

# AI 알고리즘을 활용한 스마트 수레 카트 서비스

조기동<sup>1</sup>, 김민준<sup>1</sup>, 봉진훤<sup>1</sup>, 조성진<sup>1</sup>, 문재현\*

<sup>1</sup>광운대학교 로봇학부

\*한국기술거래사회

kdong9871@naver.com, alswnssla@naver.com, ejdjcj@hotmail.com, dmb04155@naver.com, smjhoon@gmail.com

\*교신저자(Corresponding Author)

## Smart Trolley Service Using AI Algorithm

GiDong Cho<sup>1</sup>, MinJun Kim<sup>1</sup>, JinHwon Bong<sup>1</sup>, Sung-Jin Cho<sup>1</sup>, Jaehyun Moon\*

<sup>1</sup>Dept. of Robotics, KwangWoon University

\*Korea Technology Transfer Agents Association

### 요 약

This paper is about the development of an automatic stair climbing trolley for carrying loads without manpower. The design of tri-wheeled structure and center of mass enable the trolley to move on flat ground and also to ascend stairs by self-balancing. The overall design enables the trolley to avoid collision to walls when the trolley rotates on domestic landings. When the camera recognizes the stair, the sensor measures distance from the trolley to the stair. Then the trolley can move to align itself in the middle of the stair and it starts climbing. It can ascend to a specific floor based on the floor number entered by the user. As a result, the automatic stair climbing trolley is expected to help humans by protecting from accidents of dropping loads and saving their power. It is also expected to use for various purposes such as delivering packages, moving and carrying heavy loads in buildings without elevator.

**Keywords** Stair Climbing, Object detection, Deep Learning, Motor Control, Balancing

### 1. 문제 제기

전국의 6층 미만의 아파트 혹은 주택의 경우 엘리베이터가 의무가 아니며, 노후화된 아파트, 주택, 지하철(22곳) 등 엘리베이터가 없어서 화물의 움직임이 용이하지 않은 곳이 많다.

계단으로 화물을 운반하는 경우 노동력 및 힘이 많이 필요하기에 이를 대체하고자, 계단을 올라갈 수 있는 수레를 만들어 이러한 문제점을 해결하고자 한다.

자동화를 위한 계단 인지를 위한 Object Detection의 기법 중 하나인 YOLO를 이용하며, 이를 통하여 계단을 인지하여 올라가는 것을 목표로 하며 연산량이 생각보다 많아지고 느리기 때문에, 서버를 만들어 하나의 호스트에서 모든 연산을 하기 위하여 Docker의 컨테이너를 이용하기로 하였다.

### 2. 기술적 처리 방법

#### 2.1. 계단 인지 및 연산처리 방법

Jetson Nano와 Camera를 이용하여 실시간으로 영상을 촬영하고 이를 서버에 전송한다. Python 기반의 YOLO를 사용하며, 계단 인식 및 데이터의 연산은 Docker의 가상 컨테이너 서버에서 이루어지며

과만 Jetson Nano가 받아서 동작한다.

#### 2.2 데이터 송 수신 알고리즘

VLC를 통한 스트리밍을 사용하였을 경우 네트워크 속도에 따라 영상의 지연을 방지하고자, 계단 인식 및 장애물 인식의 변수를 따로 두어 잠, 거짓으로 값을 인식하도록 한다.

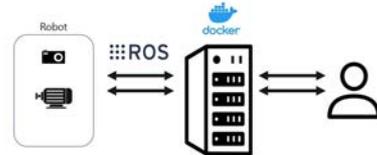


그림 1. 전체 시스템 관계도

#### 2.3 로봇 자세 제어 역학

세그웨이 밸런싱 관련하여 역학 설계를 하려 했으나, [1] 계단을 오르는 행위에서 중심점 위치를 수식화하는데 어려움을 느껴 ZMP(zero pole moment) 방향으로 알아보았다. [2]

계단을 직선으로 올라가는 구조로써 Y 축의 성분은 배제하고 X 축, Z 축 성분만으로 설계가 가능하다. ZMP의 위치 범위를 지정하고 그 지점에 위치하도록 PID 제어를 이용할 것이다. [3]

#### 2.4 계단 층 인식 방법

계단을 오르는 과정에서 수레를 보다 수월하게 제

어하기 위해서 각 계단 칸의 인식이 필요하였다.

Hough Transform은 수많은 픽셀로 구성되어 있는 이미지에서 직선 관계만 갖는 픽셀들만 골라낸다. 그중 허프 선 변환의 연산량이 매우 많다는 것을 고려하여 비교적 연산량이 적은 확률적 허프 선 변환을 이용하였고, 이를 통해 실시간 이미지 상에서 각 계단 칸을 인식한다.

2차원 이미지 상에서 두 점을 잇는 직선은  $y=ax+b$ 로 나타낼 수 있다. 하지만 축과 평행한 직선의 경우 표현할 수가 없기 때문에  $(\rho, \theta)$  공간의 극 좌표계 직선의 방정식을 사용한다.

$$\rho = x(\cos\theta) + y(\sin\theta) \quad (1)$$

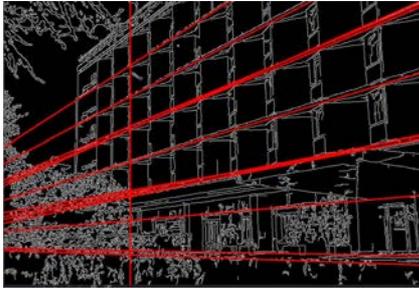


그림 2. Hough Transform의 예

### 3. 스마트 수레 시스템 설계 및 구축

#### 3.1 모터 선정에 필요한 토크 계산

모터 선정에 필요한 토크를 구하기 위해서 가속 토크  $T_a$ 와 등속 토크  $L$ 를 계산한다.

$$T_a = \frac{J \text{ RPM}}{g t} (kgfcm) \quad (1)$$

$$L = \frac{\mu WD}{4} \quad (2)$$

$J$ 는 휠의 관성모멘트이며 RPM은 분당 회전수,  $g$ 는 중력가속도,  $t$ 는 가속하는데 걸린 시간이다.

$W$ 는 전체 중량이며  $D$ 는 휠의 지름,  $\mu$ 는 마찰계수이다. 설계하고자 하는 로봇의 바퀴 구조는 3륜으로 피젯 스피너의 형태와 유사하다. 피젯 스피너의  $J$ 는 동일 사이즈의 링의  $J$ 와 원판의  $J$ 사이에 위치해 있다.[4] 그에 따라 계산에 용이하도록 링의  $J$ 로 놓고 계산을 한다.

모터 선정에 필요한 토크는 (1) + (2)로

$$T_m = \frac{J \text{ RPM}}{g t} + \frac{\mu WD}{4} (kgfcm) \quad (3)$$

이다.

#### 3.2 모터 선정에 필요한 RPM 계산

계산을 하기 위해서 trolley 모델을 간단한 형태의 모델로 치환해서 생각한다.

수직항력을 받는 부분의 바퀴 접점과, 무게중심을 지나는 막대기로 치환해서 계산한다.

$$I \cdot \alpha = -mg \frac{1}{2} \cos\theta$$

$L_{slope}$ 에 이용할 단순한 막대기의 형태를 이용하여 계산. 바퀴의 접점과 무게중심을 통과하는 막대기 모델을 이용하여 계산.

$$\frac{1}{3} ml^2 \ddot{\theta} = -mg \frac{1}{2} \cos\theta$$

$\ddot{\theta}$ 로 정리하면,

$$\ddot{\theta} = \frac{3g \cos\theta}{2l}$$

$$L_{zmp} : x_{zmp} = x_{cog} + \frac{x_{cog}}{z_{cog} + g} (\ddot{z}_{zmp} - z_{cog})$$

2개의 바퀴를 이용하며, 계단이라는 특성상  $y$ 좌표의 값은 배제하여 식을 세움. 높이  $z$ 와 진행 방향  $x$ 로 평면화시킴.

```

MATLAB Function1
function y = fcn(u)
    l = 1.0;
    g = -9.81;

MATLAB Function2
function [y,x_d_cog] = fcn(u)
    l = 1.0;
    h = 0.17;
    g = -9.81;
    x_cog = 0.5*l*cos(u(1));
    z_cog = 0.5*l*sin(u(1));
    x_d_cog = -0.5*l*u(2)*sin(u(1));
    %z_d_cog = 0.5*l*u(2)*cos(u(1));
    x_dd_cog = -0.5*l*u(3)*sin(u(1))-0.5*l*u(2)*u(2)*sin(u(1));
    %z_dd_cog = 0.5*l*u(3)*cos(u(1))-0.5*l*u(2)*u(2)*cos(u(1));
    z_dd_cog = 0;
    z_d_cog = 0;
    y = x_cog + (x_dd_cog - u(2)*x_d_cog)/(z_dd_cog + u(2)*z_d_cog + g) * (h - z_cog);
    
```

그림 3 Matlab Fnc

trolley가 안정된 상태를 유지하기 위해서는  $V_{zmp}$ 가  $V_{wheel}$ 보다 작아야 한다.  $V_{wheel}$ (바퀴가 다음 계단을 오르는 속도)보다  $V_{zmp}$ 가 빠르다면 계단에 먼저 도달하기 때문에 계단 주행이 가능해진다.

그림 3처럼 matlab을 이용하여 식 1, 2를 연립하여  $x_{zmp}$  그래프를 출력한다

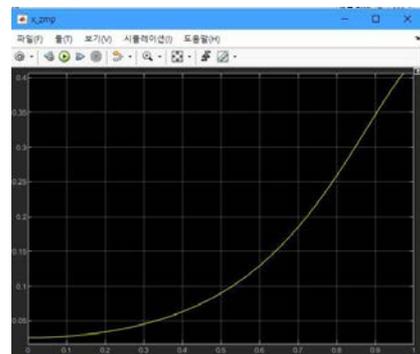


그림 4. 각도에 따른  $x_{zmp}$ 의 그래프

$x_{zmp}$ 는 계단의 깊이 0.32m보다 클 경우  $V_{zmp} > V_{wheel}$  보다 작아야 하므로 계단 1칸을 올라가는데 0.85 sec보다 빠르게 올라야 한다.  $t < 0.85$ 이며, 계단 한 칸을 오르는데 바퀴의 1/3이 회전한다. RPM으로 변환 시

$$\frac{1/3}{0.85} \times 60 \approx 24RPM$$

그럼으로 모터는 24RPM 이상을 선정해야 한다.

### 3.3 3륜 바퀴 구조

계단을 회전을 이용하여 오르내리기 위하여 120°의 위상차를 가진 3륜 구조를 사용하였으며[2] 계단판의 길이  $g$ 와 단 높이  $h$ 와의 관계식  $600 \leq g+2h \leq 660$ 을 이용하여 프레임의 크기를 결정하였다.

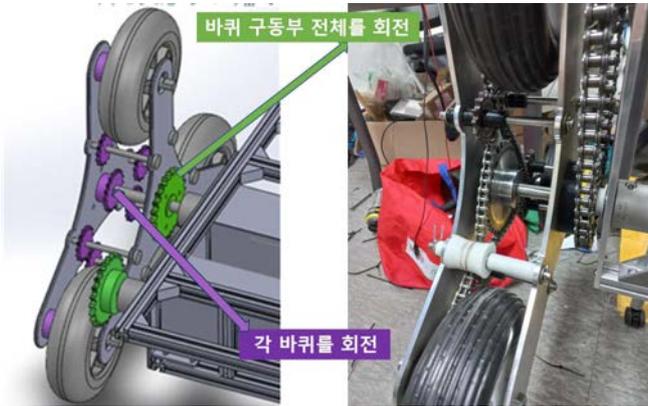


그림 5. 3륜 구조의 모델링 및 설계

### 3.4 몸체 설계

전반적인 구조는 수레(Trolley)에서 가져왔으며 계단에 유용한 3륜 수레를 기반으로 설계하였다.

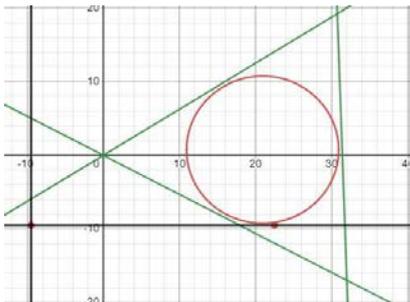


그림 6. 회전축에서 계단까지 닿지 않는 반경(붉은 원)

몸체가 계단 위에서 회전할 때 계단 겹침 부위에 부딪히지 않게 하기 위해 회전축의 위치와 사이드를 고려하여 설계한다.(그림 6.)

## 4. 결론

### 4.1 완벽한 계단 인지

호스트가 원하는 경우 카메라의 값을 받아와 해당 영상의 Frame을 토대로 영상을 확인 시켜주며, 이에 따라 계단을 인지하였을 경우 Flag를 통하여 값을 전달하며 계단을 주행하는 것을 확인할 수 있다.(그림 7.)

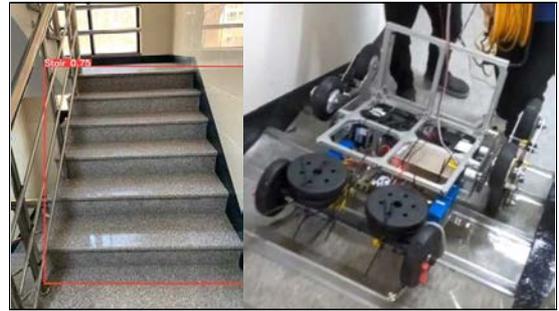


그림 7. 계단 인식 및 주행

### 4.2 보완성

카트의 높이 및 무게중심의 위치의 관계로 인해 정지한 상황에서의 중심잡기는 전반적으로 잘 이루어졌다. 유동적인 상황에서는 중심을 잡는데 개선이 필요하다. 현 시스템은 몸체의 길이  $L$ 이 1m인 상태이며 무게중심이 비교적 낮은 곳에 위치하며, 이때 그림 3번의 식을 참조하면, 결과값이 1초동안 기본 각도  $88^\circ$ 에서  $45^\circ$ 까지 급격하게 떨어지는 것을 확인할 수 있어 길이  $L$ 과 무게중심의 위치에 대한 보완이 필요할 것으로 보인다.

### 4.3 기존 방식 대비 개선된 장점

기존에 나와 있는 방식 중 비슷한 것이 사용자가 움직이는 수동 3륜 카트나 사용자의 움직임을 보조해주는 카트 등이 있었다.

본 스마트 수레의 경우 사용자의 보조 없이도 계단에서의 주행이 가능하며, 원하는 위치까지 자동 운반이 가능하다. 또한, 3륜 구조로 인해 계단 뿐만 아니라 평지에서의 운행도 가능한 전천후 방식이다.

### 참고문헌

- [1] H. G. Min, J. H. Kim, J. H. Yoon, E. T. Jeung and S. H. Kwon "A Control of Balancing Robot" *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*. Dec 01, 2010
- [2] Ren C. Luo, Ming Hsiao, Tsung-Wei Lin "Erect wheel-legged stair climbing robot for indoor service applications" *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* Nov 3-7, 2013
- [3] B. H. Hwang, J. S. Kong, J. G. Kim and U. Y. Huh "ZMP Control of a Humanoid Robot Using FSR Sensors" *CICS 04* Nov 12, 2004
- [4] Rhett Allain, "Let's explore the physics of rotational motion with a fidget spinner." *Wired*. May 23, 2017

본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.