

< 논문 >

## 전방위 영상을 이용한 이동 로봇의 전역 위치 인식

윤석준<sup>†</sup> · 한우섭\* · 민승기\* · 노경식\*  
(2007년 1월 24일 접수, 2007년 3월 16일 심사완료)

### Global Localization of Mobile Robots Using Omni-directional Images

Sukjune Yoon, Woosup Han, Seung Ki Min and Kyung Shik Roh

**Key Words :** Global Localization(전역 위치 인식), Omni-Directional Image(전방위 영상), Mobile Robot(이동 로봇)

#### Abstract

This paper presents a global localization method using circular correlation of an omni-directional image. The localization of a mobile robot, especially in indoor conditions, is a key component in the development of useful service robots. Though stereo vision is widely used for localization, its performance is limited due to computational complexity and its narrow view angle. To compensate for these shortcomings, we utilize a single omni-directional camera which can capture instantaneous 360° panoramic images around a robot. Nodes around a robot are extracted by the correlation coefficients of CHL (Circular Horizontal Line) between the landmark and the current captured image. After finding possible near nodes, the robot moves to the nearest node based on the correlation values and the positions of these nodes. To accelerate computation, correlation values are calculated based on Fast Fourier Transforms. Experimental results and performance in a real home environment have shown the feasibility of the method.

#### 기호설명

$C_{xy}$  : 상호 상관  
 $C_{xx}$  : 자기 상관  
 $\rho$  : 상관 계수

#### 1. 서론

최근 서비스 로봇 분야의 눈부신 발전에 의해 청소로봇, 경비로봇 등의 지능로봇이 가정이나 공공장소에서 점차 선보이고 있다. 그러나 이러한 로봇들이 이용되기 위해서는 자기 위치를 인식하고 원하는 목적지로 이동하는 자율이동 기술이 필수적이다. 특히, 이에 대한 가장 근본적인 기술은 사전 움직임 정보 없이 자신의 위치를 인식할 수

있는 전역위치(Global Localization) 인식 기술이다.

기존의 연구에서는 자기 자신의 위치를 인식하기 위해서 레이저 스캐너, 초음파센서, 적외선 센서, 위성 비콘(Active Beacon), 비전 시스템(Vision System) 등을 사용하였다. 이 중에서 비전 시스템은 보다 풍부한 공간 정보를 얻을 수 있고 상대적으로 저가로 구현할 수 있기 때문에 자율주행 기술을 확보하기 위한 궁극적인 해법으로 생각되어 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 일반적으로 시야각이 60° 정도로 제한되어 동일 위치에서도 바라보는 방향에 따라 서로 다른 정보가 얻어지고, 원하는 정보를 얻기 위해 많은 계산량이 필요하며, 일관된 정보를 얻어내는 일 또한 쉽지 않다. 본 논문에서는 이러한 비전 시스템의 단점을 극복하기 위하여 360° 전방향을 동시에 볼 수 있는 전방위카메라를 사용하여 로봇의 전역 위치 인식을 수행하였다.

전방위 영상을 이용하여 자기 위치를 인식하는 방법으로는 두 대의 전방위 카메라를 스테레오로 구성하여 스테레오 전방위 비전 시스템(Stereo

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 삼성전자 생산기술연구소  
E-mail : sukjune.yoon@samsung.com  
TEL : (031)200-2090 FAX : (031)200-2467

\* 삼성전자 생산기술연구소

Omni-directional Vision System)을 이용하는 방법<sup>(1)</sup>과 한대의 전방위 카메라(Single Omni-directional Camera)를 이용하는 방법<sup>(2-6)</sup>이 존재한다. 전자는 스테레오 영상으로부터 3 차원 정보를 계산하기 때문에 많은 계산 시간이 필요하고, 후자는 위치 인식을 위해 기준이 되는 지도가 필요하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 가정과 같은 실내 환경에서 동작하는 로봇의 자기위치 인식기술을 대상으로 하였는데, 이 경우 실내 환경에서는 쉽게 기준 영상을 얻을 수 있으므로 한 대의 전방위 카메라 시스템이 유용하게 사용될 수 있다. 뿐만 아니라 빠른 시간 내에 위치 인식을 수행하여 실시간으로 자기위치를 보정하여야 다양한 장애물이나 공간상의 구조물로부터 안전하므로 이 방법이 더욱더 유용하다.

전방위 카메라를 이용한 자기위치인식은 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다. 특히 전방위 카메라 한 대를 이용하여 로봇의 전역 위치인식을 수행하기 위한 방법으로는 기존에 구축되어 있는 지도 영상과 임의의 위치에서 로봇이 얻은 전방위 영상 간의 상관 관계(Correlation)를 이용한 방법<sup>(2-6)</sup>이 제안이 되었다. 이러한 상관 관계를 구하는 방법으로는 푸리에 표현자(Fourier descriptor),<sup>(2)</sup> 전방위 영상의 수직 모서리의 매칭,<sup>(3,4)</sup> 전방위 영상의 수평면선의 매칭<sup>(5,6)</sup> 등의 다양한 방법이 있다. 그러나 이러한 방법들은 계산 시간이 많이 필요할 뿐만 아니라 로봇의 실제 위치를 정확히 인식할 수 없는 단점이 있다. 이는 사전에 미리 정해진 특정 노드 중에 현재 로봇의 위치와 가장 가까운 노드(Node)를 인식하는 방법이기 때문이다. 또한, 일반적인 시각기반(Vision based) 위치인식 방법으로는 전방위 영상 내의 SIFT<sup>(7)</sup>와 에피폴라 기하학(Epipolar Geometry)를 이용한 방법<sup>(8)</sup>이 제안되었는데, 이 방법들은 계산량이 많고, 매칭 시 오차에 의해 로봇 위치 인식에 많은 오차가 유발되는 단점이 있다.

본 연구에서는 전방위 영상을 통해 전역 위치 인식을 수행하는 방법을 제안하는데 있어, 계산 속도 문제와 현 위치 파악의 정확도 문제 모두를 해결하였다.

제안된 방법은 로봇 주변의 노드를 고속으로 인식하는 단계와 로봇에 가장 가까운 노드로 이동하는 두 단계로 이루어져 있다. 첫 번째 단계로서 로봇 주변의 노드를 인식하기 위해서는 임의 위치의 로봇에서 얻은 수평면선과 지도 수평면선의 상관 관계를 구해야 하며, 이 때 상관 관계는 상

관 계수(Correlation Coefficient)를 통하여 구해진다. FFT(Fast Fourier Transform)방법을 이용한 상관 계수는 상관 관계를 구하는 다른 방법보다 조명 변화에 둔감할 뿐만 아니라 고속 계산이 가능한 장점이 있다. 이렇게 로봇 주변의 노드를 인식한 후, 두 번째 단계로서 상관 계수 값이 가장 높은 세 점의 노드 중에 가장 가까운 노드로 로봇이 이동하여 위치 인식을 종료한다.

2 장에서는 이동 로봇 및 전방위 카메라를 소개하며, 3 장에서는 상관 관계를 이용하여 로봇 주변의 노드를 구하는 방법을 기술한다. 4 장은 3 장에 얻은 상관 관계를 이용하여 로봇에서 가장 가까운 노드로 움직이는 방법을 다루고 5 장은 제안된 방법을 이용하여 실제 가정 환경에서의 실험 결과를 보여주고 마지막 6 장에서는 본 논문의 결론을 기술한다

## 2. 시스템 개요

본 연구에서 사용된 이동 로봇은 iMARO III 이다. iMARO III 는 사무실 및 가정 환경에서의 서비스 제공을 목적으로 삼성전자 생산기술연구소에서 개발되었다. Fig. 1 은 iMARO III 및 iMARO III 에 장착된 전방위 카메라를 보여준다.



(a)

Omni-directional Camera



(b)

Fig. 1 (a) Office and home service robot iMaro III. (b) The installed omni-directional camera

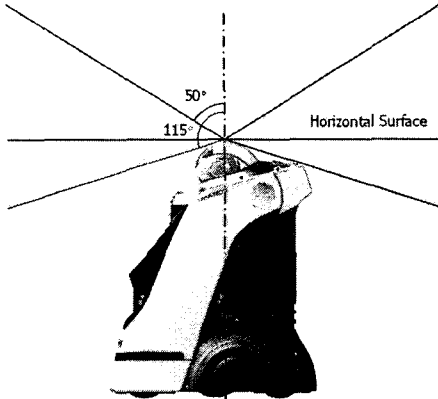


Fig. 2 Omni-directional camera view

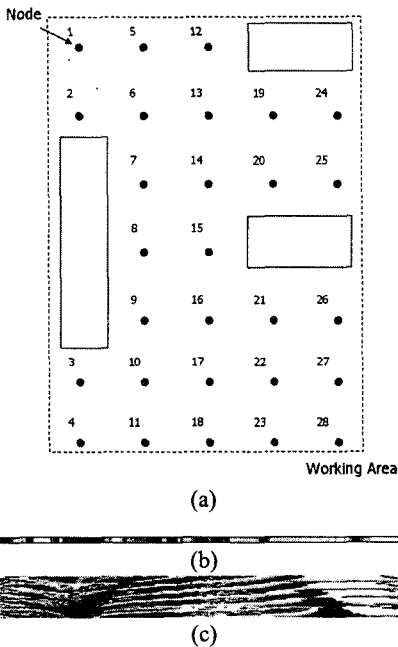


Fig. 3 (a) Nodes in the working space; (b) Circular horizontal line at the node; (c) Generated CHL map

전방위 카메라는 Fig. 1(b)에 보이는 것과 같이 로봇에 장착되어 주변 360°의 영상을 얻는다. 사용된 전방위 카메라의 해상도는 1.2M 화소이며, 시야각은 Fig. 2에 보여지는 것과 같이 수직으로 65°(50°- 115°)이다.

### 3. 상관 계수를 이용한 노드 인식

로봇의 전역 위치 인식은 Fig. 3(a)와 같이 로봇의 전체 운동영역에 대해 미리 지정된 각 노드 점에서 영상을 추출한다. 이렇게 추출된 각 노드

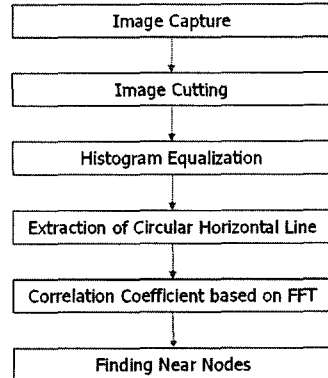


Fig. 4 Overall process flow of finding near nodes around a mobile robot

점에서의 영상으로부터 Fig. 3(b)와 같은 수평면선을 수집하고, 최종적으로 Fig. 3(c)와 같은 기준 영상(영상 지도)을 만들어 준 후, 현재 로봇이 위치한 지점에서 얻어진 전방위 영상과 비교하여 노드 영상들 중 가장 유사한 영상을 찾아내어 결정한다. 기준영상의 수평면선들과 임의위치의 얻은 수평면선 간의 유사도를 측정하기 위하여, 상관 계수를 도입하였다. 로봇 주변의 노드를 인식하기 위한 상관 계수 비교법은 Fig. 4와 같은 흐름을 따른다.

상관 계수를 계산하기 위해, 먼저 각각의 영상을 주어진 위치에서 추출하고(Image Capture), 불필요한 영상 부를 제거하여 도넛 형태의 영상(Image Cutting)을 만든다. 그리고, 구해진 데이터 영상이 시간에 따른 조명변화에 둔감하게 일정한 출력을 주도록 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)를 실시한다. 이렇게 보정된 영상데이터의 수평면선(Circular Horizontal Line)을 실제 비교를 위한 데이터로서 추출한다. 추출된 수평면선과 기준에 구성된 지도 영상 데이터 간의 상관 계수(Correlation Coefficient)를 구하여 상호 연관성을 구한다. 마지막으로 모든 노드와 현 위치 영상간의 상관 계수 중 가장 상관 계수가 높은 노드를 선택하여 이를 현재 로봇이 존재할 확률이 가장 높은 노드로 지정한다. 각각의 과정에 대한 자세한 내용은 각 소단원에서 자세히 설명한다.

#### 3.1 전방위 영상 전처리

전방위 영상을 이용하여 전역 위치 인식 수행하기 앞서 전방위 영상의 의미 있는 부분을 추출하고, 이 영상의 노이즈 제거 및 조명 변화에 둔감하게 하는 전처리 작업이 필요하다. 특히, 실험실과 같은 인공적인 환경이 아니라 자연 채광이 존재하는 실제 가정 환경에서는 이러한 전처리 작업

이 필수적이다.

이를 위하여 전방위 영상의 노이즈 제거는 5x5 가우시안 필터(Gaussian Filter)를 사용하였으며, 조명 변화에 둔감하게 하기 위해서 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)를 수행하였다. Fig. 5(a)는 카메라로 얻은 전방위 영상을 보여주며, Fig. 5(b)는 전처리된 전방위 영상을 나타낸다. Fig. 5 에서 알 수 있듯이 어두웠던 영상이 표준화 되는 것을 관찰 할 수 있다.

Fig. 5(b)에서 보여지는 것처럼 붉은색 수평면선(Circular Horizontal Line)은 전방위 영상에서 동심원으로 결상된다. 이러한 동심원은 로봇이 이동하여도 늘 같은 평면을 결상하므로 항상 동일한 정보를 얻을 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 매칭을 위한 기준 영상으로 이러한 수평면선(중심 동심원)이 선택되었다.

3.2 로봇 주변 노드 인식

앞서 설명한 것과 같이 주어진 영상과 로봇의 현 위치 영상을 비교하기 위해 로봇 위치의 수평면선과 지도 노드들의 수평면선과의 상관 관계(Correlation)를 상관 계수(Correlation Coefficient)를 사용하여 결정하였다. 상관 계수는 식 (1)로 정의되며, 상관 관계가 높을 수록 1, -1 에 가까우며, 상관 관계가 낮을 수록 0 에 가까운 값을 갖는다. 상관 계수는 각각의 R, G, B 칼라 성분에 대하여 구한 다음 이 값을 합하여 최종의 상관 계수 값을 구하였다.

$$\rho(\tau) = \frac{C_{xy}(\tau)}{\sqrt{C_{xx}(0) \cdot C_{yy}(0)}} \quad (1)$$

여기에서  $C_{xy}(\tau)$ 는  $x$ (현재 로봇의 수평면선)와  $y$ (지도의 각 노드의 수평면선)의 상호 상관(Cross Correlation)을 나타내며,  $\tau$ 는 수평면선의 이동 각을 나타낸다.  $C_{xx}(0)$  와  $C_{yy}(0)$ 는 각  $x, y$ 의 자기 상관

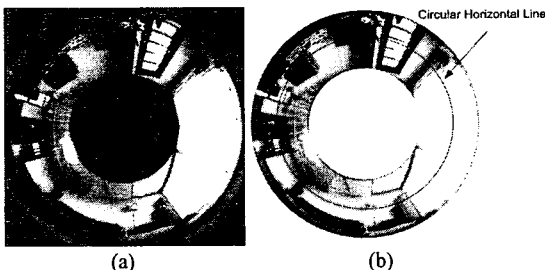


Fig. 5 (a) Raw omnidirectional image; (b) Pre-processed omnidirectional image

(Auto Correlation)을 나타낸다. 이렇게 수평면선의 상관 관계를 이용한 매칭 방법에 대한 발상은 Matsui<sup>(5)</sup>에 의해 먼저 제안되었다. 그러나 제안된 방법<sup>(6)</sup>은 계산시간이 오래 걸려 실시간으로 자기위치를 보정하고 주행하는 이동로봇에 적용하기에 어려운 단점이 있었다. 그 이유는 Matsui 에 의해 제안된 방법<sup>(5)</sup>이 이동 각  $\tau$ 를 찾기 위해서 수평면선의 해상도만큼 신호를 움직이면서 SAD 상관 관계 값을 구하기 때문에 모든 노드 영상과 주어진 영상을 비교하기 위해 무수히 많은 계산을 반복해야 하기 때문이다. 그러나, 본 논문에서는 이러한 상관 관계를 구하기 위해 FFT 를 이용한 상관 계수(Correlation Coefficient)를 제안하였는데, 이 방법은 단 한번의 계산으로 가장 상관 관계가 가장 높은 이동각  $\tau$ 와 그 때의 상관 계수를 한꺼번에 구할 수 있는 장점이 있다. FFT 를 이용하여 상호 상관을 구하는 식은 아래의 식 (2)와 같다. \*는 켈레 복소수(Complex Conjugate)를 나타낸다.

$$Corr(x, y)_j = F^{-1}\{F(x)F^*(y)\} \quad (2)$$

위의 식 (2)에 보여지는 것과 같이  $x, y$ 의 상호 상관은 값의 이동량  $j$ 에 대하여 구해지기 때문에 상관 계수는 Fig. 6(b)에 보여지는 것과 같이 모든 이동각에 대하여 구해진다. 그러므로 Fig. 6(b)에 나타난 것과 같이  $x, y$ 의 상관 계수 값은 최대값(붉은점)C 이고, 이 때의 이동각은 R 이다.

Fig. 6(a)는 수평면선의 영상이며, Fig. 6(b)는 FFT 를 이용하여 Fig. 6(a)의 두 수평면선의 상관 계수를 구하는 방법을 나타낸다.

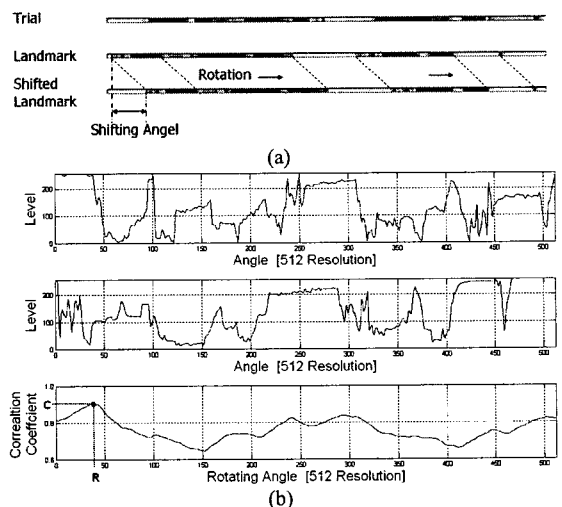


Fig. 6 (a) CHL images of the trial, landmark and shifted landmark; (b) FFT-based correlation calculation

현재 위치에서 구한 수평면선과 지도에 저장 되어 있는 각 노드의 수평면선의 상관 계수를 구하여, 가장 큰 상관 계수를 가지는 것이 현재 위치에서 가까운 노드가 된다.

#### 4. 상관 계수 값을 이용한 로봇의 전역 위치 인식

3 장에서는 로봇의 현재 위치를 상관 계수를 이용하여 결정하였다. 그러나 이렇게 결정된 위치는 정확한 로봇위치 추정에 있어 두 가지 관점에서 문제가 발생한다. 첫째로 전처리와 상관 계수법 등 영상신호처리 전체의 과정에서 발생하는 불확실성에 의해 다른 위치를 자기위치로 판정하도록 하는 짝짓기오류(Mismatching Error)이고, 둘째로는 로봇 자체가 노드점 상에 존재하지 않으므로 노드 격자 크기만큼의 오차는 늘 남아 있게 되는 분해능 오차(Resolution Error)이다.

본 연구에서는 로봇의 정확한 전역 위치 인식을 성공적으로 수행하기 위해서 3 장에서 얻은 로봇 주변의 노드들의 상관 계수값을 이용하여 현 위치로부터 가장 가까운 노드로 이동하여 이를 자율주행의 기준점으로 삼는 방법을 제안하였다. 제안된 전역 위치 인식의 흐름은 아래의 Fig. 7 와 같으며,  $C[0]$ ,  $C[1]$ ,  $C[2]$ ,  $C[3]$ 은 최근접 노드와의 상관계수값으로,  $C[0]$ 이 가장 최근접이며,  $C[1]$ ,  $C[2]$ ,  $C[3]$ 은 이전 단계들의 값이다.

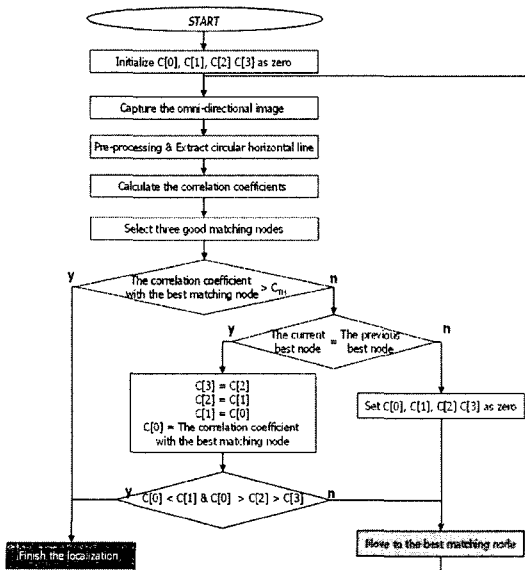


Fig. 7 The overall process of the proposed global localization method

최종적인 로봇의 위치는 아래 제시된 규칙에 의해 추정된다.

- 상관 계수의 최대치가 일정 값 이상인 경우 현재 로봇의 위치를 최대 상관 계수를 갖는 노드로 결정
- 상관 계수의 최대치가 단조 증가하다 감소하는 경우 이전 단계에 최대 상관 계수를 갖는 노드를 로봇 위치로 결정

이렇게 최근접 노드로 이동하는 방법은 위에서 언급한 두 가지 오차를 모두 제어할 수 있다. 첫째로 이동 중에 계속적인 위치인식을 하므로 영상신호처리 위치인식의 어려움이 있어서 전혀 다른 위치로 인식되어 있는 경우에도 새로운 위치로 재인식할 수 있는 기회를 로봇에게 부여하게 된다. 둘째로 처음 추정된 위치가 비교적 정확한 위치라 하더라도 점차 노드에 가까이 감에 따라 노드에서 추출된 지도의 영상과 매우 흡사한 영상을 얻게 되므로 위치추정의 정확도를 증가하며 로봇 자체가 노드로 이동하므로 격자에 의한 분해능 오차를 제거할 수 있다.

#### 4.1 상관 계수 값이 높은 노드로 이동하는 방법

로봇의 위치를 정확히 인식하기 위해 상관 계수 값이 높은 노드를 추출하여 이 중에 가장 상관 계수가 큰 노드로 이동을 한다. 상관 계수가 가장 큰 노드를 최근접 노드로 가정을 하며, 그 다음으로 상관 계수가 큰 노드 두개를 선택한다. 이렇게 선택된 두 개의 노드의 경우, 짝짓기 오류(Mismatching Error)가 있을 수 노드의 유효성을 검사한다. 즉, 최근접 노드로부터 일정 거리 이상 떨어져 있는 노드는 먼저 제거한다.

유효성 검사 후 최근접 노드를 기준으로 현재 로봇의 회전각을 구한다. 그 후 유효 노드의 개수에 따라서 이동 방향을 결정하여 로봇을 구동한다. 로봇의 이동 방향 규칙은 아래와 같다.

- i. 유효 노드 개수가 0 일 때) 로봇의 방향을 바꾸지 않고 계속 이동.
- ii. 유효 노드 개수가 1 일 때) 로봇이 유효 노드와 최우선 노드의 선상에 있다고 가정하고, 최우선 노드로 이동.
- iii. 유효 노드의 개수가 2 일 때) 로봇이 유효 노드와 최우선 노드로 이루어지는 삼각형 내부에 존재한다는 가정하에, 그 위치를 삼각형의 무게중심으로 정하고, 최우선 노드로 이동.

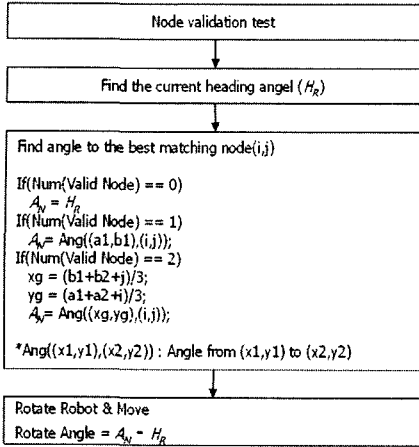


Fig. 8 The moving strategy to the best node

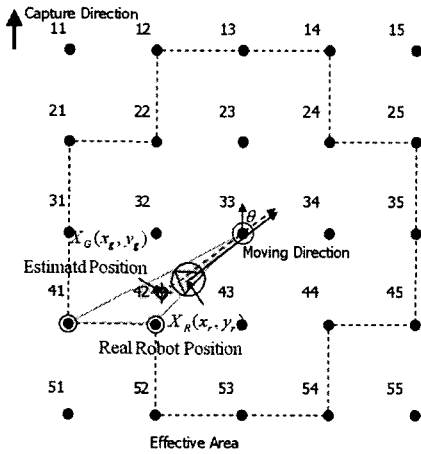


Fig. 9 The moving command of a robot, in the case that the number of valid nodes is two

Fig. 8 은 위의 설명된 최근접 노드로의 이동방법의 흐름을 나타낸다.

Fig. 9 는 유효 노드의 개수가 2 일 때의 상황을 예로서 도시한 것이다. 이 때 로봇의 위치는 3 개의 노드로 이루어지는 삼각형의 무게 중심에 있다고 가정하였고 이를 바탕으로 최우선 노드로 이동하는 것을 나타내었다.

이 방법은 로봇의 위치를 정확히 알고 있는 상황에서 최우선 노드로의 경로를 계획하는 것이 아니라, 각 상황에 따라 로봇의 위치를 가정하고 경로를 계획한다. 그러므로 Fig. 9 에서 보여지는 것과 같이 처음에는 로봇이 상관 계수가 높은 노드로 정확하게 이동하지 않을 수 있다.

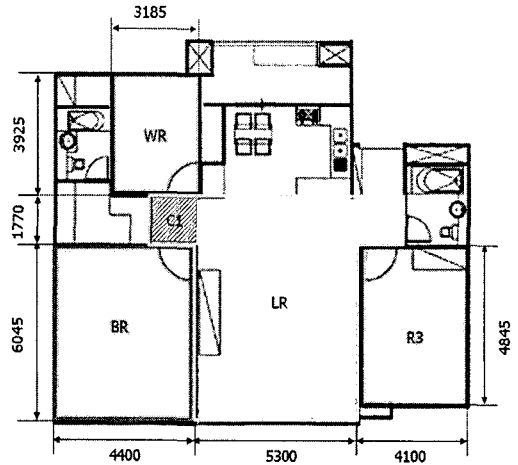


Fig. 10 Experiment environment (Units : mm)



Fig. 11 The CHL image map

Fig. 9 는 최근접 노드가 33 이고 유효노드가 41, 42 일 경우 제안된 방법에 의해서 최근접 노드로 이동하는 것을 보여준다. Fig. 9 에서 로봇의 위치는  $X_G$ 로 가정이 되어, 점선 방향으로 이동 명령이 주어진다. 그러나 로봇의 실제 위치는  $X_R$  이기 실선 방향으로 이동을 하기 때문에 정확이 최근접 노드로 이동을 하지 않는다. 그러나 계속적으로 인식하여 재차 선택된 최우선 노드 방향으로 움직이기 때문에 결국은 최우선 노드로 이동하게 된다.

### 5. 가정 환경에서 위치 인식 실험

#### 5.1 실험 환경

제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 Fig. 10 과 같은  $102m^2$  면적의 실제 아파트 거실 공간에서 실험을 수행하였다.

노드를 결정하기 위해서 Fig. 10 의 LR 영역(Living Room, 거실공간)을 50cm 의 격자로 나누어 노드를 정한 후 각 노드에서 얻은 전방위 영상을 전처리 한 다음, 수평면선으로 지도 영상을 구성하였다. 이렇게 얻은 지도 영상은 Fig. 11 과 같다. 총 노드의 수는 70 개이며, FFT 계산을 위하여 수평면선의 해상도는 512 로 결정하였다. Pentium-4 3GHz 가 장착된

SBC(Singel Board Computer)의 환경에서 70 개 노드에 대하여 상관 계수를 구하여 근접 노드를 계산하는데 소요되는 시간은 300msec 이다.

5.2 실험 결과

실험은 총 60 회 수행하였으며, Fig. 12 와 같이 움직이는 장애물(Noise)들이 존재하는 동적 상황에서 위치 인식을 수행하였다. Fig. 12(a)는 전처리 전의 영상을 보여주며, (b)는 전처리 후의 영상을 보여준다. 전처리된 전방위 영상은 도넛 내부와 외부의 불필요한 영상이 제거되고, 어두운 영상이 표준화되어 밝게 바뀐 것을 알 수 있다.

Fig. 13 은 앞에서 제안된 방법을 이용하여 로봇이 최우선 노드로 이동하는 모습을 보여준다.

Fig. 13(a)에서 임의의 위치에 존재하는 로봇은 주변

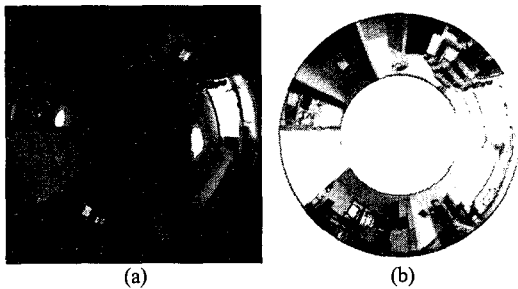


Fig. 12 (a) Raw image. (b) Pre-processed image

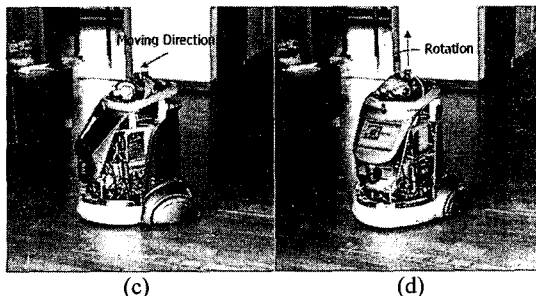
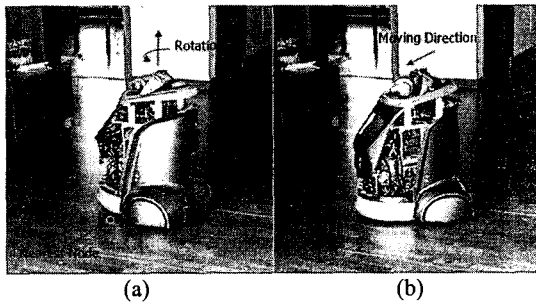


Fig. 13 The global localization sequence in the home environment

노드를 관찰하여 최우선 노드로부터 로봇의 회전각을 구하고, 나머지 유효 노드들의 정보를 이용하여 최우선 노드로 로봇을 회전 시킨다. 그 후 (b) 와 (c)에서 보여지는 것과 같이 로봇을 최우선 노드로 계속적으로 이동시키고, 최종적으로 최우선 노드의 상관 계수 값이 위에 언급된 조건을 만족 시키는 경우 (d)에 보여지는 것과 같이 지도 영상 획득 시의 자세로 전역 위치 인식을 종료한다.

60 회 전역 위치 인식의 통계 분석 결과는 Fig. 14 와 같다. Fig. 14 의 결과 중 오차의 평균, 표준

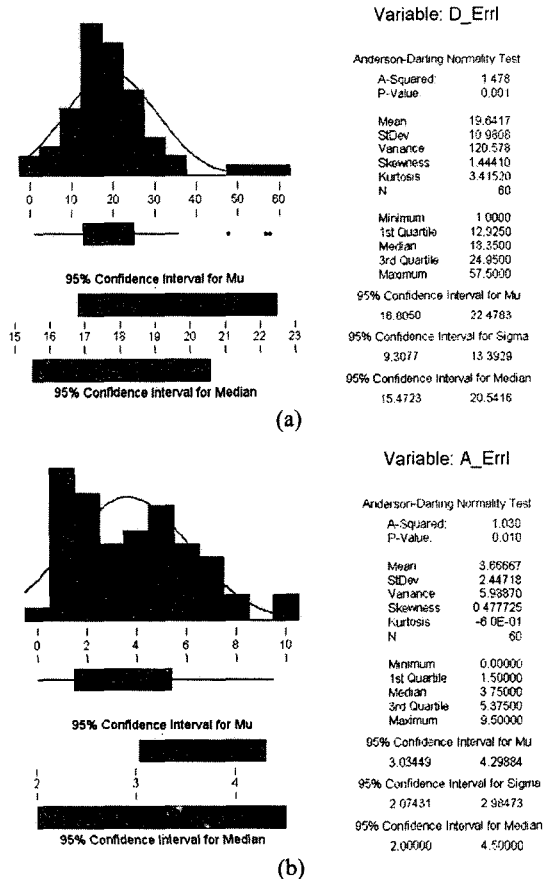


Fig. 14 (a) Global localization results for distance error in the home environment; (b) Global localization results for angle error in the home environment

Table 1 Statistical analysis of the global localization

|                                | Distance (cm) | Rotation (°) |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| Mean                           | 19.6          | 3.6          |
| Standard Deviation( $\sigma$ ) | 10.9          | 2.4          |
| Standard Error                 | 1.4           | 0.3          |

편차, 표준 오차는 Table 1 에 나타나있다. Fig. 14 (a) 히스토그램의 결과 중에 오른쪽에 동떨어져 분포한 오차는 위치인식을 창가 에서 수행하여 창으로부터 들어오는 태양의 직사 광선이 전방위 카메라에 결상이 되어 평균적인 오차의 범위보다 좀 더 큰 오차가 발생하는 것이다. 하지만 통계 분석에서 나타난 것과 같이 전체적인 인식에는 문제가 없었으며, 특히 상황에서도 60cm 정도로 가정내에서 사용할 수 있는 범위에 든다.

최종적으로 95%의 신뢰 수준에서 거리와 각도 오차의 범위는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 16.8 \leq \text{DistanceError(cm)} \leq 22.5 \\ 3.1 \leq \text{Angle Error}(\circ) \leq 4.3 \end{aligned} \quad (3)$$

## 6. 결 론

본 연구에서는 전방위 영상을 이용하여 사전에 로봇의 위치 정보 없이 로봇의 위치 인식을 수행하는 전역 위치인식(Global Localization)방법을 제안하였다. 실험은 실제의 가정 환경에서 이루어졌으며 추가적인 인공표식(Artificial Landmark)을 사용하지 않고 무표식(Natural Landmark) 자기위치 인식을 수행하였다.

본 연구는 인위적인 구성된 모의 가정환경이 아니라 자연 채광이 존재하는 실제의 가정 환경에서 위치인식 방법을 제안하였고 이를 반복 실험을 통하여 통계적으로 유의한 결과를 도출하였다. 이러한 시도는 실생활 적용에 있어서 안정성, 일관성, 실생활 적용성 등의 측면에서 매우 큰 의미를 갖는다고 할 수 있다.

본 연구에서 제안된 FFT 를 이용한 상관 계수 방법은 기존의 방법이 로봇의 제어 주기에 비해 너무 많은 계산 시간을 요하는 것에 비해 빠르면서도 조명이 둔감한 좋은 특성을 가지고 있다.

제안된 방법을 이용하여 실제 가정 환경에서 위치 인식을 수행한 결과 95%의 신뢰 수준에서 거리 오차는 16.8~22.5cm 이고 각도 오차는 3.1~4.1°이었다. 이는 실제로 이 방법이 얼마나 재현성 측면에서 의미가 있는지를 보여주며 실제 상황에서 의미 있는 결과를 줄 수 있음을 알 수 있다.

향후 연구과제로는 본 연구에서는 소개되지 않은 실제 주행을 위한 경로계획, 주행시의 오차 보

정, 장애물 회피 등을 진행하여야 하며, 특히 본 연구에서는 영상 지도를 수동으로 작성하여 로봇에 제공하였는데, 향후에는 이를 로봇 스스로 수행하는 자동 지도작성의 과제를 해결하여야 한다. 그리고, 오차 면에서도 현재 주간에만 수행한 실험을 주야간(형광등 및 조명 미확보 시)으로 확대하여 열악한 조명 환경에서도 구현할 수 있도록 개선하여야 할 것이다.

본 연구 결과는 실제 가정에서 통계적으로 의미 있는 실험을 통해 입증하였으므로 향후 로봇 시장에서 서비스 및 홈 로봇에 널리 응용 될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

## 참고문헌

- (1) Ishiguro H., Tsuji S., 1996, "Image-based Memory of Environment," *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 634~639.
- (2) Koyasu H., Miura Jun., Shirai Y., 2003, "Mobile Robot Navigation in Dynamic Environments using Omnidirectional Stereo," *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 893~898.
- (3) Zheng J. Y., Tsuji S., 1992, "Panoramic Representation for Route Recognition by a Mobile Robot," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 9, No. 1, pp. 55~76.
- (4) Yagi Y., Nishizawa Y., Yachida M., 1995, "Map-based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS," *Proceeding of IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 11, No. 5, pp. 634~648.
- (5) Matsui T., Asoh H., Thompsom S., 2000, "Mobile Robot Localization Using Circular Correlations of Panoramic Images," *Proceeding of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 1, pp. 269~274.
- (6) Yoon S., Han W., Min S. K., Roh K. S., 2006, "Global Localization of Mobile Robot Using Omnidirectional Image Correlation." *Lecture Notes in Computer Science* 4319, pp. 433~441.
- (7) Lowe D.G., 2004 "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Key Points," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91~110.
- (8) Briggs A., Li Y., Scharstein D., Wilder M., 2006 "Robot Navigation Using 1D Panoramic Images," *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2679~2685.