 전부가 센싱에 공유되어 사용되면서 저렴한 가격에 새로운 센싱 서비스가 제공된다. 이러한 장점을 고려할 때 센싱과 통신의 융합 서비스는 차세대 무선 통신인 6G의 핵심 서비스에 해당한다.

III. 표준에서의 융합 서비스

1. 3GPP 표준

3GPP에서는 센싱과 통신의 융합기술에 관심을 두고 기술 표준화를 진행하고 있다. 참고문헌 [1]에서는 융합기술이 제공하는 대표적 센싱 서비스들을 제시하였다. 미국의 민간 주도 연합체인 넥스트 G 얼라이언스(Next G Alliance)에서도 3GPP에서와 동일한 센싱 서비스들을 제시하고 있다[2]. 두 표준에서 제시하는 제시된 센싱 서비스는 표 1과 같다. 크게 사물, 주변 환경 및 사람에 대한 모니터링 서비스로 분류될 수 있다. 표 1은 각 서비스 구현을 위해 요구되는 핵심 성능지표(Key Performance Index)를 보여준다[2].

3GPP에서 제시한 융합 서비스는 다음과 같은 특

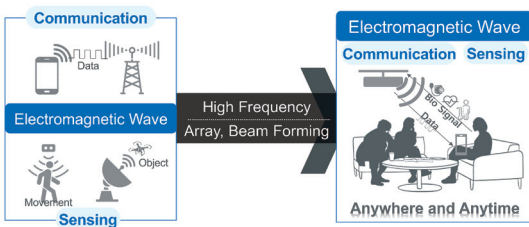


그림 1 센싱-통신 기술의 융합

표 1 센싱-통신 융합 서비스

분류 (대상)	서비스	센싱 기능의 핵심성능지표			
		최대 거리(m)	최대 속도(m/s)	거리해상도(m)	도플러 해상도(m/s)
사물	주행 차량 감지	250~300	70	7~30	0.1~0.6
	주차 차량 감지	~5	0	0.5	-
	드론 모니터링	~500	~40	1.0	~5.0
주변환경	날씨 예측	~500	-	~5.0	-
	대기오염 모니터링	~500	-	~5.0	-
	공장환경 모니터링	~200	9	~0.01	0.5
	교통량 모니터링	~200	70	0.5~1.0	0.5
사람	보행자 감지	~5	3	~0.01	-
	동작 감지	0.01~1	10	~0.01	~0.3
	사람 유무 감지	~20	~2	~0.01	~0.1
	낙상 모니터링	~10	~3	~0.01	~0.3

출처 Reproduced with permission from [2].

징을 갖고 있다. 먼저 통신에 센싱이 융합되면서 보다 촘촘한 센싱 서비스가 제공된다. 드론을 탐지하기 위해 레이더가 사용되지만 도심지의 복잡한 건물로 인해 레이더 음영지역이 발생한다. 또한, 전자파의 인체 영향에 대한 우려로 도심지에 레이더를 설치하는 것은 많은 논란이 따른다. 따라서, 통신과 센싱을 융합하여 도심지의 이동통신 기지국들을 드론을 탐지하는 레이더, 즉 센서로 이용할 수 있다. 이는 이미 운용 중인 기지국들에 센싱 기능을 추가하므로 설치에 어려움이 없으며 많은 기지국을 활용하여 음영지역 없이 촘촘하게 드론을 탐지할 수 있다. 촘촘한 센싱 서비스는 사물과 더불어 주변환경 모니터링에도 사용된다. 강우, 홍수와 같은 자연환경뿐만 아니라 교통량, 주차장 차량 대수, 군중 밀도와 같이 사물 혹은 사람의 인위적 환경을 대상으로 센싱이 가능하다.

두 번째 특징으로 센싱 서비스의 성능 범위가 매우 넓다[2]. 수십 km/h에 이르는 속도로 날아가는 드론과 자동차를 센싱하면서 수 km/h에도 미치지 못하는 이동하는 보행자를 센싱한다. 자율주행차

의 운전보조제와 같이 센싱의 범위가 300m에 이르는 경우뿐만 아니라 사람의 동작과 같이 범위가 1cm에 불과한 경우에 대해서도 센싱 기능을 수행한다. 센싱 해상도의 경우 거리 해상도는 1cm에서 5m, 속도 해상도는 0.1m/s에서 3m/s에 이르는 해상도를 갖는다. 이러한 광범위 센싱 특성은 센싱-통신 융합 기술이 발전하면서 서비스의 종류가 더욱 다양해질 수 있음을 의미한다.

마지막 특징으로 안전 향상을 목적으로 다양한 서비스가 제공된다. 홍수와 같은 자연재해를 모니터링하고 교통사고를 줄이도록 사람 존재의 유무, 보행자까지의 거리 등을 모니터링한다. 헬스케어의 일환으로 수면 패턴을 모니터링하고 헬스케어 대상자의 낙상을 감지한다. 공장 자동화에 따라 사용되는 다양한 자율 이동 로봇을 대상으로 위치와 속도를 모니터링하고 이를 통해 자율 이동 로봇의 충돌을 방지하고 안전한 이동 경로 정보를 제공한다.

이상에서와 같이 센싱과 통신의 융합은 전파를 사용하는 센싱의 범위를 확대하여 사용자에게 유용한 서비스를 제공한다. 또한, 음성과 데이터 전송에

만 그치는 무선 통신 서비스의 범위를 센싱 서비스로 확장함으로써 서비스의 부가가치를 높일 수 있다. 이러한 이유로 센싱과 통신의 융합 서비스는 차세대 6G 무선 통신에서 많은 주목을 받고 있다.

2. IEEE 802.11bf 표준

많은 사람이 체감하고 있듯이 무선랜은 이미 우리 일상생활에서 널리 활용되고 있는 무선 통신 기술이다. 만약 무선랜에서 센싱 기능이 가능하게 된다면 당연하게도 그 영향력은 광범위하게 나타날 것이다. IEEE 802.11bf에서는 이를 현실화하기 위해서 표준화 작업을 진행하고 있으며 다양한 응용 분야를 고려하고 있다[3]. 무선랜 센싱 기능을 이용하면 방 안에 사람이나 동물이 있는지, 어떤 자세를 취하고 있는지 알 수 있고, 사람의 생체 신호 추출하거나 사물의 이동 경로를 추적할 수도 있다.

802.11bf에서는 무선랜 센싱을 SENS(WLAN Sensing)라 명명하였다. SENS와 관련하여 FRD(Functional Requirements Document) 표준 문서는 센싱에서 요구하는 기능을 기술한다. 표 2[4]는 주요 요구사항을 간략하게 정리하고 있다. 802.11bf의 표준화 범위는 PHY(Physical Layer)와 MAC(Medium Access Control Layer)을 포함한다.

표준화의 주요 이슈는 무선랜 센싱을 위한 절차를 정의하는 것이다. 이때 이 절차에 참여하는 장치를 센싱 시작 여부와 센싱 PPDU(Physical layer convergence procedure Protocol Data Unit) 송수신 여부에 따라 두 가지 방식으로 구분하며 서로 독립적으로 정의한다[3]. 센싱 정보가 필요하여 센싱 절차를 시작하는 장치와 이 장치에 센싱 정보를 제공하기 위해 센싱에 참여하는 장치를 각각 센싱 개시장치(Sensing Initiator)와 센싱 응답장치(Sensing Responder)로 정의한다. 또한, 센싱 PPDU를 송신하는 장치와 수신하

표 2 SENS 기능 요구사항

항목	내용
센싱 기능	장치 기능 정의 1) SENS 기능 알림 2) SENS 측정을 위한 전송 요청 및 셋업 3) 특정 전송이 SENS를 위한 것임을 표시 4) SENS 피드백 및 정보 교환
	요청 및 비요청 전송에 기반한 SENS 동작 정의
	SENS 측정을 요청하고 관련 정보 수집을 위한 MAC 서비스 인터페이스 정의
동작 대역	1GHz~7.125GHz와 45GHz 이상의 면허 불필요 대역(License-exempt spectrum)
PHY	1) SENS 동작을 위한 DMG(Directional Multi Gigabit)과 EDMG(Enhanced DMG)에 대한 규격 수정 2) HT(High Throughput), VHT(Very High Throughput), HE(High Efficiency), EHT(Extremely High Throughput) 내용 수정
MAC	SENS 동작을 위한 MAC 기능 수정

출처 Reproduced from [4].

는 장치는 센싱 송신기(Sensing Transmitter) 및 센싱 수신기(Sensing Receiver)라 한다. 센싱 개시장치와 센싱 응답장치 모두 센싱 송신기가 될 수도 있고 센싱 수신기가 될 수도 있다.

무선랜 센싱에서는 레이더와 마찬가지로 센싱에 참여하는 장치 수에 따라서 센싱 종류를 구분하고 있다. 모노스태틱 센싱(Monostatic Sensing)은 하나의 장치에서 측정 신호를 송수신하여 센싱 결과를 도출한다. 바이스태틱 센싱(Bistatic Sensing)에서는 한 장치가 측정 신호를 송신하고 다른 한 장치가 해당 신호를 수신하여 센싱 결과를 얻는다. 멀티스태틱 센싱(Multistatic Sensing)에서는 다수의 장치가 센싱 절차에 참여한다.

그림 2[5]는 802.11bf 표준화 일정을 도시한다. 2020년 9월에 PAR(Project Authorization Request)가 승인되어 표준화가 본격적으로 시작되었으며 2023년 9월에는 Draft 2.0 버전이 85.8%의 찬성으로 승인되었다. 원래 계획은 2024년 9월에 최종 표준을 완성하는 것이 목적이었으나 일정이 다소 지연되어 현



출처 Reproduced from [5].

그림 2 802.11bf 표준화 일정

재는 2025년 3월에 표준을 완성하는 것으로 목표를 변경하였다.

802.11bf 표준에서는 무선랜 센싱을 위한 표준 절차를 정의하고 있지만, 무선랜 센싱을 위한 모든 내용을 정의하는 것은 아니다. 무선랜 센싱이 널리 쓰이기 위해서는 센싱 검출 성능을 높이기 위한 기술 개발이 필요하고, 센싱 결과가 도용되어 사생활 침해와 같은 심각한 문제가 발생하지 않도록 해야 한다.

IV. 센싱-통신 전파채널 모델링

1. 이동통신 채널모델의 진화

전파채널 모델은 이동통신 연구의 기초요소로 실제 시스템을 구축하고 운영하기 전에 전파채널의 물리적 특성과 과정을 반영하면서 다양한 시스템을 공정하게 비교할 수 있는 전파채널 모델을 개발하는 것이 필수적이다.

1세대 이동통신 시스템(1G)은 주로 음성통화 서비스만 제공하기 위해 만들어졌으며, 각 사용자에게 할당된 대역폭은 일반적으로 20~30kHz였다. 전파 전파 관점에서는 경로손실로 인한 수신 전력 특성이 주된 관심사였다. 1980년대에는 2세대 이동통신 시스템(2G)이 도입되었는데, 200kHz의 대역폭을 가

진 GSM(Global System for Mobile Communication)이 국제표준으로 선정되었으며, 음성뿐만 아니라 초저속 데이터 기능도 제공되었다. 따라서 전파채널의 지연 분산 측면을 연구하는 것이 중요해졌다[6].

3세대 이동통신 시스템(IMT-2000, 3G)은 5MHz의 대역폭을 가지고 있었으며 음성 및 초기 멀티미디어 응용프로그램에 초점을 맞춘 2Mbps의 최대 데이터 전송률을 제공했기 때문에 개선된 지연 분산 특성을 반영한 전파채널 모델이 요구되었다. 또한 최대 데이터 전송률을 높이기 위해 공간 영역을 고려하기 시작했는데, 이를 위해 2003년에 3GPP는 공간 채널 모델(SCM)을 개발하여 표준화하였다 [7,8].

2010년에 4세대 이동통신 시스템(IMT-Advanced, 4G)이 등장하였으며, 초기에는 2x2 다중입력 다중출력(MIMO)으로 알려진 두 개의 송신 및 두 개의 수신 안테나를 사용하여 20MHz 대역폭 내에서 150Mbps의 최대 전송률을 제공할 수 있었다. 4G의 전파채널 모델은 3GPP와 ITU(International Telecommunication Union)에서 SCM 모델을 기반으로 포괄적인 측정을 통하여 표준화되었다[9]. 2차원 안테나 배열의 도입으로 다중사용자 MIMO 시스템에 대한 전파채널을 정확하게 모델링하기 위해 다중경로의 진폭, 지연, 방위/고도 출발각, 방위/고도 도착각,

편광 및 도플러 매개변수 등을 고려하였다.

5세대 이동통신 시스템(IMT-2020, 5G)은 여러 주파수 대역에서 운영되는 첫 번째 시스템으로, 국가에 따라 밀리미터파(mmWave) 주파수 대역에서도 운영하도록 설계되었다. 5G의 전파채널 모델은 건물 투과손실, 산소/분자 흡수손실 등과 같이 더 넓은 대역폭을 가지는 높은 주파수 대역에서 영향을 받는 전파 특성을 반영하였다[10].

2. 센싱·통신 융합 채널모델 연구동향

ITU는 2023년 6월 6세대 이동통신(6G)의 핵심 개념(비전)을 통신 영역을 넘어 센싱 등을 기반으로 디지털 세계와의 결합을 지원하는 기술로 정의하면서 센싱과 통신이 융합(ISAC)된 서비스를 강조하였다 [11]. 그림 3은 현재 이동통신 시스템의 성능 평가와 검증에 위한 전파채널 모델을 나타낸다. 이는 통신만을 고려하여 기지국에서 송신한 신호가 단말기에 수신되는 무선 링크의 물리적 특성만을 예측하고 있어 센싱 채널 모델링을 지원하지 못하는 단점이 있다. 이에 2023년 6월에 개최된 3GPP 워크샵에서 다수의 글로벌 제조사 및 사업자 등이 ISAC(Integrated Sensing And Communication) 전파채널 모델 연구의 필

요성을 제기하였다.

ISAC 채널은 일반적으로 센싱 채널과 통신 채널이 융합되어 있으며, 그림 4와 같이 송신기에서 수신기로의 신호 전파뿐만 아니라 동일한 환경에서 송신기에서 산란체로의 센싱(에코) 전파를 포함하고 있다. 대부분의 기존 연구는 ISAC 채널을 통신 채널과 감지 채널로 구분하나, 이들을 독립적이라고 가정한다. 하지만, 안테나의 다중화 및 동일한 환경으로 인해 일부 물체들은 통신 및 센싱 채널 모두에 공유되어 전파 산란체(Joint Cluster)로 작용할 수 있다. 이러한 산란체의 공유 특성은 ISAC 전파 채널 모델링에서 고려되어야 할 필요가 있다. 또한 센싱 채널의 산란체 특성인 레이더 단면적은 물체의 면적, 재료 등에 영향을 받는 값으로, ISAC 전파 채널 모델링에 추가적으로 포함되어야 할 요소 중 하나이다[12].

미국의 국가표준기술연구소(NIST)는 최근 28GHz 대역 센싱(Context-aware) 측정시스템을 개발하여 측정 캠페인을 통한 사람의 동작인식 특성 분석을 수행하였으며, NGA는 NIST와 협력하여 ISAC 전파채널 모델링에 대한 연구를 진행하고 있다.

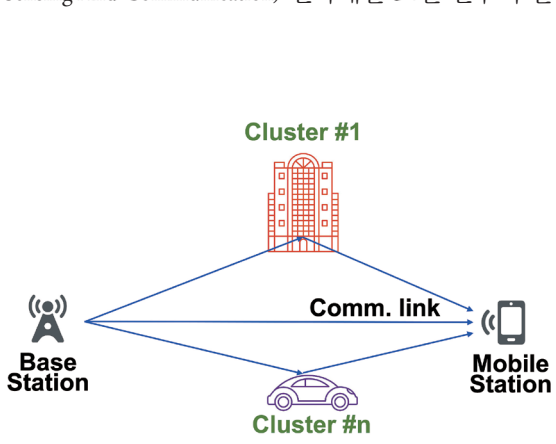


그림 3 기존 통신 채널모델링

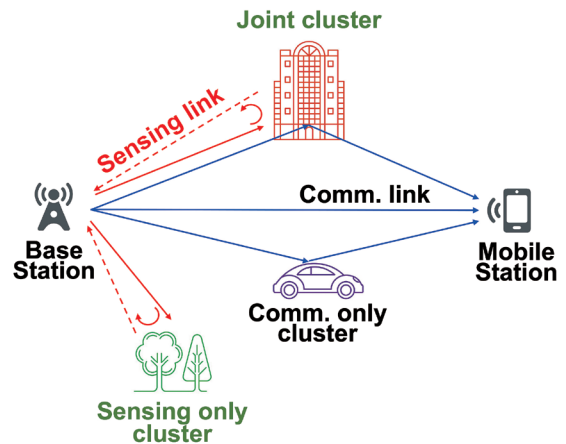


그림 4 센싱·통신 융합 채널모델링

V. 센싱-통신 주요 기술

1. 센싱 파형 및 간섭 저감 기술

센싱을 위한 전자파 신호는 그림 5와 같은 다양한 형태의 파형이 이용될 수 있다. 펄스 파형은 레이더 분야에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 파형 중 하나로, 원거리 표적탐지에 적합하여 군사용도 레이더와 기상용도 레이더에서 많이 이용되고 있다. 표적의 최대탐지거리를 확보하기 위해 충분한 관측 시간을 확보해야 하는데, 펄스 파형은 펄스 신호들 사이의 간격을 조정함으로써 이를 확보하기 쉽다는 장점이 있다. FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 파형 또한 레이더 분야에서 많이 이용되고 있는 파형 중 하나이며, 대부분의 차량용 레이더가 이용하고 있는 레이더 파형이기도 하다. 레이더 시스템의 구조가 간단하고 저렴한 비용으로 구현 가능하다는 특징으로 인해 자동차 분야와 같은 민수 분야에서 많이 이용되고 있다. 디지털 파형으로 분류

되는 PMCW(Phase Modulated Continuous Wave) 파형과 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 파형은 지금의 레이더 분야에서는 아직 많이 이용되고 있지는 않으나, ISAC 통신에 적합한 파형이다. 벨기에 Imec사에서는 28nm CMOS 공정을 이용한 79GHz 대역의 PMCW 레이더 SoC를 선보였으며[13], 독일의 울름대학교와 KIT 대학교에서는 OFDM 레이더 관련한 연구를 오랫동안 수행해 오고 있다[14].

기존의 통신 시스템에서 센싱의 기능을 추가하기 위해 할당되어 있는 대역폭 일부를 통신과 센싱의 공동 용도로 사용한다면 서로 간의 간섭 문제를 우선적으로 고려해야 한다. 이때, 이미 확보되어 있는 대역폭 안에서 기능 분리를 위해 일부의 영역을 또 다른 대역으로 나누고, 서로의 간섭을 피하기 위해 가드밴드를 삽입하여 각각의 용도로 주파수를 이용하는 방법을 우선 고려해 볼 수 있다. 하지만, 기존 통신 시스템에서 사용하는 OFDM 파형을 그대로 이용하되, sub-carrier들을 용도별로 나누어 이용한다면 보다 쉽게 간섭 문제를 피할 수 있다.

한편, ISAC 시스템에서 같은 주파수 대역을 센싱과 통신이라는 두 가지 기능을 모두 이용하기 위한 서로 간의 간섭 문제뿐만 아니라 레이더 시스템을 이용하는 다양한 사용자들 사이의 간섭 문제도 중요한 이슈가 될 것으로 예측된다. 하나의 예시로, FMCW 파형을 이용하고 차량용 레이더 분야에서도 최신 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 기능을 탑재한 자동차들이 늘어남에 따라 자동차들 사이의 간섭 문제로부터 자유롭지 못하다. 그렇지만, 같은 MRR(Mid Range Radar) 또는 LRR(Long Range Radar)을 이용하더라도 레이더 제조사들마다 사용하는 FMCW 파형이 조금씩 다르고, 자동차가 운행하면서 차량 간 거리도 지속적으로 변하기 때문에 순간적인 간섭 문제에 노출되는 특징이 있다. 이러

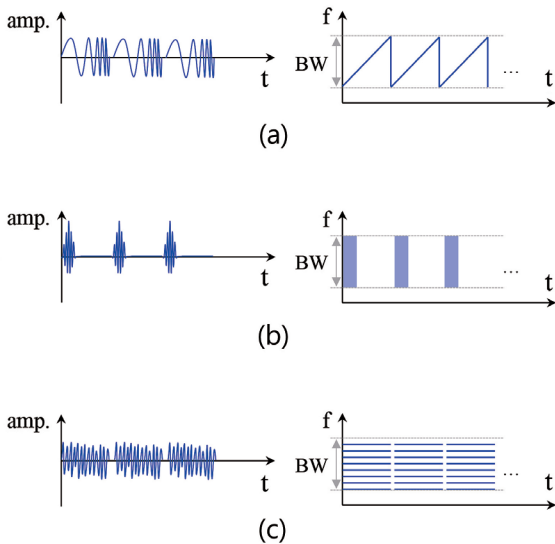


그림 5 센싱-통신에 이용 가능한 전자파 파형: (a) 펄스 파형, (b) FMCW 파형, (c) OFDM 파형

한 간섭 문제는 일반적으로 신호처리 방법으로 대응하고 있다. 하지만, 사용자가 보낸 신호와 다른 레이다 시스템으로부터 수신한 신호를 구분할 수 있는 OFDM과 같은 파형을 이용한다면 보다 나은 방식으로 레이다 간섭 문제에 대응할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 시스템 설계 기술

그림 6과 그림 7에는 레이다 시스템 구조도를 나타내었다. OFDM 레이다 시스템에서는 송출하고자 하는 데이터를 BPSK, QPSK, 16-QAM 등과 같

은 방식으로 디지털 도메인에서 OFDM 신호에 맵핑을 하고, 형성된 디지털 OFDM 신호를 아날로그 RF 신호로 변환하여 송신하는 구조를 가진다. 수신된 신호는 I/Q demodulation 과정을 통해 아날로그 RF 신호를 디지털 신호로 변복조하고, 획득된 디지털 신호로부터 데이터 정보를 획득할 수도 있으며 레이다 신호처리를 통해 표적의 거리, 속도, 각도 등의 정보를 획득할 수도 있다. OFDM 레이다 시스템에서 두 표적의 거리를 구분할 수 있는 거리 분해능은 대역폭에 의해 결정되며, 속도 분해능은 1프레임 OFDM 신호의 총 Symbol의 수와 그 길이에 의해 결정되며, 각도 분해능은 MIMO Processing에 의해 형

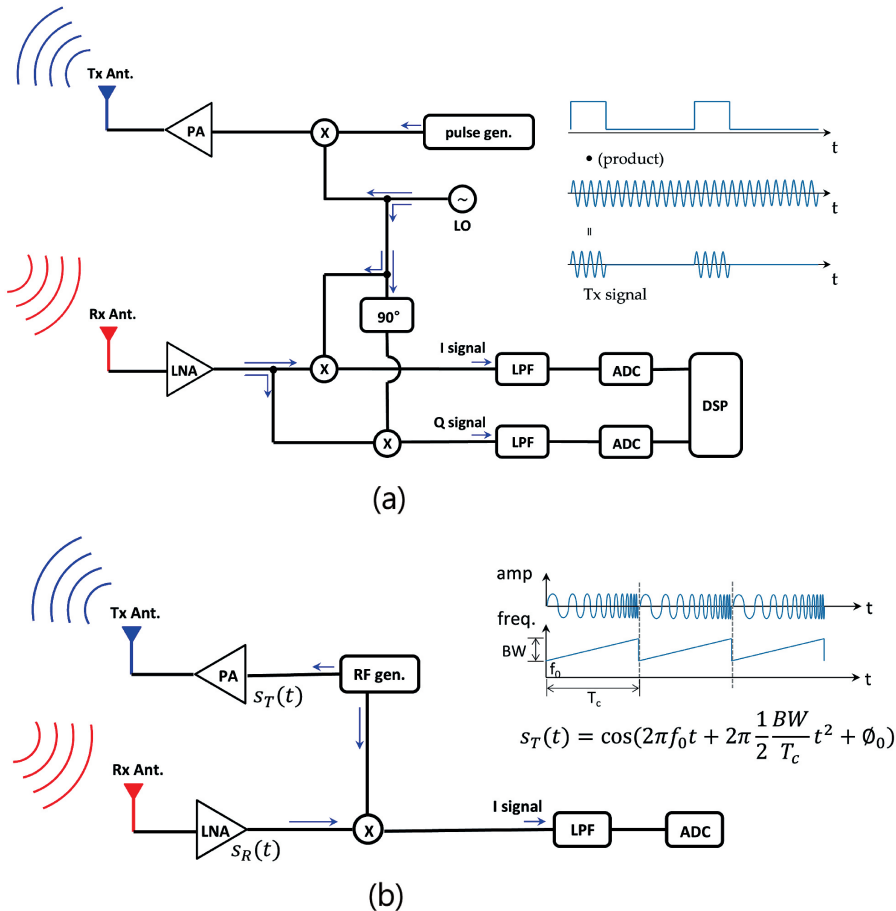


그림 6 레이다 시스템 구조도: (a) 펄스 레이다, (b) FMCW 레이다

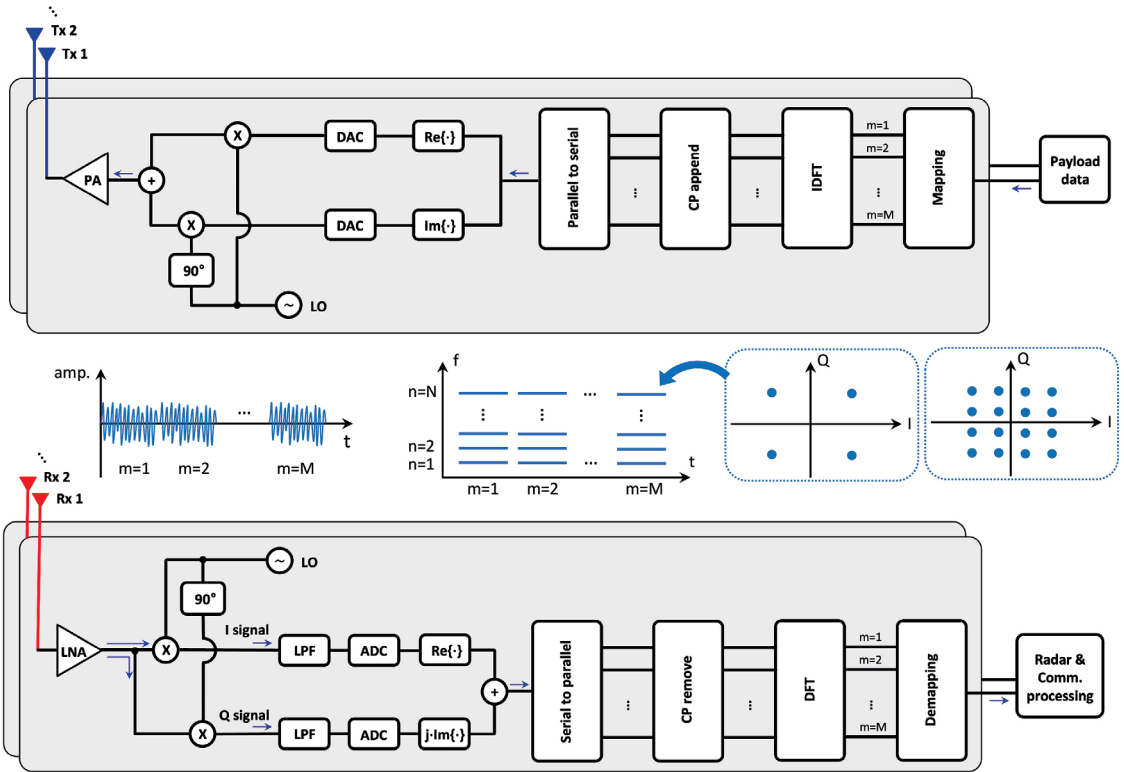


그림 7 센싱-통신을 위한 MIMO-OFDM 레이더 시스템 구조도

성된 가상안테나의 총 요소 수와 가상안테나 길이에 의해 결정된다. 레이더 시스템에서 중요한 성능 지표로 다루지는 거리, 속도, 각도 분해능은 OFDM 레이더 시스템이라고 해서 펄스 레이더나 FMCW 레이더와 다르게 결정되지 않는다. 어떠한 파형을 이용하든 거리, 속도, 각도 분해능은 대역폭, 1프레이밍 관측시간, 가상안테나 길이에 의해 각각 동일하게 결정된다. 이러한 물리적 특징은 어떤 파형을 이용하느냐에 따라 레이더 성능 측면에서 큰 차이가 없는 것처럼 보일 수도 있다. 하지만, 어떤 레이더 파형을 이용하느냐에 따라 그림 6과 그림 7에서 보이는 바와 같이 시스템의 구조가 다르고, 이에 따라 구현의 난이도가 달라진다. 또한, 원거리 표적 관측을 위해 1주기가 긴 신호를 만들어야 할 경우, FMCW 파형보다 펄스 파형이 용이하고, 빠르게 이

동하는 표적을 관측하기 위해 짧은 1주기 신호를 만들기 위해서는 FMCW 파형보다 OFDM 파형이 유리한 측면이 있다. 따라서, 레이더가 운용될 시나리오가 먼저 정해진 뒤, 그 상황에 맞는 레이더 파형을 선택하고, 세부적으로 목적 달성을 위한 레이더 파형 설계가 수반되어야 한다. 센싱과 통신이 함께 이용될 것으로 전망되는 차세대 통신 시스템에서는 기존의 통신 시스템에 간섭 부담이 적고, 고속 이동 중에도 센싱이 가능하고, 레이더 사용자들 간 식별도 가능한 OFDM 파형이 다양한 이유로 각광받을 것으로 전망된다.

3. AI 기반 설계 및 센싱 기술

ISAC 시스템을 위해서는 파형 설계 및 안테나 설

계 등 복잡한 시스템의 설계 최적화 등의 성능 개선 역시 중요한 이슈이다. 또한, 미래의 네트워크는 장치 상태 및 채널 상태를 인식하고 지시하는 지능 연결로 전환될 것으로 예상된다. 이를 위해 센싱-통신 융합기술에서는 AI(Artificial Intelligence) 기술을 활용하여 복잡한 MIMO 시스템 설계의 컴퓨팅 부담을 줄인다[15]. 또한, 기존의 설계 최적화를 넘어 레이다 신호 탐지, 표적 및 파형 분류, 스펙트럼 식별 등을 통한 센싱 파라미터 추출과 상황 인식에 AI 기술을 활용하고 이를 통합 시스템 운용으로 확장한다.

설계 최적화는 AI 분야 중 하나인 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 연구가 활발히 연구되고 있다. 딥러닝은 학습 방법에 따라 지도학습, 비지도학습, 강화학습의 3가지 방법으로 분류할 수 있다. 이중 지도학습은 센싱-통신 융합 기술에 있어 표적 분류, 파형 인식 등을 위한 massive MIMO 안테나 설계와 하이브리드 빔포머 성능 예측 등에 적용될 수 있다[16]. 또한, 센싱 서비스에 있어 고차원 센싱 파라미터의 추출에 있어 지도학습이 활용될 수 있다[16]. 또는 다수의 측정데이터 확보 어려움을 보완하도록 GAN(Generative Adversarial Network) 등 비지도학습 및 최적화를 위한 강화학습 등이 적용될 수 있다. 목적 함수와 최적화 적용 분류에 따라 설계 문제를 정의하고 적절한 방법을 선택하여 솔루션을 도출할 수 있다. 센싱-통신 융합에 AI 기술의 적용은 이미 몇몇 연구를 통해 그 타당성과 가능성이 입증되었으며, 앞으로 더욱 효과적인 성능 예측 및 설계 최적화에 활용될 핵심 기술로 전망된다.

VI. 결론

통신 시스템에 센싱 기능을 부여하여 새로운 서비스를 제공하고자 하는 노력이 진행 중이다. 학계에서는 통신과 센싱에 대한 연구가 오래전부터 진

행되어왔으며, 근래에는 3GPP와 IEEE 802.11를 중심으로 센싱-통신 융합을 위한 표준이 준비 중이다. 본고에서는 센싱과 통신의 융합 서비스를 위한 활용 예시와 함께 새로운 전파채널 모델의 필요성과 주요 기술에 대해 살펴보았다. 센싱과 통신 융합 서비스가 활성화되기 위해서는 센싱 성능을 높이기 위한 노력과 함께 주어진 센싱 성능에서 제공 가능한 서비스 개발이 필요하고, 민감한 센싱 정보를 보호하기 위한 기술 개발이 필요하다.

용어해설

3GPP 이동통신 표준 제정을 위해 한국, 유럽, 일본, 미국 및 중국의 표준화 기관이 주축이 되어 1998년에 설립한 단체
IEEE 802.11 무선랜 표준 규격으로 여러 개의 태스크그룹으로 구성되며 무선랜 센싱 표준은 태스크그룹 b에서 진행 중
Next G Alliance 미국통신산업협회가 주축이 되어 2020년 10월에 창립한 단체로 6G 기술 주도권 선점을 목적으로 미국의 3대 이동통신 서비스사를 비롯하여 많은 통신장비 및 부품 기업이 참여

약어 정리

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
AI	Artificial Intelligence
AP	Access Point
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FRD	Functional Requirements Document
GAN	Generative Adversarial Network
GSM	Global System for Mobile Communication
ISAC	Integrated Sensing And Communication
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control Layer
MIMO	Multiple Input Multiple Output
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PAR	Project Authorization Request
PHY	Physical Layer
PMCW	Phase Modulated Continuous Wave
PPDU	Physical layer convergence procedure Protocol Data Unit
SENS	WLAN Sensing

참고문헌

[1] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group TSG SA; Feasibility Study on Integrated Sensing and Communication(Release19), TR22.837, 2023.

[2] Next G Alliance, Next G Alliance Report: 6G Technologies, 2022.

[3] C. Chen et al., "Wi-Fi sensing based on IEEE 802.11bf," IEEE Commun. Mag., vol. 61, no. 1, 2023, pp. 121-127.

[4] IEEE 802.11 WG, IEEE 802.11bf Functional Requirements Document, 2020.

[5] https://www.ieee802.org/11/Reports/tgbf_update.htm

[6] H. Tataria et al., "Standardization of propagation models for terrestrial cellular systems: A historical perspective," Int. J. Wirel. Inf. Netw., vol. 28, 2021, pp. 20-44.

[7] ITU-R M.1225, Guidelines for evaluation of radio transmission, ITU-R, 1997.

[8] 3GPP TR 25.996 v. 6.1.0, Spatial channel model for multiple-input multiple-output simulations, 2003.

[9] ITU-R M.2135, Guidelines for evaluation of technologies for IMT-Advanced, ITU-R, 2009.

[10] 3GPP TR 38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz, v. 14.3.1, J2018.

[11] Document 5/131 Draft new Recommendation ITU-R M.[IMT.FRAMEWORK FOR 2030 ANDBEYOND]-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2030 and beyond, ITU-R SG 5, 2023.

[12] Y. Liu et al., "A shared cluster-based stochastic channel model for joint communication and sensing systems," arXiv preprint, CoRR, 2022, arXiv: 2211.06615.

[13] D. Guermandi et al., "A 79-GHz 2x2 MIMO PMCW Radar SoC in 28-nm CMOS," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 52, no. 10, 2017.

[14] B. Nuss and T. Zwick, "A novel interference mitigation technique for MIMO OFDM radar using compressed sensing," in Proc. EURAD, (Nuremberg, Germany), Oct. 2017.

[15] X. Fang et al., "Joint communication and sensing toward 6G: Models and potential of using MIMO," IEEE Internet Things J., vol. 10, no. 5, 2022, pp. 4093-4116.

[16] A.M. Elbir and K.V. Mishra, "Deep learning design for joint antenna selection and hybrid beamforming in massive MIMO," in Proc. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting, (Atlanta, GA, USA), Jul. 2019, pp. 1585-1586.