

마커 인식을 이용한 깊이 영상 기반 군집로봇 대형제어

최승엽, 탁명환, 주영훈
 군산대학교 제어로봇공학과*

Depth image Based Formation Control for Swarm Robots Using Marker Recognition

Seung Yub Choi, Myung Hwan Tak, Young Hoon Joo
 Kunsan National University*

Abstract - 본 논문에서는 마커 인식을 이용한 깊이 영상 기반 군집로봇 대형제어 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저, follower 로봇들의 입력 영상에서 마커 인식 알고리즘을 이용하여 마커를 인식 한 뒤 인식된 마커를 분석하여 등록된 ID를 찾는다. 검출된 마커의 ID가 leader로봇의 ID일 경우 해당 마커의 위치와 기울기 값을 깊이 영상 센서로부터 들어오는 깊이 정보를 통해 계산 한 뒤 마커의 위치와 기울기를 이용하여 대형제어를 한다. 마지막으로 제안한 알고리즘을 실제 로봇을 이용한 대형 제어실험을 통해 응용 가능성을 증명한다.

1. 서 론

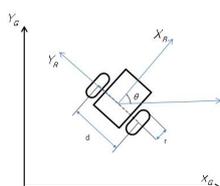
최근 지능형 로봇산업이 급격한 성장을 이루는 중이다. 특히 단일 로봇들이 군집을 이루어 협업을 통해 주어진 임무를 단일 로봇보다 높은 성공률과 높은 효율성으로 수행하는 군집로봇의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 군집로봇을 유기적인 협력과 미션수행의 성공률을 높이며 로봇의 손실을 예방하기 위해 로봇들이 일정한 거리와 각도를 유지한 채 대형을 유지하는 대형 제어 기술이 필요하다. 대형 제어 기술은 행위 기반 방법과 가상 구조 접근 방법 leader-follower 기반 방법 등이 있다. 행위 기반 방법은 로봇들이 주어진 상황을 분석하여 그에 알맞게 충돌 회피나 로봇 행동에 대해 가중치를 주어 대형 내의 로봇들을 제어한다 [1]. 하지만 이 방법은 시스템의 안정성과 신뢰도가 매우 부족하다. 가상 구조 접근 방법은 처음에 로봇의 대형을 지정해두고 지정해둔 대형을 가상의 로봇으로 가정하여 미션을 수행하는 방법이다[2]. 하지만 이 방법은 유기적인 미션수행 또는 분산제어가 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 leader-follower 기반 방법을 이용하여 대형제어를 한다[3]. 기존의 leader-follower 기반 대형 제어방법은 서로 위치를 공유해야 하므로 네트워크가 중요하다[3]. 하지만 각 로봇들 간의 네트워크가 끊어지면 대형유지가 어렵다. 또한 각 위치 데이터를 이용한 대형 제어는 대형에 속한 모든 멤버의 위치 측정에 오차가 발생할 경우 해당 오차만큼 대형에서 이탈하므로 모든 멤버의 위치측정이 정확해야한다. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 영상 센서를 이용하는 방법이 연구 되고 있다[4-7]. 하지만 영상센서는 로봇을 인식하여도 해당 로봇까지의 거리를 알기 힘들다. 그러므로 본 논문에서는 깊이 영상 센서를 이용한 로봇 ID 인식 및 위치를 파악 한다.

본 논문에서는 상기 문제점을 해결하고자 마커 인식 알고리즘을 이용한 깊이 영상 기반 군집 로봇의 대형제어를 제안한다. 제안하는 방법으로는 먼저 follower로봇이 마커인식 알고리즘을 이용하여 영상센서에 입력된 이미지를 분석하여 마커를 인식한다. 인식한 마커가 리더로봇의 마커일 경우 해당 마커의 좌표와 회전한 각도를 영상의 깊이 정보를 이용해 찾은 뒤 마커의 좌표, 회전 각도를 이용하여 대형 제어를 한다. 마지막으로 실제 환경에서 실험을 하여 그 응용 가능성을 증명한다.

2. 본 론

2.1 이동로봇의 모델링

본 논문에서 사용된 로봇은 두 개의 구동바퀴가 독립적으로 구동하는 차륜 구동형 로봇이며 기구학적 모델은 다음과 같다.



〈그림 1〉 로봇의 기구학적 모델

위 그림 1에서 (X_G, Y_G) 는 전역 좌표계 (X_R, Y_R, θ) 는 로봇의 좌표계이며, d 는 로봇 바퀴사이의 거리 r 은 바퀴의 반지름이다. 본 로봇의 선 속도 v 와 회전 각속도 ω 는 다음 수식으로 구할 수 있다.

$$v = \frac{r(\Delta\Phi_R + \Delta\Phi_L)}{2} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{r(\Delta\Phi_R - \Delta\Phi_L)}{d}$$

여기서 $\Delta\Phi_R, \Delta\Phi_L$ 는 우측, 좌측 바퀴 엔코더의 회전 값이다. 선 속도와 회전 각속도를 이용하여 로봇의 위치와 진행방향을 나타내면 다음과 같다.

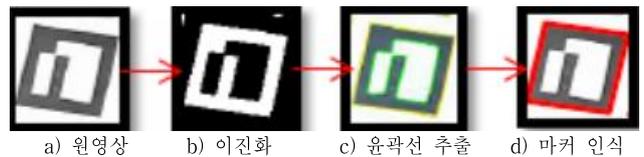
$$\Delta x = \frac{v}{\omega}(\sin\theta_{t+1} - \sin\theta_t) \quad (2)$$

$$\Delta y = \frac{v}{\omega}(\cos\theta_{t+1} - \cos\theta_t)$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \omega_k \Delta t$$

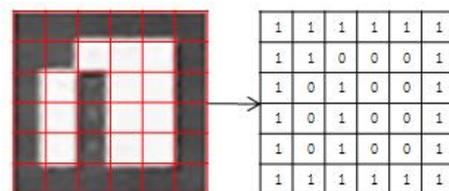
2.2 마커 인식을 통한 leader로봇 인식

본 논문에서는 로봇의 ID를 인식하기 위해 마커 인식을 사용한다. 마커 인식은 인위적인 마커를 물체에 붙임으로 컴퓨터가 물건의 정보를 쉽게 읽을 수 있도록 하는 알고리즘이다[7]. 사용한 마커 인식은 먼저 카메라에 들어오는 영상 이미지를 이진화 한 뒤 테두리를 찾고 테두리를 직선에 가장도록 충분히 근사화를 한다. 다음과 같은 과정을 통해 찾은 윤곽선 중 꼭지점이 4개인 도형을 선별하여 4개의 꼭지점에서 나온 두 대각선이 윤곽선의 중심에서 교차할 경우 마커 후보군으로 저장한다.



〈그림 2〉 마커인식 알고리즘

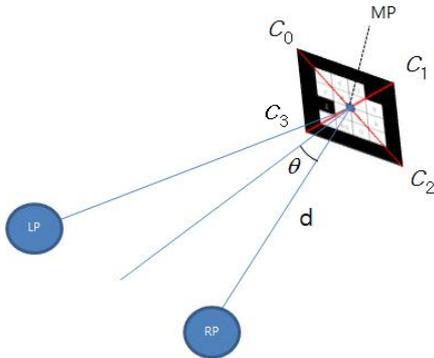
후보군들을 그림 3과 같이 6x6격자 모양으로 나누고 각각 격자안의 검은색 픽셀수를 세어 격자의 전체 픽셀수의 반 이상이면 1 그 이하면 0을 6x6행렬에 저장한다. 그 다음, 미리 등록해놓은 6x6행렬과 비교하여 등록된 값을 가질 경우 등록된 마커를 찾았다고 판단하고 찾은 마커의 윤곽선의 4개의 꼭지점의 3차원 좌표를 깊이 영상으로부터 가져온다. 그리고 꼭지점들의 3차원 좌표를 이용하여 교차하도록 두 개의 벡터를 만든 뒤 두 벡터의 외적을 통해 노멀벡터를 구하고 해당 노멀벡터의 z성분을 제외하고 x, y성분을 통하여 마커의 기울어진 각도 θ_m 를 계산한다.



〈그림 3〉 마커 ID인식

2.3 마커인식을 이용한 깊이 이미지 기반 군집로봇의 대형 제어

대형 제어는 다수의 로봇을 효율적으로 관리하기 위해 사용하는 기술이다. 기존의 대형 제어는 네트워크를 통해 서로의 위치를 공유하고 공유한 데이터를 이용하여 대형제어를 한다. 하지만 이러한 방법은 네트워크 시스템이 사전에 구축되어 있어야 하며 네트워크가 끊길시 작업수행을 더 이상 진행하기 힘들고 대형내의 모든 멤버가 자신의 위치를 정확하게 탐지하지 않으면 해당 오차만큼 대형에서 벗어나게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 마커 인식을 이용한 군집로봇의 leader-follower기반 대형 제어를 제안한다. leader-follower 대형 제어는 leader로봇을 기준으로 follower로봇들의 대형 위치를 계산하는 방법이다. 군집 이동 로봇의 대형제어를 위해 그림 2와 같이 leader로봇에 부착된 마커의 중심점을 구한 뒤 해당 중심점을 기준으로 대형제어를 한다.



<그림 4> 탐지된 마커를 이용한 대형 제어

위 그림에서 C_0, C_1, C_2, C_3 는 탐지된 마커의 4개의 꼭지점이고 d 는 leader로봇과 follow로봇의 거리이며, θ_F 는 leader로봇의 후방부에 부착된 마커 이미지 평면 중심점에 내린 수선의 발과 대형에서 follow로봇 위치의 각도이다. 또한, MP는 4개의 꼭지점 C_0, C_1, C_2, C_3 을 이용하여 선분을 교차 하도록 만들어 교차되는 지점인 중심점이다. follow로봇들이 스스로 대형에서 leader로봇의 마커 중심점 MP의 위치와 회전 각도 θ_m 를 기준으로 전역 좌표에서 자신의 목표위치를 갱신하며 그 식은 다음과 같다.

$$RP = \begin{pmatrix} d_{mx} + x_F \\ d_{my} + y_F \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \theta_m & -\sin \theta_m \\ \sin \theta_m & \cos \theta_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -d \sin \theta_F \\ -d \cos \theta_F \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$LP = \begin{pmatrix} d_{mx} + x_F \\ d_{my} + y_F \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \theta_m & -\sin \theta_m \\ \sin \theta_m & \cos \theta_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -d \sin \theta_F \\ d \cos \theta_F \end{pmatrix}$$

여기서 RP, LP 는 각각 대형에서 follow로봇의 우측 포지션과 좌측 포지션의 좌표를 뜻하며 d_{mx}, d_{my} 는 마커를 인식한 로봇과 마커의 중심점의 x, y 거리이다. 또한 x_F, y_F 은 follow로봇이 좌, 우 바퀴 이동량을 통해 추측한 자신의 위치이다.

3. 실험 및 결과고찰

본 논문에서 제안한 방법을 검증하기 위해 두 개의 차동바퀴와 한 개의 지지용 바퀴를 가진 차륜로봇과 Microsoft Kinect 깊이 영상센서가 장착된 세 대의 로봇에 leader 로봇이 될 한 대의 로봇에는 후면에 마커를 부착된 로봇을 사용하여 마커인식을 이용한 군집로봇 대형 제어 실험을 진행하였다.

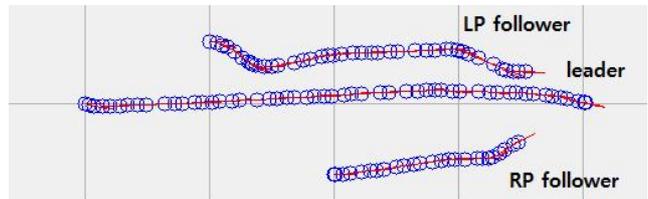


<그림 5> leader-follower 대형제어 실험에 이용된 3대의 실험 로봇

<표 1> 실험 로봇의 주요 파라미터

바퀴 사이즈(r)	0.5m
최대 속도	0.65m/s
바퀴간 거리(d)	0.27m

먼저, leader로봇의 초기 위치는 (1,1)이며 (5,1)까지 0.3m/s의 속력으로 직선주행을 입력하였고 LP follower는 (2, 1.5)에 RP follower는 (3, 0.5)에서 대기 하였다. follow로봇들은 마커를 찾지전 까지 대기상태를 유지하며 마커를 화각에서 발견 할 경우 마커의 4개의 꼭지점으로 교차된 백터를 만들어 교차된 지점을 중심점으로 설정하여 탐지한 follow로봇과의 거리를 깊이 영상으로부터 불러오고 교차된 백터를 외적하여 구해진 노멀 백터의 x,y성분을 분석하여 기울어진 각도를 계산한다. 마커와의 거리와 기울어진 각도를 기준으로 대형을 만들기 위한 LP, RP 목표 위치를 계산 후 해당 위치로 0.5m/s의 속력을 유지하며 이동하였다. 이때, 대형은 LP와 RP는 leader로봇과 각각 45°각도를 유지하며 0.5m만큼 간격을 유지했으며 실험 결과는 그림 6과 같다.



<그림 6> 마커인식을 통한 대형 제어 실험 결과

4. 결 론

본 논문에서는 마커 인식을 이용한 깊이 영상 기반 군집로봇 대형 제어 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 먼저, follower 로봇들의 입력 영상에서 마커 인식 알고리즘을 이용하여 마커를 인식 한 뒤 인식된 마커를 분석하여 등록된 ID를 찾는다. 검출된 마커의 ID가 leader로봇의 ID일 경우 해당 마커의 위치와 기울기 값을 깊이 영상 통해 계산 한 뒤 마커의 위치와 기울기를 이용하여 대형제어를 하였다. 마지막으로 제안한 알고리즘을 실제 로봇을 이용한 대형 제어실험을 통해 응용 가능성을 증명했다.

감사의 글: 본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(과제번호: NRF-2015R1A2A2A05001610)과 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)(No. 20144030200590)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Z. Wan, E. Nakano, and T. Takahashi, "Solving Function Distribution and Behavior Design Problem for Cooperative Object Handling by Multiple Mobile Robots," IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, vol. 33, No. 5, pp. 537-549, Sep. 2003.
- [2] M. Anthony Lewis and Kar-Han Tan, "High Precision Formation Control of Mobile Robots Using Virtual Structure," Autonomous Robots, Vol. 4, No. 4, pp. 387-403, Oct. 1997.
- [3] H. Takahashi, H. Nishi, and K. Ohnishi, "Autonomous Decentralized Control for Formation of Multiple Mobile Robots Considering Ability of Robot," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 51, No. 6, pp. 1272-1279, Dec. 2004.
- [4] H. J. Min, A. Drenner, and N. Papanikolopoulos, "Vision-based Leader-follower Formations with Limited Information," in Int. Conf. on Robotics and Automation, 2009.
- [5] N. Cowan, O. Shakernia, R. Vidal, and S. Sastry, "Vision-based Follow-the-leader," in IEEE/RSJ IROS, 2003, pp. 27-31.
- [6] O. A. Orqueda and R. Fierro, "Robust Vision-based Nonlinear Formation Control," in American Control Conference, 2006, pp. 6-11.
- [7] O. A. Orqueda and R. Fierro, "Visual Tracking of Mobile Robots in Formation" in American Control Conference, 2007, pp. 5940-5945.