

## 이동 로봇 추적을 위한 스테레오 영상기반 퍼지 추적제어

# Fuzzy Tracking Control Based on Stereo Images for Tracking of Moving Robot

민현홍\*, 유동상\*\*, 김용태\*\*†

Hyun-Hong Min, Dong-Sang Yoo and Yong-Tae Kim†

\*(주)지승

\*\*한경대학교 전기전자제어공학과, 스마트물류기술연구센터

### 요 약

로봇들의 협동 작업을 위해서는 다양한 환경에서 다른 로봇들을 인식하고 추적하는 기술이 요구된다. 본 논문에서는 코드북 모델과 스테레오 영상 처리를 이용하여 이동 로봇을 인식하고, 퍼지 제어를 사용해 추적하는 이동 로봇 추적 제어 시스템을 제안한다. 먼저 코드북 모델을 사용하여 영상의 전경과 배경을 분리하였다. 분리된 전경에서 색상정보를 기반으로 관심영역을 구해내고, 스테레오 영상처리를 통해 얻은 깊이 영상을 기반으로 이동 로봇까지의 실제 거리를 추정한다. 각 거리에 따라 열림 및 닫힘 연산을 적용하고, 모듈형 로봇의 크기에 맞춰 라벨링을 통해 효과적으로 이동 로봇을 인식한다. 추출된 이동 로봇의 움직임에 따른 효과적인 추적을 위하여 스테레오 영상 처리를 통해 얻은 거리 정보와 로봇의 이동 정보를 이용해 퍼지 제어를 설계하여 이동 로봇 추적 시스템을 제안하였다. 제안한 퍼지 추적 제어 시스템의 성능은 실제 이동 로봇의 추적 실험을 통하여 검증하였다.

**키워드 :** 퍼지 제어, 추적 제어, 코드북 모델, 스테레오 영상, 이동 로봇

### Abstract

Tracking and recognition of robots are required for the cooperation task of robots in various environments. In the paper, a tracking control system of moving robot using stereo image processing, code-book model and fuzzy controller is proposed. First, foreground and background images are separated by using code-book model method. A candidate region is selected based on the color information in the separated foreground image and real distance of the robot is estimated from matching process of depth image that is acquired through stereo image processing. The open and close processing of image are applied and labeling according to the size of mobile robot is used to recognize the moving robot effectively. A fuzzy tracking controller using distance information and mobile information by stereo image processing is designed for effective tracking according to the movement velocity of the target robot. The proposed fuzzy tracking control method is verified through tracking experiments of mobile robots with stereo camera.

**Key Words :** Fuzzy Control, Tracking Control, Code-book Model, Stereo Image, Moving Robot

## 1. 서 론

최근에는 다중 로봇들의 상호 인식 및 협력 작업에 대한 관심이 증가하고 있다. 다중 로봇 시스템은 다양한 환경에서 주어진 작업을 로봇 팀의 협동 작업으로 수행하는 시스템을 의미한다[1]. 완전 무인화된 환경에서 로봇들의 협력 작업이 가능하려면 조작 제어 기술, 환경 인식 기술, 주행 기술, 자가 결합 기술 등의 요소 기술이 요구된다. 특히 사

람이 접근하기 어려운 지형이나 재해 환경과 같은 열악한 조건에서 로봇 간의 협동 작업 및 결합을 위해서는 환경인식 기술이 바탕이 된다. 환경 인식을 위한 센서로는 레이저 센서, 카메라, 스테레오 카메라 등이 있다. 이러한 센서 중에서 스테레오 카메라는 다른 환경인식 센서들에 비해 인식과 거리측정이 동시에 가능하여 이동 로봇에 적용하기 적합하다. 좌우 영상의 불일치를 이용해 목표 객체의 깊이 정보를 얻어낼 수 있어서 3차원 작업 공간에서 활용이 가능하다[2-5]. 그러나 스테레오 추적제어시스템에서는 주위 입력 영상의 배경이 복잡해지고 변화가 많으며, 연산량이 증가하여 목표 객체의 인식에 많은 어려움이 생긴다. 표적 로봇의 인식에 대한 문제점의 해결을 위해서 스테레오 카메라를 사용한 연구들은 표적 로봇의 추출 및 추적에 중점을 두고, 전경과 배경의 분리와 표적로봇의 거리 측정을 통한 추적 제어 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다[6-10].

본 논문에서는 로봇의 이동 속도에 따른 안정적인 추적을 위해 퍼지 제어를 적용하여 추적하는 방법을 제안하였

접수일자: 2012년 2월 26일

심사(수정)일자: 2012년 4월 5일

게재 확정일자 : 2012년 4월 9일

†교신저자

본 연구는 경기도의 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사업의 일환으로 수행하였음. [GRRC 한경2011-B02, 스마트물류기술연구센터]

다. 먼저 배경 학습 방법들 중에서 성능이 뛰어난 코드북 모델을 이용하여 배경을 학습하고, 전경과 배경을 분리한다. 분리된 전경을 관심영역으로 정하고, 스테레오 영상처리를 통해 얻은 깊이 영상과 매칭시켜 실제 이동 로봇까지의 거리를 추정한다. 거리에 따라 적합한 영상처리를 적용하여 표적 로봇의 추출하는 방법을 제안하였다. 추출된 로봇의 이동에 따라 팬틸트 추적하는 짐벌 기구의 퍼지 제어를 설계하였다. 또한 짐벌 기구의 회전에 따라 표적 로봇을 추적하는 퍼지 추적 제어를 제안하였다. 제안한 이동 로봇 추적제어시스템은 스테레오 카메라의 안정적인 추적 제어를 위해 고안된 2축 짐벌 제어 기구와 이동 로봇들을 이용하여 실제 실험을 통해 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 이동 로봇 추적제어시스템 구성을 설명하고, 3장에서는 스테레오 영상처리와 코드북 모델을 바탕으로 퍼지 추적 제어 기법을 제안하였다. 4장에서는 제안한 추적제어 방법의 실험 결과를 설명하고, 5장에서는 결론을 맺었다.

## 2. 로봇 추적제어시스템의 구성

스테레오 영상기반 로봇 추적제어시스템은 그림 1과 같이 2축 짐벌 제어 기구, 스테레오 카메라, 주제어기, 모션제어기와 모듈형 로봇으로 구성된다.

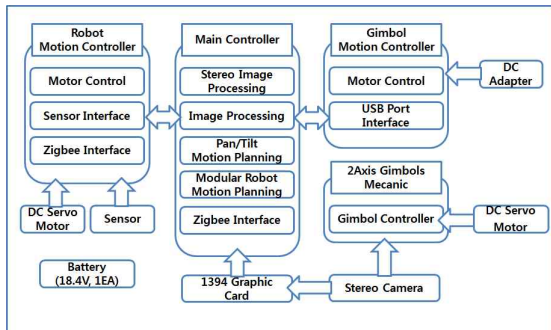


그림 1. 스테레오 영상기반 로봇 추적제어시스템 구성  
Fig. 1. Overall structure of moving object tracking system based on stereo images

2축 짐벌 기구는 제어 기구 중심축과 카메라 중심축이 일치하도록 설계하였으며, 스테레오 카메라와 2개의 DC 서보 모터, 짐벌 기구로 구성되어 있다[8]. DC 서보 모터는 37.7kgf·cm의 토크를 낼 수 있으며, 감속과 제어 등의 기능 지원이 가능한 로보티스사의 RX-28 모터를 사용하였다. RX-28 모터는 정밀도에 있어 약 0.3°의 오차를 보이지만, 제어 정밀도를 높이기 위해 짐벌 기구에 별도의 웹 기어를 추가하여 오차 정밀도를 0.03°까지 낮추어 정밀도를 높였다. 스테레오 카메라는 포인트 그레이사의 범블비로 640x480의 해상도를 가지며, 렌즈 간격은 12cm이고, 초당 48 프레임의 처리가 가능하다. 근거리에서는 약 2cm의 오차를 가지고, 40m 정도의 거리에서는 약 1m의 오차를 보인다[11]. 주제어기는 PC를 사용하여 구현하였다. 스테레오 카메라를 통해 외부 환경을 감지하며, 다양한 영상처리와 팬틸트 추적 제어 기능, 로봇 주행 제어 기능과 지그비 통신을 수행한다. 모션 제어기는 Atmega8 기반 마이크로컨트롤러를 사용하였다.

USB 인터페이스를 통해 PC와 통신하며, 2축 짐벌 제어 기구에 설치된 2개의 DC 서보 모터를 제어한다.

모듈형 이동 로봇은 모션 제어기로 Atmega 2561보드를 사용하여 모터 제어, PSD 센서 인터페이스, 지그비 통신을 수행한다. 바퀴의 구동을 위한 모터는 10V 전압에서 16.5kgf·cm의 토크를 낼 수 있는 DC 서보 모터를 사용하였으며, 35cm까지 측정 가능한 PSD 센서를 로봇의 전면에 장착하였다. 본 논문에서 사용한 실제 이동 로봇은 다음의 그림 2와 같다.



그림 2. 스테레오 카메라를 장착한 이동 로봇  
Fig. 2. Mobile robot with stereo camera

## 3. 이동 로봇 퍼지추적제어기 설계

### 3.1 코드북 모델과 관심 영역 분리

카메라 영상에서 이동 로봇의 추출을 위해서는 실시간으로 전경과 배경의 분리가 필요하다. 전경과 배경을 분리하기 위해 코드북 모델을 사용하면 카메라의 이동에 따라 변화되는 배경에 대한 정보를 학습하여 배경모델을 생성할 수 있다[5]. 또한 배경모델을 생성 이후에 새로 들어오는 로봇을 전경으로 분리할 수 있어서 보다 정확한 이동 로봇의 검출이 가능하다.

코드북 모델에서는 시간에 따른 픽셀 값의 변화에 따라 블랍(blob) 형태로 색상 모델을 구성하게 된다. 블랍들은 3차원 색 공간에서 박스 형태의 색상 모델로 설정된다. 이러한 형태의 색상 모델은 메모리 요구량이 적으며, 특정 픽셀 값을 검사하는데 걸리는 시간도 짧아지는 장점이 있다. 각각의 박스는 두 개의 학습 임계값을 갖는다. 들어온 픽셀 값이 경계 임계값에 학습 임계값을 더하거나 뺀 값 사이에 위치할 경우, 경계 임계값을 확장시켜 박스의 크기를 키운다. 그렇지 않은 경우는 새로운 박스를 하나 더 생성하여 색상 모델을 구성하게 된다[6].

코드북 모델을 이용해 전경과 배경을 나누고 관심영역을 찾는 알고리즘은 다음의 그림 3과 같다. 배경학습에 있어서 RGB색 공간을 사용하는 것보다 YUV와 같이 하나의 성분은 밝기 값을 나타내는 형태로 구성된 색 공간을 사용하는 것이 더 좋은 성능을 가지기 때문에 입력 영상을 YUV 영상으로 변환하여 배경 모델을 학습하였다. 학습 중에 오랫동안 사용되지 않아 효율을 잃은 코드북 항목은 지속적으로 제거함으로써 잡음 또는 움직이는 전경 로봇에 의한 영향을 줄였다. 배경모델의 학습이 완료되면 상위 임계값과 하위 임계값을 조절한다. 마지막으로 입력영상의 YUV 세 개의 채널이 모두 상위 임계값과 하위 임계값 사이에 존재한다면 배경으로 나타내고, 이외의 경우는 전경으로 나누어 나타낸다. 코드북 모델을 통해 분리된 전경 영상은 YCbCr 컬러 영상으로 변환하여 색정보를 기반으로 이동 로봇 후보 영역

을 찾는다.[12] YCbCr 색상 공간으로 변환하여 색상정보를 찾으면 RGB 색상 공간에서 찾는 것에 비해 빛의 영향을 덜 받을 수 있어 보다 정확히 원하는 로봇을 찾을 수 있다. 또한 모듈형 로봇의 색인 파란색을 Cb 채널의 조절만으로 쉽게 구분할 수 있는 장점이 있다. 색상정보를 기반으로 로봇의 영역을 찾은 후에는 닫힘 연산을 통해 영역을 키우고 라벨링을 통해 이동 로봇 후보영역을 찾는다[8].

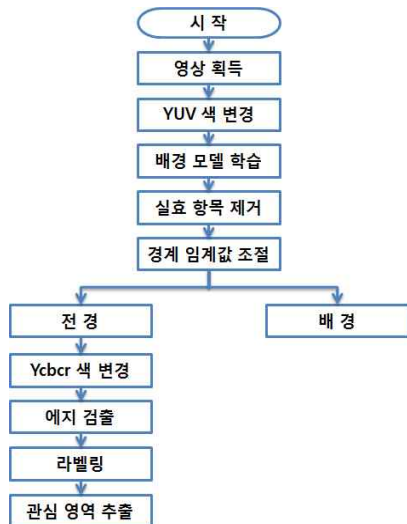


그림 3. 코드북 모델을 이용한 관심영역 추출 알고리즘  
Fig. 3. Target region extraction algorithm using code-book model

코드북 모델을 적용하여 전경과 배경을 분리한 결과는 다음 그림 4와 같다. 그림 4 (a)는 현재 배경으로 학습되어 있는 화면이다. 그림 4 (b)와 같이 모듈형 로봇이 새로 나타나면 새로운 객체로 인식하고 전경과 배경으로 나누게 된다. 그림 4 (c)와 그림 4 (d)는 코드북 모델에 의해 나누어진 전경과 배경을 보여준다.



그림 4. 코드북 모델을 사용한 전경과 배경의 분리  
Fig. 4. Segmentation of foreground and background images using code-book model

### 3.2 스테레오 영상처리를 사용한 3차원 좌표 추출

스테레오 카메라 방식 중에 두 대의 카메라를 사람의 눈 간격과 비슷한 거리로 평행하게 고정시켜 두고, 영상을 획득할 수 있게 설계된 경우에 평행식 스테레오 카메라라고 한다. 평행식 스테레오 카메라는 거리 측정에 유용하게 사용할 수 있으며, 다음의 식 1을 통해 작업 공간상의 로봇까지의 거리와 좌표  $(x_p, y_p, z_p)$ 를 측정할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (y_1 \times z_p)/f \\ (y_2 \times z_p)/f \\ (b \times f)/(y_1 - y_2) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$f$ 는 카메라의 조점거리를 나타내며, 좌우 카메라에서 동일하게 나타난다.  $b$ 는 좌우 카메라간의 베이스선 거리를 나타내며,  $y_1$ 과  $y_2$ 는 좌우 점들의 수평 위치를 나타내며,  $y_1 - y_2$ 는 시차를 나타낸다.

스테레오 카메라에서 얻어지는 좌우 영상의 차이를 이용하여 목표물의 깊이 영상을 구한다. 먼저 좌우 영상이 입력되면 저주파 필터와 영상 정정(rectification)을 거쳐 렌즈에 의한 왜곡을 제거하게 된다. 영상 정정을 통해 스테레오 정합시에 좌측 영상의 한 점에 대해 우측영상에서 많은 영역을 검색해서 정합해야 하던 것을 동일한  $y$  좌표를 가로지르는 가로선 하나만을 검색하게 해주어 연산속도를 빠르게 해준다. 그림 5는 스테레오 영상을 기반으로 로봇의 3차원 좌표를 구해서 영상에 표시한 결과를 보여준다.



그림 5. 로봇의 3차원 좌표 표시  
Fig. 5. Display of 3-dimensional coordinates of robot

### 3.3 이동 로봇 추출 및 거리 추정 알고리즘

이동 로봇 추적제어시스템에서 이동 로봇의 안정적인 추적을 위해서는 정확한 로봇의 추출과 거리를 구해내는 것이 중요하다. 표적 로봇의 거리를 알게 되면 추출하고자 하는 로봇의 크기에 따라 구분하여 로봇을 추적할 수 있어 보다 정확하고 신속한 이동 로봇의 추적이 가능하다.

본 논문에서는 코드북 모델과 스테레오 영상처리를 이용하여 이동 로봇을 추출하고 거리를 구했다. 전체적인 이동 로봇 추출 알고리즘은 다음의 그림 6과 같다. 먼저 코드북 모델을 이용해 찾아낸 이동 로봇 후보 영역을 스테레오 영상처리를 통해 얻어낸 깊이 영상과 정합하여 거리 정보를 얻어 내었다. 얻어낸 거리가 가까울 경우에는 로봇이 크고 정확하게 잡히므로 열림 연산을 통해 잡음을 제거하고, 라벨링 영역을 크게 하여 로봇을 정확하게 추출하였다. 거리가 멀 경우에는 로봇이 작고 정확하게 잡히지 않으므로 닫힘 연산을 통해 잘 잡히지 않은 부분을 채워주고, 라벨링 영역을 작게 하여 로봇을 추출하였다.



그림 6. 이동 로봇 추출 알고리즘

Fig. 6. Extraction algorithm of moving robot

다음의 그림 7은 이동 로봇 추출 알고리즘을 통해 추출된 영상을 보여준다. 그림 7(a)는 학습된 배경 영상에 새로운 로봇이 나타났을 경우에 색상 정보를 통해 로봇을 분리한 결과를 나타내며, 그림 7(b)는 동일한 색상의 로봇이 들어왔을 경우에 크기를 바탕으로 표적 로봇을 분리해 낸 결과를 보여준다. 그림에서 첫번째 영상은 현재 배경으로 학습되어 있는 화면이다. 두번째 영상과 같이 로봇이 배경 영상에 나타나게 되면, 새로운 로봇으로 인식하고 전경과 배경으로 나누어지게 된다. 세번째 영상은 분리된 전경을 보여주며, 네번째 영상은 추출하고자 하는 표적 로봇의 정보를 바탕으로 이동 로봇 후보 영역을 구하고, 로봇을 추출한 결과 영상을 보여준다.

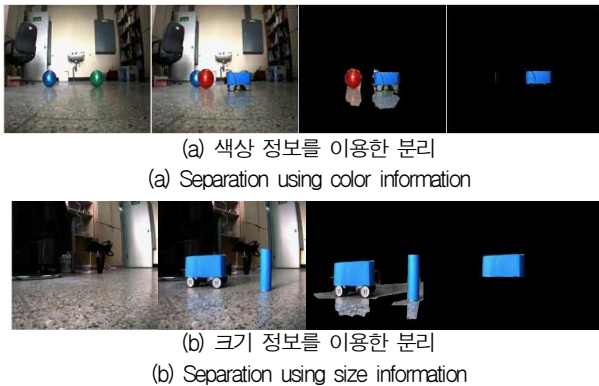


그림 7. 이동 로봇 추출 영상  
Fig. 7. Extraction images of moving robot

### 3.4 짐벌 기구의 팬틸트 퍼지 제어

본 논문에서는 이동 로봇의 안정적인 추적을 위해서 먼저 짐벌 기구가 추적을 선행하고, 짐벌 기구의 회전값을 이용하여 로봇을 추적하도록 설계하였다.

로봇의 속도 변화에 적응적인 추적을 위하여 짐벌 기구의 팬틸트 제어의 퍼지 영역은 다음의 그림 8과 같이 구분하였다. 설정한 거리에 따라서 4개의 퍼지 영역(ZO, PS, PM, PB)과 팬축 이동량에 따라서 9개의 퍼지 영역(LB, LM, LS, LSS, ZO, RSS, RS, RM, RB), 틸트축 이동량에 따라서 7개의 퍼지 영역(BB, BM, BS, ZO, TS, TM, TB)으로 분할하여 퍼지 소속 함수를 구성하였다. 각각의 영역에 따라 짐벌 기구의 추적 제어를 유연하게 하기 위해 퍼지 추론을 적용하여 자연스러운 추적이 이루어지도록 하였다.

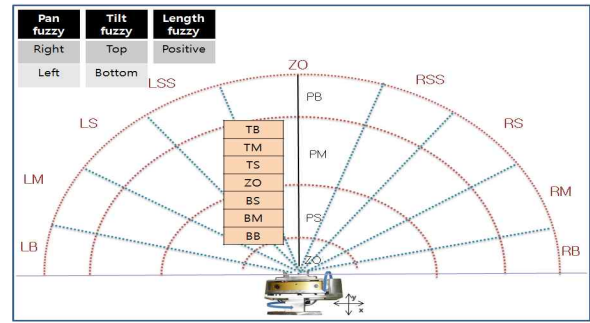


그림 8. 팬틸트 제어를 위한 퍼지 영역 분할

Fig. 8. Fuzzy region partition for pan-tilt control

그림 9 (a)는 추적제어시스템과 로봇간의 거리  $l$ 의 퍼지 소속 함수이고, 그림 9 (b)는 팬축 이동량( $X_{move}$ )에 대한 퍼지 소속 함수, 그림 9 (c)는 틸트축 이동량( $Y_{move}$ )에 대한 퍼지 소속 함수이다. 거리  $l$ 에 따라 추적 제어시스템의 기준 속도를 정할 수 있기 때문에 4개의 퍼지 영역으로 차등 분할하였다. 또한 팬축과 틸트축의 이동량에 따라 이동 로봇의 속도를 추정하여 모터를 제어할 수 있다. 팬축 영상의 픽셀 크기가 틸트축 영상의 픽셀 크기보다 크기 때문에 중심 좌표와 이동 로봇의 좌표 사이의 차이에 따라 팬축은 9개의 퍼지 소속 함수, 틸트축은 7개의 퍼지 소속 함수로 각각 분할하였다.

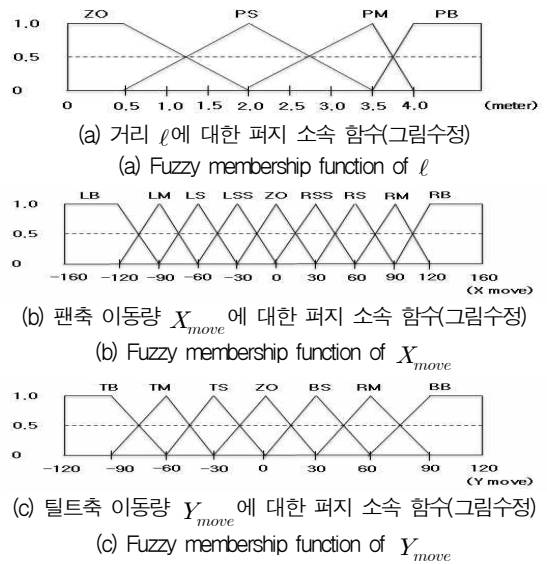


그림 9. 팬틸트 제어기의 소속 함수

Fig. 9. Membership function of pan-tilt controller

표 1과 표 2는 팬축과 틸트축 제어기의 퍼지 제어 규칙을 나타낸다. 이동 로봇과 추적시스템의 거리에 따라 짐벌 기구의 제어 속도를 조절할 수 있도록 팬축은 36개, 틸트축은 28개의 퍼지 판단 규칙에 따라 짐벌 기구의 추적 속도를 선택한다. 퍼지 추론 규칙에서 VF는 짐벌 기구의 추적속도를 제일 빠르게 하는 경우이며, VSS는 가장 느린 속도를 나타내고, ZO는 로봇의 이동이 없는 상태로 판단하고 정지를 하게 된다. 퍼지 추론 방식은 Min-Max 방법을 사용하고 비퍼지화 방법은 무게 중심법을 사용하였다.



표 1. 팬 제어기의 퍼지 제어 규칙

Table 1. Fuzzy control rules for the pan controller

$\ell$ \ $X_{move}$	NB	NM	NS	NSS	ZO	PSS	PS	PM	PB
ZO	VF	VF	VSS	VSS	ZO	VSS	VSS	VF	VF
PS	VF	VF	VS	VSS	ZO	VSS	VS	VF	VF
PM	VF	VM	VS	VSS	ZO	VSS	VF	VM	VF
PB	VF	VM	VS	VSS	ZO	VSS	VS	VM	VF

표 2. 틸트 제어기의 퍼지 제어 규칙

Table 2. Fuzzy control rules for the tilt controller

$\ell$ \ $Y_{move}$	BB	BM	BS	ZO	TS	TM	TB
ZO	VF	VF	VS	ZO	VS	VF	VF
PS	VF	VS	VS	ZO	VS	VS	VF
PM	VF	VM	VS	ZO	VS	VM	VF
PB	VF	VM	VS	ZO	VS	VM	VF

3.5 모듈형 로봇의 퍼지 추적 제어

모듈형 로봇으로 이동하는 로봇을 실제로 추적하는데 있어서 짐벌 기구와 연동하여 추적하면 보다 정밀한 추적 제어가 가능하다. 그림 10과 같이 모듈형 로봇의 퍼지 추적 제어를 위해 표적 로봇까지 거리에 따른 5개의 퍼지 영역(ZO, PSS, PS, PM, PB)과 짐벌 기구의 모터 회전값에 따른 7개의 퍼지 영역(LB, LM, LS, ZO, HS, HM, HB)로 분할하여 퍼지 소속 함수를 구성하였다.

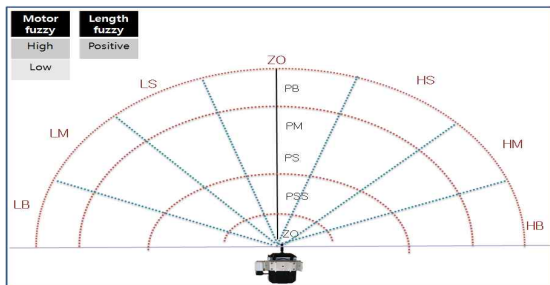
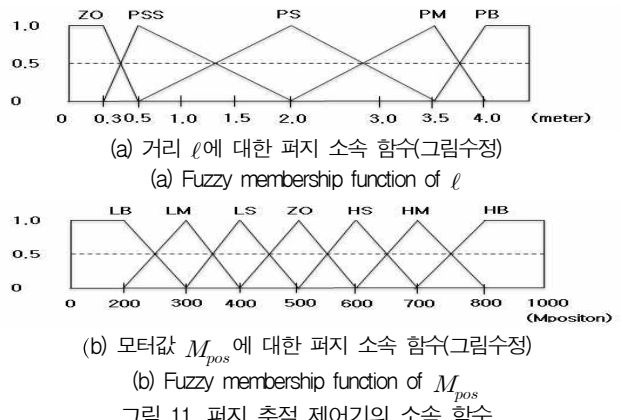


그림 10. 추적 제어를 위한 퍼지 영역 분할

Fig. 10. Fuzzy region partition for tracking control

그림 11 (a)는 추적 로봇과 이동 로봇간의 거리  $\ell$ 의 퍼지 소속 함수이고, 그림 11 (b)는 짐벌 기구의 모터 회전값( $M_{pos}$ )에 대한 퍼지 소속 함수를 나타낸다. 거리  $\ell$ 에 따른 로봇의 이동 속도와 짐벌 기구의 이동 속도를 고려하여 차등 분할하였으며, 짐벌 기구의 모터값은 최소 0, 최대 1000까지로 설정하였다.

표 3은 이동 로봇 추적 제어기의 퍼지 제어 규칙을 나타낸다. 이동 로봇과 추적 로봇의 거리와 짐벌 기구의 모터 회전값에 따라 모듈형 로봇의 주행을 제어할 수 있도록 35개의 판단 규칙에 따라 로봇 양측 바퀴 모터의 속도를 제어한다. 퍼지 제어 규칙에서 NSS는 바퀴가 뒤로 느리게 회전하는 경우이며, PBB는 앞으로 빠르게 회전하는 경우이고, ZO는 바퀴가 회전하지 않는 경우이다. 퍼지 추론 규칙에 따라 좌우 바퀴의 회전 속도를 제어하여, 표적 이동 로봇의 거리와 방향에 맞추어서 추적 로봇의 주행을 제어하게 된다. 퍼지 추론 방식은 Min-Max 방법을 사용하고, 비퍼지화 방법으로는 무게 중심법을 사용하였다.



(a) 거리  $\ell$ 에 대한 퍼지 소속 함수(그림수정)

(a) Fuzzy membership function of  $\ell$

(b) 모터값  $M_{pos}$ 에 대한 퍼지 소속 함수(그림수정)

(b) Fuzzy membership function of  $M_{pos}$

그림 11. 퍼지 추적 제어기의 소속 함수

Fig. 11. Membership function of fuzzy tracking controller

표 3. 추적 제어기의 퍼지 제어 규칙

Table 3. Fuzzy control rules for the tracking controller

$\ell$ \ $M_{pos}$	LB	LM	LS	ZO	HS	HM	HB
ZO	NM /PM	NS /PS	NSS /PSS	ZO /ZO	PSS /NSS	PS /NS	PM /NM
PSS	PSS /PM	PS /PM	PSS /PS	PSS /PSS	PS /PSS	PM /PS	PM /PSS
PS	PS /PB	PM /PB	PS /PM	PS /PS	PM /PS	PB /PM	PB /PS
PM	PSS /PB	PS /PB	PM /PB	PM /PM	PB /PM	PB /PS	PB /PSS
PB	PS /PBB	PM /PBB	PB /PBB	PB /PB	PBB /PB	PBB /PM	PBB /PS

3.6 전체 로봇 추적 제어 알고리즘

이동 로봇 추출 및 거리 산출 알고리즘과 짐벌 기구와 로봇의 퍼지 추적 제어기를 이용한 전체 이동 로봇 추적 제어 알고리즘은 그림 12와 같다. 코드북 모델을 이용하여 전경과 배경을 분리하고, 스테레오 영상을 바탕으로 이동 로봇 추출 및 거리 산출을 한다. 이동 로봇과의 거리와 영상에서의 이동량을 계산하여 팬틸트 퍼지 제어기를 통해 짐벌 기구를 제어하고, 짐벌 기구의 회전값에 따라 모듈형 로봇을 움직여 추적을 진행하게 된다.

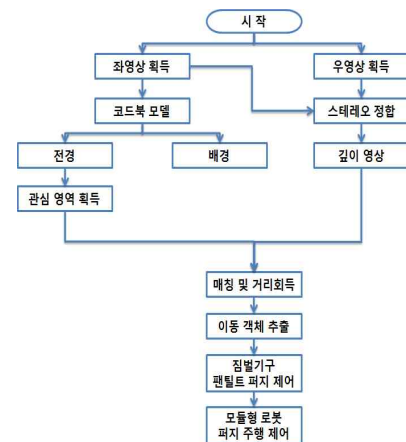


그림 12 이동 로봇 추적 제어 알고리즘

Fig. 12. Tracking control algorithm of moving robot

### 4. 실험 및 결과

제안된 이동 로봇 추적 제어 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 두 대의 모듈형 로봇을 제작하여 실험을 수행하였다. 코드북 모델과 차영상 이용 방법간의 이동 로봇 후보 영역 추출 성능 비교를 위해 각 상황마다 반복실험을 하였으며, 실험 결과는 다음 표 4와 같다. 배경이 복잡해지거나 로봇의 속도가 변할 경우 코드북 모델이 차영상법에 비해 높은 성능을 보이는 것을 확인하였다. 다음의 표 5는 모터의 제어 경로들에 따른 코드북 모델의 배경 모델 학습 오차를 나타낸다. 학습 완료 후 카메라의 이동에 따라 배경을 전경으로 잘못 인식하게 되는 경우의 빈도와 화면에서 전경으로 오인되는 범위의 비율을 나타낸다. 4 가지의 배경 학습경로 중에서 첫번째 경로와 네번째 경로로 배경모델을 생성할 때 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 첫번째 경로가 네 번째 경로에 비해 단순한 이동으로 높은 성능을 보였다.





표 4. 관심영역 추출 성능 실험 결과

Table 4. Experimental result of extraction performance of target region

실험 환경	차영상법 오차율	코드북 모델 오차율
조명 변화 없음	0.9%	0.8%
조명 변화 있음	5.5%	4.5%
로봇 속도 느림	7%	0.5%
로봇 속도 보통	5%	0.7%
로봇 속도 빠름	3%	1.0%
배경이 복잡함	10%	2.5%

표 5. 배경 학습 이동 경로에 따른 오차율

Table 5. Error rate of moving trajectory of background learning

배경 학습 이동 경로	오차율
	5%
	18%
	8%
	5%

실제 실험은 모듈형 로봇이 원 형태의 이동과 좌우 이동을 하는 로봇 추적 실험을 진행하였다. 다음의 그림 13은 이동 로봇의 추적 실험 장면을 보여준다. 각각의 상황에서 10회씩 5번의 추적을 진행한 결과 원 형태의 이동에 대해서는 약 80%, 좌우 형태의 이동에 대해서는 약 82%의 성공률을 보여주었다.



(a) 원 궤적 추적  
(a) Circle trajectory tracking



(b) 좌우 이동 궤적 추적  
(b) Tracking of left and right moving trajectory  
그림 13. 이동 로봇의 추적 제어 실험 장면

Fig. 13. Experiment scenes of tracking control of moving robot

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 이동 로봇의 안정적인 추적을 위해 코드북 모델과 스테레오 영상을 기반으로 한 퍼지 추적 제어를 이용해 이동 로봇을 추적하는 방법을 제안하였다. 모듈형 로봇을 사용한 실험으로 전경과 배경의 분리, 관심 영역의 거리 측정에 따른 영상 처리와 퍼지 추적 제어에 의한 이동 로봇 추적의 성능을 검증하였다. 일반적인 환경에서는 높은 성공률을 보이지만, 조명의 급격한 변화나 이동 로봇의 급격한 속도 변화가 있을 경우에는 성공률이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이를 해결하기 위해 복합 센서를 사용하여 보다 정확하게 주위 환경을 인식하는 기술을 연구할 예정이다. 본 논문에서 제안한 이동 로봇의 추적 제어 시스템은 물류 로봇, 재구성 로봇, 보행자 추적, 침입 감지 등의 다양한 무인 자동화시스템에 사용할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 나두영, 노수희, 문형필, 정진우, 김용태, “모듈형 로봇의 자가 결함을 위한 퍼지 주행 제어 및 장애물 회피 제어”, *한국지능시스템학회 논문집*, 제 19권 4호, pp. 470-477, 2009.
- [2] 조지승, 정병복, 최인수, 노상현, 임윤규, “Pan/Tilt 스테레오 카메라를 이용한 이동 로봇의 강건한 시각추적”, *한국정밀공학회지*, 제 22권 9호, pp. 77-84, 2005.
- [3] J. Hwang, K. Huh, “Vehicle detection system design based on stereo vision sensors,” *International journal of automotive technology*, vol. 10, no. 3 pp. 373-379, 2009.
- [4] 고정환, “스테레오 비전 시스템을 위한 표적로봇의 배경 분리”, *디지털산업정보학회 논문지*, 제 4권 1호, pp. 25-31, 2008.
- [5] 한철훈, 심귀보, “스테레오 비전 기반 이동 로봇의 실시간 지도 작성 기법”, *한국지능시스템학회 논문집*, 제 20권 1호, pp. 60-65, 2010.
- [6] K. Kim, T. H. Chalidabhongse, D. Harwood, and L. Davis, “Real-time foreground-background segmentation using codebook model”, *Real-Time Imaging*, vol. 11, pp 167-256, 2005.
- [7] 이민중, 진태석, 황기현, “퍼지기법을 이용한 영상분할 및 로봇추적에 관한 연구”, *한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지*, 제 17권 3호, pp 368-373, 2007.
- [8] 민현홍, 박종환, 김용태, “코드북 모델을 이용한 스테레오 영상 이동객체 추적시스템”, *한국지능시스템학회 2011년도 춘계학술대회 학술발표논문집*, pp. 55-56, 2011.
- [9] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. Davis, “W4S: A real time system for detecting and tracking people in 2.5D”, *Proc of 5th European Conference on Computer Vision*, Freiburg, 1998.
- [10] J. S.Lee, J. J.Kim, J. H.Ko and E. S.Kim, “Realtime stereo object tracking system using the block-based window mask an optical BPEJTC”, *Proc. SPIE's Aero Sense*, vol. 4388, pp. 296-302, 2001.
- [11] 고정환, *3차원 입체비전 기법에 기반한 새로운 스테레*

오 물체 감시추적 및 이동로봇 시스템의 구현, 박사 학위 논문, 광운대학교, 2004.

[12]한명희, 김경섭, 윤태호, 신승원, 김인영, "YCbCr 컬러 영상 변환을 통한 얼굴 영역 자동 검출", *대한전기학회 2005 정보 및 심포지엄 논문집*, pp. 63-65, 2005.

저 자 소 개



민현홍(Hong-Hyun Min)

2009년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업  
공학사

2011년 : 한경대학교 바이오정보기술대학원 졸업  
공학석사

2011년~현재 : (주)지승

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템  
E-mail : minhh1@naver.com



유동상(Dong-Sang Yoo)

1985년 : 서울대학교 전자공학과 졸업  
공학사

1987년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
공학석사

1992년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
공학박사

1992년~2000년 : (주)LG전자

2000년~현재 : 국립 한경대학교 전기전자제어공학과 교수

관심분야 : 강인제어, 로봇틱스, 자동화

Phone : 031-670-5322

E-mail : dsyoo@hknu.ac.kr



김용태(Yong-Tae Kim)

1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
공학사

1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
공학석사

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업  
공학박사

1998년~2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구

2002년~현재 : 국립 한경대학교 전기전자제어공학과 교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 물류자동화

Phone : 031-670-5292

E-mail : ytkim@hknu.ac.kr