

석사학위논문

송 · 수신 안테나 통합을 통한
초음파 도플러 센서의 소형화 기술개발

2024년

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과

스 마 트 팩 토 리 컨 설 팅 전 공

김 안 순

석사학위논문
지도교수 홍정완

송·수신 안테나 통합을 통한
초음파 도플러 센서의 소형화 기술개발

Development of Miniaturization Technology for Ultrasonic
Doppler Sensors through Integration of Transmission and
Reception Antennas

2024년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

김 안 순

석사학위논문
지도교수 홍정완

송·수신 안테나 통합을 통한
초음파 도플러 센서의 소형화 기술개발

Development of Miniaturization Technology for Ultrasonic
Doppler Sensors through Integration of Transmission and
Reception Antennas

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 6월 일

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스마트융합컨설팅학과

스마트팩토리컨설팅전공

김 안 순

김안순의 공학 석사학위 논문을 인준함

2024년 6월 일

심 사 위 원 장 윤 주 일 (인)

심 사 위 원 박 인 채 (인)

심 사 위 원 홍 정 완 (인)

국 문 초 록

송·수신 안테나 통합을 통한 초음파 도플러 센서의 소형화 기술개발

한성대학교 지식서비스&컨설팅대학원

스 마 트 융 합 컨 설 팅 학 과

스 마 트 팩 토 리 컨 설 팅 전 공

김 안 순

본 논문은 폴링(polling) 기술의 활용과 송수신 안테나를 통합함으로써 기술적 혁신을 가져왔으며, 초소형 초음파 도플러 센서를 15(mm)*16(mm)로 획기적으로 줄이는 동시에, 에너지 소모를 동종 업계 최저 수준으로 구현하였습니다.

기존 초음파 도플러 센서는 송신과 수신을 위해 별도의 안테나를 사용함으로써, 크기와 전력 소모 면에서 제한이 있었습니다. 따라서 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서 송·수신 안테나를 통합된 하나의 안테나로 설계하고 최적화했습니다.

또한, 통합된 안테나는 제조 공정의 단순화와 공간 효율성을 극대화하였으며, 고효율 전력 관리 시스템 도입으로 불필요한 전력 소모를 줄인 저전력 설계는 센서의 전력 소모를 최소화하였기 때문에 비용 절감에 효율성을 가져왔습니다. 이를 통해 개발된 센서는 평균적으로 140mW 이하의 전력을 소비하며, 이는 기존 초음파 도플러 센서에 비해 크게 향상된 전력의 효율성을 보여줍니다. 저전력 소모의 효율성은 배터리 수명의 연장과 유지보수 비용이 절감되며 센서 사용의 편의성이 크게 향상됩니다. 이러한 저전력 소모는 배터리로

구동되는 휴대용 기기나 장기간 동작이 필요한 시스템에서 큰 이점을 제공합니다.

따라서 본 연구의 주요성과는 다음과 같습니다. 첫째, 15(mm)*16(mm)의 크기로 동종 업계에서 가장 작은 초음파 도플러 센서를 구현하였습니다. 이는 제한된 환경의 공간에서도 센서를 쉽게 통합할 수 있게 합니다. 둘째, 전력 효율성 측면에서 평균 전력 140mW 이하로 저전력 소모를 통해 배터리 수명을 크게 연장했습니다. 셋째, 크기는 작아지고 전력 소모도 획기적으로 줄어들었음에도, 감지 거리는 5M로 기존 센서들과 비슷한 성능을 보여주고 있습니다.

본 연구에서 개발된 초소형 초음파 도플러 센서는 다양한 산업 분야에서 활용될 수 있습니다. 자동차 산업에서는 자율주행 시스템의 장애물 감지 및 충돌 방지 기능을 향상할 수 있으며, 의료기기 분야에서는 진단 장비를 소형화로 통합시킬 수 있습니다. 보안 시스템 및 산업 자동화와 같은 시스템에서도 저전력과 높은 감지 신뢰도가 요구되는 다양한 제품에 응용되고 활용될 수 있습니다.

결론적으로 본 논문은 폴링 기술을 활용하여 송수신 안테나를 통합하고 이를 통해 15(mm)*16(mm) 크기의 초소형 초음파 도플러 센서를 개발한 연구로, 에너지 소모를 동종 업계 최저 수준으로 구현시킨 기술적 혁신으로 인해 센서의 실용성을 다양한 응용 분야에서 크게 향상될 것이며, 지속적인 센서의 확장적 기술과 발전은 동종 업계의 새로운 기준을 설정하는 데 일조할 것입니다.

【주요어】 도플러, 센서, 초음파, 소형화, 통합안테나, 폴링, 소비전력

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	1
1.3 초음파 도플러의 역할	3
2. 이론적 배경	6
2.1 초음파 도플러 센서의 기술 개요	7
2.2 송·수신 안테나 통합기술과 소형화 기술	12
2.3 송·수신 안테나 통합기술을 위한 폴링 기술	18
3. 초소형 도플러 센서 개발	21
3.1 송·수신 안테나 통합기술의 개발	22
3.2 초소형 초음파 도플러 센서의 개발	24
3.3 개발된 초소형 도플러 센서의 사양	26
3.4 개발된 초소형 도플러 센서의 성능	28
3.4.1 크기 측정	29
3.4.2 감지 거리 측정	30
3.4.3 소모 전력 측정	34
4. 결 론	36
4.1 결과 요약	36
4.2 연구의 기여 및 의의	36
4.3 연구의 한계	37
4.4 추후 연구 방향	38

참고 문헌	40
ABSTRACT	45

표 목 차

[표 1] 개발된 초음파 도플러 센서의 사양	28
[표 2] 크기 비교	30
[표 3] 높이 3M의 천장, 측정 평균값	31
[표 4] 높이 1.5M의 벽면, 측정 평균값	33
[표 5] 감지 거리 비교	34
[표 6] 소비전력 비교	35

그 립 목 차

[그림 1] 기존 안테나 분리형 초음파 도플러 센서 구성	9
[그림 2] 안테나 방사 다이어그램 예시	13
[그림 3] 송·수신 안테나 통합 기술개발 구성	22
[그림 4] 송·수신 안테나 분리형과 통합안테나의 초음파 도플러 센서	23
[그림 5] 개발된 초소형 초음파 도플러 센서(BMD-10GD)	24
[그림 6] XBR816C 정보	24
[그림 7] 개발된 초소형 초음파 도플러 센서의 회로도	25
[그림 8] 개발된 초소형 초음파 도플러 센서의 PCB 설계	26
[그림 9] 개발된 초소형 초음파 도플러 센서의 실드 캔	26
[그림 10] 개발된 초음파 도플러 센서의 적용 예시	27
[그림 11] 초음파 도플러 센서 크기의 측정	29
[그림 12] 개발된 초음파 도플러 센서의 설치 조건	30
[그림 13] 3M 높이의 천장에 설치	31
[그림 14] 3M 높이의 천장에서 감지 거리 측정 평균값 차트	32
[그림 15] 1.5M 높이의 벽면에 설치	32
[그림 16] 1.5M 높이의 벽면에서 감지 거리 측정 평균값 차트	33
[그림 17] 개발된 초음파 도플러 센서의 소비전력 측정	34
[그림 18] BMD-10GD 초음파 도플러 센서 테스트 보드	38

I. 서론

1.1. 연구의 배경

초음파 도플러 센서는 물체의 움직임과 속도를 초음파로 측정하는 장치로, 이동하는 물체에 반사된 초음파 주파수 변화를 측정함으로써, 물체의 속도 및 이동 방향을 판단하는 기능을 가진 센서입니다. 최근 기술의 눈부신 발전은 도플러 센서 기술의 소형화와 통합화를 가속하고 있으며, 이는 다양한 산업 분야에서 혁신적인 변화를 촉진하고 있습니다. 특히, 초음파 도플러 센서는 의료, 자동차, 로봇 공학 등 여러 분야에서 중추적인 역할 뿐만 아니라, 응용 범위의 지속적인 확장성을 가지고 있습니다. 이들 센서는 물체의 움직임과 속도를 감지하는 데 사용되며, 정밀도와 신뢰성이 매우 중요합니다(강경선 외, 2023).

따라서 초음파 도플러 센서는 스마트 IoT 분야에서 중요시 되고 있기 때문에, 점차 소형화와 전력 소모의 최소화를 위해 효율적인 수단으로 송·수신 안테나 통합을 통한 초음파 도플러 센서의 기술개발에 대한 접근 뿐만 아니라 연구의 필요성이 선행되어야 하므로, 이 연구 개발을 진행하였습니다.

1.2 연구의 목적

초음파 도플러 센서는 전파의 도플러 효과를 이용하여 물체의 움직임과 속도를 감지하는 기술로, 다양한 응용 분야에서 핵심적인 역할을 하고 있습니다. 이 센서는 특히 IoT와 스마트 디바이스의 발전과 함께 그 중요성이 더욱 커지고 있습니다. 초음파 도플러 센서는 교통 관리, 보안 시스템, 의료 모니터링, 스마트 가전, 에너지 관리, 산업 자동화, 농업 등 다양한 분야에서 필수적인 도구로 사용됩니다(신현준 외, 2015).

이 센서는 다양한 응용 분야에서 유용하게 사용되지만, 거리 및 해상도 제

한, 환경적 제약, 신호 처리 및 노이즈, 다중 목표물 감지의 어려움, 공간적 해상도 및 측정 범위의 트레이드 오프, 전력 소비 및 배터리 수명 등의 기술적 한계가 존재합니다(박양재, 2019).

이러한 한계를 극복하기 위해서는 센서 기술의 발전과 함께 신호 처리 알고리즘의 개선, 새로운 소재 및 구조의 도입, 에너지의 효율적 설계, 안테나의 통합 등으로 응용 범위를 확장하기 위해서 다음과 같은 연구과제와 기술개발이 선행되어야 합니다.

첫째, 소형화는 초음파 도플러 센서의 중요한 연구 과제 중 하나입니다. IoT 디바이스와 웨어러블 기술이 발전하면서, 센서의 크기와 무게를 최소화하는 것이 필요합니다. 소형화된 센서는 다양한 디바이스에 쉽게 통합될 수 있으며, 휴대성도 향상시킵니다(이현정 외, 2012).

둘째, 에너지 효율성은 이 센서의 중요한 연구 주제 중 하나입니다. 대부분의 IoT 디바이스와 웨어러블 장치는 배터리 수명이 제한적이므로, 센서의 전력 소비를 최소화하는 것이 필요합니다. 저전력 소모를 달성하기 위해서는 새로운 회로설계, 에너지 효율적인 소재, 전력 관리 기술 등의 연구가 필요합니다. 이를 통해 센서의 사용 시간을 연장하고, 에너지 절약을 실현할 수 있습니다(강윤희 외, 2015). 따라서, 초음파 도플러 센서의 저전력 소모는 특히 배터리 수명이 중요한 IoT 디바이스에서 필수적인 요소입니다. 지속적인 센서의 작동으로 데이터를 수집하고 전송함으로써, 효율적인 에너지 사용으로 디바이스의 사용 시간을 최대화할 수 있습니다. 이처럼 에너지 효율성이 높은 초음파 도플러 센서는 배터리 수명을 연장하고, 유지보수 비용을 줄이며, 환경적 영향을 최소화하는 데 기여합니다. 따라서, 적은 전력 소모와 높은 효율성을 갖춘 초음파 도플러 센서의 개발이 중요합니다(이기승 외, 2016).

그다음 중요한 과제는 대규모 응용 시 초음파 도플러 센서의 비용 절감입니다. 효율적 비용의 센서는 더 많은 응용 분야에서 사용될 수 있으며, 특히 대량 생산이 가능할 때 그 장점이 극대화됩니다. 예를 들어, 스마트 시티 프로젝트에서 수많은 센서를 설치하여 교통 관리, 보안, 환경 모니터링 등을 수행하기 위해서는 센서의 단가를 낮추고 대량 생산 가능성을 높이는 것이 중요합니다. 이를 위해서는 새로운 재료와 제조 기술의 도입이 선행되어야 합

니다(강경선 외, 2023).

본 논문은 폴링 기술을 사용하여 송·수신 안테나를 통합하여 초음파 도플러 센서의 초소형화로 소비전력을 줄여주는 새로운 기술을 제안합니다. 이 기술은 센서의 크기와 전력 소비를 대폭 줄이면서도 성능은 유지되고 에너지 효율성이 개선됩니다. 이러한 연구는 초음파 도플러 센서의 기술적 한계를 극복하고, 그 응용 범위를 확장하는 데 기여할 것으로 기대됩니다. 따라서 도플러 센서 기술의 미래 발전 방향을 제시하며, 초소형화와 고효율화가 중요한 요구사항이 되는 현대 기술 환경에서 중요한 참고 자료가 될 것입니다.

1.3 초음파 도플러 센서의 역할

최근에는 스마트 가전 제품에서도 초음파 도플러 센서는 아주 중요한 역할을 합니다. 예를 들면, 첫째, 스마트 조명 시스템은 사람의 움직임을 감지하여 자동으로 조명을 켜거나 끌 수 있습니다. 스마트 난방 및 냉방 시스템은 방 안에 사람이 있는지에 따라 에너지 사용을 최적화할 수 있습니다. 이러한 응용은 에너지 효율성을 높이고 사용자 편의를 증대시킵니다. 초음파 도플러를 통해 가전제품은 사용자와 상호작용하며, 환경 변화에 적응하여 자동으로 작동합니다. 이는 에너지 소비를 줄이고 생활의 편리함을 증가시키는 데 기여합니다(남은진, 2023).

둘째, 에너지 관리 시스템에서도 중요한 역할을 합니다. 건물의 에너지 사용을 최적화하기 위해 실내의 움직임을 감지하고, 그에 따라 난방, 냉방, 조명 시스템을 조절할 수 있습니다. 이를 통해 에너지 낭비를 줄이고, 비용 절감 및 환경 보호에 기여합니다. 예를 들어, 사무실 건물에서는 초음파 도플러 센서를 통해 실내 인원을 모니터링하고, 필요한 공간에만 조명과 난방을 제공합니다. 이로써 에너지 절약을 실현할 수 있습니다(이현정 외, 2012).

셋째, 산업 자동화 분야에서는 물체의 이동을 감지하고, 로봇이나 기계의 동작을 제어하는 데 사용됩니다. 생산설비에서 물체의 위치와 속도를 실시간으로 모니터링하여 효율적인 공정 관리를 가능하게 합니다. 또한, 물류 창고에서 상품의 이동을 추적하고, 자동화된 시스템이 물품을 적절히 배치하고 운

반하도록 지원합니다. 초음파 도플러 센서는 정확한 위치 감지와 속도 측정을 통해 산업 현장의 자동화와 효율성을 극대화합니다(이기승, 2016).

넷째, 농업 분야에서도 초음파 도플러 센서는 유용합니다. 예를 들어, 농업용 드론에 탑재되어 작물의 상태를 모니터링하고, 가축의 움직임을 추적할 수 있습니다. 이러한 기술은 농작물의 생장 상태를 분석하고, 가축의 건강 상태를 실시간으로 파악하여, 농작물의 최적의 성장 환경을 조성할 수 있도록 지원합니다. 또한, 가축의 활동을 추적하여 건강 상태를 모니터링하고, 비정상적인 행동을 신속히 감지할 수 있습니다(이수성 외, 2000).

이처럼 상용화되는 초음파 도플러 센서는 물체의 움직임과 속도를 감지하는 기술로, 다양한 응용 분야에서 핵심적인 역할을 하고 있습니다. 교통 관리, 보안 시스템, 의료 모니터링, 스마트 가전, 에너지 관리, 산업 자동화, 농업 등에서 초음파 도플러 센서는 필수적인 도구로 사용되고 있으며, 특히 IoT와 스마트 디바이스의 발전과 함께 그 중요성이 더욱 커지고 있습니다. 따라서, 초음파 도플러 센서는 높은 정확도와 신뢰성을 바탕으로 여러 산업 분야에서 중요한 역할을 하며, 지속적인 기술 발전과 응용 확대가 기대됩니다(강경선 외, 2023).

기존의 초음파 도플러 센서는 일반적으로 송신기와 수신기가 별도로 구성된 듀얼 트랜스듀서¹⁾ 설계를 채택합니다. 이는 신호 간섭을 최소화하고, 각각의 트랜스듀서가 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 합니다. 듀얼 트랜스듀서는 각 기능에 맞는 최적화된 설계를 적용할 수 있어, 신호 전송 및 수신 효율을 높일 수 있습니다(이수성 외, 2000).

IoT용 초음파 도플러 센서는 일반적으로 5GHz에서 10GHz 사이의 주파수를 사용합니다. 주파수 선택은 측정 대상과 응용 분야에 따라 달라집니다. 높은 주파수는 해상도가 높지만, 신호 감쇠가 커서 짧은 거리에서 사용됩니다. 낮은 주파수는 깊이 침투력이 강하지만 해상도가 낮아집니다. 의료 분야에서는 높은 해상도를 요구하는 경우 고주파를, 깊이 측정이 필요한 경우 저주파를 사용합니다(Hugo Landaluce, 2020).

1) 트랜스듀서(Transducer) 또는 변환기는 에너지를 한 형태에서 다른 형태로 변환하는 장치이다.

기존 설계에서는 도플러 주파수를 정확하게 추출하기 위해 FFT(고속 푸리에 변환)²⁾ 나 CW(연속파)³⁾ 도플러 방식이 사용됩니다. FFT는 시간 영역 신호를 주파수 영역으로 변환하여 주파수 성분을 분석하는 데 사용됩니다. CW 도플러는 연속적으로 신호를 발사하고 수신하여 실시간으로 속도 변화를 감지합니다(Haipeng Pan 외, 2022).

2) Fast Fourier Transform의 약어. 이산적인 데이터를 푸리에 변환하는 계산을 고속으로 하는 방법으로 Cooley-Tukey의 알고리즘이 유명하다.

3) Continuous Wave, 정상상태의 정현파와 같이 진폭 또는 세기가 변화하지 않는 파. 펄스파와 대응된다.

II. 이론적 배경

도플러 센서 기술은 다양한 응용 분야에서 활용되고 있으며, 특히 도플러 근접 센서와 송수신 안테나 통합을 통합한 초소형 도플러 센서 개발은 특히 주목받고 있습니다. 도플러 센서는 물체의 속도, 거리 및 움직임을 측정하는데 유용하며, 이는 송신된 신호가 물체에 반사된 후 수신된 신호의 주파수 변화를 분석하여 이루어집니다(김태진 외, 2009).

본 논문은 폴링(poling) 기술을 사용하여 송·수신 안테나를 통합한 초소형 초음파 도플러 센서를 개발한 연구입니다. 도플러 효과는 물체의 움직임이 관찰자에게 다가오거나 멀어질 때 발생하는 주파수 변화 현상으로, 초음파 도플러 센서, 전파공학, 양자물리학 및 안테나 공학의 중요한 이론적 기반이 됩니다.

양자물리학에서는 도플러 효과가 빛의 파동 특성과 관련이 있습니다. 파동 이론에 따르면 빛은 입자이자 파동으로 간주할 수 있으며, 물체의 상대적 속도는 빛의 파장을 변화시켜 주파수 이동을 발생시킵니다. 이는 천문학에서 별의 움직임을 측정하거나 레이저 도플러 속도계에서 미세한 운동을 감지하는데 사용됩니다(Homa Arab 외, 2018).

전파공학에서는 도플러 효과가 무선 통신과 레이더 시스템에서 중요한 역할을 합니다. 이동하는 물체는 송신된 전파의 주파수를 변환시키며, 이에 따라 주파수 이동이 발생합니다. 이를 통해 레이더는 물체의 속도와 방향을 측정할 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018). 안테나 공학에서는 송수신 안테나가 전파를 방출하고 수신하는 과정에서 도플러 효과를 고려해야 합니다. 특히 이동하는 물체의 경우 송신 신호의 주파수 변화가 발생하므로 이를 보정(補正)하여 정확한 신호 처리를 수행해야 합니다(Homa Arab 외, 2018).

도플러 효과는 1842년 크리스티안 도플러가 처음 제안한 이후 물리학과 공학의 다양한 분야에서 널리 연구되었습니다. 음파와 전자기파 모두에서 발생하는 이 현상은 파동의 발원지와 관찰자가 서로 이동할 때 주파수의 변화로 설명됩니다. 이 원리는 초음파 도플러 센서와 같은 응용 기술에서 중요한 역할을 하며, 양자물리학, 전파공학, 안테나 공학에서 핵심적인 개념으로 자리

잡고 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

기존 초음파 도플러 센서는 송신과 수신을 위해 별도의 안테나를 사용하여 크기와 전력 소모 면에서 제한이 있었습니다(Homa Arab 외, 2018). 본 연구에서는 송수신 안테나를 하나의 통합된 구조로 설계하고 폴링 기술을 적용하여 센서의 크기를 획기적으로 줄이고 전력 소모를 최소화하였습니다.

저전력 설계를 통해 센서의 전력 소모를 최소화하기 위해 고효율 전력 관리 시스템과 저전력 회로 설계가 사용되었습니다. 이를 통해 개발된 센서는 평균적으로 140mW 이하의 전력을 소비하며 이는 기존 초음파 도플러 센서에 비해 크게 향상된 전력 효율성을 보여줍니다. 이러한 저전력 소모는 배터리로 구동되는 휴대용 기기나 장기간 동작이 필요한 시스템에서 큰 이점을 제공합니다. 저전력 소모 덕분에 배터리 수명이 연장되고 유지보수 비용이 절감되며 센서의 사용 편의성이 크게 향상됩니다(Homa Arab 외, 2018).

이 연구의 주요성과는 15(mm)*16(mm)의 크기로 동종 업계에서 가장 작은 초음파 도플러 센서를 구현하였고, 이는 공간이 제한된 환경에서도 센서를 쉽게 통합할 수 있게 합니다. 통합된 안테나와 폴링 기술 덕분에 센서의 감지 범위와 정밀도가 크게 향상되었으며 이는 보안 시스템, 자율주행 자동차의 안전 기능 등 다양한 응용 분야에서 중요한 역할을 합니다(Homa Arab 외, 2018). 개발된 초소형 초음파 도플러 센서는 다양한 산업 분야에서 활용될 수 있으며, 자동차 산업에서는 자율주행 시스템의 장애물 감지 및 충돌 방지 기능을 향상할 수 있고, 의료기기에서는 소형화된 진단 장비에 통합될 수 있으며, 보안 시스템 및 산업 자동화 시스템에서도 저전력 소모와 높은 감지 신뢰도가 요구되는 다양한 응용에 활용될 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

본 논문에서 개발하는 송·수신 안테나 통합을 통한 초음파 도플러 센서의 초소형과 기술개발은 X-Band에서 10.525GHz로 동작하는 사람의 움직임 을 감지하는 초음파 도플러 센서입니다.

2.1. 초음파 도플러 센서 기술 개요

도플러 효과는 파원(Wave source)⁴⁾과 관찰자가 상대적으로 움직일 때 파

동의 주파수 또는 파장이 변화하는 현상입니다. 도플러 근접 센서는 이 원리를 기반으로 하여 물체의 속도와 방향을 감지합니다(김태진 외, 2009).

최근 RF 기술과 통신 기술이 발전함에 따라 저렴하면서도 소형화된 무선 통신기기들을 사용할 수 있게 됨에 따라 공학, 의학을 비롯한 많은 분야에 다양하게 이용되고 있습니다(김태진 외, 2009).

도플러 센서는 주로 물체의 속도와 거리를 측정하는 데 사용됩니다. 송신 안테나에서 신호를 보내고, 이 신호가 물체에 반사되어 돌아오는 시간을 측정하거나, 반사된 신호의 주파수 변화를 분석하여 물체의 속도를 파악합니다. 이러한 기술은 레이더, 초음파, mmWave(밀리미터파)⁵⁾ 기술을 포함하여 다양한 형태로 구현될 수 있습니다.

파원과 관찰자가 가까워지면 관찰되는 주파수가 증가하고, 멀어지면 관찰되는 주파수가 감소합니다. 수학적으로, 관찰되는 주파수는 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$f' = f \left(\frac{c + v_r}{c + v_s} \right)$$

여기서, f 는 방출 주파수, c 는 매질 내에서의 파동 속도, v_r 는 매질에 대한 수신기 속도, v_s 는 매질에 대한 파원의 속도입니다(임용빈 외, 2017).

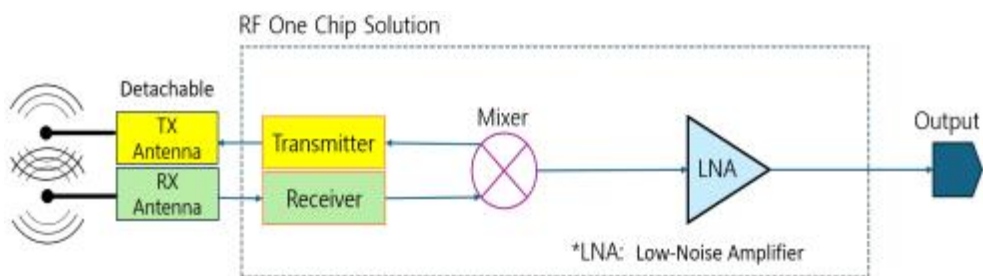
초음파 도플러 센서는 고주파 음파를 방출하고, 움직이는 물체에 반사된 파동의 주파수 변화를 측정합니다. 이러한 센서는 의료 영상, 산업 유량 측정, 자동차 애플리케이션 등에 널리 사용됩니다. 초음파 트랜스듀서(Transducer)는 특정 주파수의 음파를 방출하며, 이 파동이 움직이는 물체에 부딪혀 반사되면 센서로 돌아옵니다. 반사된 파동의 주파수는 도플러 효과로 인해 변합니다(이기승, 2016). 초음파 도플러 센서의 응용 범위가 넓어짐에 따라, 센서의 소형화, 고성능화, 비용 절감이 중요한 연구 과제가 되었습니다. 초소형 도플

4) 진동을 일으키는 물체나 장소같이 파동이 처음 만들어진 곳.

5) 주파수가 30~300GHz이고, 파장이 1~10mm인 전파.

러 센서는 IoT 디바이스에 쉽게 통합될 수 있어 다양한 응용 분야에서 활용도를 높일 수 있습니다. 이러한 센서는 작은 크기에도 불구하고 높은 정확도와 신뢰성을 제공해야 하며, 저전력 소모와 비용 효율성도 갖추어야 합니다. 이는 특히 환경친화적 소재와 최신 제조 기술을 활용하여 달성할 수 있습니다. 따라서, 이러한 요구를 충족시키기 위한 연구와 개발이 필수적입니다.

도플러 센서를 소형화하려면 송신 및 수신 안테나를 통합하여 센서 전체 크기를 줄이고 성능을 향상할 수 있습니다(윤기호, 2011). 송·수신 안테나 통합의 방법으로는 폴링 기술과 MEMS⁶⁾ 기술과 내부 신호 혼합 기술이 있습니다. MEMS 기술을 사용하여 전자 부품과 통합된 작은 기계 장치의 제작이 가능하며, MEMS 트랜스듀서는 초음파를 효율적으로 생성하고 감지할 수 있어 소형 센서 설계에 적합합니다. 내부 신호 혼합 기술은 반사된 신호를 센서 내부에서 방출 신호의 일부와 혼합되어 설계를 간단하게 할 수 있으며, 감도를 향상합니다. 이 방법은 센서 하드웨어의 크기와 복잡성을 줄이는 데 효과적입니다(Yanlu Li 외, 2022).



[그림 1] 기존 안테나 분리형 초음파 도플러 구성

초음파 도플러 시스템은 송신기, 수신기, 안테나 및 신호 처리부로 구성되며, 각각의 구성 요소가 시스템 성능에 큰 영향을 미칩니다. 송신기는 고주파 신호를 발생시키고, 수신기는 반사된 신호를 수신하여 주파수 변화를 감지합니다. 안테나는 송신된 전파를 방사하고 반사된 전파를 수신하는 역할을 하며, 신호 처리부는 반사된 신호의 주파수 변화를 분석하여 물체의 움직임과 속도를 계산합니다(Federico Alimenti 외, 2017). 일반적인 도플러 레이더 센

6) MEMS는 초소형 정밀기계 기술.

서는 [그림 1]과 같이 구성되고, 다음은 [그림 1]에 대한 설명입니다.

초음파 도플러 레이더 센서에서 안테나는 송신된 전파를 방사하고 반사된 전파를 수신하는 역할을 합니다. 안테나의 설계에서는 주파수 대역, 이득, 반송파 빔 폭 및 방향성 등이 중요한 요소입니다. 또한, 통합안테나 설계는 시스템의 소형화와 통합성을 높이는 데 기여합니다(강중순, 2002).

송신기(Transmitter, TX)는 초음파 도플러 레이더 시스템의 핵심 구성 요소 중 하나로, 고주파 신호를 발생시키는 역할을 합니다. 송신기의 설계에서는 신호의 주파수 안정성과 출력 전력, 전력 효율성이 중요한 요소입니다(장정석 외, 2006).

수신기(Receiver, RX)는 반사된 신호를 수신하고 이를 분석하여 물체의 속도와 거리를 측정합니다. 수신기의 주요 구성 요소는 저잡음 증폭기(LNA), 혼합기(Mixer), 트랜스 임피던스 증폭기(TIA)⁷⁾, 밴드 패스 필터(BPF)⁸⁾ 증폭기입니다(장정석 외, 2006).

수신된 신호의 주파수 변화를 분석하여 물체의 움직임과 속도를 계산합니다. 신호 처리 알고리즘은 정확한 속도 계산과 잡음 제거에 중요한 역할을 합니다(장정석 외, 2006).

초음파 도플러 레이더 센서에서 주파수 변조 연속파(FMCW) 레이더 시스템은 도플러 효과를 이용하여 거리와 속도를 동시에 측정할 수 있습니다. 이 시스템은 송신된 신호의 주파수를 선형적으로 변조하고, 반사된 신호와 비교하여 시간 지연과 주파수 변화를 계산합니다. 이를 통해 정확한 거리 및 속도 측정이 가능합니다(Federico Alimenti 외, 2017).

최근 연구들은 초소형 초음파 도플러 센서의 개발에 집중하고 있습니다. 예를 들어, 초음파 도플러 센서는 저비용 IoT 응용을 위해 셀룰로오스⁹⁾ 기반 기판에 전면부와 안테나를 통합한 기술을 사용합니다. 셀룰로오스는 재활용할 수 있고 생분해성이 뛰어나 환경친화적입니다. 또한, FMCW(주파수 변조 연

7) 전자공학에서 트랜스 임피던스 증폭기(Trans Impedance Amplifier, TIA)는 전류-전압 변환기이며 거의 독점적으로 하나 이상의 연산 증폭기로 구현.

8) 대역(帶域) 필터 또는 밴드 패스 필터(영어: Band-pass filter)는 특정 주파수 사이의 신호만 통과시키는 필터이다.

9) 물체의 세포벽 주성분으로서 식물 섬유를 구성하므로 섬유소라고 부른다. 글루코오스와 글리코시드 결합으로 곧은 사슬 모양으로 결합한 고분자 화합물.

속파)¹⁰⁾ 초음파 송수신기는 하나의 송신기와 두 개의 수신기를 포함하여 작은 크기와 낮은 전력 소비를 구현합니다.

이러한 기술은 소형화와 비용 절감을 동시에 달성하며, 다양한 IoT 디바이스에 쉽게 통합될 수 있습니다(Federico Alimenti외, 2017). 예를 들어, FMCW 초음파 송수신기는 송신기와 수신기의 통합 설계를 통해 소형화되고, 높은 주파수 안정성을 제공(Federico Alimenti외, 2017)하므로 교통 관리 시스템에서 차량의 속도를 실시간으로 측정하는 데 사용됩니다. 이 기술은 차량 흐름을 효율적으로 관리하고 교통사고를 줄이는 데 중요한 역할을 합니다. 고속도로, 도심 도로, 교차로 등에 설치된 초음파 도플러 센서는 차량의 속도를 정확하게 측정하여 속도위반 차량을 감지하고 단속합니다. 이러한 시스템은 특히 교통사고가 빈번한 지역에서 안전을 개선하는 데 크게 기여합니다(장정석 외, 2006).

그리고 보안 시스템에서 초음파 도플러 센서는 침입자를 감지하고 경고를 발송하는 데 아주 유용하게 사용이 됩니다. 이 센서는 주거지, 상업용 건물, 산업 시설 등에서 움직임을 감지하여 보안을 강화하고, 초음파 도플러는 어두운 환경이나 악천후에서도 신뢰성 있는 감지를 제공하여 보안 수준을 높입니다. 예를 들어, 공항, 군사 기지, 주차장 등에서 도플러 레이더를 활용한 감시 시스템은 외부 침입을 효과적으로 감지하고 대응할 수 있는 기능을 할 수 있습니다(장정석 외, 2006).

또한, 의료 분야에서 초음파 도플러 센서는 비접촉 방식으로 환자의 바이오 신호를 모니터링하는데 사용되며, 심장 박동, 호흡률 등의 생체 신호를 정확하게 측정할 수 있어, 환자의 상태를 지속적으로 모니터링하는데 적합합니다. 이 기술은 특히 병원에서 감염 위험을 줄이고, 장기적으로 환자의 상태를 추적하는 데 유용합니다. 초음파 도플러를 이용한 바이오 신호 모니터링 시스템은 정확한 데이터 수집과 분석을 통해 환자의 건강 상태를 실시간으로 파악하고, 응급 상황에서 신속하게 대응할 수 있습니다(Federico Alimenti 외, 2017).

10) FMCW 방식은 FM 변조된 송신파를 수신받아 발생하는 주파수를 이용하여 거리 특성을 알 수 있는 방식.

2.2 송·수신 안테나 통합기술과 소형화 기술

송·수신 안테나 통합은 센서의 크기와 무게를 줄이는 데 큰 역할을 합니다. 이는 휴대용 의료기기, 웨어러블 디바이스, IoT 센서 등 다양한 응용 분야에서 중요합니다. 소형화된 센서는 공간 제약이 있는 환경에서도 쉽게 사용될 수 있습니다(Kanji Ono, 2020).

하나의 안테나로 송신과 수신 기능을 통합함으로써 제조 비용을 절감할 수 있습니다. 부품 수가 줄어들고, 조립 과정이 간소화되며, 전체 시스템의 복잡성이 감소합니다. 이는 특히 대량 생산 시 경제적 이점을 제공합니다(Peirani Chen외, 2022).

통합된 안테나는 에너지 소비를 줄이는 데 기여합니다. 송수신 전환 과정에서의 에너지 손실이 감소하고, 전체 시스템의 전력 효율이 향상됩니다. 이는 배터리 수명이 중요한 휴대용 기기나 웨어러블 디바이스에서 큰 장점이 됩니다(Rashi Mehrotra, 2014).

초음파 도플러 센서의 초소형화는 다양한 응용 분야에서 많은 이점을 제공합니다. 이에 따라 성능 향상, 비용 절감, 에너지 효율성 개선 등 여러 측면에서 중요한 역할을 합니다. 초소형화된 초음파 도플러 센서는 작고 가벼워서 휴대하기 용이합니다. 이는 특히 개인용 의료기기나 웨어러블 디바이스에서 매우 중요합니다.

효율적인 통합을 위해 안테나 설계를 최적화해야 합니다. 이는 다음과 같은 요소들을 고려합니다.

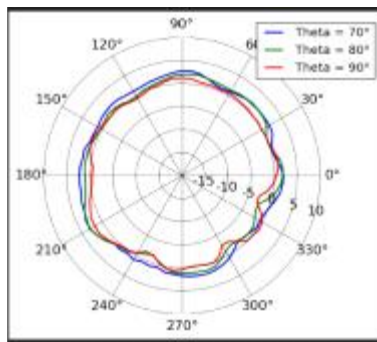
첫째, 안테나 패턴¹¹⁾ 10.525GHz 도플러 레이더 시스템은 모션 센서와 속도 측정에 주로 사용됩니다. 이 주파수 대역에서 안테나의 방사 패턴은 시스템 성능과 감지 정확도에 직접적인 영향을 미칩니다. 10.525 GHz 주파수 대역에서 도플러 레이더 안테나는 주로 고주파 파라볼릭 안테나¹²⁾ 또는 패치 안테나¹³⁾를 사용하며, 이러한 안테나는 고지향성 빔을 형성하여 특정 방향으

11) 안테나에서 방사되는 전파가 각 방향으로 어느 정도 방사되고 있는가를 표시한 곡선도.

12) 파라볼라 안테나(영어: parabolic antenna)는 포물선 반사를 이용한 안테나이다.

13) 마이크로스트립 안테나의 일종으로 스트립(strip)모양의 도체의 폭을 넓게 하여, 패치(기움 조각) 모양으로 한 도체를 안테나로 한다.

로 높은 집중도의 전자파를 방사합니다. 이는 이동 물체의 속도 및 거리 측정의 정확도를 향상시킵니다(Nitin Kathuria 외, 2021). 이 주파수 대역의 도플러 레이더는 주로 보안 시스템과 자동문 제어에 사용되며, 고지향성 안테나는 특정 지역을 감시하고, 움직임이 감지되면 경보를 울리거나 문을 여는 등의 작업을 수행합니다. 또한 10.525GHz 도플러 레이더는 차량 속도 측정에도 사용되며, 교통 단속 카메라에 사용되는 레이더 장비가 이 주파수 대역을 이용해 차량의 속도를 정확하게 측정합니다(Mehrdad Nosrati, 2018). 도플러 레이더 시스템에서 사용되는 안테나는 일반적으로 주빔의 지향성¹⁴⁾과 사이드로브¹⁵⁾의 최소화를 목표로 설계되며, 이는 주요 감지 방향 외의 불필요한 신호 방출을 줄이고 감지 정확도를 높이기 위함입니다(Nitin Kathuria 외, 2021). 방사 다이어그램¹⁶⁾은 주빔이 최대 강도를 갖는 방향을 보여주며, 측정 대상이 이동할 때 주파수 이동(도플러 효과)을 감지합니다(Hui Meng 외, 2018). [그림 2]는 10.525GHz의 안테나 방사의 예시입니다. 0°의 기준 아래쪽이 위쪽보다 편차가 조금 더 편차 큰 것을 보여주고 있습니다. 이 편차는 신호 처리에서 보정을 해줍니다.



[그림 2] 안테나 방사 다이어그램 예시

-
- 14) 지향성 안테나는 특정 방향으로 감도를 높여 빔으로 전파를 방사시킬 수 있습니다. 이러한 안테나는 주로 해당 방향으로 더 큰 무선 전파를 보내거나 받을 때 사용된다.
- 15) 안테나 지향성의 수평 방향 패턴 중 주 빔 이외의 방향으로 방사되는 것을 이른다. 일반적으로 특정 방향에 전파를 발사하는 경우는 이것이 적은 쪽이 효율이 높고 또 다른 혼신을 주지 않는다.
- 16) 방사 다이어그램은 정량적 변수를 비교하는 데 유용한 시각화 방법입니다.

이처럼 도플러 안테나의 방사 패턴은 다양한 응용 분야에서 중요한 역할을 하며, 연구 논문들은 이러한 방사 패턴의 특성과 설계 방법을 심도 있게 다루고 있습니다. 각종 연구 결과는 도플러 레이더 시스템의 성능을 최적화하기 위해 중요한 참고 자료가 됩니다. 이에 따라 최적의 방사 패턴을 설계하여 송신과 수신 성능을 극대화합니다.

둘째, 재료 선택 10.525GHz 도플러 레이더 시스템에서 사용되는 안테나 재료는 시스템의 성능과 감지 정확도에 직접적인 영향을 미칩니다. 구리와 알루미늄 같은 전통적인 금속 재료는 높은 전도성을 제공하여 안테나 성능을 극대화하며, 구리는 특히 많은 안테나 설계에 사용됩니다(Abdul Wahab Memon 외, 2023). 폴리디메틸실록산(PDMS)¹⁷⁾과 같은 유연한 재료는 착용할 수 있는 안테나에 사용되며, 이러한 재료는 안테나가 변형될 때도 성능을 유지할 수 있도록 도와줍니다. 유연한 텍스타일¹⁸⁾ 안테나는 신축성과 편안함을 제공하여 웨어러블 장치에 적합합니다(Abdul Wahab Memon 외, 2023). 그래핀¹⁹⁾은 높은 전도성과 유연성을 동시에 제공하여 차세대 안테나 설계에 사용되며, 그래핀 기반 안테나는 전자파 방사 특성을 개선하고, 작은 크기와 높은 효율성을 가집니다(Abdul Wahab Memon 외, 2023). Rogers RT/Duroid²⁰⁾와 같은 특수 소재는 낮은 유전 손실과 높은 유전체 상수를 제공하여 고주파 안테나 설계에 적합하며, 이러한 소재는 주로 마이크로스트립 패치 안테나²¹⁾에 사용됩니다(Abdul Wahab Memon 외, 2023). 연구에 따르면, 2mm 두께의 폴리디메틸실록산(PDMS) 기판을 사용하여 25% 신축성을 갖는 스트레처블 텍스타일 패치 안테나가 개발되었으며, 이는 주파수 2.45 GHz에서 작동하며, 주빔의 지향성과 사이드 로브의 최소화를 목표로 설계되었습니다 (Mehrdad Nosrati 외, 2018).

17) 폴리디메틸록산(PDMS)은 실리콘 오일이라고도 하며, 실리콘 오일(Polymerized Siloxane)의 한 종류이다.

18) 공예미술의 한 종류. 수공예나 공업을 통하여 천을 짜고 엮고 염색하거나 수를 놓는 것을 포함한다.

19) 그래핀은 탄소의 동소체 중 하나로, 탄소 원자들이 모여 2차원 평면을 이루는 구조입니다. 각 탄소 원자는 육각형의 격자를 형성하며, 육각형의 꼭짓점에 탄소 원자가 위치한다.

20) Rogers RT/duroid® 고주파 회로 소재는 높은 신뢰성, 항공우주 및 국방 분야에서 사용할 수 있도록 PTFE(random 유리 또는 세라믹) 복합 적층물로 채워진 소재.

21) 마이크로스트립 선로가 개방된 윗면을 통해 고주파를 방사하는 원리를 이용한 소형 평면 안테나.

셋째, 신호 처리 기술 10.525GHz 초음파 도플러 센서의 신호 처리 기술은 복잡하고 정교한 과정을 포함하며, 이는 고정밀 신호 감지와 분석을 통해 물체의 속도와 방향을 실시간으로 측정하는 데 필수적입니다. 우선 센서는 10.525GHz 주파수에서 초음파 신호를 방출하고, 물체에 반사된 신호를 수신합니다. 이 반사된 신호는 도플러 주파수 이동을 포함하여 물체의 상대적인 속도를 나타냅니다. 수신된 신호는 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 통해 디지털 신호로 변환되며, 이 과정에서 저역 통과 필터(LPF)²²⁾와 고역 통과 필터(HPF)²³⁾를 사용하여 잡음과 불필요한 주파수를 제거합니다(Homa Arab 외, 2018). 정제된 디지털 신호는 빠른 푸리에 변환(FFT)을 통해 주파수 영역으로 변환되어 도플러 주파수 이동을 분석합니다. 이 과정에서 물체의 속도를 계산할 수 있습니다. FFT는 신호의 주파수 성분을 효율적으로 분석하여 실시간 주파수 분석을 가능하게 합니다. 수신된 신호는 증폭기를 통해 증폭되어 신호의 강도를 높입니다. 이 증폭된 신호는 상관 검출기²⁴⁾나 엔벨로프 검출기²⁵⁾와 같은 검출기를 통해 물체의 속도와 방향을 측정합니다(Homa Arab 외, 2018). 이후, 도플러 주파수 이동 데이터를 기반으로 마이크로컨트롤러나 디지털 신호 처리기(DSP)는 물체의 속도와 이동 방향을 계산합니다. 이 데이터는 실시간으로 처리되어 디스플레이나 제어 시스템에 제공됩니다. 예를 들어, 자동차의 충돌 방지 시스템이나 보안 시스템에서 활용될 수 있습니다. 이러한 신호 처리 기술은 고주파 신호의 정확한 감지와 분석을 통해 물체의 속도와 방향을 실시간으로 측정하는 데 중요한 역할을 합니다. 이를 위해 다양한 필터링, 주파수 분석, 증폭 및 검출 기술이 통합되어 고정밀 센서 시스템을 구현하는 데 사용됩니다(Homa Arab 외, 2018).

넷째, 주파수 분할 10.525GHz 초음파 도플러 센서에서 송신과 수신 신호

22) 로 패스 필터(Low-pass filter, LPF) 또는 저주파 통과 필터는 특정한 차단 주파수 이상 주파수의 신호를 감쇠시켜 차단 주파수 이하의 주파수 신호만 통과시키는 필터를 의미한다.

23) 하이패스 필터(High-pass filter, HPF) 또는 고주파 통과 필터는 특정한 차단 주파수 이하 주파수의 신호를 감쇠시켜 차단 주파수 이하의 주파수 신호만 통과시키는 필터를 의미한다.

24) 데이터에서 타겟의 존재를 검색하기 위해 수신 신호 $y(t)$ 를 송신된 신호의 지연 리플리커 $s(t-D)$ 에 곱하여 저역 필터를 통해서 적분하도록 한 구조의 검출기. D 는 지연 시간이다.

25) 엔벨로프 검출은 변조 신호를 수신하여 복조하는 과정에서 사용되는 방법입니다. 이는 음성 처리, 영상 처리, 데이터 통신 분야 등에서 신호 처리에 활용된다.

를 다른 주파수 대역에서 작동시켜 간섭을 줄이는 주파수 분할 기술은 주파수 분할 이중화(Frequency Division Duplexing, FDD)²⁶⁾ 방식으로, 송신과 수신이 서로 다른 주파수 대역에서 작동하여 동일한 채널에서 발생하는 간섭을 방지합니다. FDD는 한 주파수 대역을 업링크(송신)용으로, 다른 주파수 대역을 다운 링크(수신)용으로 사용함으로써 두 신호가 동시에 전송되고 수신 되면서도 간섭 없이 작동할 수 있게 합니다. 이는 무선 통신 시스템에서 간섭을 줄이는 중요한 방법으로, 송신 및 수신 신호를 다른 주파수 대역에서 작동시켜 간섭을 효과적으로 감소시킵니다(Yan Xin, 2010). 주파수 분할 기술에는 주파수 분할 다중 접속(Frequency Division Multiple Access, FDMA)²⁷⁾도 포함됩니다. FDMA는 서로 다른 주파수 채널을 사용하여 여러 사용자가 동시에 데이터를 전송할 수 있게 합니다. 이는 각 사용자가 할당된 주파수 대역 내에서만 통신하므로 간섭을 줄이는 데 매우 효과적입니다(Jinuk Park 외, 2022). FDMA는 특히 다수의 사용자가 동시에 통신해야 하는 환경에서 유용하며, 주파수 자원의 효율적 사용을 돕습니다. 주파수 분할의 장점은 간섭 감소뿐만 아니라, 신호 품질의 개선과 데이터 전송 속도의 향상도 포함됩니다. Science Direct²⁸⁾에 따르면, FDD는 장치가 서로 다른 주파수 대역을 사용하여 송신과 수신을 동시에 수행할 수 있게 하여 간섭을 최소화하는 데 매우 효과적입니다(Adrian Kliks 외, 2007). 이는 네트워크의 효율성과 성능을 높이는 데 기여합니다. IEEE²⁹⁾의 연구에서는 주파수 분할을 통해 동시에 송수신하는 시스템에서 발생하는 수동 상호 변조(Passive Intermodulation, PIM)³⁰⁾ 왜곡을 억제하는 방법을 제안하고 있습니다. 이는 FDD를 통해 간섭 없이 신호를 전송하고 수신할 수 있게 합니다(Yan Xin 외, 2020). 이러한 주파수 분

26) 주파수 분할 이중화(FDD)는 통신에서 사용되는 방식 중 하나입니다. 이 방식은 주파수 대역을 나누어 송신과 수신을 동시에 처리하는 방법입니다. 주로 휴대 전화와 통신 위성에서 활용된다.

27) 주파수 분할 다중 접속(FDMA)은 채널화 프로토콜로서 다중 접속 프로토콜에 사용되는 방식. 특히 위성 통신에서 일반적으로 활용된다.

28) Science Direct는 “엘스비어(Elsevier)”의 선도적인 플랫폼으로, 동료 평가를 거친 과학, 기술, 의료 문헌, 도서, 주제 페이지를 제공한다.

29) IEEE는 인스티튜트 of Electrical and Electronics Engineers의 약자로, 세계에서 가장 큰 기술 전문가 단체 중 하나임.

30) 수동 상호 변조(PIM)는 5G 무선 네트워크에서 발생하는 잡음의 주요 원인 중 하나입니다. 이는 셀 사이트의 하향 링크 신호가 무선 신호 (RF) 경로 내 비선형 물체에서 혼선될 때 발생한다.

할 기술들은 고주파 대역 통신 시스템에서 신호 간섭을 줄이고 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 합니다. 주파수 분할 이중화와 주파수 분할 다중 접속을 통해 통신 시스템의 성능을 최적화하고, 신호 품질을 향상시키며, 데이터 전송의 안정성을 보장할 수 있습니다(Jinuk Park, 2022).

다섯째, 폴링(Polling) 기술은 정보통신 시스템에서 주기적으로 장치나 시스템의 상태를 확인하는 방법으로, 다음 2.3 송·수신 안테나 통합을 위한 폴링 기술에서 자세하게 설명합니다.

초소형 기기는 작고 가벼워서 운송 및 보관 비용을 줄일 수 있습니다. 이는 공급망 관리의 효율성을 높이고, 전반적인 운영 비용을 절감하는 데 도움이 됩니다.

초소형화된 센서는 에너지 소비가 적습니다. 이는 배터리 수명을 연장하고, 에너지 효율성을 높여 다양한 환경에서 더 오랜 시간 동안 사용할 수 있게 합니다. 이는 특히 웨어러블 디바이스나 IoT 기기에서 중요한 요소입니다(Xianlei Chenh 외, 2023).

재료 사용량과 에너지 소비의 감소는 환경 영향도 줄일 수 있습니다. 이는 지속 가능한 기술개발과 환경 보호에 기여합니다. 초소형화는 새로운 응용 가능성을 열어줍니다. 작은 크기의 센서는 기존에 접근하기 어려웠던 좁은 공간이나 복잡한 환경에서도 사용할 수 있습니다. 이는 의료, 생명 과학, 로봇 공학 등 다양한 분야에서 혁신적인 응용을 가능하게 합니다(Xianlei Chenh 외, 2023).

초소형화는 다양한 기능을 하나의 시스템에 집적화할 수 있게 합니다. 이는 복합적인 기능을 수행하는 스마트 디바이스를 개발할 수 있게 하고, 시스템의 성능을 최적화할 수 있습니다. 초소형 센서는 스마트 팩토리나 산업 자동화 시스템의 핵심 구성 요소로 사용됩니다. 이는 생산 공정의 효율성을 높이고, 실시간 모니터링과 제어를 가능하게 합니다. 초소형화된 기기는 다양한 연구 분야에서 새로운 실험과 연구를 가능하게 합니다. 예를 들어, 생명 과학 연구에서는 초소형 센서를 사용하여 세포 수준에서의 생물학적 현상을 실시간으로 관찰할 수 있습니다(류대현 외, 2018).

소형화된 회로는 저전력 설계를 통해 에너지 효율성을 높입니다. 이는 배터리 수명을 연장하고, 휴대용 기기에서 중요한 역할을 합니다. 저전력 설계는 전력 관리 IC(PMIC)³¹⁾와 같은 고효율 전력 변환 기술을 사용하여 에너지 소모를 최소화합니다.

효율적인 신호 처리 알고리즘은 초소형 도플러 센서의 성능을 최적화하는데 필수적입니다. (민경현, 2022).

2.3 송·수신 안테나 통합을 위한 폴링 기술

폴링(polling) 기술은 정보통신 분야에서 장치나 시스템의 상태를 주기적으로 확인하는 방법으로 널리 사용됩니다. 네트워크 통신, 운영체제, 임베디드 시스템 등 다양한 응용에서 자원을 효율적으로 사용하고 데이터를 최신 상태로 유지하는 데 중요한 역할을 합니다. 네트워크 통신에서는 폴링이 서버와 클라이언트 간의 데이터 동기화에 사용됩니다. 서버는 클라이언트의 상태를 주기적으로 확인하여 필요한 데이터를 전송하거나 업데이트합니다. 예를 들어, 클라이언트는 서버에 주기적으로 HTTP 요청을 보내어 새로운 데이터가 있는지 확인합니다. 이러한 HTTP 폴링 기법은 서버-클라이언트 간의 데이터 동기화에 유용하지만, 네트워크 대역폭을 많이 소모할 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

운영체제에서는 폴링이 입력 장치(키보드, 마우스 등)의 상태를 확인하는데 사용됩니다. 시스템은 주기적으로 각 장치의 상태를 확인하여 사용자 입력을 처리합니다. 이는 인터럽트 기반 방식과 대비되는 기법으로, 자원의 효율적 사용을 위해 두 기법을 혼합하여 사용하기도 합니다. 폴링 기반 접근 방식은 단순하고 예측 가능하다는 장점이 있지만, CPU 사용률이 높아질 수 있으며 실시간 요구사항을 충족하는 데 어려움이 있을 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

임베디드 시스템에서는 폴링이 센서 자료수집 및 장치 상태 확인에 널리

31) 핵심 기능을 수행하는 주요 칩에 필요한 전원이나 클록을 공급하는 반도체이다.

사용됩니다. 마이크로컨트롤러는 주기적으로 센서의 데이터를 읽어와서 처리합니다. 폴링은 간단한 설계와 구현을 할 수 있다는 장점이 있지만, 실시간 요구사항이 있는 시스템에서는 인터럽트 기반 설계가 더 효율적일 수 있습니다. 예를 들어, 센서 데이터를 주기적으로 수집하고 분석하는 시스템에서 폴링 기술이 많이 사용됩니다 (Homa Arab 외, 2018).

폴링의 장점은 단순성과 예측 가능성입니다. 폴링 메커니즘은 설계와 구현이 간단하며, 폴링 주기가 고정되어 있어 시스템의 동작을 예측하기 쉽습니다. 하지만 단점으로는 자원 소모와 실시간성 부족이 있습니다. 주기적으로 상태를 확인하기 때문에 CPU 사용률이 높아질 수 있으며, 중요한 이벤트를 즉시 처리하지 못하고 다음 폴링 주기까지 기다려야 하므로 실시간 성능이 떨어질 수 있습니다. 예를 들어, 네트워크 폴링의 한 예로, HTTP 폴링 기법을 통한 서버-클라이언트 간의 데이터 동기화가 있습니다. 클라이언트는 주기적으로 서버에 요청을 보내어 새로운 데이터를 수신하거나 상태를 업데이트하는 방식입니다. 이 기법은 데이터 동기화에 유용하지만 네트워크 부하를 증가시킬 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

마이크로컨트롤러³²⁾ 기반 센서 데이터 수집 시스템에 폴링 기법을 적용하여 간단한 설계와 효율적인 데이터 처리를 달성할 수 있습니다. 예를 들어, 환경 센서 데이터를 수집하는 시스템에서 폴링 기법을 사용하면, 주기적으로 센서 데이터를 읽어와 처리하고 필요한 경우 경고를 발생시킬 수 있습니다. 이는 실시간 처리가 덜 중요한 시스템에서 유용하게 적용될 수 있습니다 (Homa Arab 외, 2018). 폴링 기술은 정보통신 시스템에서 자원을 효율적으로 사용하고 최신 데이터를 유지하는 중요한 기술입니다. 네트워크 통신, 운영체제, 임베디드 시스템³³⁾ 등 다양한 분야에서 활용되며, 장단점을 고려하여 적절히 적용하는 것이 중요합니다. 폴링의 효율성을 높이기 위해서는 시스템의 특성과 요구사항에 맞춰 설계하고, 필요시 인터럽트 기반 기법과 혼합하여 사용해야 합니다. 폴링 기술은 단순성과 예측 가능성 측면에서 유리하며, 다

32) 마이크로컨트롤러(Microcontroller) 또는 MCU(Microcontroller unit)는 마이크로프로세서와 입출력 모듈을 하나의 칩으로 만들어 정해진 기능을 수행하는 컴퓨터를 말한다.

33) 임베디드 시스템(Embedded System, 내장형 시스템)은 기계나 기타 제어에 필요한 시스템에 대해, 제어를 위한 특정 기능을 수행하는 컴퓨터 시스템이자 장치 내에 존재하는 전자 시스템이다.

양한 정보통신 응용에서 중요한 역할을 할 수 있습니다(Homa Arab 외, 2018).

III. 초소형 도플러 센서 개발

본 논문에서는 송·수신 안테나를 통합한 기술을 이용하여 초소형 도플러 센서를 개발하는 연구를 진행하고 있습니다. 이 연구의 핵심적인 도전은 송신과 수신 기능을 하나의 안테나에 통합함으로써, 센서의 크기와 소모 전력을 현저히 줄이는 것입니다. 이러한 접근 방식은 제조 비용을 절감하고, 설치 공간의 제약을 최소화하는 등의 장점을 가지고 있습니다.

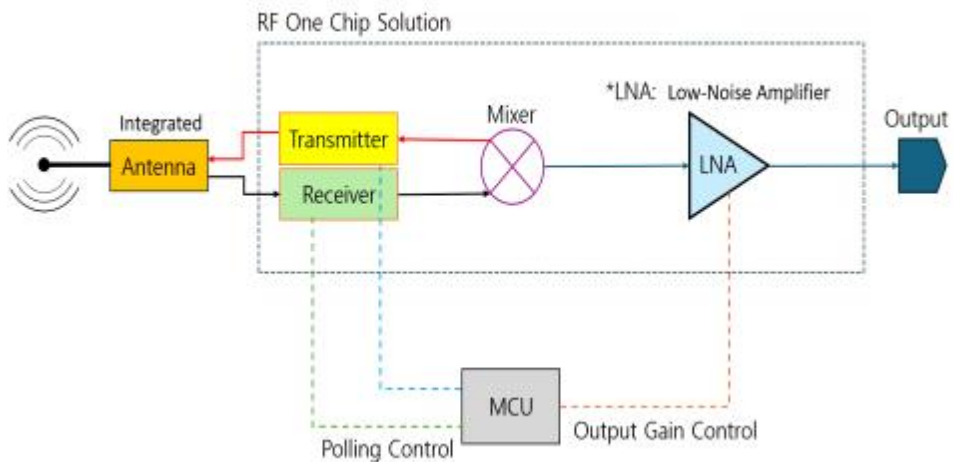
송·수신 안테나 통합기술은 복잡한 전자기파 송수신 메커니즘을 단순화하여 안테나의 효율성을 극대화합니다. 이는 센서의 전체적인 전력 소모를 줄이고, 감지 범위와 감도를 향상하는 데 기여합니다. 특히, 이 기술은 센서가 요구하는 에너지 효율성을 향상하며, 장기적으로는 배터리 수명 연장과 같은 추가적인 이점을 제공합니다.

센서의 물리적 크기 감소는 특히 공간 제약이 큰 응용 분야에서 큰 이점을 제공합니다. 예를 들어, 모바일 기기, 의료기기 내부, 혹은 공간이 매우 제한된 산업 자동화 시스템 등에서의 사용이 가능해집니다. 이와 같은 소형화는 센서를 다양한 환경과 조건에 훨씬 유연하게 적용할 수 있게 만들어 줍니다.

더불어, 이 연구는 새로운 기술적 표준을 설정할 가능성을 가지고 있습니다. 송·수신 안테나의 통합은 센서 기술에 있어 새로운 방향을 제시하며, 이는 센서의 신뢰성과 성능을 장기적으로 개선하는 데 중요한 역할을 할 수 있습니다. 이러한 기술적 진보는 센서의 상업적 적용 가능성을 넓히고, 더 넓은 범위의 산업 분야에서의 활용을 가능하게 합니다. 결론적으로, 이 논문에서 다루고 있는 초소형 도플러 센서의 개발은 기술적 혁신뿐만 아니라, 상업적 및 실용적 측면에서도 상당한 잠재력을 가지고 있습니다. 센서 기술의 발전을 통해 다양한 산업에서 더 효율적이고, 경제적인 솔루션을 제공할 기회를 마련하는 것입니다. 통합된 안테나와 폴링 기술 덕분에 센서 안테나의 감지 범위와 간섭이 줄어 신뢰성이 크게 향상되었으며, 이는 보안 시스템, 자율주행 자동차의 안전 기능 등 다양한 응용 분야에서 중요한 역할을 합니다.

3.1 송·수신 안테나 통합 기술개발

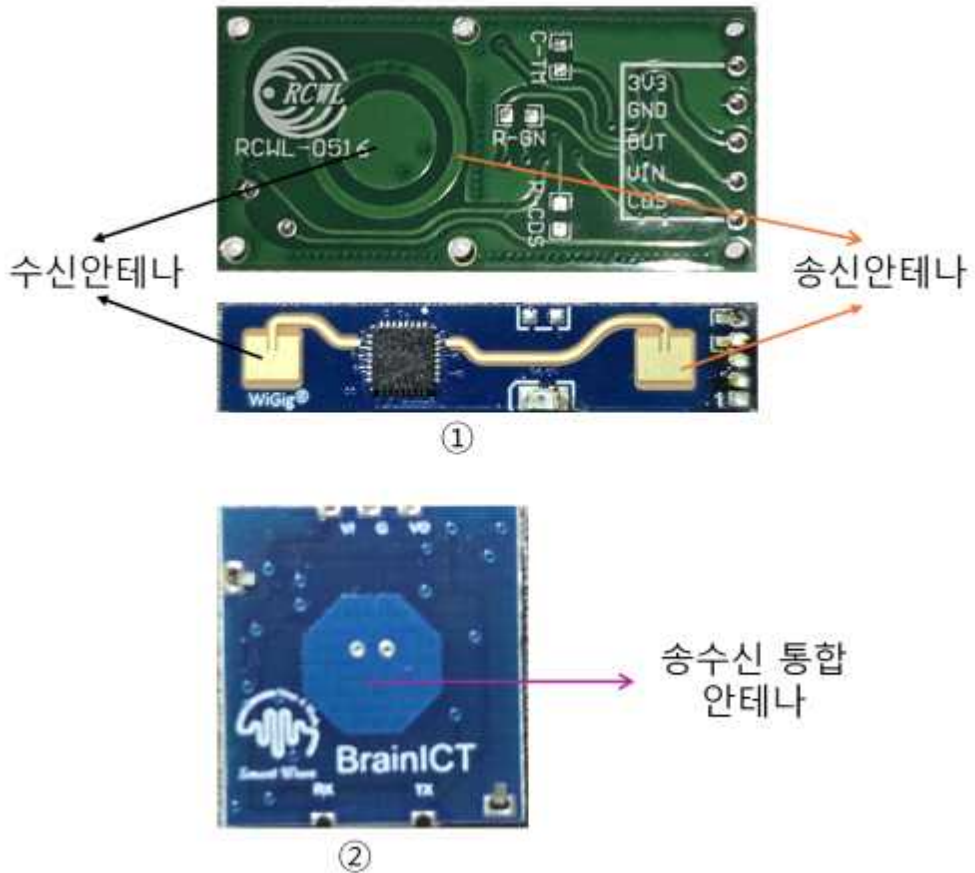
본 논문에서의 송수신 안테나 통합방식은 송신기와 송신 안테나, 수신기와 수신 안테나를 MCU에서 폴링 기술로 먼저 움직임 감지를 위한 초음파 신호를 송신기와 송신 안테나를 통해서 송신하고, 송신 후에는 송신기와 송신 안테나는 동작하지 않으며, 수신기와 수신 안테나가 송신한 초음파 신호를 수신 대기 합니다. 신호가 수신되면 수신된 신호를 분석하여 움직임의 감지 유무를 판단하여 출력 신호를 발생합니다. 감지가 되었으면 High Level(3.3V) 출력 신호를 발생시키고, 움직임 감지가 없으면 Low Level 출력 신호를 발생하여, 도플러 센서 사용자는 움직임 여부를 확인할 수 있습니다. 이 동작은 사용자가 정지 명령이나 전원을 끄기 전까지는 지속해서 송·수신 모드가 다른 주파수로 폴링으로 동작합니다. 이렇게 동작하면 기존 [그림 1] 과같이 송신 안테나와 수신 안테나가 별도 있을 필요 없이, [그림 3]과같이 하나의 물리적인 안테나로 송·수신의 기능을 수행할 수 있습니다.



[그림 3] 송·수신 안테나 통합 기술개발 구성

패치 안테나 또는 코일 안테나 등 물리적인 안테나를 2개에서 1개로 줄여서 센서의 크기를 줄여줄 수 있으며, 기존 송·수신 안테나 분리형 때 보다 송·수신 동작시간을 효율적으로 배분하여 동작함으로써, 도플러 센서의 물리

적인 크기를 줄여주고 소비전력도 줄여줄 수 있습니다. 송·수신기 동작에서 송신할 때가 수신할 때보다 더 많은 에너지가 소모됩니다. 많은 에너지가 소비되는 송신의 시간을 줄여서 전체 소비전력이 감소 되는 효과가 있습니다(임종균 외, 2012).



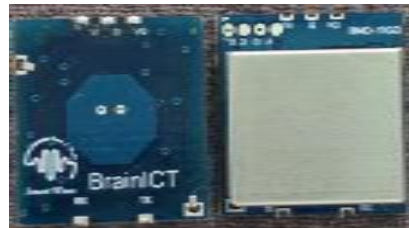
[그림 4] 송·수신 안테나 분리형과 통합안테나의 초음파 도플러 센서

또한, [그림 1]에서 보면 송신(TX) Antenna와 수신(RX) Antenna의 신호가 겹치는 부분에서는 간섭이 발생하여 오동작이나 움직임 감지의 거리가 짧아져서 초음파 도플러 센서의 성능이 저하 될 수 있습니다. 하지만, [그림 3]처럼 안테나가 하나로 통합된 상태에서는 하나의 안테나가 폴링으로 번갈아 다른 주파수로 동작하여 간섭이 원천적으로 발생하지 않아 신뢰성 높은 움직임 감지가 가능합니다. [그림 4]의 ①은 송신과 수신의 안테나가 분리된 기존

도플러 센서이고, [그림 4]의 ②는 본 논문에서 소개하는 송·수신 통합된 안테나입니다.

3.2 초소형 초음파 도플러 센서 개발

개발된 초음파 도플러 센서(BMD-10GD)³⁴⁾은 송·수신 안테나 통합 초소형 초음파 도플러 센서로, XBR816C를 이용하여 설계와 개발합니다. XBR816C는 10.525GHz의 X-Band Radar Transceiver IC 칩입니다. XBR816C는 4(mm)*4(mm)의 매우 작은 크기로 초소형 초음파 도플러 센서를 개발하기에 매우 유리합니다(XBR816C Data sheet, 2023).



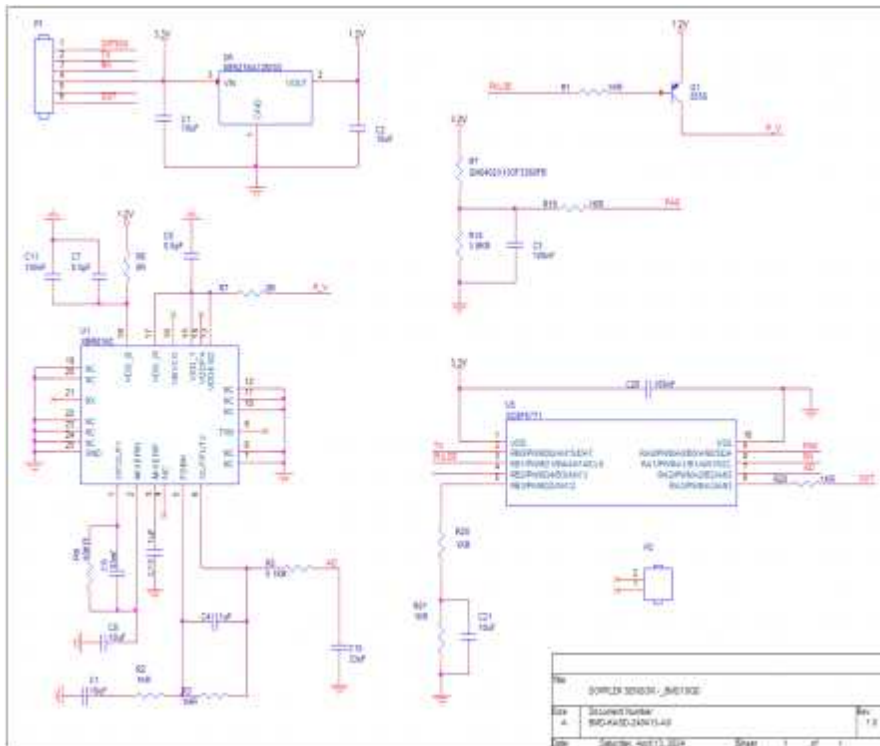
[그림 5] 개발된 초소형 초음파 도플러 센서(BMD-10GD)

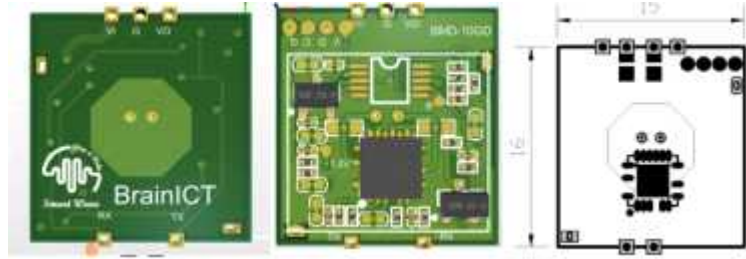


[그림 6] XBR816C 정보

34) ㈜브레인아이시티의 10.525GHz 초음파 도플러 센서.

[그림 7]은 Cadence의 OrCAD Capture V16.5³⁵⁾로 설계한 회로도입니다. 은 입력전압은 DC 3.3V이고, 1개의 MCU, 3.3V를 1.2V로 감압 해주는 1개의 LDO, 송·수신 모드 변경 제어 신호의 선택용 PNP Transistor 1개와 20여 개의 패시브 부품 등 최소한의 부품만으로 안정적인 도플러 센서 회로를 설계하였습니다. 이는 기존 도플러 센서 대비 대기전력과 동작 시 소비전력의 소모에 유리하여 저전력 도플러 센서를 구현하였습니다.





[그림 8] 개발된 초소형 도플러 센서의 PCB 설계

[그림 9]는 고주파 발생 회로 부분에 쉴드 캔(Shield Can)을 장착한 모습으로 고주파 회로 부분에 쉴드 캔을 장착하면 고주파 회로에서 방출되는 노이즈가 최소화되며, 외부의 노이즈로부터 보호를 받아, 신뢰성 높은 초음파 도플러 센서가 됩니다.



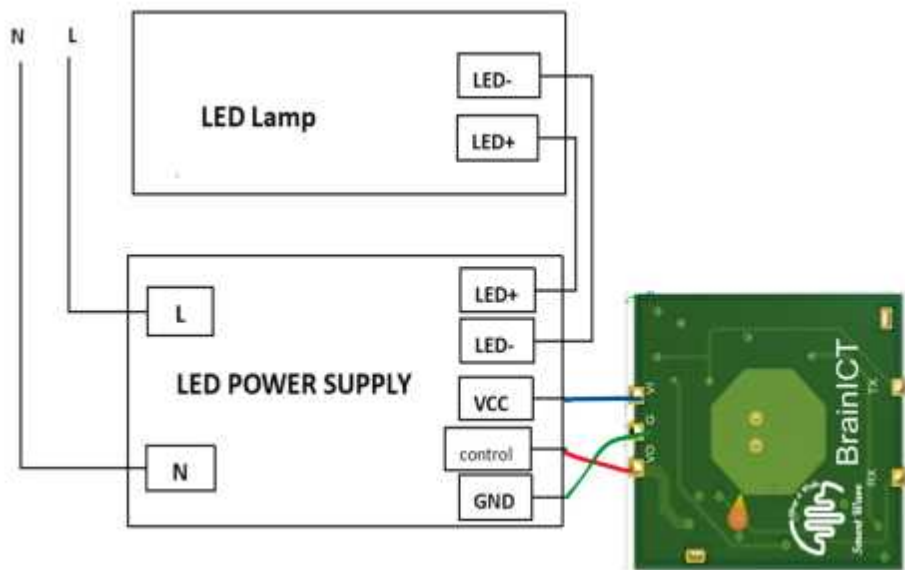
[그림 9] 개발된 초소형 도플러 센서의 쉴드 캔

3.3 개발된 초소형 도플러 센서의 사양

개발된 초음파 도플러 센서는 10.525GHz에서 동작하는 X밴드 초음파 근접 센서입니다. 도플러 효과를 기반으로 하고 고정주파수, 지향성 송·수신 통합안테나를 사용합니다. 이것은 간섭 방지, 작은 크기, 높은 안정성과 일관성, 고조파 억제에 좋은 효과가 있습니다. 온보드 통합 IF 복조, 신호 증폭, 디지털 처리, 타이밍 및 기타 기능이 센서 모듈에 통합되어 있습니다. 본 제품은 매립형 및 은폐형 설치에 적합하며 온도/습도, 유증기(油蒸氣), 물안개

등의 영향을 받지 않습니다. 스마트 조명, 보안, 가정 등 자동 움직임 감지 제어가 필요한 분야에 폭넓게 활용될 수 있습니다.

- 동작 주파수 : 10.525GHz
- 동작 전압 : DC 3.0V~3.4V
- 모듈 크기 : 16(mm)*15(mm)*3(mm)
- 감지 거리: 약 10m (직선거리)
- 감지 각도: $110^{\circ} \pm 10^{\circ}$ (-60° , $+60^{\circ}$)
- 최대 송신 파워 : 2dBm
- 최대수신감도 : -95dBm
- 동작감지센서 모듈
- 온보드 송·수신 통합안테나



[그림 10] 개발된 초음파 도플러 센서의 적용 예시

[표 1] 개발된 초음파 도플러 센서의 사양

기호	형식	조건	최소	표준	최대	단위
입력 전원						
VCC	동작 전압		3	3.3	3.4	V
I	동작 전류	DC3.3V	8	26	35	mA
출력						
fOSC	주파수	DC3.3V		10.525		GHz
P	송신 전력	DC3.3V			2	dBm
Vout	출력 전압		2.9	3	3.1	V
Iout	출력 전류				10	mA
Tw	안정화 시간		10	15	25	Sec
온도 및 습도						
TA	동작 온도		-20		70	℃
TB	보관 온도		-40		85	℃
HA	동작 습도		10		95	%
HB	보관 습도		0		95	%
감지 범위						
Dd	감지 거리		0.1	6	10	Meter
Ts	Turn-off delay			5		Sec
ESD 사양						
Contact				2		kV
Air				2		kV

동작 전압은 DC 3V로 최소 3V에서 최대 3.4V까지 가능하며, 동작 전류는 최소 8mA로 다른 도플러 센서에 비해 50%~80%의 전류 소모가 작습니다. 10.525GHz X-밴드에서 동작하며, 움직임 감지 시 3V가 출력되며, 최소 2.9V, 최대 3.1V가 출력되며, 출력 전류는 10mA입니다. 전원이 인가되고 10초에서 25초의 안정화 시간을 거친 후 움직임 감지를 시작합니다.

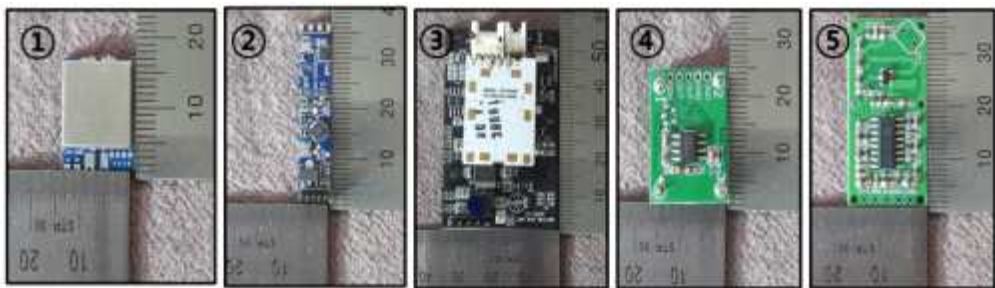
3.4 초소형 초음파 도플러 센서의 성능

초소형 도플러 센서는 작은 크기와 저전력 소비를 통해 다양한 응용 분야에서 고급 기능과 향상된 효율성을 제공할 수 있는 기술입니다. 이러한 성능 특성은 센서 기술의 발전과 실용적 응용에 중요한 기여를 하며, 기술적 혁신과 함께 더 넓은 범위의 산업적 활용을 가능하게 합니다.

본 논문의 연구에서 개발된 초음파 도플러 센서의 성능 측정 방법과 다음과 같습니다.

3.4.1 크기 측정

송수신 통합안테나의 도플러 모듈과 기존의 안테나 분리형 도플러 모듈을 사용하여, 주파수, 크기 및 제조사가 공지한 감지 거리를 비교합니다. 이를 위해, [그림 11]의 ①, ②, ③, ④, ⑤와 같이 5가지의 시료를 준비하고, [표 2]에 나타난 바와 같이 구성하고, 각 시료의 실제 감지 거리와 소비전력을 측정합니다. 감지 거리 측정은 상온의 실내에서 실제 사람의 움직임을 감지하는 거리를 측정합니다. 동시에 사용되는 전류를 측정하여 대기 전력과 감지 시 소비전력을 확인합니다. 본 연구에서는 IoT에서 중요한 기능인 도플러의 감지 거리와 소비전력을 중점적으로 측정하고 비교 분석합니다.



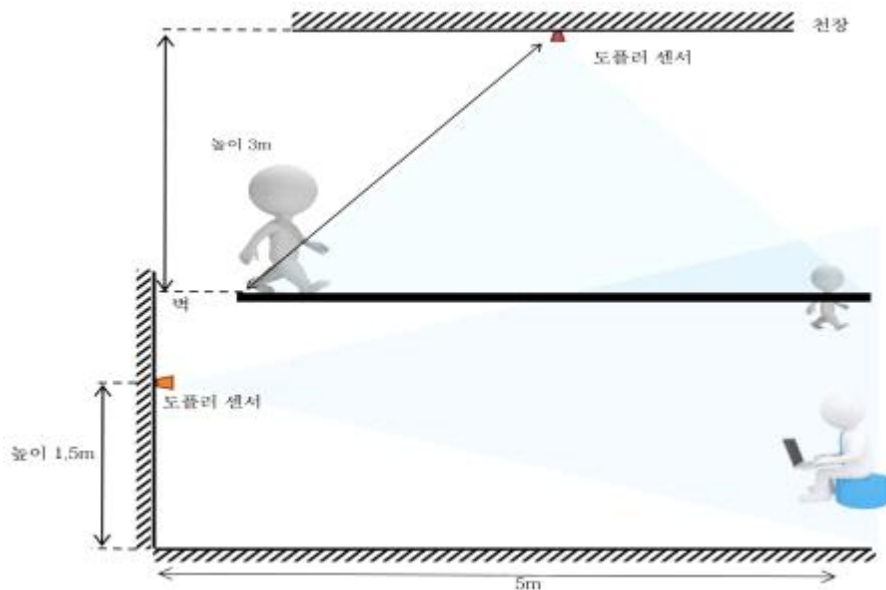
[그림 11] 초음파 도플러 센서의 크기 측정

[표 2] 도플러 센서의 크기 비교

구분	도플러 센서	주파수	크기
11-①	개발된 센서	10.525GHz	15*16*2.5
11-②	중국 P사	24GHz	32*8*2.5
11-③	대만 A사	5GHz	50*35*20
11-④	중국 H사	5GHz	18*12*8
11-⑤	중국 D사	5GHz	25*17*8

3.4.2 감지 거리 측정

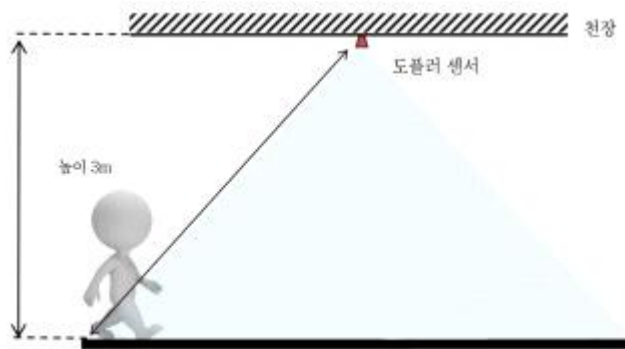
초음파 도플러 센서의 성능을 평가하는 데 있어 감지 거리와 정확성이 중요한 요소입니다. 도플러 센서는 최대 10m 거리에서 초음파를 활용하여 사람의 움직임을 감지할 수 있으며, 최소 속도 50mm/s까지 정확하게 측정할 수 있습니다. 이러한 성능은 다양한 응용 분야에서 높은 수준의 정확성과 신뢰성을 제공하고 있습니다(Federico Alimenti 외, 2017).



[그림 12] 개발된 초음파 도플러 센서의 설치 조건

1) 높이 3M의 천장에 설치

[그림 13]과같이 높이 3M의 천장에 개발된 초음파 도플러 센서를 설치하고, 안테나는 바닥 면을 향하게 설치하고, 설치 부분과 주변에 금속으로 된 물건은 없어야 정확한 측정이 가능합니다. 센서 밑으로 걸어가는 움직임, 센서 밑에서 앉았다 일어나는 움직임, 센서 밑에서 앉아서 작은 움직임 등 3가지의 움직임을 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° 각 8방향으로 10회 측정합니다.

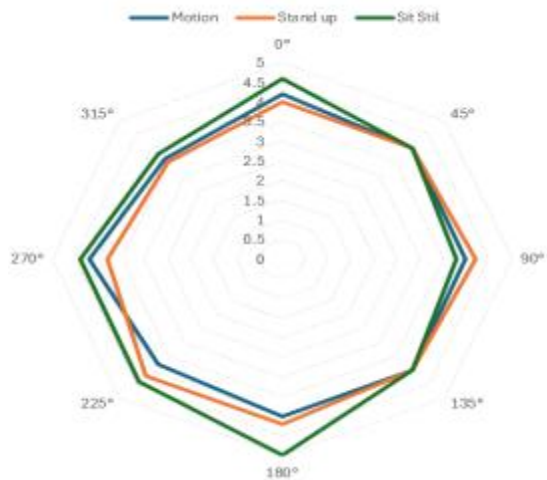


[그림 13] 높이 3M의 천장에 설치

[표 3] 높이 3M의 천장, 10회 측정 평균값 (단위: M)

	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Motion	4.2	4	4	4	4	3.8	4.2	3.6
Stand up	4	4	4.2	4	4.2	4.2	3.8	3.5
Sit Still	4.6	4	3.8	4	5	4.4	4.4	3.8

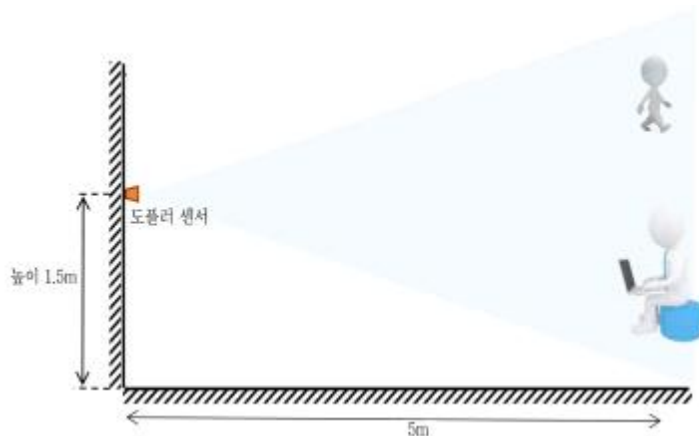
[그림 14]에서처럼 센서가 360° 감지를 하고, 감지 거리는 4M입니다. 45° 에서 135° 까지는 움직임(Motion), 일어섬(Stand up), 앉아 있음(Sit Still)이 감지 거리는 같지만, 135° 에서 45° 까지는 앉아 있을 때 감지 거리가 좀 더 길어집니다.



[그림 14] 높이 3M의 천장에 설치, 10회 측정 평균값 차트

2) 높이 1.5M의 벽면에 설치

[그림 15]와 같이 1.5M의 높이 벽면에 개발된 초음파 도플러 센서를 설치하고, 안테나는 정면을 향하게 설치한다. 설치 부분과 주변에 금속으로 된 물건은 없어야 정확한 측정이 가능하다. 센서 정면에서 걸어가는 움직임, 센서 정면에서 앉았다 일어나는 움직임, 센서 정면에서 앉아서 작게 움직임 등 3가지의 움직임을 정면 기준 -60° , -40° , -20° , 0° , 20° , 40° , 60° 각 7방향으로 10회 측정합니다.

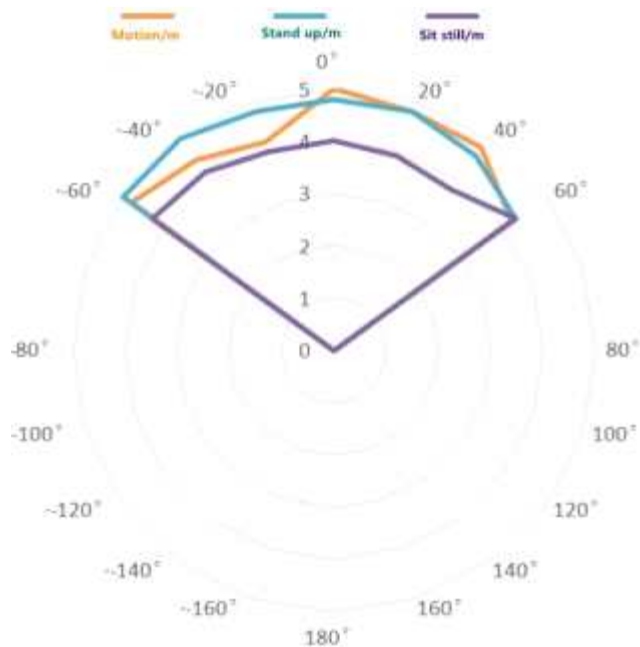


[그림 15] 높이 1.5M의 벽면에 설치

[표 4] 높이 1.5M의 벽면, 10회 측정 평균값 (단위: M)

	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°
Motion	4.2	4	4	5	4	3.8	4.2
Stand up	4	4	4.2	4.8	4.2	4.2	3.8
Sit Still	4.6	4	3.8	4	5	4.4	4.4

[그림 16]과같이 앉아 있음(Sit Still)의 경우는 감지 각도 범위 내에서 4M의 안정적인 감지를 합니다. 앉았다 일어나는 경우(Stand Up)도 5M 거리를 감지하지만, 움직임(Motion)은 마이너스 각도에서는 감지 거리가 약 1M 줄어듭니다. 감지 각도는 -60° 에서 60° 이며 전체 감각 각도는 120° 입니다. 감지 각도 120° 와 최소 감지 거리 3M는 국내 건설사들의 IoT 전기 제품의 요구사항이기도 합니다. 개발된 초음파 도플러 센서는 벽에 설치 시 5M 전방의 움직임을 정확하게 감지했습니다. 타사의 제품들과 비교해서 더 뛰어나거나 비슷한 감지 거리를 감지하는 성능을 보여줬습니다.



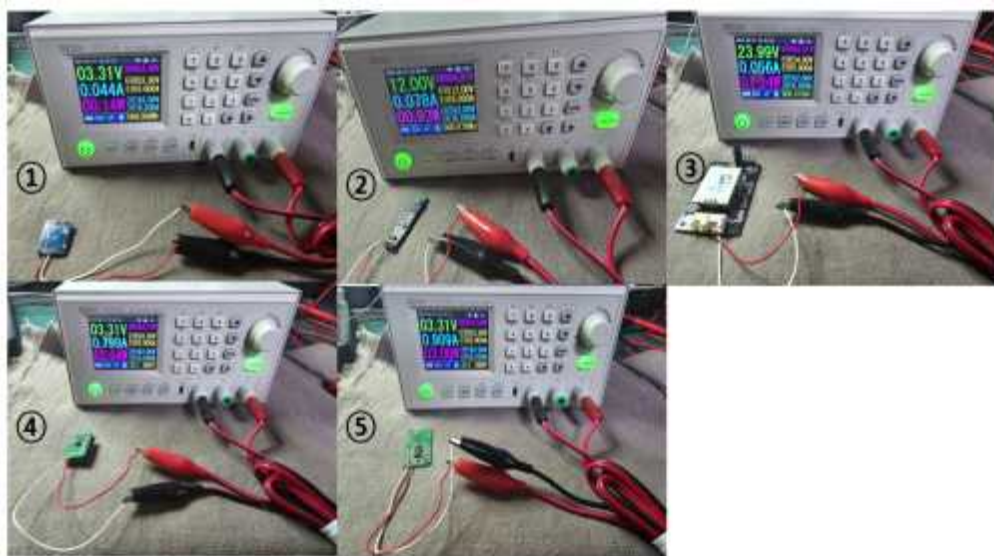
[그림 16] 높이 1.5M의 벽면에 설치, 10회 측정 평균값 차트

[표 5] 감지 거리 비교

구분	도플러 센서	주파수	감지 거리(M)
11-①	개발된 센서	10.525GHz	5
11-②	중국 P사	24GHz	3
11-③	대만 A사	5GHz	5
11-④	중국 H사	5GHz	5
11-⑤	중국 D사	5GHz	4

3.4.3 소모 전류 측정

초음파 도플러 센서의 전력 소비는 IoT 디바이스의 배터리 수명과 밀접하게 관련이 있습니다. FMCW 초음파 송수신기는 매우 적은 전력을 소비하며, 이는 소형 IoT 디바이스에 적합한 전력 효율성을 제공합니다. 낮은 전력 소비는 센서의 사용 시간을 연장하고, 에너지 절약에도 기여합니다 (Goo-HanKo 외 2024).



[그림 17] 개발된 초음파 도플러 센서의 소비전력 측정

[그림 17]의 ①은 본 논문에서 개발한 도플러 센서(BMD-10GD)의 동작

소모 전류는 최대 0.14W(140mW)입니다. 타 초음파 도플러 근접 센서에 비해서 획기적으로 적은 소비 전류로 배터리를 사용하는 휴대용 제품에 적용하기에도 좋습니다. [그림 17]의 ②는 중국 P사 제품은 본 논문에서 비교한 초음파 도플러 근접 센서 중에서 유일한 24GHz이며, 0.93W(930mW)의 소비전력을 나타내고 있습니다. [그림 17]의 ③은 대만 A사의 초음파 도플러 센서 제품은 크기(50mmX35mmX20mm)와 큰 소비전력 1.34W(1,340mW)으로 인하여 휴대용 제품으로의 적용에는 다소 문제가 발생할 여지가 있습니다. [그림 17]의 ④는 중국 H사의 초음파 도플러 센서로 저렴한 가격이지만, 소비전력이 타제품에 비해 2.64W(2,640W)의 큰 전력 소모로 거치용이나 산업용 등 에너지 효율성이 크게 중요하지 않은 곳에 적용할 수도 있습니다. [그림 17]의 ⑤는 중국 D사의 제품으로 온라인 쇼핑몰 등에서 저렴하고 쉽게 구매할 수 있는 초음파 도플러 근접 센서입니다. 매우 좋은 양은 3W(3,000mW)의 소비전력으로 실사용에는 어려울 것으로 보입니다.

[표 6] 소비전력 비교

구분	도플러 센서	주파수	소비전력(mW)
11-①	개발된 센서	10.525GHz	140
11-②	중국 P사	24GHz	930
11-③	대만 A사	5GHz	1,340
11-④	중국 H사	5GHz	2,640
11-⑤	중국 D사	5GHz	3,000

개발된 초음파 도플러 센서(BMD-10GD)의 소비전력 140mW는 비교 센서 중 가장 많은 소비전력의 중국 D사의 센서 대비 4.66%, 비교 센서 중 가장 적은 소비전력의 중국 P사의 센서 대비 15%의 전력을 소모합니다. 1,000mA 배터리 내장 휴대용 기기에서 최대 5배 이상의 에너지 효율을 보여줍니다.

IV. 결론

4.1 결과 요약

본 논문에서 개발한 BMD-10GD는 초소형 초음파 도플러 근접 센서의 개발은 특히 송·수신 안테나의 통합 설계를 통해 크기와 소모 전력 최소화하는 데 초점을 맞추고 있습니다.

이 센서의 가장 큰 특징은 15(mm)*16(mm)의 작은 크기와 140mW의 매우 적은 소모 전력에도 불구하고 5미터라는 감지 거리를 유지한다는 점입니다. 이 거리는 기존 시장에 나와 있는 다른 도플러 센서들과 비교했을 때 경쟁력 있는 수준을 유지하며, 일부 센서들보다는 우수한 성능을 보여줍니다.

전원 효율성 측면에서 이 센서는 140mW의 낮은 소비전력으로 운영됩니다. 이는 동일한 성능을 제공하는 다른 센서들에 비해 상당한 효율성 개선을 의미하며, 장시간 운영이 필요한 환경이나 배터리로 구동되는 시스템에 매우 적합합니다. 저전력 설계는 센서의 배터리 수명을 연장하고, 유지보수 비용을 감소시키는 중요한 요소로 작용합니다.

본 논문은 통합된 송·수신 안테나 설계가 센서의 크기를 줄여주고, 전력 소모도 줄여 성능에 긍정적인 영향을 증명합니다. 이러한 설계는 센서의 설치 공간을 줄이는 동시에, 감지 범위의 정확성을 유지하도록 돕습니다.

결론적으로, 이 논문은 송수신 안테나를 통합한 초소형 초음파 도플러 근접 센서가 기술적으로 어떻게 우수한 성능과 효율성을 동시에 달성할 수 있는지를 보여줍니다. 그리고 이러한 성과는 센서 기술의 발전뿐만 아니라, 적용 범위 확장에도 기여할 수 있는 잠재력을 가지고 있음을 강조합니다.

4.2 연구의 기여 및 의의

본 논문에서 제시된 초소형 초음파 도플러 근접 센서의 개발은 기술 혁신과 응용 분야 확장의 관점에서 여러 중요한 기여를 제공합니다. 이 기술은 다음과 같은 주요한 의의를 지니고 있습니다.

첫째, 안테나 통합에 의한 소형화입니다. 송·수신 안테나를 하나의 구조로 통합함으로써 센서의 전체 크기 15(mm)*16(mm) 로 대폭 줄였습니다. 이러한 소형화는 센서를 공간적으로 제한적인 환경에도 적용할 수 있게 하며, 휴대성이 중요한 응용 분야에서 큰 이점을 제공합니다. 둘째는 전력 효율성의 증대입니다. 센서는 매우 낮은 전력 소비(140mW)로 운영되어 에너지 효율성이 매우 뛰어납니다. 이는 장기간 운영이 필요한 응용 분야에서 배터리 교체 빈도를 줄이고, 운영 비용을 절감하는 중요한 요소입니다.

개발된 센서는 자동차, 로봇 공학, 의료, 광범위한 분야에서 응용할 수 있습니다. 특히, 이 센서는 자율주행 차량의 안전 시스템에서 중요한 역할을 할 수 있으며, 장애물 감지 및 충돌 방지 기능을 통해 차량의 안전성을 크게 향상할 수 있습니다. 센서의 기술 소형화와 전력 효율성은 보다 스마트하고, 지능적인 전자 기기를 개발할 수 있게 합니다. 이는 사회의 다양한 요구에 부응하고, 사용자 경험을 향상하는데 기여할 수 있습니다.

이 논문은 초음파 도플러 근접 센서 기술의 발전을 통해 크기, 성능, 그리고 에너지 효율성에서 혁신적인 개선을 달성함으로써 기술적 및 상업적 가치를 크게 높였습니다. 이러한 진보는 센서 기술의 미래 방향성을 제시하며, 관련 산업의 기술적 발전에 중요한 기여를 하고 있습니다. 이 연구는 기술의 적용 가능성을 넓히고, 산업 전반에 걸친 새로운 기술적 솔루션을 제공하는 데 중대한 의미가 있습니다.

4.3 연구의 한계

본 연구에서 개발한 초음파 도플러 센서는 [그림 18]과 같은 초음파 도플러 센서의 개발과 함께 도플러의 동작 테스트가 가능한 테스트 보드를 같이 개발하여 감지 거리를 테스트할 수 있었습니다. 하지만, 타사의 초음파 도플러 센서는 별도의 테스트 보드나 지그를 개발하기에는 큰 비용과 시간이 필요합니다. 본 연구에서는 타 초음파 도플러 센서의 업체에서 제공하는 감지 거리 사양만으로 본 연구에서 개발된 초음파 도플러 센서와 감지 거리를 비

교하였습니다.



[그림 18] 개발된(BMD-10GD) 초음파 도플러 센서 테스트 보드

4.4 추후 연구 방향

논문에서 다룬 초소형 초음파 도플러 센서의 연구 개발에 이은 추후 연구 방향은 다음과 같은 구체적인 사항을 포함합니다.

첫째는 기술적 최적화입니다. 세부 사항으로는 안테나 설계로 안테나의 형태와 재료를 실험하여 더 넓은 주파수 범위에서 최적의 성능을 제공하도록 개선할 수 있습니다. 다음은 소재 혁신으로 센서의 구성 요소에 사용되는 재료의 전기적 특성을 향상하거나 새로운 나노 재료를 도입하여 센서의 감도와 내구성을 높일 수 있습니다. 마지막으로 회로 설계 효율성으로 전력 소비를 더 줄이고 센서의 반응 속도를 향상하기 위해 회로 설계를 더욱 효율적으로 만드는 연구를 진행할 수 있습니다.

둘째는 에너지 소비 절감입니다. 세부 사항으로는 우선 저전력 기술개발입니다. 기존의 저전력 설계를 넘어서, 초저전력을 실현할 수 있는 새로운 기술을 개발합니다. 다음은 에너지 하베스팅³⁷⁾으로 센서가 환경에서 직접 에너지를

37) 에너지 하베스팅(영어: energy harvesting, power harvesting, energy scavenging, ambient power) 또는 에너지 수확(- 收穫)은 태양 에너지나 인체의 운동에너지 등 외부의 에너지를 모으고 저장하는 기술을 말한다.

를 수집하고 저장하는 메커니즘을 개발하여, 완전 자율적인 센서 시스템을 구현할 수 있습니다.

셋째는 응용 분야 확장입니다. 세부 사항으로는 신규 산업의 분야 탐색입니다. 의료 진단, 환경 모니터링, 산업 안전 등 새로운 분야에서 센서의 활용 가능성을 탐구합니다. 다음은 다목적 센서 개발입니다. 도플러 기능 외에 다른 환경적, 화학적, 생물학적 요인을 감지할 수 있는 센서 기능을 추가하여, 하나의 센서로 다양한 데이터를 수집할 수 있도록 합니다.

이러한 연구 방향들은 센서 기술의 성능을 극대화하고, 응용 범위를 확장하며, 상업적 가치를 높이는 데 중점을 두고 있습니다. 추후 연구가 성공적으로 진행된다면, 초음파 도플러 센서 기술은 더 지능적이고, 다양하며, 에너지 효율적인 방향으로 진화할 것입니다.

참 고 문 헌

1. 국내 문헌

- 강경선, 이기림, 이상민. (2023). 초음파센서에 도플러 효과를 적용한 방위각 추정 연구. 한국산학기술학회논문지, 제24권 제8호 2023.8, pp.1-6.
- 강윤희, 강명주. (2015). 에너지 효율성 개선을 위한 스트리밍 센서 데이터 처리 플랫폼 설계. 한국정보처리학회, 한국정보처리학회 학술대회논문집, Vol.22 No.1 2015, pp. 129-131.
- 강중순, 손병문. (2002). 도플러 레이더용 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 설계에 관한 연구. 한국해양정보통신학회논문지, Vol.6 No.4 2002, pp.519-526
- 김태진, 이영철, 김선효. (2009). 도플러 효과를 이용한 마이크로파 센서의 구현. 한국전자통신학회논문지, Vol.4 No.2 2009, pp.75-81.
- 남은진. (2023). 수술실 활용을 위한 도플러 효과 기반의 초음파 장비들의 분석. 아주대학교 IT융합학과 석사학위논문, 2023.8.
- 류대현, 최태완. (2018). 산업용 IoT를 위한 초소형 스마트 디바이스의 개발. 한국전자통신학회논문지, Vol.13 No.4 2018, pp.751-756.
- 민경현. (2022). 고효율 및 저전력 전력관리 회로 설계 연구. 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2022.2.
- 박양재. (2015). 도플러 센서 LED 조명등을 위한 절전형 컨버터 개발. 한국 디지털정책학회, Vol.13 No.9 2015.9, pp.251-257.
- 신현준, 최두현, 오창현. (2015). 도플러 레이더 센서를 이용한 알람 서비스 개발. 한국정보통신학회논문지, Vol.19, No.3 2015, pp.623-628.
- 윤기호. (2011). 능동 발진 안테나를 이용한 소형 도플러 센서. 전기전자학회 논문지, Vol.15 No.1 2011, pp.49-56.

- 윤현구, 장병준. (2021). 주파수 간섭의 이해, 분석 방법, Sub-GHz 주파수 대역 적용 사례. 한국전자파학회논문지, 2021.1,
https://www.jkiees.org/archive/view_article?pid=jkiees-32-1-1
- 이기승. (2016). 초음파 도플러를 이용한 음성 인식. 한국음향학회지, Vol.35 No.1 2016, pp.74-82.
- 이수성, 노용래. (2000). 수중 도플러 로그용 야누스형 초음파 트랜스듀서 개발. 한국음향학회, Vol.19 No.7 2000, pp.77-84.
- 이현정, 한진수, 정연쾌, 이일우, 이상호. (2012). 에너지 효율화를 위한 상황 인지 기반 건물 관리 기술. 중소기업융합학회논문지, Vol.2 No.1 2012, pp.69-75.
- 임용민, 임형준, 허준석, 반준영, 도윤희, 이강환. (2017). 도플러 효과를 이용한 실감 음향 분석 및 구현. 한국정보통신학회, 2017년도 춘계학술대회, 2017 May 31, pp.523-526
- 장정석, 도지훈, 김대웅, 홍의석. (2006). X-Band 도플러 레이더용 송·수신 시스템의 설계 및 제작. 한국ITS학회, 2006년도 제5회 추계학술대회 및 정기총회, Vol.2006 No.10, 2006, pp.308-311.

2. 국외 문헌

- Abdul Wahab Memon, Benny M., Patrick Van T., L., (2023). A Lattice-Hinge-Design-Based Stretchable Textile Microstrip Patch Antenna for Wireless Strain Sensing at 2.45 GHz. *MDPI Sensor*, Published 2023.11. <https://doi.org/10.3390/s23218946>
- Adrian Kliks, Pawe K., (2017). Multichannel simultaneous uplink and downlink transmission scheme for flexible duplexing. Kliks and Kryszkiewicz *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* (2017) 2017:111.
- Federico Alimenti, Valentina P., Chiara M., Marco V., Giulia O., Stefania B., Luca R., Paolo M., (2015). A 24-GHz Front-End Integrated

on a Multilayer Cellulose-Based Substrate for Doppler Radar Sensors. *MDPI Sensor*, Published 2017.9.

<https://doi.org/10.3390/s17092090>

Haipeng Pan, Yongyang Z., Minming G., (2022). A spectrum estimation approach for accurate heartbeat detection using Doppler radar based on combination of FTPR and TWV. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* Vol. 2022.

<https://asp-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13634-022-00899-8>

Homa Arab, Steven D., Emilia M., Cevdet A. Serioja O. T., (2018). A 77-GHz Six-Port Sensor for Accurate Near-Field Displacement and Doppler Measurements. *MDPI Sensor*, Published 2018.8.

Hugo Landaluce, Laura A., Asier P., Francisco F., Ignacio A., Florian M., (2020). A Review of IoT Sensing Applications and Challenges Using RFID and Wireless Sensor Networks. *MDPI Sensor*, Published 2020.4.

Hui Meng, Xiaoqing W., Jinsong C., An Azimuth Antenna Pattern Estimation Method Based on Doppler Spectrum in SAR Ocean Images. *MDPI Sensor*, Published 2018.4.

<https://doi.org/10.3390/s18041081>

Jinuk Park, Jongwon S., Jungpyo H., (2022). Autoencoder-Based Signal Modulation and Demodulation Methods for Sonobuoy Signal Transmission and Reception. *MDPI Sensor*, Published 2022.8.

<https://doi.org/10.3390/s22176510>

Kanji Ono. (2020). A Comprehensive Report on Ultrasonic Attenuation of Engineering Materials, Including Metals, Ceramics, Polymers, Fiber-Reinforced Composites, Wood, and Rocks. *MDPI Sensor*,

Published 2020.3. <https://doi.org/10.3390/app10072230>

Mehrdad Nosrati, Negar T., (2018). Experimental Evaluation of the Effects of Antenna Radiation Characteristics on Heart Rate Monitoring Radar Systems. *Cornell University Electrical Engineering and Systems* > Science Signal Processing.
<https://arxiv.org/abs/1801.00484>

Nitin Kathuria, Boon-C., (2021). 24 GHz Flexible Antenna for Doppler Radar-Based Human Vital Signs Monitoring. *MDPI Sensor*, Published 2021.5. <https://doi.org/10.3390/s21113737>

Peiran Chen, Andreas M.A.O. P., Anastasiia P., Meiyi Z., Simona T., Jaap M.J. D. T., Massimo M., (2022). Accoustic Characterization of Tissue-Mimicking Materials for Ultrasound Perfusion Imaging Research. *ELSEVIER, Ultrasound in Med. & Biol.*, Vol. 48, No. 1, pp. 124–142.
<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2021.09.004>

Rashi Mehrotra, Ranjan B., (2014). An integrated framework for optimizing power consumption of Smart Antennas. *IEEE*, 2014.3.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6811341>

Xianlei Chen, Manqi W., Bin W., Huadong H., Haolei S., Zenan W., Junxue C., Limei G., Hengcong T., Baikang Z., Bohong W. (2023). Energy Consumption Education and Sustainable Development for Oil & Gas Transport and Storage Engineering. *MDPI Energies*, Published 2023.2.

Yan Xin, Xiaodong W., Geert L., Guosen Y., Jinhua J., (2010). Interference Management in Wireless Communication Systems – Theory and Applications. Hindawi Publishing Corporation,

EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking,
Vol. 2010, Article ID 687649, pp. 2.

Yanlu Li, Emiel D., Roel B., (2022). Miniaturization of Laser Doppler
Vibrometers—A Review. *MDPI Sensor*, Published 2022,6.
<https://doi.org/10.3390/s22134735>

ABSTRACT

Development of Miniaturization Technology for Ultrasonic Doppler Sensors Through Integration of Transmission and Reception Antennas.

Kim An-Soon

Major in Smart Factory Consulting

Dept. of Smart Convergence Consulting

Graduate School of Knowledge Service &
Consulting

Hansung University

This paper brought about technological innovation by utilizing polling technology and integrating transmitting and receiving antennas, dramatically reducing the size of the ultra-small ultrasonic Doppler sensor to 15(mm)*16(mm), while lowering energy consumption to the lowest in the industry.

Existing ultrasonic Doppler sensors used separated antennas for transmission and reception, so they were limited in size and power consumption. Therefore, in this study, to overcome these limitations, the transmitting and receiving antennas were designed and optimized as a single integrated antenna.

In addition, the integrated antenna simplifies the manufacturing process and maximizes space efficiency, and the low-power design that reduces unnecessary power consumption by introducing a high-efficiency power management system minimizes sensor power consumption, resulting in

cost savings. The sensor developed through this consumes less than 140mW of power on average, and showed significantly improved power efficiency compared to existing ultrasonic Doppler sensors. This low power consumption provides a significant advantage in battery-powered portable devices or systems that require long-term operation. The efficiency of low power consumption extends battery life, reduces maintenance costs, and greatly improves sensor usability.

Therefore, the main outcomes of this study are as follows. First, we have implemented the smallest ultrasonic Doppler sensor in the industry with a size of 15(mm)*16(mm). This makes it easy to integrate the sensor even in confined environmental spaces. Second, in terms of power efficiency, battery life has been significantly extended through low power consumption with an average power of less than 140mW. Third, although the size is smaller and power consumption has been dramatically reduced, the detection distance is 5M, showing similar performance to existing sensors.

The ultra-small ultrasonic Doppler sensor developed in this study can be used in various industrial fields. In the automotive industry, obstacle detection and collision avoidance functions of autonomous driving systems can be improved, and in the medical device field, diagnostic equipment can be miniaturized and integrated. It can also be applied and utilized in a variety of products that require low power and high detection reliability in systems such as security systems and industrial automation.

In conclusion, this paper integrates transmitting and receiving antennas using polling technology and develops an ultra-small ultrasonic Doppler sensor with a size of 15(mm)*16(mm), a technological innovation that realizes energy consumption at the lowest level in the industry. This will greatly improve the practicality of sensors in a variety of applications, and the continued expansion of sensor technology and development will help set new standards in the industry

【Key words】 Doppler, Sensor, Ultra Sonic, Miniaturization, Polling, Integrated Antenna, Power Consumption