

Landmark를 이용한 localization 문제 접근에 관한 연구

A Study on Approach of Localization Problem Using Landmarks.

°김태우, 이철휘

°서강대학교 전자공학과(Tel:+82-02-704-4088;Fax:+82-02-704-4088;E-Mail:twkim@venus.sogang.ac.kr)

서강대학교 전자공학과(Tel:+82-02-705-8466;Fax:+82-02-704-4088;E-Mail:khlee@ccs.sogang.ac.kr)

Abstract Building a reliable mobile robot - one that can navigate without failures for long periods of time - requires that the uncertainty which results from control and sensing is bounded. This paper proposes a new mobile robot localization method using artificial landmarks. For a mobile robot localization, the proposed method uses a camera calibration(only extrinsic parameters). We use the FANUC arc mate to estimate the posture error, and the result shows that the position error is less than 1 cm and the orientation error less than 1 degrees.

Keywords Camera Calibration, Localization, Landmark.

1. 서론

이동로봇시스템에 있어 현재 위치에 대한 정확한 정보를 취득하는 것은 매우 중요한 일이다. 자율이동로봇은 작업환경내의 현재위치에서 지정된 경로를 거쳐 목표위치까지 이동할 수 있어야 한다. 이러한 능력은 많은 연구에서 주된 관심분야가 되어 왔지만 아직도 만족할 만한 해법은 주어지지 않았다. 기존 시스템들은 대부분 과제지향적(task-oriented)이어서 유연성(flexibility)과 신뢰성(reliability)면에서 성능이 비교적 저하된다. 우리의 주된 관심은 제어(control)와 감지(sensing)에서 생기는 통계적인 오차의 불확실성을 제어하는 것이다.

신뢰도가 높은 자율이동로봇이 되기 위해서는 시스템에 존재하는 이러한 불확실성을 최대한 줄이는 것이다. 이를 위해 작업환경내부에 존재하는 불확실성에 대해 응용분야에 따라 작업환경을 가공하는 것이 요구된다. 이처럼 작업환경을 가공하는 것은 이동로봇이 경로계획(path planning), 탐사(exploration), 항법(navigation)과 같은 작업을 수행하는데 있어 요구되는 계산의 양을 줄여준다. 예로 자동화된 공장내에서 바닥에 tape strip를 설치함으로써 이동로봇은 간단한 감지 장치만을 이용하여 요구되는 위치로 성공적으로 이동할 수 있다. 하지만 로봇의 작업환경을 가공하는 것은 시스템의 유연성을 저하시키는 결과를 가져온다. 반면 가공되지 않은 환경내에서 로봇시스템이 작업을 수행하기 위해서는 많은 계산이 요구되므로 전체 시스템의 성능이 저하되는 결과를 초래하게 된다. 이처럼 작업환경을 가공하는 정도와 로봇이 주어진 작업을 수행하는데 있어서 요구되는 계산량 사이에는 반비례의 관계가 성립되므로, 이들 사이의 적당한 trade off를 결정하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 로봇시스템이 높은 신뢰성을 가지고 주어진 작업을 수행하되, 작업환경에 대해 최소한의 가공을 가하여 시스템이 높은 유연성을 가지도록 하였다[6]. 본 논문에서는 이동로봇 시스템의 제어와 감지에서 발생하는 위치 오차의 범위를 제한하기 위해 로봇의 감지시스템인 CCD 카메라의 외부파라미터 보정 기법을 사용하였다[1],[2]. 카메라 보정은 3차원 공간상에 존재하는 특징점과 이들이 투사된 영상상의 화소들의 쌍으로 이루어진 데이터의 집합으로부터 카메라의 내·외부 파라미터를 구하는 것을 의미하며, 카메라 보정을 위해 필요한 데이터의 집합을 만들기 위해 인위적으로 설계된 landmark를 이용하였다.

제한된 알고리즘을 로봇에 구현하기에 앞서 성능을 평가하기 위해 0.1mm 이하의 위치 오차를 가지는 FANUC arc mate를 이용하여 100회의 실험을 수행하였다. 본 논문의 2장에서는 이동로봇 시스템에 있어 localization 문제에 대해 살펴보고, 3장에서는 설계된 landmark를 인식하고 보정 데이터 집합을 형성하는 방법에 대해 살펴보고, 4장에서는 카메라 보정기법에 대해 살펴본다. 5장에서는 실험방법 및 결과에 대해 살펴보고, 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

2. Localization

센서로부터 감지된 정보를 이용하여 로봇의 위치와 자세를 결정하는 것을 localization이라고 하며, 많은 로봇 응용분야에서 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 예를 들면 docking이나 특이한 공간 또는 좁은 공간에서의 항법과 같은 작업을 수행하는데 있어 localization 문제를 해결하지 못하게 되면, 경로계획을 실패하게

나, 장애물과의 충돌과 같은 결과가 발생할 수 있다.

Localization을 해결하기 위해서도 주변의 정보를 감지하게 되는데, 이는 무엇보다부터, 어디로부터 localization에 필요한 정보를 취득하느냐의 문제를 정의하는 것이다.

2.1 기존의 연구 방향

Localization을 위한 첫번째 단계는 어디로부터 무엇을 이용하여 필요한 정보를 취득하느냐를 결정하는 것이다. 일반적으로 정보를 제공해 주는 것을 landmark라고 말하며, 이는 자연적인 것과 인공적인 것으로 나눌 수 있다. 자연적인 landmark를 사용하는 것으로, Atiya는 취득된 영상에서 추출된 대상체의 3차원 정보와 선형적으로 지도에 저장된 위치정보를 비교함으로써 로봇의 위치를 측정하였으며[5], Talluri는 취득된 영상을 저장된 모델 영상과 직접 비교함으로써 로봇의 위치를 측정하였다[4]. 이러한 방법들은 미지의 환경이나 동적 요소가 많은 환경에서 적용이 불가능하다는 단점이 있다. 다른 방법으로 Becker는 천정과 벽에 인공적으로 설계된 landmark를 사용하여 로봇의 위치를 보정하였으나 로봇의 방향 오차가 비교적 큰 것이 단점이다[6]. 최근에는 여러 종류의 센서 데이터를 융합하여 이용하기도 하는데, Neira는 밝기영상과 거리영상을 융합하였고[7], Bonnifatt는 odometry와 landmark의 방위각 정보를 융합하여 위치보정을 수행하였다[8].

2.2 제안된 localization의 분석

본 논문에서는 카메라 보정기법을 이용하여 localization을 수행함으로써 로봇의 위치 오차뿐만 아니라 방향 오차의 값도 허용범위내로 줄이고자 하였다. Localization을 위해 제안된 카메라 보정 기법을 사용할 때, 사용된 데이터 집합의 수를 N이라고 할면 보정된 위치오차는 $\sqrt{6N}$ 에 반비례한다는 것이 알려져 있다 [2]. 또한 landmark 영역(landmark가 취득된 위치) 이외에서 오차를 줄이기 위해서는 landmark의 수를 증가시켜야 하므로, 각각의 응용에서 요구되는 오차의 허용범위에 따라 landmark의 수를 결정되어야 한다.

3. Landmark

앞서 언급한 바와 같이 이동로봇이 항법이나 탐사 작업을 수행하는데 있어 신뢰성을 높이기 위해서 로봇의 위치를 정확하게 알아내는 것은 매우 중요하며, 이를 위해 작업환경을 가공해야 한다. 제안된 알고리즘에서는 작업환경에 인위적으로 설계된 landmark를 설치하였다. 일반적으로 작업환경내의 벽이나 모서리와 같은 특징점을 landmark로 이용하기도 하지만, 이는 신뢰성이 낮고, 많은 계산량을 요구하므로 시스템의 처리속도가 저하되는 단점이 있다.

일반적으로 landmark는 다음의 3가지 주요한 기능을 가져야 한다.

- ◆ 현재 취득된 입력영상에서 landmark의 존재여부를 빠르게 판단할 수 있어야 한다. 이는 이동로봇 시스템의 이동속도에 직접적인 영향을 미친다.
- ◆ 작업환경내부에 존재하는 여러 개의 landmark에 대해 자

신만의 독자성(identity) 정보를 가져야 한다.

- ◆ Landmark는 이동로봇이 localization 과정을 수행할 수 있도록 정보를 제공해야 한다.

또한 인위적으로 설계된 Landmark는 항법이나 탐사 이외의 기능을 수행할 수 있다. 예로 물건을 지정된 위치로 옮기는 작업을 수행하는 경우, landmark는 옮겨질 물건을 인식하기 위한 수단으로 이용될 수 있다. 제안된 알고리즘에서 설계한 landmark는 위에서 언급된 3가지 기능을 만족시키기 위해 인식패턴과 보정패턴으로 나누어서 설계되었다.

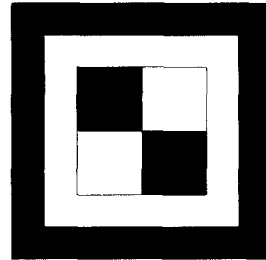


그림 1 설계된 landmark의 인식패턴
Fig. 1 Recognition pattern of a designed landmark

3.1 Landmark의 인식패턴

그림 1은 설계된 landmark의 인식패턴의 예를 나타낸다. Landmark의 인식패턴은 카메라를 이용하여 취득된 영상에서 landmark의 존재여부를 빠르게 판단할 수 있게 하고, 동시에 취득된 landmark의 독자성에 관련된 정보를 제공해 준다. 인식패턴은 크게 외곽의 사각형과 안쪽의 2x2의 사각형으로 구성되어 있다. 외곽의 사각형은 취득된 영상에 landmark의 존재여부를 판단함과 동시에 영상에서 패턴들의 크기에 대한 정보를 제공한다. 취득된 영상에 이진화 처리 과정을 수행한 후, 영역확장기법을 이용하여 찾아진 사각형 영역에 대해 일차적인 기하학적 특징을 조사한다. 제안된 알고리즘에서는 영역의 면적, 둘레의 길이, 면적과 둘레의 길이의 비를 비교 특징으로 이용하였다[9]. 또한 외곽의 사각형 영역의 면적으로부터 안쪽의 사각형의 한 변의 길이에 대한 정보도 얻는데, 이는 뒤에 size filtering을 통해 보정패턴 이외에 존재하는 잡음을 제거하기 위해서 사용된다[9].

안쪽의 2x2 사각형은 landmark의 독자성 정보를 제공하는데, 각각의 사각형의 밝기값이 독자성 값의 각 자리수를 구성하게 된다. 위와 같이 2x2의 사각형을 사용한 경우 2⁴개의 landmark를 구별할 수 있다. 또한 안쪽 사각형 영역의 밝기값을 조사하는데 있어 알고리즘의 강건성을 위해 계산된 크기의 mask 영역내의 화소들을 조사하여 그 값을 결정하였다.

3.2 Landmark의 보정패턴

Landmark의 보정패턴은 변의 길이가 인식패턴의 안쪽 사각형의 $\sqrt{2}$ 배인 60개의 사각형으로 구성되어 있다. 취득된 영상에서 인식패턴을 해석함으로써, 현재 landmark의 절대위치정보를 얻을 수 있다. 또한 인식패턴의 해석 결과로부터 보정패턴의 면적을 예측할 수 있으므로, size filtering 과정을 통해 영상에서 잡음을 제거할 수 있다. 보정패턴에서 영상과 좌표값은 영역확장기

법을 적용함으로써 계산될 수 있다.

3.1절에서 해석한 landmark의 독자성 정보와 보정패턴의 영상 좌표값으로부터 카메라 보정에 필요한 데이터 집합을 생성할 수 있다.

4. 카메라 보정

이동로봇의 위치를 얻기 위해 카메라 외부파라미터 보정기법을 적용하였다. 카메라 보정이란, 핀홀 카메라인 경우 내부파라미터인 유효초점거리, 왜곡상수, 영상의 중심점, 스케일상수와 외부파라미터인 회전행렬과 전이벡터를 구하는 과정이다. 카메라 보정을 위해서는 취득된 영상에서 추출된 특징점에 대해 영상좌표값과 기준좌표계에서의 절대위치정보들로 이루어진 데이터 집합들이 요구되며 이를 이용하여 일련의 방정식을 풀어서 원하는 파라미터의 값을 구할 수 있다.

4.1 카메라 보정

이동로봇시스템의 위치와 자세정보를 얻기 위해서는 카메라의 외부파라미터만을 이용하면 된다. 하지만 카메라 보정기법을 localization에 적용하기 위해서는 내부파라미터에 대한 정보를 알아야 한다. 실험에서 사용된 영상취득장비는 Sony XC-75c CCD 카메라와 DT2867 Grab board이다. 사용된 영상취득장비에 대해서 카메라 보정을 통해 내부파라미터를 구해야 하는데, 실험 시 내부파라미터를 구하기 위해서는 가장 널리 쓰이는 Tsai 방법을 사용하였다[2]. 내부파라미터를 구하는 과정도 영상의 취득과 데이터 집합의 분포에 따라 약간의 차이를 보이므로, 10번의 보정에 통해 구한 결과를 평균을 취하여 내부파라미터를 결정하였다. 구해진 내부파라미터는 영상취득장비에 대해 불변이므로 이후의 단계에서 상수로써 간주될 수 있다.

4.2 카메라의 외부파라미터의 보정

이동로봇의 localization은 기준좌표계에 대해 이동로봇의 위치와 자세 정보를 취득하는 것으로써, (x, y, θ) 의 값을 구하는 과정이다. 카메라의 외부파라미터인 회전행렬과 전이벡터의 요소는 탐사환경의 바닥면이 평면이라고 가정했을 경우, 전이벡터의 z요소는 상수가 되고, 회전행렬의 요소중 z축에 대한 회전각만이 존재하게 된다[1]. 실제 이동로봇의 localization을 위해서는 카메라 보정기법을 통해 구한 카메라 좌표계를 로봇 좌표계로 변환하는 과정이 요구되지만, 이것은 카메라를 장착하는 방법에 따라 다르므로, 본 논문에서는 생략하였다.

5. 실험결과

알고리즘의 성능 평가를 위해 FANUC arc mate를 이용하였다. FANUC arc mate는 0.1mm 이하의 위치 오차를 가지는 6관절 용접용 로봇으로 end-effect에 카메라를 장착하여 난수적으로 결정된 위치로 이동시킨 후 영상을 취득하여 카메라의 위치와 자세 정보를 추출하였다. 취득된 영상은 256×256 크기를 가지며, 영상처리와 카메라 보정을 위해 펜디엄 90 프로세서를 사용

하였다. 15종류의 landmark를 사용하였고, 취득된 영상 중에서 28장은 landmark의 인식패턴부분을 포함하지 않거나 보정패턴의 수가 충분하지 못한 영상이며, 72장은 완벽한 landmark 영상이다. 그림 2는 FANUC arc mate를 이용하여 영상을 취득하는 과정을 보여준다.

5.1 영상취득 장비의 보정결과

사용된 영상취득장비에 대한 내부파라미터 보정 결과는 아래와 같다.

초점거리	스케일상수	왜곡계수	Cx	Cy
12.643 mm	1.00018	0.000072	312	234

5.2 Landmark 인식패턴

Landmark의 인식패턴부에 대한 실험은 입력영상에 대해 landmark의 존재 여부를 얼마나 빠르게 판단하는가와 독자성 정보에 대한 올바른 해석 여부를 확인하는 것이다. 입력 영상에 대해 독자성 정보에 대한 해석은 100%의 성공률을 나타내었다. 28장의 불완전한 입력영상에 대해 landmark의 존재 여부 판단에 소요되는 평균 처리 시간은 0.127초였으며, 72장의 landmark 영상에 대해 데이터 집합 및 위치보정에 소요되는 평균 시간은 0.332초였다.

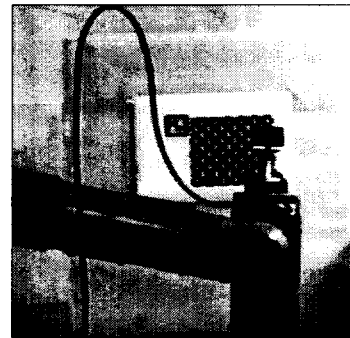


그림 2 FANUC arc mate를 이용한 영상취득
Fig. 2 Image Acquisition Using FANUC arc mate

5.3 보정위치와 자세의 오차

72장의 영상에서 취득된 데이터 집합을 이용하여 카메라 보정을 수행하였으며, 일부인 27장 영상에 대한 위치와 자세의 오차는 그림 4와 같으며, 표 1은 72장의 영상에 대해 최대, 최소, 평균 오차를 보여준다.

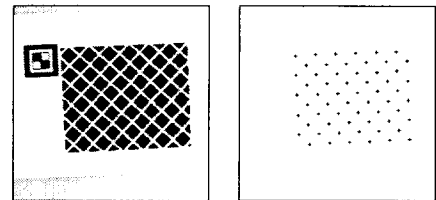


그림 3 취득된 landmark 영상과 처리 결과
Fig. 3 Acquired landmark image and processed image

표 1 72장의 입력영상에 대한 위치와 방향 오차

Table 1 position and orientation error of 72 input images

	최대오차	최소오차	평균오차
X 오차(mm)	0.8528	0.0017	0.4348
Y 오차(mm)	0.9111	0.1058	0.5033
θ 오차(degree)	0.9954	0.2286	0.6389

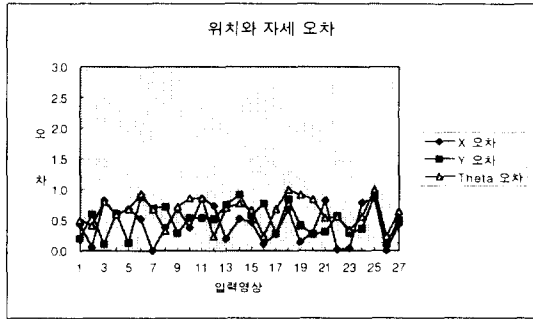


그림 4 27장의 영상에 대한 위치와 방향 오차

Fig. 4 position and orientation error of 27 input images.

6. 결론

본 논문에서는 신뢰성이 있는 이동로봇 시스템을 구현하는데 있어 필히 요구되는 localization 문제를 해결하기 위해, 카메라 보정 기법을 이용하는 방법을 제안하였다. 실험 결과에서 보여주듯이 제안된 알고리즘은 landmark의 존재 여부를 판단하기 위해 평균 0.127초의 시간이 필요한데, 위치 보정을 위해서도 평균 0.332초의 시간이 필요한데, 이는 로봇의 이동속도가 10~20cm/sec 인 것을 감안하면 이동속도에는 거의 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 또한 카메라 보정을 통해 위치와 자세 정보의 오차는 1cm이하이고, 자세 오차는 1° 미만임을 알 수 있었다.

제안된 알고리즘을 실제 이동로봇 시스템에 장착하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 카메라 좌표계와 로봇 좌표계 사이의 변환 과정이 필요한데, 카메라를 로봇에 장착하는 과정에서 적지 않은 불확실성이 포함될 수 있기 때문에 실제 구현을 했을 경우 실험에서 얻은 오차가 약간 증가할 것으로 예상된다. 특히 자세 오차는 카메라 장착의 정확성에 많은 영향을 받는다. 제안된 알고리즘을 이동로봇 시스템에 적용함으로써 신뢰성이 뛰어난 방법을 수행하는 물론이고, 탐사과정에 있어 로봇의 localization 정보를 정확하게 알 수 있기 때문에 매우 정확한 지도를 생성할 수 있다.

참고문헌

[1] Hanqi Zhuang, Wen-Chiang Wu, "Camera Calibration with a Near-Parallel Calibration Board Configuration," IEEE

Transaction on Robotics and Automation. Vol. 12. No. 6. December 1996.

[2]. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision metrology Using Off-Shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation. Vol. RA-3. No. 4. August 1987.

[3] Reimar K. Lenz, "Calibrating a Cartesian Robot with Eye-on-Hand Configuration Independent of Eye-to-Hand Relations," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 11. No. 9. September 1989.

[4] Raj Talluri, "Mobile Robot Self-Location Using Model-Image Feature Correspondence," IEEE Transaction on Robotics and Automation. Vol. 12. No. 1. February 1996.

[5] Sami Atiya, "Real-Time Vision-Based Robot Localization," IEEE Transaction on Robotics and Automation. Vol. 9. No. 6. December 1993.

[6] Craig Becker, Joaquin Salas, "Reliable Navigation Using Landmarks," IEEE International Conference on Robotics and Automation. pages 401-406. 1995.

[7] J. Neira, J. Horn, "Multisensor Mobile Robot Localization," IEEE International Conference on Robotics and Automation. pages 673-679. 1996.

[8] Bonnifait, Garcla, "A Multisensor Localization Algorithm for Mobile Robots and its Real-Time Experimental Validation," IEEE International Conference on Robotics and Automation. pages 1395-1399. 1996.

[9] Remesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, "Maching Vision I," McGRAW-Hill, 1995.

[10] David J. Kriegman, "Stereo Vision and Navigation in Buildings for Mobile Robot," IEEE Transaction on Robotics and Automation. Vol. 5. No. 6. December 1989.