

## 비전 인식과 5축 로봇 팔을 사용한 퍼즐 이미지 인식 및 맞추 시스템 개발

김영훈\*, 임창섭\*, 최영빈\*, 노동현\*, 이재원\*, 정진우\*  
 대구가톨릭대학교 로봇공학과\*  
 \*교신저자 jwjung11@cu.ac.kr

### Development of a Puzzle Image Detection and Solving System Using Vision Recognition and a Five-Axis Robot Arm

Young-Hoon Kim\*, Chang-Seup Lim\*, Yong-Bin Choi\*, Dong-Hyun No\*, Jae-Won Lee\*, Jinwoo Jung\*  
 Daegu Catholic University, Department of Robotics Engineering\*

**Abstract** - 본 논문에서는 컴퓨터 비전 기술을 이용하여 퍼즐 조각을 자동으로 인식하고, 5축 로봇 팔을 이용하여 자동 퍼즐 조립 시스템의 개발 및 구현하였다. 퍼즐 조립 과정에서 높은 정확도와 일관성을 보여주었으며, 수작업보다 더 빠르고 정확하게 작업을 수행할 수 있음을 확인하였다.

#### 1. 서 론

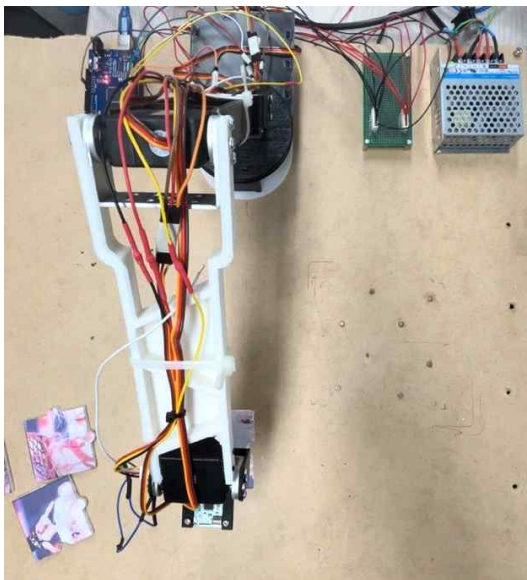
여러 수작업 과정에서 발생하는 시간 소모와 오류 가능성을 줄이고자, 다양한 기술적 접근이 시도되고 있다. 최근의 로봇 공학 및 컴퓨터 비전 기술의 발전[1, 2]은 이러한 작업의 자동화에 중요한 역할을 할 수 있는 기회를 제공한다. 로봇 공학은 반복적이고 정밀한 작업을 자동으로 수행하는 데 탁월한 성능을 발휘하며[3], 컴퓨터 비전 기술은 물체의 인식과 위치 파악[2]을 가능하게 한다. 이 두 기술의 결합은 단순한 작업뿐만 아니라 복잡한 조립 작업까지도 자동화할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

본 연구에서는 5축 로봇 팔과 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 퍼즐 조각을 자동으로 인식하고, 이를 정확한 위치에 배치하는 시스템을 개발하고자 하였다. 이 시스템은 퍼즐 조각의 위치와 방향을 정확하게 식별한 후, 로봇 팔을 제어하여 조각을 올바른 위치에 배치함으로써 퍼즐 조립 과정을 자동화하며, 이를 통해 퍼즐 조립에 소요되는 시간을 단축하고, 정확성을 향상시키는 것에 대한 연구를 수행하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시스템 구성

본 연구에서는 8 비트(bit) 마이크로컨트롤러인 상용 아두이노 메가 보드(Arduino MEGA 2560)와 디지털 서보모터, SMPS(5 V), 전자석 모듈, Arducam 사의 USB 카메라 모듈을 사용해 퍼즐 맞추기 시스템을 제작하였다. 카메라 모듈은 데스크탑 시스템에 연결하여 퍼즐의 방향과 위치를 인식하는데 사용되었다.



〈그림 1〉 하드웨어의 구성

##### 2.1.1 하드웨어 구성

본 연구의 시스템 구성은 제어 시스템 및 로봇팔, 엔드이펙터, 카메라 모듈 등의 구성 요소로 이루어져 있으며, 이들이 상호 작용하여 전체 시스템이 원활하게 작동할 수 있도록 설계 및 제작되었다. 각 하드웨어 구성 요소는 퍼즐 조각의 인식, 집기, 이송 및 배치 기능을 수행하는 데 사용되었다.

##### 1) 제어 시스템

로봇 팔을 제어하는 아두이노 메가와 카메라 시스템을 제어하는 데스크탑 시스템을 통합 사용한다. 아두이노 메가는 각 하드웨어 구성 요소가 원활하게 작동할 수 있도록 통합된 제어 알고리즘을 제공하여 로봇의 움직임을 조정한다. 카메라 시스템은 이미지 처리 결과에 따른 역기구학 계산 및 위치 정보 계산을 한다.

##### 2) 로봇 팔

로봇 팔은 5축 로봇으로, 다양한 각도에서 자유롭게 움직일 수 있도록 설계되었습니다. 5축 로봇은 퍼즐 조각을 들어 올리고, 원하는 위치에 정확하게 배치하기 위해 필요한 충분한 자유도를 제공한다. 로봇 팔의 기구학적 특성은 역기구학 알고리즘을 통해 제어되며, 이를 통해 각 축의 움직임이 정밀하게 조정된다.

##### 3) 엔드이펙터

로봇팔의 끝부분에 장착된 엔드이펙터는 퍼즐 조각을 집는 역할을 담당한다. 엔드이펙터는 전자석 모듈을 포함하고 있으며, 자석을 사용해 퍼즐 조각을 안정적으로 집을 수 있도록 제작되었다. 또한, 엔드이펙터에는 조각의 위치와 방향을 인식하기 위한 카메라가 장착되어 있어, 퍼즐 조각을 집기 전에 퍼즐 조각의 위치와 방향 정보를 수집할 수 있다.

##### 4) 카메라 시스템

카메라 시스템은 퍼즐 조각의 위치와 방향을 인식하는 역할을 한다. 이 시스템은 고정형 카메라와 이동형 카메라 부분으로 나뉜다. 고정형 카메라는 스테이지 위에 설치되었으며, 퍼즐 조각의 전체적인 위치와 모양을 촬영하여 이미지 처리 알고리즘이 이를 분석할 수 있도록 한다. 이동형 카메라는 엔드 이펙터에 부착되어, 엔드이펙터가 조각을 집기 전에 조각의 정확한 위치와 방향을 정밀하게 확인할 수 있도록 한다. 이 카메라 시스템은 고해상도 이미지를 제공하여 퍼즐 조각의 정확한 경계와 특징을 인식할 수 있게 한다.

##### 2.1.2 소프트웨어 구성

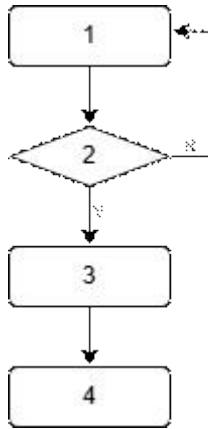
퍼즐의 위치와 판별을 위한 USB 카메라 모듈의 동작을 제어하기 위하여 Python을 사용하였고, 로봇팔을 제어하기 위하여 아두이노를 사용하였다.

##### 1) Python

USB 카메라 모듈을 동작 시키고, 미리 학습된 YOLO\_V8 모델의 학습 파일을 통하여 퍼즐의 위치 정보를 계산하고 이에 대한 역기구학 계산을 수행한다. 이후 역기구학 정보를 아두이노로 전송한다.

##### 2) 아두이노

Python으로부터 받은 정보를 통하여 각 서보모터들의 동작을 제어한다. 또한, 엔드이펙터를 구동시켜 퍼즐을 집고 방향을 맞추는 동작을 수행한다.



〈그림 2〉 퍼즐 인식 및 이동 알고리즘

그림 2와 같이 시스템이 퍼즐을 인식하고 이동하는 알고리즘을 사용하였다. 처음 인식 대기 상태(1)에서 퍼즐의 인식 및 위치 확인(2)을 수행한 후, 잡은 퍼즐의 위치 및 방향을 판별(3)하고, 역기구학 계산을 통해 올바른 위치로 퍼즐 이동(4)시킨다.

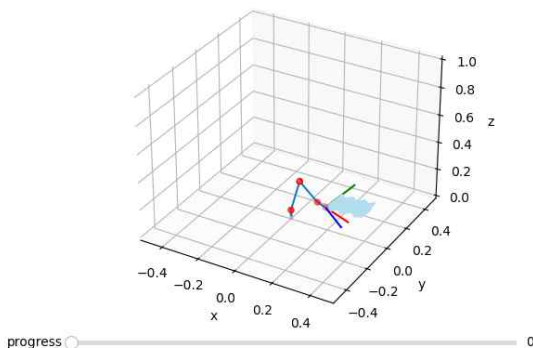
## 2.2 실험 방법 및 결과

퍼즐들을 판별을 위하여 〈그림3〉의 YOLO\_V8 프로그램을 사용하여 이미지를 학습시켰다. 이후, 임의로 배치되어 있는 퍼즐의 위치 정보를 각각 찾고 퍼즐을 맞추기 위해, 〈그림4〉와 〈그림5〉와 같이 역기구학 계산 라이브러리를 사용하여 이동 위치를 계산하여 로봇팔의 동작을 제어하였다.

구동 결과로, 임의의 퍼즐 위치와 방향을 판별하여 엔드이펙터를 이동시켜 퍼즐을 잡은 후 퍼즐의 맞추는 것을 확인할 수 있었다.



〈그림 3〉 퍼즐 인식을 위한 YOLO\_V8 이미지 학습 프로그램



〈그림 4〉 역기구학 계산 시뮬레이션

```

[29.129895332907633, 56.042584239195946, 203.4822026372741, 147.43961839807815]],
[30.454433028910834, 55.5173583155773, 201.73068647743887, 146.21332816186157]],
[31.74941613798737, 54.909492826794136, 199.86790451005663, 144.9584116832625]],
[33.01566046226563, 54.220360991453835, 197.8943915035936, 143.67403051214858]],
[34.25262365683835, 53.450958508635566, 195.8103115710687, 142.35935306243312]],
[35.461110357462886, 52.60234622530662, 193.6150613620821, 141.01271513677545]],
[36.640923795514, 51.67514870562566, 191.307510099768, 139.63236139414232]], [ar
[37.79188015242604, 50.66967627023235, 188.88578824111374, 138.2161119708814]],
[38.914823988293996, 49.58591488165733, 186.34691205452503, 136.7609971728677]],
[40.00962652346022, 48.42320607325489, 183.68705685222795, 135.26385077897305]],
[41.07651814274624, 47.18028135685642, 180.90107972532536, 133.72079836846893]],
[42.11576642174829, 45.85507862484029, 177.9823237507111, 132.1272451258708]], [
[43.127674299395196, 44.4445807763794, 174.92227205558584, 130.4777139779479]],
  
```

〈그림 5〉 역기구학을 사용한 엔드이펙터 이동 가능 좌표 계산

## 3. 결 론

본 연구에서 개발된 퍼즐 맞추기 로봇 시스템은 퍼즐 조각을 자동으로 인식하고 정확하게 배치하는 데 성공했다. 시스템의 구성 요소인 5축 로봇팔, 엔드이펙터, 컴퓨터 비전 시스템, 그리고 제어 알고리즘을 사용하여, 사람이 직접 수행하는 퍼즐 조립 과정을 대체할 수 있는 자동화 시스템을 구현할 수 있음을 확인하였다. 컴퓨터 비전 기술과 로봇 제어 알고리즘의 결합을 통해, 퍼즐 조립 시간 단축과 작업 효율성 향상을 달성하였으며, 시스템의 퍼즐 조립 기능의 반복성을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 퍼즐 조립뿐만 아니라, 다양한 산업 분야에서의 자동화 시스템으로 해당 융합 기술을 확대 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 박준철, 남승규, 김대식, “특정 물체를 따라 움직이는 로봇 팔 구현 : 학습된 경험을 바탕으로 한 휴머노이드 로봇의 팔 제어 = A Robotic Arm Tracking Some Object's Position”, 한국HCI학회 학술대회, 378-380, 2011
- [2] 이한술, 김영관, 홍지만, “사물인식을 위한 딥러닝 모델 선정 플랫폼 = Deep Learning Model Selection Platform for Object Detection”, 스마트미디어저널, Vol. 8(2), 58-65, 2019
- [3] dxydas, R-R-R형 로봇 팔 기구학-움직임 참고자료, “R-R-R Robot manipulator control/figure”, <https://dxydas.com/r-r-r-robot-manipulator/>, 2024.05.10