

여러 개의 조명등을 이용한 이동 로봇의 위치 추정

Localization of a Mobile Robot Using Multiple Ceiling Lights

한 연 주, 박 태 형*

(Yeon-Ju Han¹ and Tae-Hyoung Park¹)

¹Chungbuk National University

Abstract: We propose a new global positioning method for the indoor mobile robots. The multiple indoor lights fixed in ceiling are used as the landmarks of positioning system. The ceiling images are acquired by the fisheye lens camera mounted on the moving robot. The position and orientation of the lights are extracted by binarization and labeling techniques. Also the boundary lines between ceiling and walls are extracted to identify the order of each light. The robot position is then calculated from the extracted position and known position of the lights. The proposed system can increase the accuracy and reduce the computation time comparing with the other positioning methods using natural landmark. Experimental results are presented to show the performance of the method.

Keywords: localization, mobile robot, ceiling lights, natural landmark

I. 서론

최근 서비스 이동 로봇의 수요가 급증하면서, 이동 로봇이 실내에서 어떻게 스스로 자기 위치를 추정하는지에 관한 연구가 활발하다. 과거에는 초음파 센서[1,2]나 레이저 센서[3]를 활용한 연구가 진행되었으나 최근에는 가격 대비 성능 측면에서 효율적인 비전 센서도 많이 사용되고 있다. 비전 센서를 활용한 방법에는 크게 인공 표식 방법과 자연 표식 방법이 있다.

인공표식 방법의 경우, 천장, 벽 등의 미리 알려진 위치에 특정 표식을 부착하고, 이동 중인 로봇에 장착된 카메라가 마크의 영상을 획득하여, 영상좌표계에서의 마크의 위치로부터 로봇의 현재 위치를 인식하는 방법이다[4-7]. 여러 개의 표식이 부착되어야 하므로, 각 표식을 구분하기 위한 코드가 마크에 포함된다. 이는 표식을 따로 제작하거나 천장이나 벽 등에 부착하여 자연 표식 방법에 비해 번거롭다.

자연표식 방법은 인공표식의 부착 및 관리에 따른 불편을 문, 창문, 바닥선 등의 물체를 표식물체로 하여 로봇의 위치를 인식하는 연구가 진행되었다[8-10]. 이들 표식물체들은 경계선이 뚜렷하여, 배경으로부터 분리시키는 것이 상대적으로 용이하다. 그러나 주변 환경이 복잡한 경우 표식물체의 영상분리가 어려워 신뢰성이 저하될 수 있으며, 장애물이 나타나는 경우 영상획득이 실패할 수 있다.

자연표식 기반의 연구 중 상대적으로 복잡도가 적고 장애물이 없는 천장 영상을 활용하는 방법들이 제안되었다. 천장에서 획득한 영상으로부터 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) [11]를 통하여 특징 점들을 추출하고, 로봇의 이

동에 따른 특징 점들의 위치 변화를 측정하여, 로봇 위치를 추정하는 방법이 많이 사용되고 있다[12-14]. 이 방법은 특정 표식이 없어도 특징 점이 있는 어느 영상에서나 적용될 수 있어 위치의 변화를 나타내는데 보편적인 방법으로 사용할 수 있다. 하지만 영상에서 찾은 다수의 특징 점을 비교 영상에서 일일이 찾아 비교하므로 상대적으로 많은 계산 시간이 소요되어, 이동 속도가 빠른 로봇에 적용되기 어렵다. 천장에 보이는 사각 패턴[15] 또는 조명등 [16]을 표식으로 사용하여 로봇의 위치를 추정하는 방법이 제안되었다. 조명등을 표식으로 사용하는 기존 방법은, 천장에 있는 여러 개의 조명등 중 하나만 기준점으로 설정할 수 있는 방법이다. 간단한 구성으로 계산 시간이 빠른 장점이 있으나, 로봇이 기준점으로부터 멀어지는 경우 위치오차가 크게 발생하며, 기준 조명등에 대한 영상이 획득되지 않는 위치에 로봇이 있는 경우, 위치추정이 어려워질 수 있다.

본 논문은 여러 개의 실내 조명등을 사용하여 이동로봇의 위치를 추정하는 방법을 새로이 제안한다. 먼저, 어안렌즈를 사용하여 천장 전체의 영상을 획득하고, 각 조명등의 위치를 추출한다. 조명등은 각각의 아이디가 있어 절대 위치의 정보를 가지고 있다. 조명등의 아이디를 식별하기 위해서 천장과 벽 사이의 경계선 정보를 추출한다. 마지막으로, 로봇의 이동 중 가장 가까운 조명등을 기준점으로 하여 현재 위치를 추정한다. 제안된 방법은 천장 조명등 영상획득이 양호한 환경에서, 기존 방법 대비 상대적으로 정확하고 빠른 위치추정이 가능하다.

II. 시스템 구성

천장 영상으로부터 이동 로봇의 현재 위치를 추정하는 시스템은 획득된 영상으로부터 조명등 위치를 추출하는 단계, 천장과 벽 사이의 천장 경계선을 추출하는 단계, 조명등 중심 위치와 천장 경계선으로부터 각 조명등의 아이디 식별하는 단계, 로봇의 위치를 추출하는 단계로 구분된다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2013. 1. 5., 수정: 2013. 1. 25., 채택확정: 2013. 2. 25.

한연주, 박태형: 충북대학교 제어로봇공학과

(nrydi@cbnu.ac.kr/taehpark@cbnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

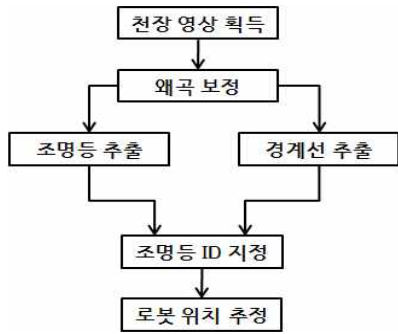


그림 1. 시스템 구성도.
Fig. 1. System diagram.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 위치 추정 시스템의 구성을 보여준다.

III. 조명등 추출

1. 렌즈 왜곡 보정

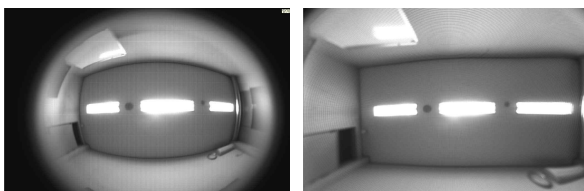
제안된 시스템의 구현을 위하여, 다수의 천장 조명등 및 천장 경계선을 영상으로 획득하여야 한다. 카메라에 어안렌즈를 부착하여 천장 및 벽면의 영상을 획득한다. 어안렌즈를 사용하는 경우, 위치 측정을 위하여 왜곡보정이 필요하다.

카메라 보정은 영상에서 실제 파라미터를 찾는 과정인데, 핀홀 카메라 모델의 파라미터를 기반으로 픽셀 좌표계로 변환하였다[17]. 카메라 행렬을 핀홀 카메라 모델에 투영 변환하여 월드 좌표계의 3D 포인트를 2D 영상 평면으로 투영하고, 2D 영상 평면은 다시 픽셀 좌표계로 변환하는 방식이다. OpenCV의 함수를 사용하여 체스보드 형태의 보드를 다양한 각도에서 방사 왜곡 계수와 접선 왜곡 계수 값을 획득하여 영상을 보정하였다. 그림 2는 어안렌즈를 통해 받은 왜곡된 영상과 그 영상을 보정한 영상이다.

2. 위치 추출

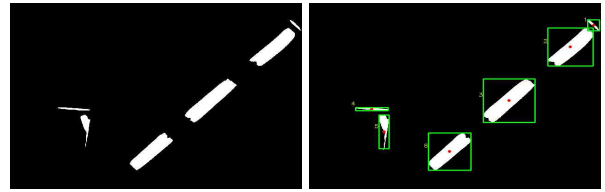
왜곡 보정된 영상으로부터 각 조명등의 중심위치를 구하는 단계이다. 우선 조명등과 배경을 분리시키기 위하여 이진화를 수행한다. 그레이영상을 이진영상으로 변환하기 위하여 많이 사용되는 Otsu 이진화 방법 [18]을 적용하였다. Otsu 이진화는 영상 히스토그램이 두 개의 정규분포를 갖는 경우 잘 적용될 수 있다. 조명등이 있는 천장영상의 경우, 밝은 조명등 영역과 어두운 배경영역으로 구분되므로 방법의 적용이 용이하다.

이진화를 통하여, 조명등은 흰색, 조명등 이외의 영역은 검은색으로 식별된다. 이때 조명등에서 빛이 반사된 일부

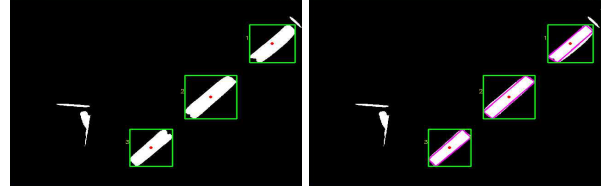


(a) Original image. (b) Calibrated image.

그림 2. 왜곡 영상 보정.
Fig. 2. Calibration of distorted image.



(a) Binarization. (b) Segmentation of areas.



(c) Segmentation of lights. (d) Extraction of centroids.

그림 3. 조명등 추출 과정.

Fig. 3. Steps for extracting ceiling lights.

영역도 흰색으로 식별될 수 있다. 이들 영역을 조명등으로부터 분리시키기 위하여, 별도의 분리단계가 필요하다. 흰색으로 식별된 영역들에 대하여 픽셀 수와 가로 세로 비율 등 기하학적 특성치를 구하여, 기준 값을 만족하는 영역을 조명등 영역으로 판정한다. 각 조명등 영역에 대한 경계선 추적을 통하여 조명등의 중심 위치와 각도를 추출한다.

그림 3은 조명등을 추출하는 과정이다. (a)는 이진화 영상, (b)는 식별된 조명등 후보영역, (c)는 식별된 조명등 영역, (d)는 각 조명등의 중심위치 및 각도를 보여준다.

IV. 천장 경계선 검출

1. 영상 엣지 검출

천장경계선을 추출하기 위하여, 우선 영상의 엣지를 검출한다. 왜곡 보정된 그레이영상에 대하여 엣지 검출을 수행하며, 캐니(Canny) 엣지 검출법 [18]을 적용하였다. 캐니 엣지 검출법은 영상의 구조적 특성을 그대로 유지하면서 데이터를 단축시킨다는 측면에서 널리 활용되고 있다.

엣지 검출이 용이하도록, 입력된 컬러영상의 HSV 성분 중 V 성분의 영상을 그레이영상으로 사용하였다. 또한 엣지 검출 후, 가우시안 필터 [18]를 사용한 필터링을 통하여 잡음성 엣지를 제거하였다.

2. 경계선 검출

검출된 엣지 데이터로부터 직선 데이터를 추출한다. 직선 파라미터의 추출을 위하여 허프 변환(hough transformation) [18]을 사용하였다. 허프 변환은 영상 엣지 좌표로부터 빈도수를 카운트하여 직선 파라미터 (거리 및 각도)를 추정해내는 방법이다. 천장과 벽의 경계선 부근에 빈도수가 많은 직선들이 존재하므로, 일정 임계값 이상의 빈도수를 갖는 직선들을 추출한다.

천장 경계선이 아닌 직선들을 제거하기 위하여, 조명등의 각도 정보를 활용한다. 조명등 각도의 평행 또는 수직 방향의 직선을 제외하고, 나머지 직선들은 모두 제거한다.

그림 4는 천장 경계선을 추출하는 과정을 보여준다. (a)는 입력된 그레이 영상 (b)는 엣지 검출 결과, (c)는 직선 변환 결과, (d)는 천장 경계선 추출 결과이다.

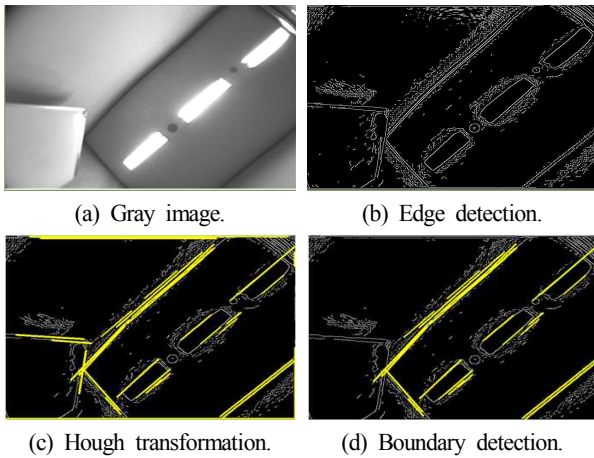


그림 4. 천장 경계선 추출 과정.
Fig. 4. Steps for extraction of the boundary lines between ceiling and wall.

V. 조명등 아이디 식별

각 조명등에 아이디를 부여하기 위하여, 앞서 추출한 조명등의 위치와 천장 경계선 정보를 이용한다. 로봇의 위치에 따라 일부 조명등만 보이는 경우를 고려하여야 한다. 조명등의 아이디를 식별하는 과정은 다음과 같다.

Step 1: X값 기준으로 임의로 조명등 아이디 지정
획득한 영상에서 나타난 각각의 조명등을 X값을 기준으로 가장 왼쪽에 있는 조명등의 아이디를 1로 지정한다.

Step 2: 좌측 경계선 유무 파악

영상에서 가장 왼쪽에 있는 조명등의 중심점에서 Y값을 고정, X값을 감소시키면서 좌측에 경계선이 있는지 찾는다.

Step 3: 우측의 경계선 유무 파악

Step 2와 반대로, 영상에서 가장 오른쪽에 있는 조명등의 중심점에서 Y값은 고정, X값을 증가시키면서 우측에 경계선이 있는지 찾는다.

Step 4: 첫 번째 조명등 아이디 지정

Step2와 Step3 과정에서 좌측 경계선, 우측 경계선이 둘 다 보일 경우, 가장 왼쪽에 있는 조명등의 아이디를 1로 지정한다. 좌측에 경계선이 없고, 우측에만 경계선이 있을 경우에는 가장 왼쪽에 있는 조명등의 아이디를 2로 지정한다.

Step 5: 나머지 조명등 아이디 지정하기

영상에서 첫 번째 조명등을 지정한 후에, 나머지 조명등은 X값에 따라 첫 번째 조명등의 다음 절대 값으로 조명등의 절대 값과 아이디를 지정한다. 좌, 우 경계선이 둘 다 보이지 않을 경우에는 상, 하 경계선으로 대체한다. Y값 대신 X값을 고정시키고, Y값을 변화시켜 천장 경계선을 찾는다.

VI. 로봇의 위치 추정

위 실험에서는 획득한 영상의 중심을 로봇의 위치라 가정한다. 로봇의 위치를 추정하는 과정은 다음과 같다.

Step 1: 영상의 중심과 가장 가까운 조명등 찾기

로봇의 위치를 추정하기 위해 획득한 영상의 중심에서 가장 가까운 조명등을 찾는다.

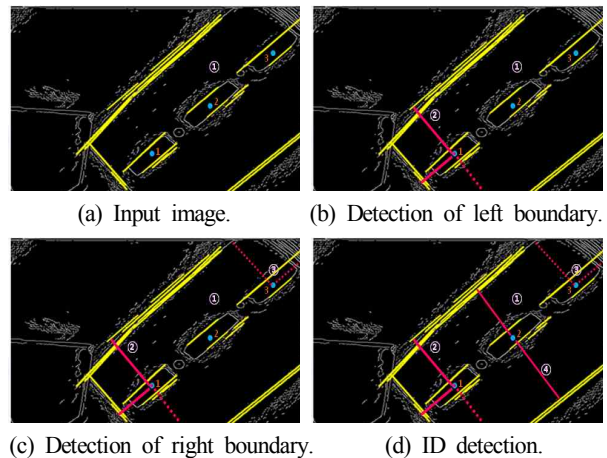


그림 5. 조명등의 아이디 식별 과정.
Fig. 5. Steps for identification of ceiling lights.

Step 2: 영상 중심과 조명등 중심 간의 거리를 구함

영상의 중심 좌표와 조명등의 중심 좌표의 X값, Y값의 차이를 계산하여 거리를 구한다.

Step 3: 실제 거리의 차이를 구함

영상에서 픽셀 간 거리와 실제 거리와는 차이가 있어 그 비율을 X, Y값 차이에 곱해, 실제 거리의 차이를 구한다.

Step 4: 조명등 절대 값에 X값, Y값 차이를 계산

조명등의 실제 값은 조명등의 아이디에 따라 부여받은 절대 값으로 구할 수 있다. 조명등의 위치와 영상의 중심 위치를 비교하여 조명등의 실제 값에 앞서 구한 X, Y값 차이를 더하거나 빼서 실제 이동 로봇의 위치를 계산한다.

Step 5: 실내 이동 로봇의 위치 획득

VII. 실험 결과

실험에 사용된 CCD 카메라는 하이비전 시스템 사의 HVR- 2300R이고, 화각이 170°인 어안렌즈를 사용하였다. 프로그램은 VS 2008과 OpenCV 2.1 버전을 사용하였다.

그림 6은 8개의 조명등이 있는 공간에서 실험 환경이다. 실내 바닥에 각각의 샘플을 표시하고 실제 거리를 계산하였다. 제안 방법은 SIFT 알고리즘과 비교하기 위해 30개의 샘플 위에서 천장 영상을 2회 반복해 영상을 획득하였다. SIFT 알고리즘은 하나의 물체가 다른 영역에 있을 때 특징점의 변화를 찾아 영상의 위치 변화를 찾는 방법이다.

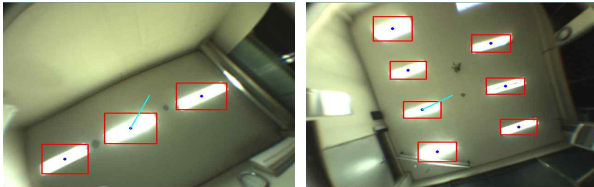


그림 6. 실험 환경.
Fig. 6. Experimental environment.

표 1. 실험 환경 비교.

Table 1. Experimental setups.

	조명등 개수	천장의 크기 (cm ²)	단위 픽셀 당 거리(cm)
A	3	300*558	0.7
B	8	657*558	0.8

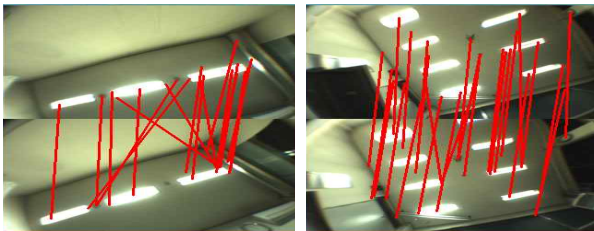


(a) Setup A.

(b) Setup B.

그림 7. 제안 방법 실험 결과.

Fig. 7. Example images resulted from the proposed algorithm.



(a) Setup A.

(b) Setup B.

그림 8. SIFT 알고리즘 실험 결과.

Fig. 8. Example images resulted from the SIFT algorithm.

위의 표 1은 각각의 실험 환경을 비교한 표이다. 조명등 개수에 따라 조명등 3개인 환경을 A, 조명등이 8개인 환경을 B로 나누었다. 각각의 환경에서 천장의 크기와 단위 픽셀 당 거리, 카메라를 통해 입력받은 픽셀수를 비교하였다.

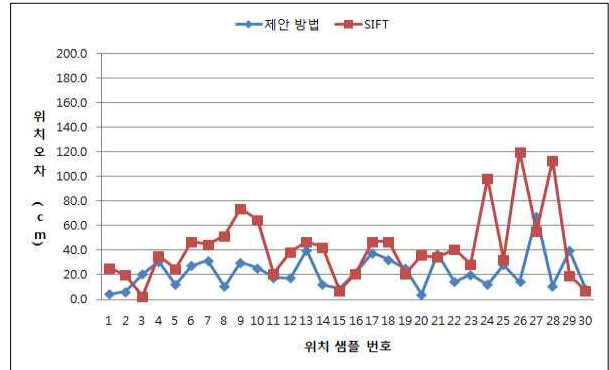
그림 7은 제안 방법을 사용하여 실제 천장 영상을 테스트한 실험 결과이다. 결과 영상은 실제 위치에서 가장 가까운 조명등까지의 거리를 직선으로 나타내었다. 그림 8은 SIFT 알고리즘으로 실험한 결과이다. 각도가 유사한 두 영상을 이용하여 비교한다. 위에 있는 기준 영상에서 아래에 있는 비교하려는 영상에서 같은 특징 점을 찾고, 특징 점이 어느 방향으로 변화하였는지 파악하여 거리를 계산한다. 조명등이 많을수록 특징 점의 개수가 더 많아진다.

1. 위치 오차 비교

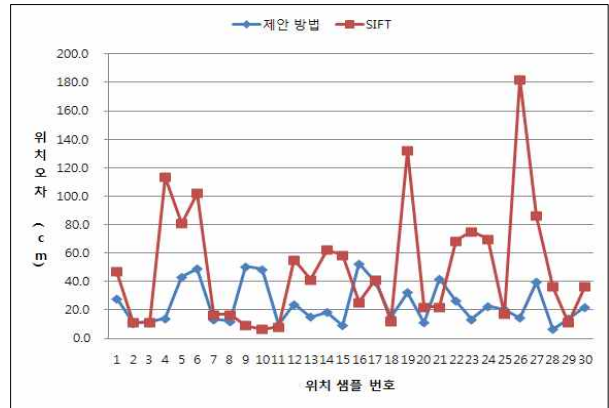
그림 9는 A, B 환경에서 제안 방법과 SIFT 알고리즘의 위치 오차를 비교한 그래프이고, 표 2는 위치 오차의 평균을 기록한 표이다. 그래프에서 X축은 위치 샘플 번호이며, 실내 바닥에서 좌측 하단을 X=0, Y=0으로 지정하였다. 이 지점에서 가장 가까운 위치 샘플을 1로 정해 원점에서 멀어질수록 각각의 샘플 번호의 값이 크도록 지정하였다. 위치 오차는 실제 거리와 추정된 거리와의 차이를 계산한 것이다.

위치오차 =

$$\sqrt{(\text{추정 } X\text{값} - \text{실제 } X\text{값})^2 + (\text{추정 } Y\text{값} - \text{실제 } Y\text{값})^2} \quad (1)$$



(a) Setup A.



(b) Setup B.

그림 9. 제안 방법과 SIFT 알고리즘과 위치 오차 비교.

Fig. 9. Position errors for the setup A and setup B.

표 2. 제안 방법과 SIFT 알고리즘의 위치 오차 평균.

Table 2. Average position error.

	위치 오차 (cm)		
	A	B	평균
제안 방법	22.4	29.2	23.6
SIFT	36.1	47.5	45.9

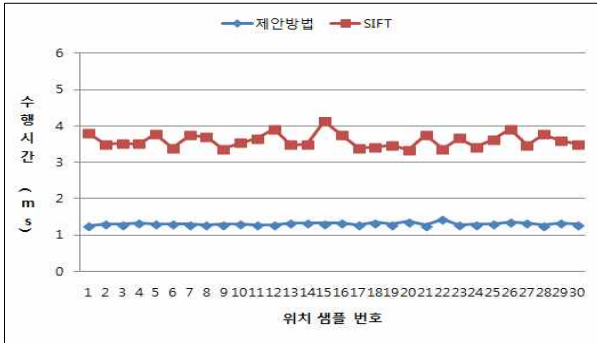
제안 방법의 평균 위치 오차는 23.6 cm, SIFT 알고리즘의 평균은 45.9 cm이다. 제안 방법이 SIFT 알고리즘에 비해 약 23 cm 위치 오차가 더 적다.

제안 방법에서 위치 오차가 발생하는 이유는 어안 렌즈의 사용으로 인해 각도 변화에 민감하기 때문이다. 같은 위치에서 측정 횟수를 늘려 더 정확한 값을 갖는 샘플을 이용한다.

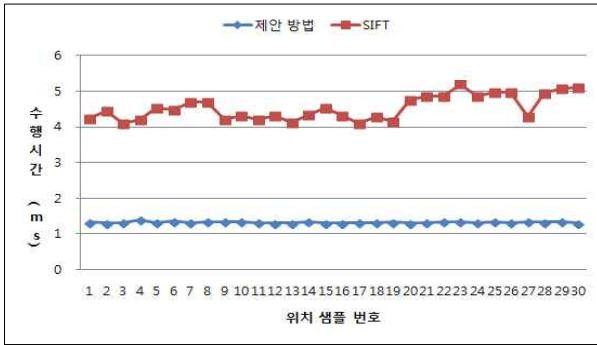
SIFT 알고리즘에서는 몇 개의 샘플의 오차가 평균에 비해 상당히 크게 발생한다. 그림 8에서 각각의 특징 점의 변화를 나타낸 직선의 길이와 각도가 서로 유사해야 오차가 작은데, 비교하는 영상의 각도가 차이가 많이 날 경우, 오차가 크게 나타난다. 이는 최대한 유사 각도에서 영상을 비교하고, 특징 점을 찾는 방법을 보완하여 오차를 줄인다.

2. 수행 시간 비교

그림 10은 A, B 환경에서 제안 방법과 SIFT 알고리즘의 수행 시간을 비교한 그래프이고, 표 3은 수행 시간의 평균을 기록한 표이다.



(a) Setup A.



(b) Setup B.

그림 10. SIFT 알고리즘과 수행 시간 비교.

Fig. 10. Computational time for the setup A and setup B.

표 3. 제안 방법과 SIFT 알고리즘의 수행 시간 평균.

Table 3. Average computational time.

	수행 시간 (ms)		
	A	B	평균
제안 방법	1.3	1.3	1.3
SIFT	3.6	4.5	4.1

제안 방법의 평균 수행 시간은 약 1.3ms, SIFT 알고리즘의 평균은 4.1ms이다. 제안 방법의 수행 시간이 SIFT 알고리즘의 수행 시간이 약 1/3 소요된다.

제안 방법의 수행 시간은 조명등의 개수에 따른 차이가 없다. 조명등을 찾을 때 $n \times m$ 1채널 영상에서 영역 분리를 1회 실행하여 흰색 영역을 분리하므로 영향을 받지 않는다. SIFT 알고리즘은 조명등의 개수가 많아지면 특징 점이 더 많아져 매칭 시간이 길어진다. $n \times m$ 1채널 영상에서 특징 점의 개수만큼 더 반복 수행하여 수행 시간이 증가한다.

3. 각도 비교

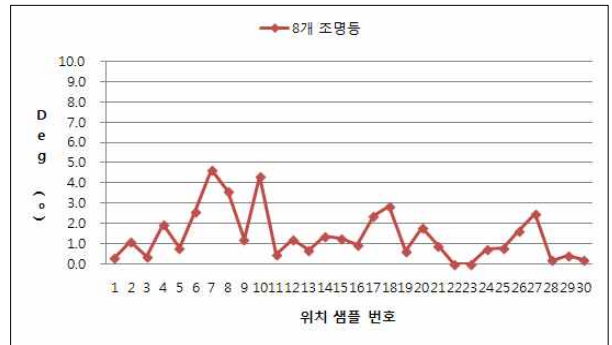
그림 11은 A, B 환경에서 실제 각도와 제안 방법에서의 측정된 각도 간의 각도 오차를 비교한 그래프이다. 각도는 획득한 영상의 수평면에서 실내등 간의 각도의 평균을 나타낸 것이다. 표 4는 A 환경과 B 환경에서 각도 오차의 평균을 기록한 표이다. 각도 오차는 측정 각도와 실제 각도의 차의 절대 값이다.

$$\text{오차각도} = |\text{측정 각도} - \text{실제 각도}| \quad (2)$$

A 환경 평균 각도 오차는 4.2°, B 환경은 1.4°, 두 환경에서 평균은 2.8°이다. A 환경에서 B 환경보다 평균 오차가



(a) Setup A.



(b) Setup B.

그림 11. 실제 각도와 측정 각도의 각도 오차.

Fig. 11. Angular errors for the setup A and setup B.

표 4. 실제 각도와 측정 각도의 평균 각도 오차 (degree).

Table 4. Average angular error.

	A	B	평균
제안 방법	4.2	1.4	2.8

약 3°가 더 발생한다. A 환경은 B 환경에 비해 조명등의 개수가 적어 각도의 평균 오차를 내는데 표본이 적어 오차에 영향을 더 많이 받았다.

VIII. 결론

기존의 방법과 비교하여 다수의 천장 조명등과 천장 경계선을 영상 처리 기법을 적용하여 실내용 이동 로봇이 자신의 위치를 스스로 파악하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 인공 표식과 비교하여 따로 표식을 부착하지 않으므로 더 편리하고, SIFT 알고리즘과 비교하여 정확도와 수행 시간이 향상되었다.

제안 방법은 SIFT 알고리즘에 비해 위치 오차는 약 23 cm 감소하고, 수행 시간은 SIFT 알고리즘의 1/3로 감소하였다. 실제 각도와 측정 각도의 오차는 3° 미만으로 각도의 변화에 우수하였다.

위 실험에서는 SIFT 알고리즘과 비교를 위해 고정된 영상으로 비교하였지만, 알고리즘을 개선한다면 실시간으로 로봇의 위치를 파악할 수 있다. 고정된 영상에서는, 실내 바닥과 카메라를 수평을 유지하여 영상을 획득하였지만, 실시간은, 카메라가 실내 바닥과 수평이 되지 않을 경우 보정된 영상이 실제 영상에 크게 달라질 수 있다.

그러나 제안 방법은 다양한 조명등 형태에서는 대처하기 어렵다. 또한 천장과 벽의 색깔이 비슷하면 천장의 경계선을 찾는 방법을 보완되어야 한다. 그리고 조명등이 꺼졌을 경우에는 이 방법을 적용할 수 없고, 이동 로봇이 사각 지대에 있으면 천장 조명등과 천장의 경계선을 확보하지 못하므로 위치 추정 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] L. Moreno, J. M. Armingol, S. Garrido, A. De La Escalera, and M. A. Salichs, "A genetic algorithm for mobile robot localization using ultrasonic sensors," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 34, no. 2 pp. 135-154, 2002.
- [2] S. Y. Kim and K. S. Yoon, "Improved ultrasonic satellite system for the localization of mobile robots" *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 12 pp. 1240-1247, 2011.
- [3] Y. Zhou, W. Lu, and P. Huang, "Laser-activated RFID-based indoor localization system for mobile robots," *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4600-4605, 2007.
- [4] G. Jang, S. Kim, W. Lee, and I. Kweon, "Color landmark-based self localization for indoor mobile robots," *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1037-1042, 2002.
- [5] H. Chae, J. Lee, W. Yu, and N. L. Doh, "StarLITE: A new artificial landmark for the navigation of mobile robots," *Proc. of the 1st Japan Korea Joint Symposium Network Robot System* pp. 11-14, 2005.
- [6] D. H. Heo, A. R. Oh, and T. H. Park, "A localization system of mobile robots using artificial landmarks," *Proc. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, pp. 139-144, 2011.
- [7] K. S. You and C. T. Choi, "Development of localization sensor system for intelligent robots," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 2 pp. 116-124, 2011.
- [8] X. Yang and Y. Tian, "Robust door detection in unfamiliar environments by combining edge and corner features," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp. 57-64, 2010.
- [9] Z. Chen and S. T. Birchfield, "Visual detection of lintel-occluded doors from a single image," *Workshop of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, 2008.
- [10] Y. Li and S. T. Birchfield, "Image-based segmentation of indoor corridor, floors for a mobile robot," in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 837-843, 2010.
- [11] L. M. Surhone, M. T. Tennoe, and S. F. Henssonow, "Scale-invariant feature transform," *Betascript Publishing*, 2010.
- [12] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale invariant features," *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 1150-1157, 1999.
- [13] S. Se, D. G. Lowe, and J. J. Little, "Mobile robot localization and mapping with uncertainty using scale-invariant visual landmarks," *International J. of Robotic Research*, vol. 21, no. 8, pp. 735-758, 2002.
- [14] C. H. Choi and B. J. Choi, "A study on fisheye lens based features on the ceiling for self-localization," *Journal of Intelligence and Information Systems (in Korean)*, vol. 21, no. 4, pp. 442-448, 2011.
- [15] D. Xu, L. Han, M. Tan, and Y. F. Li, "Ceiling-based visual positioning for an indoor mobile robot with monocular vision," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 5, pp. 1617-1628, 2009.
- [16] H. K. Park and M. J. Chung, "Localization for mobile robot using indoor lights," *Proc. of the 1998 Annual Conf. of IEEK (in Korean)*, pp. 426-429, 1998.
- [17] J. Kannala and S. Brandt, "A genetic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 8, pp. 1335-1340, 2006.
- [18] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd. ed., *Prentice-Hall*, 2007.



한 연 주

2011년 충북대학교 전자공학부 졸업. 2011년~현재 동 대학원 제어로봇공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리 및 로봇 비전.



박 태 형

1988년 서울대학교 제어계측로봇과 졸업. 1990년 동 대학원 석사. 1994년 동 대학원 박사. 1994년~1997년 삼성테크윈(주) 선임연구원. 1997년~현재 충북대학교 전자공학부 교수. 관심분야는 산업용 로봇 및 자동화.