

센서융합을 이용한 모바일로봇 실내 위치인식 기법

An Indoor Localization of Mobile Robot through Sensor Data Fusion

김 윤 구¹, 이 기 동[†]

Yoon Gu Kim¹, Ki Dong Lee[†]

Abstract This paper proposes a low-complexity indoor localization method of mobile robot under the dynamic environment by fusing the landmark image information from an ordinary camera and the distance information from sensor nodes in an indoor environment, which is based on sensor network. Basically, the sensor network provides an effective method for the mobile robot to adapt to environmental changes and guides it across a geographical network area. To enhance the performance of localization, we used an ordinary CCD camera and the artificial landmarks, which are devised for self-localization. Experimental results show that the real-time localization of mobile robot can be achieved with robustness and accurateness using the proposed localization method.

Keywords : Sensor Fusion, Localization, TDOA, Sensor Network, Mobile Robot.

1. 서 론

모바일 로봇 영역에서 가장 중요한 목표 중 하나는 실내 구조적 환경에서 사용자 지정 작업을 수행할 수 있는 기능을 로봇에 부여하는 것이다. 이를 위해서 실내 환경에서 모바일 로봇의 일반적 위치 인식기법은 로봇 주행에 필수적인 요소이고 무선 환경에서 무선주파수(Radio Frequency) 신호의 다양한 어플리케이션들로 구현되어왔다. 위치 인식 문제에는 Received Signal Strength Indication (RSSI), Time Difference of Arrival (TDOA), Time of Arrival (TOA), Angle of Arrival (AOA) 등 다양한 접근 방법이 있다. 일반적으로 이러한 기법들은 송수신기 사이의 각도 및 거리를 이용하여 삼각 또는 삼변측량 기법으로 위치를 계산한다. 그러나 RF 파형 기반 위치 인식기법들에는 심각한 문제도 존재한다. RF 파형의 고유한 특성이 야기하는 어려운 문제들은 다중경로 설정, 충돌, 간섭 및 신호 전송 성능의 불안정과 약화를 초래하는 전달 경로 등이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 다양한

연구가 있어왔지만 RF 파형의 고유한 특성 문제가 여전히 남아 있다. 대표적 연구로는 Active Bat, RADAR, DOLPHIN, Cricket 시스템 및 기타 어플리케이션들이 있다¹⁻⁵⁾.

실시간 환경에서의 또 다른 중요한 위치 인식 방법에는 이미지 처리 및 컴퓨터 비전을 이용한 영상 기반 위치 인식 방법이 있다. 일반적으로 비전 기반 위치 인식은 배경 이미지에서 특정 대상 이미지를 추출하기 위해 자연적 랜드마크와 인공 랜드마크의 두 가지 유형의 랜드마크를 사용한다. 자연적 랜드마크 방법은 원본 이미지 데이터와 배경을 구분하는 목표 이미지의 특징적 형상과 광원들을 고려하여야 한다. 모바일 로봇은 현재 위치를 계산하기 위한 인식 성능과 자연적 특성을 사용하여 자연적 랜드마크를 추출한다. 그러나 이 방법은 동적 환경에 매우 민감하여 특징점 추출이 상당히 어려우며 자연적 랜드마크의 실시간 위치 인식을 안정적으로 사용하기 위해서는 많은 이미지 처리시간을 필요로 한다⁶⁾. 이러한 자연적 랜드마크 방법의 단점을 보완하기 위해 인공 랜드마크 방법이 일반적으로 비전 기반 위치 인식에 사용된다. 인공 랜드마크 기반 이미지 처리는 계산 오버헤드가 적어서 보다 쉽게 랜드마크를 원본 이미지 데이터에서 추출할 수 있다. 하지만 여러 개의 인공 랜드마크를 필요로 하고 직접 설치해야 하는 단점들이 있다. 본 논문에서는 비전 시스템

Received: Oct. 13, 2009; Reviewed: Nov. 5, 2009; Accepted: Nov. 13, 2009

※ 본 연구는 교육과학기술부 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

¹ 대구경북과학기술원 연구원

[†] 교신저자 : 영남대학교 전자정보공학부 교수

의 인공 랜드마크의 영상인식정보와 센서 네트워크의 각 센서 노드에서 얻은 TDOA 거리 정보를 조합하여 기존 위치 인식 방법의 단점들을 상호 보완할 수 있는 향상된 위치 인식기법을 제안하고 실험을 통한 위치 인식성능을 검증한다.

2. 시스템 구성

본 연구와 관련한 이전 연구^[7]에서 홈서버(HS), 가정용 보안 모바일 로봇(HSMR) 및 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크 (SN)으로 구성되어지는 센서 네트워크 가정용 보안 시스템(HSSN)을 제안하고 구축하였다. 본 논문에서는 인공 랜드마크를 갖춘 센서노드와 이미지 센서를 사용하여 HSSN 인프라를 기반으로 향상된 위치 인식 방법을 제안한다. 센서 노드들은 노드와 이동 로봇 사이의 정확한 거리 정보를 전송하고 통신도 가능하다. 또한 이미지 센서는 랜드마크 픽셀 이미지 위치를 검색한다. 센서 네트워크 기반 실내 환경에서 초음파와 RF 사이의 TDOA를 사용하여 모바일로봇이 센서노드로부터 얼마나 떨어져 있는지 인식하고, 실좌표계 노드의 위치정보를 통해 로봇과 노드간의 거리를 계산한다. 또한 디지털 카메라 종류의 이미지 센서가 캡처한 이미지를 처리하여 고유한 ID와 실좌표 위치정보를 가지는 특정 센서 노드로부터 모바일 로봇 위치 및 방위(Heading)를 결정한다. 센서 네트워크 및 랜드마크 기반 비전 시스템의 자세한 구성은 다음에서 설명한다.

2.1 센서 네트워크

최근 센서 네트워크의 발전은 저비용, 저전력 및 작은 기억 용량 센서노드를 기반으로 로봇발전에 지대한 영향을 미치게 될 것이다. 모바일 로봇과 센서 노드 사이의 거리를 측정하기 위한 실험 센서노드로 가장 많이 사용하는 Cricket 모듈을 채택하였다^[8]. Cricket은 8Mhz로 동작하며 4Kbytes의 RAM과 128Kbytes의 ROM을 가진 ATmega128L MCU를 탑재하고 있으며, 이 센서 노드는 동시성 및 리소스 관리의 성능이 좋은 TinyOS 라는 특별한 운영 체제로 동작하고 있다. 센서 노드는 실내 환경에서 공간 식별자와 위치 좌표라는 두 가지 위치 정보를 제공하며 데카르트 좌표 (x, y, z)에서 1~3cm의 정확도를 가지고 있다. 또한 센서 노드에서 노드 ID, 상황 인식 감지, 거리 등의 전송된 데이터를 사용한다. 모바일 로봇과 센서 노드 사이의 거리는 전역 위치 측정에 사용된다. 그림 1은 위치인식 시스템으로 구성된 Crossbow사에서 제조된 Cricket 모듈과 센서 보드이다. 각 센서 노드는 초음파, RF, 온도, 소리와 빛 센서가 장착되어 있고 특정 위치에



그림 1. Cricket 모듈과 센서 보드

배치를 했다.

2.2 랜드마크 기반 비전 시스템

랜드마크 이미지를 사용한 비전 기반 위치 인식은 모바일 로봇 위치 인식에서 매우 중요한 연구 주제이다. 이전 연구들에서 좀 더 정확한 모바일 로봇의 방향과 위치 인식을 위해 다양한 인공 랜드마크들이 제안되었다^[9-11]. 본 연구에서 제안하는 시스템에서 직각 삼각형으로 랜드마크를 설계한 이유는 이 랜드마크 패턴이 모바일 로봇 방향각을 보다 쉽게 확인할 수 있기 때문이다. 그림 2에서 표시된 것처럼 각 센서 노드 주위에 세 개의 고휘도 LED를 가로, 세로를 15 cm x 10 cm, 빔변을 약 18.03 cm의 직각 삼각형 모양의 모서리에 위치시켜 직각 삼각형 랜드마크 작성하는 데 사용했으며, 랜드마크가 더욱 잘 인식되도록 검정색 배경 패넌을 사용했다. 제안된 위치 인식 시스템은 천장의 실시간 이미지 프레임을 캡처하기 위해 일반적인 CCD 카메라를 사용하고 랜드마크 후보를 추출하기 위해 실제 이미지를 이진 매핑 이미지로 변환한다. 이미지 좌표에서의 랜드마크 후보들 중에서 직각 삼각형 형태의 좌표를 이용해 상대적인 모바일 로봇의 좌표와 방향각을 계산한다. 모바일 로봇은 이미지 좌표와 센서 노드의 절대 위치를 사용하여 실제 좌표 위치를 계산한다.

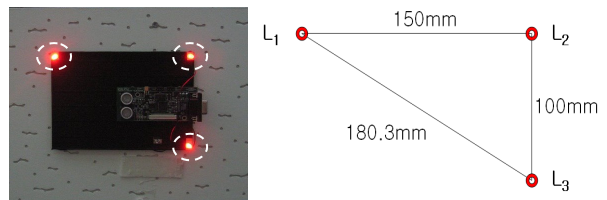


그림 2. 센서 노드의 주위에 직각 삼각형 형태의 랜드마크를 고안하여 천장에 붙인 모습

3. 모바일 로봇의 위치 인식

여기서 제안하는 위치인식 시스템은 일반 카메라로 캡처된 랜드마크 이미지 정보와 센서 네트워크 기반 실내 환경의 각 센서 노드에서 TDOA를 통해 얻은 거리 정보를 사용하여 수행한다. 그림 3은 제안한 위치 인식 시스템 구성을 보여 주고 있다. 실제 전송 비콘(Beacon)인 센서

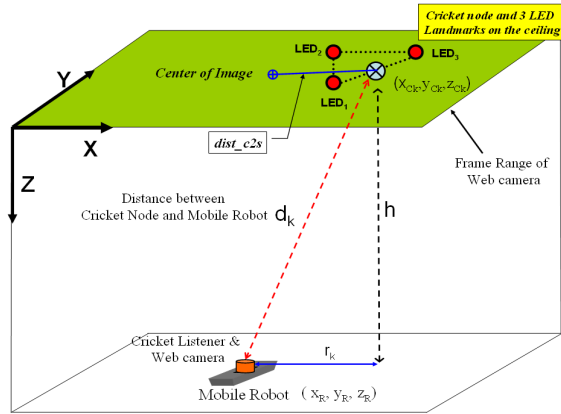


그림 3. 랜드마크 이미지와 TDOA 거리 정보를 이용한 위치 인식

노드들이 실내 공간 천장에 직각 삼각형 랜드마크와 함께 배치되어진다. 바닥에 있는 모바일 로봇에는 Cricket 수신기와 일반 디지털 카메라가 장착되어 있으며, Cricket 수신기가 실시간 거리의 정보를 제공하기 위해 모바일 로봇의 호스트 컨트롤러에 연결되어 있다. 각 센서 노드에서 전송되는 RF 신호는 초음파 신호보다 약 106배 빠르게 이동하므로 Cricket 수신기는 센서 노드에서 보내는 RF 메시지의 시작신호와 해당 초음파 펄스 사이의 TDOA를 측정하고 이를 이용하여 호스트 컨트롤러에서는 센서 노드에서 모바일 로봇 거리 d_k 를 계산하게 된다. 카메라를 천장 랜드마크 이미지를 캡처할 수 있도록 로봇의 중심, 두 바퀴 가운데에 설치함으로써 캡처된 이미지의 중심이 로봇의 현재 위치와 일치하도록 하였다. 이로 인해 모바일 로봇 실제좌표 (x_R, y_R, z_R)는 직각 삼각형 랜드마크 이미지 좌표를 센서 노드의 절대 위치에 상대적으로 변환함으로써 계산되어지도록 하였다.

그림 4의 순서도는 제안된 전역 위치 인식 과정을 설명하고 있다. 이 과정은 두 부분의 처리과정과 융합을 통한 위치인식과정을 설명하고 있다. 그 하나는 인공 랜드마크 기반 이미지처리 과정이고 다른 하나는 모바일 로봇과 특정 센서 노드 사이의 TDOA에 의한 거리 데이터 수집이다. 이미지 처리 부분에서는 일반 PC카메라로 352 x 288 픽셀의 해상도로 실시간 이미지를 캡처한다. 캡처된 컬러 이미지는 흑백 이미지로 변환하고 주변 천장의 높은 이진 값보다 일반적인 특정 임계값에 따라 이진 이미지로 매핑한다. 이진 이미지는 이진수 0 또는 255 값으로 구성된다. 직각 삼각형 랜드마크를 검색하기 위해 기본 레이블 방법인 Grassfire 알고리즘[12]을 이용해서 이진 매핑된 이미지 주변 픽셀의 구분하고 레이블을 결정한다. 랜드마크에 사용되는 LED는 작지만 고휘도이기 때문에 특정 크기의 영역에서 해당 이미지 구분이 가능하다. 레이블이 지정된 영

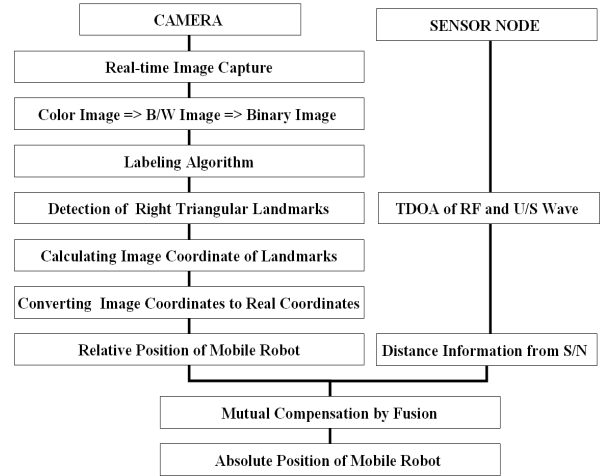


그림 4. 위치 인식을 위한 센서 조합 순서도

역에서 특정 임계값 크기 이외의 노이즈 또는 천장 형광등과 같은 다른 광원에 의한 레이블 영역들은 인공 랜드마크 후보에서 제외한다. 여기서 광원 주위의 다른 많은 후보군을 제거하고 넓은 범위의 레이블 영역의 계산시간을 줄이기 위해 광범위의 광원 이미지 영역을 이미지 팽창(Dilation) 처리하여 주변 노이즈를 제거하였고 다시 그 영역은 특정 크기로 세그멘테이션(Segmentation)하여 처리하였다. 다음 식 (1)을 이용하여 인식된 랜드마크 영역의 이미지 좌표를 계산할 수 있다.

$$x_{L_k} = \frac{1}{N_k} \sum_{(x,y) \in L_k} x, \quad y_{L_k} = \frac{1}{N_k} \sum_{(x,y) \in L_k} y, \quad (1)$$

여기서 L_k 는 각 레이블이 이미지 영역, (x_{L_k}, y_{L_k}) 는 L_k 의 평균 이미지 좌표 값이고, N_k 는 L_k 의 픽셀 수이다.

그림 5에서 보는 것처럼 직각 삼각형 랜드마크의 빗변 중심인 L_c 가 실제 좌표에서 센서 노드의 미리 정해진 위치와 일치한다. 카메라가 모바일 로봇 가운데 장착되어 있기 때문에 모바일 로봇의 현재 위치는 캡처된 이미지 중심 I_c 와 거의 일치한다. $dist_c2s$ 와 $angl_c2s$ 는 I_c 와 L_c 사이의 거리와 각도이다. 직각 삼각형 랜드마크의 좌표를 가지고 식(3)~(5)을 이용해서 L_c 의 좌표 (x_{L_c}, y_{L_c}) 와 $dist_c2s$, $angl_c2s$ 를 계산한다.

$$x_{L_c} = \frac{x_{L_1} + x_{L_3}}{2}, \quad y_{L_c} = \frac{y_{L_1} + y_{L_3}}{2} \quad (3)$$

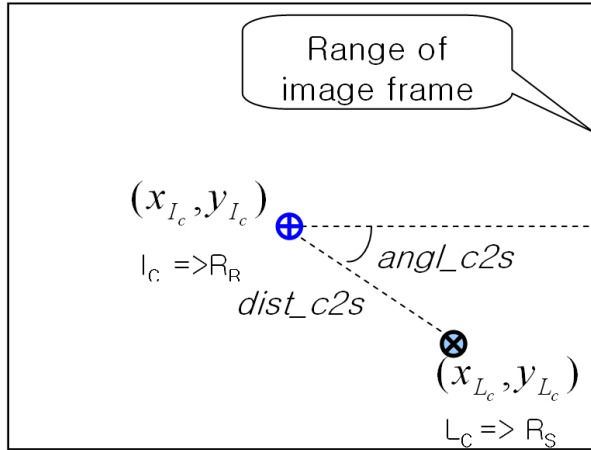


그림 5. 이미지 프레임에서 이미지와 실제 좌표 간의 상관 관계

$$dist_c2s = \sqrt{(x_{Lc} - x_{Ic})^2 + (y_{Lc} - y_{Ic})^2} \quad (4)$$

$$angl_c2s = \arctan2((y_{Lc} - y_{Ic}), (x_{Lc} - x_{Ic})) \quad (5)$$

추가적으로 모바일 로봇의 전역 위치인식은 랜드마크의 실제 좌표를 고려한 모바일 로봇의 현재 위치를 이미지 프레임의 중심에 맞추어 상대적으로 계산할 수 있다. 식(6)~(8)은 계산하는 과정을 설명하고 있다.

$$s_{TDOA} = \frac{r_k}{dist_c2s}, \quad (6)$$

$$s_{LAND} = \frac{\text{real length of hypotenuse of landmark}}{\sqrt{(x_{L1} - x_{L3})^2 + (y_{L1} - y_{L3})^2}},$$

$$\begin{aligned} x_R &= x_{C_k} + dist_c2s \times \cos(angl_c2s) \times s, \\ y_R &= y_{C_k} + dist_c2s \times \sin(angl_c2s) \times s, \end{aligned} \quad (7)$$

$$s = \begin{cases} \text{if } abc(r_k - (s_{LAND} \times dist_c2s)) \geq 10\text{ cm}, & s_{LAND} \\ \text{else} & s_{TDOA} \end{cases}, \quad (8)$$

여기서 (x_R, y_R) 은 모바일 로봇의 현재 위치를 나타내고 $(x_{C_k}, y_{C_k}, z_{C_k})$ 는 각 센서 노드의 3차원 절대 좌표이다.

s 는 두가지 형태의 변환 스케일이다. 첫 번째 s_{TDOA} 는 모바일 로봇과 센서 노드 사이의 실제거리와 $dist_c2s$ 의 스케일이다. 두 번째 s_{LAND} 는 랜드마크의 실제 빗변 길이와 이미지에서의 빗변 길이의 스케일이다.

s_{TDOA} 가 대부분의 정상적 측위 계산의 변환 비율로 사용되는 반면, s_{TDOA} 에 다중 경로, 충돌, 간섭 및 LOS

(시야확보)의 제한 등의 직접적 오류가 포함되어 특정임계치 이상의 오차가 경우에는 s_{LAND} 로 대체된다. 이 문제는 전체 위치 인식에 치명적인 오류를 발생 시킬 수 있다. 실제 거리 r_k 와 랜드마크의 빗변 길이에서 변환된 $dist_c2s$ 의 실제 거리의 차이가 특정 임계값보다 더 크면 s_{TDOA} 를 s_{LAND} 로 바꾸어야 한다. 그림3에서 제안한 위치 인식에서 s_{TDOA} 를 찾기 위해 필요한 거리 r_k 는 식(9)에서 간단히 구할 수 있다.

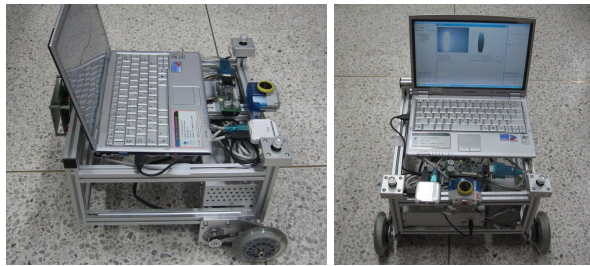
$$r_k = \sqrt{d_k^2 - h^2}, \quad h = z_{c_k} \quad (9)$$

일반적으로 모바일 로봇이 세 개 센서 노드를 통해 왜곡되지 않은 거리를 인식할 수 경우 모바일 로봇의 전역적 위치인식은 일반적 삼각측량 또는 삼변측량기법에 의해 수행할 수 있다. 그러나 앞에서 언급했듯이 무선 전파, RF 또는 초음파를 이용한 전역 위치 인식은 과장들이 가지고 있는 고유의 단점들 때문에 예기치 못한 결과를 야기할 수도 있다. 따라서 여기서 제안한 위치 인식 방법은 이런 문제를 해결하고 비전 기반의 위치인식 연산부하를 줄여 저(低)복잡도의 위치인식기법을 구현하는 과정에서 상호 보완적인 방법을 통해 보다 나은 전역 위치인식 정확도와 성능을 높이는데 집중했다.

제안된 위치인식기법은 랜드마크의 중심이 전체 이미지 프레임 중심에서 떨어져 가장자리에 위치하는 경우 비전 기반 위치인식기법에 이미지 정보의 일부 왜곡이 있을 수 있으며 이는 이미지 정보에 의한 상대적 위치추정에 심각한 문제를 초래할 수 있는 문제를 해결하고 있다. 결과적으로 실제 거리 r_k 의 변환된 이미지거리와 $dist_c2s$ 사이의 차이가 특정 임계값 이상의 결과를 보이면 $dist_c2s$ 는 이 두 이미지 거리의 보간 거리를 통해 대체된다. 이는 랜드마크가 카메라의 중심으로부터 떨어진 경우 거리센서에 의한 r_k 정보가 보다 정확하다고 고려되어지기 때문이다.

4. 실험 결과

제안된 시스템의 주요 성능검증은 지정된 실험 환경에서 모바일 로봇이 획득하는 이미지와 거리 정보의 융합을 통해 다양한 주변 환경변화를 극복하며 보다 강인한 실내 위치인식 성능을 보이는 것이다. 실제로 사무실 또는 다른 실내 공간은 대부분 복잡하지만, 실험의 대부분은 열린 공간의 사무실에서 별 장애물 없는 실내 환경에서 일반적으로 수행하였다. 실험에 사용되는 i-Bot(NINETY SYSTEM)은 그림 6에 보이는 것처럼 바퀴주행의 모바일로봇 플랫폼



a) 측면

b) 정면

그림 6. 실험용 Test-bed 로봇 플랫폼

폼으로 일반 카메라 및 Cricket 수신기를 장착하였다. 그림 7은 인공 랜드마크를 검색하고 형광등의 영향에 관계없이 현재 위치를 계산할 수 있음을 보여 주고 있다. 일반적으로 사용되는 레이블 알고리즘으로 직각 삼각형 랜드마크를 추출할 수 있으며 랜드마크 이미지 좌표는 모바일 로봇 현재 위치를 결정할 때 사용된다. 그림 8에는 제안된 방법의 실시간 위치 인식 결과를 표시되며, 샘플링 속도는 레이블이 지정된 영역의 수에 다르지만 약 5 Hz의 성능을 보였다. 본 시스템 센서노드의 최소 beacon interval time 이 스펙상 200ms에서 65536ms 까지 가능하므로 RF와 초음파를 이용한 TDOA기반 거리측정 Sampling rate는 5Hz



(a) 형광등 주변 센서노드



(b) 주변 조명영향이 없는 센서노드

그림 7. 랜드마크를 이용한 비전 기반 위치 인식

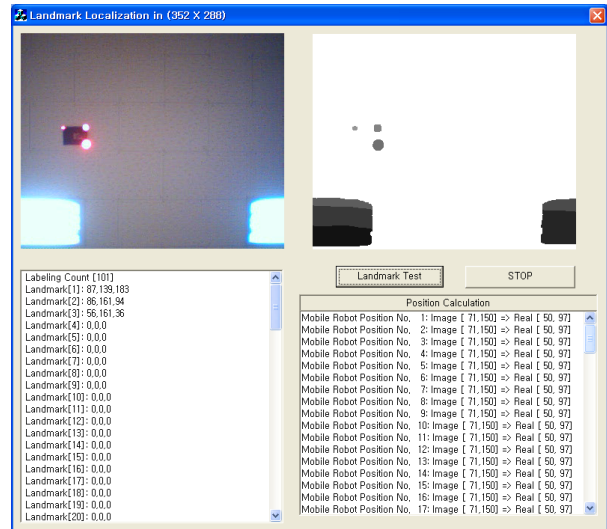


그림 8. 제안된 위치인식 시스템의 실시간 인식 결과

이하로 볼 수 있다. 그러나 본 측위시스템의 경우 다수의 센서노드가 필요한 삼변측량측위방식과 달리 하나의 센서노드와의 거리만 필요하며, 그 거리측정 Sampling rate가 5Hz로 설정시 영상처리와의 동기화가 가능하며, 실내 모바일 로봇의 주행속도가 고속이 아닌 이상 모바일 로봇의 정적 실시간 측위에는 오차의 여지가 거의 없으며, 동적 실시간 측위에서도 모바일 로봇의 위치인식 주행성능에 큰 영향이 없음을 실험을 통해 확인하였다.

직각 삼각형 랜드마크 기하적 형상인식은 그림 9와 같이 모바일 로봇의 자세에 따른 변화를 이용하여 로봇의 방위(Heading)를 계산하지만 이미지 좌표로 계산되어지는 방위각의 오차는 전기 나침반 또는 자이로스코프 같은 일반적인 방위센서를 사용하여 그 오차를 보완하도록 하였다. 방향각은 x축을 기준으로 직각 삼각형 랜드마크 빔변의 두 점을 잇는 선분의 사이각으로 결정되어진다. 랜드마크의 올바른 사분면 인식이 전역 위치 인식과 방위결정에 향상된 결과를 보이는 것을 다음 실험에서 확인할 수 있다.

이전 실험에서는 안정적 환경에서 수행한 양호한 결과를 보여주었다. 하지만 실제 환경에는 불안정하고 변형적

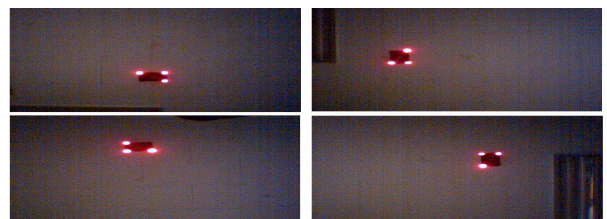


그림 9. 랜드마크의 사분면 인식과 방위결정

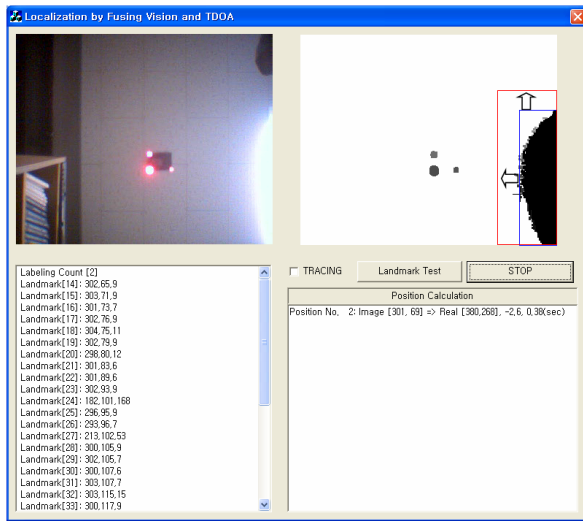


그림 10. 많은 랜드마크 후보와 위치 인식 실패에 대한 보정

인 요소가 많이 존재한다. 특히 밝은 형광등이나 다른 광원에 의해서 불안정한 결과를 초래할 수 있다. 그림10은 영상 처리에서 작은 크기의 레이블 영역들이 형광등의 빛 번짐 때문에 영향을 받게 되고 위치 인식에 실패한 것을 보여주고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 침식(Erosion), 팽창(Dilation), 제거(Opening), 채움(Closing)과 같은 기본적인 모폴로지(Morphology)연산을 사용할 수 있으나 연산 시간이 늘어나는 문제를 안게 된다.

제안된 위치 인식 방법에서는 전체 프레임 이미지 중 문제가 있는 영역을 제외시키며 연산시간을 최소화하는 간단한 방법을 적용하였다. 이를 위한 기본 과정은 지정 크기 이상으로 레이블된 영역의 상하좌우 가장 외곽 픽셀의 좌표를 기준으로 그림 10과 같이 가상 사각형의 위도우를 그려내고 실험 결과로 결정된 특정값을 더하여 각 면의 사각형 창 크기를 확장한다. 결과적으로 가상원도우 안의 모든 셀은 랜드마크 영역의 레이블 후보에서 제외된다. 그런데 여기서 문제 해결을 위한 방법이 그림 11과 같은 상황을 발생시킬 수 있으며 이는 확장된 가상원도우가 실제 랜드마크 후보를 포함해 버리는 상황을 발생하게 되는 것이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 레이블의 크기를 제한하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 형광등 이미지 같이 넓게 확산된 레이블 영역을 여러 개로 분리하여, 그림 12와 같이 비교적 작은 크기로 영역을 확장하는 것이다. 이 과정은 이미지에서 번짐현상이 있는 형광등 등의 조명 이미지를 제외시키고, 고유한 랜드마크의 이미지 후보를 찾아내는데 매우 효율과적 실험결과를 보였다.

그림 13과 그림 14는 삼각측량법과 제안된 위치인식

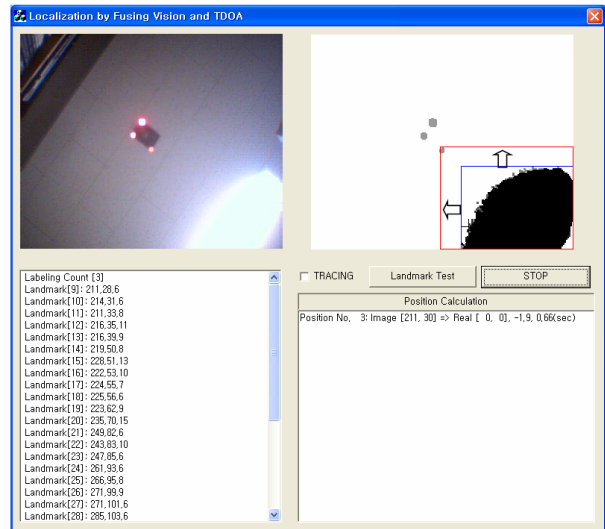


그림 11. 넓은 크기 영역의 확장 오류

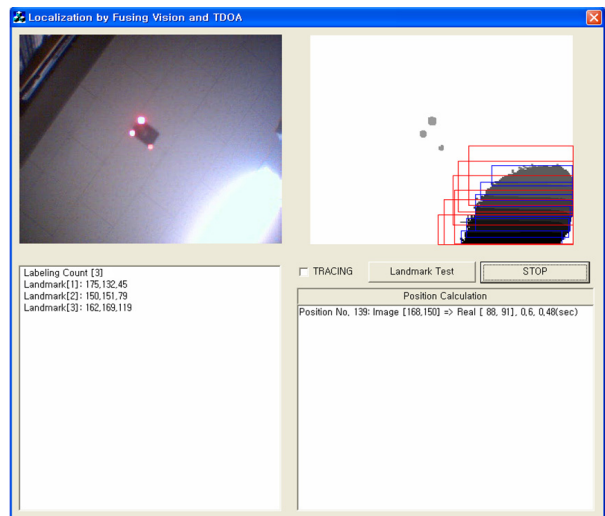


그림 12. 분리된 레이블링 영역의 확장

방법의 각각 레퍼런스(Reference) 위치의 위치인식 성능결과를 보여주고 있다. 레퍼런스 위치는 50 cm의 일정한 간격으로 표시되었다. 우리는 각 표시된 참조 위치에서 예상되는 위치 오류의 실험적인 데이터 100개의 샘플들을 얻어냈다.

이미지 프레임 가장자리에 심각한 문제인 이미지 왜곡의 결과로 위치 오류가 발생할 수 있었으나, 카메라 이미지와 센서 노드의 거리 사이를 상호 보완적인 조합 방법으로 해결했다. 본 실험에서는 카메라의 시야각과 Landmark의 높이에 따라 비전센서 해상도에 해당하는 실제영역이 계산되어진다. 본 실험에서는 시야각 30°, Landmark 높이 3m 기준, 카메라의 시야범위는 346cm x

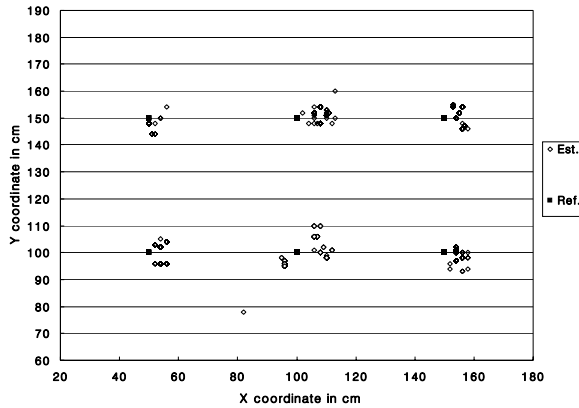


그림 13. TDQA기반 삼변측량기법에 의한 위치인식

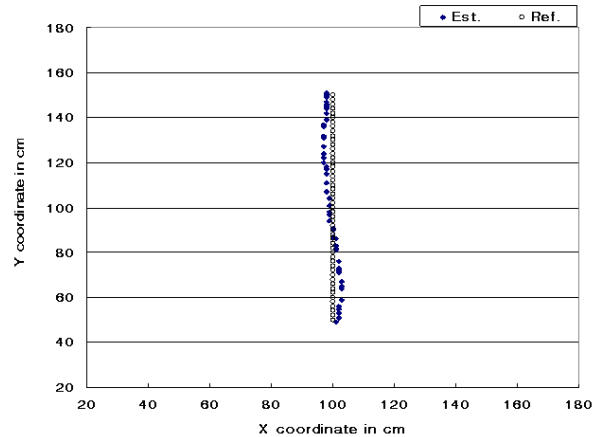


그림 15. 모바일 로봇의 실시간 이동 경로

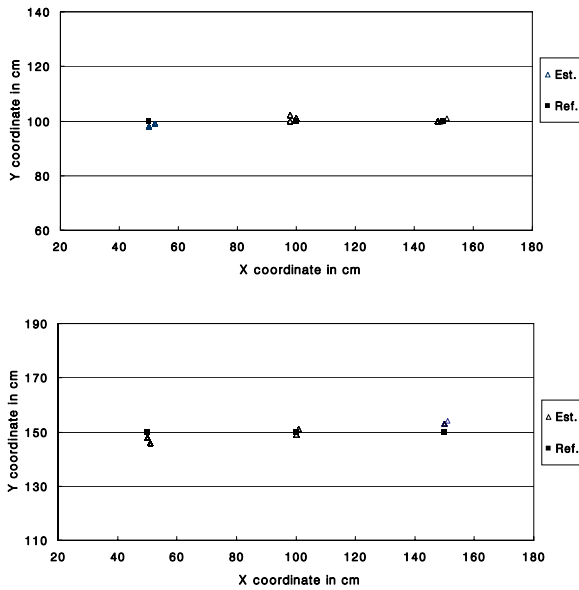


그림 14. 제안한 위치인식기법에 의한 위치인식성능

283cm이고 계산상으로 하나의 픽셀에러는 약 9.8mm x 9.8mm의 위치에러를 가질 수 있다.

실험 결과에서 각 참조 위치의 평균 위치 오류의 표준편차(RMSE)는 2.366cm였다. 삼각측정법을 사용하여 측정된 위치의 표준편차가 5.972cm인 것을 고려할 때, 이 실험 결과는 제안된 위치 인식 방법이 보다 향상된 결과를 제공하고 보다 올바른 경로 계획, 안정적인 위치를 모바일 로봇에 제공할 수 있다는 중요한 의미를 갖는다. 또한 그림 15는 제안된 위치 인식 방법을 이용하여 좌표 (100, 50)에서 (100, 150)까지의 간단한 경로를 추적하는 실시간 움직임을 보여준다. 이 실험에서는 실시간 이동할 때에 허용되는 오차 범위 안에서 지정된 경로의 위치 운

행할 수 있음을 설명한다.

5. 결론

우리는 간단한 인공 랜드마크 이미지 정보와 TDQA 거리 정보를 융합하여 강인한 실내 위치인식기법과 시스템을 제안하였다. 고안된 인공 랜드마크는 고휘도 LED로 구성된 직각 삼각형의 형태로 찾기 쉽고, 또한 주변 환경의 변화에도 모바일 로봇의 방향각을 결정하고 상대 위치를 계산하기 쉽게 하였다. 실험 결과는 모바일 로봇의 실시간 위치 인식과 자율주행이 목적지를 향하는 동안 보다 강건하고 향상된 정확성으로 수행됨을 보여주었다. 센서 네트워크는 실내에서 추가적인 환경 인식 정보를 제공할 수 있으므로 센서 네트워크 기반 위치 인식 실내 서비스 로봇 구현에 추가적인 이점이 있다. 우리는 기존의 복잡한 위치인식기법의 간소화할 수 있는 실내위치인식용 인공 랜드마크 모델을 제안하였지만 향후 연구로는 본 연구의 그 실용성 향상을 위한 일환으로 기울기센서의 로봇자세 정보를 반영한 랜드마크 이미지의 영상변환을 추가적으로 진행하여 본 측위시스템의 신뢰성과 실용성을 높이는 추가적 노력이 필요하며, 또한 자연적 랜드마크가 전역 위치 인식에서 다양하고 중요한 역할을 수행할 수 있으므로 자연적 랜드마크 검출을 통한 비전 기반 위치 인식 성능향상을 중점적으로 진행할 것이다.

자동으로 주변 인지 능력이 있고 실시간 서비스가 되는 지능형 서비스 로봇 시스템은 본 연구 수행 연구실에서 얻어진 결과를 이용해서 진행 중에 있다. 이는 지능형 로봇이 어떤 환경에서도 전체 위치 인식과 자동 탐사가 가능하게 하는데 매우 중요하다. 우리의 향후 연구 목표는 센서 네트워크 기반의 가정용 보안 로봇 시스템의 고정밀

위치 인식 시스템을 포함한 보다 실용적이고 저렴한 가정용 보안 로봇 개발에 있다.

참고문헌

- [1] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, and Jon Gibbons, "The active badge location system," *ACM Transactions on Office Information Systems (TOIS)*, Vol. 10, No. 1, pp. 91-102, January 1992.
- [2] Andy Harter, Andy Hopper, Pete Steggles, AnyWard, and Paul Webster, "The anatomy of a context-aware application," in *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 1999)*, pp. 59-68, Seattle, WA, August 1999.
- [3] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," in *Proceedings of IEEE Infocom 2000*, Tel-Aviv, Israel, March 2000.
- [4] Y. Fukuju, M. Minami, H. Morikawa and T. Aoyama, "DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment," in *Proceedings of the IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems*, Hakodate, Japan, May 2003.
- [5] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, and Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," in *Proceedings of the 6th ACM MOBICOM, Boston, MA*, August 2000.
- [6] S. Se, D.G. Lowe and J. Little "Vision-Based global localization and mapping for mobile robots," *Proc. Of IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 21, pp. 217-226, June 2005.
- [7] Y. Kim, H. Kim, S. Lee, and K. Lee, "Ubiquitous Home Security Robot based on Sensor Network," *The 2006 IEEE - WIC - ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2006)*, Hongkong, December 2006.
- [8] Cricket v2 User Manual, Cricket Project MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, <http://cricket.csail.mit.edu>, July 2004.
- [9] G. Jang, S. Kim, W. Lee, I. Kweon, "Color Landmark Based Self-Localization for Indoor Mobile Robots," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Washington D.C., USA, May 2002.
- [10] S. Thrun, "Finding landmarks for mobile robot navigation," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.2, pp.958-963, 1998.
- [11] Huoshehg Hu and Dongbing Gu, "Landmark-based Navigation of Industrial Mobile Robots," *International Journal of Industry Robot*, Vol.27, No.6, pp.458-467, 2000.
- [12] D. Kang and J. Ha, *Digital Image Processing Using VC++*, SciTech, 2005.



김 윤 구

2005 영남대학교 대학원 컴퓨터
공학과(공학석사)
2008 영남대학교 대학원 컴퓨터
공학과(공학박사)
2008~현재 대구경북과학기술원
연구원

관심분야: 자율주행로봇, 지능형자동차, 자동제어



이 기 동

1985 서울대학교 제어계측학과
(공학사)
1987 서울대학교 대학원 제어계
측학과(공학석사)
1994 서울대학교 대학원 제어계
측학과(공학박사)

1995~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 지능제어알고리즘, 센서네트워크, 정보보안