

Distance Error Weight Function을 이용한 이동 로봇의 위치 추정 시스템의 설계

고재원*, 박재준, 이기철, 박민웅
*유한대학 제어계측과, 연세대학교 전자공학과

Position Estimation of a Mobile Robot using Distance Error Weight Function

Jaewon Kho*, Jaejoon Park, Kicheol Lee, Mignon Park
*Dept. of Control and Instrumentation, Yuhan College
Dept. of Electronic Engineering, Yonsei University

Abstract - This paper suggests a position estimating algorithm using mono vision system with projective geometry method. Generally, 3-D information can not be easily extracted from mono vision system which is taken by a camera at a specific point. But this defect is overcome by adopting model-based image analysis and selecting lines and points on the ground as natural landmarks. And this paper suggests a method that estimates position from many natural landmarks by distance error weight function.

1. 서 론

본 논문에서는 휴먼 로봇의 기본인 이동 로봇의 특성을 살려 인간이 환경을 인식할 때 가장 많이 사용하는 시각 센서를 기본 센서로 채택하고, 시각 센서로 검출된 정보를 이용해 이동 로봇의 위치를 계산하며 목적지까지의 주행을 제어하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

영상 처리 시간과 기구 비용을 줄이기 위해 단일 영상 시스템과 이차원 모델기반의 영상 해석을 사용한다. 일반적으로 모델 기반의 영상 해석 방법을 적용하여 3차원적인 복도 구조를 인식하고 이동 로봇의 위치를 추정하기 위해서는 이동 로봇과 카메라의 정확한 위치를 알고 있어야 한다. 이동 로봇의 위치는 바퀴의 회전수나 속도 변화를 이용하여 추정하게 되는데, 이 방법은 주행 거리가 증가함에 따라 큰 오차를 유발하게 된다. 따라서 이동 로봇의 위치 추정치에 오차가 존재할 때 영상 정보에서 정확한 정보를 추출할 수 있는 방법이 요구된다.

본 논문에서는 기존의 복잡한 3차원 모델 대신 복도의 구조를 간단한 2차원 모델을 사용하여 데이터의 수와 연산량을 감소시키고 있다. 영상 해석에 있어서는 복도 구조의 고유한 기하학적 관계를 이용하여 단일 카메라로 획득된 영상으로부터 정확한 복도의 평행선과 수직선을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 최종적으로 확정된 영상안의 데이터에는 화상 정보 안의 다수개의 이정표를 바탕으로 삼각 측량법에 의하여 위치를 추정하고, 거리에 따르는 오차를 반영함으로써 최적값을 얻어내는 알고리즘을 제안한다.

2. 이동 로봇의 위치 추정 시스템 설계

투사 기하학적 정리를 토대로 원하는 목표점의 컴퓨터 화상 좌표를 카메라 좌표계로 표시할 수 있다. 카메라 좌표계에서 측정된 목표점을 가지고 이동 로봇은 현재 자신의 위치를 계산하게 된다. 이러한 위치 추정 방법에는 여러 가지가 있지만, 본 논문에서는 삼각 측량의 원리를 이용한 기하학적 방법을 제시한다.

2.1 기준 좌표계와 카메라 좌표계의 위치관계

다음 그림 1은 이동 로봇과 두 이정표 사이의 관계

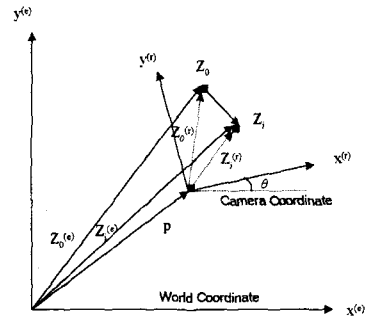


그림 1. 기준 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 평면 기하학적 관계

를 보여준다. 이동 로봇의 위치는 위치 벡터 \mathbf{p} 와 방향 각 θ 로 주어진다. 이 두 정보는 이동 로봇의 주행 정보 중 위치를 알려주는 중요한 정보이다. 이 정보를 토대로 하여 이동 로봇은 계획 경로상의 오차를 수정할 수 있다.

위치 벡터 \mathbf{p} 의 기준 좌표계에서의 좌표를 편의상 (p_x, p_y) 로 가정한다. 이에 따라 각각의 벡터를 좌표로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} z_0^{(r)} &= (x_0 - p_x, y_0 - p_y) \\ z_i^{(r)} &= (x_i - p_x, y_i - p_y) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x_0, x_i, y_0, y_i 는 기지의 값이다. 그러나 식 (1)만으로는 정확한 p_x, p_y 를 구할 수 없다. 따라서 세번째의 이정표를 통하여 두번째의 선형식을 얻어내어 정확한 p_x, p_y 를 구한다.

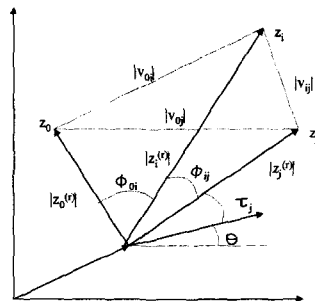


그림 2. 3각 측량시 기준좌표계와 카메라 좌표계상의 관계

그림 2는 나머지 하나의 이정표를 고려한 경우이다. 그림 2와 같이 세번째 이정표 z_j 를 취하고, p_x, p_y 에 대하여 정리하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 2(x_i - x_0) & 2(y_i - y_0) \\ 2(x_j - x_0) & 2(y_j - y_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |z_0^{(i)}| - |z_i^{(i)}| + (x_i^2 - x_0^2) + (y_i^2 - y_0^2) \\ |z_0^{(j)}| - |z_j^{(j)}| + (x_j^2 - x_0^2) + (y_j^2 - y_0^2) \end{bmatrix} \quad (2)$$

기하학적 관계를 적용하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x_j - p_x}{y_j - p_y}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x_i^{(r)}}{y_i^{(r)}}\right) \quad (3)$$

2.2 거리 오차 가중치 함수와 추정 위치의 계산

카메라 캘리브레이션 관계식과 기하학적 방법을 이용하여 화상 좌표계상의 변화량과 실제 거리 오차와의 관계를 구하면 다음과 같다.

$$d(U, V) = \sqrt{(\beta^2 + 1)} \Delta a \quad (4)$$

여기서, d : 거리 가중치 함수
 β : 기준좌표계에서 복도선의 경사
 Δa : change of real distance

$$\begin{aligned} &= \frac{f(U + \Delta U) - f(U)}{\Delta U} \\ &= \frac{-F_{ca}(2,4) \Delta u (V - \alpha U) F_1 - F_2 + (\alpha + 1) F_3 - F_4}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6} \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} G_1 &= F_{ca}(2,1)^2 (U^2 + U) \\ F_1 &= F_{ca}(1,1) F_{ca}(2,2) \\ F_2 &= F_{ca}(1,2) F_{ca}(2,1) \\ F_3 &= F_{ca}(1,1) F_{ca}(2,3) \\ F_4 &= F_{ca}(1,3) F_{ca}(2,1), \\ G_2 &= F_{ca}(2,2)^2 (V^2 + \alpha V) \\ G_3 &= F_{ca}(2,3)^2 \\ G_4 &= F_{ca}(2,1) F_{ca}(2,2) (2UV + (\alpha + 1) V) \\ G_5 &= F_{ca}(2,1) F_{ca}(2,3) (2U + 1) \\ G_6 &= F_{ca}(2,2) F_{ca}(2,3) (2V + \alpha V) \end{aligned}$$

거리 가중치 함수는 특성상 분모가 U, V 의 2차식이기 때문에 소멸점 부근으로 갈수록 커지는 경향이 있다. 오차가 작은 쪽에 가중치를 두어야 하기 때문에 $\frac{1}{d(U, V)}$ 를 거리 오차 가중치 함수 $E(U, V)$ 로 정의한다.

$$E(U, V) = \frac{1}{d(U, V)} \quad (5)$$

추정 위치를 계산하기 위해서 거리 오차 가중치 함수를 정규화 시킨다. 본 논문에서는 좌, 우 각 6개의 이정표를 사용하기 때문에 거리 오차 가중치 함수의 정규화도 각각의 6개의 이정표의 화상 좌표상의 값에 대한 거리 오차 가중치 함수의 값을 다음의 식 (6)을 써서 구한다.

$$E^N(U, V) = \sum_{k=1}^6 E_k(U, V) \quad (6)$$

식 (6)에서 구해진 정규화된 거리 오차 가중치 함수를 이용하여 식 (7)과 (8)을 사용하여 최종적인 추정 위치 벡터 \vec{p} 를 구한다.

$$x \text{ of } \vec{p} = \sum_{k=1}^6 E_k^N(U_k, V_k) (x \text{ of } \vec{p}_k) \quad (7)$$

$$y \text{ of } \vec{p} = \sum_{k=1}^6 E_k^N(U_k, V_k) (y \text{ of } \vec{p}_k) \quad (8)$$

이동 로봇의 방향각 θ 에 대해서도 위의 과정을 적용하여 최종적인 방향각 θ 를 추출할 수 있다.

$$\theta = \sum_{k=1}^6 E_k^N(U_k, V_k) \theta \quad (9)$$

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 이동 로봇 시스템의 구성

실험에 사용된 이동 로봇 시스템은 그림 3과 같이 크게 이동 로봇과 영상처리 시스템으로 구성되며, 이동 로봇은 미국 pioneer사의 saphira라는 제품을 사용하였다.

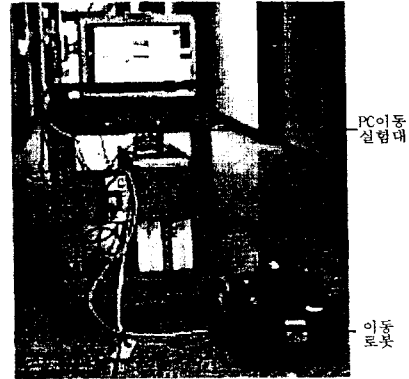


그림 3. 이동 로봇 시스템의 구성

3.2 이동 로봇의 위치 추정 오차 실험

이동 로봇이 위치를 정확히 찾는지의 여부를 검증하기 위하여 임의의 알고 있는 위치에 알고 있는 방향각으로 로봇을 위치시키고, 위치의 추정을 Least Square 방법과 Distance Error Weight Function을 이용하여 실험하였다. 다음 표 4.1은 같은 수 6개의 이정표를 가지고 두 방법을 이용하였을 때의 위치 추정치와 알고리즘에서의 연산 시간을 비교한 것이다.

표 1. D.E.W.F.방법과 Least Square 방법의 비교

| | Least Square | D.E.W.F | 실제 위치 |
|-------|--------------|---------|-------|
| x | -1.4424 | -1.2384 | 0 |
| y | -2.7346 | -2.3345 | 0 |
| theta | 0.2488 | 0.2134 | 0 |
| time | 230ms | 200ms | |

표 1에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제시하는 D.E.W.F. 방법에서는 화상 평면상에 나타난 가장 확률 높은 이정표만을 선택해서 처리하기 때문에 Least Square 방법에 비하여 더 좋은 효율을 나타낸다.

3.3 이동 로봇의 복도 주행 실험 및 결과고찰

본 논문에서 제안한 이정표의 추출과 위치 추정 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 복도에서의 주행 실험을 행하였다. 이동 로봇은 초기위치 (0, 0, 90°)에 놓여 있고 복도의 (0, 20000(mm), 90°)까지 주행하도록 하였다.

본 논문에서 사용된 이동 로봇의 구동 방법은 "look and move" 방식이며, 연산 속도를 최대한 빠르게 할 수 있는 알고리즘을 채택하였으므로 실시간에 가까운 형태로 구동되었다. 또한 이동 로봇의 영상 처리는 그림 4와 같은 과정으로 처리하였다.

이동 로봇이 실제의 주행 환경에서 정확한 이정표 좌표를 찾아내는 것을 실험하였으며, 500mm마다 하나의 영상을 잡는 방식으로 실험하였다.

그림 5는 이동 로봇이 주행 중 위치 1에서 멈추어 획득

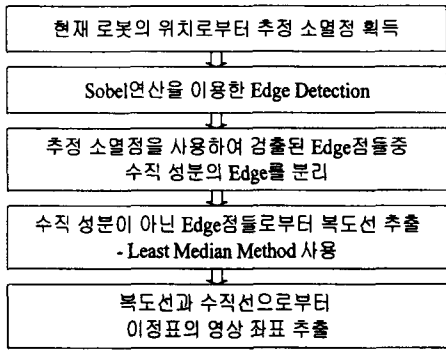


그림 4. 영상 전처리 알고리즘의 블록도

특한 복도 영상과 추출된 직선, 이정표를 나타내고 있다.

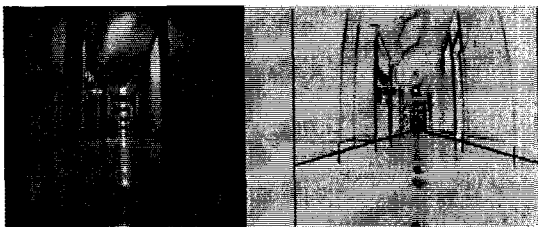


그림 5. 위치 1에서 획득한 영상 및 처리된 영상

이동 로봇이 이와 같은 영상 처리의 결과로 얼마나 안정적인 주행을 할 수 있는가의 여부를 조사하기 위하여 이동 로봇의 위치를 100mm마다 기록한 후 그 궤적을 조사하였다.

먼저 그림 6, 7은 지면으로 인한 오차원인이 없는 정상적인 여건 하에서의 이동 로봇의 주행 궤적을 영상 처리와 추측 항법의 두 가지 경우로 나누어 나타낸 것이다.

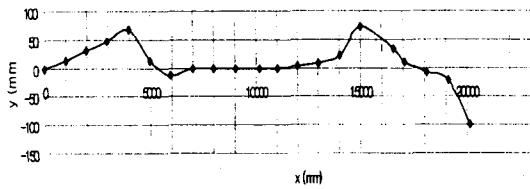


그림 6. 영상 처리를 통한 이동 로봇의 주행궤적

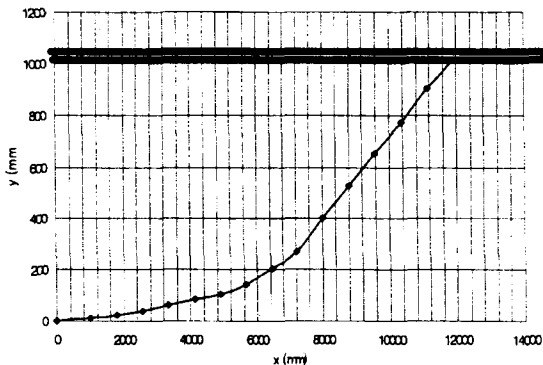


그림 7. 추측 항법에 의한 이동 로봇의 주행궤적

그림 7과 같이 이동 로봇이 추측항법만으로 진행할 경우에는 발생하는 오차가 누적되어 12m 이상은 주행하지 못하고 벽과 충돌해버린다. 추측항법에서는 바퀴의 슬립이나 기타의 원인으로 인한 오차를 제대로 감지할 수 없기 때문이다. 그러나 그림 6의 결과를 보면 영상 처리를 통한 주행 방식에서는 100mm 이내의 오차에서 안정적으로 주행을 알 수 있다.

이상의 결과로 볼 때 본 논문에서 제안한 이정표 추출 및 위치 추정 알고리즘이 실제 복도 환경에서 잘 적용됨을 보였다. 특히 2차원 모델을 사용함으로써 매칭 알고리즘의 단순화와 연산 속도의 개선이라는 두가지 효과가 있음을 보였다.

3. 결 론

본 논문에서는 단일 카메라를 이용하여 복도 환경하에서 발생하는 직선을 검출하여 자연적인 이정표로 추출하고, 추출된 이정표와 미리 작성된 환경 데이터 베이스를 가지고 삼각 측량법을 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 이정표와 이동 로봇간의 거리에 따라 계산된 측정값의 오차가 생기는 관계를 유도하고, 이를 이용하여 가장 실제값에 가까운 위치 추정치를 찾는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 Distance Error Weight Function을 실제 복도 구조에 적용시켜 실험해본 결과 같은 삼각 측량법을 썼을 때 기존의 Least Square 방법에 비하여 정밀도와 연산 속도의 측면에서 우수함을 입증하였다. 또한 다른 3차원 모델을 사용하는 기존의 알고리즘들에 비하여 원하는 수준만큼의 안정도를 가지면서도, 구현이 훨씬 용이하고 연산 시간의 면에서 우수함을 보였다.

본 논문에서 제안한 이정표의 추출과 위치 추정 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 복도에서 이동 로봇의 20m 주행 실험을 행한 결과, 100mm 이내의 오차에서 안정적으로 주행을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] C. Fennema, A. Hanson, et al., "Model-Directed Mobile Robot Navigation," IEEE Trans. on Syst. Man and Cybernetics, vol. 20, no. 6, pp.1352-1369, 1990.
- [2] Shakunaga Takeshi, "3-D Corridor Scene Modeling from a Single View under Natural Lighting Conditions," IEEE Trans. on PAMI, vol. 14, no. 2, pp.293-298, 1992.
- [3] A. Kosaka, A.C. Kak, "Fast Vision-Guided Mobile Robot Navigation using Model-Based Reasoning and Prediction of Uncertainties," Journal of Computer Vision, Graphics, and Image Processing-Image Understanding, vol. 56, no. 3, pp.271-329, 1992.
- [4] F. Wallner, R. Graf, R. Dillman, "Real-time Map Refinement by Fusing Sonar and Active Stereo-Vision," IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 2968-2973, 1995.
- [5] Nicolas Ayache, "Artificial Vision for Mobile Robots: Stereo Vision and Multisensory Perception," The MIT Press, Cambridge, USA, chap.6, pp. 85-100, 1991.
- [6] Hiroshi Ishiguro, et al., "T-Net for Navigating a Vision-Guided Robot in a Real World," IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 1068-1073, 1995.
- [7] J. Y. Zheng, M. Barth, S. Tsuji, "Autonomous Landmark Selection for Route Recognition by a Mobile Robot," Proceedings of IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, pp. 2004-2009, 1991.