

# 컬러 전방향 영상 이해에 기반한 이동 로봇의 위치 추정

論 文
49D-6-3

## Global Positioning of a Mobile Robot based on Color Omnidirectional Image Understanding

金 泰 均\* · 李 榮 眞\*\* · 鄭 明 振\*\*\*

(Tae-Kyun Kim · Young-Jin Lee · Myung-Jin Chung)

**Abstract** - For the autonomy of a mobile robot it is first needed to know its position and orientation. Various methods of estimating the position of a robot have been developed. However, it is still difficult to localize the robot without any initial position or orientation. In this paper we present the method how to make the colored map and how to calculate the position and direction of a robot using the angle data of an omnidirectional image. The wall of the map is rendered with the corresponding color images and the color histograms of images and the coordinates of feature points are stored in the map. Then a mobile robot gets the color omnidirectional image at arbitrary position and orientation, segments it and recognizes objects by multiple color indexing. Using the information of recognized objects robot can have enough feature points and localize itself.

**Key Words** : global-positioning, omnidirectional vision, color image understanding, color constancy, color indexing, histogram matching

### 1. 서 론

이동 로봇의 자율성을 높이기 위해서 지난 수년간 많은 연구가 되어왔다. 특정 임무를 로봇 스스로 수행하기 위해서는 로봇이 이동하거나 운반하는 도중 자신의 위치와 방향을 알 수 있어야만 한다. 현재 로봇의 위치를 측정하기 위한 많은 방법들이 존재하는데 크게 두 가지로 나눌 수 있을 것이다. 엔코더나 자이로와 같은 센서를 사용하여 상대적 위치를 측정하는 방법과 주위 환경을 인식함으로써 지도상에서 현재의 절대적 위치를 알아내는 방법이 있다. 상대적 위치를 측정하는 센서는 장시간 사용시 측정 오차가 누적된다는 단점이 있으며, 예기치 못한 일로 과거의 데이터를 잃어버렸을 때 위치 추정이 불가능해진다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 일반적으로 두 가지 방법이 병행하여 쓰이고 있다.

현재의 환경을 인식하여 미리 저장해둔 지도와 비교함으로써 절대적 위치를 추정하는 방법은 실제 로봇이 작업하는 환경의 유사성이나 센서의 정확도에 따라 성능이 크게 좌우된다. 센서 입력이 여러 장소에서 동일하게 들어온다면, 현재의 위치를 알 수 없게 되는 어려움이 있다. 따라서 주어진 환경에 효과적인 지도 구성과 정보를 비교하는 방법이 매우 중요하다.

현재의 환경을 보다 정확하게 인지하고자 초음파 센서와 비전 센서 등 여러 센서들을 융합하는 방법[5]들이 연구되어 왔으며, 카메라의 이동에도 변하지 않는 특징점들 사이의 cross ratio를 사용하여 위치를 추정하는 방법[4], 전 방향 (omnidirectional) 센서의 각도 정보를 사용하는 방법[7,8] 등 다양하며 이들은 초기 위치와 방향에 대한 정보가 주어진 상황에서는 어느 정도 정확한 위치 추정이 가능하다. 하지만 현재의 절대적 위치를 알기 위해 초기 위치, 즉 과거의 데이터를 이용한다는 점은 앞에서 지적한 상대적 위치 센서의 문제점을 여전히 지니게 될 것이다. 위의 방법들은 지도상의 기하학적인 모델 정보만을 이용하며, 이러한 정보만으로는 실제 복잡하고 대칭적인 실내 환경에서 초기의 어떤 정보도 없이 위치를 추정하기는 어렵다.

최근 특정 위치에서 얻은 영상을 기반으로 평행한 에지 정보를 이용[2]하거나, 영상 시퀀스의 밝기 정보를 비교하는 방법[9], 영상의 texture 정보를 이용하는 방법[10] 등, 좀 더 다양하고 많은 정보를 영상으로부터 얻어 위치 추정에 이용하기 위한 연구들이 되고 있다. 특히 Cassinis는 전 방향 영상에서 얻은 에지를 컬러 정보에 따라 구분하여 인식함으로써 위치를 추정하는 방법을 연구[1] 진행 중이다.

본 논문에서는 컬러 전 방향 모니터링 시스템을 사용하여 로봇에 대한 어떤 초기 정보 없이도 로봇 스스로 주어진 지도에서의 절대적 위치와 방향을 추정하는 시스템을 제안한다. 실내복도 환경의 기하학적 대칭성을 고려할 때, 컬러 정보의 사용이 필수적이 되며, 로봇의 위치와 방향에 비교적 강인한 특성이 있는 컬러 히스토그램을 이용하여 복도 구간에 있는 컬러 물체들의 정보를 지도에 효과적으로 저장할 수 있다. 전 방향 영상에 나타난 다수의 컬러 물체들에 따라 영상 분할 후, 각 분할 영상의 컬러 히스토그램 매칭을 이

\* 正 會 員 : 三星綜合技術院 研究員  
\*\* 正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣電子學科 博士課程  
\*\*\* 正 會 員 : 韓國科學技術院 電氣電子學科 教授 · 工博  
接受日字 : 1999年 11月 6日  
最終完了 : 2000年 5月 22日

용한 interpretation tree 알고리즘을 통해 필요한 수의 특징 점들을 인식할 수 있으며, 찾아진 특징점들의 방향 정보와 지도상에서의 위치 정보로부터 로봇의 위치와 방향을 계산할 수 있다. 제안한 방법은 단순히 전방향 영상 전체의 컬러 정보를 표현하고 비교하는 Cassinis의 연구와는 다르며 보다 효과적으로 더 많은 양의 정보를 이용한다. 시스템의 전체 알고리즘은 그림 1과 같다.

2장에서는 전 방향 모니터링 시스템과 인식을 위한 영상 전 처리 과정에 대해 설명하고, 3장에서는 지도 생성과 컬러 정보를 이용한 물체의 인식, 4장에서는 필요한 특징점들을 찾고 특징점 정보로부터 로봇의 위치와 방향을 계산하는 방법에 대해 설명한다. 끝으로 실험결과와 결론을 각각 5장, 6장에서 다룰 것이다.

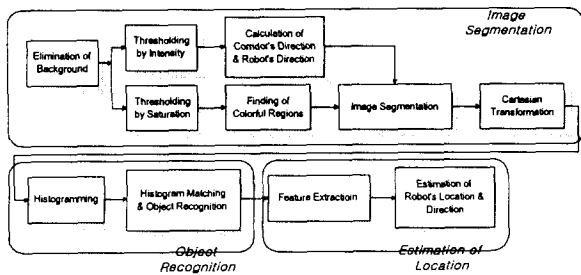


그림 1 전체 시스템 블록 다이어그램  
Fig. 1 System block diagram

## 2. 전방향 모니터링 시스템과 전방향 영상 전처리

### 2.1 전방향 모니터링 시스템

전 방향 모니터링 시스템이란 별도의 카메라의 움직임 없이 한번에 360도 전체 영역에 대한 정보를 얻을 수 있는 시스템을 말한다. 본 연구에서는 그림 2와 같이 원추형 거울을 위를 바라보도록 설치하고, 그 위에 원추형 거울의 중심축과 카메라의 광축이 일치하도록 카메라를 설치하면 그림 3과 같은 카메라 주변의 전체 영역의 영상이 얻어진다. 그림 3은 실험 환경인 실내 복도 구간의 전 방향 영상이다. 원추형 거울이 이동 로봇 위에 탑재되어 지상으로 일정거리 이상으로부터 형광등을 포함한 천장까지 360도 영역의 정보를 얻을 수 있다. 특히 원추형 거울이라는 특수한 구조에서는 카메라의 광축과 평행한 직선들은 전 방향 영상의 중심에서 만나는 방사형의 모양을 하게 된다.

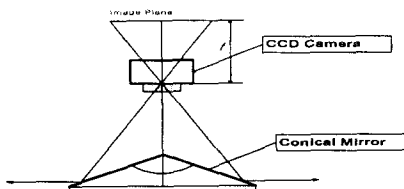


그림 2 전 방향 영상 센서 시스템  
Fig. 2 Omnidirectional vision system

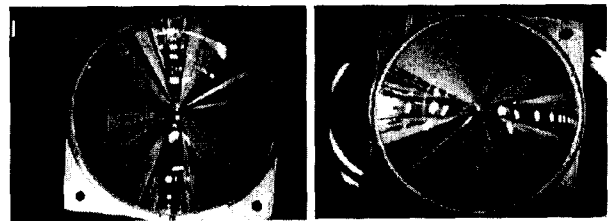


그림 3 복도 구간의 전 방향 영상  
Fig. 3 Omnidirectional image of the corridor

### 2.2 물체 인식을 위한 전방향 영상 전처리

복도 벽면 위에 있는 컬러 물체들을 인식하기 위해 그림 4와 같은 영상 분할 과정을 거쳐야 한다. 전체 알고리즘은 그림 1의 Image segmentation 단계와 같다. 카메라로부터 들어오는 RGB 컬러모델은 RGB 각 컬러 성분이 intensity와 밀접한 관련을 가지므로, 같은 색이라 해도 밝기 변화에 대하여 RGB 값이 달라지는 문제점이 있다. 이와는 달리 HSI (hue, saturation, intensity) 컬러 모델은 밝기 값을 독립적인 하나의 축으로 가지기 때문에 hue와 saturation은 조명의 밝기 변화에 크게 변하지 않는 장점이 있다. 먼저 RGB 컬러 모델을 HSI 컬러 모델로 변환한 뒤 영상 전 처리를 하였다.

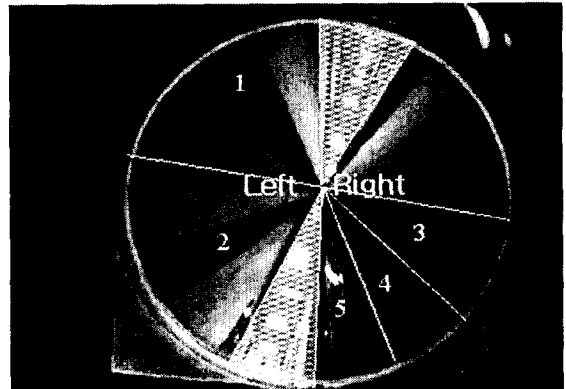


그림 4 물체 인식을 위한 전 방향 영상처리  
Fig. 4 Omnidirectional image processing for object recognition

#### 2.2.1 배경의 제거

일반적으로 벽면 색깔은 회색계통으로 컬러의 saturation이 매우 낮다. Saturation에 대한 일정한 임계값을 설정함으로써 배경색을 쉽게 제거할 수 있지만, 그렇지 않은 경우를 고려하여 영상으로부터 자동으로 배경색을 구해 제거해 주는 과정이 선행된다. 전방향 영상의 중심으로부터 일정 거리에 있는 pixel들의 hue, saturation 평균값을 계산하여 배경색으로 결정하고, 이 값과 일정한 비를 가지는 pixel들을 제거해 준다. 보다 효과적으로 배경을 제거하기 위하여 중심으로부터의 거리에 따라 두 영역으로 나누고 각각 배경색을 구하여 비슷한 색을 지니는 영역을 제거해 주었다.

### 2.2.2 형광등을 이용한 복도 벽면 영역 설정

영상전체에서 큰 intensity 값을 가지고 영상 중심으로부터 방사형으로 나타나는 물체들이 형광등이다. 일반 복도 구조물에서 형광등의 배치는 비슷하므로 전 방향 영상에 유사하게 나타난다. 즉, intensity 값에 대한 threshold 과정을 통해 형광등에 해당하는 pixel들을 선택할 수 있고 각 pixel의 중심으로부터의 방향을 계산할 수 있다. 계산된 방향값들의 histogram voting을 통해 얻어진 최빈값을 복도의 방향으로 얻고, 이로부터 복도 두 벽면에 해당하는 영역을 각각 찾을 수 있다.

### 2.2.3 복도 벽면 영역 분할

로봇의 위치 추정을 위해 관심 있는 영역은 벽면에 붙어 있는 문이나 액자, 게시판과 같이 컬러를 가지는 물체들이다. 색의 채도(saturation)가 낮은 영역들은 여러 요인에 의해 그 컬러 값이 쉽게 변할 수 있으며, 컬러를 이용한 인식 과정에서 쉽게 오류를 낼 수 있다. 따라서 saturation에 대한 적당한 임계값을 통해 벽면 구간을 thresholding하고, labeling함으로써 그림 4와 같이 영역 분할이 가능하다. 물체들이 영상의 중심에 대해 방사형으로 나타나는 특성을 이용하여 각도 범위로 영역을 분할하였다. 배경 제거과정이나 saturation에 대한 thresholding 과정에서 동일한 물체가 둘로 나뉘는 경우가 발생할 수 있는데, 이는 labeling한 각 영역의 각도를 이용하여 인접한 영역을 하나의 물체로 인식함으로써 해결할 수 있다. 또한 전 방향 영상에서 물체의 위 부분이 영상의 중심에 모이는 왜곡을 없애기 위해 분할된 영역에 대해 극 좌표계를 직교 좌표계로 변환하여 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이러한 부분 영상들의 컬러 정보를 물체 인식에 이용하였다.

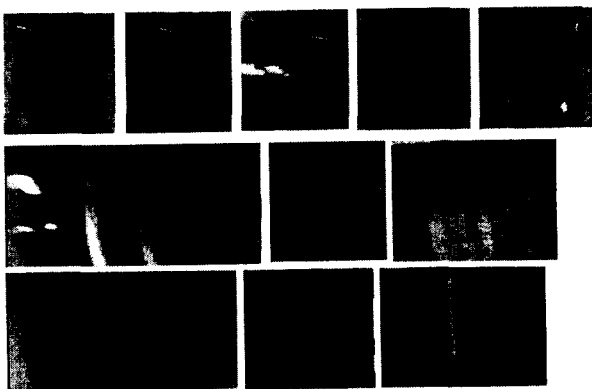


그림 5 컬러 물체의 직교좌표 변환 결과  
Fig. 5 Cartesian transformation result of color objects

그림 5는 640 × 480 크기의 전방향 영상으로부터 얻어진 부분 영상들로 해상도가 다소 낮다. 근본적으로 낮은 해상도가 컬러 분포에 크게 영향을 주진 않는다. 하지만, 낮은

해상도로 인해 조명 변화에 강인한 컬러 정보의 표현이 어려우며, 최종적으로 구하는 로봇의 위치에 오차를 발생시킬 수 있다. 이 문제에 대해 3장과 5장에서 더 자세히 언급하였다.

## 3. 물체 인식 알고리즘

컬러를 통해 물체를 인식하는 방법이 그림 5와 같이 물체들의 모양이 유사하고 제한된 집합의 경우에는 물체의 기하학적 정보를 비교하여 인식하는 방법보다 상당히 효과적일 수 있다. 또한 위치와 방향의 변화에 큰 영향을 받지 않는 장점이 있다. 배경을 제외한 영역에 대해 해당하는 컬러에 따라 pixel 수를 세어 히스토그램을 만듦으로써 물체의 컬러 정보를 저장할 수 있다.[15] 하지만, 조명의 변화에 의해 컬러 입력인 RGB 값이 크게 바뀌므로 동일한 물체를 다르게 인식할 수 있는 문제점이 있다.

조명의 변화에 강인한 색의 인식을 위한 많은 연구가 되어 왔고[16,19,21], 본 저자의 논문 'Localization of mobile robot using color indexing '[23]에서 인접한 pixel의 컬러 차이를 이용하는 방법이 실제 복도환경을 대상으로 적합한 방법임을 실험적으로 검증한바 있다. 하지만 전 방향 영상에서 얻은 부분 영상과 같이 해상도가 낮은 경우에는 인접한 pixel 사이의 컬러차이가 가우시안 분포로 나타나 물체들 사이에 별 특징이 없어지는 문제가 있었으며, 이를 해결하기 위해서는 edge enhancing과 같은 복잡한 알고리즘이 추가되어야 하는 단점이 발생하였다.'

따라서 본 논문에서는 물체 인식을 위해 조명 변화에 강인하다고 알려진 HSI 컬러 모델의 H(hue)와 S(saturation)를 이용한 이차원 히스토그램을 사용하였으며, 배경을 제외한 전체 pixel 수로 히스토그램을 정규화 시킴으로써 scaling 효과를 제거할 수 있었다. 또한 전 방향 모니터링 센서를 사용함으로써 얻을 수 있는 다수 물체들의 공간적인 정보를 함께 사용하여 interpretation tree 알고리즘을 적용하여 영상에 나타난 물체들의 그룹을 먼저 지도상에서 선정하고, 그 그룹 안에서 다시 개개의 특정 물체로 인식하였다. 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

#### Off-line : 지도 생성

- ① 복도 중앙을 따라 로봇이 이동하면서, 좌우 벽면의 컬러 물체를 포함한 모든 영상들을 얻는다.
- ② 영상의 saturation과 배경을 제외한 전체 크기가 일정 값 이상 되는 물체들만 표식물체로 선택한다.
- ③ 표식물체들의 기준좌표계에 대한 절대위치(L1,L2,...Lm)와 컬러 히스토그램을 저장한다.
- ④ 표식물체들을 양 벽면에 대해 각각 다른 그룹으로 설정한다.(M1,M2)
- ⑤ 표식물체들의 컬러 히스토그램을 서로 histogram intersection하여 일정 값 이하가 되는 물체들을 같은 컬러 그룹으로 묶는다.(C1,C2,...Cn) ( 그림 7 참조 )

컬러 그룹을 설정함으로써 조명에 의한 HS 컬러 히스토그램의 변화에 보다 강인하게 인식할 수 있다. 실제 실험한

경인 실내 복도 구간에 대해 생성된 지도는 그림 6과 같다.

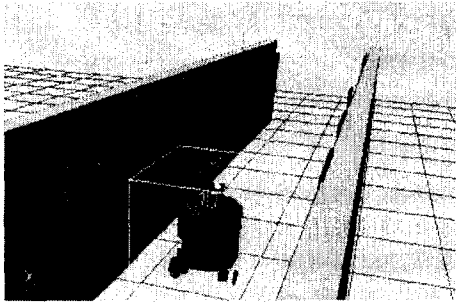


그림 6 복도구간의 3D 컬러 지도  
Fig. 6 3D colored map of corridor

**On-line : 물체 인식**

2장에서 설명한 전방향 영상 처리를 통해 영상을 분할하고, 분할된 각각의 영역에 대해 컬러 히스토그램과 각도( $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ ) 정보를 저장한다. 영역들의 각도 정보와 복도 방향을 비교해 두 벽면에 대해 각각 다른 그룹(S1,S2)으로 설정한다. 또한 각 그룹에 속한 영역들의 각도 정보를 비교해 공간적 배열 순서를 알 수 있다.

다음과 같은 두가지 가정을 바탕으로 센서의 정보(S1,S2)와 모델의 정보(M1,M2)를 이용하여 interpretation tree 알고리즘을 수행한다.

**가정 1:** 표식물체가 아닌 물체가 센서에 인식될 때, 그 물체의 컬러 정보는 표식물체들과 유사하지 않다.

**가정 2:** 하나의 전 방향 영상에서 인식되는 다수의 물체들은 공간적으로 일정 거리 안에 위치한다.

- ① 먼저 로봇의 방향에 따라 가능한 두가지 경우((S1, M1), (S2, M2)), ((S1, M2), (S2, M1))를 차례로 고려한다.
- ② S1에 속한 영역들의 각도정보( $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ )와 M1에 속한 물체들의 위치정보( $L_1, L_2, \dots, L_m$ )를 이용하여 공간적인 순서대로 컬러 그룹이 일치하는지 M1에 속한 모든 물체들의 조합을 검사하여 일치하는 조합만 선택한다. 표식물체들과 컬러 히스토그램 매칭 값이 매우 작은 영역은 비교에서 제외한다.
- ③ 선택된 물체들의 좌표를 이용하여 거리를 계산하고, 일정 값 이하인 조합만 선택한다.
- ④ S2와 M2에 대해서도 마찬가지로 ②, ③을 수행한다.
- ⑤ (S1,M1), (S2,M2)에 대한 결과로부터 나온 가능한 조합들에 대해서 역시 각각의 거리 평균 차이를 이용하여 일정 값 이하인 그룹만 선택한다.
- ⑥ 최종적으로 선택된 그룹이 없을 때는 (S1,M2), (S2,M1)의 경우를 같은 방법으로 고려한다.
- ⑦ 선택된 그룹이 둘 이상일 때는 각 영역의 컬러 그룹 대신 컬러 히스토그램 매칭 결과를 직접 사용한다. 매칭 값이 가장 큰 물체를 많이 포함하는 그룹을 선택한다.

- ⑧ 선택된 그룹이 하나일 경우는 ②번에서처럼 센서의 각도정보와 모델의 위치정보를 이용하여 가능한 공간적인 순서대로 영역들이 포함된 물체들을 각각 인식한다. 인식된 물체의 중심점이나 가장자리를 표식점으로서 로봇의 위치 추정에 사용한다.
- ⑨ 여전히 선택된 그룹이 둘 이상이거나 혹은 위치 추정을 위해 필요한 표식점을 얻지 못하는 경우는 미리 계산한 복도의 방향을 따라 로봇이 이동하여 위의 알고리즘을 다시 반복할 수 있다.

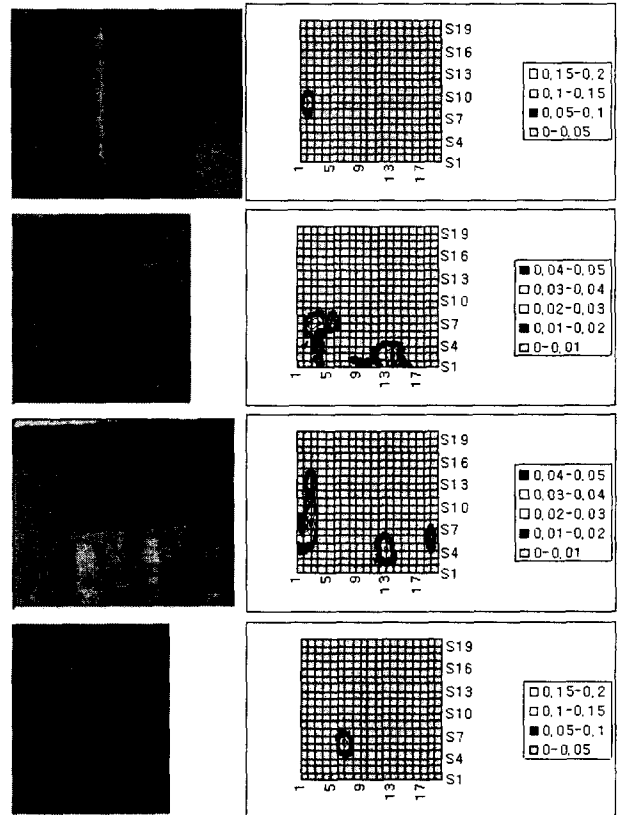


그림 7 컬러 그룹의 대표적 물체의 HS 히스토그램  
Fig. 7 HS histogram of color group

**4. 위치 추정**

3장에서 설명한 알고리즘을 바탕으로 현재 전 방향 영상에 나타난 물체들의 영상중심에 대한 각도 정보와 지도상에서의 위치 정보를 알았다. 그렇다면 로봇의 위치와 방향을 추정하는 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다.

Given  $L_0^w, L_1^w, \dots, L_N^w$  and  $\theta_0^R, \theta_1^R, \dots, \theta_N^R$   
find  $R^w, \theta_R^w$

( $L_0^w, L_1^w, L_N^w$  은 world 좌표계에 대한 물체의 좌표,  $\theta_0^R, \theta_1^R, \theta_N^R$  는 로봇 좌표계에 대한 물체의 각도,  $R^w, \theta_R^w$  은 world 좌표계에 대한 로봇의 좌표와 로봇좌표계의 각도)

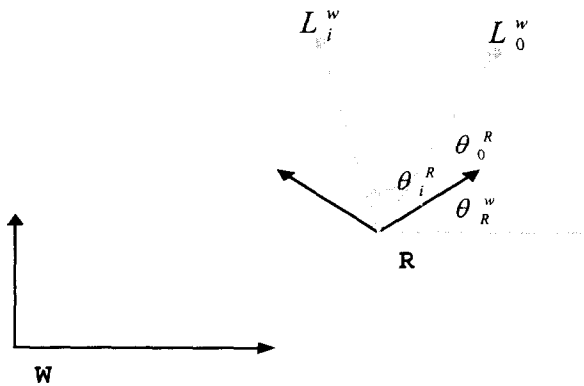


그림 8 로봇좌표계에서의 방위각과 지도좌표계와의 관계  
Fig. 8 Features' angles in robot's coordinates and relation of robot's and world coordinates

이차원 벡터 a, b, c와 그 사이각으로부터 식 1을 얻을 수 있다.

식 1에 벡터 a, b 대신에 로봇좌표계에 대한 두 물체의 위치 벡터  $L_0^w - R^w$ ,  $L_1^w - R^w$  를 각  $\psi$  대신에 각  $\theta_1^w - \theta_0^w$  을 대입하여 식 2를 얻는다.

$$\frac{1}{a} = \left( \frac{-|b|}{|a|} e^{i\psi} - 1 \right) \frac{1}{c} \quad \text{식 1}$$

$$\frac{1}{L_0^w - R^w} = \left( \frac{|L_1^w - R^w|}{|L_0^w - R^w|} e^{i(\theta_1^w - \theta_0^w)} - 1 \right) \frac{1}{L_1^w - L_0^w} \quad \text{식 2}$$

이차원 벡터  $R^w$ 를 구하기 위해서는 식 2와 같은 식이 하나 더 필요하다. 따라서 세 개 이상의 표식점에 대한 정보가 있다면 로봇의 위치와 방향 ( $R^w, \theta_R^w$ )을 계산할 수 있다. 보다 정확한 위치 추정을 위해 다수의 표식점으로부터 가장 신뢰성 있는 4개의 표식점을 선택해 로봇의 위치와 방향을 계산하였다. 전 방향 영상의 중심점에 대한 표식점들의 각도차이가 최대가 되도록 가능한 한 양 벽면에서 모두 표식점을 선택해 주었다. 충분한 수의 표식점을 구하기 위해 문이나 게시판과 같은 물체의 경우 양 모서리에 대한 정보를 모두 이용하였으며, 만약 그래도 3개 이상의 표식점이 구해지지 않거나, 구해진 표식점의 신뢰성이 떨어질 경우는 로봇이 복도 구간을 따라 조금 이동함으로써 위치를 알 수 있다. 영상 전 처리 과정에서 형광등을 통해 복도의 방향과 그로부터 로봇의 방향을 미리 알 수 있기 때문에 복도를 따라 이동이 가능해진다. 전체 시스템의 알고리즘 중 마지막 단계에 해당하는 물체 인식과 위치 추정 단계의 블럭 다이어그램은 다음과 같다.

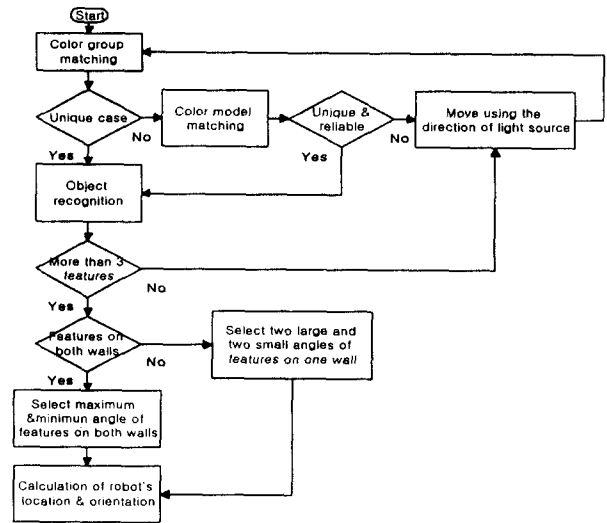


그림 9 물체 인식과 특징점 선택 알고리즘  
Fig. 9 Algorithm of object recognition and feature selection

### 5. 실험 결과 및 고찰

제시한 알고리즘 검증을 위하여 KAIST 전기 전자과 2층 복도구간을 대상으로 실험하였다. 3장에서 설명한 방법으로 생성한 컬러 지도의 이차원 거리지도는 그림 16과 같다. 선택된 표식모델은 양 벽면을 합하여 24개이며, 비슷한 컬러 패턴을 지니는 컬러 그룹은 5개로 선택되었다. 선택된 모델의 양 모서리의 좌표를 특징점으로 저장하고, 모델 인식을 위해 각 모델의 컬러 히스토그램을 저장하였다.

그림 11은 전방향 영상 처리 결과를 보여준다. 그림 왼쪽 하단에 나타난 작은 사각형이 전체 영상에서 제거된 배경의 컬러이다. 찾아진 형광등과 인식된 부분 영역들은 작은 사각형으로 표시되어 있다. 최종적으로 선택된 표식점의 방향이 방사형의 직선으로 나타나 있다. 전체 알고리즘의 수행 시간은 pentium PC 400에서 평균적으로 850 (ms)의 시간이 걸렸다.



그림 10 실험에 사용한 이동 로봇과 전 방향 센서 시스템  
Fig. 10 Mobile robot and omnidirectional system for experiment

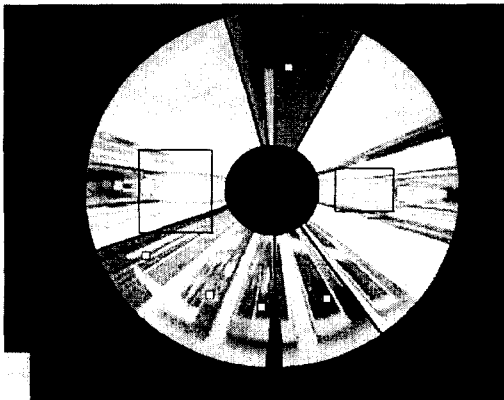


그림 11 영상전처리와 물체 인식 결과  
Fig. 11 Result of image preprocessing and object recognition

표 1과 표 2는 그림 11에 대한 컬러 물체 인식 결과와 특징점 선택 결과를 각각 보여준다.

표 1 컬러 그룹 매칭 결과

Table 1 Result of color group matching

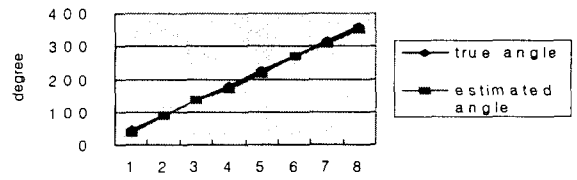
Wall	left				right
Region number	1	2	3	4	1
Right angle of region	19.5	56.0	80.4	112	66.7
Left angle of region	50.9	75.4	106	134	110
Matched model number	2	5	6	7	11
Matching value	0.83	0.64	0.73	0.89	0.95
Matched model group	1	1	2	4	1

표 2 특징점 선택 결과

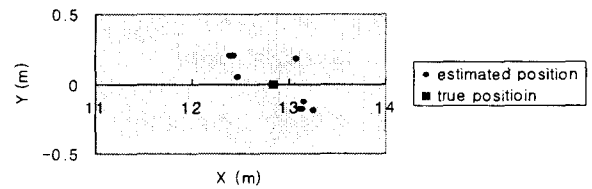
Table 2 Result of feature selection

Corridor angle (degree)	171.899			
Selected feature No.	1	2	3	4
Angle of feature point	19.5	134.2	66.74	110.80
Location of matched feature (x,y) (m)	9.86 1.17	13.8 1.17	12.5 -1.17	13.4 -1.17
Proper matching	true	true	true	true

그림 12와 그림 13은 각각 지도상에서 12번, 2.5번 지점에서 로봇이 45도씩 360도 회전하면서 얻은 로봇의 위치와 방향 결과이다.



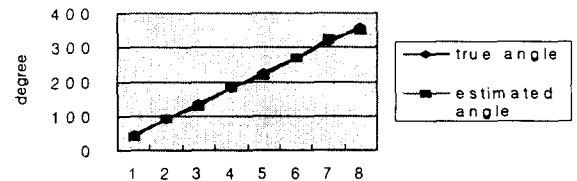
(a) 측정된 방향 결과



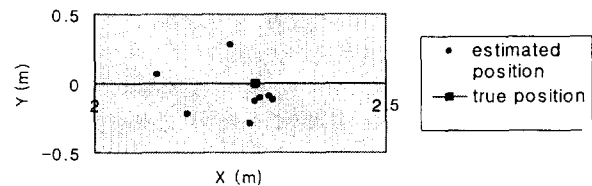
(b) 측정된 위치 결과

그림 12 지도상 (12, 0)에서 360도 회전하면서 측정된 위치와 방향 결과

Fig. 12 Result of calculated orientation and position of a robot at (12, 0)



(a) 측정된 방향 결과



(b) 측정된 위치 결과

그림 13 지도상 (2.5, 0)에서 360도 회전하면서 측정된 위치와 방향 결과

Fig. 13 Result of calculated position and orientation of a robot at (2.5, 0)

그림 14는 지도상 임의의 위치에서 얻은 로봇의 위치 추정 결과를 나타낸 것이다. 그림 15는 x와 y방향에 대한 각각의 오차를 나타낸 것이며, 로봇이 위치를 알 수 없다고 판단한 상황의 데이터는 오차에 포함시키지 않았다. 로봇이 위치를 알 수 없다고 판단한 위치의 환경은 거의 회색 벽이거나 특징 있는 컬러 물체들이 배치되어 있지 않았다.

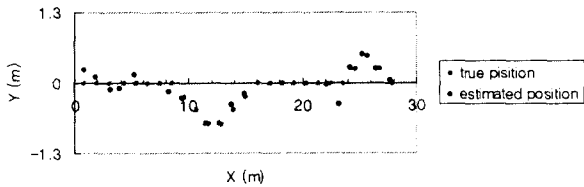


그림 14 임의의 위치에서 로봇의 위치 추정 결과  
Fig. 14 Result of global localization

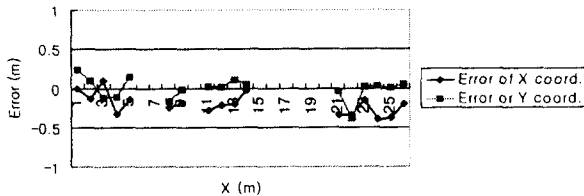


그림 15 위치 측정 오차  
Fig. 15 Error of global localization

위 결과 위치의 추정에 생기는 오차의 한계는 x 방향으로 약 35(cm), y 방향으로 약 20(cm)로서 각각 지도의 크기 (3000\*240)의 약 1.3%, 8.3%이다. 또한 그림 12와 그림 13에서 보듯이 안정적인 특징점을 얻을 수 있는 지점에서는 오차의 한계가 더 작다. 로봇의 navigation 관점에서 괜찮은 값이며, 장시간 사용하거나 예상치 못한 일이 발생할 때 생기는 상대적 거리 측정 센서의 오차를 보상해 줄 수 있는 값이다. 만약 초기 위치와 방향을 알므로써 과거의 자료로부터 현재의 센서 값을 보상할 수 있다면 위치 추정이 어려워졌던 장소에서도 더욱 정밀하게 로봇의 위치와 방향을 추정할 수 있을 것이다.

위의 결과에 나타난 오차는 크게 두 가지의 원인에 기인한 것이다. 표식점 인식에의 오류와 전 방향 영상의 각도 정보를 이용해 위치를 계산하는 과정에서 생길 수 있는 오차이다. 지도를 생성할 당시의 환경의 조명과 현재 로봇이 작업하는 환경의 조명, 카메라 세팅이 일치할 수 없으므로 입력되는 컬러 신호가 크게 달라질 수 있으며, 그로 인해 컬러에 의존한 영상 분할과정에서, 하나의 물체가 둘 이상의 물체로 잘 못 나뉘어 인식되는 경우도 있고, 두 물체가 함께 하나의 물체로 인식되는 경우도 발생한다. 이와 같이 지도에 입력되지 않은 물체가 (3장의 가정1을 깨고) 특정 모델과 컬러 분포가 유사할 경우 컬러 그룹 매칭이 실패하여 특징점들의 좌표에 오차가 포함될 수 있다. 또한 전 방향 영

상에서의 특징점들의 각도 정보를 얻을 때, 영상의 중심이 빗나가거나 영상의 해상도가 낮아 오차가 포함될 수도 있다. 실험에 사용한 일반 NTSC카메라를 사용하기 보다 고해상도 디지털 카메라를 사용하여 전방향 영상을 얻는다면 보다 나은 해상도의 부분 영상들을 얻을 수 있을 것이다.

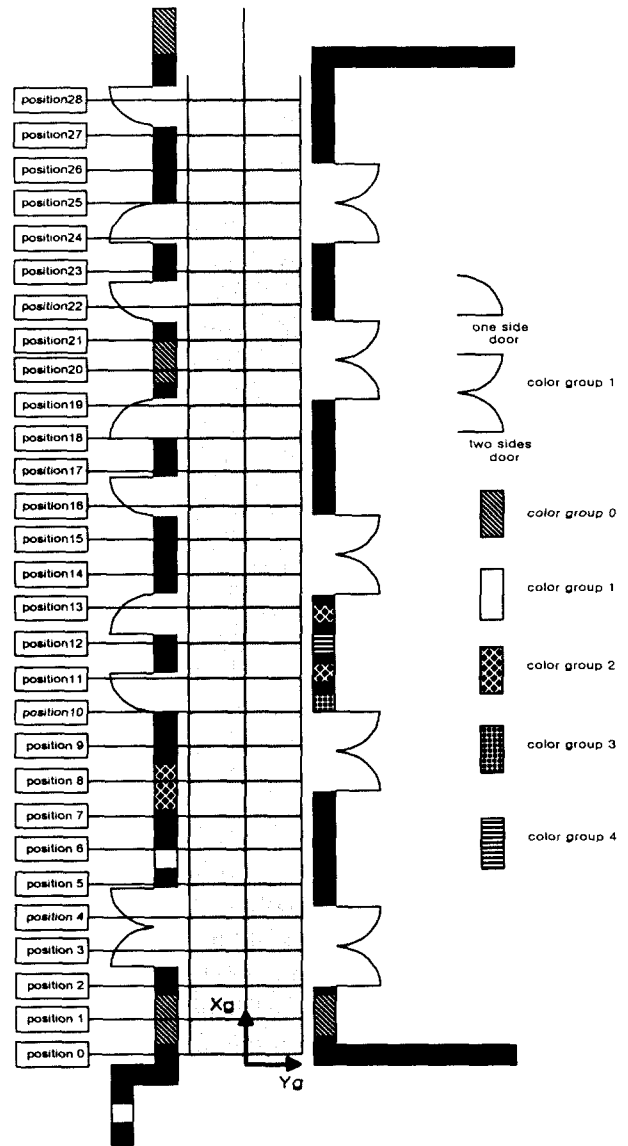


그림 16 실험에 사용한 지도  
Fig. 16 Map for experiment

### 6. 결 론

본 논문에서 우리는 이동 로봇을 위한 환경 인식과 이를 바탕으로 한 위치 추정에 대한 새로운 알고리즘을 제시하였다. 전 방향 센서와 컬러 정보를 이용한 물체 인식을 통해 환경에 대한 보다 많은 정보를 얻어 낼 수 있었으며 그로부터 어떤 초기 정보 없이도 실제 환경에서 로봇의 위치를 추정할 수 있었다. 비록 정밀한 위치 추정 결과를 얻진 못하

였지만, 인간이 자신의 위치를 정확하게 모르면서도 알고 있는 주위의 물체들로부터 대략적인 위치를 파악해 이동할 수 있는 것처럼 로봇의 자율 주행 측면에서는 허용 가능한 오차범위라고 생각한다. 만약 로봇이 특정 물체에 대한 정밀한 작업을 필요로 한다면, 그 특정 물체로부터의 상대적인 거리를 정확하게 알면 될 것이며 이는 또 다른 연구 분야라고 생각한다.

추후 전 방향 영상의 해상도를 높이고, 조명의 변화에 좀 더 강한 색 인식에 대한 연구를 바탕으로 보다 정확한 표식점 검출에 대해 연구할 것이며, 엔코더와 같은 상대적 거리 센서와 병행하여 보다 효과적이고 실용적인 위치 추정 시스템을 구현해 볼 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. Cassinis, D. Grana, A. Rizzi, "Using Colour Information in an Omni directional Perception System for Autonomous Robot Localization," Proceedings of EUROBOT '96.
- [2] J. Zhang, A. Knoll, V. Schwert, "Situating neuro-fuzzy control for vision-based robot localization," Robotics and Autonomous Systems 28 1999.
- [3] F. Dellaert, D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "Monte Carlo Localization for Mobile Robots," Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, May 1999.
- [4] K. S. Roh, W. H. Lee, I. S. Kweon, "Obstacle Detection and Self-Localization without Camera Calibration Using Projective Invariants," IEEE IROS'97, France, September, 1997.
- [5] S. W. Bang, S. D. Kim, M. J. Chung, "Sensor Fusion For Omnidirectional Sensor-Based Local Homing Navigation Using Fuzzy Arithmetic," Intelligent Automation and Soft Computing, 1998.
- [6] Y. Matsumoto, M. Inaba, H. Inoe "Visual Navigation using View-Sequenced Route Representation," Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, April 1996.
- [7] U. Nehmzow, T. Matsui, "Virtual Coordinates: Perception-Based Localization and Spatial Reasoning in Mobile Robots," Robotics Today 1999.
- [8] C. Pegard, E. M. Mouaddib, "A mobile robot using a panoramic view," Proceedings of International Conference on Robotics and Automation, April 1996.
- [9] Y. Matsumoto, K. Ikeda, M. Inaba, H. Inoue, "Visual Navigation using Omnidirectional View Sequence," Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999.
- [10] Schmitt, M., M. Rous, A. Matsikis, K. F. Kraiss, "Vision-based Self-Localization of a Mobile Robot Using a Virtual Environment," Proc. of 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 10 - 15, 1999, Detroit.
- [11] B. MARHIC, E. M. MOUADDIB, C. PEGARD, N. HUTIN, "Localization Based on Invariant-Models Recognition By SYCLOP," Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems 1999.
- [12] S. W. Bang, W. P. Yu, M. J. Chung, "Sensor-Based Local Homing Using Omnidirectional Range and Intensity Sensing System for Indoor Mobile Robot Navigation," IEEE 1995.
- [13] R. Basri, E. Rivlin, I. Shimshoni, "Image-Based Robot Navigation Under the Perspective Model," Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, May 1999.
- [14] Y. Raja, S. J. McKenna, S. Gong, "Color Model Selection and Adaptation in Dynamic Scenes," European Conference of Computer Vision, 1998.
- [15] M. J. Swain, D. H. Ballard, "Color Indexing," International Conference of Computer Vision, 1991.
- [16] B. V. Funt, G. D. Finlayson, "Color Constant Color Indexing," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995.
- [17] J. Matas, R. Marik, J. Kittler, "On Representation and Matching of Multi-Coloured Objects," IEEE 1995.
- [18] M. A. Smith, T. Kanade, "Video Skimming and Characterization through the Combination of Image and Language Understanding Techniques," International Conference of Image Processing 1997.
- [19] B. Funt, K. Barnard, L. Martin, "Is Machine Color Constancy Good Enough?," European Conference of Computer Vision, 1998.
- [20] K. C. Liang, C.-C. J. Kuo, "Progressive Image Indexing and Retrieval Based on Embedded Wavelet Coding," International Conference of Image Processing, 1997.
- [21] K. Banard, G. Finlayson, B. Funt, "Color Constancy for Scenes with Varying Illumination," Computer Vision and Image Understanding, Feb. 1997.
- [22] S. Berretti, A. D. Bimbo, P. Pala, "Sensations and Psychological Effects in Color Image Database," International Conference of Image Processing, 1997.
- [23] T. K. Kim, H. K. Park, M. J. Chung, "Localization of mobile robot using color indexing," 대한전기학회 학회 학술대회 논문집, 1999.



저 자 소 개



김 태 균 (金 泰 均)

1976년 5월 4일 생. 1994년 대구과학고등학교 수료. 1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(학사). 2000년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 현재 삼성종합기술원 연구원. 관심 분야:

컬러 비전, 이동 로봇, HCI

E-mail : taekyun@sait.samsung.co.kr



정 명 진 (鄭 明 振)

1950년 1월 31일 생. 1973년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1977년 미시간대학교 전기공학과 졸업(석사). 1983년 미시간대학교 제어공학과 졸업(공학박사). 1976년 국방과학연구소 연구원. 1981년 1월-1983년 8월

미시간대 CRIM 연구조교. 1983년 10월-현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수. 관심분야: 로봇틱스, 제어

E-mail : mjchung@ee.kaist.ac.kr



이 영 진 (李 榮 眞)

1970년 10월 12일 생. 1996년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1996년-현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정. 관심 분야: 로봇 비전, 이동 로봇

E-mail : lyj@cheonji.kaist.ac.kr