

## 2024년도 무인이동체 원천기술개발사업 통합기술워크숍

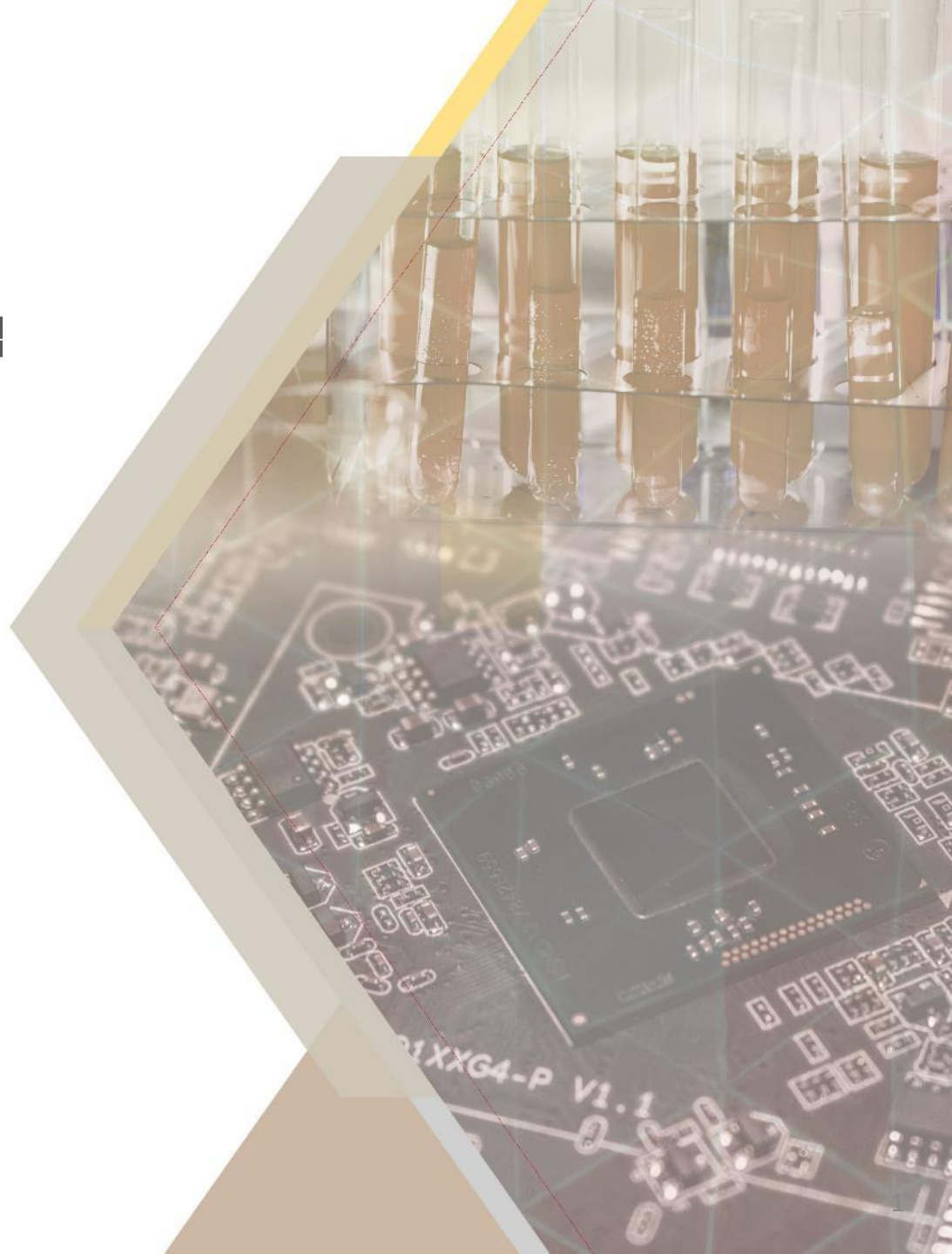
탐지 및 인식(센서기술) 연구단

2024.09.27

1세부 : 서울대학교

2세부(총괄) : 세종대학교

3세부 : 한밭대학교

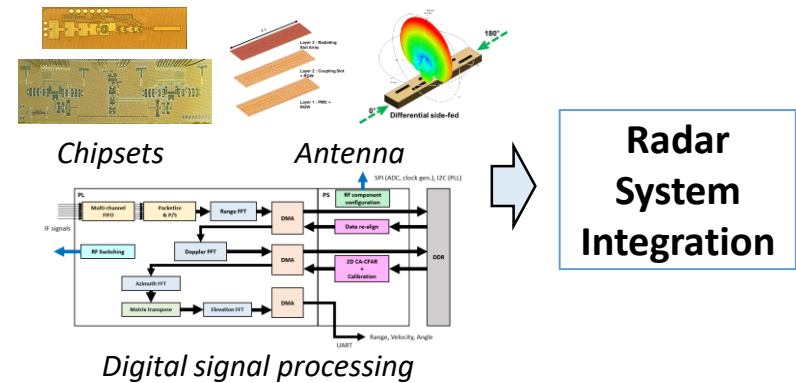


# I 1 탐지 및 인식(센서기술) 연구단 총괄 개요

## 무인이동체용 전방위 탐지 경량 레이다 및 신호처리기술 개발

- 전방위 탐지를 위한 경량 배열 안테나
- 전방위 탐지용 레이다 신호처리기술
- 전방위 탐지용 레이다 다중 채널 CMOS RF 송수신기

1세부



## 무인이동체 탐지성능 향상을 위한 3차원센서 융복합 기술 개발

- 3차원 센서 융복합 신호처리 알고리즘
- 3차원 융복합센서 (LiDAR+RADAR+Camera)
- 장애물 탐지인식 알고리즘
- 이종/다수 융복합센서 범용성 확보

2세부

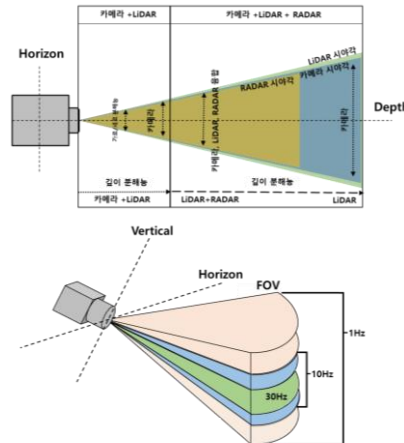
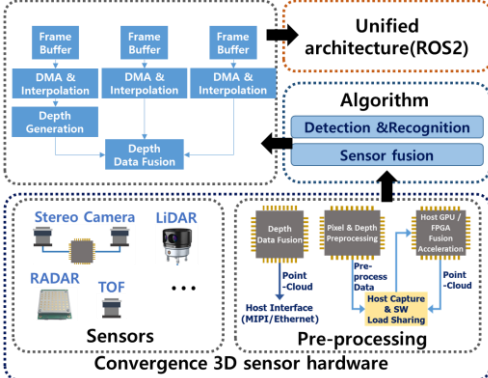
탐지 및 인식  
(센서기술)  
연구단

3세부

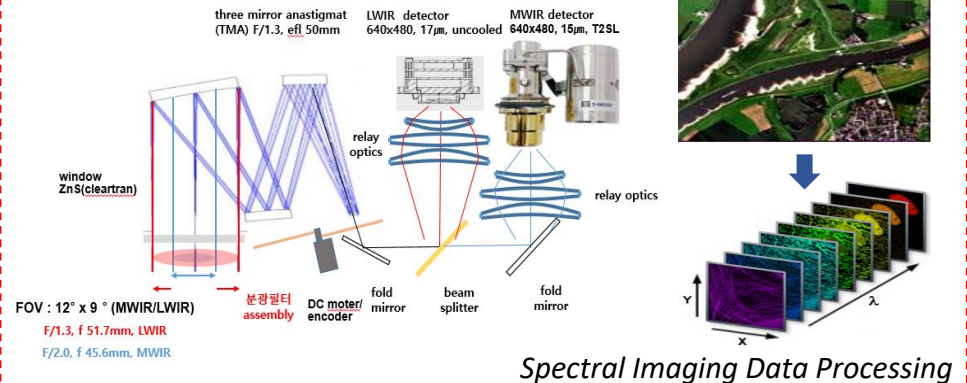
## 무인이동체 임무장비 성능향상 기술개발

- 분광카메라 탑재 성능시험/개선
- 분광영상처리 및 검출가스 분석기술
- 광학계 최적화 및 분광 성능 향상
- 무인이동체 탑재용 분광카메라 성능향상

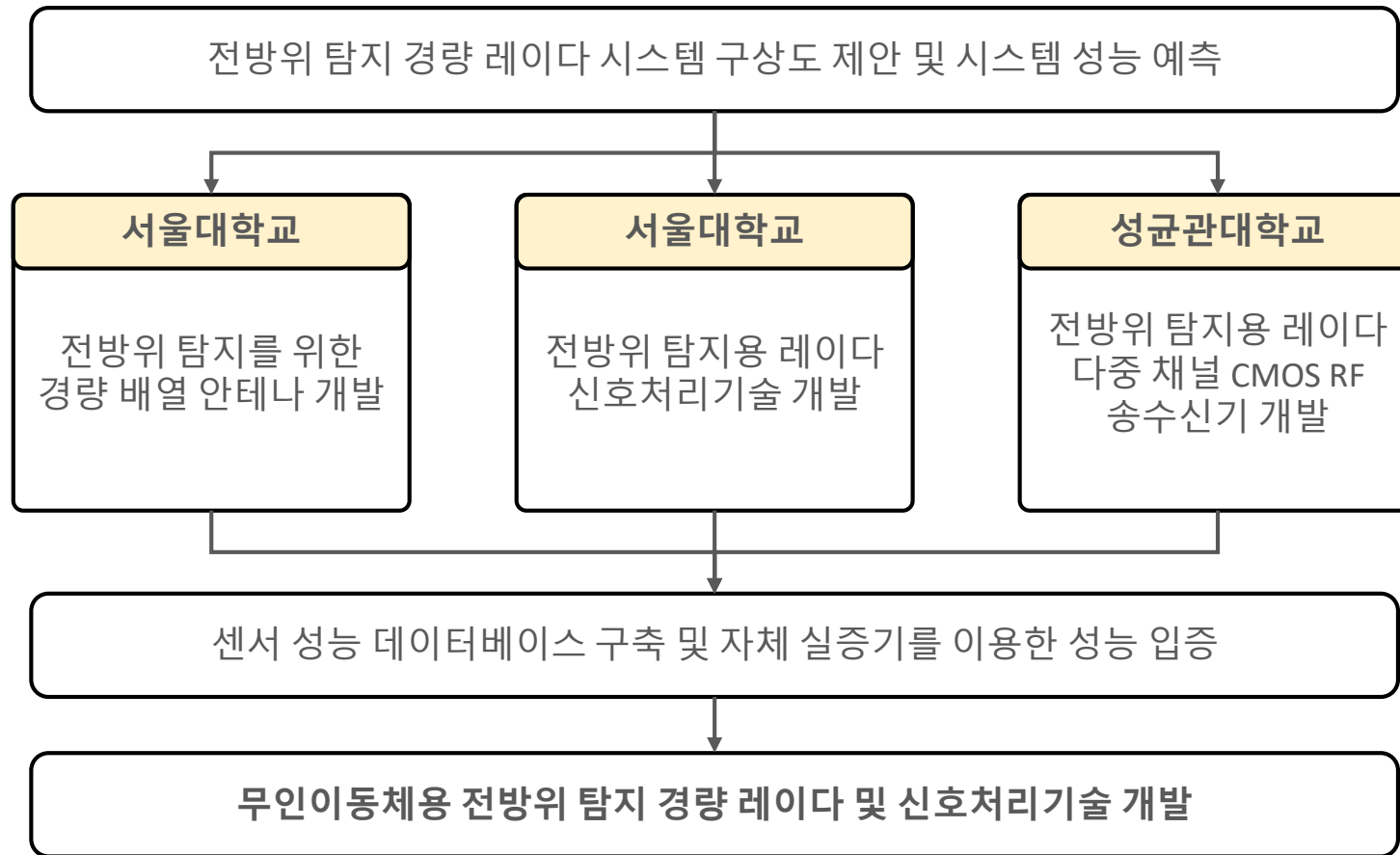
### Data configuration hardware



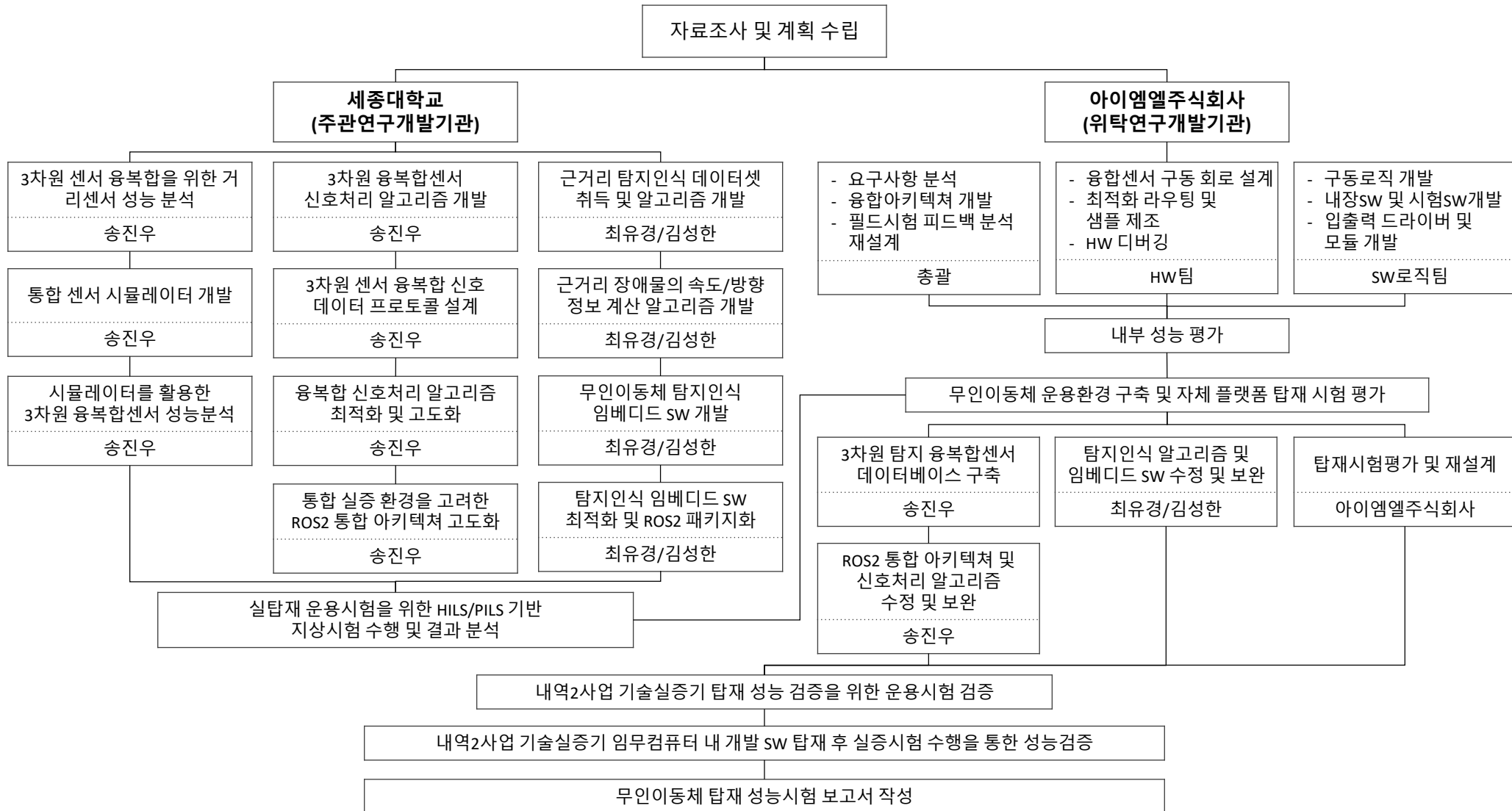
### Spectral Optical system design



## I 2 탐지 및 인식(센서기술) 연구단 - 1세부 추진체계



## I 2 탐지 및 인식(센서기술) 연구단 - 2세부 추진체계



# I 2 탐지 및 인식(센서기술) 연구단 - 3세부 추진체계



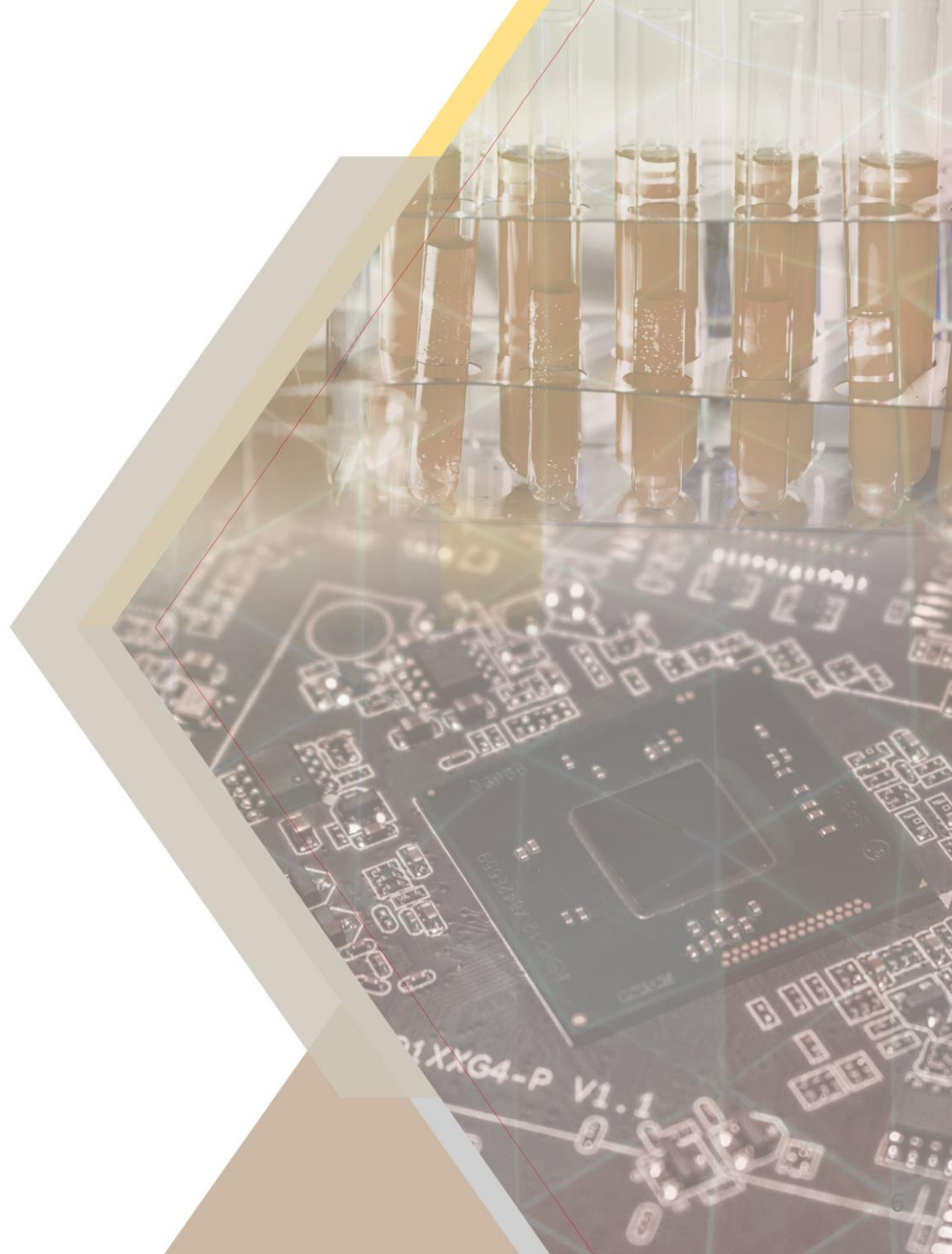


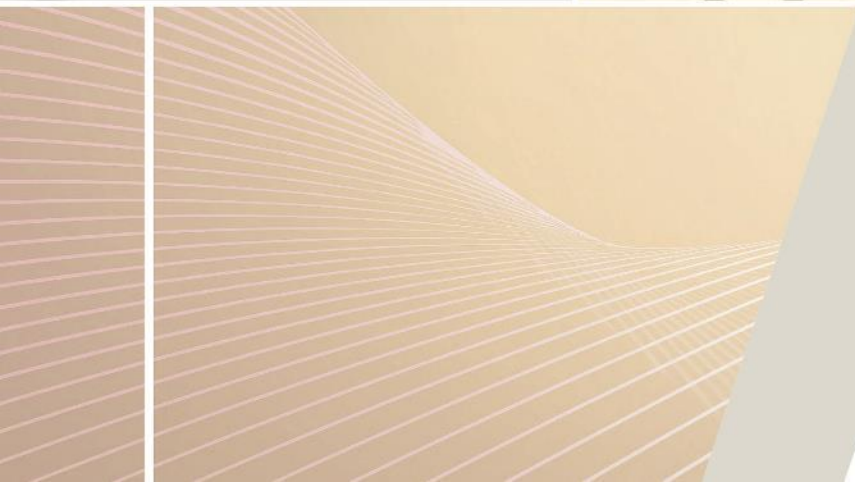
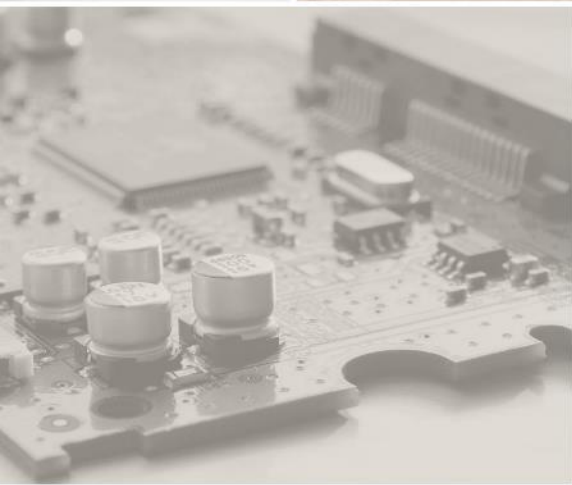
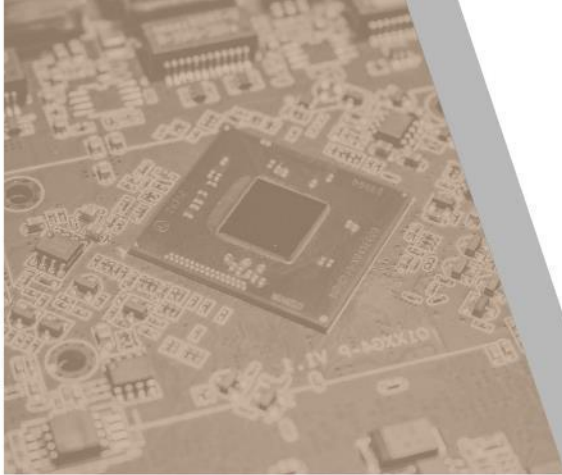
# 무인이동체용 전방위 탐지 경량레이다 및 신호처리기술 개발

탐지 및 인식(센서기술) 연구단 1세부 과제

2024.09.27

서울대학교





# Contents

## 1 / 연구 개요

## 2 / 연구개발 내용 및 계획



과학기술정보통신부  
Ministry of Science and ICT



한국연구재단



서울대학교



세종대학교



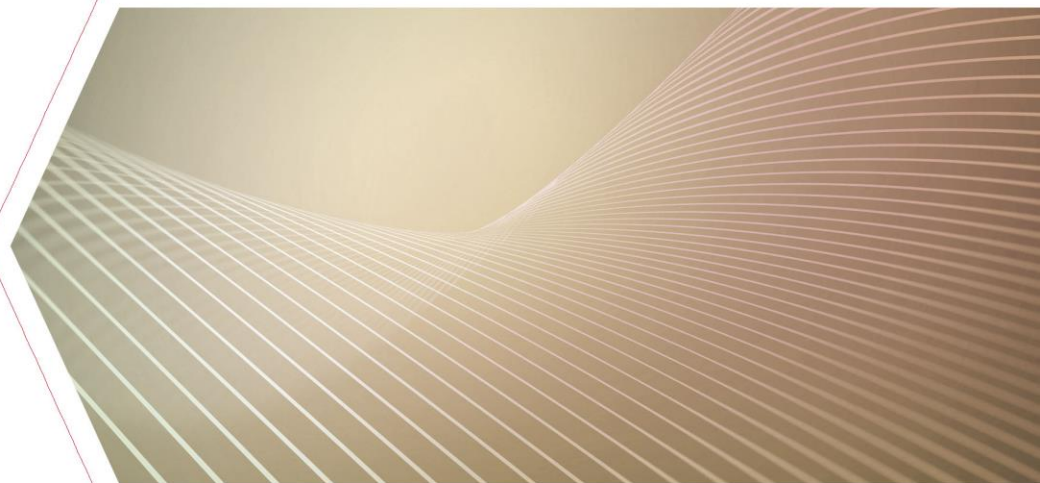
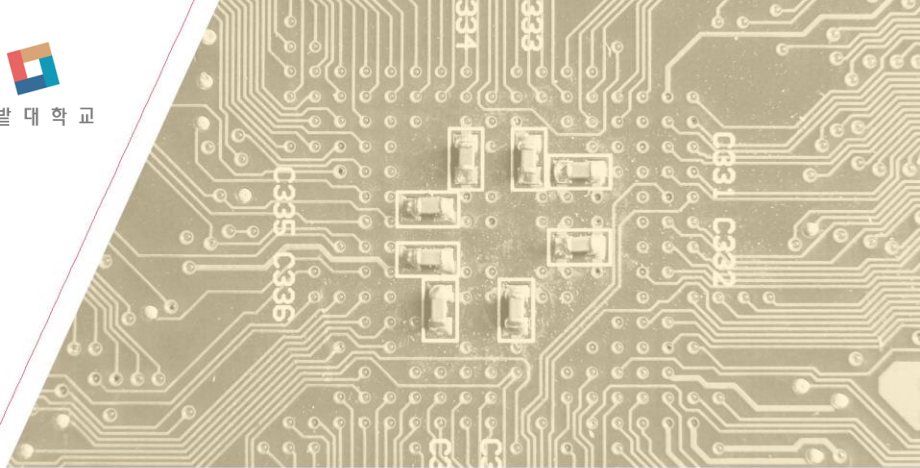
국립한빛대학교

무인이동체 원천기술개발사업단

# I

## 연구 개요

- A. 연구개발개요
- B. 추진체계





# I 1 연구 개요

## A. 연구개발개요

무인이동체용 전방위 탐지  
경량 레이더 및  
신호처리기술 개발

### 고주파수 RF 송수신기

#### ▶ 레이더 다중 채널 CMOS RF 송수신기

- 경량화를 위한 고주파수 다중 채널 IC 구현
- 낮은 기준 LO 주파수 급전을 위한 고체배기 내장

### 고해상도를 위한 MIMO Array 최적화 알고리즘

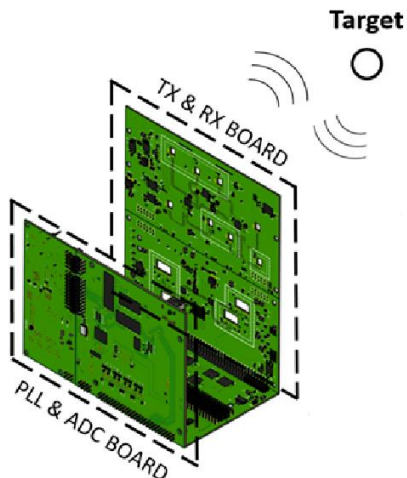
#### ▶ 안테나 2D Array 최적화 알고리즘

- Genetic Algorithm을 통한 2D Array Geometry
- 최적의 높은 각도 해상도 안테나 배열 생성

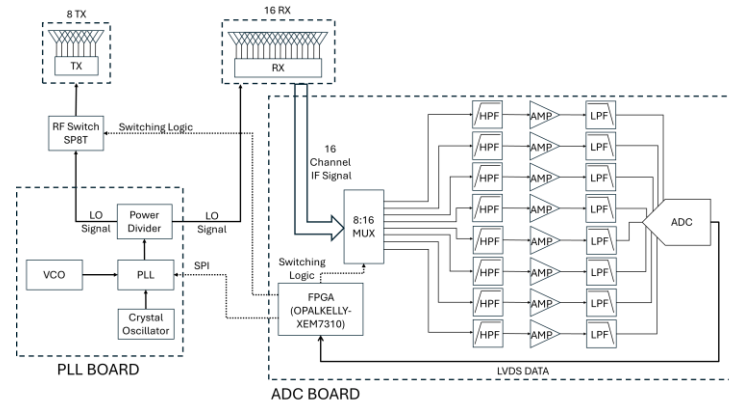
### 8TX 16RX TDM MIMO 구조 RADAR System

#### ▶ TD(Time Division) MIMO 레이더 시스템

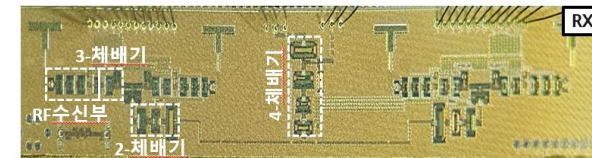
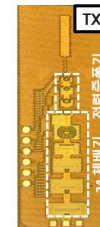
- FPGA를 이용한 고속 레이더 신호 처리
- 실시간 탐지 플랫폼 개발



Radar System Hardware



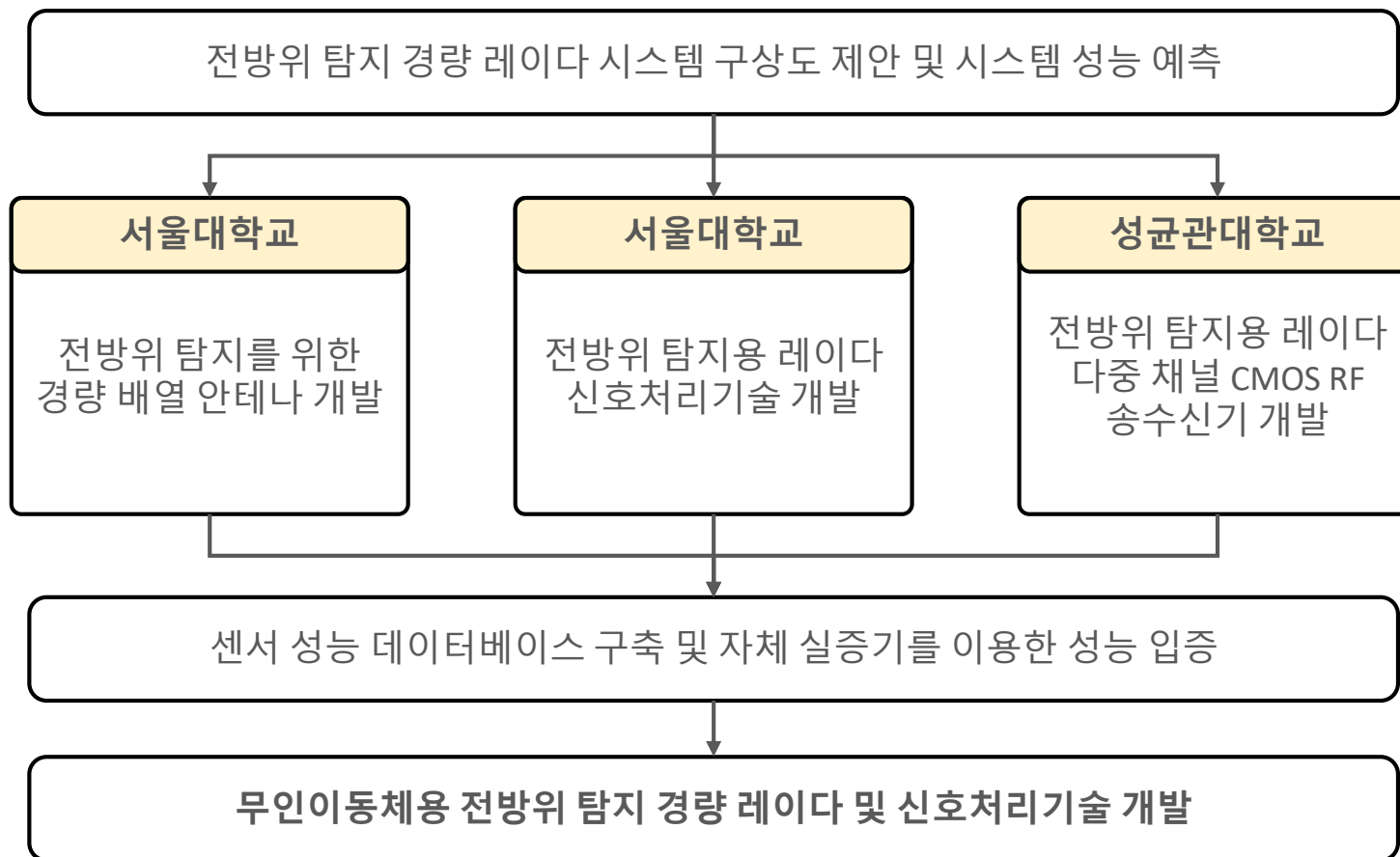
Radar System Block Diagram



Chip Microphotograph

## I 2 탐지 및 인식(센서기술) 연구단 - 1세부 추진체계

### B. 추진체계





과학기술정보통신부  
Ministry of Science and ICT



한국연구재단



서울대학교



세종대학교

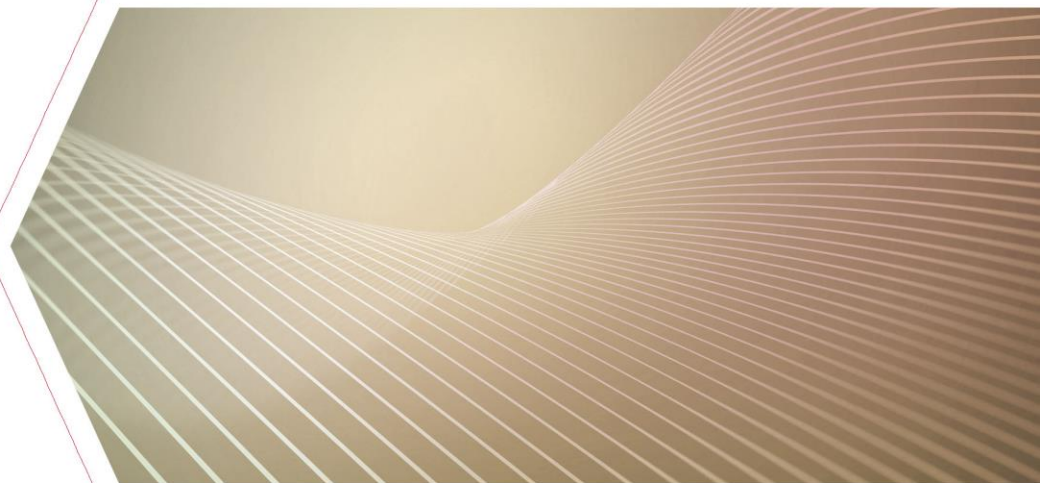
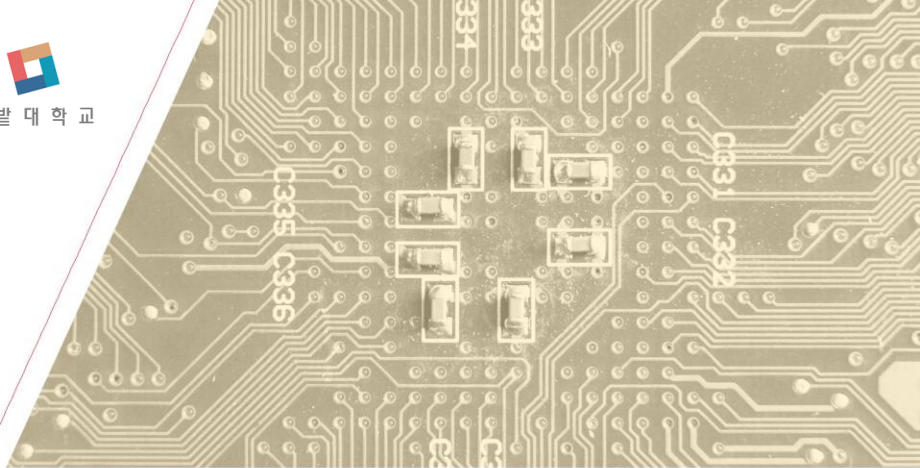


국립한양대학교

# II

## 연구개발 내용 및 계획

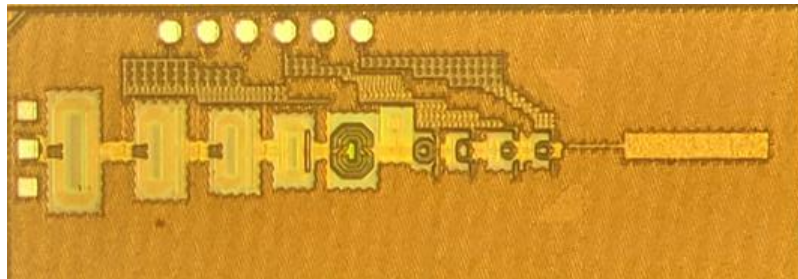
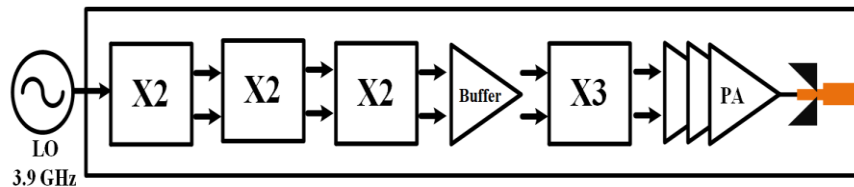
- A. 연구성과
- B. 통합실증계획
- C. 향후계획



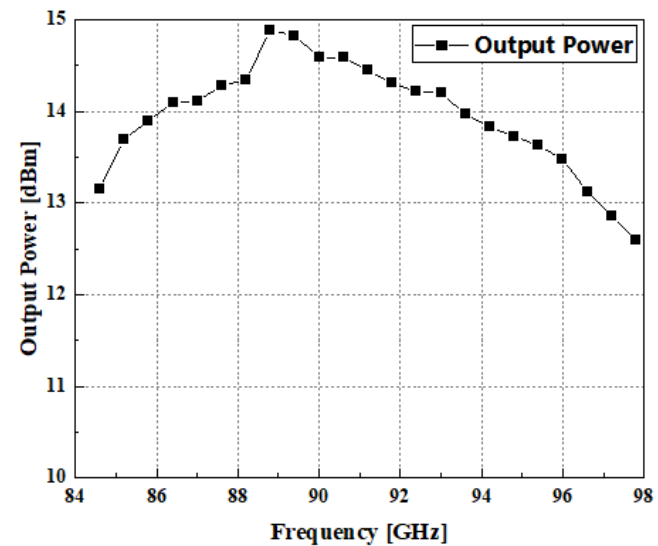
## II A 연구성과

- 28-nm CMOS 공정을 이용한 칩상 급전기 내장 94 GHz 송신칩 신규 설계 및 검증

1. 단일채널 송신칩
2. 칩상 급전기를 이용한 94 GHz 출력신호 송신
3. 고체배기를 내장하여 다수의 칩을 낮은 기준 LO 주파수(3.92 GHz)로 급전
4. 선형화 회로 내장을 통한 높은 포화 전력 확보
5. 소모 전력 : 158 mW
6. 최대 출력 전력 : 15 dBm
7. 칩 크기 : 2000  $\mu\text{m}$  X 620  $\mu\text{m}$



<송신칩 다이어그램 및 사진>

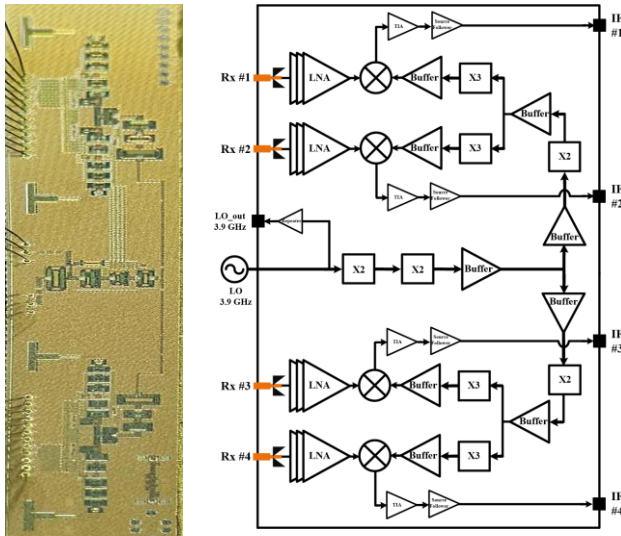


<송신기 출력 전력 측정 결과>

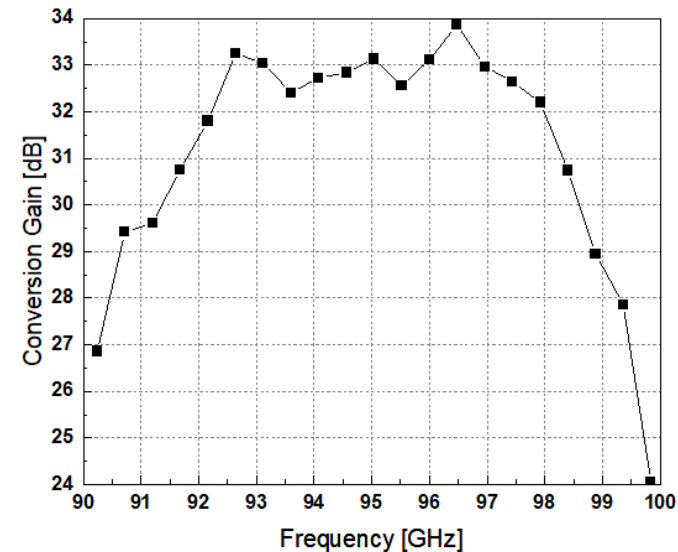


## II A 연구성과

- 28-nm CMOS 공정을 이용한 칩상 급전기 내장 94 GHz 수신칩 신규 설계 및 검증
  1. 4 채널 수신칩
  2. 칩상 급전기를 이용한 94 GHz 안테나 직접 급전 고체배기를 내장하여
  3. 고체배기를 내장하여 다수의 칩을 낮은 기준 LO주파수(3.92 GHz)로 급전
  4. 24 체배기 + 저잡음 증폭기 + 하향 변환기 + TIA + 출력 스위치 구조
  5. 변환 이득 : 32.5 dB (@ 94 GHz)
  6. 대역폭 : 91.8 ~ 98.1 GHz
  7. 소모 전력 : 277 mW
  8. 칩 크기 : 6040  $\mu\text{m}$  X 915  $\mu\text{m}$

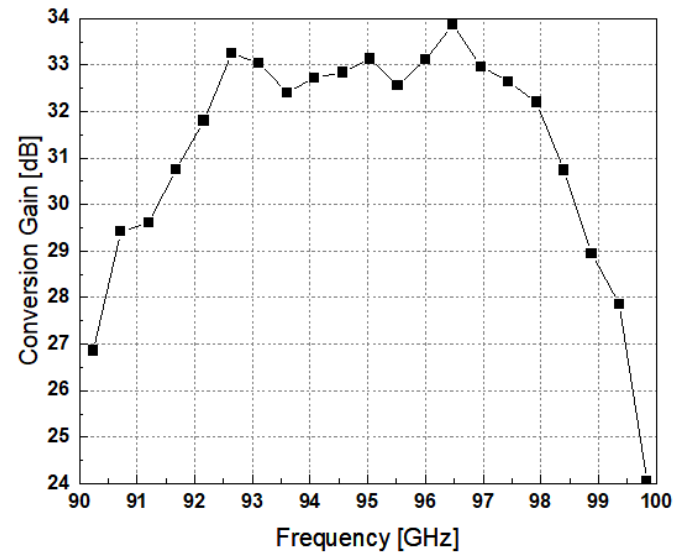
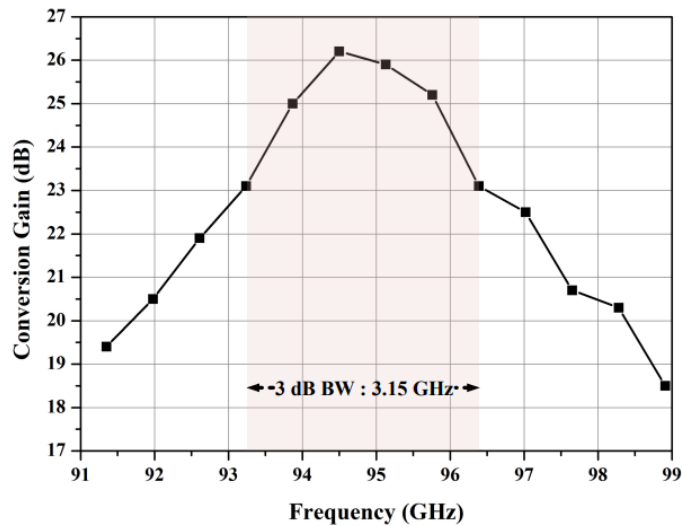
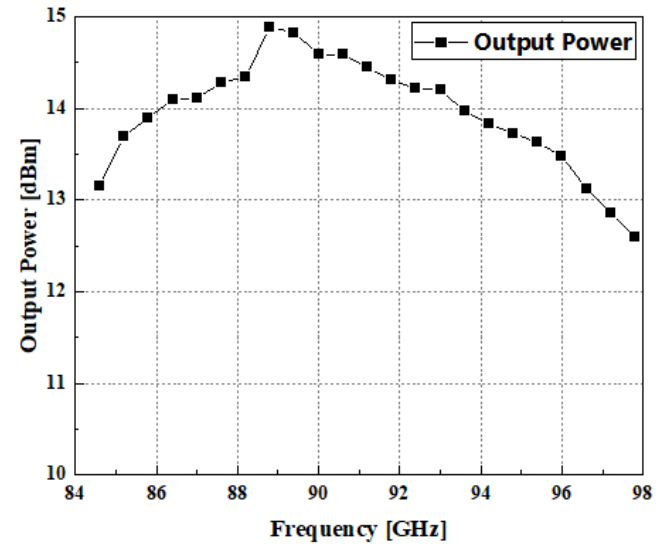
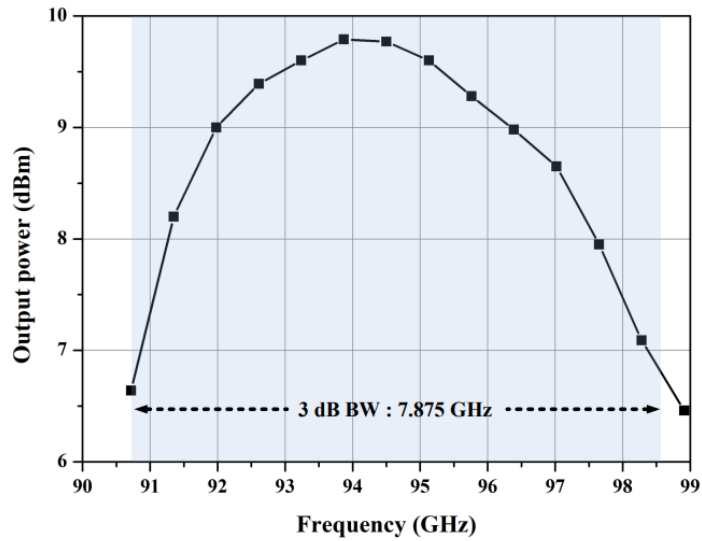


<수신기 다이어그램 및 칩 사진>



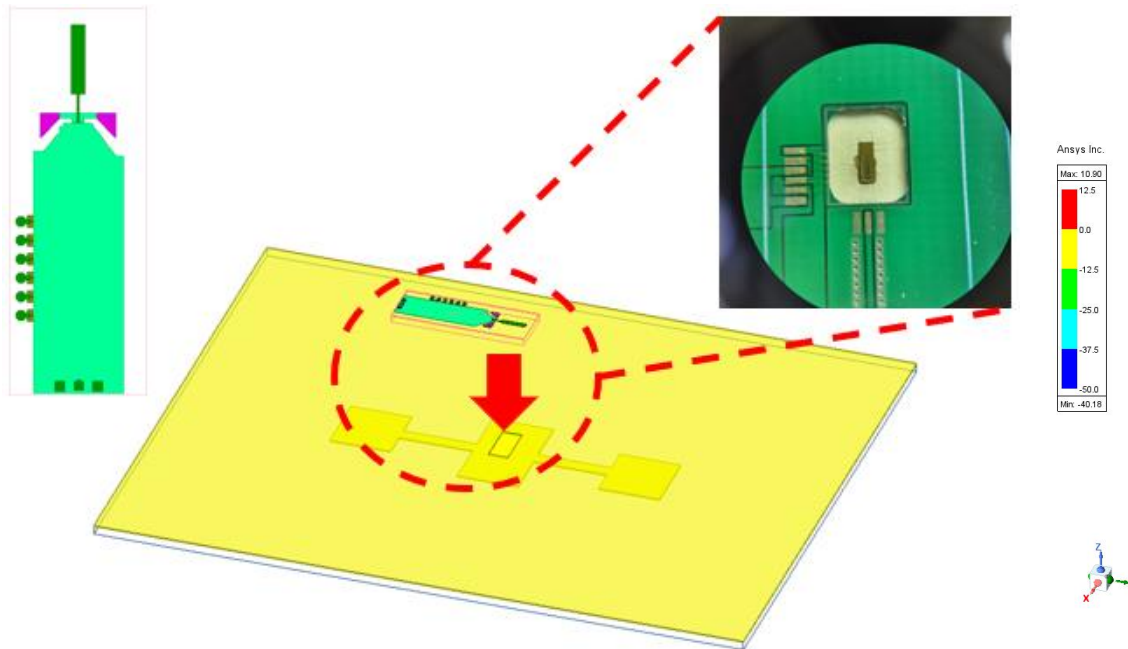
<4채널 수신기 변환 이득 측정 결과>

# 1단계와 송수신 IC 와 성능 비교

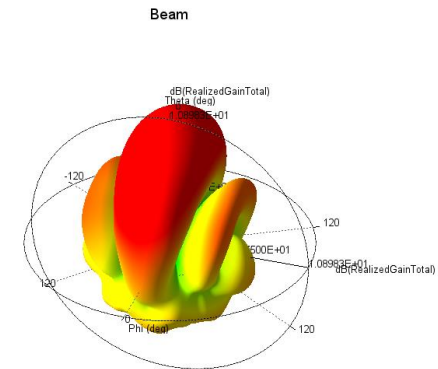


## II A 연구성과

- 칩상 급전기를 이용한 안테나 일체화 패키징
  1. 단일 채널 송신칩 안테나 일체화 패키징
  2. 칩상 급전기를 이용하여 안테나 기판의 bottom ground slot을 통해 급전
  3. 안테나의 중앙 급전 구조로 주파수에 따른 빔 tilt 최소화



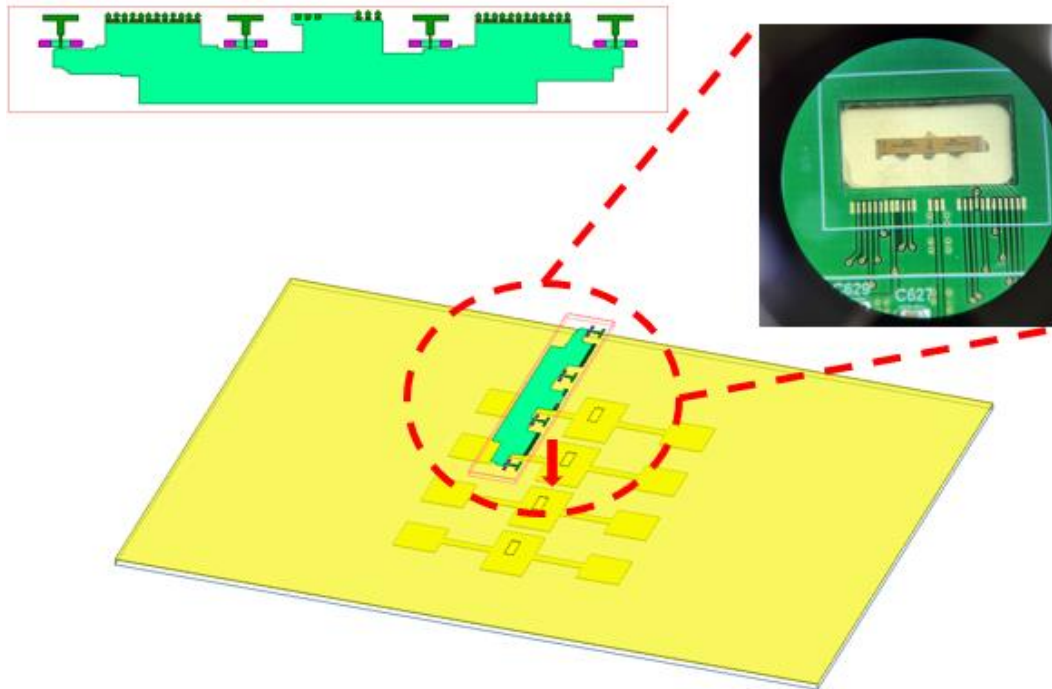
<단일 채널 송신 안테나 패키징 구조>



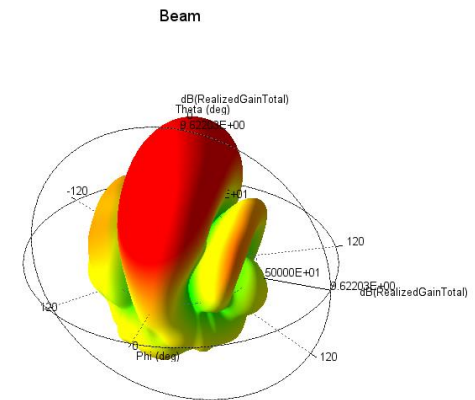
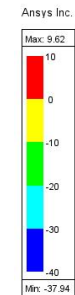
<단일 채널 송신 안테나 빔 패턴>

## II A 연구성과

- 칩상 급전기를 이용한 4 채널 안테나 일체화 패키징
  1. 칩상 급전기를 이용하여 안테나 기판의 bottom ground slot을 통해 급전
  2. 중앙 안테나 급전 구조 → 급전선이 없음
  3. 4채널 안테나 동위상 구동
  4. 광대역 구동시에도 빔 tilt가 없음



<4 채널 수신칩 안테나 패키징 구조>



<4 채널 수신 안테나 빔 패턴>





## II A 연구성과

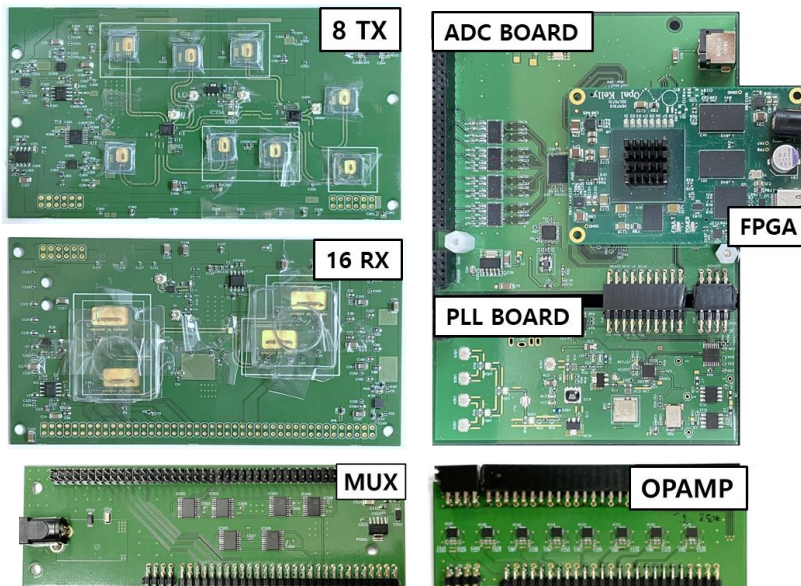
### ● 8 TX 16 RX MIMO FMCW 레이더 시스템 하드웨어

#### | Baseband Board – PLL / ADC / Op-Amp / MUX

1. PLL Board : LO Signal 생성 (Chirp Time : 200 us, 대역폭 : 1 GHz (체배 후))
2. ADC Board : 데이터 수집 및 신호처리 (12 Bit / 5 MSPS / 8 채널 ADC)
3. Op-Amp Board : 8 채널 IF Signal에 18 dB 증폭
4. MUX : 16 to 8 채널 스위칭

#### | RF Board

1. 8 TX : SP6T RF Switch를 사용하여 순차적으로 LO Signal 입력
2. 16 RX : LO Signal이 모든 칩에 동시에 입력



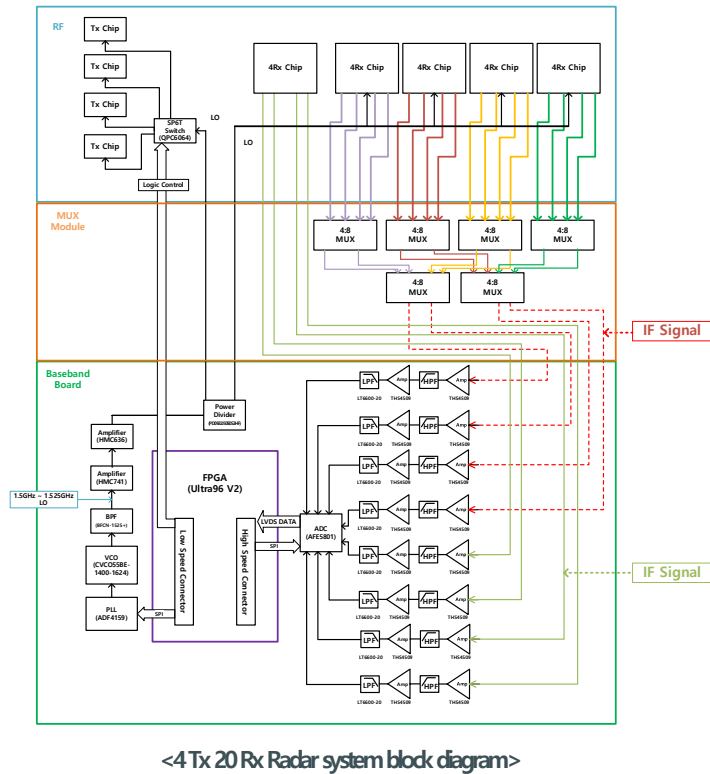
<레이더 시스템 구성 보드>



<8 TX 16 RX MIMO FMCW 레이더 시스템>

# (참조) 1단계 4Tx 20Rx

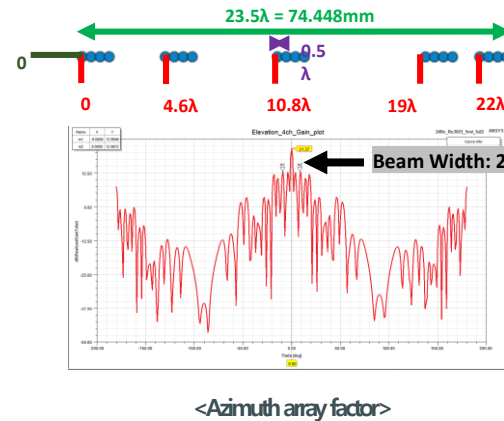
## Radar system block diagram



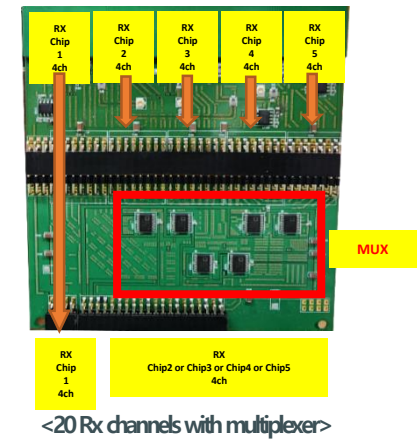
## RADAR module



<4 Tx 20 Rx RADAR module>



- TDM MIMO based RADAR system
- Transmitted power: 9 dBm
- Antenna gain: 11 dBi
- Fs: 50 MSPS
- BW: 1.575 GHz
- Weight: 194 g (Excluding the embedded computer)



## II A 연구성과

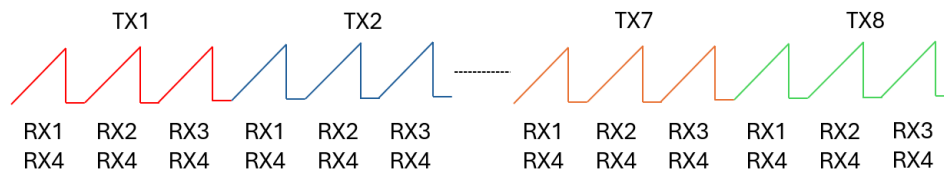
### ● 8 TX 16 RX MIMO FMCW 레이다 시스템 신호처리

#### | TD(Time Division) MIMO 레이다 시스템

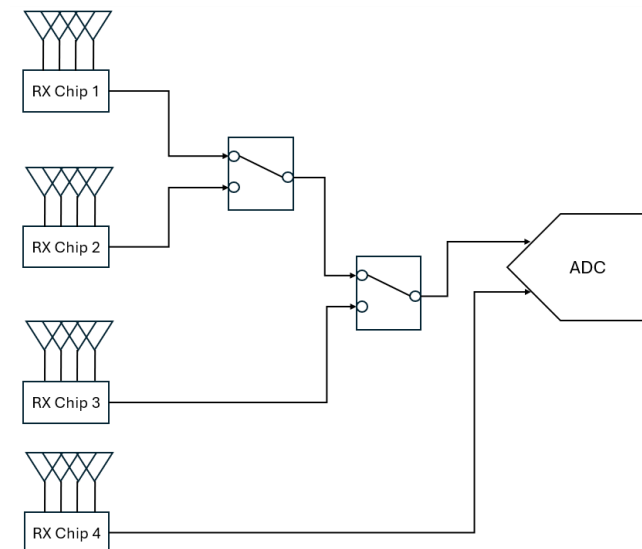
- 4 GHz FMCW 파형 형성 PLL 주파수 합성기 모듈 구현
- TX Switching을 통한 128개의 가상 배열 형성하여 각도 해상도를 개선

#### | 시분할 Switching 방식 RX Signal Acquisition

- 8 채널 데이터 획득 모듈
- 적은 수의 ADC와 FPGA의 Resource로 Data 수집 가능
- 한 개의 수신칩의 4 채널 Signal을 Reference Data는 지속적으로 샘플링
- 고정 샘플링 채널 데이터를 기준으로 시분할 수신채널 위상 보정



<Frame of Chirp Signals with 8 TX 16 RX>



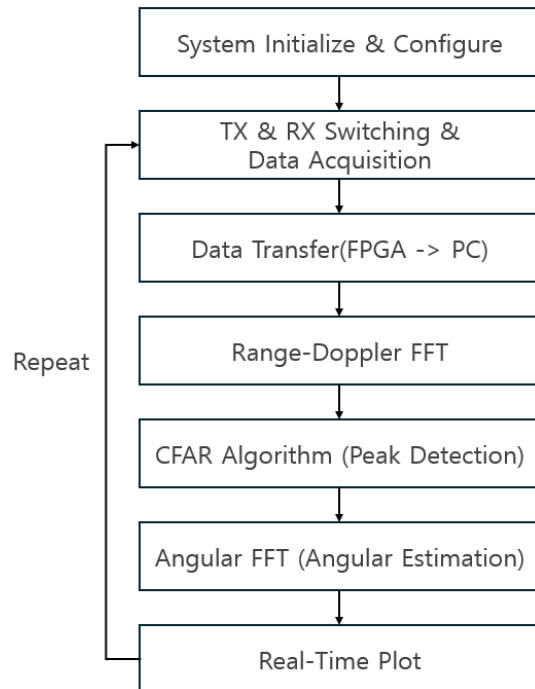
<RX Switching Block Diagram>



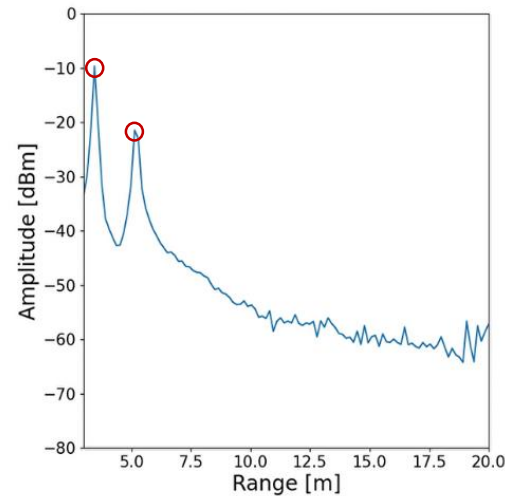
## II A 연구성과

### ● 8 TX 16 RX MIMO FMCW 레이다 시스템 신호처리

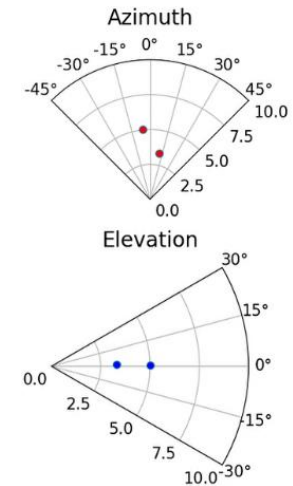
1. FPGA를 이용한 고속 레이다 신호 처리
2. 단일 기준 CLK을 이용한 ADC & PLL 위상 동기화
3. TD MIMO를 위한 Tx 스위칭 및 시분할 데이터 획득 제어
4. FFT 기반의 2D DOA & Real-Time Detection Platform
5. CA-CFAR Algorithm



<Radar system Processing Flow>



<Real-Time Detection Platform>



# 1. 무인이동체용 전방위 탐지 경량레이다 및 신호처리기술 개발

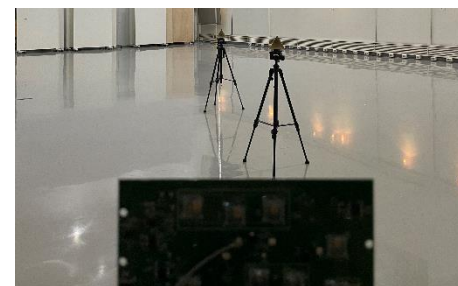
## 8 TX 16 RX MIMO FMCW 4D 레이다 시스템 신호처리

### ✓ CFAR Algorithm

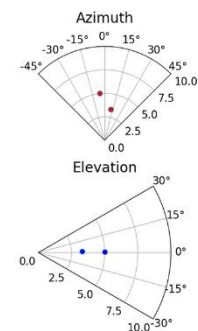
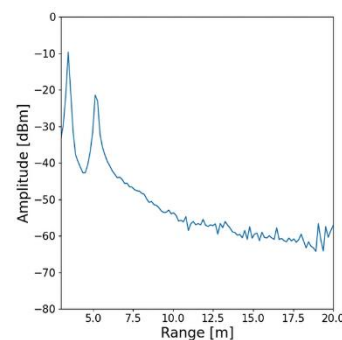
- Peak Detection을 위한 Algorithm
- Target에 대한 Threshold를 유동적으로 변화

### ✓ Angle FFT & Real-Time Detection Platform

- 실시간 탐지를 위한 Platform 개발
- Range & Azimuth & Elevation Estimation 가능

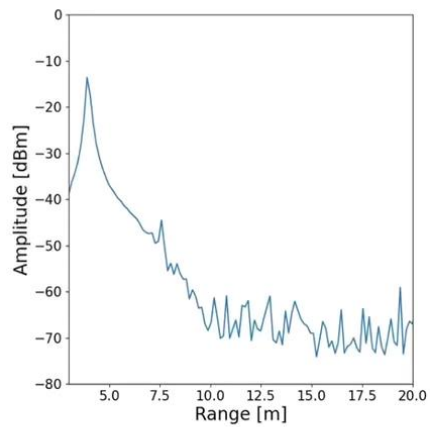


<Two Target(3m, 15° & 5 m -3°) 탐지 환경>



< Two Target(3m, 15° & 5 m -3°) 탐지 결과 >

## 8 TX 16 RX MIMO FMCW 4D 레이다 시스템 신호처리



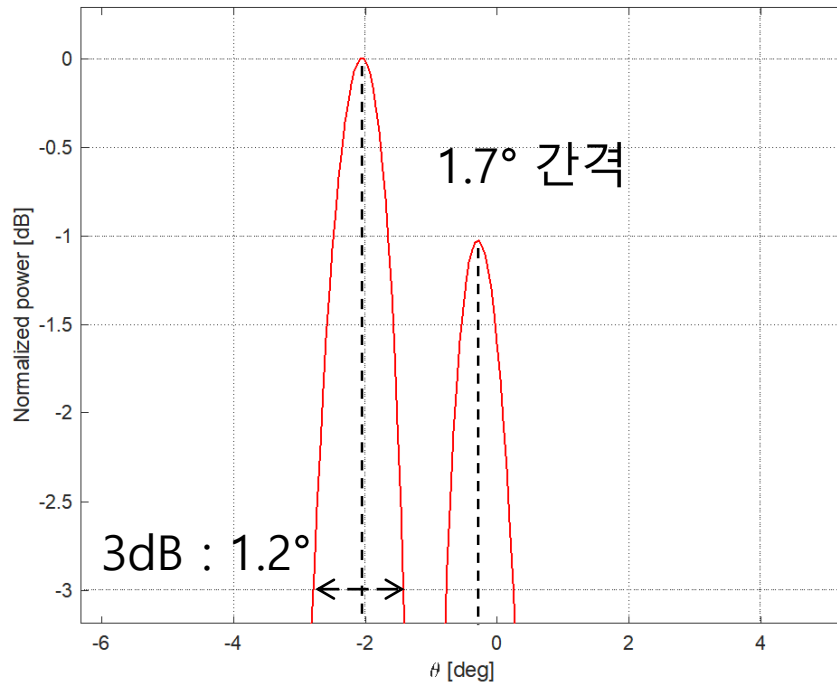
Range-Power plot



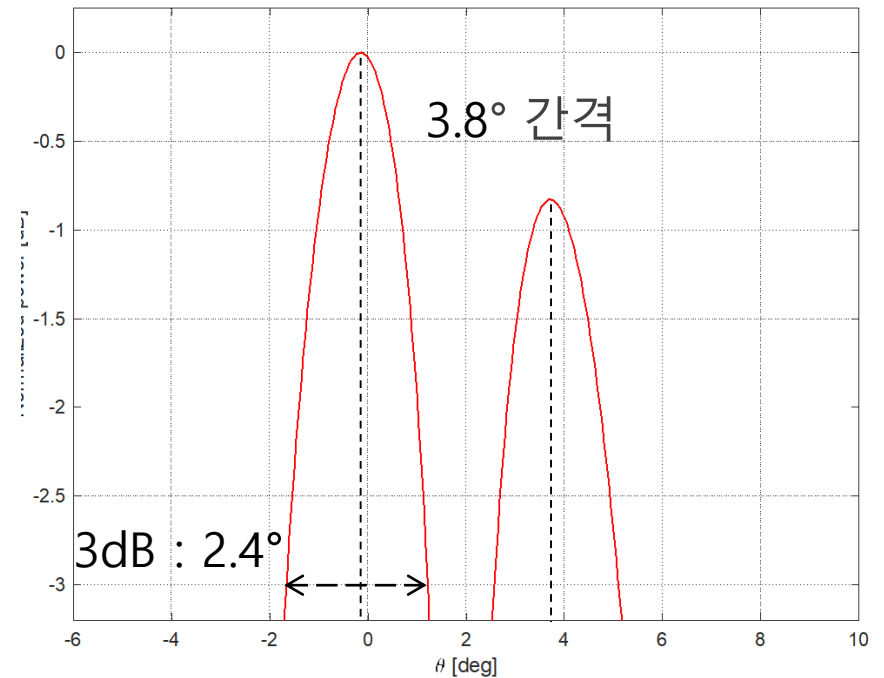
## II A 연구성과

### ● 각도 해상도 탐지 테스트

1. 이론적 azimuth 3-dB beamwidth  $1.2^\circ$
2. azimuth  $1.7^\circ$ 의 간격의 두 표적을 명확히 분리함을 확인
3. 이론적 elevation 3-dB beamwidth  $2.4^\circ$
4. azimuth  $3.8^\circ$  간격의 두 표적을 명확히 분리함을 확인



< 7 m, Azimuth  $1.7^\circ$  간격의 Two Target 탐지 결과 >

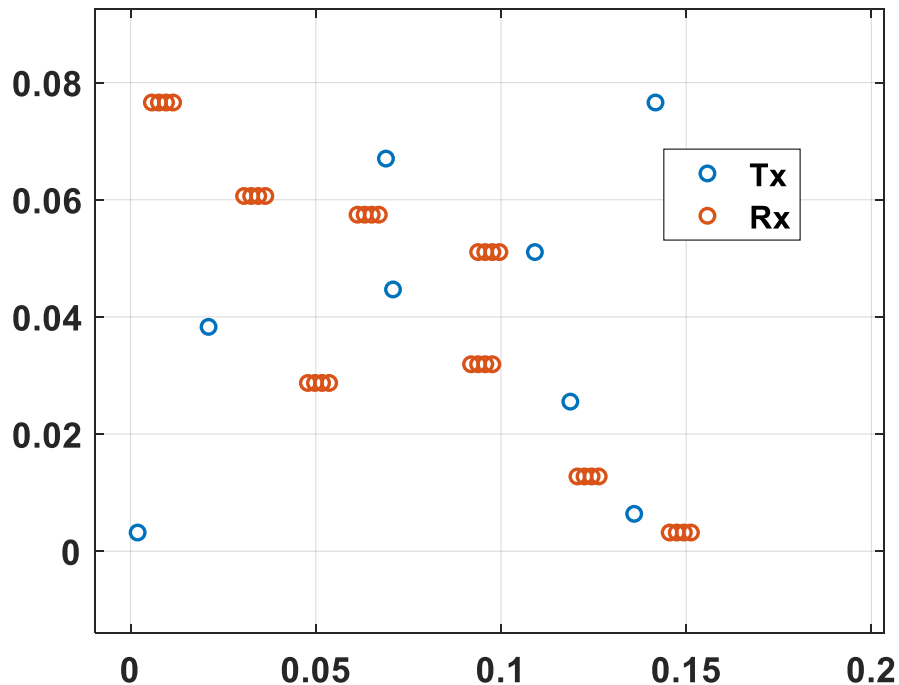


< 3 m, Elevation  $3.9^\circ$  간격의 Two Target 탐지 결과 >

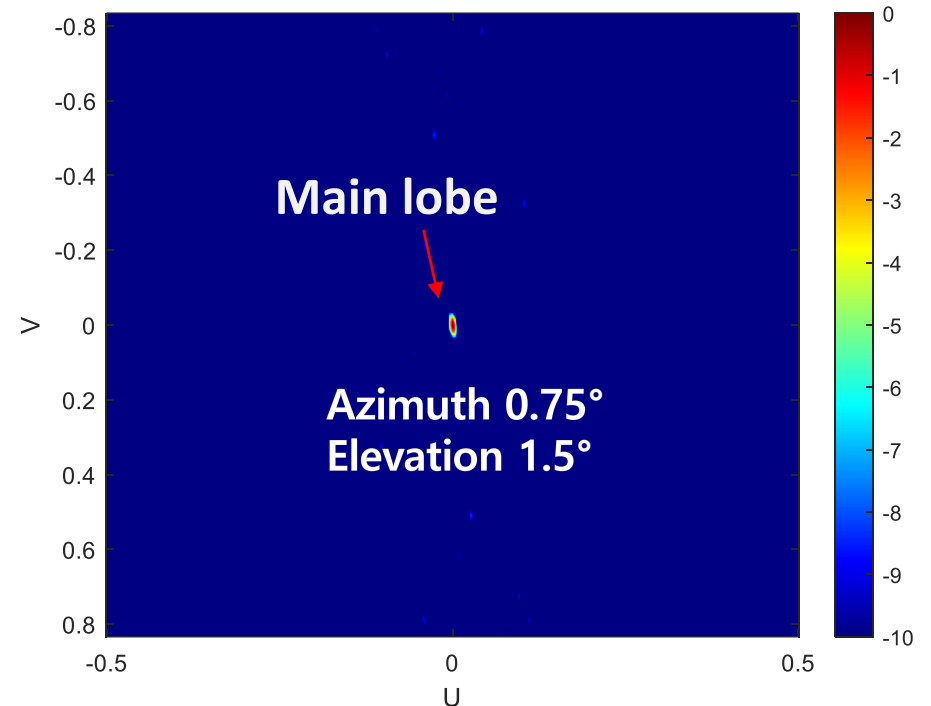


## II B 통합실증 계획 세부내용

- 드론 실장을 위한 소형화, 경량화 및 해상도 개선 설계 계획
  1. 소형화, 경량화 → 개발 RFIC를 활용한 송수신 복합 배열 MIMO Radar 시스템 설계
  2. 해상도 개선 설계 → 채널 수 확장 3-dB 빔폭 기준, Azimuth  $0.75^\circ$  Elevation  $1.5^\circ$  해상도 구현
  3. 개발 목표 : 레이더 전폭 및 전고 15 mm X 8 mm



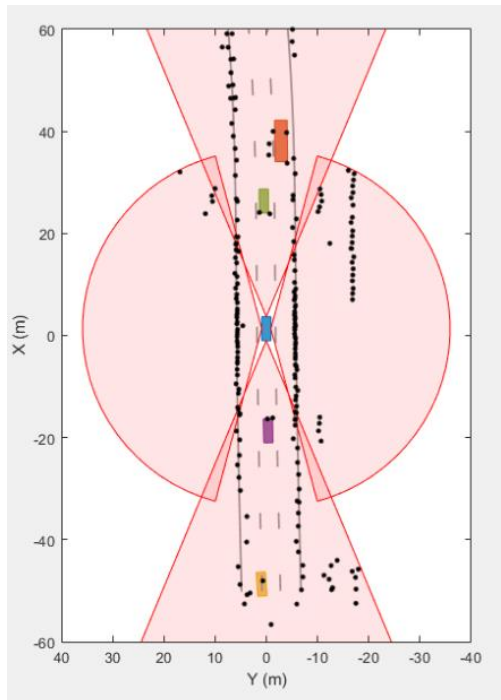
<8 TX 32 RX Sparse Array 배치도>



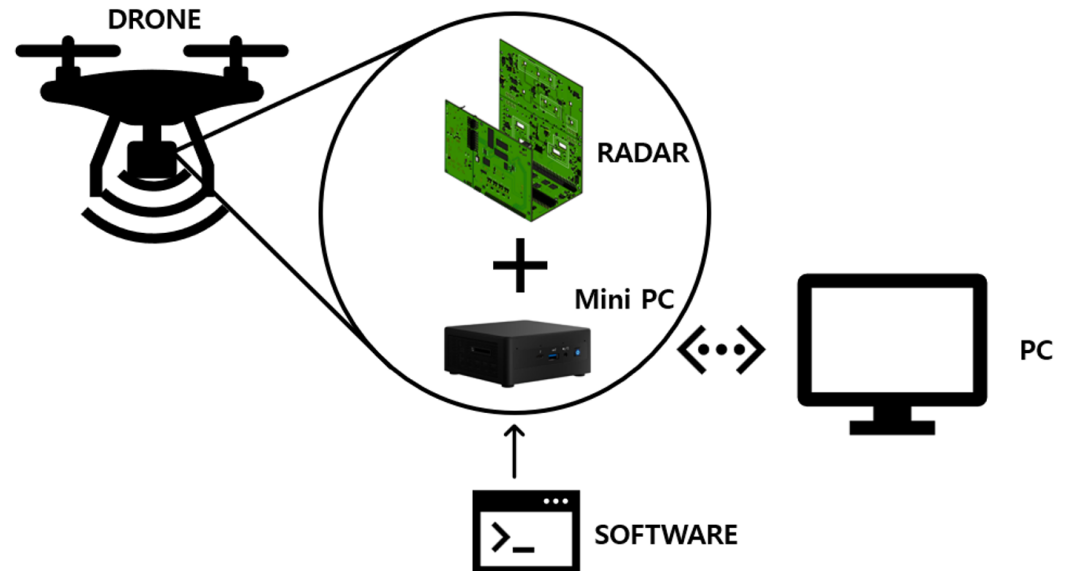
<Simulation 결과 Azimuth  $0.75^\circ$  Elevation  $1.5^\circ$ >

## II B 통합실증 계획 세부내용

- 실시간 탐지 소프트웨어 개발 및 테스트
  1. 실시간 및 전방위 탐지를 위한 고속 각도 추정 기법 개발
  2. 고해상도 4D 이미징 처리를 통한 전방위 탐지 기능 구현
  3. 미션 컴퓨터 내 소프트웨어 탑재 및 실증 수행 테스트



<4D 레이더 시뮬레이션 예시>



<드론 레이더 시스템 실장 예시>

1. 레이더 소형화 및 경량화
2. 각도 해상도 개선
3. 미션 컴퓨터 내 소프트웨어 탑재 및 인터페이스 개발
4. 드론 레이더 실장 후 실시간 탐지 실험 예정



과학기술정보통신부  
Ministry of Science and ICT



한국연구재단



서울대학교



세종대학교



한밭대학교

연구 과제 성과 도출을 위해  
최선을 다하겠습니다.

---

**감 사 합 니 다**

1세부 : 서울대학교

2세부(총괄) : 세종대학교

3세부 : 한밭대학교