

목표물 추적을 위한 비전 기반 상대 위치 추정

이종걸*, 박종훈*, 김진환**, 허옥열*
 인하대학교*, 인하공업전문대**

Vision-based relative position estimation for object tracking

JONG-GEOL LEE*, JONG-HUN PARK*, JIN-HWAN KIM**, UK-YOUL HUH*
 Inha University*, Inha Tachincal College**

Abstract - 본 논문에서는 2차원 평면상을 주행하는 이동 로봇의 목표물에 대한 상대 위치 및 방향각을 측정하는 방법에 대하여 제안한다. 측정을 위해 사용되는 센서는 스테레오 카메라로, 이동 로봇은 3DOF의 특징을 갖고 있으므로 두 개의 점을 이용하여 상대 위치 및 방향각을 측정하는 방법을 제안한다. 상대 위치를 측정하는 과정에서 외란에 의한 위치 오차가 발생하게 되며, 이에 대한 대책으로 칼만 필터를 적용하여 더욱 강건한 상대 위치 추정을 한다. 마지막으로 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 통하여 외란이 존재하는 환경 하에서 제안된 시스템의 성능을 확인한다.

1. 서 론

이동 로봇이 실시간으로 주변 환경을 인식하는 능력은 상황에 맞는 행동을 결정하는 데 있어 결정적인 기준이 되며, 현재 다양한 분야에서 이에 대한 연구가 이루어지고 있다. 특히 이동 로봇의 위치 인식 능력은 자율 주행 로봇의 특성상 맡은 임무를 수행하는 데 있어 가장 중요한 능력 중 한가지로 볼 수 있기 때문에 그 중요성이 강조되고 있다. 현재 다양한 센서를 이용한 위치 인식 기술이 연구되고 있으며, 최근 들어 높은 가격 대비 성능 비를 보이는 비전 센서를 이용한 방법이 많이 사용되고 있다.

비전 센서를 이용한 위치 인식 방법에는 크게 단일 카메라를 이용한 방법과 다중 카메라를 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 단일 카메라를 이용한 방법은 적은 비용으로 쉽게 적용 가능하다는 장점이 있지만 일반적인 방법으로는 깊이 정보를 얻을 수 없다는 단점이 있다. 따라서 단일 카메라를 이용하여 깊이 정보를 얻기 위해서는 대상에 대한 추가적인 데이터가 필요하다. 반면에 스테레오 카메라를 이용하는 경우에는 단일 카메라에 비해 가격이 비싸고, 데이터의 연산에 소모되는 시간이 길다는 단점이 있지만, 추가적인 변경 없이 실시간으로 주변 환경에 대한 3차원 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.[4]

본 논문에서는 이러한 스테레오 카메라의 장점을 이용하여 2차원 평면상에서 주행하는 이동 로봇이 주어진 목표물에 대한 상대 위치 정보를 획득하는 방법에 대하여 연구한다. 더불어 동작 중 발생하는 외란에 대한 대책으로 칼만 필터를 적용하여 더욱 강건한 시스템을 설계한다. 본 논문은 스테레오 카메라를 이용한 위치 정보 획득 방법과, 노이즈 제거를 위한 칼만 필터를 설계, 시뮬레이션을 통한 검증으로 구성된다.

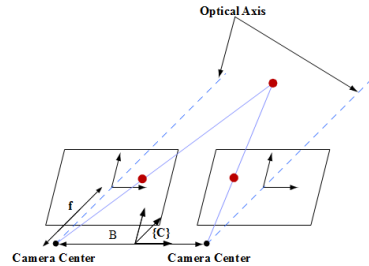
2. 본 론

2.1 스테레오 카메라를 이용한 상대 위치 측정

목표물에 대한 로봇의 상대 위치를 추정하기 위해서는 우선적으로 목표물의 3차원 정보를 획득하여야 한다. 본 논문에서는 스테레오 카메라를 이용하여 영상과 목표물이 가지고 있는 기하학적 특징간의 관계에 대한 분석을 통해 목표물의 3차원 정보를 획득한다. 3차원 공간 내에 존재하는 직선, 곡선, 점 등의 다양한 기하학적 특징들이 카메라 이미지로 투영되는 과정이 연구되고 있고, 최근에는 다양한 형태의 사물에 적용하기 쉽도록 점을 이용한 방법들이 주로 사용되고 있다[1]. 본 논문에서는 2차원 평면상을 주행하지만 3DOF의 비 홀로노믹 특성을 갖는 이동 로봇의 위치 및 방향각에 대한 고려를 위해 두 개의 점을 이용한 방법을 제안한다.

2.1.1 스테레오 카메라 모델

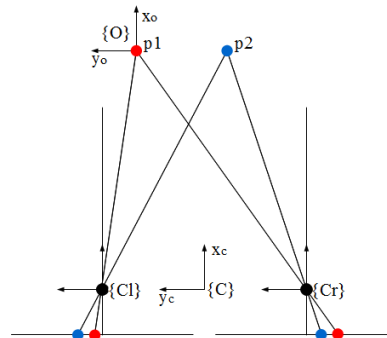
본 논문에서 사용되는 스테레오 카메라 시스템은 평행식 스테레오 카메라로, <그림 1>과 같다. 이는 두 개의 평행하게 배치된 단일 카메라의 형태와 유사하며, 좌 우 영상에 투영되는 목표물의 좌표를 이용하여 목표물의 3차원 정보를 얻게 된다. B는 좌 우 카메라 사이의 거리이며, f는 카메라 렌즈와 이미지 평면 사이의 거리를 나타낸다.



<그림 1> 스테레오 카메라 모델

2.1.2 측정 모델

본 논문에서 상대 위치 측정을 위해 고려해야 할 좌표계는 크게 넷으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 목표물의 좌표계로, 상대 위치 추정에 있어서 기준이 되는 좌표계이며, {O}로 나타낸다. 두 번째는 카메라 좌표계로써 좌 우 카메라의 렌즈 중앙을 잇는 선의 정중앙에 위치하며, {C}로 나타낸다. 세 번째는 이미지 좌표계로써 영상 평면 상에 존재하며 {I}로 나타낸다. 네 번째는 로봇 좌표계로 카메라 좌표계에서 z축으로의 이동 변환만 존재하도록 설계되었다고 가정하였으므로 {C}와 동일하게 나타낼 수 있다.



<그림 2> 좌표계

<그림 2>에서 보는 바와 같이 목표물의 두 점 p_1 과 p_2 는 {O}좌표계 내에 존재하며, {O}와 {C}사이의 변환은 다음과 같다.

$${}^c p_j = T + R(\theta) {}^o p_j \quad (1)$$

여기서 T, R은 {O}상의 한 점을 {C}상의 한 점으로 표현할 때 사용되는 이동과 회전 변환을 나타내므로, ${}^c p_j$ 는 {C}에서 p_j 의 좌표를 나타내고, ${}^o p_j$ 는 {O}에서 p_j 의 좌표를 나타낸다.

본 시스템에 적용된 평행식 스테레오 카메라 좌 우 각각의 모델은 일반적인 핀홀 카메라 모델과 동일하다. 또한 2차원 평면상에서의 모델링을 고려하였기 때문에 이미지 좌표계상의 y축은 생략하기로 한다. 때문에 $\{C_r\}, \{C_l\}$ 에서 p_j 의 x 좌표는 각각 $\{I_r\}, \{I_l\}$ 상에 다음과 같이 나타난다.

$${}^{il} x_j = \frac{f}{p} \frac{{}^c y_j - B/2}{{}^c x_j}, \quad {}^{ir} x_j = \frac{f}{p} \frac{{}^c y_j + B/2}{{}^c x_j} \quad (2)$$

여기서 ${}^{il} x_j$ 는 좌측 영상에 투영된 p_j 의 x좌표, ${}^{ir} x_j$ 는 우측 영상에

투영된 p_j 의 x좌표, p 는 픽셀 폭을 나타내며, 각 픽셀은 정사각형인 것으로 가정한다.

2.2 칼만 필터 알고리즘

카메라를 이용하여 얻은 측정값에는 외란이 포함되어 있기 때문에 측정된 위치에 오차가 포함되게 된다. 따라서 이에 대한 대책 마련이 필요하며, 본 논문에서는 칼만 필터를 적용하여 외란에 강인한 상대 위치 추정 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서는 이동 로봇의 위치 및 방향각에 대한 측정을 목표로 하기 때문에 칼만 필터의 시스템 방정식은 다음과 같은 상태 변수를 갖는다.

$$x_k = [tx \ ty \ \theta]^T \quad (3)$$

여기서 tx, ty, θ 는 각각 목표물에 대한 로봇의 x좌표, y좌표, 방향각을 나타내며, 이동 로봇의 기구학적 성질을 이용하면 다음과 같은 시스템 모델링 식을 얻을 수 있다.

$$x_k = \begin{bmatrix} x_{k-1} + dtv_k \cos\theta \\ y_{k-1} + dtv_k \sin\theta \\ \theta + \omega_k \end{bmatrix} + w_k \quad (4)$$

또한 앞서 정리한 스테레오 비전 시스템에서의 측정식을 이용하면 다음과 같은 측정 방정식을 얻을 수 있다.

$$z_k = \begin{bmatrix} ir x_1 \\ ir x_2 \end{bmatrix} = \frac{f}{P} \begin{bmatrix} (c_{y_1} - B/2)/c_{x_1} \\ (c_{y_1} + B/2)/c_{x_1} \\ (c_{y_2} - B/2)/c_{x_2} \\ (c_{y_2} + B/2)/c_{x_2} \end{bmatrix} + v_k \quad (5)$$

여기서 노이즈는 스테레오 영상에서 목표물의 좌표를 계산하는 과정에서의 양자화와 관련된 오차, 영상에서 물체를 인식하는 과정에서 발생하는 오차 등으로 인해 발생하며, 본 논문에서는 양자화에 의한 오류를 모델링하여 적용하였다.

본 시스템은 비선형이므로 칼만 필터의 적용을 위하여 비선형 시스템의 선형화를 포함한 확장 칼만 필터를 적용한다. 전체적인 프로세스는 다음과 같다.

예측 과정 :

$$\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}) \quad (6)$$

$$A = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{\hat{x}_k} \quad (7)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (8)$$

선형화 :

$$H = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{\hat{x}_k} \quad (9)$$

칼만 이득 계산 :

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (10)$$

추정값 계산 :

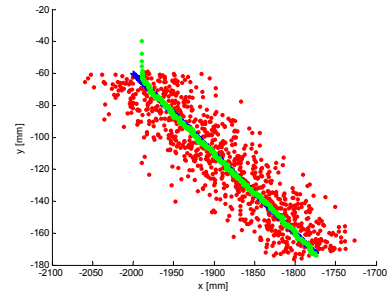
$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - h(\hat{x}_k^-)) \quad (11)$$

$$P_k = P_k^- - K_k HP_k^- \quad (12)$$

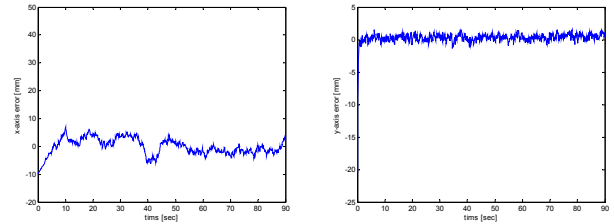
2.3 시뮬레이션

앞서 설계한 확장 칼만 필터를 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에서 이동 로봇은 전방향성을 갖는다고 가정하였으며, 직선 주행시에 대한 실험과, 정위치에서 회전운동을 할 경우 각각 위치 추정값과 방향각 추정값을 확인하였다.

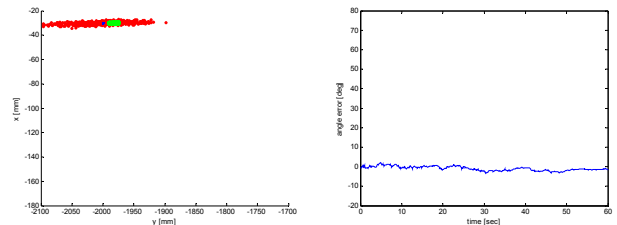
<그림 5>는 정위치에서 회전 운동을 하는 경우 이동 로봇의 궤적과 방향각 오차를 나타낸다. 붉은색 점으로 표현된 부분이 스테레오 카메라를 이용해 측정된 값이고, 중앙에 초록색으로 나타난 부분이 본 논문에서 설계한 시스템으로 측정된 값이며, 정위치에서 회전운동을 함을 확인할 수 있다.



<그림 3> 직선 주행시 궤적



<그림 4> 직선 주행시 x,y축 에러



(a)회전시 궤적

(b)회전시 방향각 오차

<그림 5> 회전시 궤적/방향각 오차

3. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 상대 위치 추정을 위하여 확장 칼만 필터를 적용한 스테레오 비전 시스템을 제안하였다. 비전 센서를 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하는 기하학적 모델링을 진행하였고, 그 과정에서 발생하는 오차에 대한 대책으로 확장 칼만 필터를 제안하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 제안된 시스템의 성능을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. Janabi-Sharifi and W. J. Wilson "Automatic selection of image features for visual servoing", IEEE Trans. Robot. Autom., vol. 13, p.890 , 1997.
- [2] W. J. Wilson, C. C. W. Hulls, and G. S. Bell, "Relative end-effector control using Cartesian position-based visual servoing", IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 12, pp.684 - 696 , 1996.
- [3] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry, 2000. :Cambridge Univ. Press
- [4] Hongsheng Zhang, Negahdaripour, S. "EKF-Based Recursive Dual Estimation of Structure and Motion From Stereo Data", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Volume: 35 Issue:2 pp.424 - 437 , 2010
- [5] S. Thrun, "Probabilistic robotics", Commun. ACM, vol. 45, no. 3, pp.52 - 57, 2002.