

소형 모바일 로봇의 다 개체 제어 테스트 플랫폼 구축과 일치제어 알고리즘의 구현

류건희, 박부영, 오세현, 장성훈, 백주춘
광운대학교 로봇학부

Testbed for consensus control of multi agent mobile robots

Kunhee Ryu, Buyoung Park, Sehyun Oh, Sunghoon Jang, Juhoon Back
School of Robotics, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문에서는 소형 모바일 로봇의 다개체 제어를 위한 테스트 플랫폼 구축 방법을 소개하고, 제안된 테스트 플랫폼에서 일치제어 알고리즘을 이용한 대형 안정화 및 소형 모바일 로봇들의 군집 이동을 모의 실험하여 그 효용성을 알아본다.

1. 서 론

최근 다개체 시스템의 일치 제어 알고리즘이 수중로봇의 대형제어 알고리즘, 안내용 서비스로봇이나 협업로봇의 상호간의 대형유지, 개방형 구조의 통합 네트워킹 등과 같은 여러 가지 응용 예로 인해 학계에서 주목을 받고 있다.

본 논문에서는 다양한 다개체 제어 알고리즘을 소형 모바일 로봇과 카메라를 통하여 구현할 수 있는 테스트 플랫폼을 구축하는 방법에 대해 소개하고, 논문[1]에서 제안된 제어 알고리즘을 구현하여 그 효용성을 알아본다.

2. 본 론

본문에서는 이동로봇 대형 제어를 위하여 설계된 제어기와 테스트 플랫폼 구축 과정 및 이동로봇의 상세정보에 대해 설명하고 이를 통한 모의실험 및 그 결과를 소개한다.

2.1 제어 알고리즘

본 논문에서는 참고문헌 [1]에서 제안된 제어기를 사용한다. 다음과 같은 N개의 이동 로봇을 고려해 보자.

$$\begin{aligned} \dot{x}^i &= v^i \cos \theta^i \\ \dot{y}^i &= v^i \sin \theta^i \\ \dot{\theta}^i &= \omega^i \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 i 는 각 이동 로봇의 식별 번호를 뜻한다.

이러한 N개의 이동 로봇들의 대형 제어를 위하여 다음과 같은 제어기를 고려한다.

$$\begin{aligned} \dot{\xi}^i &= f(\xi^i, x^i, y^i, z^i) \\ \dot{u}^i &= h(\xi^i, x^i, y^i, z^i) \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ξ^i 는 제어기의 상태 변수를, z^i 는 이웃한 개체들로부터 통신을 통해 받은 정보들로 만들어지는 신호이다. 이동 로봇에 일치제어 알고리즘을 적용하기 위하여, 다음과 같은 동역학 확장(dynamic extension)[2]을 수행한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}^i &= v^i \cos \theta^i \\ \dot{y}^i &= v^i \sin \theta^i \\ \dot{v}^i &= u_1^i \\ \dot{\theta}^i &= u_2^i \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 u_1^i 과 $u_2^i := u^i$ 는 제어 입력이다.

위의 결과를 토대로 이동로봇들의 대형 안정화를 위해 다음과 같은 제어기를 사용한다.

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= (A + KC - BB^T P(\epsilon))\xi - K \sum_{j \in \mathcal{E}_i} \gamma_{ij} \left(\begin{bmatrix} x^i \\ y^i \end{bmatrix} - d_{ij} \right) - \left(\begin{bmatrix} x^j \\ y^j \end{bmatrix} - d_j \right) \\ \dot{u}^i &= \frac{1}{v^i} \begin{bmatrix} v^i \cos \theta^i & v^i \sin \theta^i \\ \cos \theta^i & \sin \theta^i \end{bmatrix} B^T P(\epsilon) \xi \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $d_{ij} = d_i - d_j$ 는 각 이동로봇들 간의 상대적인 간격을 설정하는

상수 벡터이다. 또한 행렬 K 는 $A + KC$ 가 허위즈(Hurwitz)가 되도록 설계하며, $P(\epsilon) = P^T(\epsilon) > 0$ 는

$$A^T P + PA - \min_{i \neq j} \text{Re}(\lambda_i(L)) P B B^T P + \epsilon I = 0$$

의 유일한 해이다.

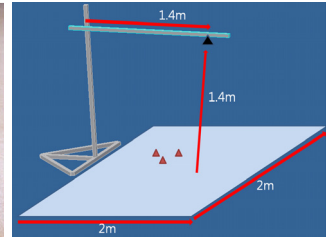
2.2 테스트 플랫폼 구축

이동 로봇 대형제어의 구현을 위해 테스트 플랫폼을 구축하는데 있어서, 좌표계 설정 및 위치정보획득(localization)방법은 카메라를 이용한다. 각각의 이동로봇들의 상단에 ARToolKit[3]용 마커를 부착하여, 위치와 각도를 획득한다. 카메라의 수직 위치는 카메라 화각을 고려하여 지면으로부터 1.4m의 높이에 설치하였다.

이동로봇은 Robomation사의 햄스터(Hamster)로봇을 사용하였다.



<그림 1> 세 대의 이동 로봇



<그림 2> 측위 시스템

<그림 1>에서 각각의 로봇들은 Zigbee모듈을 사용해 PC에서 양 바퀴의 속도 지령을 받아 이동한다. 이동 로봇은 폭과 길이가 각각 35mm이고, 바퀴의 반경은 10mm이며 내부 배터리로 동작한다.

<그림 2>에 보여진 바와 같이 카메라 지지대는 30mm 알루미늄 프로파일을 사용하였고 1.4m 높이에서 영상을 획득한다. 카메라는 Microsoft사의 웹캠 HD-5000을 사용하였으며, 모니터링 프로그램은 1280*720의 해상도로 영상을 입력받아 마커의 형태와 위치 및 각도 정보를 획득한다.

2.2.1 마커 선정

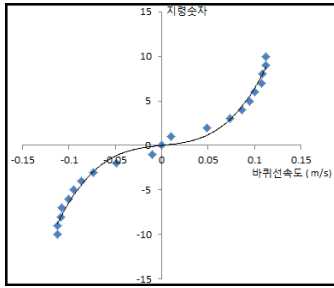
이동 로봇의 좌표 인식에 사용 될 마커의 집합은 알파벳으로 선정하였으며, 인식 노이즈 최소화 및 각도 인식을 위해 알파벳 대, 소문자를 섞어 상하 좌우 구분이 명확하도록 하였다.



<그림 3> 이동 로봇에 사용된 마커

2.2.2 이동 로봇의 속도 데이터 측정

이동로봇에 내릴 수 있는 명령은 좌, 우 구동 바퀴 각각 0~10의 정수 속도지령이며, 이를 우리 시스템에 맞게 이동로봇의 선속도 및 각속도에 해당하는 값으로 환산하는 테스트를 수행했다. 테스트는 양쪽 바퀴에 같은 정수 속도지령을 내리고, 정해진 거리를 이동하는 시간을 측정하여 이동로봇의 선속도를 추정하고 테이블을 작성하였다. 아래의 그래프는 테스트를 수행하여 얻어진 결과를 3차식으로 근사화한 그래프이다.



〈그림 4〉 이동로봇 속도 데이터의 3차식 근사화 그래프

〈그림 4〉에서 표현된 그래프의 함수식은 다음과 같다.

$$\psi(v) = a_1 v^3 + a_2 v^2 + a_3 v \quad (5)$$

$$a_1 = 5313.6, a_2 = 2 \times 10^{-12}, a_3 = 10.787$$

제어기(4)의 제어입력 $u_i := [\dot{v} \ \dot{\theta}]^T$ 에서 얻은 v, w 를 이용하여 양쪽 바퀴 각각에 해당하는 v_L, v_R 를 구해내고,

$$\begin{aligned} v_R &= v + R_h * w \\ v_L &= v - R_h * w \end{aligned}$$

식(5)를 사용하여 각 바퀴에 해당하는 속도 지령값을 얻어낸다.

$$\begin{aligned} \text{right_motor} &= \psi(v_R) \\ \text{left_motor} &= \psi(v_L) \end{aligned}$$

위의 식에서 R_h 는 이동 로봇의 중심에서 바퀴까지의 거리이다.

2.2.3 카메라와 실제 좌표 대응

카메라의 픽셀(pixel) 좌표와 로봇의 활동 가능 영역에 대한 좌표를 대응시키기 위하여 실제 측정 좌표와 픽셀의 변화를 측정하는 실험을 수행했다.

카메라를 통하여 받은 이미지를 렌즈반경왜곡(Radial distortion)에 대하여 보정(calibration)을 수행한 뒤[4] 이미지상의 공간을 임의로 9구역으로 나누었다. 이후, 각각의 구역에서 마커를 일정거리 이동한 뒤 픽셀좌표의 변화량을 측정하여 평균값을 취했다.

위에서 설명한 실험을 통하여 $1\text{cm}/\text{pixel} \approx 7.15$ 의 결과를 얻었고 따라서,

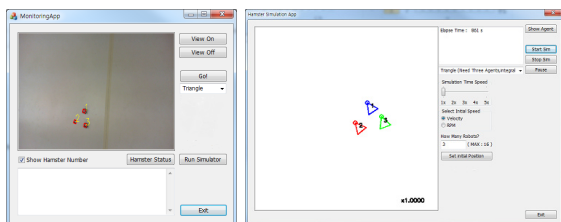
$$\begin{aligned} 1\text{m} &\approx 715\text{pixel} \\ 1\text{pixel} &\approx 1.3986 \times 10^{-3}\text{m} \end{aligned} \quad (8)$$

가 된다.

2.3 제어기의 구현 및 모니터링 프로그램과 시뮬레이션 프로그램 제작

대형제어를 위하여 로봇의 대형제어기를 Visual C++ MFC Dialog기반으로 작성하였다. 로봇위의 마커를 인식하여 획득한 위치 정보를 사용하여 각각의 로봇에 적절한 속도 및 각속도 명령을 내린다. 편의를 위해 각각의 이동 로봇 클래스를 제작하여 3대의 이동로봇의 변수를 독립적으로 관리하였다. 또한 제어기를 실제 햄스터 로봇에 적용시키기 전에, PC상에서 구현한 제어기의 파라미터들의 세팅을 위하여 이상적인 이동로봇과, 속도를 선형화한 이동로봇의 대형안정화 제어기를 테스트 해볼 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 작성했다.

모니터링 프로그램은 마커의 형태를 인식하여 각각의 이동 로봇 객체에 현재의 좌표를 지속적으로 저장하고, 이와 동시에 윈도우 상의 타이머를 사용하여 일정한 주기마다 각 이동로봇에 해당하는 제어기(4)가 정보의 흐름과 이웃한 개체의 위치를 기반으로 해당 로봇에 알맞은 제어입력 v, w 를 산출한 뒤, 해당하는 양쪽 바퀴 회전 속도 명령을 식(5)를 이용해 로봇에 전송한다.



〈그림 5〉 이동로봇 대형 제어 프로그램과 시뮬레이션 프로그램

위의 <그림 5>의 왼쪽에서 보여 지듯이, 각각의 이동로봇들의 좌표 및 각도, 해당ID가 잘 인식 되는 것을 볼 수 있다. 모니터링 프로그램의 영상 처리 속도는 12frame/sec 정도로 측정 되었다. 카메라에서 바라본 좌표의 원점은 이미지 좌하단부터 설정 하였고, 1280*720의 이미지 해상도

를 사용하였다. 이동 로봇들의 대형 제어를 위해 획득된 마커의 픽셀좌표는 실제 거리단위(meter)로 환산하기 위하여 식(8)을 이용했으며, 프로그램 상의 로봇 객체에 원점으로부터 떨어져 있는 거리값을 현재 좌표로 저장 하였다.

3.1 대형 안정화 모의실험 및 결과

시뮬레이션 프로그램과 제안된 테스트 플랫폼으로 실제 이동로봇의 대형을 제어하였다.

3.1.1 시뮬레이션

<그림 5>의 오른쪽은 대형 안정화 제어기의 특성파악과 파라미터 설정을 위해 수행한 모의실험의 결과이다. 이 모의 실험에서 라플라스인행렬[1]

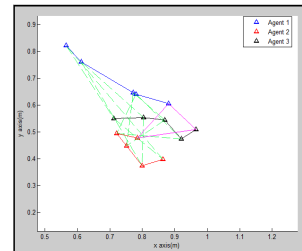
$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

로 묘사되는 네트워크 연결 관계를 고려하였으며, 각각의 이동 로봇들이 한 번의 길이가 60인 정삼각형 대형을 이루도록 하는 d 벡터를 선정 하였다.

결과에서 보여 지듯이, 세대의 모바일 로봇이 같은 속도와 각속도를 얻어 같은 방향으로 대형을 유지 하며 이동하게 되었다. 해상도 500*500 이미지 상에서 1픽셀은 1m를 나타내며 제어기(4)에서 행렬 K 는 $A + KC$ 의 고유치가 -1, -2, -2, -3이 되도록 설계 되었으며, $\epsilon = 0.001$ 로 선택 했다. 제어기의 주기는 50msec로 하였다. 또한 제어기의 초기치는 모두 1로 하였고, 나머지 이동 로봇의 모든 초기치는 임의로 선정 되었다.

3.1.2 이동로봇의 대형제어

제안된 테스트 플랫폼과 Hamster로봇을 사용하여 실제 로봇의 대형을 제어하였다.



〈그림 6〉 실제 로봇들의 이동궤적 및 편대 안정화

구현된 제어기 및 모니터링 프로그램을 통하여 실제 이동로봇들의 편대 안정화가 이루어지는 과정을 텍스트파일로 기록한 뒤 이미지화 하였다. 위의 편대안정화 실험에서 제어기(4)의 행렬 K 는 $A + KC$ 의 고유치가 [-0.7, -1.4, -1.4, -2.1]이 되도록 설계 되었으며, $\epsilon = 45$ 로 선택 했다. 제어주기는 200msec로 하였다. 또한 제어기의 초기치는 모두 0.1로 하였고, 나머지 이동 로봇의 모든 초기치는 임의로 선정 되었다. 또한, 과도한 속도 입력이 Hamster로봇에 가해지지 않도록 로봇 속도지령의 한계치를 두었다.

4. 결 론

본 논문에서는 소형 모바일 로봇의 다 개체 제어를 위한 테스트 플랫폼의 구축 방법과, 일치제어 알고리즘의 구현에 대한 내용을 다루었다. 또한 모의실험 및 실제실험으로 그 효율성과 안정성을 알아보았다.

추후 연구 주제로는 위의 실제 이동로봇들이 대형을 이룬 상태로 임의의 위치로 이동하는, "대형의 위치제어"를 목표로 진행 될 것이다.

5. 감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0025436).

[참 고 문 헌]

- [1] 김홍근, 심형보, 백주훈, "일치제어 알고리즘을 이용한 외발형 이동 로봇들의 대형 안정화", 대한전기학회, 2010년도 하계 학술대회 논문집
- [2] A. Isidori, Nonlinear control systems, Springer, 3rd edition, 1995
- [3] <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [4] <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/usercalibration.htm>