

선행물체 추종시 효과적인 충돌회피 방법

An Effective Obstacle Avoidance Control Method While Tracking a Moving Object

우 상 용, 심 성 용, 안 현 식, 오 하 령, 성 영 락, 김 도 현
(Sang Yong Woo, Sung Yong Sim, Hyun-Sik Ahn, Ha Ryoung Oh,
Yeong Rak Seong and Do-Hyun Kim)

국민대학교 전자공학과(전화:(02)910-4700, 팩스:(02)910-4449, E-mail : blackeg1@kookmin.ac.kr)

Abstract : 본 논문은 이동로봇의 다양한 작업들 중에 선행하는 물체를 안정하게 추종하는 동작중 예기치 못한 움직이는 장애물의 효과적인 회피 방법을 고려한다. 센서 기반의 이동로봇에서는 이동물체 추종과 충돌회피를 센서 정보에 의존해서 해결해야 하는데 동일한 센서 정보로 추종물체와 충돌물체를 구분하는 것이 쉽지 않은 문제이다. 또한 명확히 규정되지 않은 환경에서 적용하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이와 같이 명확히 규정되지 않은 환경에서 선행물체의 안전한 추종과 추종 중에 마주치는 이동 장애물에 대한 충돌회피를 위하여 이동로봇의 상태 판단에 따라 구분된 행동 선택 모드를 제안하고 실험적으로 확인한다.

Keywords : Obstacle Avoidance, Tracking, Moving Object, Mobile Robot.

I. 서론

지난 10여년간 이동로봇의 제어에 관한 많은 성공적인 연구와 논문들이 있는데, 이동로봇에 관한 대부분의 연구내용은 자세 안정화(Posture stabilization), SLAM(Simultaneous Localization And Mapping), 행동계획(Motion planning), 충돌회피(Obstacle avoidance), 경로계획(Path planning), 점 추종(Point tracking)등의 문제를 개별적으로 접근하였다. 실생활에 적용되는 이동로봇의 기능중 이동물체 추종분야에서는 위치추정 과 지도작성(Localization and mapping) 문제와 이동물체의 추종 및 검출(Detection and tracking of moving object), 그리고 이동장애물의 회피(Moving obstacle avoidance) 문제가 중요한 초점이 된다.

로봇의 이동 장애물 회피 문제는 로봇이 이동 장애물과 충돌하지 않도록 하면서, 주어진 시작점으로부터 추종하려는 목표물과 일정한 거리이내로 추종 하는 동작을 계획하는 문제이다. 이동 목표 추종문제에 있어서 이동 경로는 경로 추종제어(Trajectory tracking problem)와 유사한 문제를 다루게 된다.

경로추종제어란, 주어진 경로를 정해진 점(Point) 또는 자세(Posture)가 잘 따라가도록 하는 제어기를 설계하는 것으로, 기존의 피드백 제어기를 사용하여, 이미 많은 수의 안정한 제어기들이 제안되었다 [1-4].

본 논문에서는 센서기반의 이동로봇에서 적용할 수 있는 이동물체 추종과 이에 따른 이동장애물 회피의 문제를 다룬다. II장에서 이동로봇의 모델링 수식을

보이고 III장에서 이동물체 추종을 위한 방법을 제시한다. IV장에서는 효과적인 장애물회피 방법을 다루고 V장에서 실험적으로 이를 확인한다.

II. 이동로봇의 모델링

선행물체를 안정하게 추종하기 위해서는 이동로봇에 대한 기준경로와 실제경로의 오차가 영으로 수렴하는 제어기의 설계가 필요하다.

이동로봇의 모델링은 역학적 기반 보다 기구학적인 기반에서 간단히 모델링 될 수 있다. 기구학적인 제어기반에서 이동로봇에 진행 속도는 v , 각속도는 w 로 표현한다. 이동로봇의 위치는 직각좌표계의 (x, y, θ) 로 표현한다.

여기서 이동로봇의 바퀴가 미끄러짐이 없다고 가정하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다 [4].

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

여기서 로봇의 입력은 진행속도 v 와 각속도 w 이다. 이동로봇이 미끄러지지 않는 상황에서 비홀로노믹 제약조건(non-holonomic constraint)에 의해 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\dot{x}_e \sin \theta - \dot{y}_e \cos \theta = 0 \quad (2)$$

추종 가능한 기준자세(x_r, y_r, θ_r)와 기준속도(v_r, w_r)가 주어졌다고 가정하면, 이동로봇 시스템의 동특성은 다음식을 만족한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_r &= v_r \cdot \cos \theta_r \\ \dot{y}_r &= v_r \cdot \sin \theta_r \\ \dot{\theta}_r &= w_r \end{aligned} \quad (3)$$

기구학적 모델기반의 추종제어를 풀기 위해서 전역적 좌표변환이 필요하다 [4][5]. 기준 자세가(x_r, y_r, θ_r)와 같다고 가정하면 오차에 대한 동특성은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\theta}_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e & 0 \\ -\sin \theta_e & \cos \theta_e & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x}_r - \dot{x} \\ \dot{y}_r - \dot{y} \\ \dot{\theta}_r - \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad (4)$$

그림 1에 기준 자세에 대한 현재 자세의 오차(x_e, y_e, θ_e)를 나타내었다.

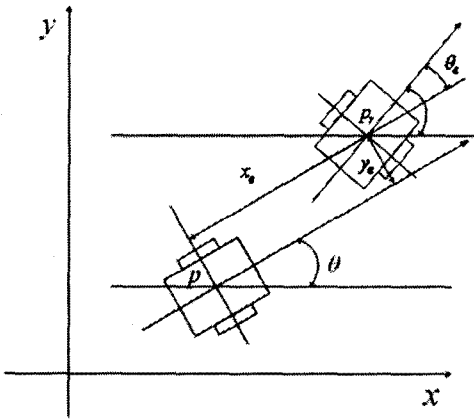


그림 1. 기준 자세와 현재 자세의 오차.
Fig. 1. Error between the reference posture and the current posture.

식 (3)으로부터 식 (4)와 $\dot{x}_e \sin \theta = \dot{y}_e \cos \theta$ 를 이용해 그림 1에 나타낸 시스템의 오차를 영으로 수렴하는 보조방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_e \\ \dot{y}_e \\ \dot{\theta}_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w y_e - v + v_r \cos \theta_e \\ -w x_e + v_r \sin \theta_e \\ w_r - w \end{pmatrix} \quad (5)$$

III. 이동물체 추종

초음파와 센서 기반의 이동로봇에서 이동물체 검출을 위한 센서의 배치를 그림 2에 나타내었다.

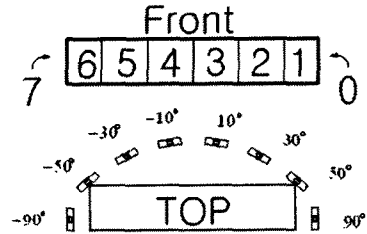


그림 2. 이동로봇의 센서 위치.
Fig. 2. Sensor position of a mobile robot.

이동로봇은 초음파와 센서로부터 물체의 인식과 그 물체와의 거리에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 정보로부터 이동로봇은 충돌회피, 위치추정, 그리고 이동경로 등을 결정할 수 있다.

센서의 위치는 그림 2에서 보이는 바와 같이 측면에 2개의 센서와 각각 20°의 간격을 둔 6개의 센서로 배치되어 있고, 360° 모든 방향에 대한 정보를 얻기 위해 전면과 동일한 배치의 센서 8개를 후면에 배치해 총 16개의 초음파 센서로 구성하였다.

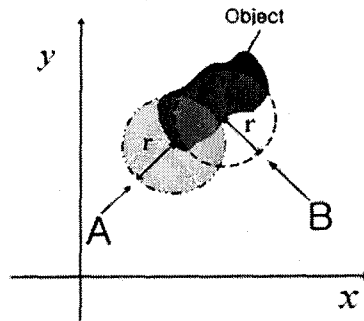


그림 3. 센서에 의한 추종물체 검출.
Fig. 3. Detection of an object by sensors.

그림 3에서 보이는 바와 같이 이동로봇은 센서로부터 추종 물체를 검출할 수 있고, 추종 물체를 검출한 센서로부터 기준 각도와 거리 정보를 얻을 수 있다. 추종물체의 정보는 그림 3의 A점, B점과 같이 하나의 추종 물체라 할지라도 관측하는 위치에 따라서 추종물체의 크기가 달리 인식될 수 있는데, 추종물체의 크기

가 달라진 것처럼 인식하여도 그 추종물체는 동일한 목표의 추종물체이다. 따라서 추종물체와 이동로봇과의 충돌방지를 위한 제한거리 만큼의 위치까지 추종이 되면 성공적인 추종이라 볼 수 있다. 본 논문에서 사용한 이동물체 추종 알고리즘에 대한 흐름도는 그림 4에 나타낸 바와 같다.

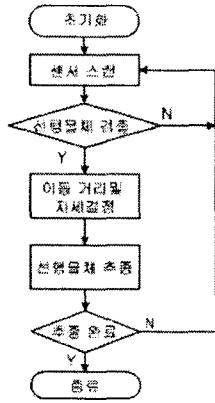


그림 4. 이동물체 추종 흐름도.
Fig. 4. Flow graph for moving object tracking.

IV. 충돌 회피

신행물체의 추종시 추종목적이 되는 물체와 장애물에 대한 정보는 동일한 센서로 받아들이기 때문에 이동로봇의 현재 상태를 판단하여 세 가지 모드로 나누어 동일한 센서의 신호에서 이동 장애물과 추종물체를 판별한다.

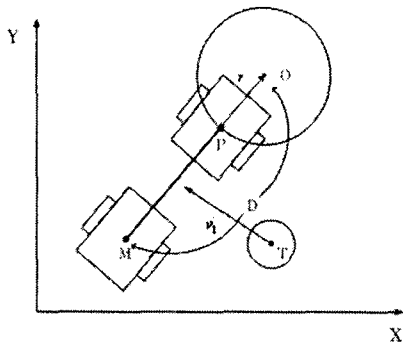


그림 5. 이동로봇과 이동 장애물.
Fig. 5. mobile robot and moving obstacle.

1) 기본모드 : 이동로봇의 초기화 이후 상태로 추종물체의 검출을 통하여 이동로봇의 추종방향 및 이동거리 등을 결정한다. 일반모드일 때 360° 전 방향에서 추종물체를 검출 할 수 있다.

2) 추종물체 추종모드 : 이동로봇의 진행방향과 추종물체의 진행방향이 $\pm 10^\circ$ 의 범위 안에서(센서 3번, 4번) 검출이 되고 있을 때, 이동로봇은 추종물체로 향한 안정한 추종동작을 하고 있다고 판단하여 추종물체 추종모드로 전환하여 이동로봇의 진행속도를 결정한다.

3) 장애물 회피 모드 : 이동로봇의 상태가 추종물체 추종모드일 때 3번, 4번 센서 이외에 물체가 검출되면 이동 장애물로 인식하여 회피 모드로 전환되어 장애물 회피 동작을 수행하게 된다. 따라서 그림 5에 나타낸 충돌회피 흐름도에 따라 이동로봇은 동일한 센서를 가지고 추종물체와 장애물을 구별 할 수 있고 또한 장애물과의 충돌을 회피 할 수 있다.

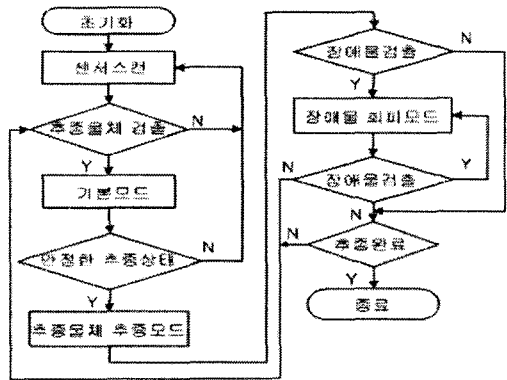


그림 5. 충돌회피 흐름도.
Fig. 5. Flow graph for obstacle avoidance.

V. 실험

본 절에서는 제안된 행동선택 모드 방법을 이용하여 이동물체의 안정한 추종을 확인하고, 이동시 마주치는 충돌물체에 대한 회피와 추종성능을 평가 하였다. 이동로봇의 모터제어 알고리즘은 PID제어를 사용하였다. 실험에 사용한 센서기반 이동로봇의 규격은 표 1과 같다.

표 1. 이동로봇의 규격
Table 1. Specifications of a mobile robot

PARAMETERS		
1	Encoder Resolution	100
2	Gear Ratio	85.5
3	Wheel Diameter (mm)	220
4	Encoder Ticks/mm	49
5	Ultrasonic Sensor	16

이동로봇의 엔코더 정보를 이용해 추종제적과 방향을 평가하였는데, 모터와 기어 박스 사이에 엔코더를 부착하여 비교적 높은 정밀도를 가질 수 있도록 하였다.

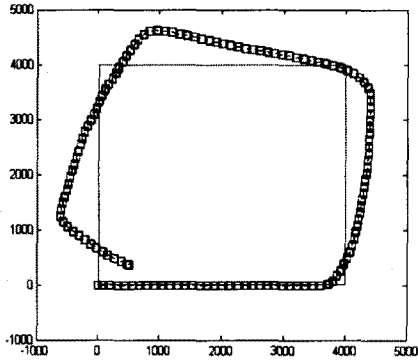


그림 6. 경로 추종.
Fig. 6. Path tracking.

그림 6의 실험은 $4m \times 4m$ 정사각형의 궤적을 이동하는 특정한 물체에 대한 추종을 나타내었다. 이동로봇의 추종경로는 엔코더의 출력결과를 기반으로 하였다. 노면의 상태가 미끄러운 곳에서는 이동로봇의 실제 추종 궤적과 이동로봇의 추종시 미끄러짐에 대한 각도 보상으로 인해 엔코더 정보에 의존한 이동로봇의 이동 궤적은 실제 추종궤적이 원활한 궤적을 추종했음에도 불구하고 큰 오차가 나고 있는 것으로 인식하게 된다.

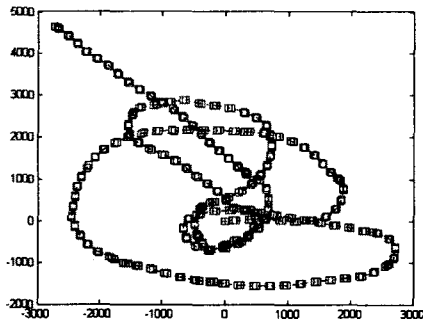


그림 7. 이동물체 추종.
Fig. 7. Moving object tracking.

그림 7에 복도보다 노면의 미끄러짐이 없는 우레탄 바닥에서 실시한 이동하는 선형물체에 대한 이동로봇의 추종 실험에서는 원활한 궤적 추종을 나타내는 것을 볼 수 있다.

VI. 결론

센서 기반의 이동로봇으로 이동 물체에 대한 안정한 추종과 충돌회피 동작을 보였다. 보다 안정한 추종과

충돌회피를 위해서는 초음파 센서보다 거리와 위치에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있는 센서가 필요하지만 저가형 센서기반 이동로봇이나 오락용 로봇 등에서 응용될 수 있다. 초음파 센서기반의 이동로봇에서는 추종물체와 같은 방향의 각도에서 서로 교차해서 이동하는 장애물에 대한 정확한 검출방법과 대처 방안이 추후 연구과제이다.

참고문헌

- [1] Chieh-Chih Wang, Chuck Thorpe, "Simultaneous localization and mapping with detection and tracking of moving object," *Proc ICRA'02*, vol.3, pp.2918-2924, 2002.
- [2] 이성운, 오상록, 조영조, 유영재 "목표 추적을 위한 이동로봇 제어기 설계," 2000년도 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp 23-28, vol.3, 2000.
- [3] 고낙용, 이범희 "충돌 회피 가능도를 이용한 로봇의 이동 장애물 회피," *ICASE 논문지 제3권, 제2호*, pp. 169-178, April, 1997
- [4] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 384-389, 1990.
- [5] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for a non-holonomic mobile robot," *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and System (IROS)*, pp.1236-1241, 1991.
- [6] J.P. Laumond, P.E. Jacobs, M. Taix and R.M. Murray, "A motion planner for nonholonomic mobile robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 10, no. 5, pp.577-593, 1994
- [7] Sungon Lee, Youngil Youm, Wankyun Chung, "Control of car-like mobile robots for posture stabilization," *Proc. IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, 1745-1750, 1999.
- [8] J. Leonard and H.F. Durrant-Whyte, "Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot," *IEEE/RSJ Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems*, vol.3, pp.1442-1447, 1991.
- [9] J. Guivant, E. Nebot and S. Baiker, "High accuracy navigation using laser range sensors in outdoor applications", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3817-22, 2000.
- [10] J.-S. Gutmann and C. Schlegel. "AMOS: Comparison of scan matching approaches for self-localization in indoor environments," in *Proc. of the 1st Euro micro Workshop on Advanced Mobile Robots*, IEEE Computer Society Press, 1996.