

# FPGA & MCU 기반 Heterogeneous 협업 물류 분류 시스템

---

PickFlow

---

발표자 이동관

팀장 이동관

팀원 고서영 | 김승훈 | 김은성 | 김재우 | 박민석 | 이승후 | 조민준



## 이동관

- 프로젝트 총괄
- Servo Motor 제작
- Robot Arm RTOS 구조 제작
- Robot Arm Logic 및 버튼 동작 구현



## 김승훈

- FPGA 실시간 영상처리 파이프라인 구현
- 색 검출 Filter 로직 구현
- 멀티 객체 검출 로직 구현
- FPGA to UART 중심좌표 통신 구현



## 조민준

- Edge 검출 Filter 제작
- 도형 감지 모듈 제작
- 시간 영상처리 Pipeline 구현



## 박민석

- Servo motor 제작
- Robot Arm control 설계
- FPGA to STM32 UART 설계
- IR Sensor 데이터 UART 전송



## 김재우

- RTOS Firmware Frame Work
- UART Driver 설계
- 로봇팔 Listener / Presenter 설계
- 로봇팔 Controller Debug



## 김은성

- Servo Motor Driver 제작
- DC Motor Driver 제작
- 박스 적재 시스템 RTOS 구조 제작
- 박스 적재 로직 및 FSM 구현



## 고서영

- IR Sensor Driver 제작
- DC Motor Driver 제작
- 박스 적재 시스템 RTOS 구조 제작
- STM32 to Python UART 전송 구현



## 이승후

- Python gui 제작
- FPGA to PC UART 제작
- STM32 to PC UART 제작
- UVM Verification



## 이상준

- Robot Arm 제작 보조
- 도형 감지 모듈 제작 보조

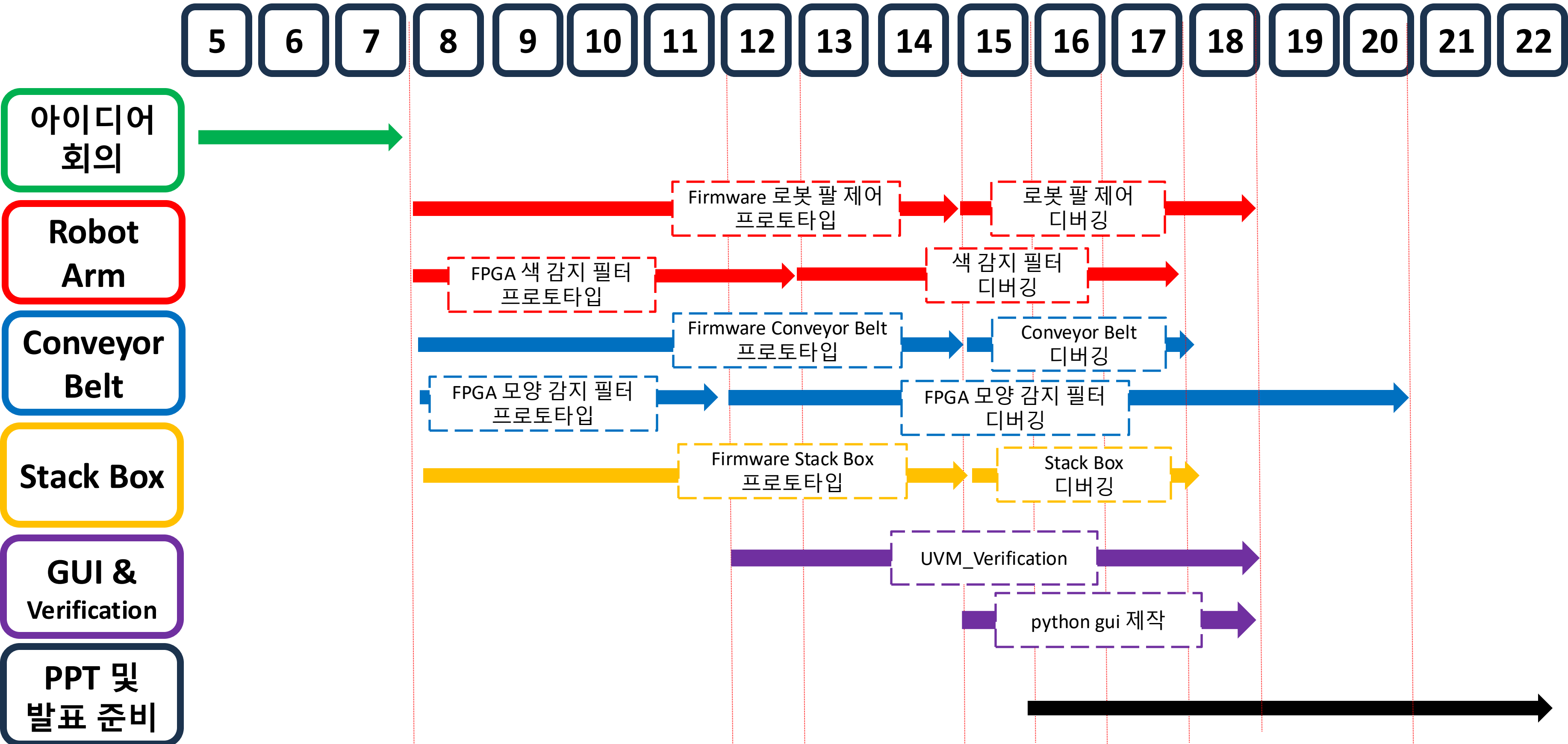


## 이선희

- Robot Arm 제작 보조
- FPGA Filter 제작 보조
- Conveyor Belt 제작

00.

프로젝트 진행 일정



# 00. 목차

---

## 01

### Overview

- 프로젝트 목표
- 개발 환경
- 전체 시스템 흐름도
- 데모 영상

## 02

### Technical Details

- Robot Arm
  - FPGA
  - Firmware
- Conveyor Belt
  - FPGA
  - Firmware
- Stack Box
  - Firmware
- Trouble Shooting

## 03

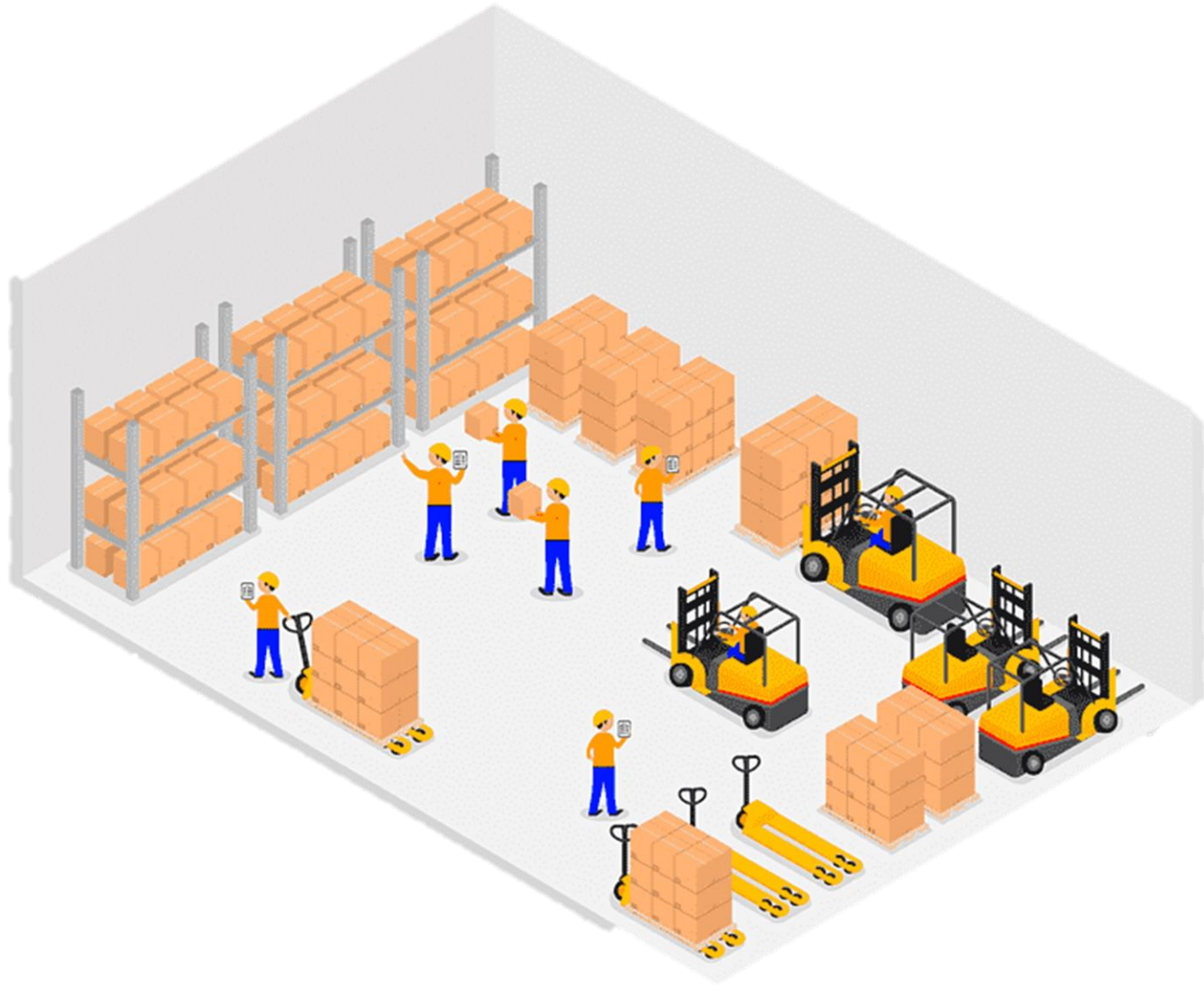
### Discussion

- 기대 효과
  - 고찰
-



# 01. Overview | 프로젝트 목표

## 현대 물류센터 트렌드



### ● 로봇과 AI의 도입으로 효율을 끌어올리는 방식으로 변화

- 컴퓨터 비전 및 딥러닝 : 물품 인식
- 로봇 : 이동 및 분류



# 01. Overview | 프로젝트 목표

NS 뉴스 스페이스 | 트렌드

[빅테크칼럼] 아마존, 로봇·AI·AR 결합한 차세대 창고 자동화 가속..."배송 속도 25% 향상, 75% 작업 로봇 처리"

김정영 기자 jeongyoungkim.71@gmail.com | 등록 2025.10.23 12:08:40

포인트데일리

쿠팡, 물류 자동 분류 시스템 '오토소터' 도입... 작업자 "분류 편해져"

김민지 기자 | 입력 2022.03.18 15:29

AI TIMES

아마존, 물류 자동화 로봇팔 등 AI 기술..."노동자 60만명 대체"

박찬 기자 | 입력 2025.10.23 13:19

nate 뉴스

로봇이 재고 분류...바바패션, 물류 처리 효율 4배 향상

이데일리 원문 | 기사전송 2026-01-15 11:21

- 로봇 : 이동 및 분류

ChosunBiz

롯데택배 '이천 자동화센터', 로봇·AI 도입해 인력 40% 줄여

권오은 기자

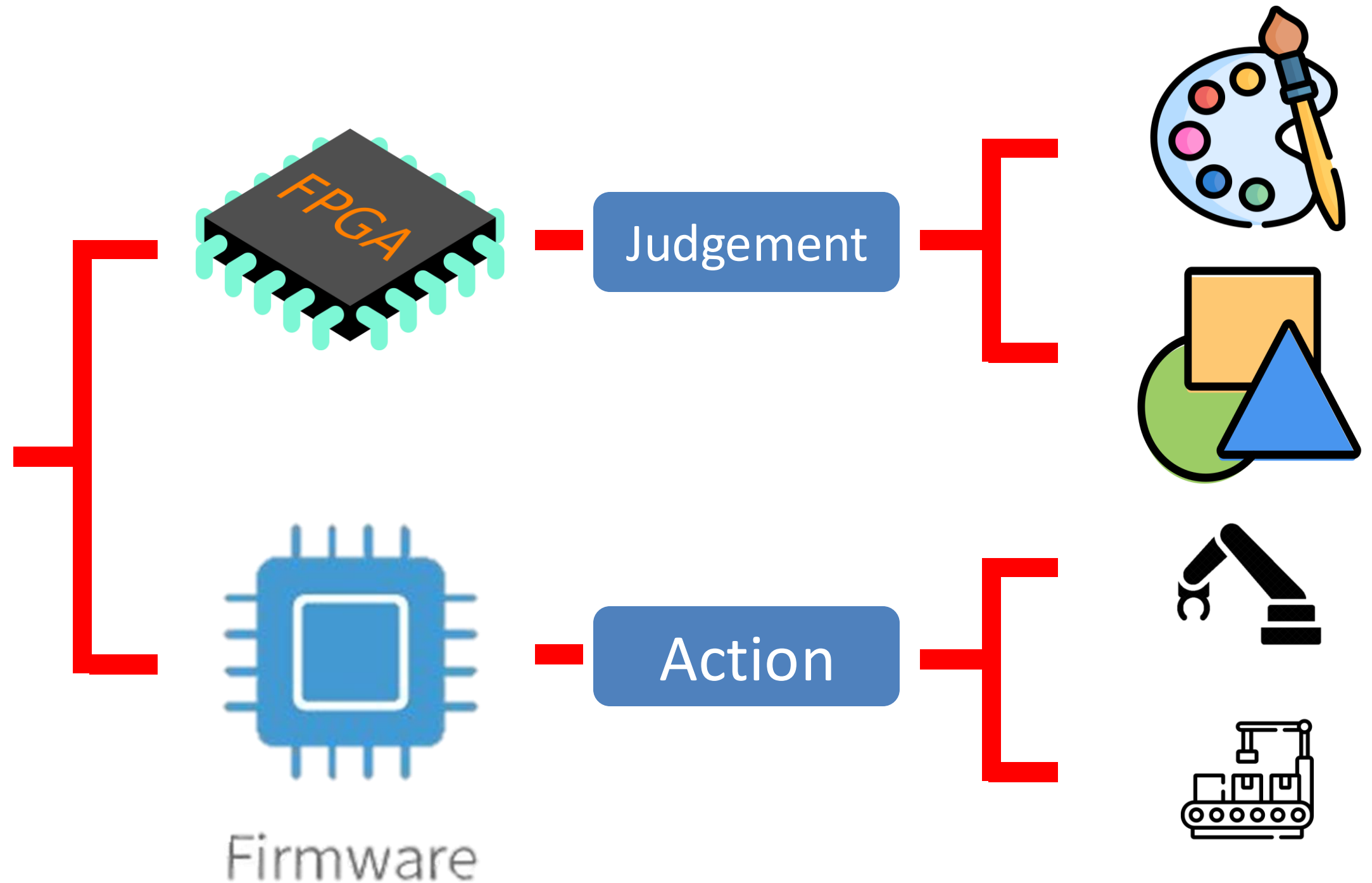
입력 2022.09.02. 15:13



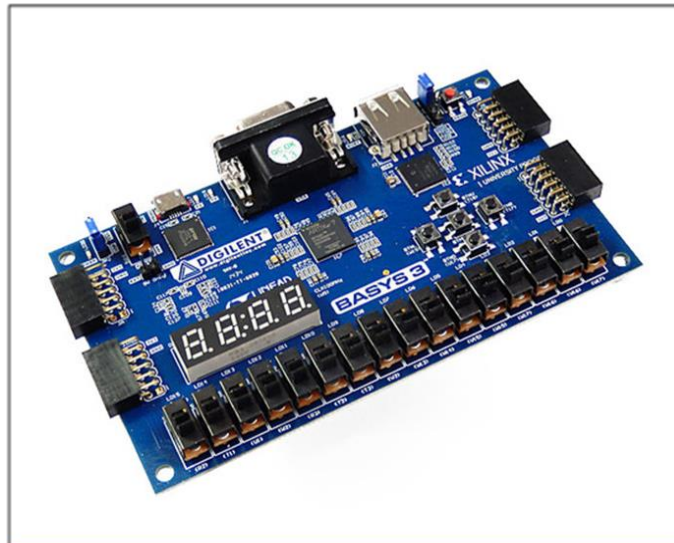


## 01. Overview | 프로젝트 목표

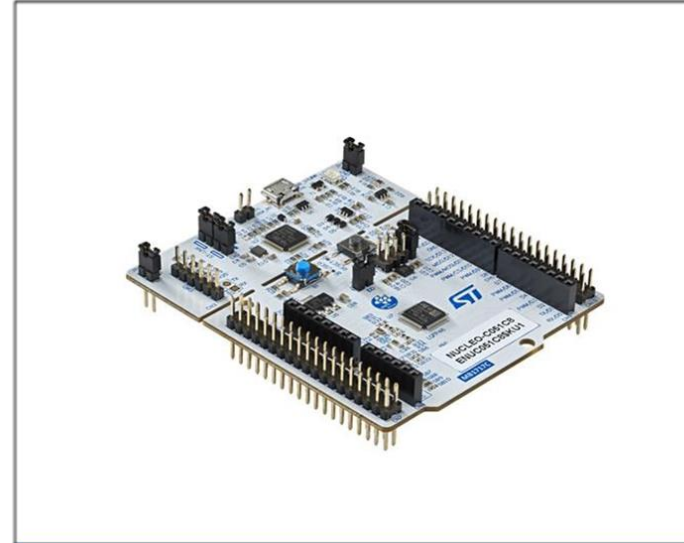
# FPGA & Firmware 구조로 물류 자동화 시스템을 구현할 수 있을까?



# 01. Overview | 개발 환경



Basys3



NUCELO-F411RE



VIVADO



System Verilog



Python



OV7670



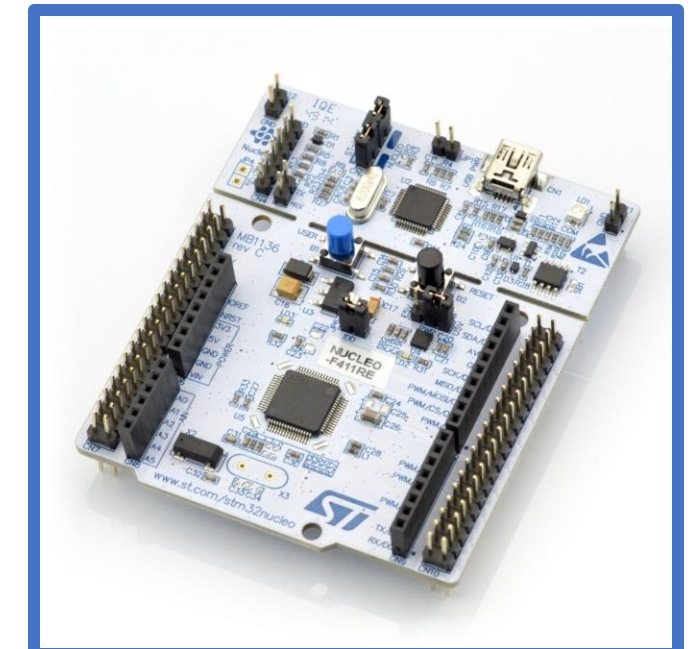
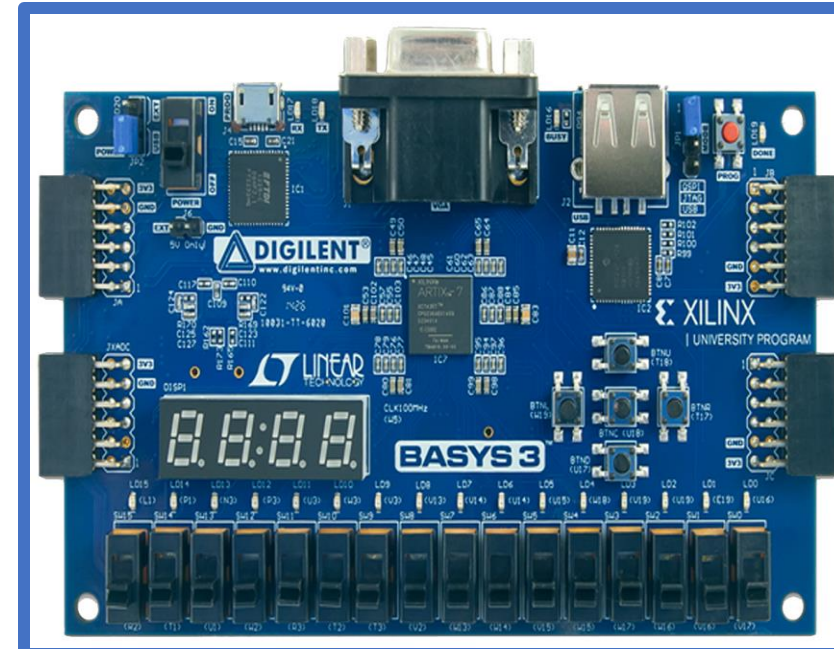
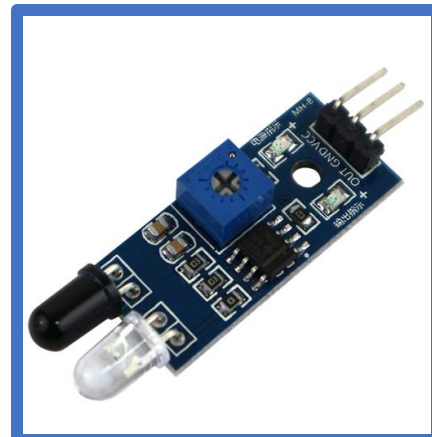
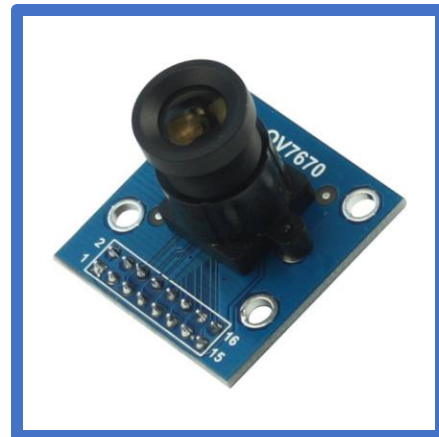
Servo Motor



DC Motor



# 01. Overview | 전체 시스템 흐름도



## Robot Arm

Image  
Capture



RGB Distinction  
Send (x, y) Coordinates  
to UART



Convert data to  
angle values  
Control Robot Arm

## Conveyor Belt

Image  
Capture



IR Sensor  
Detection



Shape Recognition  
Send Shape data to UART



Object Classification

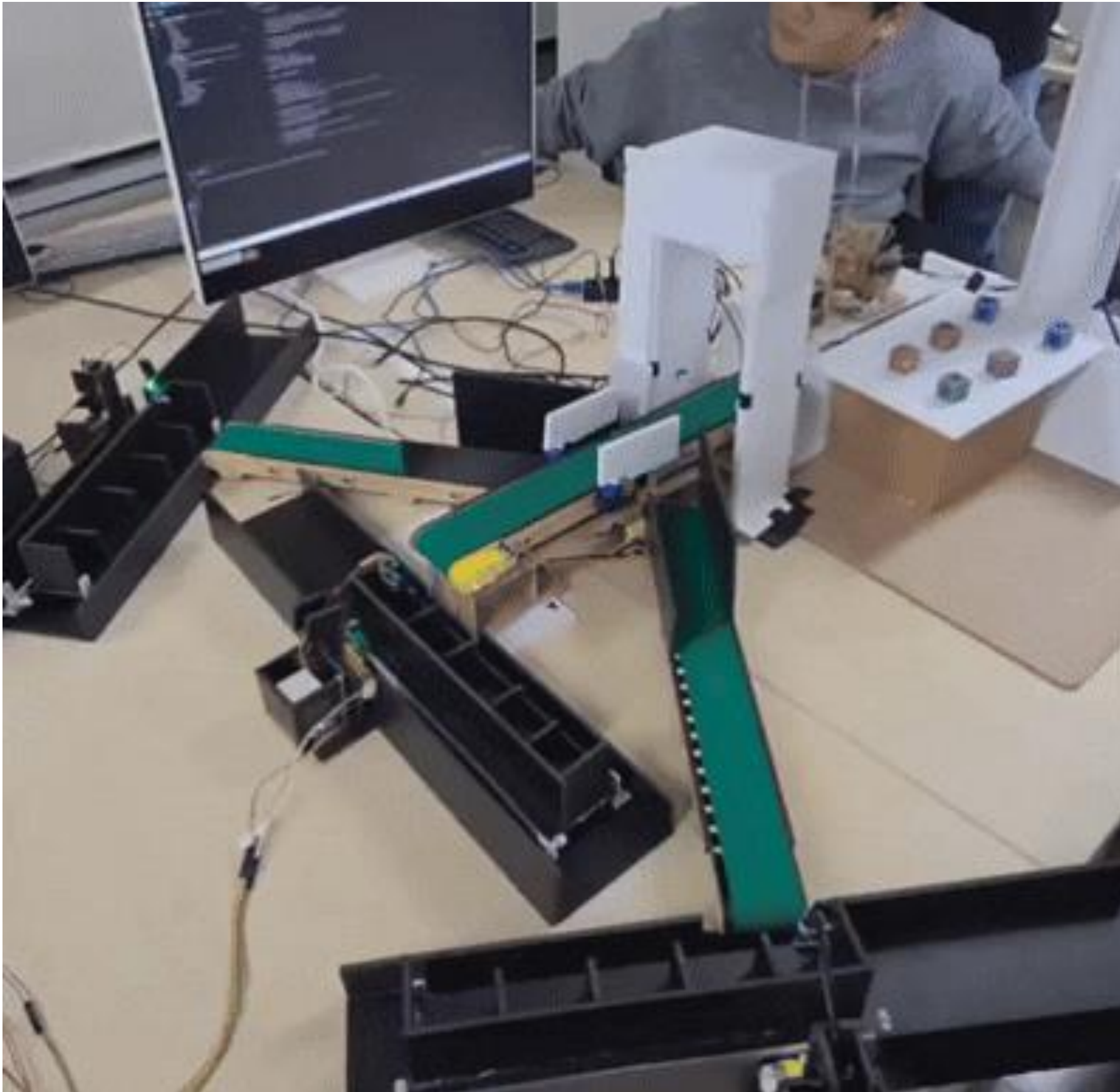
## Stack Box

IR Sensor  
Detection



Counting & Stacking

## 01. Overview | 시연 영상



**Robot Arm**

**Sorting**

**Conveyor  
Belt**

**Transport**

**Stack Box**

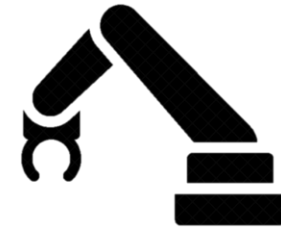
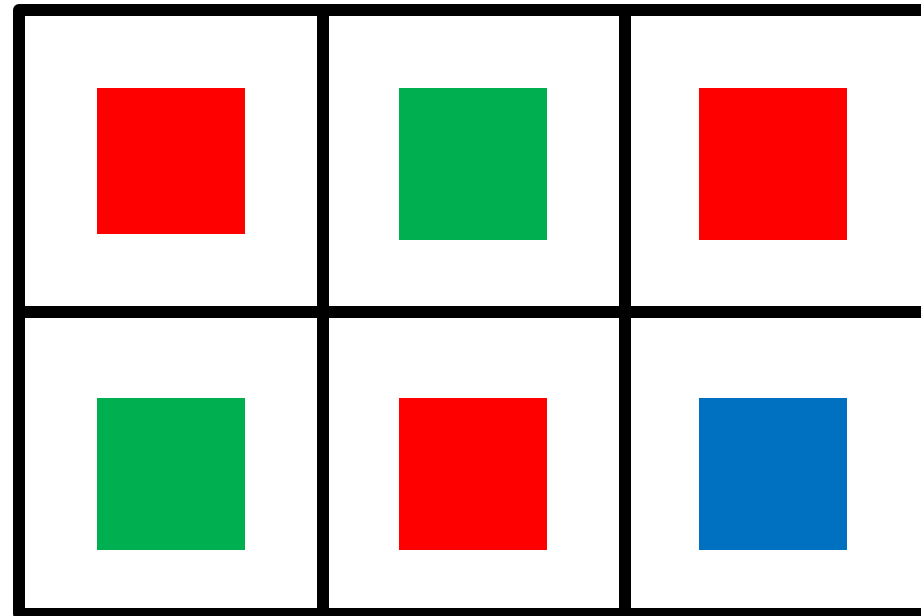
**Loading**





### 색 기준 다중 객체 탐지 모듈

목적



카메라, 필드 촬영, 원하는 물체 Pick Up

What

How Many

Where

Color

Number of  
Objects

Coordinate

Color  
Detect  
Filter

Multiple Object  
Detect Filter

frame\_buffer

Frame  
데이터

color\_detect\_  
filter

이진화

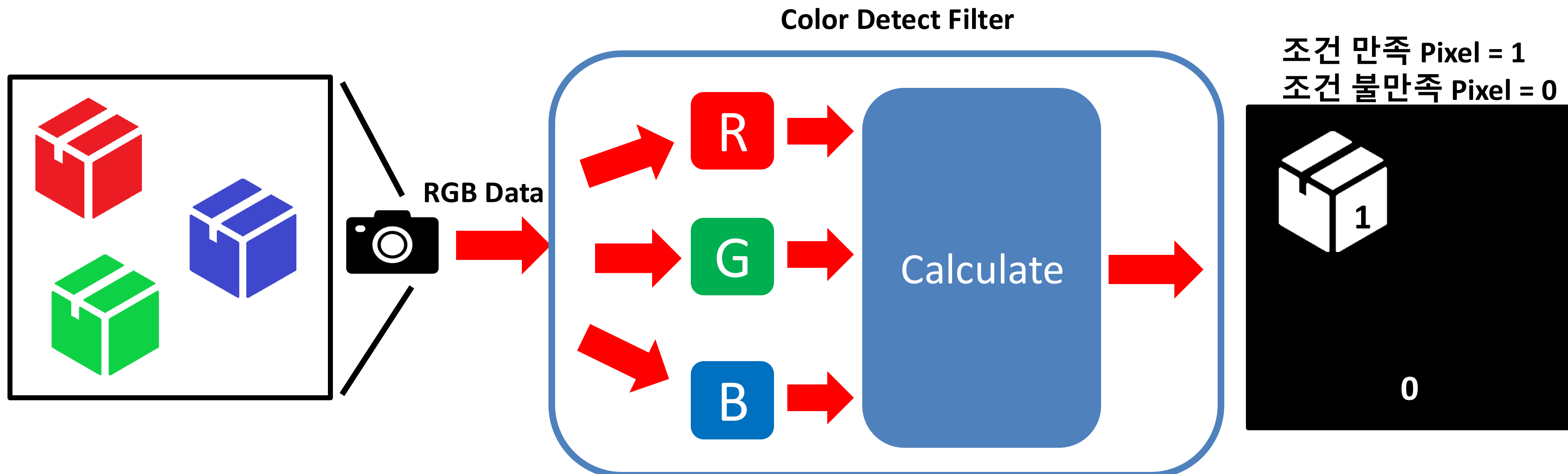
multi\_object\_  
detect

중심  
좌표



### Color Detect Filter

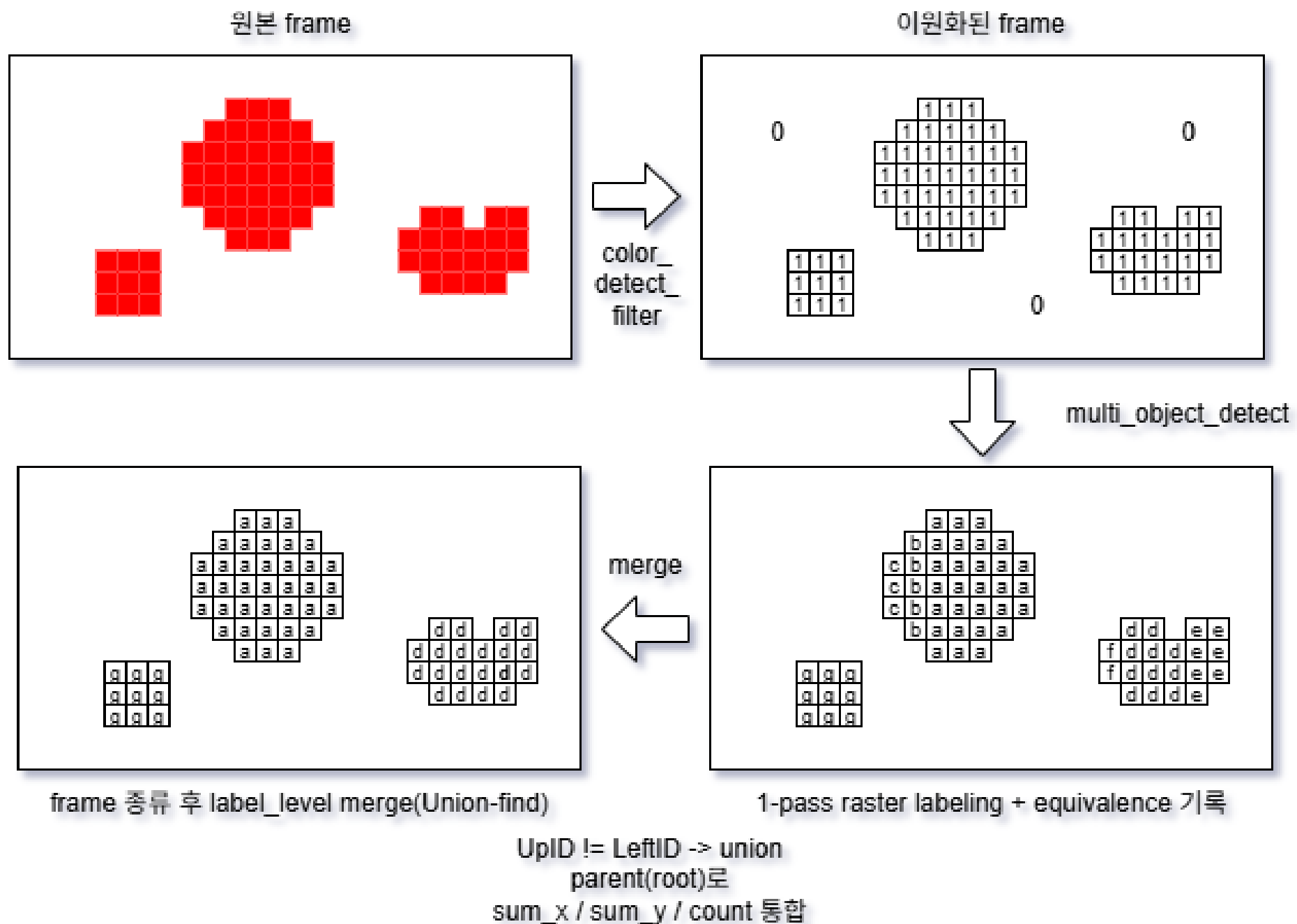
물체 경계를 불명확하게 하는 배경 제거하여 면적 계산 서포트





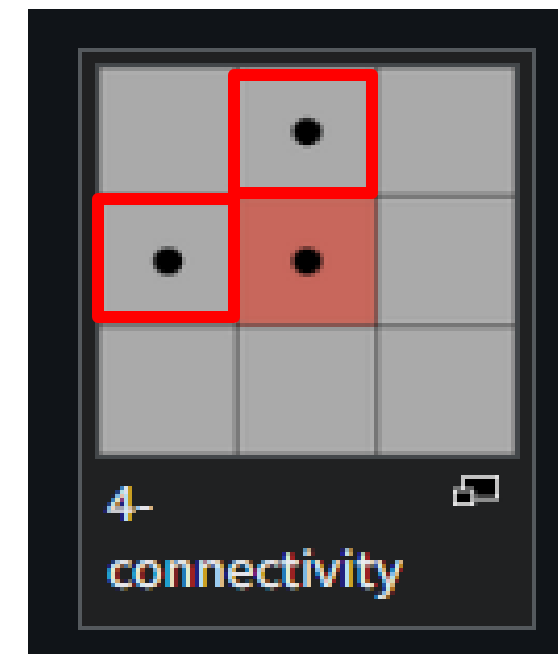
# Multiple Object Detect Filter

Multiple Object를 구별 위해 Labeling을 진행



### CCL

(Connected Component Labeling)



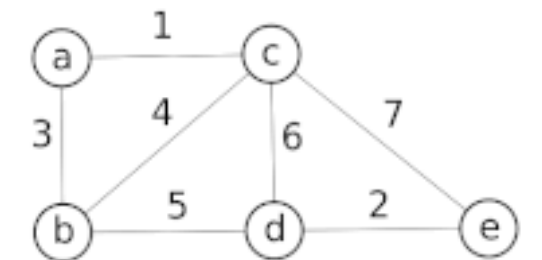
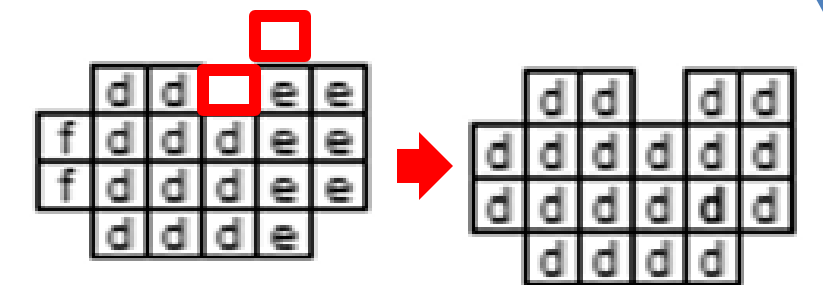
Exist

not Exist

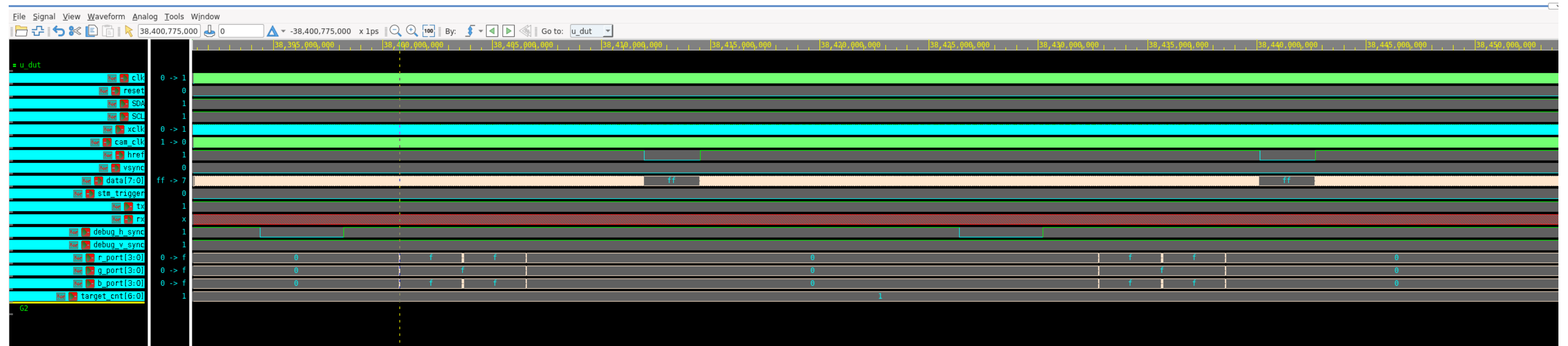
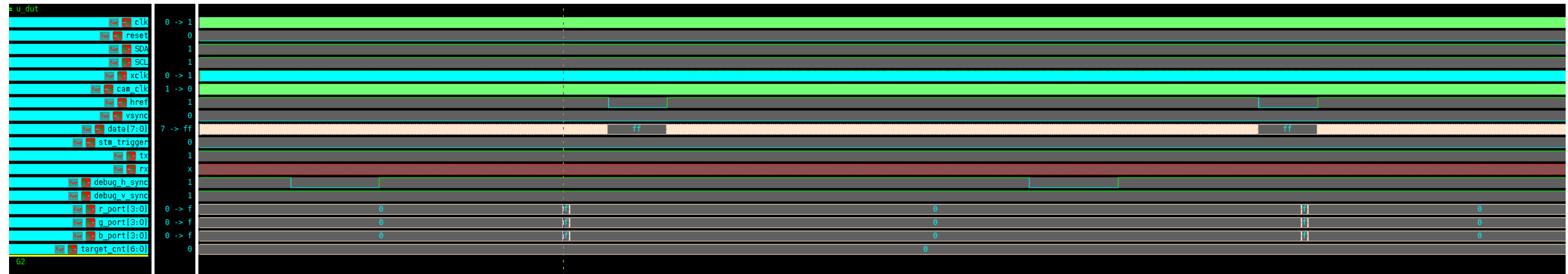
동일 물체

다른 물체

### Union Find



## 02. Technical Details | Robot Arm | FPGA





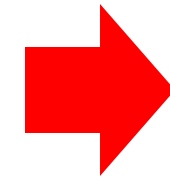
## 02. Trouble Shooting

조명/LED 환경 변화에 따라 Red 검출이 불안정

■ 문제 발생(고정 TH 필터)

■ 해결 방안->다단 판별 적용

■ 문제 해결



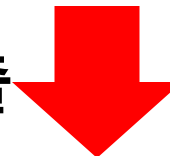
고정 TH -> 밝기/채도

분홍/보라 오검출

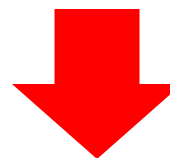


Blue 상한치 조건 추가

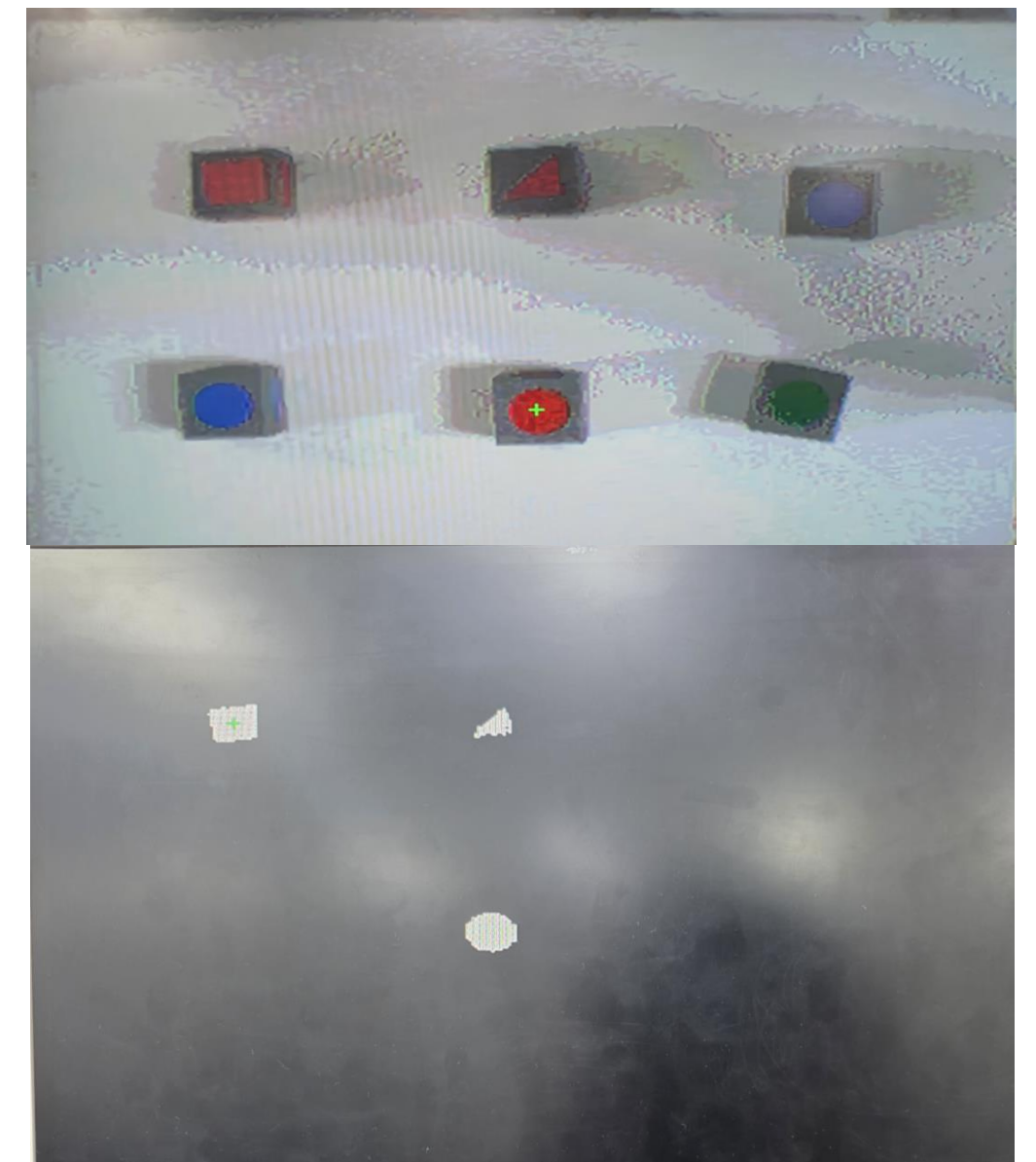
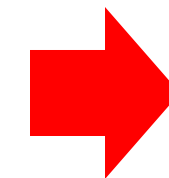
노랑 오검출



$R > (G+B+K)$  조건 추가



RG/RB 마진 튜닝

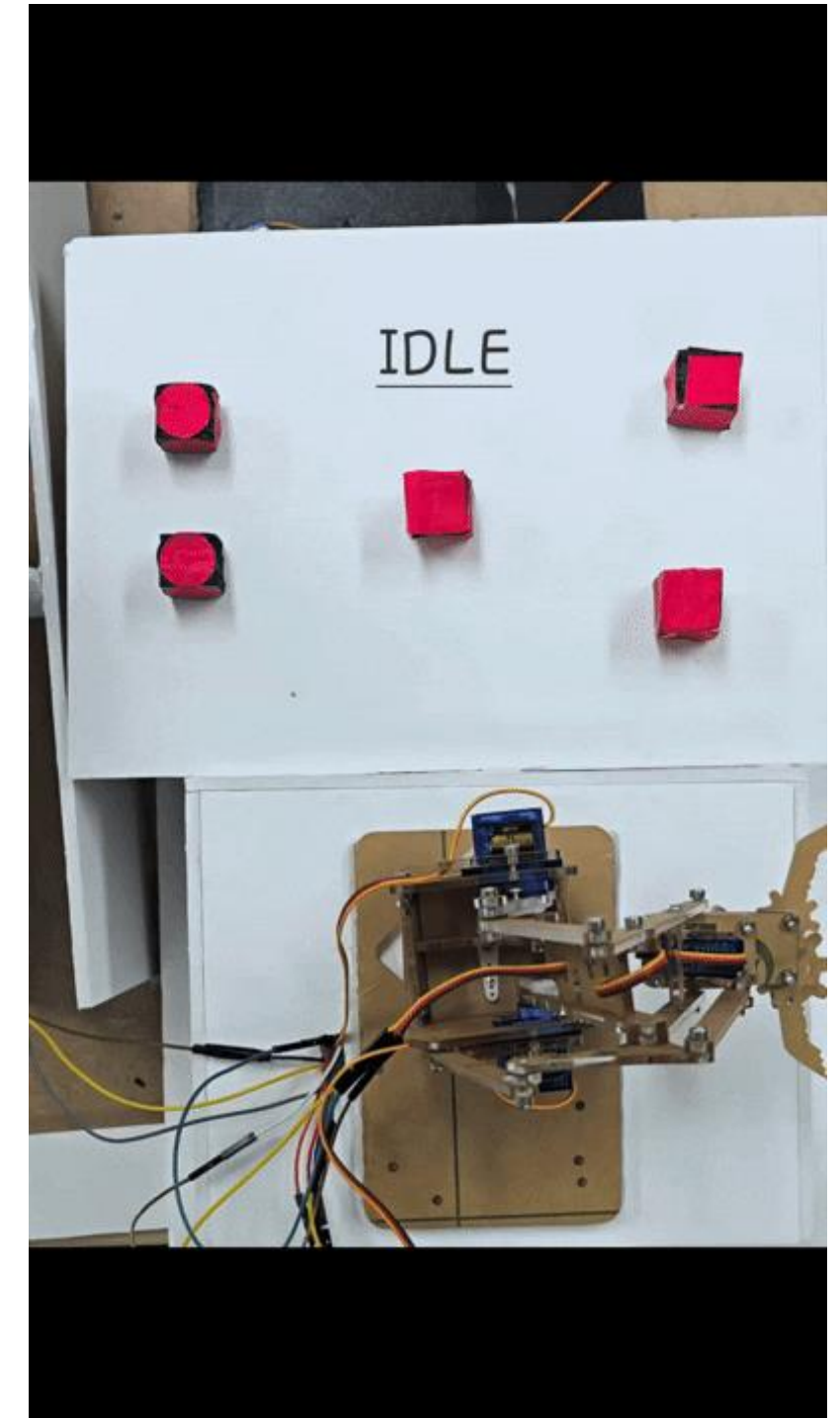
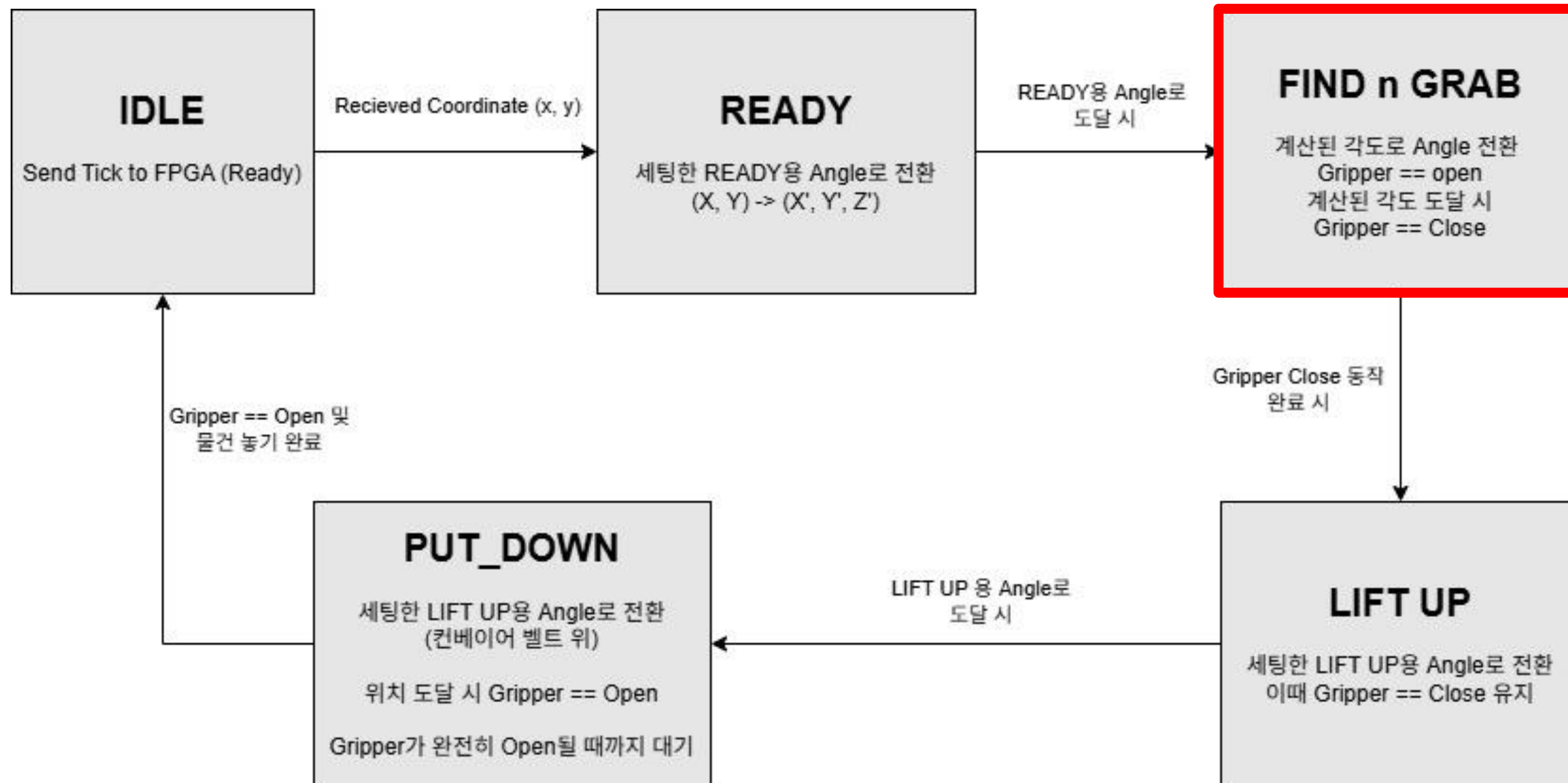


## 02. Technical Details | Robot Arm | Firmware



### FSM

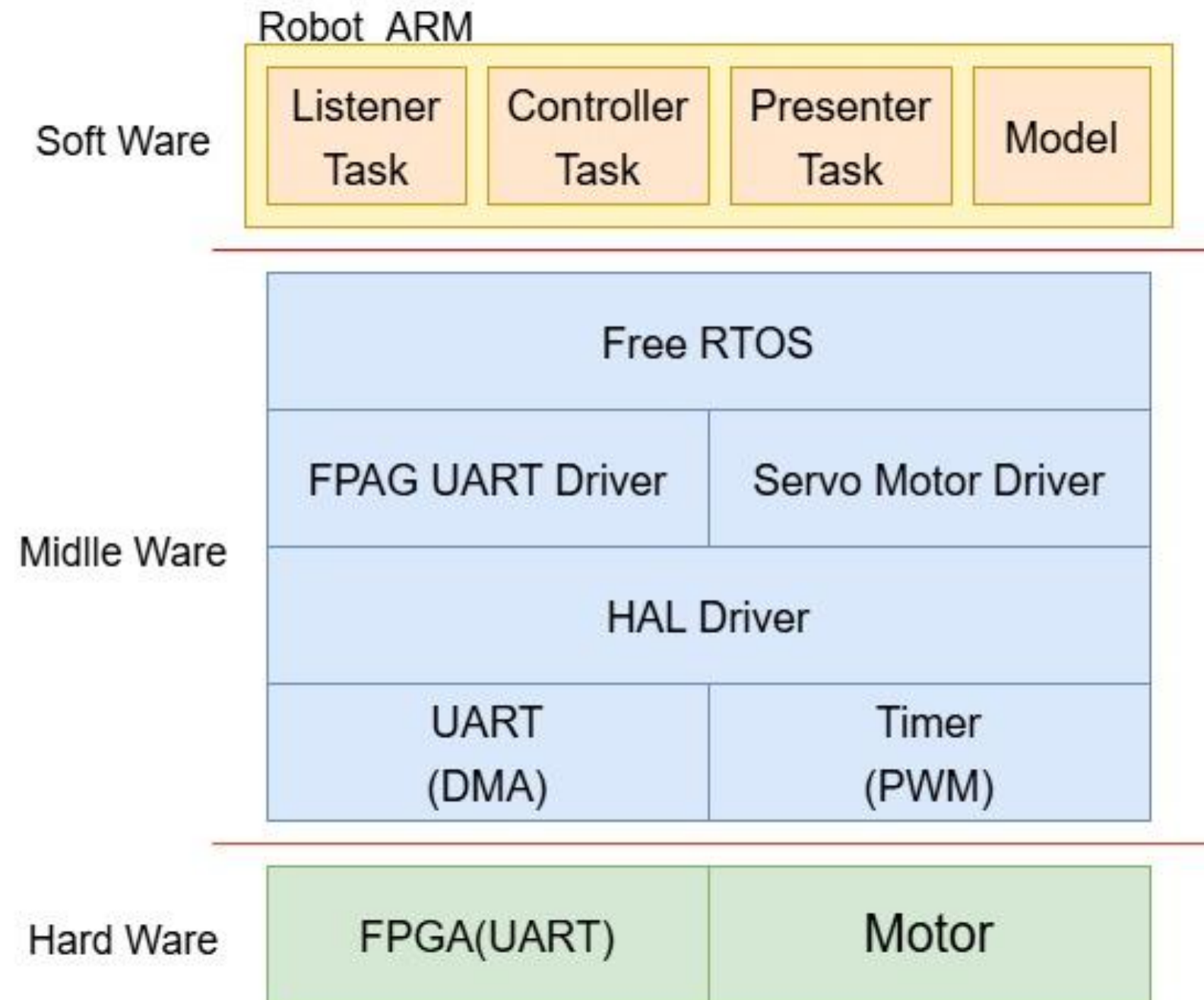
(X, Y)  $\rightarrow$  (X', Y', Z')는  
역기구학 사용



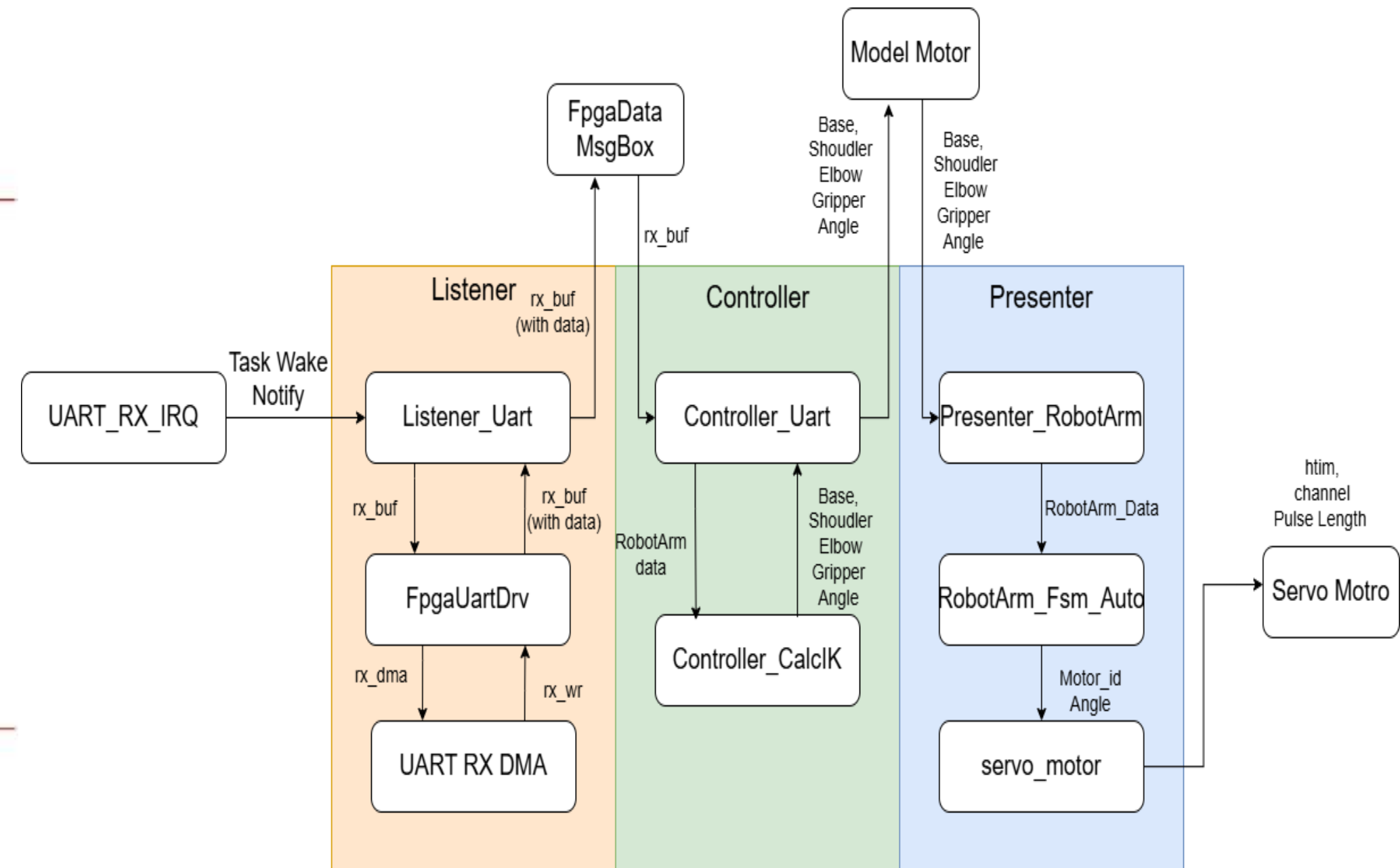


## 02. Technical Details | Robot Arm | Firmware

### SoftWare Front Part(Robot Arm) Stack



Stack 구조

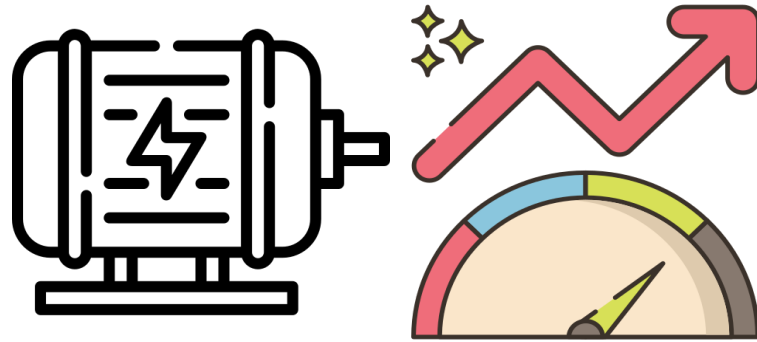


RTOS 구조

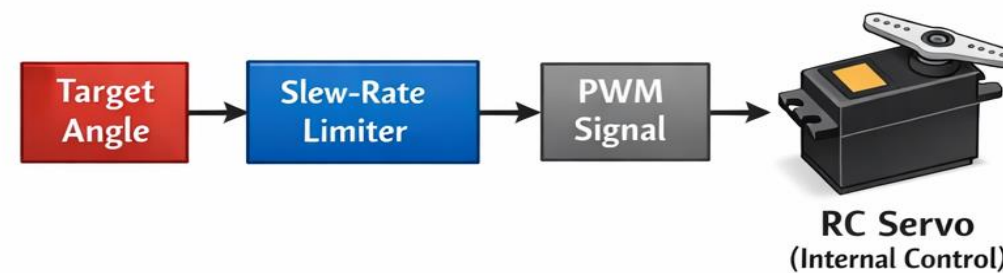


## 02. Trouble Shooting

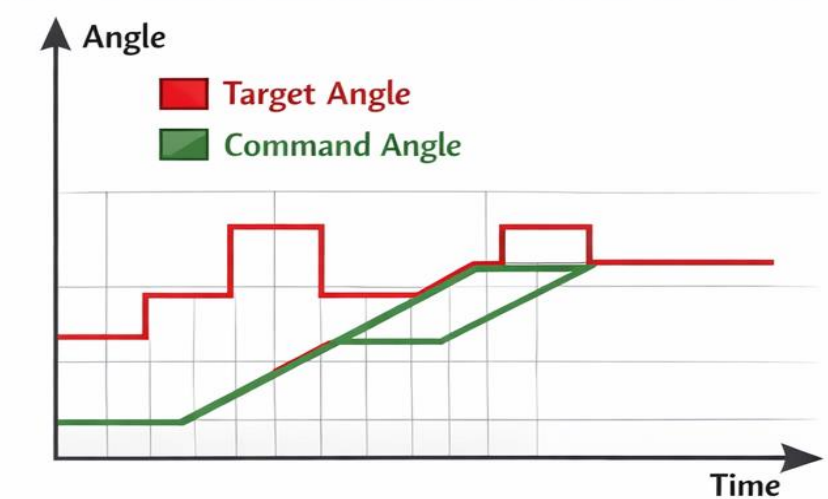
모터 각도 제어로 인한 관절 이탈 및 물건 놓침 문제.



Slew-Rate Control



Target vs. Command Angle



$$cmd = cmd + clamp(target - cmd, \pm slew\_rate * dt)$$

### ■ 문제 발생(Set\_angle 함수)

- 모터를 특정 각도 만큼 동작.
- 최대 속도 동작-> 관성으로 부하 증가, 물체를 놓치는 문제 발생.
- 속도를 조절하는 System 필요!

### ■ 해결 방안-> Slew Rate 제어

- 모터의 초당 이동 각도 제한
- 부드러운 움직임을 구현 가능!

### ■ 문제 해결

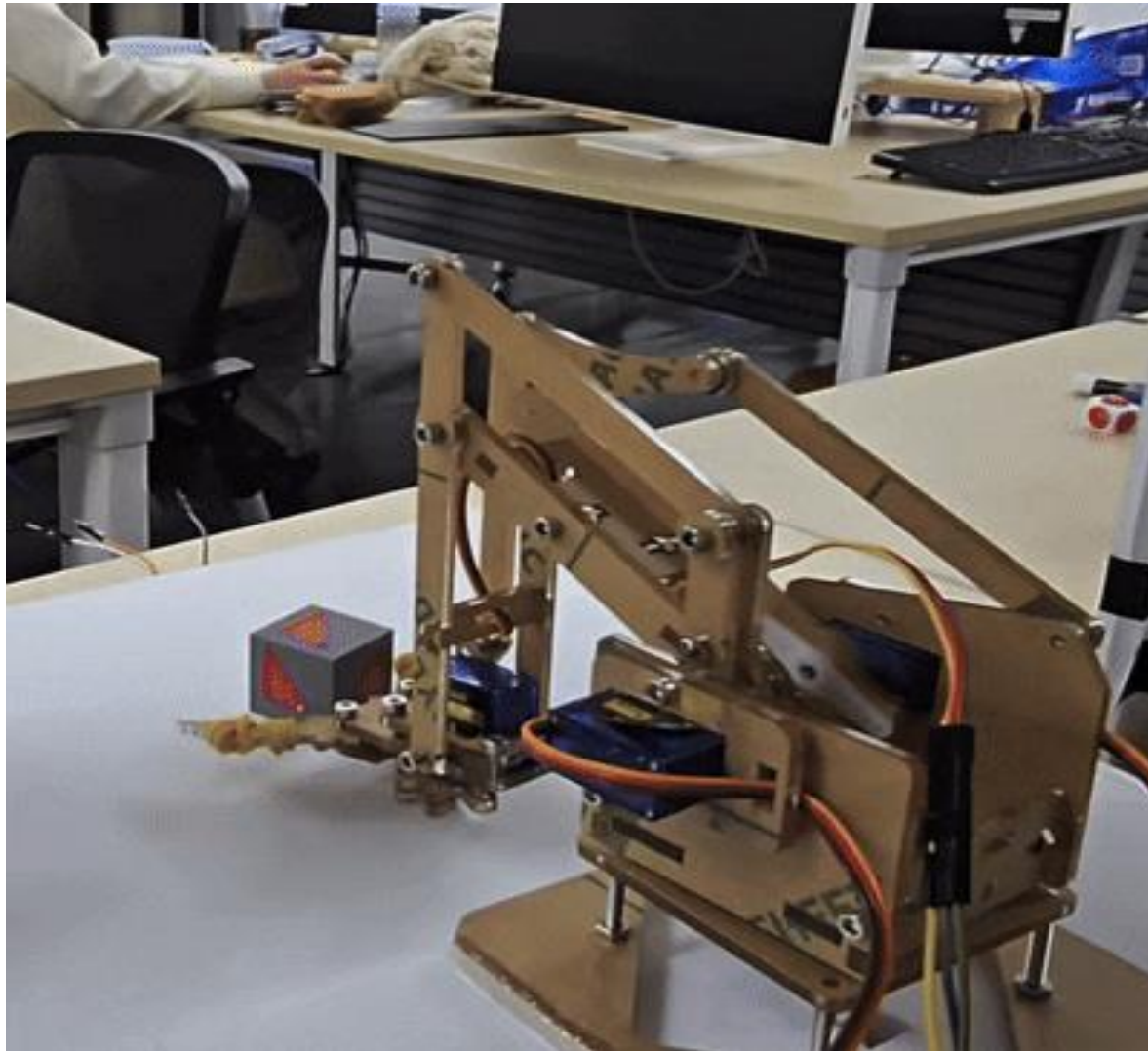
- 모터가 더 이상 최대 속도로 움직이지 않음
- 부드럽게 움직여, 모터 부하 감소
- 물건을 놓치는 경우 역시 감소.



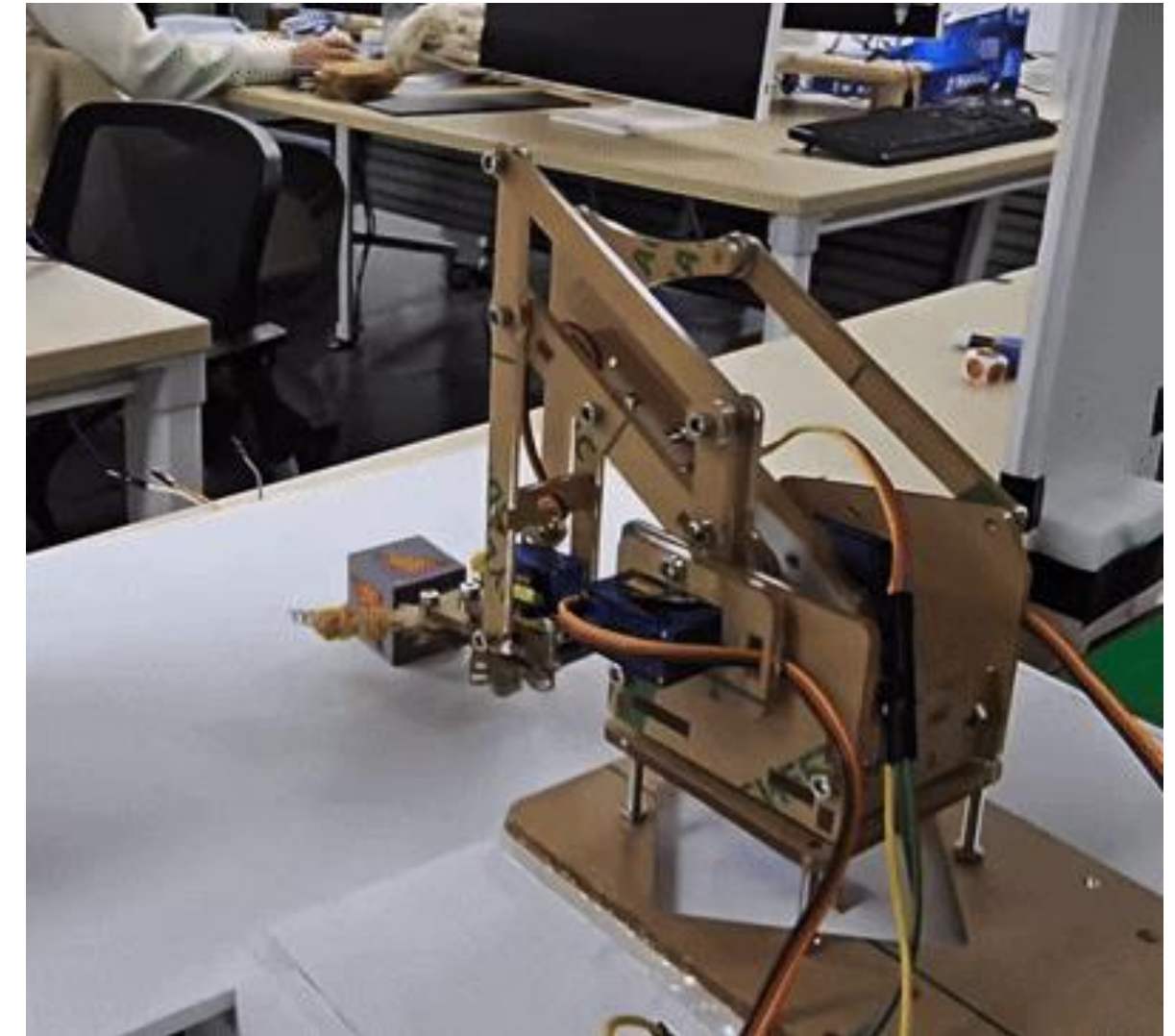
## 02. Trouble Shooting

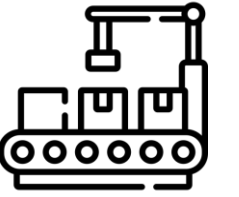
모터 각도 제어로 인한 관절 이탈 및 물건 놓침 문제.

■ Before



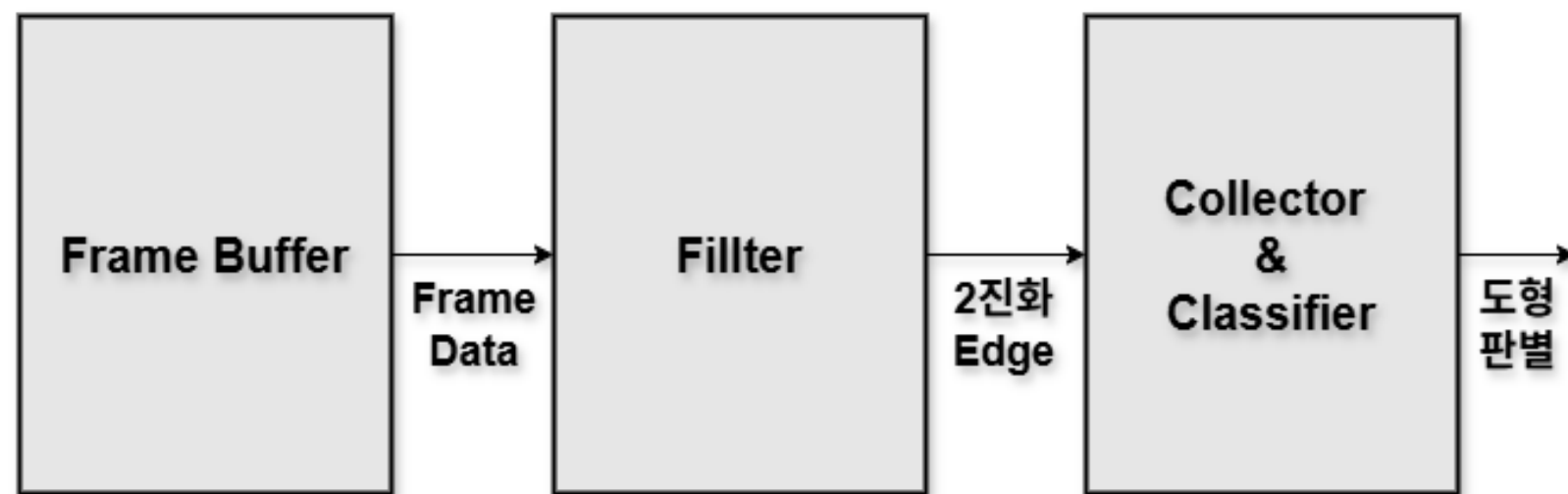
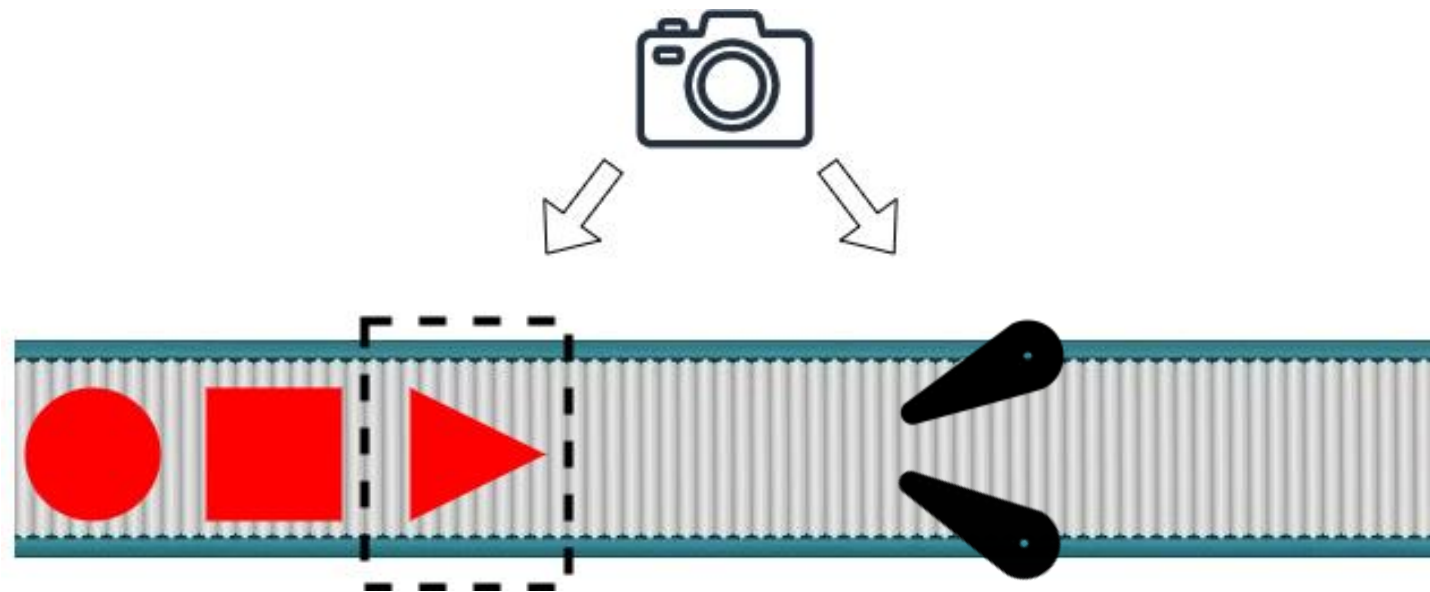
■ After





### 색 기준 도형 감지 모듈

#### 목적



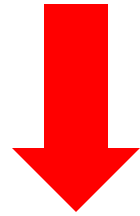
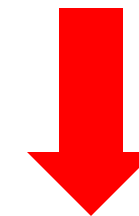
카메라, 필드 촬영, 도형 감지  
색 감지, 노이즈 제거, 데이터 전송

What

When

Shape

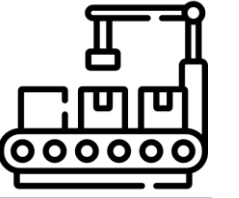
Detected



Filter

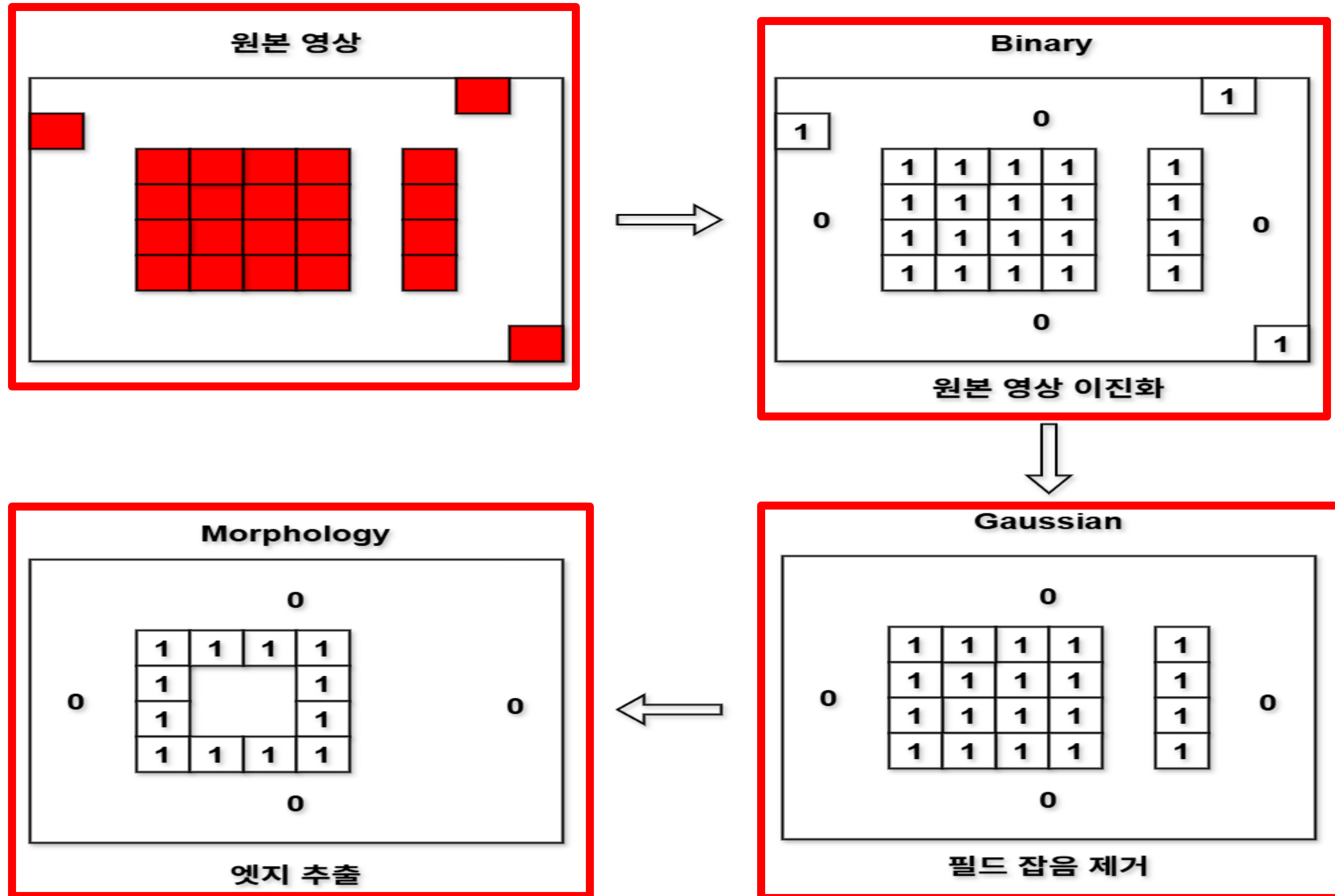
Collector

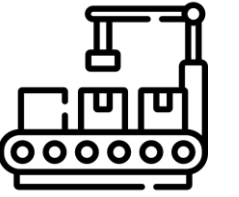
## 02. Technical Details | Conveyor belt | FPGA



### Filter

동작 방식

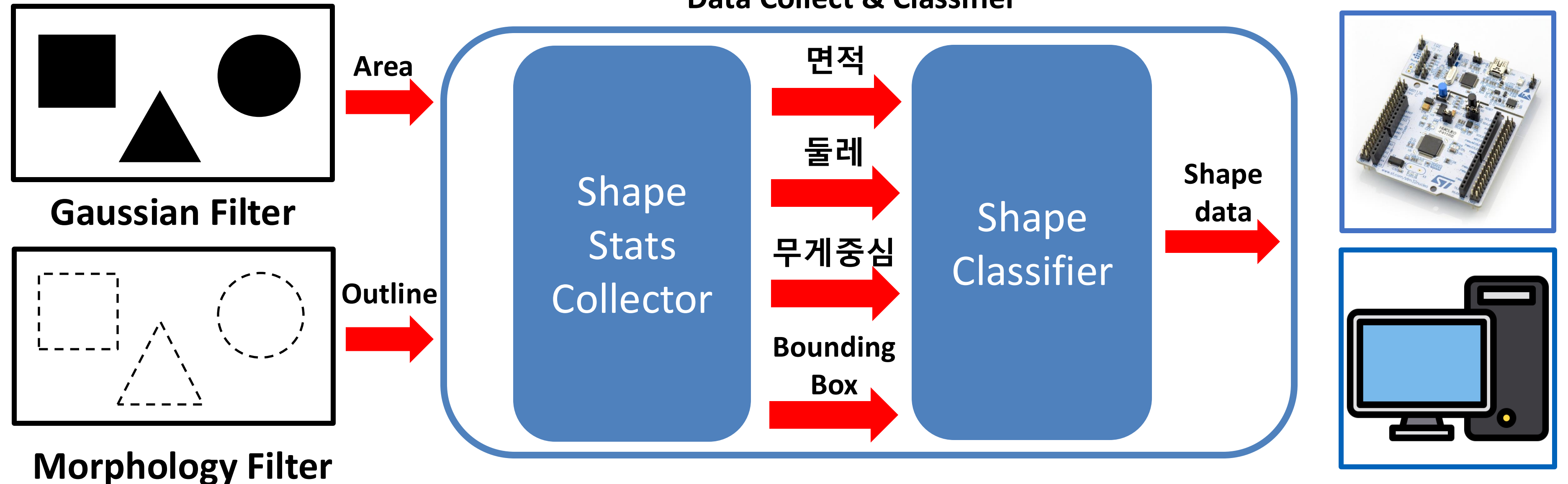




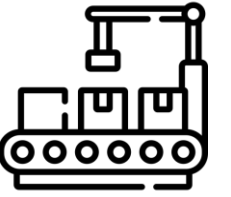
# Shape Stats Collector & Shape Classifier

도형 분석 위한 데이터 수집 & 분석, 최종적으로 모양 데이터 전송

### Data Collect & Classifier



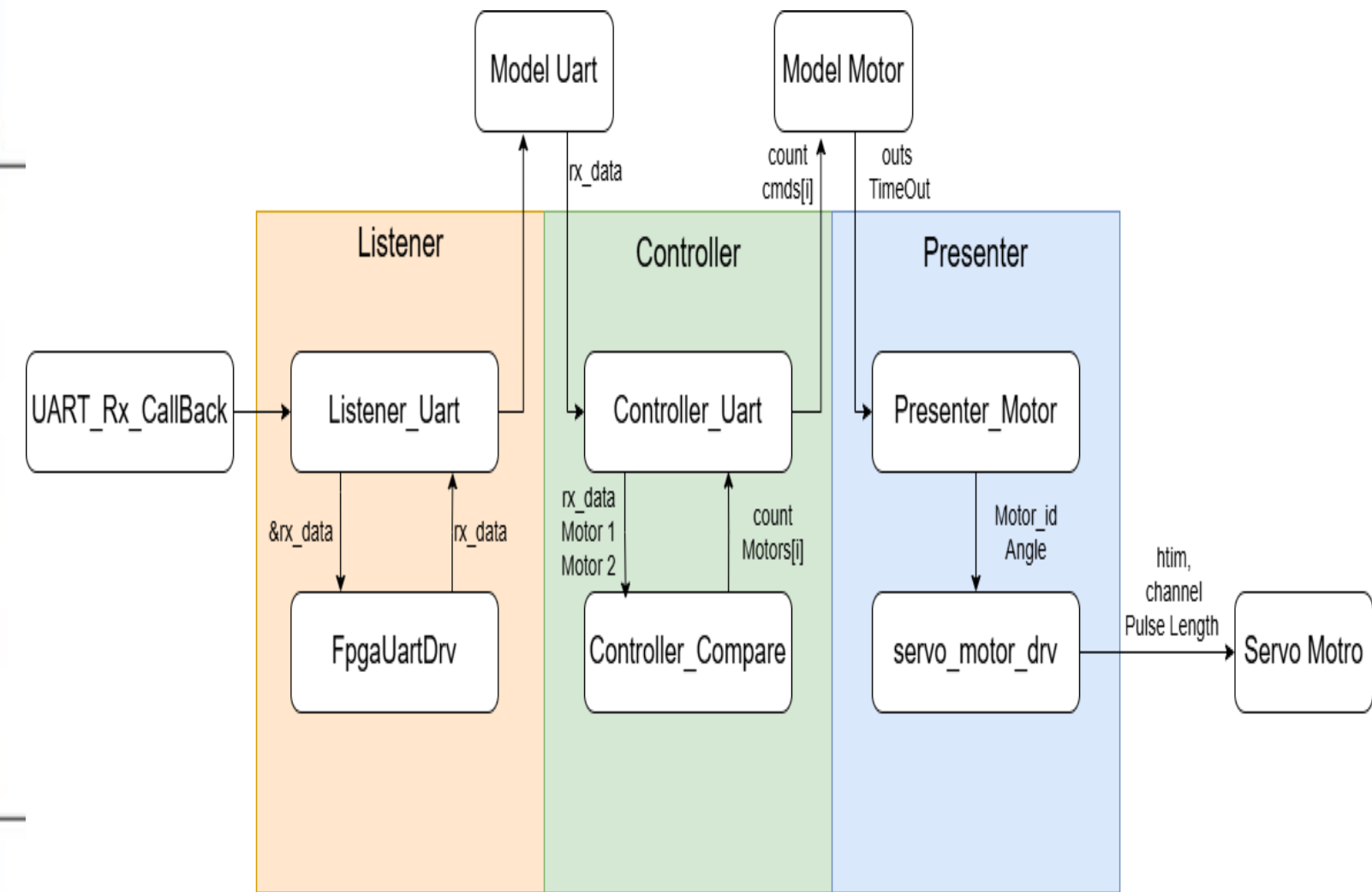
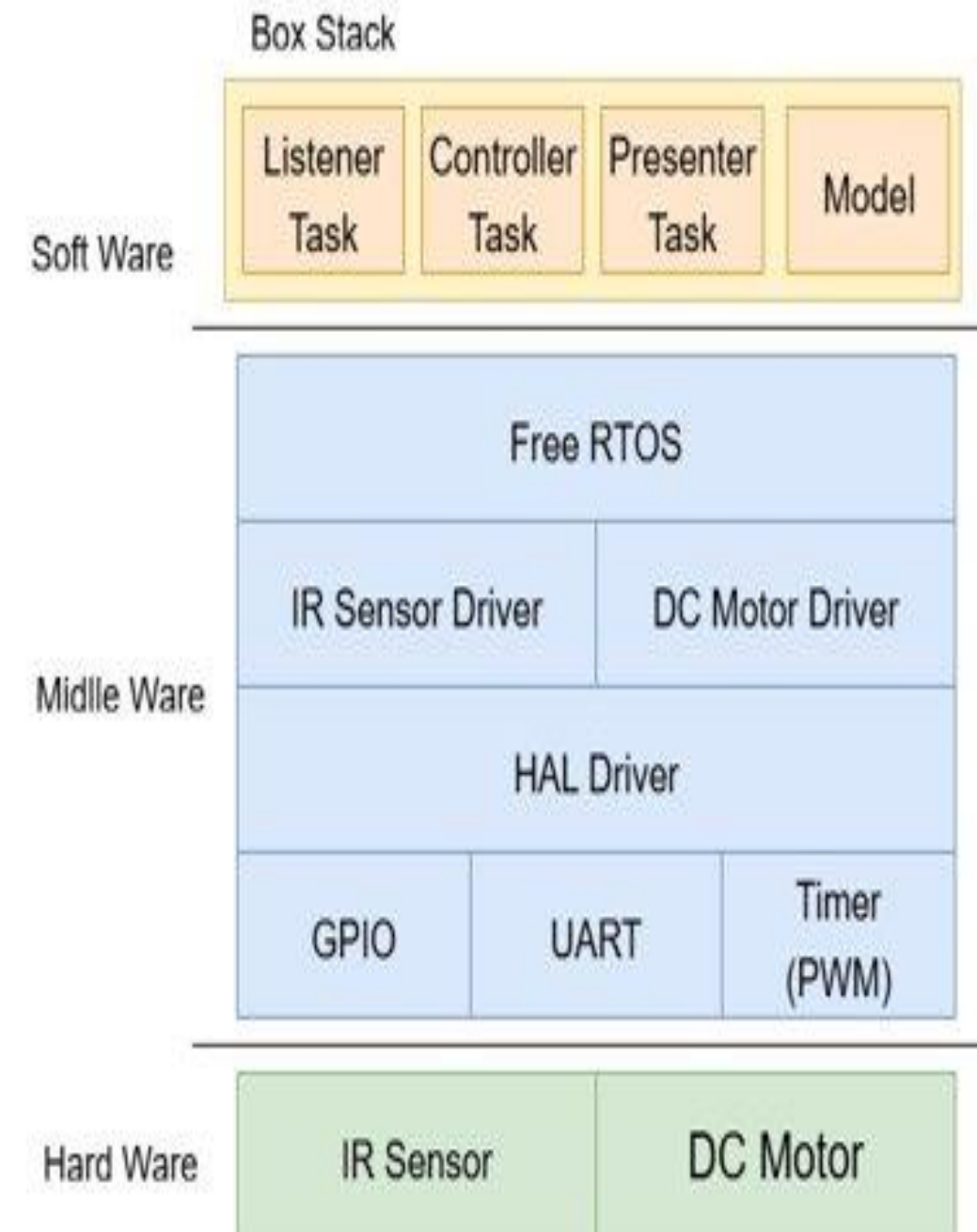
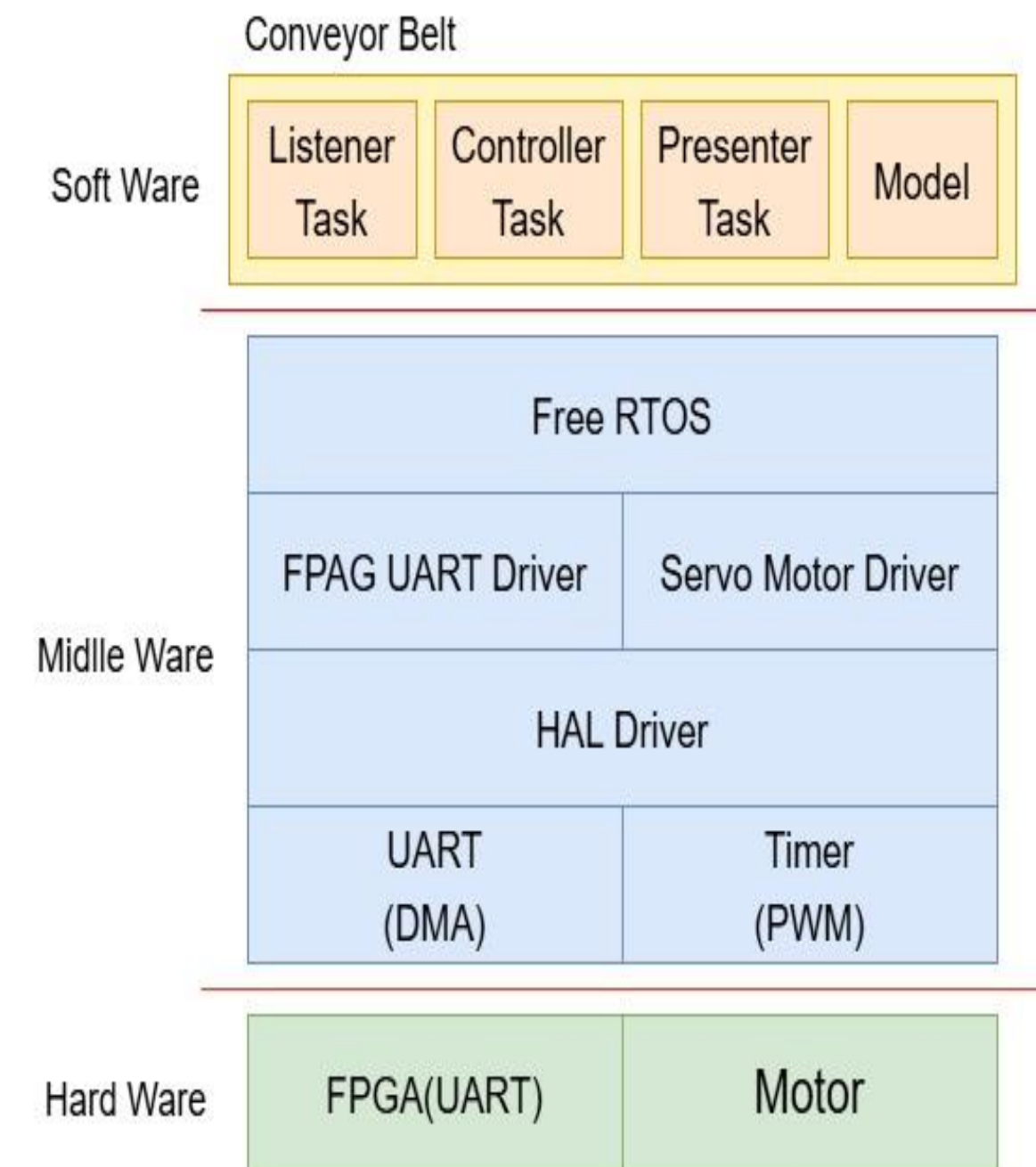




## 02. Technical Details | Conveyor Belt & Stack Box | Firmware

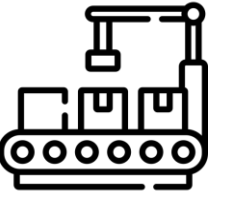
### SoftWare Back Part (Conveyor Belt & Stack Box)

### Stack



Stack 구조

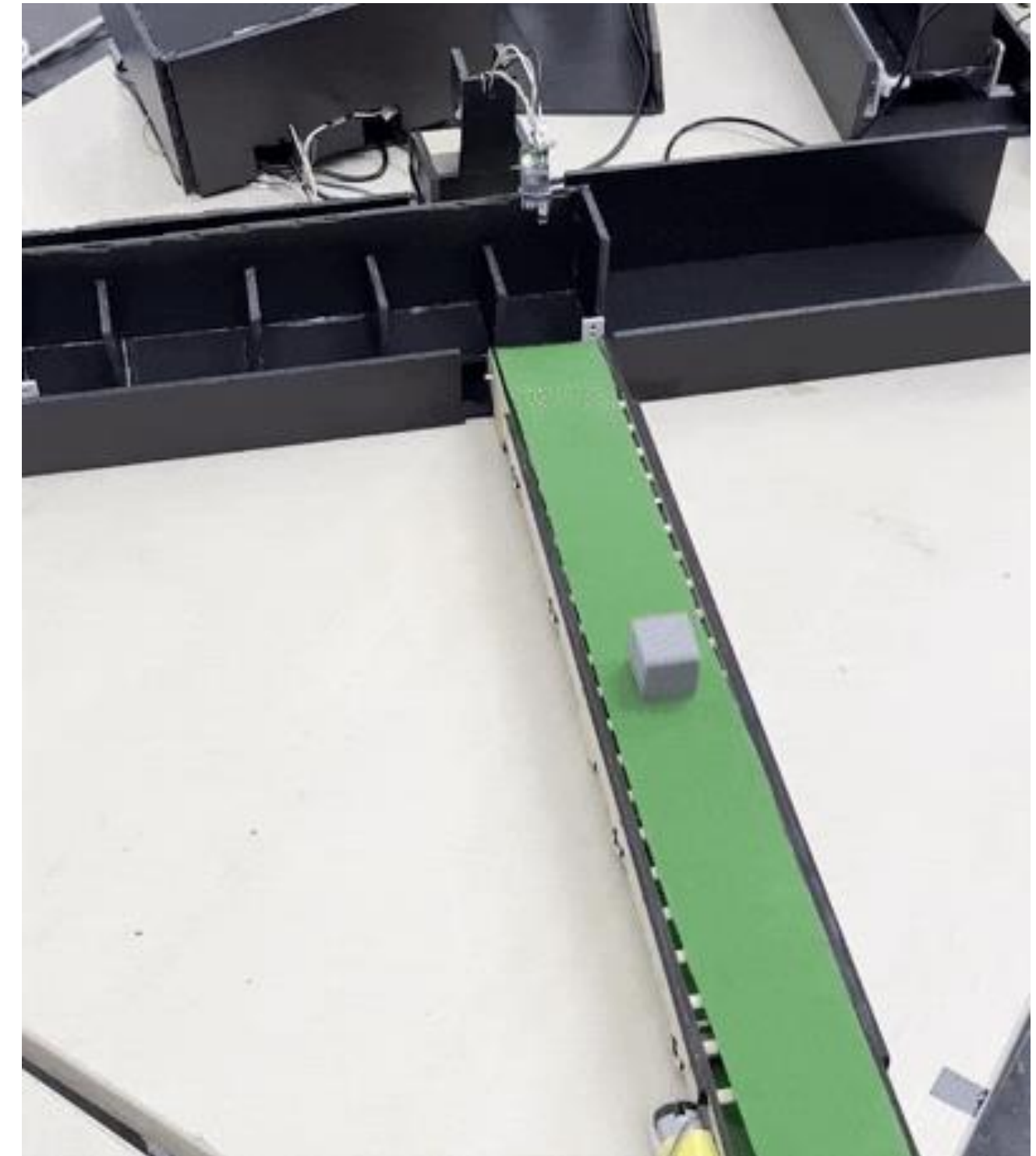
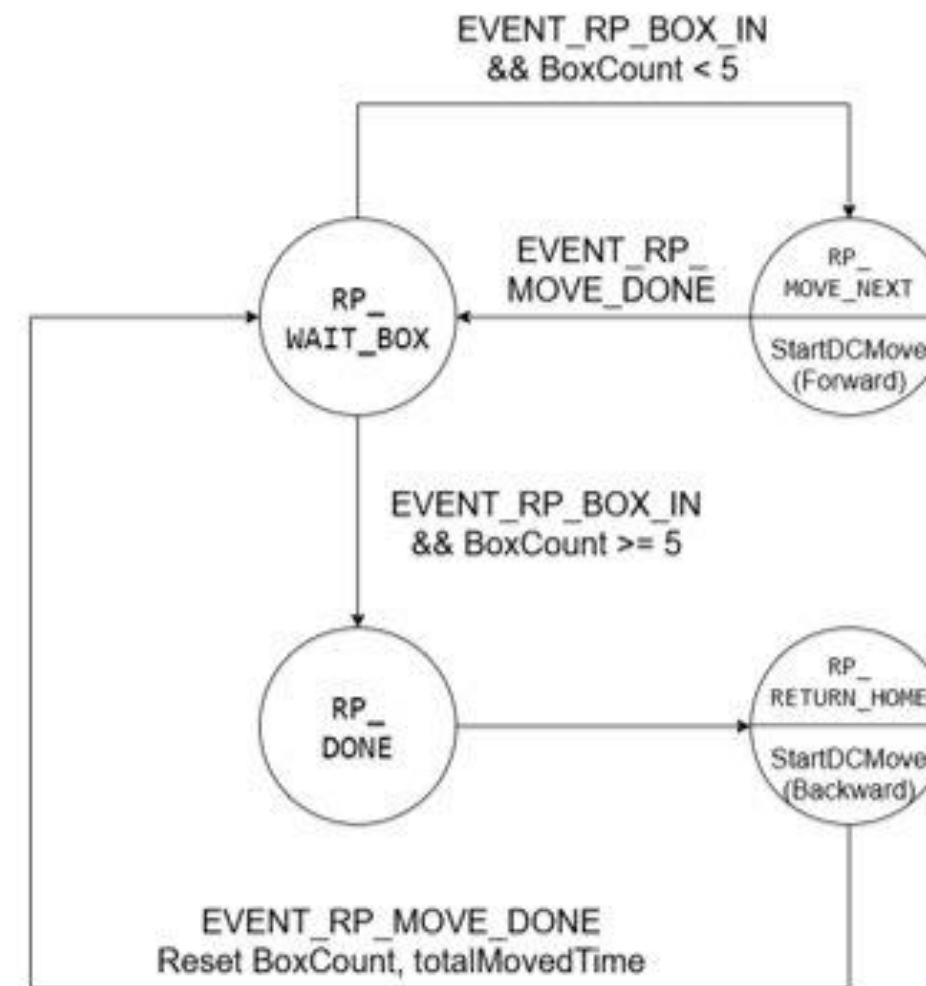
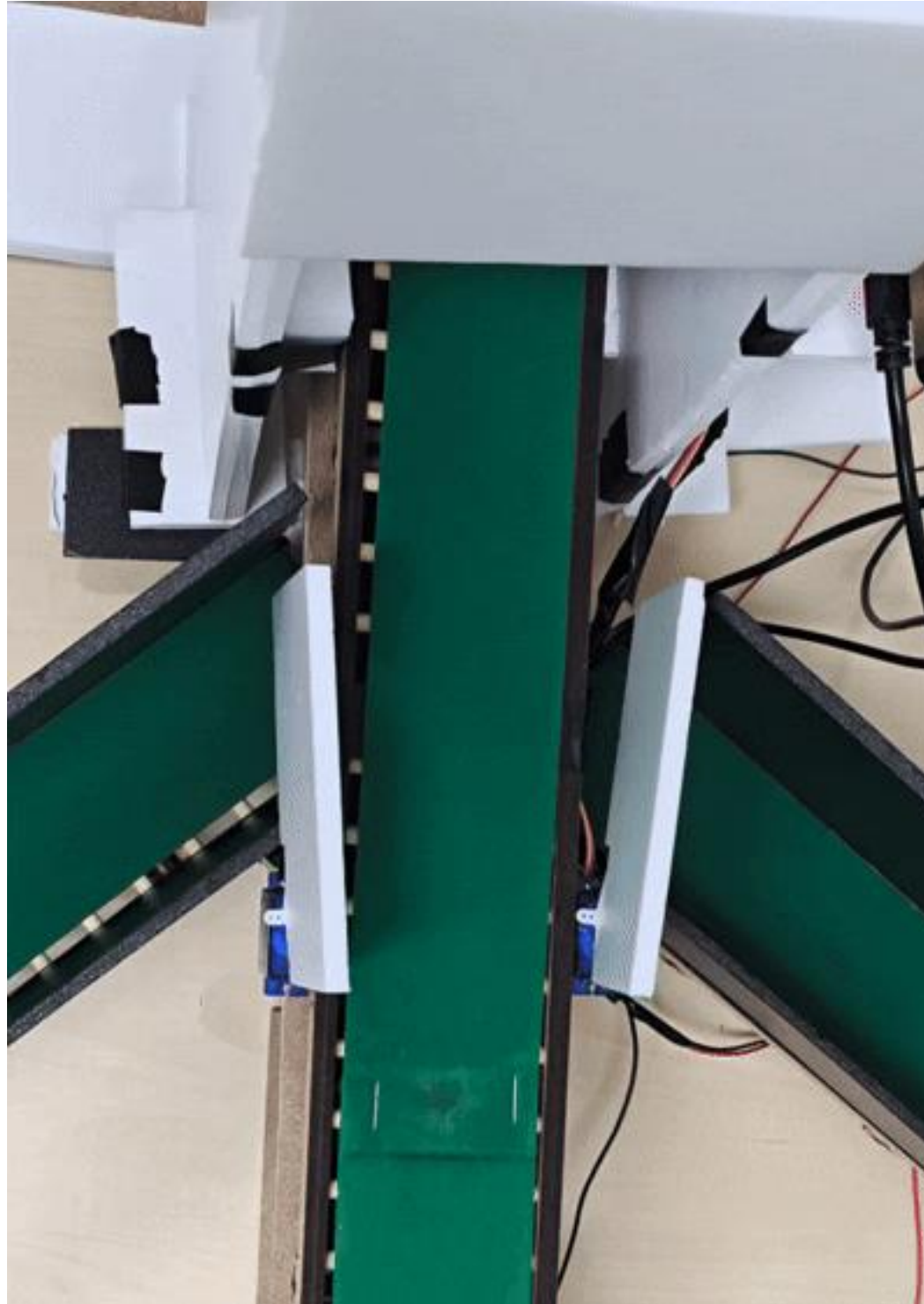
RTOS 구조



## 02. Technical Details | Conveyor Belt & Stack Box | Firmware

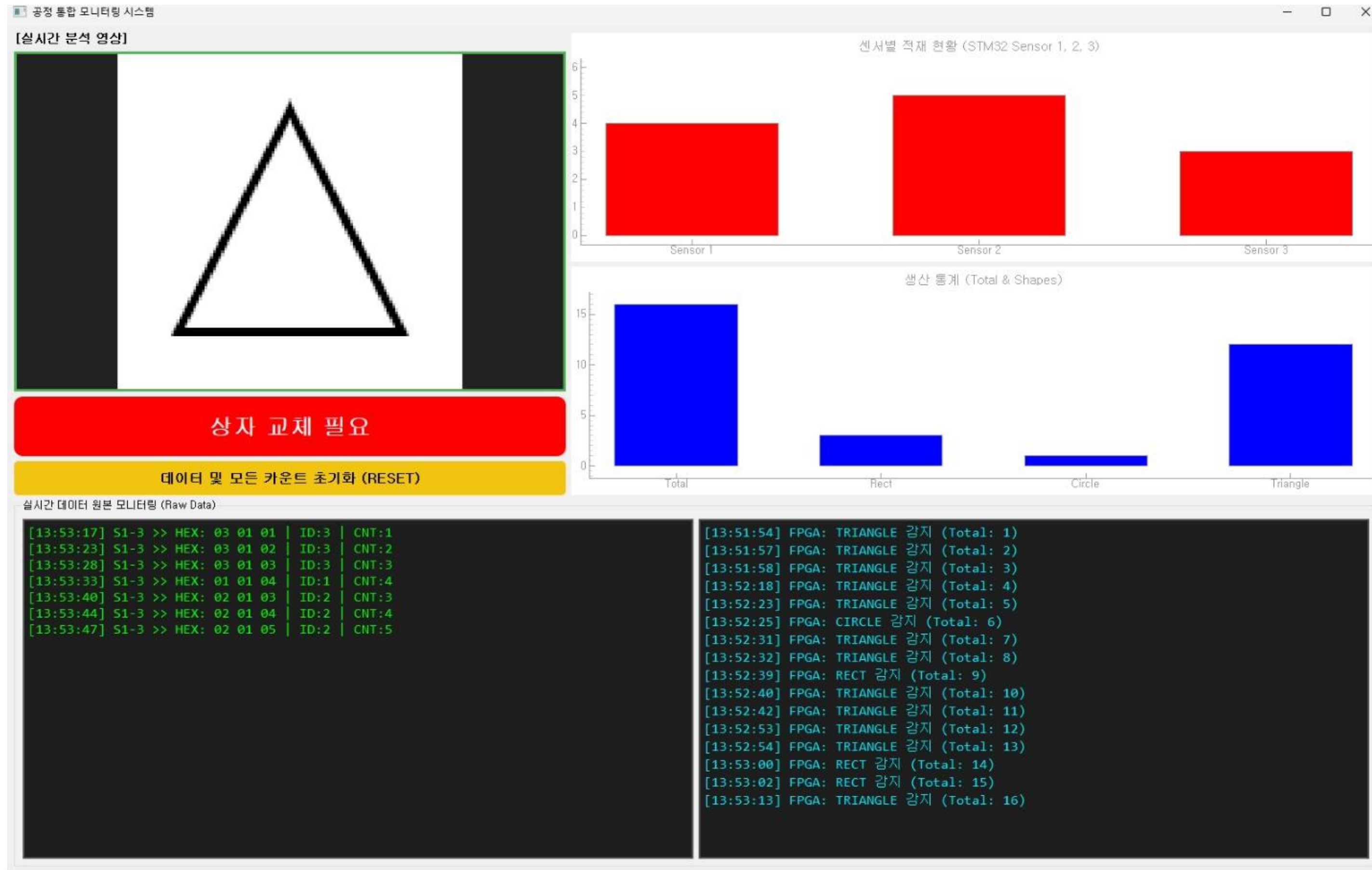
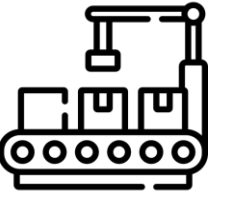
### SoftWare Back Part (Conveyor Belt & Stack Box)

### Stack





## 02. Technical Details | Conveyor Belt & Stack Box | GUI



## 03. 기대 효과 & 발전 가능성

### 기대 효과



#### [비용 이점 & 도입 장벽 완화]

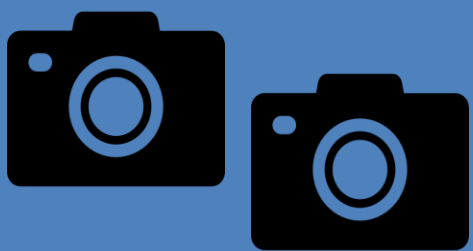
고사양 GPU나 AI 가속기 없이, FPGA 단독으로 영상 인식을 수행 초기 구축 비용 ↓  
자본력이 부족한 중소규모 제조 현장에 합리적인 대안



#### [결정론적 실시간 처리]

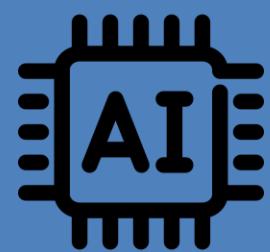
소프트웨어 OS를 거치는 AI 처리 방식은 데이터 양에 따라 처리 속도 가변적  
FPGA는 하드웨어 레벨에서 데이터를 병렬 처리하므로 항상 일정한 응답 속도를 보장

### 발전 가능성



#### [다면 촬영으로 3D 인식]

크기 및 높이가 다른 물체들을 구별하여 물체마다 최적화된 중심 좌표값을 산출 가능  
해당 방식을 통해 보다 정밀한 정적으로 물체 Grab 가능



#### [AI로 확장 가능]

다양한 물체 종류, 자세, 조명 변화에도 강인한 인식으로 확장되어 분류 정확도를 높일 수 있습니다.  
AI 모델을 적용하면 단순 색/영상 기반 판별을 넘어

### 03. Discussion



이동관

팀원들의 통솔을 담당하며 역할 분담 및 분업의 중요성을 체감했습니다.  
수식과 물리적 현실 사이의 오차를 UART 로그와 수치에 기반한 원인분석을 해결했습니다.



김승훈

프로젝트를 진행하면서 각 파트별로 목적을 명확히 설정하고 주기적인 소통을 통해 진행도를 파악하고  
우선순위를 판단하여 프로젝트가 원활하게 흘러갈 수 있게 하였습니다.



조민준

많은 인원이 참여하는 프로젝트를 처음으로 경험하며 일정 관리의 중요성을 체감했습니다.  
구체적인 계획을 바탕으로 데드라인을 엄수하는 엔지니어로 성장하겠습니다.



박민석

하드웨어의 한계를 코드로 보완하며, 문제의 근본 원인을 파악하는 분석력을 길렀습니다.  
진행 상황을 공유하고 책임을 다하는 과정에서, 소통과 협업의 가치를 깊이 배웠습니다.



### 03. Discussion



김재우

사전 설계 및 준비: H/W <-> SW간 명확한 통신 규약이 필수.  
앞으로는 사전 합의로 리스크를 줄이고, 커뮤니케이션 프로젝트를 성공적으로 완수하는 엔지니어가 되겠습니다.



김은성

모듈화된 구조로 문제를 빠르게 해결하며 체계적 설계의 중요성을 깨달았고, 팀원들과 긴밀히 소통하며 함께 해결책을 찾아가는 과정에서 협업과 팀워크의 가치를 느낀 의미 있는 프로젝트였습니다.



고서영

코드뿐만 아니라 회로 분석을 통해 하드웨어 문제를 직접 해결하며 통합적 엔지니어링 역량을 길렀습니다.  
또한 복잡한 이슈를 조율하는 과정에서 명확한 기술적 소통이 협업의 핵심임을 깊이 깨달았습니다.



이승후

이번 프로젝트를 통해 팀원들과 하나의 목표를 향해 나아가는 협업의 가치를 깊이 느꼈으며,  
팀원들과의 유연한 소통 방식과 문제 해결 과정을 지켜보며 실무에 대하는 태도를 배웠습니다.

Thanks