

논문 2010-47SP-1-9

시각 퍼지 시스템을 이용한 실내 문 인식

(Door Recognition using Visual Fuzzy System in Indoor Environments)

이 주 호*, 이 상 헌*, 정 승 도**, 서 일 홍***, 최 병 욱***

(Chuh0 Yi, Sangheon Lee, Seungdo Jeong, Il Hong Suh, and Byung-Uk Choi)

요 약

실내 환경에서 문은 주어진 주변 환경을 이해하기 위한 매우 중요한 정보로써, 복도와 방을 구분할 수 있는 기준이 된다. 문은 이동 로봇을 위한 자연 표식 등으로 널리 사용되고 있으나, 로봇에서 획득한 영상내의 특징을 이용한 기존의 문 인식 방법의 경우 연산량이 많기 때문에 실시간으로 구현하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 복도 환경에서 문을 인식하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 먼저 허프 변환(Hough transform)을 사용하여 문을 구성할 가능성이 큰 직선들을 추출하고 시각 퍼지(Visual fuzzy) 시스템에서 적용하여 문 후보 영역을 검출하게 된다. 이후 문 후보 영역에서 문 고리 후보 영역들을 뽑고 이를 이차적인 시각퍼지 시스템에 적용하여 최종적으로 문을 검출한다.

Abstract

Door is an important object to understand given environment and it could be used to distinguish with corridors and rooms. Doors are widely used natural landmark in mobile robotics for localization and navigation. However, almost algorithm for door recognition with camera is difficult real-time application because feature extraction and matching have heavy computation complexity. This paper proposes a method to recognize a door in corridor. First, we extract distinguished lines which have high possibility to comprise of door using Hough transformation. Then, we detect candidate of door region by applying previously extracted lines to first-stage visual fuzzy system. Finally, door regions are determined by verifying knob region in candidate of door region using second-stage visual fuzzy system.

Keywords: 문 검출, 시각 퍼지 시스템, 실내환경

* 학생회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(Division of Electrical Computer Engineering,
Hanyang University)

** 정회원, 한양사이버대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication
Engineering, Hanyang Cyber University)

*** 평생회원, 한양대학교 컴퓨터공학부
(Collage of Informaion and Communications,
Hanyang University)

※ 본 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21세기
프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로
봇 기술개발사업)의 일환으로 수행되었으며, 지식경
제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심 기술개발
사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-038-01, 상황
적응 로봇 인지 기술 개발].

접수일자: 2009년5월15일, 수정완료일: 2009년12월28일

I. 서 론

시각 센서를 이용한 로봇의 자기 위치 추정 방법은 크게 자연 표식(natural landmark)을 이용하는 방식과 인공 표식(artificial landmark)을 이용하는 방식으로 나눌 수 있다. 여기서 말하는 표식이란 이동 로봇이 장소를 기록하고 이후에 다시 인식되었을 때 자기 위치 추정의 기준이 되는 데이터나 정보를 말한다^[9-10].

인공 표식은 미리 정해진 표식 모델이나 그것의 특징량 등을 사전에 모델링한 것으로, 로봇이 주행 중 획득하는 영상 내에서 등록되어 있는 인공 표식을 찾아

냄으로써 자기위치 추정에 활용한다^[1-2]. 사전에 인식하기에 적합한 형태의 마크를 등록하여 사용할 수 있기 때문에 인식률이 높고, 결과적으로 위치 추정 정확도가 높은 장점이 있다. 그러나 그와는 반대로 로봇만이 알 수 있는 정해진 표식을 사용하기 때문에 로봇이 작업을 수행할 공간에 맞게 미리 배치해 두어야만 하는 단점이 있다.

자연 표식 방식을 이용한 방식은 주로 입력된 센서 데이터에서 로봇이 인식할 수 있는 표식을 선정하고 추출하여 정보로 활용하는 방식이다. 이러한 방식은 인공 표식을 이용한 방식보다 주어진 환경 내에서 직접 표식을 설정하기 때문에 사전에 정해지지 않은 공간에서도 적용할 수 있는 적합한 방식이라 할 수 있다. 자연 표식 방식 중 카메라를 이용한 방법은 입력된 영상에서 기하학적(geometrical)이고 광학적(photometrical) 특성을 고려하여 선택되며, 이 방식은 복도, 병원 그리고 사무실과 같은 정형화된 환경(well-structured environment)에서 좋은 결과를 얻을 수 있다^[3]. 하지만 자연 표식을 인식하기 위해서는 비전 센서를 주로 이용하기 때문에 조명의 변화에 민감하여 일관되게 자연표식을 검출하기 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 집, 사무실, 병원 등과 같은 일반적인 건물의 실내 환경의 복도에서 로봇이 주행하면서 획득한 영상에 대하여, 퍼지 시스템을 이용하여 복도의 구성 요소인 바닥, 천정, 벽 등을 구분함으로써 공간을 인지하는 방법을 제안한다. 또한 이전 과정에서 구분된 벽 영역에서 자연 표식으로 선정할 수 있는 문을 인식하기 위한 방법을 제안한다. 이를 위해, 기존의 문 인식 기법의 문제점을 분석하고 개선함으로써 문 인식 성능을 향상시키고자 한다.

II. 관련 연구

일반적으로 문은 독립된 공간을 구분 짓는 중요한 의미를 갖기 때문에 기존의 많은 연구에서 문을 중요한 정보로 활용하였다. 또한 로봇의 주행 및 지도 작성, 자기 위치 추정과 같은 작업을 수행하기 위해 문을 자연 표식으로 이용하는 다양한 기법이 제안되었다.

Kim과 Nevatia는 유전자 알고리즘을 이용하여 문과 관련된 직선을 검출하는 방식을 제안하였다^[4]. 문의 형태를 역 U자형으로 정의하고 삼안 스테레오 카메라를 통하여 입력된 영상에서 완벽한 문의 형태를 갖춘 요소

를 검출하였다. 그러나 삼안 스테레오 카메라를 이용하고 인식하는 시스템을 만드는데 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

Stoeter 등은 입력된 영상에서 수직선을 검출하고 벽의 방향과 거리를 통하여 문을 검출하였다^[5]. 그러나 이 기법은 문과 관련된 수직선을 정확하게 검출하기 힘들다는 단점과 복도에서만 가능하다는 한계성이 있다. Monasterio 등은 초음파 센서와 카메라 정보를 동시에 사용하는 기법을 제안하였다^[6]. 이 연구에서 카메라에서 획득한 영상을 이용하여 문을 구성하는 수직선을 검출하고, 초음파 센서로 문과 로봇의 거리를 얻고 이를 분석하여 문을 인식하였다. 그러나 이 기법은 시각적 변화에 민감하고 로봇의 위치가 문에 너무 가까이 위치할 때는 정확한 연산을 하지 못하는 문제가 있다. 또한 카메라가 문을 바라보는 각도가 정면에서 30도 이내에서만 검출이 가능하다는 한계성이 있다.

Rafael과 Eugenio는 문들의 경계선을 찾아 문을 인식하는 방식을 제안하였다^[7]. 문들은 두 개의 수직선과 하나의 수평선으로 구성된다. 첫 번째 단계에서 캐니 경계선 검출 알고리즘으로 경계선을 검출하고 허프 변환을 이용하여 직선을 검출한다. 그리고 퍼지 시스템을 이용하여 검출된 직선의 길이, 방향, 선들과의 거리를 분석함으로써, 그림 1과 같은 사각형 형태의 문을 인식한다.

그러나 이 방법은 직선들과의 관계성만을 고려하여 문을 인식함으로써 그림 2의 창문과 게시판 등과 같이 문과 유사한 형태를 가지는 물체도 문으로 인식되는 한계가 있다.

본 논문에서는 문 내부에 존재하는 문고리 정보의 유무를 확인하고 문으로 최종 선정함으로써 문 인식 정확도를 높이고자 한다.

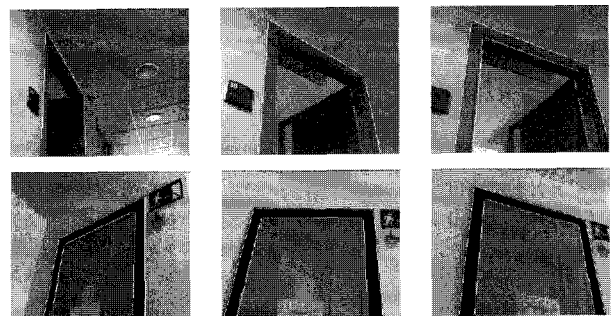


그림 1. 기존 퍼지 방법을 이용한 문 인식 결과^[7]
Fig. 1 Results of the door recognition using a previous fuzzy method^[7].



그림 2. 기존 문 인식 오류의 예^[7]
Fig. 2. Examples of errors in a previous work^[7].

III. 본 론

1. 제안하는 시스템 개요

제안하는 시스템에서는 비교적 가격이 저렴한 웹캠을 정보 획득을 위한 센서로 사용하고자 한다. 그림 3과 같이, 본 시스템은 크게 로봇이 주행 시에 입력되는 영상을 통하여 복도의 구성 요소인 벽, 복도 바닥, 복도 천장 및 문 후보선을 분석하는 과정과 추출된 예상 벽 영역에서 검출된 문 후보선을 이용하여 자연 표식으로 선정할 수 있는 문의 후보를 선정하고 문 내부의 문고리의 유무를 검증하여 최종적으로 문을 인식하는 과정으로 이루어진다. 제안하는 시스템의 구성은 그림 3에서 보였다.

본 논문에서는 공간을 구별하는 기본 요소인 선을 이용하고자 한다. 입력된 영상에서 선을 검출하고, 퍼지 시스템에 적용하여 벽과 천정, 바닥을 구분한다. 일차적으로 구분된 벽의 영역에서 수직선을 검출하여 2차 퍼

지 시스템에 적용하여 문 후보선을 검출한다.

이 때 기존 연구의 문의 경계선을 찾는 방식을 사용하여 문 후보를 검출한다^[4]. 이 연구에서는 두 개의 수직선과 하나의 수평선으로 구성된 직사각형 형태로 문을 모델링 한다. 이러한 모델을 기반으로 영상에서 경계선을 검출하고 허프 변환을 이용하여 직선을 검출한다. 검출된 직선의 길이, 방향, 선들과의 거리를 퍼지 시스템으로 검증하여 최종적인 문 영역을 검출하였다. 그러나 이 연구의 경우 직선들 간의 관계성만을 이용함으로써 실내의 창문이나 게시판 등을 문으로 검출하는 문제가 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 문 내부에 존재하는 문고리 정보의 유무를 확인함으로써 문과 유사한 영역이 검출되는 오류를 제거하는 방법을 제안한다.

2. 전처리 및 복도 구성하는 선 검출

그림 4의 (a)와 같이 로봇이 주행하고 있는 경우, 빠르게 직선 성분을 검출할 수 있을 뿐만 아니라 공간을 구분짓는 중요한 정보가 된다. 따라서 공간 구분을 위해 먼저 경계선을 검출하고 허프 변환(Hough Transform)을 이용하여 직선을 검출한다^[8]. 그림4 (c)에서 검출된 수 많은 직선 성분을 보였다.

허프 변환을 통해 검출된 수많은 직선들 가운데 복도와 벽을 구분하는 직선과 벽으로 예상되는 영역에서 문과 관련된 수직선을 구분짓는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 이러한 직선들의 방향성과 직선의 길이, 영상에서의 직선의 상하 위치를 고려하여 바닥 및 천정과 벽을 구분하는 직선과 벽에 위치하는 문과 관련된 수직선을 퍼지 함수를 사용하여 검출하는 방법을 제안한다.

첫 번째로 고려하는 특징은 직선의 방향성이다. 직선의 방향성을 고려하는 이유는 로봇의 주행 시 입력되는

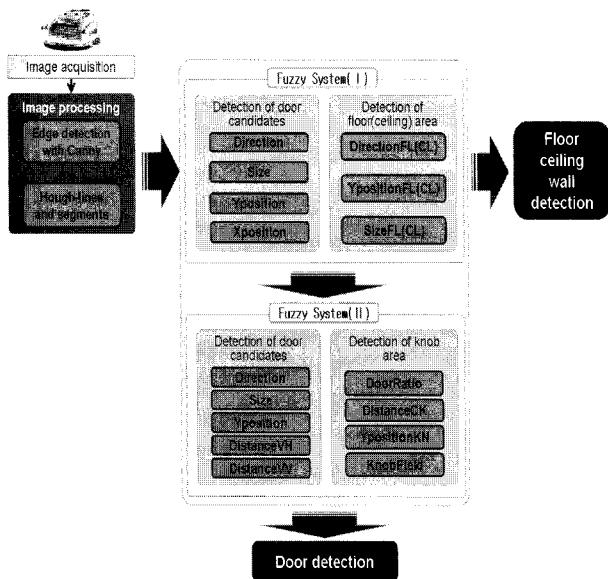
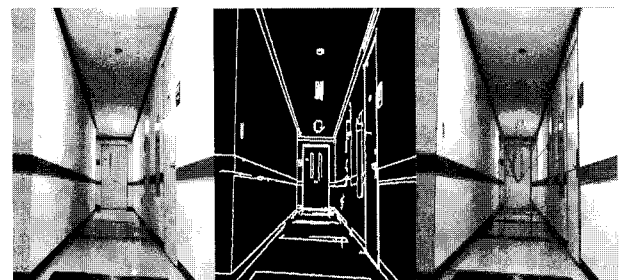


그림 3. 시스템 구성도
Fig. 3. The architecture of proposed system.



(a)원본 (b)경계선 검출 (c)허프선
(a) original (b) edge extraction (c) hough line

그림 4. 전처리 영상 예
Fig. 4. An example of preprocessing image.

영상에서 복도와 벽을 구분하는 직선은 대각선에서 보이기 때문에 직선의 방향성은 매우 중요한 정보가 된다. 직선의 방향성은 식 (1)과 같이 계산한다. 검출한 직선의 집합을 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$ 이라 하고, 하나의 직선은 $s^i = \{(p_1^i, p_0^i) | p_1^i = (x_1, y_1), p_0^i = (x_0, y_0)\}$ 이라 한다. 여기서 p_1 와 p_0 는 각각 x_1, y_1 와 x_0, y_0 좌표를 갖는 점으로 두 점에 의해 직선 s 가 구성된다.

$$Direction(S^i) = \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{|y_1^i - y_0^i|}{|x_1^i - x_0^i|}\right) \quad (1)$$

두 번째로 고려하는 특징은 직선의 길이이다. 영상 내의 검출 대상이 되는 벽과 바닥을 구분하는 직선은 복도 환경에서 이미지의 크기에 비해 상대적으로 긴 길이를 가지며, 문을 구성하는 직선도 사람이 지나다닐 수 있는 충분한 길이를 가지고 있기 때문에 짧은 길이의 직선은 고려 대상에서 제외 할 수 있다. 즉, 식 (2)로 계산된 길이가 사전에 정의된 기준보다 짧을 경우 제거한다. 여기서 $dist(p_1^i, p_0^i)$ 는 유클리드 거리를 나타내며 N 은 영상의 길이 그리고 $N\sqrt{2}$ 는 영상의 대각선 길이를 나타낸다.

$$Length(S^i) = \frac{dist(p_0^i, p_1^i)}{N\sqrt{2}} \quad (2)$$

세 번째 고려 사항은 영상 내에서 직선의 위치이다. 벽과 바닥을 구분하는 직선은 일반적으로 영상의 상단부나 중간 영역에 분포하기 때문에 이 조건을 만족하지 않는 직선을 제거할 수 있다. 영상 내에서 직선에 상하 위치에 관한 특징값은 식 (3)으로 계산한다.

$$YPos(S^i) = \frac{y_0^i + y_1^i}{2N} \quad (3)$$

식 (1-3)에 의해 계산되는 값은 다음의 그림 5에서 벽과 바닥(천장)을 구분하는 직선을 검출하기 위하여 고려하는 세 가지의 특징을 적용하기 위한 퍼지 소속도 함수에 대입하게 된다.

각 특징값 들은 퍼지 소속도 함수에 의해 대응되는 언어 변수(Linguistic variables)로 변경된다. 그리고 언어 변수가 주어진 규칙들에 맞게 될 때 벽과 바닥(천장)선을 검출하게 된다. 예를 들면, $Direction(S^i)$ 가 medium으로 수직 수평선이 아니고, $Length(S^i)$ 가 big이어서 길고, $Ypos(S^i)$ 가 low으로 하단에 있게 되면 $FE(S^i)$ 가

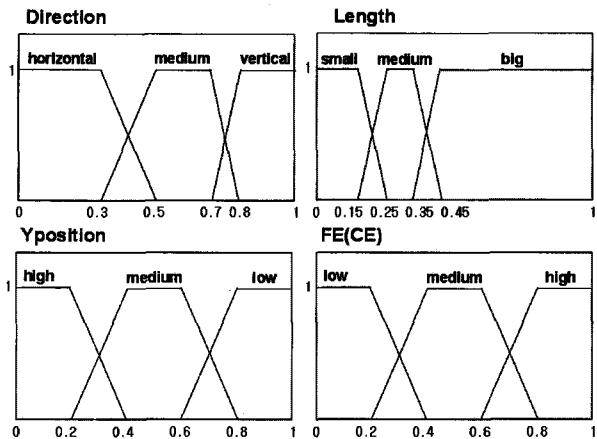


그림 5. 벽과 바닥(천정) 구분선을 위한 퍼지 소속도 함수

Fig. 5. The Membership functions for detecting a line of discrimination between the wall and the floor(ceiling).

표 1. 벽과 바닥(천정)선을 검출하기 위한 규칙
Table 1. Rules for extracting wall and floor(ceiling) line.

IF			THEN	
$Direction(S^i)$	$Length(S^i)$	$Ypos(S^i)$	$FE(S^i)$	$CE(S^i)$
horizontal	big	high	low	low
horizontal	big	low	low	low
vertical	big	high	low	low
vertical	big	low	low	low
medium	small	high	low	low
medium	medium	high	low	medium
medium	big	high	low	high
medium	small	low	low	low
medium	medium	low	medium	low
medium	big	low	high	low

high로 벽과 바닥을 구분하는 선으로 결정하게 된다. 그림 4 (c)에서 볼 수 있는 복도 바닥과 벽을 구분하는 선을 검출하게 된다. 자세한 규칙은 표 1과 같이 정의하였다^[4]. 여기서 FE 는 복도와 벽의 구분선을 그리고 CE 는 천장과 벽의 구분선을 의미한다.

3. 벽 영역에 위치한 수직선 검출

이전 과정에서 복도의 구성 요소인 복도 바닥과 천정, 벽을 구분하는 선을 검출하였다. 이렇게 벽 내의 수직선을 통하여 벽에 위치하는 물체들의 정보를 검출할 수 있는데 이러한 정보들이 로봇의 자기 위치 추정에 중요한 정보로 활용된다. 이러한 직선을 검출하기 위하여 직선

의 길이와 방향성 및 영상의 좌우 위치를 활용한다.

로봇이 주행 중에 벽에 위치한 정보는 일반적으로 카메라의 각도와 원근법으로 인해 수직선의 형태로 나타나면 이러한 수직선을 검출하기 위해 직선의 방향성과 길이를 고려한다. 직선의 방향성과 길이를 구하는 식 (1), (2)을 통하여 계산한다. 이 식을 통하여 허프 변환으로 구해진 많은 직선 성분에서 수직선만을 검출할 수 있다. 이렇게 선정된 직선들 중에서 직선이 영상에서 좌우 위치는 구하여 주행 중에 예상되는 벽의 위치가 아닌 영역에 위치하는 수직선은 삭제된다.

검출된 직선은 다음 과정인 문을 검출하는 후보로 선정된다. 이때 후보로 선정된 직선이 문인지 판별하기 위해서는 기준이 필요하며, 일정 기준 이상일 때 카메라에 정면을 바라보는 기준으로 좌우 60도 이내 이어야 검출이 되기 때문에 로봇이 정지를 하고 회전을 해야 한다. 로봇이 주행하고 있는 동안 많은 직선이 검출이 되며 후보 직선이 식 (4)와 같은 조건일 때 로봇은 정지를 하고 검출된 직선이 문과 관련된 직선인가를 검출하기 위해 수직선의 방향으로 로봇이 회전하게 된다.

$$\frac{Length(s^i)}{N} > \alpha, \{ \exists s^i | Direction(s^i) = vertical, Length(s^i) = long \} \quad (4)$$

식 (4)에서 비교가 되는 s^i 는 방향성이 수직 이고($Direction(s^i) = vertical$), 벽면에서 검출되는 문의 수직선일 경우 길이 ($Length(s^i) = long$) 때문에 조건이 만족될 경우에만 계산하게 된다. 이 때 분모는 입력되는 영상의 크기를 나타내며, 분자는 예상 벽 영역에서 검출되는 수직선을 나타낸다. 그리고 α 는 실험적으로 0.95로 설정하였다.

이 과정으로 예상되는 벽의 영역에서 검출한 수직선을 대상으로 다음 장에서 기술할 문 검출 알고리즘의 후보로 선정된다.

4. 문 후보 영역 검출

본 논문에서 검출하고자 하는 대상은 문은 그림 6과 같다. 전처리 과정으로 경계선과 허프 변환을 통하여 영상에서 모든 직선을 검출한다. 그리고 문은 두 개의 수직선과 하나의 수평선으로 구성된다는 특징을 고려하여 문과 관련되지 않은 직선들을 제거하기 위하여 직선들의 특징을 분석한다.

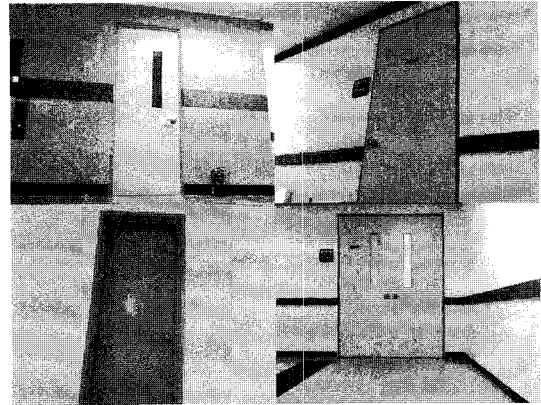


그림 6. 문 검출 대상 영상
Fig. 6. Sample images of a target door for detection.

기존의 논문에서는 문과 관련된 직선을 검출하기 위해 직선의 방향성, 길이, 영상 내에서 직선의 상하위치 관계와 직선들 간의 관계성을 퍼지 시스템에 적용하여 문을 검출하였다^[4]. 그러나 이 기법은 직선들 간의 거리만을 고려하였기 때문에 그림 2에서와 같이 문과 유사한 형태인 경우에도 문으로 검출되는 오류가 발생하였다. 이 절에서는 기존의 방법을 살펴보고 문 내부의 문고리 정보를 이용하여 오류를 줄이는 방법을 제안한다.

4. 1. 문의 후보선 선정

일반적으로 문은 직선으로 구성된 사각형의 형태이다. 따라서 문과 관련된 직선은 수직선과 수평선으로 구성되고 이러한 이유로 방향성이 적합하지 않을 경우 문과 관련되지 않은 선으로 판단하고 제거할 수 있다. 각 직선의 방향성을 구하는 식은 3장에서 소개된 식 (1)과 같다. 직

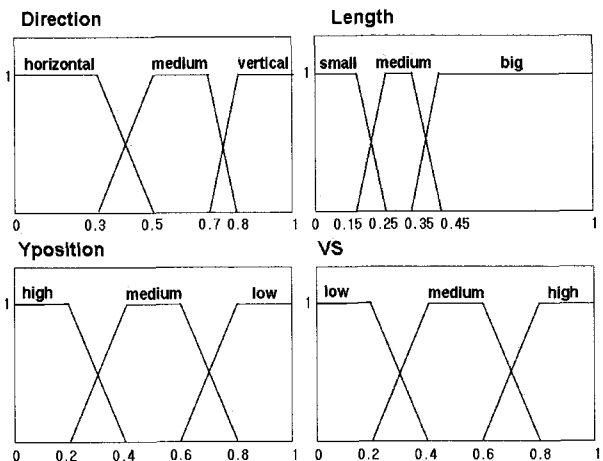


그림 7. 문 후보선을 검출하기 위한 퍼지 소속도 함수
Fig. 7. The membership functions for detecting candidate door lines.

표 2. 직선을 수평선과 수직선 분류하기 위한 규칙
Table 2. The fuzzy conditional statement for grouping vertical and horizontal lines.

IF			THEN	
$Direction(S^i)$	$Length(S^i)$	$YPos(S^i)$	$VS(S^i)$	$HS(S^i)$
horizontal	small	high	low	high
horizontal	medium	high	low	high
horizontal	big	high	low	high
medium	small	high	low	medium
medium	medium	high	low	high
medium	big	high	low	high
vertical	small		mediu	low
vertical	medium		m	low
vertical	big		high	low
vertical	big		high	low

선의 길이에 대해서는 식(2)를 사용하며 상하위치는 식(3)으로 계산하게 된다. 3장에서와 같이 각 특징값은 그림 7의 퍼지 소속도 함수에 의해 언어 변수로 변경된다.

그리고 언어 변수가 주어진 규칙들에 맞게 될 때 문의 후보가 될 수 있는 수직선과 수평선을 검출하게 된다. 예를 들면, $Direction(S^i)$ 가 horizontal로 수평선이고, $Ypos(S^i)$ 가 high로 이미지 상단에 있게 되면 $HS(S^i)$ 가 high로 문의 상단에 존재하는 선으로 결정하게 된다.

위 세 가지 특징을 퍼지 시스템에 적용하기 위한 규칙은 표 2와 같이 정의하였다. 여기서 VS 와 HS 는 각각 문 검출을 위한 후보 수직선과 수평선이 되는 것을 의미한다.

4. 2. 문을 구성하는 수평선과 수직선의 관계

문을 구성하는 선들은 그림 8과 같이 하나의 수평선과 두 개의 수직선으로 구성된다. 여기서 일반적으로 실내

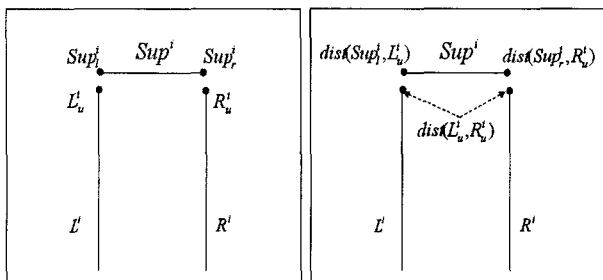


그림 8. 문을 구성하는 수평선과 수직선의 관계
Fig. 8. The relationship of consisting door with the horizontal and the vertical lines.

에서 볼 수 있는 문은 수평선에 비해 수직선이 짧고 선을 검출할 때, 세 개의 선이 모두 검출된다는 가정을 하고 있다.

다음 식에서 $F^i = \{L^i\}$ 은 그림 8에서 보이는 세 개로 이루어진 선들의 집합으로 F^i 는 4.1 절에서 검출되는 수평선 Sup 와 수직선 중에서 좌우로 결정되는 L, R 를 경우에 수에 맞게 집합으로 만들게 된다. 식 (6)은 문을 구성하는 수평선과 2개의 수직선 사이의 거리를 구하는 식으로 이 특징은 그림 8와 같이 문을 이루는 수평선과 수직선의 거리가 가까울수록 문을 구성하는 선의 집합이 될 확률이 높다.

$$dist\ VH(F^i) = \frac{\max\{dist(Sup_l^i, L_u^i), dist(Sup_r^i, R_u^i)\}}{N\sqrt{2}} \quad (6)$$

그리고, 두 수직선간의 거리는 식(7)과 같이 계산한다. 이때, 두 수직선이 기준보다 떨어져있거나 가까울 경우 문을 구성하는 선일 가능성이 낮기 때문에, 해당 수직선을 문의 후보에서 제거한다.

$$dist\ VV(F^i) = \frac{dist(L_u^i, R_u^i)}{N\sqrt{2}} \quad (7)$$

식 (6), (7)에 의해 계산되는 각 특징값 들은 다음의 그림 9에서 퍼지 소속도 함수에 의해 대응되는 언어 변수로 변경된다.

변경된 언어 변수는 표 3에서 정의 된 직선들과의 관계성에 대한 규칙에 따라 문으로 검출되게 된다. 예를 들면, $SegDist\ VV(F^i)$ 가 Medium으로 문을 구성하는 두 수직선의 거리가 너무 멀거나 가깝지 않고, $SegDist\ VH(F^i)$ 가 Low로 두 수직선 위의 수평선의 거리가 가까울 때 문 후보로 결정하게 된다.

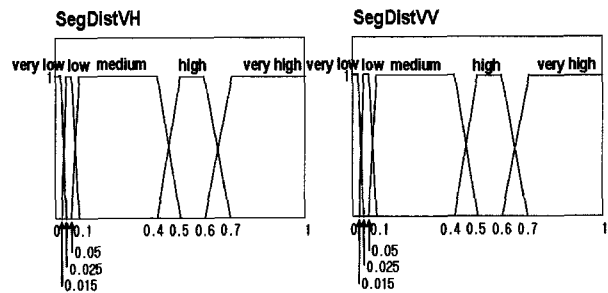


그림 9. 문과 관련된 직선들의 관계성에 관한 퍼지 소속도 함수

Fig. 9. The membership functions for detecting a relationship of door and relative lines.

표 3. 문과 관련된 직선들을 검출하기 위한 퍼지 조건문

Table 3. The fuzzy conditional statement for detecting relationship lines of consisting door.

SegDist VV(F^i)	SegDist VH(F^i)				
	VL	L	M	H	VH
VL	low	low	low	low	low
L	high	medium	medium	low	low
M	high	high	medium	low	low
H	high	medium	low	low	low
VH	medium	low	low	low	low

이 때 검출된 문 후보 영역은 창문이나 소화전 같은 영역도 검출되는 문제가 있기 때문에 V장에서 소개되는 손잡이를 이용한 시각 퍼지 시스템에 의해 최종적으로 문으로 결정되게 된다.

5. 문고리 정보를 이용한 검증

기존의 제안한 방법에서는 검출된 직선들의 관계성만을 고려하여 문을 인식하였다. 따라서 문과 유사한 사각형의 형태의 영역이 문으로 인식되는 한계가 있었다. 이러한 점을 개선하기 위해 본 논문에서는 문에 존재하는 문고리 정보를 이용하고자 한다.

문고리 정보는 사람이 손을 뻗어 쉽게 문을 열수 있는 곳에 위치하기 때문에 모양이나 종류와 상관없이 검출할 수 있다. 따라서 문고리 영역으로 예상되는 부분의 유무를 퍼지 시스템을 적용하여 검증함으로써 문과 유사함으로써 인식되는 오류를 제거하여 정확도를 향상시킬 수 있다.

문 후보 영역과 문 고리 영역은 다음 그림 10과 같이 표현될 수 있다. 이 때 문 고리로 검증하기 위한 후보 영역은 많이 검출될 수 있지만 모든 경우에 수에 대해 시각 퍼지 시스템에 입력하여 실시간으로 정확하게 검출될 수 있다. 이 때 고려하게 되는 문 고리 영역은 문 후보 영역의 수직선과의 거리, 높이 위치, 영역의 크기에 의해 결정되게 된다.

우선 문고리는 문의 좌측이나 우측에 치우쳐져 위치하는 특성을 가지고 있다. 따라서 문의 두 수직선의 중점과 거리를 계산하여 수직선의 중점과 가까울수록 문고리일 가능성이 높다고 할 수 있다. 검출된 문 후보 영역에 대하여, 경계선들의 군집성을 조사하고 이를 바탕으로 모든 물체의 영역을 사각형 형태로 검출한다.

검출된 사각형 영역에 대하여 식 (8), (9), (10)과 같이

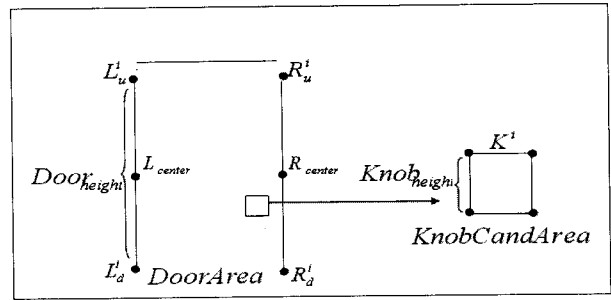


그림 10. 문 후보 영역과 문고리 영역과의 관계
Fig. 10. Relationship of candidate door region and predictive knob area.

문의 수직선과의 거리를 계산한다.

$$distCK_R = \frac{\min\{dist(R_{center}, K^i)\}}{dist(R_{center}, L_d^i)} \tag{8}$$

$$distCK_L = \frac{\min\{dist(L_{center}, K^i)\}}{dist(L_{center}, R_d^i)} \tag{9}$$

$$distCK = \min(distCK_L, distCK_R) \tag{10}$$

여기서, $distCK_R$ 과 $distCK_L$ 은 문 고리 후보 영역에서 문 후보 영역까지의 거리이며, 수직선에 가까운 거리를 $distCK$ 로 사용하게 된다.

일반적으로 문의 크기와 상관없이 사람이 문고리를 잡을 수 있는 영역은 문의 중간 영역에 위치한다고 가정하도록 하겠다. 높이의 관점에서 볼 경우, 문 내부에서 검출된 영역이 문의 중간 영역에 위치할 경우 문고리일 확률이 높은 반면, 문의 윗부분이나 아랫부분에 위치한다면 문고리와 관계없는 영역이 될 확률이 높다. 이러한 위치정보에 따라 손잡이 영역과 관련 없는 영역을 구분할 수 있다. 문고리 예상 영역의 높이는 식 (11)과 같이 계산한다.

$$YPosKN = \frac{Knob_{height}}{Door_{height}} \tag{11}$$

일반적으로 문고리는 문의 종류에 따라 다양한 모양을 가지고 있지만 크기는 평균적으로 문의 크기의 5%정도에 해당된다고 가정하도록 하겠다. 이에 문고리 영역과 문과의 크기 비교를 통하여 문고리 예상 영역이 지나치게 크거나 작은 영역에 대해서는 일반적으로 문고리가 될 경우가 적다고 판단하고 이를 제거할 수 있다. 따라서 문고리 예상 영역의 크기를 식 (12)과 같이 표현한다.

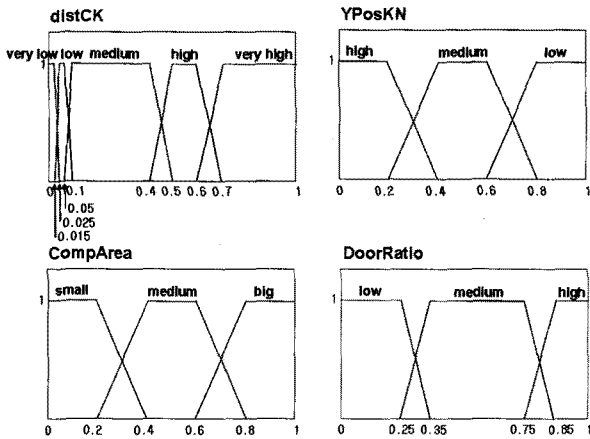


그림 11. 문고리 영역을 이용하여 문 검출을 검증하기 위한 퍼지 소속도 함수

Fig. 11. The membership functions for verifying a detection of door with the knob region.

표 4. 문고리 영역을 이용하여 문 검출을 검증하기 위한 퍼지 조건문

Table 4. The fuzzy conditional statement for verifying a detection of door with the knob region.

IF			THEN
<i>distCK</i>	<i>CompArea</i>	<i>YPosKN</i>	<i>DoorDetect</i>
VL	small	medium	high
VL	medium	medium	medium
VL	big	medium	low
L	small	medium	high
L	medium	medium	medium
L	big	medium	low
L	small	medium	medium
L	medium	medium	medium
L	big	medium	low
M	small	medium	high
M	medium	medium	medium
M	big	medium	low

$$CompArea = \frac{KnobCandArea}{DoorArea} \quad (12)$$

그림 11은 식 (10), (11), (12)에 대한 퍼지 소속도 함수이다. 각 특징값 들은 퍼지 소속도 함수에 의해 대응되는 언어 변수로 변경된다. 그리고 언어 변수가 주어진 규칙들에 맞게 될 때 문으로 최종 결정하게 된다.

언어 변수를 이용하여 표 4를 기준으로 최종적으로 문 후보 영역 내의 문고리를 검증하게 된다. 예를 들면, *distCK*가 Low로 수직선과 가까우며, *YPosKN*가 medium으로 문 후보영역에서 중간에 존재하며,

*CompArea*가 small로 작을 때, *DoorDetect*가 high로 문으로 검출되게 된다.

V. 실험 결과

제안된 시스템의 문 인식에 관한 성능만을 평가하기 위하여 기존의 문 인식 방법과 비교 평가하였다. 실험을 위하여 한양대학교 정보통신관, 88체육관, 산학기술관, HIT 건물에서 로봇이 복도를 주행하며 다양한 각도로 영상을 취득하였으며 실험에서는 문 검출 조건으로 제시한 문과 관련된 두 개의 수직선과 하나의 수평선이 존재하는 범위로 카메라 거리와 각도를 조절하였다. 그리고 카메라와 문의 거리는 카메라의 시야에 문의 수평선과 수직선이 존재하는 범위에서 5m 이내로 설정하였으며, 각도는 카메라의 위치가 문을 정면으로 향하였을 때를 기준으로 좌우 60°로 설정하였다.

영상은 다양한 종류의 문 영상 25장과 문과 유사한 형태인 문이 아닌 영상 25장을 사용하였다.

표 5에서 총 50장의 영상을 분석한 결과이며, 기존의

표 5. 문 검출 실험 결과

Table 5. The experimental result of detecting a door.

결과구분 / 실험영상	문 후보 영역		문 검증 결과	
	선정	미선정	문으로 인식	문이 아님
실제 문 (25장)	22장 (88%)	3장 (12%)	19장 (86.4%)	3장 (13.6%)
문과 유사한 객체(25장)	11장 (44%)	13장 (56%)	0장 (0%)	11장 (100%)

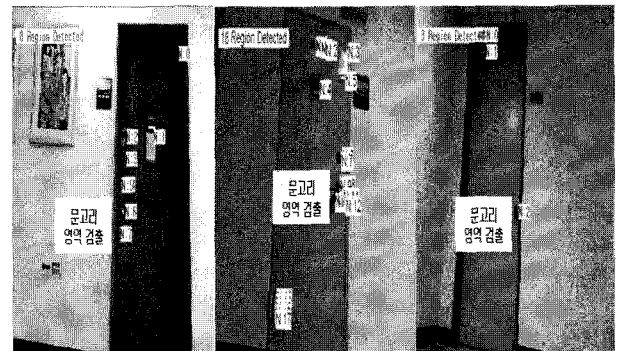


그림 12. 문고리를 이용하여 문을 인식한 영상
Fig. 12. Results of door detection using door knob.

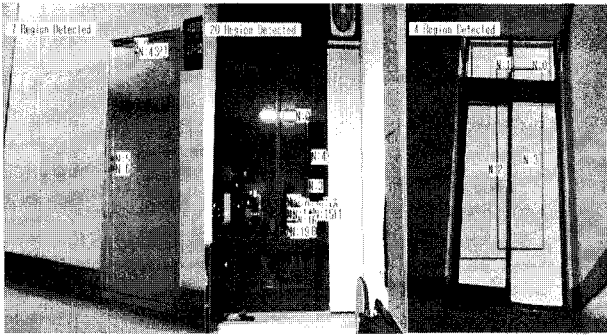


그림 13. 문고리 정보를 이용하여 문이 아니라고 검증된 영상

Fig. 13. Examples of verification non-door region using knob.

문으로 제안한 문 후보 영역 선정에서는 실제 문 중 3개가 검출되지 못하였다. 이것은 조명의 영향으로 인하여 문과 관련된 직선을 검출하지 못하였기 때문이다. 문 후보 영역을 포함하는 22장의 영상에 대하여 문고리 영역을 검출하였을 때, 그림 12에서 나타난 것과 같이 19장에 대해서는 내부에 문고리 영역이 검출되고 정상적인 문임을 검증할 수 있었다. 3장에 대해서는 조명과 반사로 인하여 문고리 영역이 검출되지 않아 문으로 인식하지 못하였다. 문과 유사한 객체를 포함하는 25장의 영상에 대한 실험 결과, 기존 기법에서는 총 11장이 문으로 선정되는 문제가 있었다.

문이 아님에도 불구하고 문이라고 검출되는 영상의 예를 그림 13에 보였다. 이러한 영상에 대하여 제안하는 문고리 검증 기법을 적용할 경우, 그림 13과 같이 문고리가 정확히 포함되어 있지 않음을 확인함으로써 제거할 수 있었다. 이는 정확하지 않은 문을 제거함으로써 로봇이 주변 환경을 제대로 인지하지 못하는 오류를 효과적으로 줄일 수 있는 것으로, 주변 환경에 대한 정확한 인지가 필수적인 이동 로봇 응용에 있어 매우 바람직한 결과라 할 수 있을 것이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 일반적인 건물의 복도를 주행하면서 입력되는 영상에서 복도와 벽을 구분하는 바닥선과 천장과 벽을 구분하는 선을 퍼지 시스템에 적용하여 검출하는 방법을 제안하고, 이렇게 구분된 벽의 영역에서 분포할 수 있는 정보들 중에서 자연 표식으로 선정할 수 있는 문을 퍼지 시스템으로 인식하는 방법을 제안하였다. 이를 통해 집, 사무실, 병원 등과 같은 일반

적인 건물의 실내 환경에서 로봇이 사용자가 원하는 작업을 수행하기 위해 가장 기본이 되는 문 정보를 제공하였다.

본 논문에서는 로봇이 주행 중에 입력되는 영상을 분석하여 복도와 벽을 나누고 벽에 존재하는 문을 인식함으로써 로봇의 위치 추정에 정보로 제공하였다. 앞으로 인식된 문의 주변에 있는 문패 정보를 활용하여 카메라의 시각 정보만으로 로봇이 정확히 자기 위치를 추정하고 지도를 작성할 수 있다면 로봇의 활동 영역이 보다 넓게 확대될 것이며 로봇의 사용 범위도 다양해 질 것이라고 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 강창훈, 안현식, “수직선 특징을 이용한 이동 로봇의 자기 위치 추정,” *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, 제 9 권, 제 11 호, pp. 937-942, 2003.
- [2] M. Betke, L. Gurvits, “Mobile Robot Localization Using Landmarks,” *Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 13, No 2, pp. 251-263, 1997.
- [3] 권인소, 장기정, 김성호, 이왕현. “인공표식과 자연 표식을 결합한 강인한 자기위치추정,” *한국정밀공학회*, 2003.
- [4] D. Kim and R. Nevatia. “A method for recognition and localization of generic objects for indoor navigation,” *Image and Vision Computing*, pp. 729 - 743, 1998.
- [5] S. A. Stoeter, F. L. Mauff, and N. P. Papanikolopoulos. “Real-time door detection in cluttered environments,” *International Symposium on Intelligent Control (ISIC 200)*, pp. 187 - 191, 2000.
- [6] I. Monasterio, E. Lazkano, I. Rañó, and B. Sierra. “Learning to traverse door using visual information,” *Mathematics and Computer in Simulation*, pp. 347 - 356, 2002.
- [7] Rafael Muñoz-Salinas, and Eugenio Aguirre, “Detection of doors using a genetic visual fuzzy system for mobile robots,” *Autonomous Robots*, Vol.21, No 2, pp. 123-141, 2006.
- [8] J. Canny, “A computational approach to edge detection,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 679-698, 1986.
- [9] A. J. Briggs, D. Scharstein, D. Braziunas, C. Dima and, P.Wall, “Mobile Robot Navigation Using Self-Similar Landmarks,” *International*

Conference on Robotics and Automation, pp. 1428-1434, 2000.

- [10] M. Betke, L. Gurvits, "Mobile Robot Localization Using Landmarks," *Transactions on Robotics and Automation*, vol. 13, No 2, pp. 251-263, 1997.

저 자 소 개



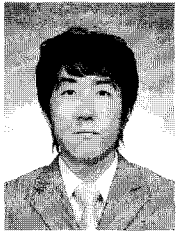
이 주 호(학생회원)
2000년 서울시립대학교
학사 졸업.
2002년 한양대학교 석사 졸업.
2004년~2006년 LG전자
선임연구원
현재 한양대학교 박사 과정.

<주관심분야 : 로봇비전, SLAM, 영상처리>



서 일 홍(평생회원)
1977년 서울대학교 학사 졸업.
1979년 한국과학기술원
석사 졸업.
1982년 한국과학기술원
박사 졸업.
현재 한양대학교 교수

<주관심분야 : 지능 응용시스템, 인공지능, 로봇공학>

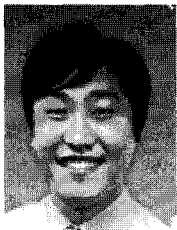


이 상 현(학생회원)
2006년 부산외국어대학교
학사 졸업.
2008년 한양대학교 석사 졸업.
<주관심분야 : 영상처리, 로봇비
전>



최 병 옥(평생회원)
1973년 한양대학교 학사 졸업.
1978년 일본 KEIO 대학교 석사
졸업.
1981년 일본 KEIO 대학교 박사
졸업.
현재 한양대학교 교수

<주관심분야 : 영상처리, 멀티미디어 공학, 컴퓨터비전>



정 승 도(정회원)
1999년 한양대학교 학사 졸업.
2001년 한양대학교 석사 졸업.
2007년 한양대학교 박사 졸업.
2010년 현재 한양사이버대학교
정보통신공학과 전임강사

<주관심분야 : 멀티미디어 정보검색, 로봇비전, 증강현실, 텐서 기반 응용>