

# 가변형 휠 기반의 ATV형 수색 로봇을 위한 얼굴 검출과 위치 추정에 관한 연구

박성현\*, 정혜원\*, 유혜빈\*, 박명숙\*, 김상훈\*

\*한경대학교 전기전자제어공학과

kimsh@hknu.ac.kr

## A Study on the Human Detection and Location Estimation for ATV Type Search Robot Based on Variable Wheel

Sung-Hyun Park\*, Hye-Won Jung\*, Hye-Bin Yoo\*, Myeong-Suk Park\*,  
Sang-Hoon Kim\*

\*Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering, HanKyong Nation  
University

### 요 약

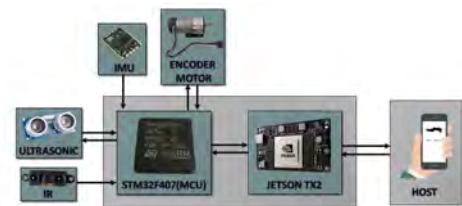
본 논문은 가변형 휠을 이용한 이동방식과 로봇 내부에서의 얼굴 검출과 위치 추정에 관한 연구이다. 임베디드 시스템에서 딥러닝을 이용한 얼굴 검출을 구현하기 위해 SSD에 기반을 둔 객체 검출 알고리즘을 사용하였으며, 로봇이 이동하면서 PID 제어를 통해 주행을 제어하고 이를 기반으로 상대적 위치 추정을 수행한다. 본 로봇은 수색 작업뿐만 아니라 더 나아가 구조 및 경찰의 용도로 발전할 수 있을 것으로 예상된다.

### 1. 서론

매년 자연재해 및 사고로 인한 부상자 및 사망자가 지속적으로 발생한다. 이러한 재난에서 구조가 필요한 사람을 구출하거나 더 큰 사고로 이어지는 것을 막기 위해 현장을 진압하는 과정에서 2차 사고가 발생하는 모습을 종종 볼 수 있다. [1] 다양한 유형의 재난현장에 출동하여 인명을 구조하고 재산피해를 최소화하는 임무를 하는 소방공무원의 경우를 보면 [2] 위험직무로 인한 순직비율은 69%이고, 일반순직(질병, 교통 사하 포함)의 비율은 31%이다. 이렇듯 2차 사고로 인해 순직하는 소방공무원의 비율이 일반순직보다 높다는 점은 우리에게 시사하는 바가 크다. 이러한 사회적 문제점을 해결하기 위해 [3] 드론, [4] 지상 수색 로봇 등 다양한 재난 대응 로봇이 출현했지만, 제한적인 환경, [5] 법적 제한문제와 장애물 등의 물리적 문제로 인해 사고 현장에서의 투입은 아직 미미한 상황이다.

위와 같은 단점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 Leg형의 가변형 휠을 연구하여 지상에서 높은 장애물을 마주하였을 경우 바퀴를 변형시켜 기존 일반 휠이 극복할 수 없는 높이의 장애물을 극복할 수 있

도록 설계를 하였다. 또한, 임베디드용 고성능 GPU가 내장된 임베디드 보드(Jetson TX2)를 이용하여 딥러닝을 로봇 내에서 구동하여 빠르고 정확한 사람 검출을 진행하고 검출된 위치는 로봇의 제어부에서 엔코더 모터와 IMU센서를 통해 위치를 계산하는 상대적 위치 추정을 수행한다.



(그림 1) 로봇 개념도

### 2. 하드웨어 구성

본 로봇은 Cortex-M4 계열의 MCU를 이용하여 IMU센서, 적외선 거리 센서, 초음파 센서, 엔코더 모터 등을 제어하며, 장애물 회피 및 바퀴변형, 위치 추정을 위한 데이터의 계산과 로봇의 안정적인 이동을 구현한다. 또한, 가변형 휠을 장착하여 높은 장애물을 극복할 수 있도록 설계되었고, 고성능 Embedded Software Platform인 Jetson TX2를 이용하여 딥

러닝을 로봇 내에서 동작할 수 있도록 구현하였으며, 후면부에 tail 형식의 지지대를 설계하여 서보모터를 통해 자세를 실시간으로 제어하여 로봇의 장애물 주행 시 안정성을 높였다.



(그림 2) 로봇 하드웨어

기존 이동하는 모바일 로봇의 경우 이동방식이 크게 일반형 휠, 캐터필러형, Leg형의 이동방식으로 나누어 볼 수 있다. 각각 이동방식의 장단점을 보면 일반형의 경우 이동속도가 빠른 장점이 있지만, 장애물이나 계단을 오르기 부적합하다. 캐터필러형의 경우 지면에 접촉하는 면적이 넓어 험난한 지형 같은 환경에서도 안정적으로 주행하는 장점이 있지만, 지형에 미끄러져 위치 추정에 어려운 측면을 가지고 있다. Leg 형의 경우 거친 지형이나 장애물에도 적용이 쉽다는 장점이 있지만, 메커니즘이 복잡하며 동력 소비가 크다는 단점을 가지고 있다.

<표 1> 이동방식 시스템 비교[6]

	wheel	Caterpillar	Leg
Soft ground	0	+	0
Rough ground	+	0	++
Speed	+	0	-
Agility	+	0	+
Stability	0	+	+
Adaptability	0	-	+
Complexity	+	+	-
Payload	+	+	-
Efficiency	+	0	-
Reliability	+	0	-
Fault tolerance	0	0	+
Environmental effects	0	-	+

<표 1>은 세 가지 타입의 이동방식에 대해 여러 가지 성능을 비교한 표이다. 본 로봇은 재난현장의 환경을 고려하여 개발하였기에 장애물을 넘을 수 있으며, Rough ground에서의 주행이 무리 없고, 환경에 적응이 빠른 Leg 형을 적용하되 빠른 임무 수행에 필요한 주행속도를 고려하여 가장 빠른 주행속도를 보여주는 일반 휠과 Leg형을 혼합한 (그림 3)와 같은 [7]가변형 휠을 설계하였다.



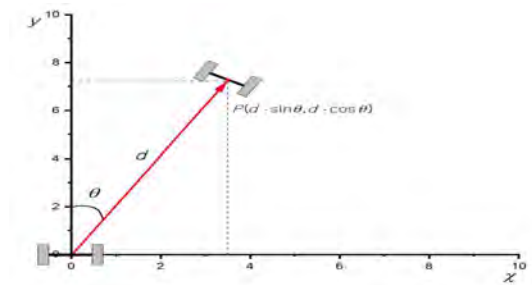
(그림 3) Leg형 가변 휠

### 3. 위치 추정과 주행제어

[8]사람이 검출된 위치는 모터와 홀센서가 결합한 형태의 엔코더 모터와 IMU센서의 회전값을 통하여 상대적인 위치 추정을 계산한다. 로봇에서 사용하는 엔코더 모터의 감속비가  $\zeta$ , 감속비 당 펄스는  $\zeta_p$ , 바퀴의 반지름을  $r$ , 펄스의 상승 엣지를 검출한 횟수를  $p$ 라고 하였을 때 로봇의 이동 거리(Distance)값은 식(1)로 표현된다.

$$Distance = \frac{p \times \zeta_p}{2 \times \pi \times r \times \zeta} \quad (1)$$

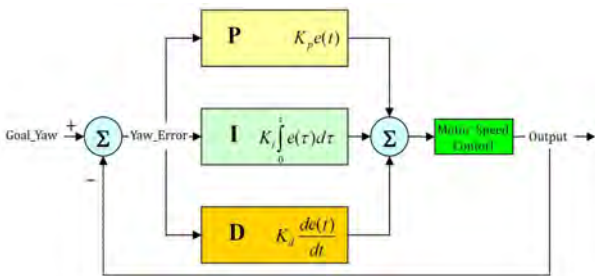
상대적인 위치를 계산하기 위해 삼각형 한 변의 길이와 그 양쪽 각을 통해 계산해 내는 수학 공식인 삼각측량법을 이용하여 값을 도출한다. 로봇이 IMU 센서를 통해 로봇이 회전한 각도인  $\theta$  값을 구하고, 엔코더 모터에서 도출된 데이터를 통해 거리를 구하고, 식(2)을 계산하여, 로봇의 위치인 점 P의 값을 추정한다.



(그림 4) 상대적 위치 추정[9]

$$\begin{aligned}
 x &= d \times \sin\theta \\
 y &= d \times \cos\theta
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

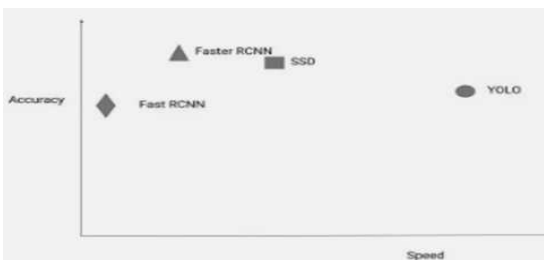
위 방식으로 상대적 위치를 추정하는 로봇은 험로 이동 시에 휘어지거나 흔들림이 큰 주행을 하게 되므로 산출된 위치의 오차값이 평지 주행시의 오차보다 크다. 따라서 본 로봇은 IMU센서의 Yaw값을 통해 목표로 설정한 Yaw값을 기준으로 발생하는 에러값의 수치에 따라 양쪽 모터의 속도를 서로 다르게 조절하는 (그림 5)와 같은 PID 제어 모델을 적용하여 로봇이 주행할 때 발생하는 흔들림이나 한쪽으로 휘어지는 현상을 보정하여 위치 추정 시 발생하는 문제를 해결하였다.



(그림 5) PID 제어 모델[10]

4. 얼굴 검출

얼굴 검출을 딥러닝으로 구현하기 위해 고려된 종류로는 크게 1단계 기반 검출기(One-Stage Detectors)와 2단계 기반 검출기(Two-Stage Detectors), 두 가지 종류가 있다. 2단계 기반 검출기의 경우, 한 장의 이미지에 매우 많은 네트워크를 사용하기 때문에 엄청난 연산량을 요구하게 되고, 검출속도가 느려진다. 본 논문에서 소개하는 로봇은 재난현장에서 사용되고 임베디드 환경에서 검출을 수행하기 때문에 빠르고 정확한 1단계 기반 검출기를 선택하였고, 다양한 딥러닝 알고리즘 중 (그림 6)와 같이 속도와 정확도의 그래프에서 가장 좋은 성능을 나타내는 알고리즘인 [11]SSD(Single Shot Multibox Detector)에 기반 객체 검출 알고리즘을 사용한다.

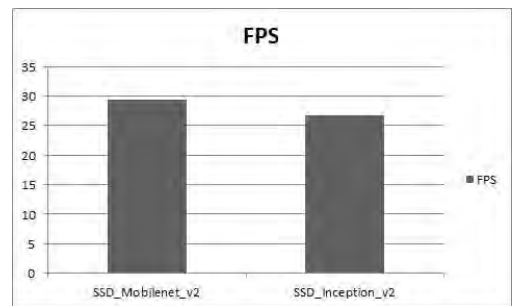


(그림 6) 딥러닝 기반 비전 알고리즘 성능 비교[12]

또한, 딥러닝 인퍼런스 최적화 라이브러리인 TensorRT를 사용하여 Optimizing을 진행하여, 기존보다 더 정확하고 빠른 검출 성능을 구현했다.

5. 실험 및 분석

본 논문에서는 객체 검출 네트워크 중 Mobilenet v2 Network를 사용하고, 이에 SSD를 결합하여 모델을 훈련하였다. 또한, TensorRT engine을 이용하여 기존의 성능보다 빠른 속도로 객체를 검출하는 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 COCO Dataset을 이용하여 SSD 기반 검출의 대표적인 모델인 Mobilenet v2와 Inception v2의 성능을 비교하였다. NVIDIA의 Jetson Inference 코드로 같은 조건에서 실시간 객체 검출 성능을 수행하였을 때, (그림 7)에서 볼 수 있듯 Mobilenet v2의 속도가 Inception v2보다 빠른 것을 확인할 수 있었다.



(그림 7) Mobilenet 와 Inception의 성능 비교(FPS)[13]

이후, 개방형 데이터셋인 WIDER FACE Dataset을 사용하여 사전 학습된 SSD Mobilenet v2를 API를 이용하여 Fine-Tuning을 진행한 결과 아래 (그림 8)와 같은 결과로 6개의 다양한 얼굴 모양에 대해 모두 정확하게 검출하는 결과를 볼 수 있다.



(그림 8) 얼굴 검출 결과[13]

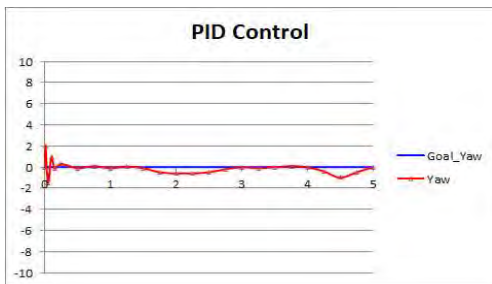
사람이 검출되면 해당 위치를 파악하기 위해 로봇 내부에서 엔코더 모터를 통해 산출한 거리값과 IMU 센서의 Yaw값의 변화를 이용한다. 본 실험은 로봇

의 주행제어 정확도를 위한 실험으로 지름이 12.5cm 인 바퀴와 감속비가 1/180, 감속비 당 펄스가 26pulse인 엔코더 모터를 사용하였다. 아래 <표 2>은 로봇이 5m의 거리를 0.5m마다 이동 거리를 계산했을 때의 결과이다. 실험 결과, 이동 거리가 늘어날수록 오차가 점점 누적되어 이동한 거리가 실제 거리보다 조금씩 상승하는 실험값을 볼 수 있었으며, 최종적으로 5m를 주행하였을 때 0.5m당 약 0.035m의 오차 평균이 발생하였다.

<표 2> 계산된 거리 결과값

Actual Distance	Calculated Distance
0.50m	0.49m
1.00m	1.01m
1.50m	1.52m
2.00m	2.06m
2.50m	2.57m
3.00m	3.10m
3.50m	3.58m
4.00m	4.08m
4.50m	4.61m
5.00m	5.15m

또한, 아래 (그림 9)은 주행제어를 위한 PID 제어 모델 실험의 결과로써, x축은 거리, y축은 로봇 내의 Yaw값을 의미한다. 그래프를 보면 로봇이 이동하면서 Yaw값이 Goal\_Yaw값에서 벗어나는 경우, 에러값을 다시 보상하는 실험 결과를 보였다.



(그림 9) PID 제어 실험 결과값[13]

7. 결론 및 향후 연구

본 논문은 고성능 Embedded Software Platform 인 Jetson TX2를 이용하여 고속 플랫폼 환경에서 얼굴 검출을 더욱 효과적으로 구현하고 정확도와 속도의 성능을 기존의 방식과 비교하여 빠른 검출에 더 적합한 딥러닝 네트워크 구조를 제시하였다. 또한, 엔코더 모터와 IMU센서를 이용한 상대적 위치 추정 방법 및 고안한 PID 제어 모델을 융합하여 비교적 정확한 로봇의 위치를 추정하는 방법을 제시하

였다.

향후 연구에서는 얼굴 검출에 필요한 Dataset의 양과 다양성을 개선하여 검출률을 향상하고, 부족한 정확도를 보완하는 연구가 필요하며, 더 극악의 환경에서도 로봇이 이동할 수 있는 휠 플랫폼과 위치 추정을 위한 기법의 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020R1F1A1067496).

참고문헌

[1] 조성일, 이현성, “순직·공상 소방공무원 사례 분석을 통한 안전사고 예방에 관한 연구”  
 [2]엄석원, 백민호, “소방공무원 순직 원인분석에 관한 연구”  
 [3]차정훈, 유제석, 박창우, “드론을 활용한 감식 데이터의 딥러닝에 관한 연구 : 재난현장 및 실종자 수색을 중심으로”, 한국화재감식학회 학회지, 9:3, 19-32  
 [4]박정길,이근재,박재병, “수색 구조 로봇을 위한 적외선 영상 기반 인명 인식”, 제어로봇시스템학회 논문지, 제22권 제 4호, 288-292  
 [5]김용호, 이경현, “드론에 의한 프라이버시 침해 방지 및 운용상 문제 해결을 위한 입법 제안”, 정보보호학회 논문지, 제27권 제5호, 1141-1147  
 [6]곽명남, 양현석, “평지 및 계단주행이 가능한 하이브리드 휠에 대한 연구”, 한국정밀공학회 학술발표대회, 2010년, 373-374  
 [7]Chuanqi Zheng, Kiju Lee, “WheeLeR: Wheel-Leg Reconfigurable Mechanism with Passive Gears for Mobile Robot Applications”, International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019  
 [8]김정민, 도주철, 김성신, “엔코더와 자이로를 이용한 각속도 오차 최소화”, 한국지능시스템학회 논문지, 제20권 제6호, 814-819  
 [9]김현섭, 박재민, 신동호, 김형훈, 김상훈, “벽면 이동 로봇을 이용한 벽면 균열 위치추정에 관한 연구”, 한국정보처리학회 추계학술발표 대회, 2019년, 660-663  
 [10]<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pid-feedback-nc-t-int-correct.png>  
 [11]Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg/UNC Chapel Hill Zoox Inc. Google Inc. University of Michigan, Ann-Arbor - SSD: Single Shot MultiBox Detector  
 [12]CV-Tricks.com-Learn Machine Learning, AI & Computer vision - object-detection/faster-r-cnn-yolo-ssd  
 [13]유혜빈, 박명숙, 김상훈, “TensorRT와 SSD를 이용한 실시간 얼굴 검출방법”  
 [14]<https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15883-f15/lectures/cerebellum-controller/pid.xls>