

비전시스템을 이용한 이동로봇의 이동물체 추적에 관한 연구

전재현*, 홍석교**
아주대학교 제어계측공학과*, 아주대학교 전자공학부**

A Study of the tracking of moving object of mobile robot using vision system

Jeon Jae-Hyun*, Hong Suk-Kyo**
Dept. of C&I*, School of Electronics, A Jou University**

Abstract - This paper presents an algorithm that the mobile robot track accurately a moving object with information from a CCD camera mounted on mobile robot. Singular Value Decomposition is adapted to remove the measurement noise of a Raw data of CCD. The mobile robot estimate the trajectory using Kalman filter and track the path of a moving object with a servo motor. Computer simulation results are showed that the efficient tracking system for the mobile robot is designed properly.

1. 서 론

오래 전부터 로봇이 카메라로부터 얻은 영상정보를 이용하여 주변환경 인식 및 작업수행에 관한 연구가 진행되고 있으며[1], 이동로봇에서도 영상정보를 통한 최단경로 탐색, 주행 및 충돌회피 등의 폭넓은 분야에 응용되고 있다[2][3].

이동물체의 궤적은 이동물체를 예지 처리하여 얻은 방법[4], 원배경 영상과 이동물체의 동작에 따라 발생하는 차영상을 이용하는 방법[5], 이동물체의 특징점 만을 추적하는 방법[6], 물체가 움직일 때 발생하는 명암차를 이용하는 방법[7] 등 여러 가지 방법이 제안되었다. 또한, 정확한 이동물체의 궤적 추적을 위해 칼만 필터를 이용하는 방법[8][9]도 연구되고 있다. CCD카메라의 측정잡음을 제거하기 위해 특이치 분해를 적용하는 방법[10], 표적의 영상평면에서 밀도영상 사용하는 방법[8] 등이 연구되고 있다.

본 논문에서는 자율이동로봇에 탑재된 CCD카메라의 입력 영상정보, Raw 데이터에 특이치 분해를 적용하여 측정잡음을 제거하고, 칼만 필터를 이용하여 효과적으로 이동물체 궤적 추적시스템을 설계한다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

자율이동로봇은 팬티엄(MMX 200)보드를 사용하였고, BT848을 사용한 프레임 그래버, 직류모터를 제어하기 위한 컨트롤러, 기타 I/O장치로 구성되어 있으며, 탑재된 CCD카메라로부터 영상정보를 얻는다. 카메라는 초점거리 8mm, 768 x 494 pixel array를 갖는 CCD를 사용하였다. 추적대상으로 사용한 불은 핸드볼 공으로, 둘레가 60cm, 무게는 475g이다.

자율이동로봇은 그림 1과 같이 설계되어 있다.

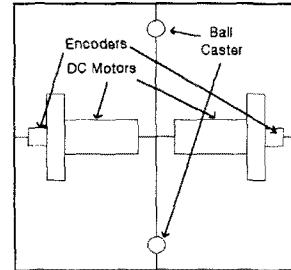


그림 1. 이동로봇의 블럭도

Fig. 1. Schematic Diagram of the Mobile Robot
(Bottom View)

2.2 로봇 시스템 궤적 모델링

자율이동로봇의 중심은 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴의 중앙에 위치하고, 전체적인 로봇의 움직임은 로봇의 중심점의 움직임으로 나타낼 수 있다. 샘플링 시간이 t 인 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 엔코더 펄스를 E_R , E_L 이라 정의한다.

$$T_m = \pi R_m / n T_e \quad (1)$$

단, T_m 은 엔코더 펄스수를 바퀴의 운동거리로 변환할 때의 변환율, R_m 은 자율이동로봇의 바퀴직경(■)이고,

T_e 는 엔코더의 분해능(pulse/rev), n 은 모터축에 연결되어 있는 감쇠기어의 기어비이다.

임의의 샘플링 시간동안 왼쪽과 오른쪽 바퀴의 이동거리, ΔM_L 과 ΔM_R 의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta M_L}{\Delta M_R} = T_m \frac{\Delta E_L}{\Delta E_R} \quad (2)$$

식(2)로부터 자율이동로봇의 중심이 이동한 전체거리 ΔM 과 자율이동로봇의 방위의 변화 $\Delta\theta$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta M_i &= (\Delta M_R + \Delta M_L)/2 \\ \Delta\theta &= (\Delta M_R - \Delta M_L)/L \end{aligned} \quad (3)$$

L 은 자율이동로봇의 바퀴간 거리이다.

자율이동로봇이 임의의 시간 $t-1$ 에서의 위치와 방향을 알면, 자율이동로봇은 시간 t 에서 자율이동로봇의 이동거리의 변화량과 방향각의 변화량이 ΔM_i , $\Delta\theta$ 로 주어졌을 때, 바닥과 바퀴사이의 두 접점 사이의 거리로

측정되는 자율이동로봇의 상대방위 θ_i 는

$$\theta_i = (\theta_{i-1} + \Delta\theta_i) \quad (4)$$

중심점의 상대좌표는

$$\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta M_i \cos \theta_i \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta M_i \sin \theta_i \end{aligned} \quad (5)$$

로 구할 수 있다. 여기서, x_i, y_i 는 임의의 시간 t에서의 자율이동로봇의 중심점의 상대위치를 나타낸다.

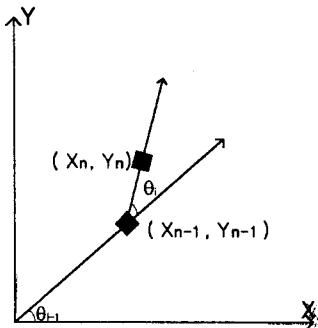


그림 2. 이동로봇의 절대 좌표계
Fig 2. Absolute Coordinate of Mobile Robot.

2.3 CCD카메라의 Prefilter 설계

CCD카메라에 의한 입력영상의 잡음을 제거하기 위해 SVD기법을 사용한다(4). U, D, V 행렬로 표현되는 계수가 r인 $m \times n$ 행렬 A 가 있다고 하자.

$$A_{ij} = U_{ij} D_{ij} V_{ij}^T \quad (6)$$

직각행렬 U, V 는 각각 $m \times n, n \times n$ 의 크기를 갖고, 행렬 D 는 $m \times n$ 행렬로 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$D = [\bar{d}_1 \bar{d}_2 \cdots \bar{d}_i \cdots \bar{d}_n] \quad (7)$$

여기서, \bar{d}_i 는 행렬 A 의 i번째 특이치의 역이다. 그러면, 행렬 A 는 대응하는 벡터 \bar{u}_i, \bar{u}_i^T 와 행렬 A 의 특이치의 선형조합으로 표현될 수 있으므로 다음 (8)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} A &= \bar{u}_1 \bar{d}_1 \bar{v}_1^T + \cdots + \bar{u}_i \bar{d}_i \bar{v}_i^T + \cdots + \bar{u}_n \bar{d}_n \bar{v}_n^T \\ A &= \sigma_1 \bar{d}_1 \bar{v}_1 + \cdots + \sigma_i \bar{d}_i \bar{v}_i + \cdots + \sigma_n \bar{d}_n \bar{v}_n \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)로부터 행렬 A 의 근사값을 얻어낼 수 있다.

2.4 Kalman filter 설계

거리에 따른 이동물체의 크기 비를 알고 있다고 가정하면, 바닥면에서 CCD카메라의 높이를 알고 있으므로 로봇과 이동물체의 거리와 영상에서 이동물체의 좌표를 구할 수 있다. 또한 이전 샘플링 시간에서의 데이터 값으로 이동물체의 속도를 다음과 같이 구할 수 있다.

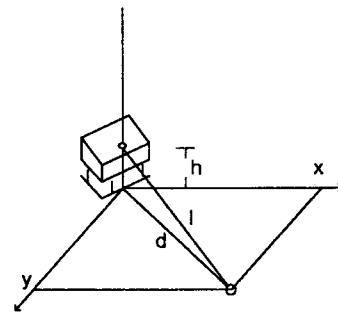


그림 3. 이동로봇의 영상좌표계
Fig 3. Image coordinate of Mobile Robot.

$$V_x = \frac{\|x_n - x_{n-1}\|}{\Delta t}, \quad V_y = \frac{\|y_n - y_{n-1}\|}{\Delta t} \quad (9)$$

상태벡터, $X_k = [x \dot{x} y \dot{y} \theta]^T$ 로 하면, 이동물체의 움직임을 추정하기 위한 시스템 모델식은 다음과 같다.

$$X_k^- = \Phi_{k-1} X_{k-1}^+ + W_k \quad (10)$$

단, X_{k-1}^+ 은 시간 t_{k-1} 에서의 상태벡터이고, Φ_{k-1} 는 상태 천이행렬, W_k 는 공정잡음이다.

상태천이 행렬 Φ_{k-1} 는 다음과 같다.

$$\Phi_{k-1} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

상태오차 공분산 행렬의 전파방정식은 다음과 같다.

$$P_k^- = \Phi_{k-1} P_{k-1}^+ \Phi_{k-1}^T + Q_{k-1} \quad (12)$$

단, Q_{k-1} 는 공정잡음 공분산 행렬이다.

칼만 이득행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (13)$$

단, R_k 는 측정잡음 공분산 행렬이다.

측정방정식은 다음과 같다.

$$Z_k = H_k X_k + V_k \quad (14)$$

단, Z_k 는 측정값, $H_k = I_{5 \times 5}$ 인 관측행렬이고, V_k 는 측정잡음으로 평균이 0인 백색잡음이다.

측정값이 주어졌을 때, 상태와 상태오차 공분산 행렬의 개선방정식은 다음과 같다.

$$X_k^+ = X_k^- + K_k (Z_k - \hat{Z}_k) \quad (15)$$

$$P_k^- = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (16)$$

단, $\hat{Z}_k = H_k X_k^-$ 이다.

2.5 서보제어기 설계

자율이동로봇의 서보제어기는 모터의 특성 등 차율이동로봇의 상태를 고려해 이득값을 튜닝한 PID제어기를 사용한다.

3. 모의 실험

설계된 이동물체 추적 시스템을 평가하기 위하여 임의의 이동물체의 궤적을 설정하여 모의실험을 수행하였다.

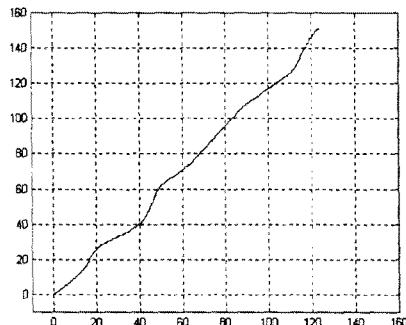


그림 4. 이동물체의 참궤적

Figure 4. The true trajectory of a moving object

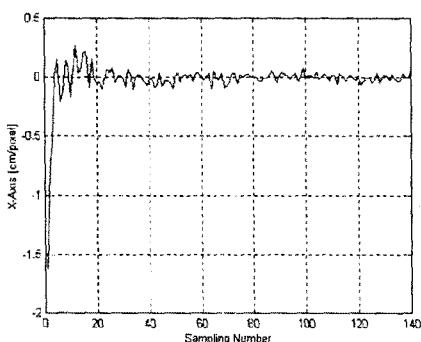


그림 5. X축에 대한 궤적 추정오차

Figure 5. Estimated trajectory error on X axis

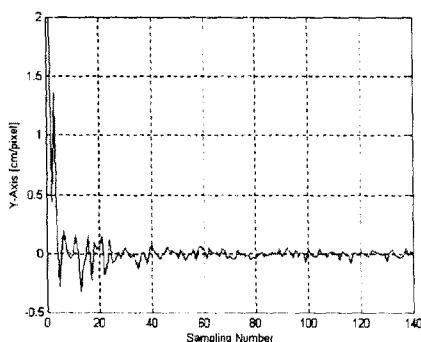


그림 6. Y축에 대한 궤적 추정오차

Figure 6. Estimated trajectory error on Y axis

그림 4는 임의로 생성된 이동물체의 경로이다. 그림 5, 6는 CCD로부터의 영상정보를 이용하여 이동물체의 경로를 칼만필터로 추정한 오차를 절대좌표계의 각 축에 대하여 나타낸 것이다. 시간이 지남에 따라 이동물체의 경로를 정밀하게 추정하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 특이치 분해 기법을 이용하여 CCD카메라의 측정잡음을 줄이고, 영상정보로부터 자율이동로봇의 정밀한 궤적 추적을 위한 자율이동로봇의 궤적 모델링과 칼만 필터를 설계하였다. 모의실험을 통하여 설계된 이동물체의 궤적 추적 시스템의 타당성을 확인하였다. 앞으로 실제 실험을 통한 궤적 추적 시스템의 성능을 확인해보고, 보다 안정된 알고리즘 개발이 과제로 남아있다.

[참고문헌]

- [1] 박영수, 윤지섭, 임태준, 이재설, "원격조작 로보트를 위한 카메라 추종시스템 개발," 한국자동차제어학술회의논문집, Vol.1, pp.825-830, 1990
- [2] Akihisa Ohya, Akio Kosaka, and Avinash Kak, "Vision-Based Navigation by a Mobile Robot with Obstacle Avoidance Using Single-Camera Vision and Ultrasonic Sensing," IEEE Transactions on Robotics & Automation, Vol.14 N.6, pp.969-978, 1998
- [3] Han-MH, Rhee-SY, "Navigation Control for a Mobile Robot," Journal of Robotic Systems 11(3), pp.169-179, 1994
- [4] 김태식, 이주신, "이동 물체 추적을 위한 경계선 추출," 전자공학회 논문지, Vol.35-T, pp.28-34, 1998
- [5] 엄성용, 류두현, 정원섭, 이주신, "차영상에 의한 이동물체 검출 및 자동추적," 전기전자공학 학술대회 논문집, pp.1387-1389, 1987
- [6] 차인혁, 손영갑, 한창수, "움직이는 물체의 안정한 파지를 위한 시각추적 알고리즘 개발," 제어 자동화 시스템공학회지, Vol.4, No.2, pp.187-193, April, 1998.
- [7] 조기홍, 최병준, 전재현, 홍석교, "비전 시스템을 이용한 이동물체의 그립핑," 대한전기학회 하계학술대회, pp.2357-2359, 1998
- [8] 양승윤, 이종현, 이만형, "이동중인 표적에 대한 영상추적기법의 개발," 한국 자동제어 학술대회 논문집, pp.183-186, 1988
- [9] 임양남, 방두열, 이성철, "칼만필터를 이용한 이동 목표물의 실시간 시각추적의 구현," 한국정밀공학회춘계학술대회논문집, pp.254-258, 1996
- [10] Christopher Jason Osgood, Tammie Huff, "The Singular Value Decomposition and It's Applications in Image Processing," 1997
- [11] Robert G. Brown, Patrick Y.C. Hwang, *Introduction to random signals and applied kalman filtering*, ADDISON WIELEY.
- [12] Johann Borenstein, H.R. Everett, Liqiang Feng, *Navigating Mobile Robots*, pp.9-19, A.K.Peters, Wellesley, Massachusetts.