

## 다중 표식을 이용한 자율이동로봇의 자기위치측정

### Self-Localization of Autonomous Mobile Robot using Multiple Landmarks

강 현 덕, 조 강 현\*

(Hyun-Deok Kang and Kang-Hyun Jo)

**Abstract** : This paper describes self-localization of a mobile robot from the multiple candidates of landmarks in outdoor environment. Our robot uses omnidirectional vision system for efficient self-localization. This vision system acquires the visible information of all direction views. The robot uses feature of landmarks whose size is bigger than that of others in image such as building, sculptures, placard etc. Robot uses vertical edges and those merged regions as the feature. In our previous work, we found the problem that landmark matching is difficult when selected candidates of landmarks belonging to region of repeating the vertical edges in image. To overcome these problems, robot uses the merged region of vertical edges. If interval of vertical edges is short then robot bundles them regarding as the same region. Thus, these features are selected as candidates of landmarks. Therefore, the extracted merged region of vertical edge reduces the ambiguity of landmark matching. Robot compares with the candidates of landmark between previous and current image. Then, robot is able to find the same landmark between image sequences using the proposed feature and method. We achieved the efficient self-localization result using robust landmark matching method through the experiments implemented in our campus.

**Keywords** : self-localization, omnidirectional vision, landmark matching, mobile robot navigation

#### I. 서론

본 논문에서는 자율이동로봇의 자기위치측정에 대하여 기술하였다. 로봇이 필요한 몇 가지 기능 중 자기위치측정은 주변 환경에서 자신의 위치를 알 수 있는 기능이다. 자율이동로봇은 스스로 움직이면서 자신이 해야 할 임무를 수행하는 지능적인 시스템을 말한다. 따라서 자율이동로봇이 자신의 위치를 환경 내에서 알 수 있도록 하는 것은 로봇주행에 필수적이다. Singhal은 주행에 필요한 로봇의 필수기능들을 로봇과 센서를 이용하여 추출된 환경특징과의 거리, 방향각과 같은 정보를 계산하는 자기위치측정과 이를 바탕으로 하는 환경지도작성에 초점을 두었다[7].

본 논문에서는 로봇의 제한적인 시야를 극복하기 위하여 무지향 영상시스템을 채택하였다[4,5,6]. 무지향영상시스템은 전방향의 시야를 확보하여 보다 많은 주변 환경정보를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 물체의 이동흐름을 쉽게 알 수 있다. 표식 기반 주행에서 효율적인 특징을 이용하기 위하여 에지를 추출하거나, 특정한 영역내의 RGB값을 이용하여 로봇은 표식을 검출할 수 있다. 특히 인공물이 존재하는 환경에서 수직라인성분을 추출하여 이것을 로봇의 표식으로 삼는 방법이 건물이 많이 존재하는 도심지 환경이나, 직선성분이 많은 실내 환경에서 적합한 특징추출법이다[8,9].

본 논문에서는 실외환경에서 이동로봇이 주변 환경을 이

해하고 자신의 위치를 알기 위하여 필요한 표식을 획득하고 매 영상 시퀀스에서 얻은 표식들의 대응을 통하여 같은 표식을 찾는다. 로봇은 바퀴의 회전량으로 얻어진 이동 거리를 계산하여 자신과 표식과의 거리 및 방향각을 계산한다. 이를 위해 시각 시스템으로서 무지향 영상시스템을 이용한다. 본 연구에서는 곡면거울과 CCD카메라를 조합한 무지향 영상시스템을 써서 더 넓은 시야를 얻는다. 일반적으로 넓은 시야를 얻기 위하여 적합한 곡면거울의 선택은 카메라의 초점거리와 곡면거울의 형태에 따라 달라진다. 일반적인 중심사영을 얻기 위하여 곡면거울에 반사하여 들어온 입사광은 카메라의 초점을 통과해야 하므로 단일의 초점을 얻기 위한 곡면거울을 선택한다[6]. 획득된 전방향 영상을 이용하면 로봇은 환경에서 추출되어 일치된 표식과의 기하학적 관계를 이용하여 자신의 시야에서 자신의 위치와 환경의 정보를 알 수 있다.

논문의 2장에서는 무지향 시각 센서에서 얻어진 극좌표계 영상(image of polar coordinates)을 특징추출을 위한 직각좌표계 영상(image of rectangular coordinates)으로 변환하는 과정을 기술한다. 3장에서는 획득된 영상을 가지고 로봇이 주위 환경에서 특징 있는 영역으로 건물이나 도로의 표지판, 가로등과 같은 인공물의 수직성분이 강한 에지영역부분과 색상 성분으로 나뉘어 진 영역을 이용하여 특징적인 성분을 추출하는 과정을 설명한다. 4장에서는 이러한 추출된 특징 중에서 이전영상과 현재영상에서 같은 영역을 판별하는 유사도 측정과정과 대응 영역의 판별에 적용되는 기하학적 구속조건을 기술하며, 5장에서는 로봇이 이동한 거리를 이용하여 실제 주변 환경에서 이전영상과 현재영상에서 같은 영역으로 추출된 영역들과 로봇사이의 거리와 각도를 얻는 이동로봇의 자기위치측정방법을 기술한다. 6장에서는 실험을 통하

\*책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 6. 19, 채택확정 : 2003. 11. 30.

강현덕, 조강현 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부  
(hdkang@islab.ulsan.ac.kr/jkh@islab.ulsan.ac.kr)

※ 본 연구는 울산대학교 교내연구비 및 2002년도 네트워크 기반 자동화 연구센터(NARC)로부터 연구비지원을 받아 수행되었음.

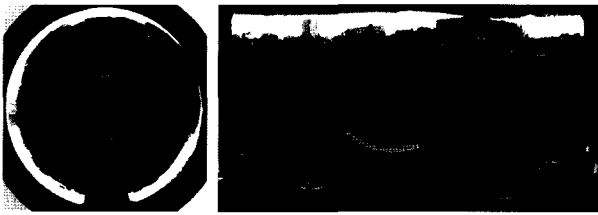


그림 1. (a) 극좌표계 영상 (b) 직각좌표계 영상.  
Fig. 1. (a) Image of polar coordinates (b) Image of rectangular coordinates.

여 로봇이 실제 환경에서 표식으로 추출된 영역과의 실제거리와 각도를 계산하여 이론값과 비교하며, 마지막으로 결론과 향후과제에 대하여 기술한다.

II. 무지향 영상 시스템

본 연구에 쓰인 이동로봇의 시각시스템은 무지향영상 시스템(omnidirectional vision system)으로 구성되어있다. 이 시스템은 한 개의 곡면거울과 CCD카메라의 조합으로 이루어져 자신의 위치에서 전방향의 영상정보를 획득할 수 있다. 따라서 제한적인 시야를 가진 일반 영상시스템보다 월등히 많은 정보를 얻을 수 있다[6].

극좌표계영상(그림 1(a))은 로봇의 위치에서 전방향의 시야를 획득한 영상을 말한다. 또한 본 논문에서 로봇이 위치한 실외환경은 건물이나 가로등, 현수막, 표지판, 간판과 같은 사각형의 형태인 물체들이 포함되어있는 공간이다. 따라서 이러한 인공물의 특징을 추출하기 위하여 극좌표계영상(Image of polar coordinates)을 다음과 같은 변환관계를 이용하여 직각좌표계영상(Image of rectangular coordinates)으로 변환한다.

$$f(x, y) = g(r, \theta) = g\left(\sqrt{x^2 + y^2}, \tan^{-1}\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

여기서,  $f(x, y)$ 은 직각좌표계 영상이며,  $g(r, \theta)$ 은 극좌표계 영상이다. 이러한 변환으로 그림 1(a)와 같이 무지향 영상시스템을 이용하여 입력된 극좌표계 영상을 그림 1(b)와 같은 직각좌표계 영상으로 변환할 수 있다. 변환 과정은 이동로봇의 시각 시스템을 통하여 추출되는 특징의 기하학적인 위치관계와 그 형태를 쉽게 알도록 하기 위한 전처리 과정이다.

거울의 형태는 의사쌍곡면거울(Pseudo-hyperboloidal mirror)을 사용하였다. 또한 거울의 형태에 따라서 무지향 시각시스템에서 얻는 영상의 특성이 달라진다. 이것은 Nayar et al[6]에서 연구하였으며 각 거울의 형태에 따른 영상 형태의 특성과 무지향 시각시스템의 해상도를 규정하고 있다.

III. 외부환경의 특징 추출

실외에서 이동로봇의 가동환경은 건물과 같은 많은 인공물들에 둘러싸여 있다. 따라서 로봇은 이러한 환경에서 인공물들을 효과적으로 찾을 수 있어야 한다. 이러한 인공물들은 대부분 직선 성분을 포함하고 있다고 가정한다. 예를

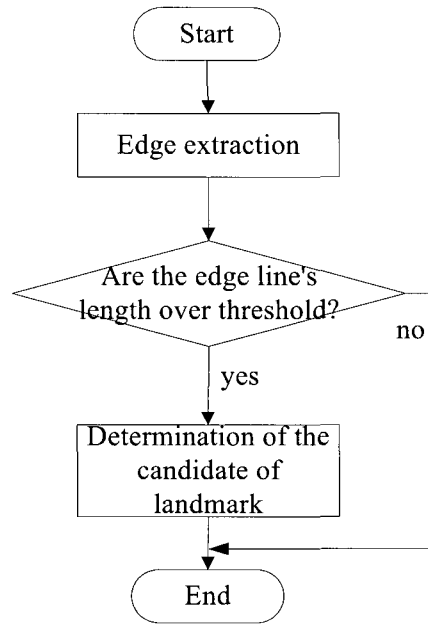


그림 2. 수직에지선분 추출 알고리즘.  
Fig. 2. Algorithm of extraction of vertical edge lines.

들어 건물의 가장자리, 또는 가로등, 현수막, 간판이 특징으로 추출될 수 있으며 이러한 물체들을 특징으로 추출하기 위하여본 논문에서는 직선성분을 추출하도록 하였다. 직선 성분은 주로 물체의 수직에지에 많이 분포하므로 특징추출을 위하여 수직에지를 추출한다. 수직에지와 더불어 수직성분들로 이루어진 영역 또한 특징으로 생각할 수 있다.

1. 수직에지 선분의 추출

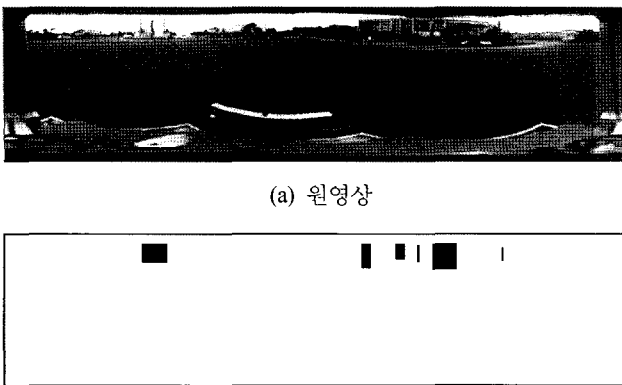
본 논문에서 정의된 환경에서 건물 또는 가로등은 수직에지 성분을 포함한다. 에지 영상에서 로봇은 이러한 수직성분을 추출할 때, 선분의 연속성과 일정 길이 이상의 에지 선분을 추출한다.

즉 추출된 수직에지 성분은 이동로봇이 자신의 위치를 알기 위한 효율적인 표식(landmark)의 후보가 된다. 그림 2는 수직에지 선분의 추출 알고리즘이다.

2. 수직에지를 포함한 병합영역 추출

앞 절에서 로봇은 외부환경에서 효율적으로 인공물에 대한 특징을 추출하기 위하여 수직에지를 사용하였다. 그러나 수직에지만을 이용하여 이동로봇이 사용할 표식을 생성하기에는 이용 가능한 정보의 양이 부족하다. 왜냐하면 비슷한 크기의 수직성분들이 일정하게 분포하는 창문, 출입문, 건물기둥의 영역에서는 수직에지 성분만으로는 표식으로 설정할 수 없다. 이러한 현상은 다음에 기술할 표식 일치과정 중 특징의 애매성(ambiguity)을 유발하여 결국 대응문제를 일으킨다.

대응문제의 애매성은 주로 비슷한 모양의 창문처럼 반복적으로 나타나는 영역에서 나타난다. 수직에지 성분들이 일정한 영역에서 추출된다면 이것을 같은 영역에서 나타나는 것들로 생각할 수 있다. 따라서 반복적으로 추출되는 수직에지성분들이 일정한 거리를 두고 추출된다면 이것을 같은 영역으로 생각할 수 있다. 이러한 현상이 있는 영역에서 수직



(a) 원영상  
(b) 수직에지들의 영역을 병합한 결과영상  
그림 3. 일정영역내의 반복패턴을 생각한 수직에지성분의 추출과 병합결과.  
Fig. 3. The image (a) is original and (b) shows merged regions of vertical edges.



그림 4. 건물의 경계조건을 이용한 병합영역의 통합.  
Fig. 4. Integration of merged regions using boundary condition of building.

에지 성분을 병합한 결과를 그림 3에 나타내었다.

### 3. 병합 영역의 통합

병합된 수직에지 영역들은 주로 인공물, 즉 건물의 외형 또는 건물의 일부분에서 추출된다. 따라서 추출된 영역들은 인공물들의 영역에 존재한다. 이러한 영역들은 대부분 인공물의 부분적인 영역을 나타내게 되므로 이것들을 적절한 조건을 이용하여 통합할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 건물의 부분적 영역이 특징영역으로 추출된 것을 하늘의 영역과 건물들의 영역에 대한 성질의 차이를 이용하여 구분하였다. 즉 추출된 영역들은 하늘과 건물의 구분으로 다시 하나의 건물의 영역으로 통합할 수 있다.

만약 추출된 수직에지 영역의 좌측부분이 하늘 영역이라면 이것은 건물영역의 시작을 의미한다. 마찬가지로 추출된 수직에지 영역의 우측부분이 하늘영역이라면 이것은 하나의 건물영역의 끝을 의미한다. 이것은 외부환경에서 비교적 크기가 크고 넓으며 하늘의 영역으로 둘러싸인 건물의 영역이 추출됨을 의미한다. 그림 4는 수직에지 영역을 위의 조건을 이용하여 건물의 외형을 찾아낸 결과이다.

그림 4에서 좌측의 추출영역은 대학의 조각탑이며 우측의 영역은 본관건물이다. 그리고 두 추출영역 사이에 실제 도서관 건물이 위치해 있지만 로봇과의 거리가 두 추출 영역보다 상대적으로 멀리 떨어져 있기 때문에 수직에지성분이 검출되지 않는 영역이다.

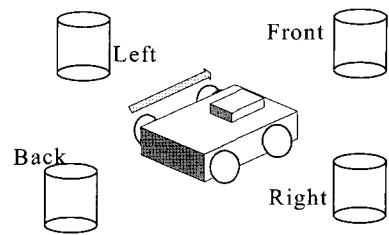


그림 5. 외부 물체의 위치에 따른 로봇의 주행.  
Fig. 5. Robot navigation by location of objects in environment.

## IV. 표식 일치

이동로봇이 움직이는 환경에서 자신의 위치를 알기 위하여 표식이 되는 특징을 추출하고 이것들을 병합, 분류하는 과정은 앞 절에서 설명하였다. 로봇은 얻은 영상열에서 획득된 표식후보들의 대응을 수행한다. 이전영상과 현재영상에서 추출된 표식 후보들 중에서 동일한 표식 후보 쌍을 직접 찾아야 한다. 그래서 두 영상사이에서 동일한 표식후보를 찾음으로써 자신의 위치를 계산하게 된다. 이것을 본 논문에서는 표식일치과정이라고 부른다. 표식일치를 수행하기 위하여 이전영상과 현재영상에서 획득된 표식후보 영역 내 색상 값의 평균을 이용한다. 즉 각 후보의 대응을 찾기 위하여 추출된 표식후보영역의 색상 값의 평균을 식 (2)처럼 구한다.  $C_i^k = \{x_{ij} \ j = 1, \dots, N\}$  가  $k$ 번째 영상에서의  $i$ 번째 표식후보 영역의 색상이면, 표식후보의 영역 색상평균은 다음과 같다.

$$\bar{C}_i^k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \quad (2)$$

각 표식후보사이에서 평균의 편차가 가장 작은 쌍을 찾기 위하여 다음의 목적함수를 사용한다.

$$J(i, j) = \min_j \bar{C}_i^k - \bar{C}_j^{k-1} \quad (3)$$

목적함수  $J(i, j)$ 는 현재영상프레임에서 추출된  $i$ 번째 표식후보와 이전영상프레임에서 추출된 표식후보군사이에서 두 표식후보간의 색상평균이 최소인  $j$ 번째 표식후보를 찾는 함수이다. 따라서, 로봇은 목적함수  $J(i, j)$ 를 이용하여 연속된 인접 영상프레임에서 가장 유사한 영역을 찾는다.

표식일치과정에서 가장 중요한 요소는 서로 인접한 영상프레임에서 특징영역의 대응이다. 로봇은 각 구간마다 직선 주행을 한다고 가정하고, 추출된 영역이 표식으로 획득될 때, 로봇의 진행방향에 따라 다음과 같은 기하학적 구속조건을 갖게 된다. 즉, 좌우표식은 단순히 영상열에서 자신의 크기는 변화하지 않으며 단지 병진운동의 형태만을 가진다.

한편, 전후표식의 경우 영상에서의 병진성분은 거의 나타나지 않고 그 크기만 각각 확대, 축소된다.

즉, 영상에서 물체의 변화는 로봇과의 위치에 따라 다른 성질을 가진다. 이 성질을 이용하여 영상 물체에 대한 일정한 변화의 성질을 본 연구에서는 기하학적 구속조건으로 정의하였다. 영상물체의 일정변화를 로봇과의 위치에 따른 스케일의 변화량과 병진운동의 변화량으로 구분하여 생각해보자.

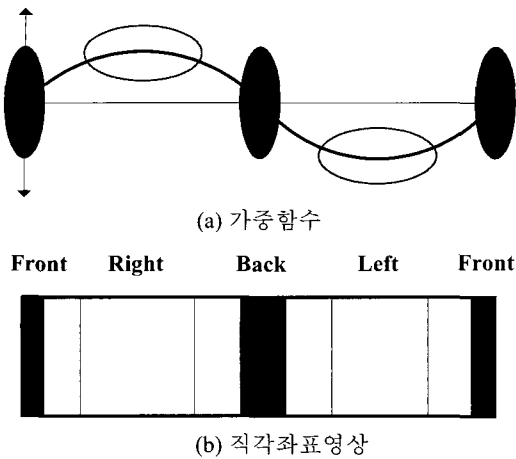


그림 6. 기하학적 구속조건.

Fig. 6. Geometrical constraint condition.

로봇과 표식후보사이의 방향각을 변수로 하는  $i$  번째 영상의 표식후보 위치값을  $R_i(\theta)$  라 두면,

$$R_{i+1}(\theta) = R_i(\theta) + a_T \sin\theta + a_S \cos\theta \quad (4)$$

여기서  $R_i(\theta)$  는  $i$  번째 영상에서 표식후보의 위치값이며,  $a_T, a_S$  는 각각 병진운동과 스케일변화를 표현하는 계수이다. 이들은 입력영상의 해상도와 추출에지선분의 임계값에 의해 정해진다. 이들 상수값들은 표식후보의 방향각에 따라 크기가 결정되는데 다음과 같은 관계를 가지고 있다.

표 1. 표식후보의 방위에 따른  $a_S$  와  $a_T$  의 비교.

Table 1. Comparison of  $a_S$  and  $a_T$  about direction of candidate of landmark.

	$\theta$ 범위; $n=0, 1$
$a_S > a_T$	$n\pi - \frac{\pi}{4} \leq \theta < n\pi + \frac{\pi}{4}$
$a_T > a_S$	$n\pi + \frac{\pi}{4} \leq \theta < (n+1)\pi - \frac{\pi}{4}$

그림 6의 기하학적 구속조건은 표식후보와 로봇과의 방위에 비례한 가중함수의 형태이다. 가중함수(weight function)는 표식후보의 영상내 위치에 따라 표식일치를 위한 탐색영역의 크기를 결정하는 함수를 말한다. 예를 들어 이전영상에서 추출된 표식후보가 전방표식이면 대응 표식후보 또한 전방 표식이다. 마찬가지로 이전영상에서 추출된 표식후보가 좌측 표식후보이면 현재영상에서 대응될 표식후보는 좌측에 위치한다. 표식후보의 위치에 따라 표식일치를 위한 탐색영역을 기하학적 구속조건을 이용하여 탐색영역의 크기를 조정하면 로봇은 더욱 강인하게 대응표식을 찾을 수 있다. 이 성질을 이용하여 표식후보들 사이에서 더욱 강인한 표식일치를 수행할 수 있다.

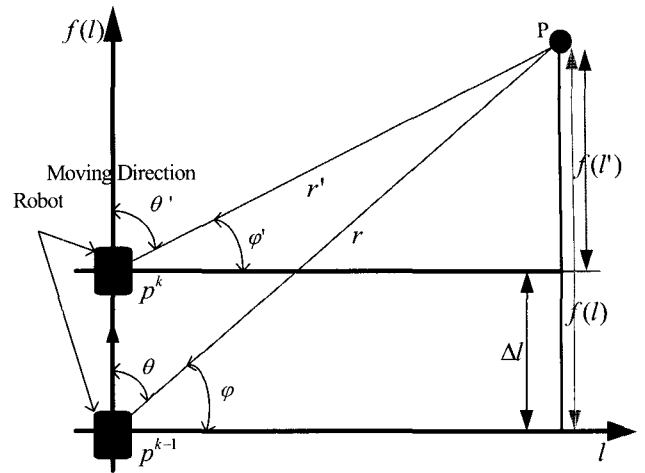


그림 7. 대응된 표식의 좌표를 이용한 로봇과 표식사이의 관계.

Fig. 7. Relationship of between robot and landmark using the position of matched landmark.

V. 이동로봇의 자기위치측정

로봇은 표식일치과정을 통하여 대응된 표식쌍을 획득하고 일치된 표식의 형태는 수직에지 또는 수직에지들의 병합된 영역이 될 수 있다. 따라서 로봇이 이전영상과 현재영상 사이에서 이동한 직선거리를 자신의 바퀴에 장착된 엔코더 센서로부터 얻을 수 있다.

대응된 표식에서 자기위치측정을 위하여 쓰이는 정보는 표식의 영상 좌표 값이다. 즉, 로봇은 표식일치과정을 통하여 표식으로부터 각 대응표식의 좌표를 통해 표식과의 거리를 계산한다.

그림 7에서 보듯이, 공간상의 한 점 P는 이전영상과 현재영상에서 대응된 표식으로부터 얻게 되고, 대응표식과 로봇과의 기하학적 관계를 이용하여 대응표식과 로봇간의 거리를 계산할 수 있다.

로봇의 이동형태와 거리로부터 로봇의 이동거리는 다음과 같다.

$$\Delta l = f(l) - f(l') = r \sin\phi - r' \sin\phi' \quad (5)$$

$$\frac{r'}{r} = \frac{\cos\phi}{\cos\phi'}$$

여기서,  $f(l)$  와  $f(l')$  는 각각 이전영상과 현재영상에서 대응된 표식의 전진방향 거리이다.

따라서 계산된 파라미터인  $\Delta l, \phi, \phi'$  을 이용하여  $r'$  와  $r$  을 계산하면 다음과 같다.

$$r = \frac{\Delta l}{\sin\phi' - \cos\phi' \tan\phi} \quad (6)$$

$$r' = \frac{\Delta l}{\cos\phi \tan\phi' - \sin\phi}$$

그림 7에서,  $\theta, \theta'$  는 로봇의 진행방향을 기준으로 대응된 표식의 방향각을 나타낸다.

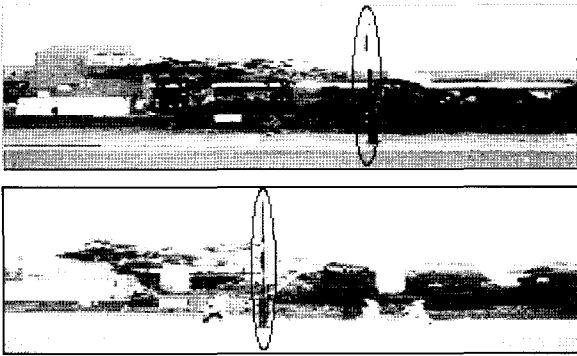


그림 8. 이전영상과 현재영상사이의 추출되어 일치된 표식 (가로등).

Fig. 8. Extracted and matched landmark between previous and current part of rectangular coordinated image.

표 2. 그림 8의 자기위치측정 결과.

Table 2. Results of self-localization of Fig. 8.

이전영상표식의 가로좌표	현재영상표식의 가로좌표	$\theta$ (degree)	$\theta'$ (degree)	$r$ (m)	$r'$ (m)
1106	777	82.0	93.6	14.9	14.8
1111	801	81.9	92.7	15.9	15.7

### VI. 실험

본 논문에서는 두 가지 형태의 표식을 이용하여 실험하였다. 하나는 가로등과 같은 단순한 수직에지 형태의 표식을 이용한 자기위치측정 실험을 하였다. 그리고 여러 가지 수직에지가 모여 있거나 뭉쳐있는 영역에서 표식의 병합과정을 거쳐 한 개의 영역형태로 추출된 표식을 이용한 실험을 하였다.

#### 1. 단일 수직에지 형태의 표식

획득된 외부 환경 내에서 가로등, 교통표지판의 기둥과 같은 표식정보는 단일 수직에지의 형태로 추출된다. 실험에서 로봇의 이동거리는 3미터이며 로봇의 이동방향은 영상의 좌측에서 우측으로 이동하는 형태이다.

실제 추출된 표식의 형태는 본 대학 내 가로등이며 이것은 로봇이 이동한 거리는 3m 그리고 실제 가로등과 로봇과의 거리는 15.5미터이다. 따라서 이전 영상과 현재영상에서 계산된 거리와의 차이는 평균  $\pm 0.5m$ 이다.

#### 2. 병합된 수직에지 영역 형태의 표식

단일 수직에지가 아닌 수직에지가 병합된 영역이 특징으로 대응된 것을 이용하여 자기위치측정을 하였다. 로봇의 이동 환경은 마찬가지로 본 대학 내의 광장이다. 로봇은 직선 주행의 형태로 영상의 중앙부에 위치한 도서관방향으로 3m 이동한 경우, 각각 이전영상과 현재영상에서 일치된 표식을 추출하였다. 그림 9에서 두 영상에서 일치된 표식은 각각 광장의 진행방향에 대해 조각탑과 우측에 있는 대학본관이 추출되었다.

여기서 추출된 표식 형태는 영역이므로 이전의 실험에서 계산된 픽셀단위의 거리계산은 할 수 없고 각 영역내의 계산된 거리의 평균을 일치된 표식의 대표 거리로 설정하였다.

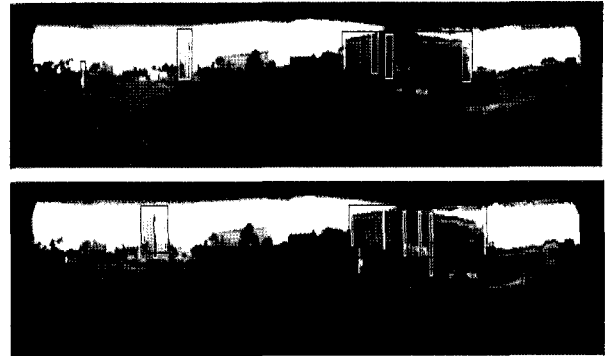


그림 9. 병합된 수직에지 영역의 일치된 표식.

Fig. 9. Matched landmark of merged region of vertical edges.

또한 거리가 가까운 표식의 오차보다 상대적으로 멀리 떨어진 대학본관의 거리오차가 더욱 크게 나타남을 알 수 있었다. 실제 표 3의 결과에서 표식 1(조각탑)의 로봇과의 실제 거리는 약 11.5m이며 자기위치측정 결과는 12.7m로 에러는 0.9m 이다. 그러나 표식 2(대학본관)의 실제거리는 37m이므로 자기위치측정 결과는 38.5m로 에러는 1.5m가 발생하였다.

표 3. 그림 9의 자기위치측정 결과.

Table 3. Result of self-localization of Fig. 9.

거리 (m)	표식 1		표식 2	
	이전	현재	이전	현재
	12.7	10.6	38.5	35.9

### VII. 결론

본 논문에서는 실외환경에서 전경영상을 이용한 자율이동로봇의 자기위치측정에 대한 연구를 소개하였다. 인공물이 비교적 많이 존재하는 영역에서 이들의 기하학적 형태를 특징으로 이용하였다. 건물, 가로등, 입간판, 교통 표지판 등의 직사각형 형태를 가지는 인공물에서 로봇은 자기위치측정에 필요한 특징으로 수직에지를 추출하고 추출된 수직에지가 영역 내에서 유일하게 존재하면 유용한 표식의 후보로 생각한다. 그러나 이러한 수직에지가 좁은 영역에서 반복적으로 다수 추출되면 수직에지의 반복 패턴의 병합과 분류과정을 거쳐 수직에지가 포함된 하나의 표식의 영역으로 확장하였다. 표식후보들은 영상열에서 표식일치과정을 통하여 대응표식으로 추출되었다. 로봇은 대응표식으로 영상열에서 로봇의 이동거리와 대응표식과의 방향각을 이용하여 대응표식과의 기하학적 위치관계를 알 수 있다.

자기위치측정을 위하여 로봇은 수직에지와 같은 단순한 특징을 이용할 수 있다. 그러나 다양한 실외 환경물에서는 단순화된 특징을 이용하는 것으로 표식일치과정이나 자기위치측정을 효과적으로 해결할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 수직에지패턴의 변화를 생각하여 이들을 병합함으로써 표식일치과정에서 생기는 대응문제를 해결하였다.

향후 연구의 방향에서는 다음 사항을 고려한다. 첫째, 무지향 영상의 해상도이다. 로봇과 환경내의 물체사이의 거리

는 해상도에 직접적으로 영향을 미친다. 사용영상의 저해상도는 많은 특징정보의 손실이 있으며, 특히 무지향 영상시스템에서는 이러한 손실은 대응표식의 거리에 따라 현저하게 나타난다. 따라서 보다 높은 해상도와 거울의 기하학적 형태를 고려하여 무지향영상 시스템을 이용한다면 효과적인 특징추출을 이룰 수 있다. 둘째, 로봇이 경사진 영역을 탐색하는 동안 이러한 무지향 영상에서 기울어진 각도에 대한 고려이다. 이것은 자기위치추정에 있어서 이용되는 대응표식의 좌표와 방향각에 직접적인 영향을 미치기 때문이다.

#### 참고문헌

- [1] H.-D. Kang and K.-H. Jo, "Self-localization of autonomous mobile robot from the multiple candidates of landmark", *Proc. of Optomechatronic Systems III*, pp. 428-435, 2002, Stuttgart, German
- [2] H.-D. Kang and K.-H. Jo, "Robust landmark matching for self-localization of robots from the multiple candidates", *Proc. of ICCAS*, pp. 255-258, 2002.
- [3] K.-H. Jo, H.-D. Kang and T.-H. Kim, "Self-localization from the panoramic views for autonomous mobile robots", *Proc. of ICCAS*, pp. 444-447, 2001.
- [4] N. Vlassis, Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh and T. Matsui, "Edge-based features from omnidirectional images for robot localization", *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics & Automation*, 2001.
- [5] N. Winters, J. Gaspar, G. Lacey and J. Santos-Victor, "Omnidirectional vision for navigation", *IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, pp. 21-28, 2000.
- [6] S. Baker and S. K. Nayar, "A theory of single-viewpoint catadioptric image formation", *Int'l Journal of Computer Vision* 35(2), pp. 175-196, 1999.
- [7] A. Singhal, "Issues in autonomous mobile robot navigation", *Report of Computer Science Department*, University of Rochester, May, 1997.
- [8] S. Li and S. Tsuji, "Finding landmarks autonomous along a route", *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics & Automation*, 1992.
- [9] J. Y. Zheng, M. Barth and S. Tsuji, "Autonomous landmark selection for route recognition by a mobile robot", *Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics & Automation*, pp. 2004-2009, 1991.



**강 현 덕**

1974년 4월 25일생. 2000년 울산대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 2002년 동대학원 졸업(공학석사). 2002년~현재 울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학부 박사과정. 관심분야는 이동로봇, 컴퓨터비전, 지능시스템 제어



**조 강 현**

1964년 3월 19일생. 1989년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사). 1993년 일본 Osaka대학 대학원 전자제어기계공학과 졸업 (공학석사). 1997년 Osaka대학 대학원 전자제어기계공학과 졸업 (공학박사). 1997년~1998년 ETRI 시스템공학연구소 포스트닥터연구원. 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 조교수. 관심분야는 컴퓨터비전, 휴먼컴퓨터인터랙션(HCI), 지능시스템 제어.