

# 기술개발 시행계획 내역서

## 1. 기술개발 목표

- 가. 기술개발의 최종목표
- 나. 기존 개발 기술의 개요
- 다. 향후 개발 기술의 개요

## 2. 기술개발의 내용 및 범위

- 가. 개발 내용 및 적용 기술
- 나. 기존 시스템의 한계 및 극복 방안

## 3. 추진 전략 및 방법

- 가. 인원 배분
- 나. 추진 방식
- 다. 추가 고려 사항

## 1. 기술개발 목표

### 가. 기술개발의 최종목표

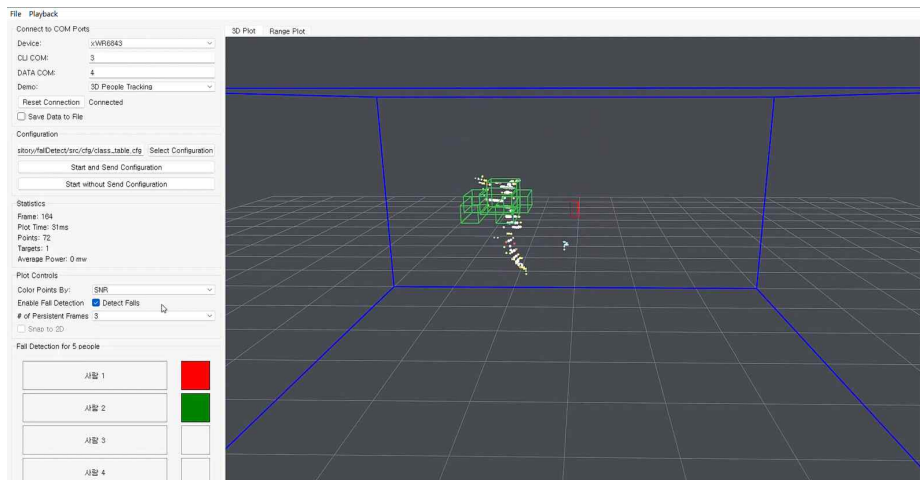
- 개발 솔루션의 명칭 : mmWave FMCW 레이더를 사용한 낙상감지 솔루션
- 솔루션의 구성
  - IWR6843ISK : 60GHz mmWave FMCW 레이더 센서
  - 5핀 USB 케이블 : UART 통신 수행
  - 상용 PC : 완성된 AI 추론 모델에 따라 요구 성능이 상이
  - 원격 관리 솔루션으로 개발 시 추가 장비와 SI 필요
- 용도 : 병동이나 요양원, 독거노인 및 1인 가구를 대상으로 한 안전 모니터링 시스템
- 주/야간 낙상 감지 및 인원 추적 기능
- 레이더 특성 상 추적 인원 적을수록 성능이 향상
- 다른 센서와 비교하여 야간 탐지 성능이 높으며 비용 측면에서 저렴한 강점
- 병동의 경우 야간의 이동 인원 파악 및 위험 상황 감지에 특화하여 사용 가능
- 시스템 개발에 따라 원격 관리센터에서 통합 제어 가능
- 성능 및 특성
  - 주, 야간의 구별 없이 동일한 탐지 성능을 보장
  - 사생활 (Privacy) 및 초상권 보호
  - 적외선 센서와 다르게 외부 온도의 변화 및 의복에 무관하게 동일한 탐지 성능을 보장
  - 레이더 센서 특성상 노이즈가 존재하기에 노이즈를 고려한 센서 설정이 필요
  - 레이더 센서 특성상 근접한 인원에 대한 정확한 파악의 한계점이 존재
  - FMCW 레이더 특성상 이동하는 요소에 대한 감지만이 가능 : 정지 요소의 감지가 불가
- 다른 종류의 센서 사용한 솔루션과의 비교

구분		센서 이름	개발사	센서 종류	스펙	특성
개발제품		IWR6843ISK	Texas Instruments	FMCW Radar	60~64 GHz Radar, 4Rx 3Tx, 2.5 Msps/ch	낙상감지 포함한 객체추적, 원격 관리 솔루션
비교 제품	국내	RETINA-4SN	Smart Radar System	상용 솔루션	77~81 GHz Radar	낙상감지 및 객체 추적, 원격 경보 시스템 및 활력징후 추적
	국외	AK5816	Asahi Kasei Microdevices	Cloud Points 아닌 Scan 방식 레이더	57~645 GHz Radar, 4Rx 4Tx, 53.3 Msps/ch	CES2024 출품, 빔포밍 기술 사용으로 추정

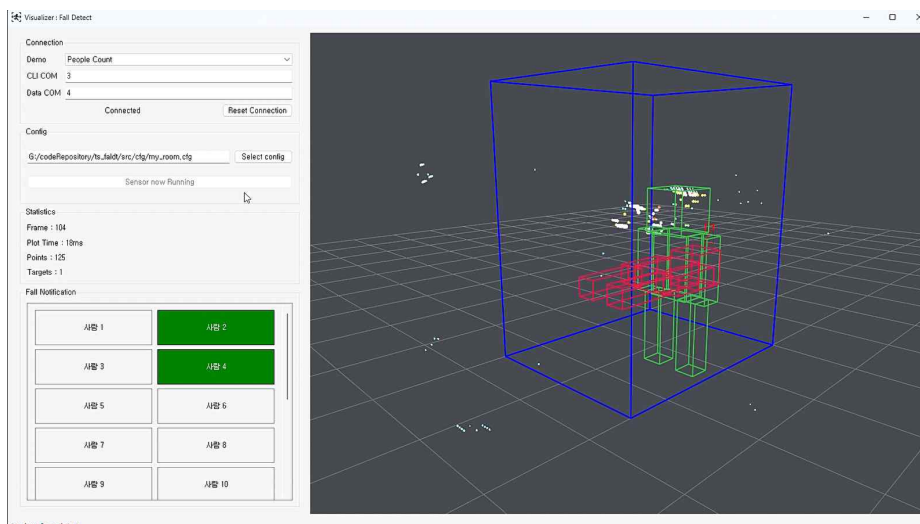
		적외선 센서	야간 감지 가능, 공기 온도 및 의복에 따른 성능 감소 다양한 솔루션을 쉽게 적용 및 개발이 가능, 해당 센서 사용한 솔루션 다수 존재, 프라이버시 문제
		이미지(영상) 센서	

#### 나. 기존 개발 기술의 개요

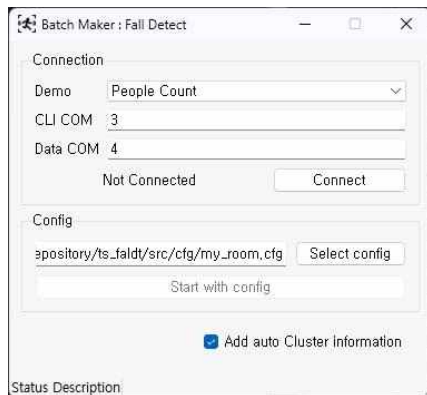
- IWR6843ISK : 60~64 GHz FMCW 레이더
  - Visualizer : UART 시리얼 통신으로 받은 센서 데이터를 바탕으로 인식된 인원을 출력하며 AI에 의해 추론된 값에 따라 사람을 3D 모델로 출력. 낙상이 감지된 경우 프로그램에서 붉은색으로 표시하는 알림 시스템을 구현함
    - 1차 개발물 : 센서 기반 인원 추적, 자세 인식 AI 탑재 (최대 5인 탐지 및 추적)
- (기간 : 2024년 9월 ~ 12월)



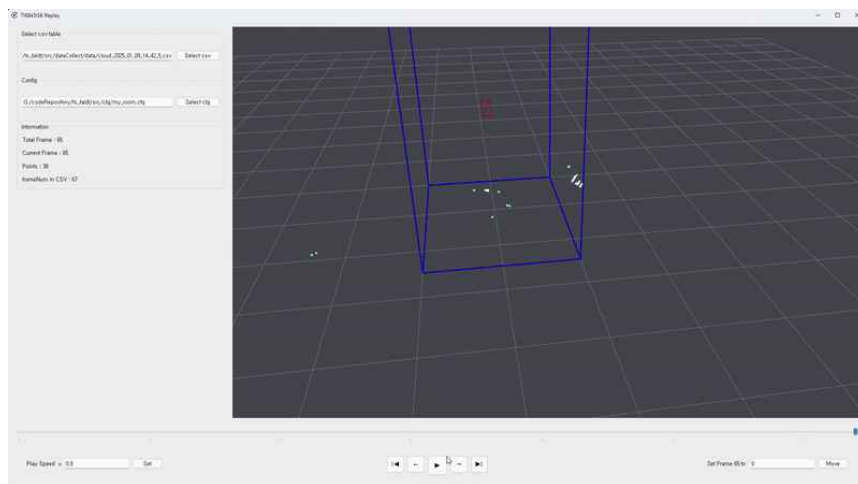
- 2차 개발물 : 추적 인원의 자율 조정, 향후 개발될 AI 모델의 호환성 강화, AI 출력의 후처리 기능 추가, 기존 시스템의 버그 해결 및 소스 경량화
- (기간 : 2024년 1월)



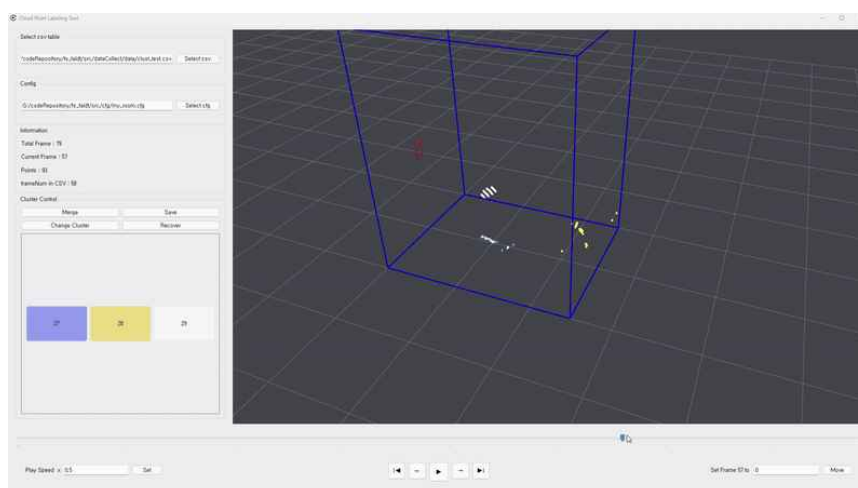
- 데이터 수집기 : 센서에서 받은 데이터를 AI 학습 등의 활용에 용이한 .csv 파일 형식으로 저장하는 프로그램을 제작. AI 학습에 필요한 전처리 작업을 동시 수행하는 것이 가능



- 리플레이 프로그램 : 데이터 수집기로 얻은 데이터를 시각화하여 특성을 분석하기 위해 사용하는 프로그램



- 라벨링 툴 : 지도 클러스터링 AI 개발에 필요한 학습 데이터 생성용 프로그램. GUI 기반 데이터 편집이 가능하며, 위의 데이터 수집기에 전처리된 데이터를 입력으로 받아 사람을 구분하는 것을 목표로 하는 데이터를 생성 가능



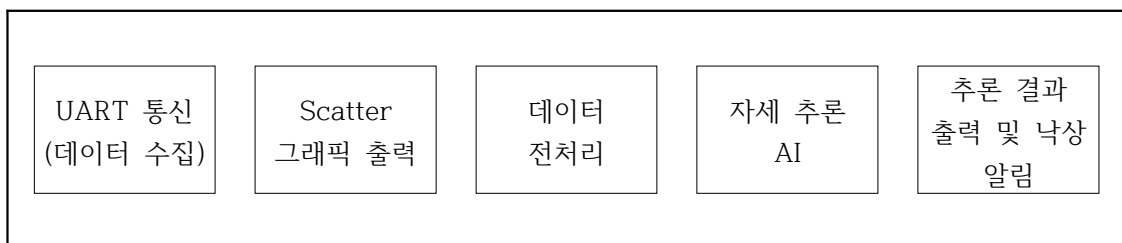
다. 향후 개발 기술의 개요

- 인원 구분 성능 향상을 위한 클러스터링 모델의 개발
  - 레이더 센서의 데이터의 경우 일반적인 클러스터링 알고리즘을 통한 인원 구분을 시도 시 낮은 구분 성능을 보임
  - 기존 개발물인 '라벨링 툴'을 사용하여 학습 데이터를 생성, 인원 구분하는 클러스터링 AI 개발로 레이더 데이터에 특화된 고성능 모델 구현을 기대
  - 참고 논문 : MARS: mmWave-based Assistive Rehabilitation System for Smart Healthcare (CODES+ISSS, 2021)
- 스켈레톤 매핑을 통한 UX 개선
  - 기존 구현물의 3D 모델이 아닌 스켈레톤을 사용하여 사용자 편의성 및 시인성을 향상
  - 참조 프로젝트 :  
[https://github.com/AsteriosPar/mmWave\\_MSc?tab=readme-ov-file](https://github.com/AsteriosPar/mmWave_MSc?tab=readme-ov-file)
- 이상상황 및 자세 감지 모델의 개선
  - 개발된 클러스터링 모델을 통해 구분된 한 명의 사람에 대하여 자세 및 낙상, 이상상황을 감지하는 모델과, 해당 결과를 화면에 표현하는 시스템의 개발
- 임베디드 시스템 탑재를 위한 모델 경량화
  - 이상상황 및 자세 감지 모델의 요구성능 달성 이후, 추론 모델을 탑재할 기기 성능을 목표로 한 모델 경량화 수행
- 원격 / 통합 관제를 위한 솔루션 개발
  - 네트워크 기반 원격 관리가 가능한 솔루션을 개발
  - 네트워크 연결을 위한 HW 추가 및 SI

2. 기술개발의 내용 및 범위

가. 개발 내용 및 적용 기술

- 레이더 센서 : TI IWR6843ISK
  - 60 ~ 64 GHz FMCW 레이더 센서
  - 레이더 센서의 구성 : 4Rx 3Tx
  - 채널 당 신호처리 성능 : 2.5 Msps/ch
  - 영상과 같이 프레임 마다 움직인 지점에 대한 point들의 정보를 출력
- Visualizer 어플리케이션 : PySide2 기반 Python 어플리케이션 (Windows 구동)
  - 레이더 센서의 데이터를 UART 시리얼 통신으로 수집
  - 멀티 스레드 환경에서 레이더 데이터를 scatter 그래픽으로 변환
  - 자세 판단하는 AI에 데이터 전달 및 결과값 수집
  - 수집된 결과에 따른 자세 및 낙상 여부를 화면에 출력



○ UART 통신

- 센서와 컴퓨터의 USB 연결에서 UART 프로토콜 사용한 시리얼 통신을 수행함
- 시리얼 통신을 사용한 고속 통신에서 얻은 데이터로 frame을 조합하고 센서의 정보 단위인 TLV를 조합함
- python 프로그램 내부에서 딕셔너리의 리스트 형식으로 저장 및 활용

○ Scatter 그래픽 출력

- PySide에서 제공하는 PyQtGraph 모듈 사용하여 3D 공간상에 레이더에 인식된 포인트 데이터(cloud point data)를 그래픽으로 출력
- 매 프레임마다 인식된 데이터를 실시간으로 출력

○ 데이터 전처리

- 자세 추론 AI가 받아들일 수 있는 형식으로 센서의 데이터를 가공하는 과정
- 자세 추론 AI는 한 사람의 정보만 받아들이기에 레이더 신호로부터 각각의 인원을 구분하는 전처리 과정이 필요
- 데이터 전처리 적용 기술의 비교사항

적용 기술	기능	장점	단점	비고
센서 자체의 인원 후처리 데이터 활용	센서 DSP 통해 얻은 각 인원의 데이터 처리	센서에서 고속처리, 구현의 간편성	해당 데이터 사용한 AI는 성능이 낮음. 별도의 raw data 사용한 AI 개발시 센서 후처리 데이터와 AI 데이터가 구분한 인원 불일치 문제	1차 개발물 (2024.12)
DBSCAN 및 Hungarian 과 Kalman Filter	밀도에 기반한 인원 구분 후, 수식에 기반한 인원 추적을 수행	컴퓨터에서 실시간 처리, 자세 추론 AI와 같은 데이터 입력을 처리하여 인원 불일치 문제를 해결	이동한 부분만 인식하는 레이더 특성상 사람의 전체 형상을 인식하지 못하여 위치의 오차가 크고 불안정	2차 개발물 (2025.1)
지도 클러스터링 AI	지도 학습 데이터를 바탕으로 학습된, 시계열 데이터를 클러스터링하는 AI	여러 장면의 상관관계 분석하여 사람의 완전한 형상을 추론, 레이더 센서에 최적화된 모델 생성이 가능	모델 복잡도에 따른 처리 속도의 저하, 높은 리소스 요구	RNN 기반 모델 적용 (개발 예정)

○ 자세 추론 AI

- 전처리된 시계열 데이터로부터 한 사람의 자세를 추론하는 AI 모델
- RNN기반 GRU 모델로 구현되며, 성능 향상을 위한 복합 모델로 발전이 가능
- 기본적으로 이동, 낙상, 앉기, 눕기 등의 자세 인식이 가능하며, 솔루션에 필요한 자세

를 추가 및 변경하기 위해서는 해당 AI를 재학습할 필요가 있음

- 이전 전처리 과정에서 사람 한 명을 정확히 구분할수록, 노이즈를 잘 처리할수록 자세 추론 AI의 정확성이 향상됨
- 자세 추론 AI는 시계열 데이터를 통해 여러 프레임의 데이터 처리하게 되며, 처리하는 프레임이 증가할수록 자세 추론의 정확도가 향상하며, 반대로 처리에 필요한 리소스 요구량이 상승함

○ 추론 결과 출력 및 낙상 알림

- 자세 추론 AI의 출력인 자세를 어플리케이션의 화면에 출력하기 위한 방식과 낙상이 감지된 경우, 이를 출력할 방식의 결정이 필요
- 솔루션의 형태 및 UX에 따른 출력 방식의 결정이 필요함
- 출력 및 알림의 비교사항

구분	방식	특징
자세 출력	3D 모델	기존 레이더 센서 출력을 시각화 하는 scatter 그래픽과 동시에 사람의 형태를 3D 윤곽선 모델로 표현하는 형식 실제 데이터에 대응하는 AI 추론을 비교하기 쉽기에 개발에 용이하며, 공간을 시각적으로 인지하기 쉬움
	이미지	심미성 향상되며, 실제 사용자가 필요한 데이터만 출력함.
	스켈레톤	MARS 프로젝트 참조 <sup>1)</sup>
낙상 알림	컬러 패널 및 시스템 경고음	컴퓨터 어플리케이션 내에서 처리되며, 원격 관리자의 상황 인식에 초점
	센서와 연결된 부저음	처리 센서와 연결된 컴퓨터 또는 가속 회로에서 낙상을 감지 시, 부저음을 통해 경고하는 모델로 별도의 원격 시스템이 아닌 현장에서 즉각적인 피드백 수행
	별도 경고 시스템과 연결	대형 병원 등에서 자체적인 관리 시스템이 존재하는 경우, 해당 시스템에 연결 및 처리 가능하게 구현

○ 레이더 노이즈 극복을 위한 BPSK-MIMO

- 레이더 특성상 촬영 환경에서 노이즈는 필연적으로 발생하기에 이를 억제하기 위한 다양한 노력이 필요
- 센서 DSP에서 이를 줄이기 위해서 기존 TDM(시분할) 방식에서 TDM과 BPSK 방식을 혼합한 MIMO를 구현하여 약 3dB의 신호강도 개선을 이루어 냄
- 3 Tx, 4 Rx의 여러 레이더 송, 수신기의 활용 방식을 변경하여 수신 노이즈에 비교적 잘 극복할 수 있게 된다
- 반사파인 NLOS 신호의 처리는 센서 자체적인 설정 외에도 데이터 전처리 과정에서 필터링 과정을 거쳐야 한다

1) <https://github.com/SizheAn/MARS>

## 나. 기존 시스템의 한계 및 극복 방안

### ○ 기존 시스템의 한계

#### ○ DBSCAN 기반 인원 구분 (클러스터링)의 한계

- 밀도에 기반하여 하나의 사람 또는 신체 부위를 구분 (클러스터링) 하는 알고리즘
- 레이더 센서에서 출력하는 point 데이터에 비교적 적합한 전처리 방식이지만, 노이즈를 사람으로 인식하거나 사람과 사람, 사람과 사물이 근접하여 생기는 노이즈에 약하고 연속적인 정보를 일관적으로 처리하지 못하는 한계가 존재하여 객체 추적 알고리즘과 같이 사용하게 된다

#### ○ Hungarian 알고리즘 기반 객체 추적의 한계

- 두 개의 인접한 프레임을 비교하여 인지된 클러스터가 일정 거리 이하로 근접할 시, 가장 가까운 클러스터가 서로 같은 클러스터라 가정하여 매칭 하는 방식으로 객체를 추적 하는 단순한 방식
- 단순하고 빠르지만, 움직이는 형상만 포착하는 레이더 특성상, 팔을 움직인 후 다리를 움직일 때, 이를 같은 객체라 판단하기 어려운 한계가 존재함
- z축(높이 데이터)를 무시하는 방식으로 설계하는 방식으로 위 단점을 극복 가능하지만, 사람이 움직임을 멈추었다가 다시 이동하는 경우에 이를 같은 객체라 판별하는 것에 애매한 부분이 남음

#### ○ 센서 기반 객체 추적의 한계

- 위 두 방식을 결합한 인원 구분 및 객체 추적 방식의 낮은 신뢰성을 극복하기 위하여, 센서 제조사인 TI에서 자체 제공한 센서의 인원 구분 기능을 활용하게 될 경우, 인원 구분의 정확도가 높아지지만 AI에 제공하는 데이터에서 문제가 발생한다
- 센서에서 구분한 결과를 AI의 입력으로 사용할 경우 입력 데이터의 차원 및 복잡성이 감소하고 편향되어 정확한 자세 추론이 불가능할 정도로 단순해진다 (낙상 여부만 판별이 가능)
- 센서의 인원 구분과 별개로 AI에는 센서의 raw data를 전달할 경우 각자의 장점은 살릴 수 있으나, 서로가 구분하는 인원의 수와 위치가 상이하여 정확하지 않은 결과를 도출해내는 경우가 생겨 신뢰성에 문제가 생긴다.

#### ○ 인원 구분 및 추적의 낮은 성능에서 기인한 자세 추론 AI의 성능 약화

- 앞의 인원 구분 및 객체 추적은 전처리 과정으로, 자세 추론 AI의 입력으로도 사용된다. 해당 전처리 과정의 결과가 나쁠수록 AI 또한 잘못된 결과를 학습하게 되기에 AI 성능에 직결되는 문제이다

#### ○ 인식 가능한 상황의 다양성이 부족

- 현재 인식 가능한 자세는 이동, 앉기, 눕기, 낙상이다
- 추적 인원에 대한 이상 상황을 인지 가능하다면 솔루션 상용화에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

#### ○ 센서 촬영 환경에 따른 성능 불안정

- 다양한 환경 또는 특정 솔루션에 적합한 환경을 마련하여 AI 모델을 학습할 필요가 있다

### ○ 기존 시스템의 한계를 극복하기 위한 제안 사항



- 기존의 DBSCAN과 Hungarian 알고리즘에 기반한 데이터 전처리 방식 대신 레이더 센서 데이터에 최적화된 지도 클러스터링 및 추적을 수행하는 AI 모델을 학습하여 기존 전처리 프로세스를 대체한다
- 자세 인식 성능의 강화와 이상 상황을 인지 가능하게 하기 위한 AI 모델을 위해 더 많은 데이터의 수집과 모델 구조의 변경, 파라미터의 증가가 필요하다
- 실제 솔루션을 적용할 환경과 유사한 환경에서의 데이터 수집이 필요하다

### 3. 추진 전략 및 방법

#### 가. 인원 배분

구분	인원	내용
AI 개발자	2 ~ 4명	데이터 수집 시나리오의 설계 수집 데이터 라벨링 통한 학습 데이터의 생성 지도학습 기반 클러스터링 및 추적 모델 학습 자세 판별 모델의 강화
UI 개발자	1명	변경된 AI 모델 탑재가 가능하도록 기존 어플리케이션의 인터페이스를 변경하고, 실시간 처리 가능하도록 AI 개발자와 협력하여 개발 방향을 제시 스켈레톤 또는 이미지 방식의 결과 출력 방식을 구현
공통	-	레이더 센서를 사용하여 여러 시나리오에 대한 데이터 수집 DBSCAN 알고리즘 최적화 및 솔루션 신뢰성 향상을 위한 AI와 병행 가능한 검증 알고리즘의 고안

#### 나. 추진 방식

기간	개요	비고
2025.3 ~ 2025.6	다량의 데이터 수집 객체 구분 및 추적 모델의 개발 자세 판별 모델의 강화 스켈레톤 형식의 출력 시도	기초 연구의 완성
2025.9 ~ 2025.9	기존 모델의 성능 개선 이상 상황 감지 가능한 모델로 개선 실시간 처리 능력을 고려한 모델 경량화 모델의 임베디드 탑재 가능성 연구	기술 고도화
2025.12 ~	유저의 요구에 맞는 출력 방식의 결정 및 UI 개선 솔루션 제공을 위한 SI 수행 신뢰성 향상을 위한 모델 튜닝	상업 솔루션 형태로 가공

#### 다. 추가 고려 사항

- 솔루션의 제공, 구축 방식
- 임베디드 형태의 솔루션 제공
- 네트워크 연결을 통한 원격 관리 솔루션 제공

- 실시간 처리를 위한 모델 경량화
  - 리소스 절감 또는 임베디드 솔루션에 사용한 모델을 위한 모델 경량화 기법
  - 충분한 성능의 AI 모델 완성 후 모델 경량화 수행이 필요

부록) 개발 진행 상황 및 향후 개발 계획 도식화

UI		AI	
2024.06	기존 어플에 낙상감지 표시하는 색 표시기 추가	센서가 인식하는 사람의 형태 데이터로 낙상감지	
	점들을 표시하는 Scatter만 사용	최대 1명 처리	
2025.12	3D 모델로 자세 표현	Scatter 위에 3D 박스 모델 추가	사람 구분 위한 DBSCAN
		5명의 상태 추적하여 낙상 알림	다음 frame에서 같은 사람을 판별하기 위한 Hungarian
		지도 클러스터링 위한 Tool 제작	센서가 확인한 모든 이동 포인트를 처리하는 AI가 한 사람의 자세를 판단
	스켈레톤 형식의 출력	더 많은 데이터 수집	레이더 정보로 사람을 정확히 구분하기 위한 지도 클러스터링 학습
2025.06	실시간 처리 위한 알고리즘 최적화		향상된 클러스터링과 함께 기존 자세 판별 모델의 정확도 향상
	유저의 요구에 맞는 UI 개선	기존 모델의 성능 개선	이상 상황 감지 가능한 모델로 개선
	솔루션 제공 위한 SI	모델 경량화	신뢰성 위한 튜닝

(6, 7, 9 페이지의 도표와 같이 참고 가능)