

방향각 및 거리 정보에 의한 이동 로봇의 실시간 목표물 추종 방법

A Method for Real Time Target Following of a Mobile Robot Using Heading and Distance Information

고낙용* · 서동진** · 문용선***

Nak Yong Ko*, Dong Jin Seo** and Yongseon Moon***

* 조선대학교 전자정보공과대학

** 레드원테크놀러지(주)

*** 순천대학교 정보통신공학부

요 약

본 논문은 이동 로봇이 움직이는 목표물을 실시간으로 따라가게 하는 방법을 제안한다. 로봇은 이동하는 목표물을 일정한 방향과 거리를 유지하면서 따라간다. 이 방법은 다음의 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 목표물의 위치를 로봇 좌표계 상에서 구해낸다. 두 번째 단계에서는 목표물을 따라가기 위한 로봇의 직진 속도와 회전 속도를 구해낸다. 목표물의 위치를 구하기 위해 영역 센서 데이터를 히스토그램으로 나타낸다. 실시간으로 계산된 로봇좌표계에서의 목표물의 위치 정보를 사용하여 목표물을 따라가게 하는 로봇의 직진 속도와 회전 속도를 구한다. 로봇의 직진 속도와 회전 속도는 로봇의 목표물로의 방향과 목표물까지의 거리를 원하는 값으로 수렴할 수 있게 한다. 제안된 방법의 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 시뮬레이션에서 목표물은 직선 궤적, 직사각형 궤적, 그리고 원 궤적에 의해 움직이게 하였다. 시뮬레이션 결과 목표물이 급격히 방향을 바꾸는 경우에는 순간적으로 목표물 추적이 불가능함을 알 수 있는데, 이것은 실시간 추적에서는 피할 수 없는 문제이다. 그렇지만, 이 경우에도 로봇이 빠른 속도로 목표물을 추적하여 다시 따라잡게 된다. 제안된 방법은 로봇이 목표물을 따라가도록 하는 경우에는 물론 여러 대 로봇이 대형을 갖추어 이동하게 하는 경우에도 적용도 가능하다.

키워드 : 물체 추종, 영역 정보, 이동 로봇, 목표물까지의 방향 및 거리

Abstract

This paper presents a method for a mobile robot to follow a moving object in real time. The robot follows a target object keeping the facing angle toward the target and the distance to the target to given value. The method consists of two procedures: first, the detection of target position in the robot coordinate system, and the second, the calculation of translational velocity and rotational velocity to follow the object. To detect the target location, range sensor data is represented in histogram. Based on the real time calculation of the location of the target relative to the robot, translational velocity and rotational velocity to follow the target are calculated. The velocities make the heading angle and the distance to target converge toward the desired ones. The performance of the method is tested through simulation. In the simulation, the target moves with three different trajectories: straight line trajectory, rectangular trajectory, and circular trajectory. As shown in the results, it is inevitable to lose track temporarily of the target when the target suddenly changes its motion direction. Nevertheless, the robot speeds up to catch up and finally succeeds to follow the target as soon as possible even in this case. The proposed method can also be utilized to coordinate the motion of multiple robots to keep their formation as well as to follow a target.

Key Words : target following, range data, mobile robot, heading direction and distance to the target

1. 서 론

지능형 이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라

지능 로봇은 향후 일상생활 용품의 하나로서 자리 잡을 가능성을 보이며, 많은 관련 기술의 개발이 이루어지고 있다. 이에 따라 청소용 로봇이나 서비스로봇 등을 바탕으로 로봇 시장 또한 빠르게 성장하고 있으며, 차세대 블루오션 분야의 하나로 큰 주목을 받고 있다.

접수일자 : 2008년 1월 24일

완료일자 : 2008년 7월 20일

** 교신저자 : 서동진

본 연구는 조선대학교 치과용 정밀장비 및 부품 지역혁신 센터의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음

일상생활에서 로봇이 사용되기 위해 반드시 갖추어야 할 기능들로 로봇이 자신의 위치를 외부정보를 이용하여 유추하는 위치추정기능과[1][2], 로봇이 쉽게 사람의 의도를 인식하고 또한 로봇의 의도를 명확히 사람에게 전달하는 기능

이다. 지능로봇 기술의 발전과 더불어 사람과 로봇의 상호 작용을 위한 많은 방법들이 제안되어지고 있다. 주로 음성, 영상, 동작 등을 통한 상호 작용들이 제안되어지고 있으며, 이동 로봇이 목표물을 따라가는 것도 인간 로봇 상호 작용의 하나라고 할 수 있다. 로봇이 기존의 고정된 매니플레이터 형태에서 이동로봇의 형태로 진화함에 따라 이동하는 목표물을 따라가는 기술의 필요성이 더욱 커지고 있다.

로봇의 물체 추적[3] 및 추적된 물체를 추종하는 기술은 가이드 로봇, 애완용 로봇, 범인 추적 등의 많은 분야에 이용될 수 있다. 본 논문에서는 레이저 레인지 파인더를 사용하여 목표물을 검출하고 추종하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 다음의 두 가지 과정으로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 추종하고자 하는 목표물의 위치를 구해내고, 두 번째 단계에서는 목표물을 따라가도록 로봇을 구동시키는 것이다. 추종할 목표물의 위치는 로봇 좌표계상에서 목표물까지의 거리와 방향각으로 구해진다. 목표물의 거리와 방향각은 레이저 영역 센서 의한 영역 정보를 사용하여 히스토그램 기법에 의하여 구한다.

목표물까지의 거리 및 방향 정보를 기반으로 로봇이 목표물과 원하는 거리 및 방향각을 유지하면서 따라가도록 하는 로봇의 직진 속도와 회전 속도를 구한다. 이동 로봇이 이동 목표물을 단 한 번의 직진 속도와 회전 속도 명령에 의해서 추종 위치까지 따라갈 수 없으므로, 이동 로봇의 현재 위치와 목표물의 추종 위치 사이의 오차가 영으로 수렴하도록 하는 직진 속도 명령 및 회전 속도 명령을 구해야한다.

목표 조향각과 목표 거리가 동시에 영으로 수렴하는 직진 속도 명령과 회전 속도 명령을 기하학적 방법으로 구한다. 이를 위해 로봇과 물체와의 거리와 각도에 대한 오차를 보상하기 위한 동작조정 제어함수를 제안하였다.

제안된 방법은 항상 목표물을 일정한 방향과 위치에서 따라가게 하는 것 외에 로봇들끼리 일정한 대형을 갖추어 움직이게 하는 다중로봇의 동작조정 등에도 사용될 수 있다 [4-7].

2. LRF를 이용한 물체추적 및 로봇 운동방정식

2.1 LRF를 이용한 물체 추적

레이저 영역센서는(LRF)는 영상시스템과 달리 영상을 획득하는 센서가 아니라 센서로부터 물체까지의 거리를 집합형태로 구하기 때문에 물체 추적을 위한 방법이 영상 시스템을 이용하는 경우와는 달라진다. 본 연구에서는 여러 개의 물체가 LRF의 검출 영역 안에 있는 경우 이들 중 목표물의 선별을 용이하게 하기 위해서 목표물이 다른 물체들보다 로봇에 가까이에 있다고 가정한다.

LRF의 레이저는 그림 1의 좌측처럼 원형으로 방사되며 센서가 각 방향으로 감지한 거리가 배열형태의 데이터로 저장된다. 이 데이터를 이용하여 목표물의 위치를 검출하기 위해 데이터를 히스토그램으로 표현하면 그림 1의 우측과 같이 된다.

물체의 크기, 위치 및 방향을 계산하기 위해 우선 모든 LRF데이터 중에 최소값을 구한다. 이 중에서 최소 값을 기준으로 그 차이의 절대 값이 정해진 임계값 이내에 존재하는 센서데이터들로부터 물체의 폭과 방향각(ϕ)를 획득한다

(그림 1의 1 영역). 그리고 물체까지의 거리(s)는 센서의 최소 값으로 결정한다(그림 1에서 2 길이). 센서의 값들 중에 필요하지 않은 데이터가 선택이 될 수 있으므로 센서 값의 최소점에서 양방향으로 스캔하여 물체의 폭을 구한다.

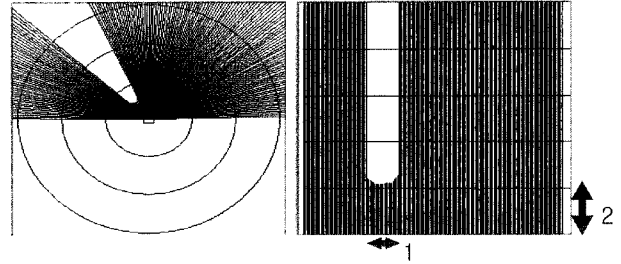


그림 1. 레이저 영역센서의 출력
Fig 1. Output of Laser Range Finder

2.2 로봇의 운동방정식

차륜 구동 메커니즘을 가진 이동 로봇의 운동은 그림 2와 같이 절대 좌표계로 정의된 2차원 벡터 공간에서 이루어지며, 이에 따른 로봇의 운동성 해석과 위치 평가가 가능하다.

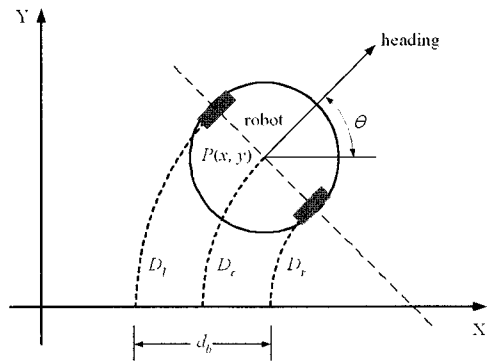


그림 2. 차륜형 로봇의 이동 및 위치
Fig 2. Differential Wheel Robot Movement and Its Position

2차원 절대 좌표계에서 그림 2와 같이 표현되는 이동 로봇의 운동에 따른 위치는 식 (1)로 정의한다.

$$P(t) = [x(t), y(t), \theta(t)]^T \quad (1)$$

여기서, $x(t)$ 와 $y(t)$ 는 로봇의 위치에 대한 관측 시각 t 에서 나타나는 로봇의 좌표이며, $\theta(t)$ 는 로봇의 전방이 절대 좌표계의 x 축과 이루는 각도이다. 관측 시각 t 에서 운동하고 있는 로봇의 직진속도 tv 와 회전속도 rv 는 다음의 식 (2)와 같이 정의된다.

$$tv = \frac{r_w}{2} (\omega_l + \omega_r), \quad rv = \frac{r_w}{d_b} (\omega_r - \omega_l) \quad (2)$$

$$\omega_r = \frac{\Delta C_r \cdot 2\pi}{C_e \cdot \Delta t}, \quad \omega_l = \frac{\Delta C_l \cdot 2\pi}{C_e \cdot \Delta t}$$

(2)식에서, r_w 는 로봇의 바퀴반지름, ω_l 및 ω_r [rad/s]은 각각 좌, 우 바퀴의 각속도이며, d_b 는 로봇의 바퀴간의 거리

를 의미한다. C_r 및 C_l 은 샘플링 시간 Δt 동안 검출한 엔코더의 펄스 수이며, C_e 는 바퀴가 1회전 할 때 출력되는 엔코더의 펄스 수이다.

절대 좌표계 내에서 로봇의 운동에 따른 위치와 방향의 변화는 로봇 중심점의 회전 운동이 있는 경우 및 회전이 없는 경우에 대하여 각각 다음 식(3)~식(8)로부터 구한다.

- 이동 로봇 중심점의 회전 운동이 있는 경우($rv \neq 0$)

$$\Delta x = \frac{tv}{rv} \{ \sin [\theta(t) + \Delta\theta] - \sin\theta(t) \} \quad (3)$$

$$\Delta y = -\frac{tv}{rv} \{ \cos [\theta(t) + \Delta\theta] - \cos\theta(t) \} \quad (4)$$

$$\Delta\theta = rv \Delta t \quad (5)$$

- 로봇 중심점의 회전 운동이 거의 없는 경우($\omega_c \cong 0$)

$$\Delta x = tv \Delta t \cos \theta(t) \quad (6)$$

$$\Delta y = tv \Delta t \sin \theta(t) \quad (7)$$

$$\Delta\theta = 0 \quad (8)$$

따라서, 절대 좌표계 내에서 로봇의 운동에 대한 연속된 관측으로부터 로봇의 위치와 자세는 다음 식(9)와 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} x(t+1) &= x(t) + \Delta x, \\ y(t+1) &= y(t) + \Delta y, \\ \theta(t+1) &= \theta(t) + \Delta\theta \end{aligned} \quad (9)$$

3. 로봇의 이동물체 추종제어

움직이는 목표물을 추종하기 위한 문제의 구성은 다음과 같다.

[이동 물체 추종 제어 문제]

이동 로봇이 목표물을 로봇에 대하여 일정한 거리 s_d 와 일정한 방향각 ϕ_d 를 유지하며 따라가도록 로봇을 구동한다.

여기에서 추종해야 할 목표물은 항상 다른 물체들보다 가까이 있다고 가정한다. 이 문제에서 주어진 정보는 목표 거리 s_d 와 목표 방향각 ϕ_d 이며, 목표물은 실시간으로 LRF에 의해서 검출한다. 실제로 로봇을 구동하기 위한 구동 명령은 로봇의 이동 직진 속도 tv 와 회전 속도 rv 이므로, 본 논문에서는 주어진 조건에서 이동 목표물을 따라가기 위한 직진 속도 tv 와 회전 속도 rv 를 구하는 방법을 제안한다. 그림 3에 이동 로봇과 목표물의 위치 관계를 표현하였다.

센서 정보에 의해서 로봇은 현재의 목표물 거리 s 와 방향각 ϕ 를 알 수 있다. 거리 s 를 s_d 로, 방향각 ϕ 를 ϕ_d 로 수렴시키는 직진 속도 tv 와 회전 속도 rv 를 구하는 과정은 다음과 같다. 그림 3에서 l 은 식 (10)과 같다.

$$l = s \cdot \sin(\phi - \omega) \quad \therefore \frac{l}{s} = \sin(\phi - \omega) \quad (10)$$

따라서 ω 는 다음과 같이 구해진다.

$$\omega = \phi - \sin^{-1}\left(\frac{l}{s}\right) \quad (11)$$

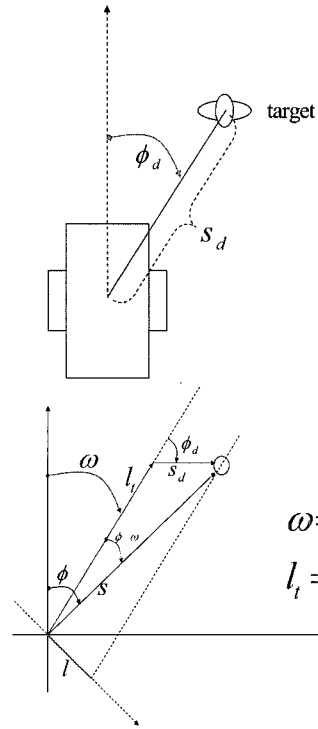


그림 3. 목표물 추종 문제
Fig 3. Problem for Target Following

또한, 그림3 에서 l_t 는 식(12)와 같이 유도된다.

$$l_t = s \cdot \cos(\phi - \omega) - s_d \cdot \cos\phi_d \quad (12)$$

여기에서 ω 는 이동 로봇이 목표물 추적을 위해서 회전해야 할 양이고, l_t 는 이동 로봇이 목표물 추적을 위해서 이동해야 할 양이다. 즉 ω 와 l_t 가 빠르게 0으로 수렴하도록 하는 직진 속도 tv 와 회전 속도 rv 를 구해야한다. i 번째 샘플링 시각에서의 직진 속도 $tv(i)$ 와 회전 속도 $rv(i)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} tv(i) &= k_{p,l_t} l_t(i) + k_{i,l_t} (l_t(i) + l_t(i-1) + l_t(i-2) + \dots + l_t(0)) \\ &\quad + k_{d,l_t} (l_t(i) - l_t(i-1)) \\ rv(i) &= k_{p,\omega} \omega(i) + k_{i,\omega} (\omega(i) + \omega(i-1) + \omega(i-2) + \dots + \omega(0)) \\ &\quad + k_{d,\omega} (\omega(i) - \omega(i-1)) \end{aligned} \quad (13)$$

여기에서 $k_{p,l_t}, k_{i,l_t}, k_{d,l_t}$ 는 각각 l_t 를 0으로 수렴시키기 위한 비례 이득, 적분 이득, 그리고 미분 이득 값이다. 그리고 $k_{p,\omega}, k_{i,\omega}, k_{d,\omega}$ 는 각각 ω 를 0으로 수렴시키기 위한 비례 이득, 적분 이득, 그리고 미분 이득 값이다.

영역센서를 이용한 목표물 추종 알고리즘은 영역 센서 정보를 이용하여 목표물의 로봇에 대한 거리 및 방향각을 획득하고 목표물로 하는 거리와 방향과의 관계에서 오차거리와 오차 방향각을 산출하고 그 결과를 이용하여 이동 로봇의 직진속도와 회전속도를 계산하는 순서로 반복된다.

4. 모의실험

제안된 방법의 성능을 모의실험에 의해 검증하였다. 모의

실험 프로그램은 TCP-IP로 컨트롤되는 서버-클라이언트 구조로 되어 있다[6]. 그림 4는 개발된 시뮬레이션 프로그램의 서버 측과 클라이언트 측의 사용자 화면을 보여준다. 시뮬레이션에서 구현된 로봇은 ActivMedia사에서 제작한 Pioneer를 기본 모델로 하였으며 여기에 Sick사에서 제작한 LMS모델의 레이저 레인지 파인더를 장착하여 시뮬레이션을 수행하였다.

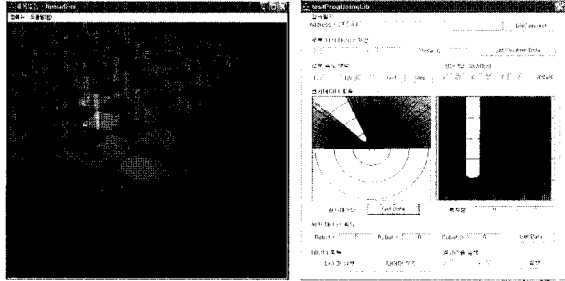


그림 4. 제작된 모의실험 프로그램
Fig 4. Simulation Program

실험은 다음의 4 가지의 경우에서 실행되었으며 그 내용은 각각 다음과 같다.

- 1) 경우 1: 로봇이 (0,0)에서 0도 방향을 보고 있는 상태에서 목표물을 (1,4), (1,3), (1,2), (1,1)에 두고 각각의 경우에 목표물을 추종하기 위한 위치로 로봇이 이동하기까지의 궤적을 관찰한다.
- 2) 경우 2: 목표물이 (1, 2)의 위치에서 직진을 하는 경우 이를 추종하기 위한 로봇의 궤적 변화를 관찰한다.
- 3) 경우 3: 로봇이 (0,0)에 있고, 목표물이 (1.5, 1.2)에서 시작하여 'c'형태로 이동하는 경우 이를 추종하기 위한 로봇의 궤적을 관찰한다.
- 4) 경우 4: 로봇이 (0,0)에서 시작하여, (4, 2)에 있는 목표물을 추종하기 위한 위치까지 이동한다. 로봇이 목표물을 추종하기 위한 위치에 도달한 이후, 목표물이 원형으로 회전하게 하고, 이를 추종하는 로봇의 궤적을 관찰한다.

경우 1은 로봇이 멈춰있는 물체를 추종할 때 어떻게 이동하는지를 관찰하기 위한 실험이며, 경우 2와 3은 목표물이 예측가능하지 않은 임의의 방향으로 이동하는 경우 로봇의 추종 특성을 파악하기 위한 실험이다. 경우 4는 목표물이 일정한 곡률을 유지하며 이동할 때 로봇의 추종 성능과 오차를 관찰하기 위한 실험이다.

목표물은 작업 공간 내에서 사용자가 원하는 대로 이동 가능하다. 목표물이 이동하는 동안 로봇은 자동적으로 목표물까지의 거리는 s_d 를 유지하고, 목표물로의 방향각은 ϕ_d 를 유지하도록 목표물을 추종하는 방향으로 움직인다. 경우1, 2, 3에서는 목표물이 키보드의 화살표 키가 눌리면 일정한 거리를 움직이도록 설계하였으며, 경우 4에서는 타이머를 사용하여 목표물이 원형으로 움직이도록 하였다.

4.1 로봇의 궤적변화 실험

경우 1에서는 목표물을 각각 (1,4), (1,3), (1,2), (1,1)에 위치하게 하여 4가지 경우에서의 실험 결과를 관찰한다. 로봇은 정지 상태에서 (0,0)에서부터 목표물 추종 동작을 시작한다. 경우 1에서 실험에서 사용된 파라미터는 표 1과 같으며, 1m의 거리를 목표로 ϕ_d 가 0° 이므로 항상 로봇의 정면

에 목표물이 위치하도록 로봇이 제어된다.

표 1. 실험에서 사용된 파라미터
Table 1. Parameters for Case 1

s_d	ϕ_d
1.0m	0°

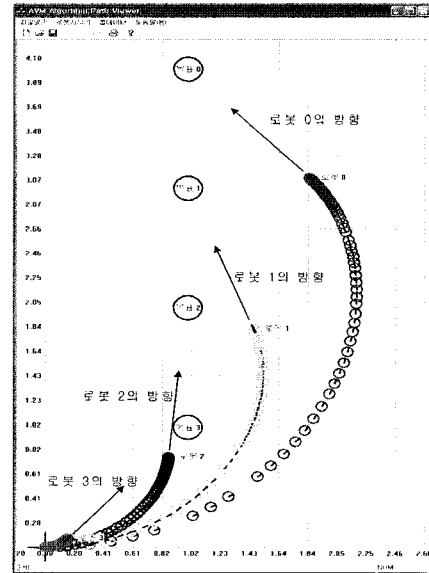


그림 5. 경우 1의 모의실험 결과
Fig 5. Experimental Result of case 1

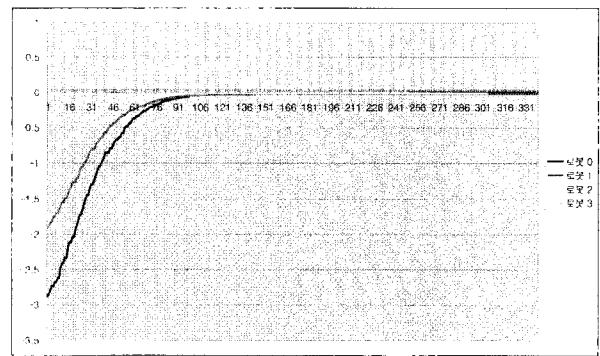


그림 6. 경우 1에서 로봇의 목표물과의 거리 오차 변화
Fig 6. Distance Error Between Robot and Object of case 1

그림 5에서는 목표물의 위치에 따른 로봇의 추종 궤적을 보여주고 있으며, 목표물로의 방향각과 거리에 따라 직진속도 tv , 회전속도 rv 값이 산출되어, 각기 다른 곡률의 궤적으로 목표물을 향해 이동함을 알 수 있다. 로봇이 목표물의 추종 위치에 수렴하여 있는 상태에서 로봇의 정면에 각각의 목표물이 위치하고 있음을 볼 수 있으며, 로봇이 목표물의 1m 후방에 위치하고 있음을 확인할 수 있다. 로봇의 추종 제어에서 식 (13)의 k_p 는 로봇이 목표물의 위치에 얼마나 빠르게 수렴하는가에 대한 특성을 가지며 너무 큰 k_p 의 값은 로봇이 물체에 너무 빨리 다가가게 되는 효과를 가져와 로봇의 무게로 인한 관성으로 인해 목표위치에서 멈추지 못하고 지나쳐버리는 경우가 발생 할 수 있다. 또한 너무 작

은 k_p 의 값은 로봇이 목표위치에 도달하는 시간이 너무 느리게 되는 효과를 가져올 수 있다. k_p 의 조절과 함께 k_i 또한 매우 중요한 변수 중 하나이며 k_i 가 0인 경우 로봇이 목표위치로 가까이 다가갔을 때 제어신호가 그에 비례하여 한없이 감소하게 되어 목표에 이르지 못하는 경우가 생길 수 있다. 이를 보완하기 위해 k_i 를 사용하여 정상상태에서의 오차를 제거 할 수 있으며 너무 큰 k_i 값은 로봇이 목표위치에 수렴하지 못하고 목표위치를 중심으로 진동하게 되어 로봇이 파손될 수 있으므로 주의해야 한다. k_d 값은 k_i 나 k_p 에 의한 오버슈트를 감소시키는 역할을 한다. 무엇보다도 중요한 것은 실제 로봇의 구동속도나 무게에 따라서 상관관계가 달라지므로 적절한 실험치에 의해서 k_i , k_p , k_d 값을 정하는 것이 바람직하다. 그림 6은 로봇의 목표물과의 거리오차가 어떻게 변화하는지 보여준다. 여기에서 거리 0은 로봇이 목표물로부터 1m의 거리에 도달하였음을 의미한다. 이것은 로봇과 목표물 사이의 거리가 $s_d = 1m$ 가 되면 로봇이 원하는 위치에서 목표물을 추종하게 되기 때문이다.

표 2. 알고리즘 처리시간

Table 2. Processing Time for the Proposed Method (단위mSec)

센서데이터획득	구동명령산출	전체처리시간
141.1459	0.0184453	141.1643

로봇이 물체를 추종하는데 있어서 알고리즘의 처리시간 또한 실시간으로 알고리즘을 적용할 수 있는 가능성을 확인하는데 매우 중요한 요인이며 이를 확인하기 위하여 센서데이터의 획득시간부터 로봇의 구동명령을 산출하는 시간까지를 알고리즘의 처리시간으로 정하고 그 수행시간을 측정하였다. 수행시간은 정확한 분석을 위해 센서의 획득시간과 센서데이터 처리 및 구동명령산출시간으로 나누어서 1000회가 수행되는 동안의 각각의 처리시간을 평균으로 산출하였으며 표 2에서와 같은 결과를 획득하였다. 각각의 처리시간은 센서데이터 획득시간이 141.1459mSec로 나타났으며, 데이터 처리 및 구동명령산출시간은 0.0184453 mSec로 전체처리시간은 약 141.1643 mSec로 나타났다. 즉 로봇은 초당 약 6회의 주종제어를 수행할 수 있어서 실시간으로 알고리즘을 적용하는 것이 가능하다. 전체 처리시간에서 센서의 획득시간이 차지하는 비율은 99.987%로 구동명령산출시간은 센서의 획득시간에 비해 미치는 영향이 0에 가깝다. 즉, 더 응답시간이 빠른 센서를 사용한다면 알고리즘의 전체처리시간도 짧아지게 되어 더 유연하고 빠른 추종이 가능하게 된다.

4.2 로봇의 직진특성 실험

경우 2에서는 목표물이 직진 이동하는 경우의 추종 특성을 확인한다. 로봇은 (0,0)에서 멈춰있는 상태에서 (1, 2)에 위치하는 목표물에 수렴하게 한 다음, 목표물을 X축 방향으로 직진하게 한다. 경우 2, 3, 4의 실험에서 사용된 파라미터는 표 3와 같으며, 1m의 거리를 목표로 ϕ_d 가 -45도로 로봇의 왼쪽 상단 45도 지점에 목표물이 위치하도록 로봇이 제어된다. 경우 2, 3, 4에서의 목표물의 직선 이동속도는 0.3m/sec로 설정하였다.

표 3. 경우 2, 3, 4에서 사용된 파라미터
Table 3. Parameters for Case 2, 3, 4

s_d	ϕ_d
1.0m	-45°

그림 7은 경우 2에서의 모의실험의 결과를 보여주며, 위쪽의 직선이 목표물의 움직임, 아래쪽의 궤적이 로봇의 움직임을 보여준다. 처음에는 로봇이 목표거리와 각도로 수렴하기 위해 목표 쪽으로 이동하며 1의 위치로 이동하다가, 목표가 X축 방향으로 진행함에 따라 로봇도 급격히 방향을 선회하여 목표물의 직선방향으로 로봇의 궤적을 조절하여 나가는 것을 볼 수 있다.

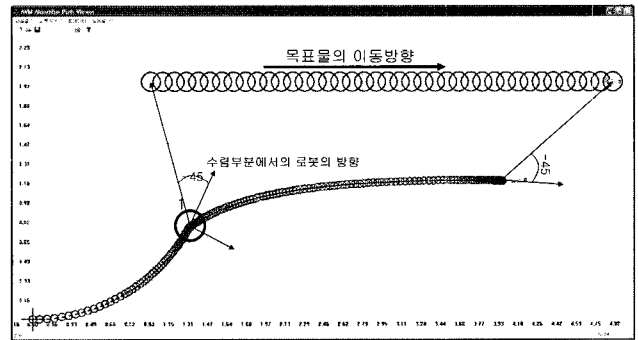


그림 7. 경우 2의 모의실험 결과
Fig 7. Experimental Result of case 2

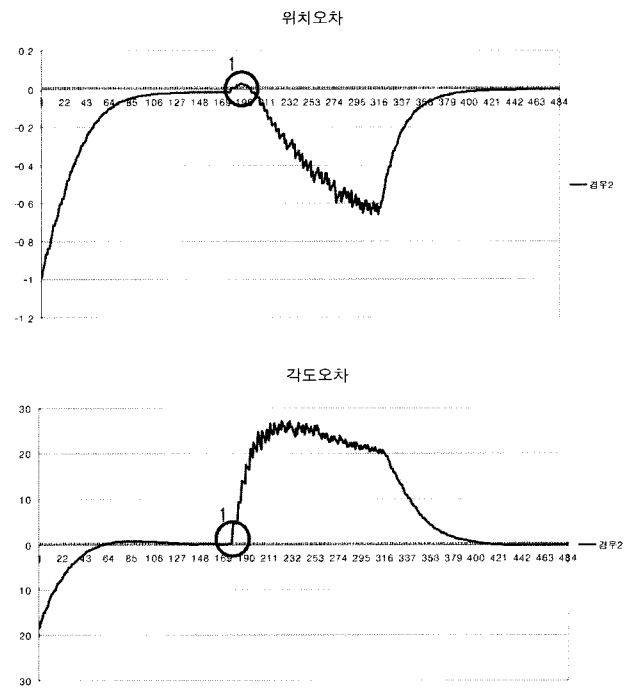


그림 8. 경우 2에서의 거리 및 방향각 오차
Fig 8. Distance and Heading Error of case 2

그림 8은 경우 2의 실험에서 원하는 거리 및 방향각과 실제 거리 및 방향각 사이의 오차를 보여준다. 그림 7과 8에서 "1"로 표시된 위치를 보면, 이 위치에서 로봇이 목표

물로부터 1m 후방 -45° 방향에 수렴해 있다가 목표물이 갑자기 X축 방향으로 직진을 함에 따라 거리 및 방향 오차가 급격히 커지게 된다. 이를 다시 0 으로 수렴시키기 위해서 로봇이 이동 방향을 전환하여 목표물을 추종하게 됨을 볼 수 있다. 급격히 오차가 커지는 이유는 "1"의 위치에서 로봇의 이동 방향과 목표물의 이동 방향의 차이가 크기 때문이다. 또한 목표물이 너무 빠르게 이동하면 로봇과 목표물간의 위치 및 방향 오차가 급격히 너무 커지게 될 수 있으며, 이런 경우 로봇이 목표물을 원하는 상대 위치에서 추종하게 되기까지 과도 시간이 필요하게 된다.

4.3 목표물이 'ㄷ'형태로 이동시 로봇의 궤적변화 실험

추종을 위한 목표물의 상대 위치 및 방향각은 경우 2와 같이 설정하였으며, 로봇이 (0, 0)에 있고 목표물이 (1.5, 1.2)에서부터 시작하여 'ㄷ'형태로 이동할 때 로봇의 추종 움직임을 관찰하였다.

그림 9는 경우 3에서의 모의실험의 결과를 보여주며, 안쪽이 목표물의 궤적, 바깥쪽이 로봇의 추종 궤적을 보여준다. 로봇과 목표물에 표시된 위치 1, 2, 3, 4는 각각 목표물과 로봇의 대응 위치를 나타낸다. 목표물은 위치 1, 2, 3, 4에서 로봇이 추종 위치에 수렴할 때까지 정지한 후, 다시 이동한다. 목표물이 직선으로 이동하더라도 목표물의 방향이 불연속하게 변화하는 경우, 로봇은 일정한 과도 시간이 지나 뒤 안정된 추종 위치로 이동하게 된다. 로봇과 목표물과의 거리와 방향 오차에 식 (4)를 적용 할 때, 비례 이득, 적분 이득, 그리고 미분 이득 값을 조절하면 추종 궤적의 특성을 변화시킬 수 있다.

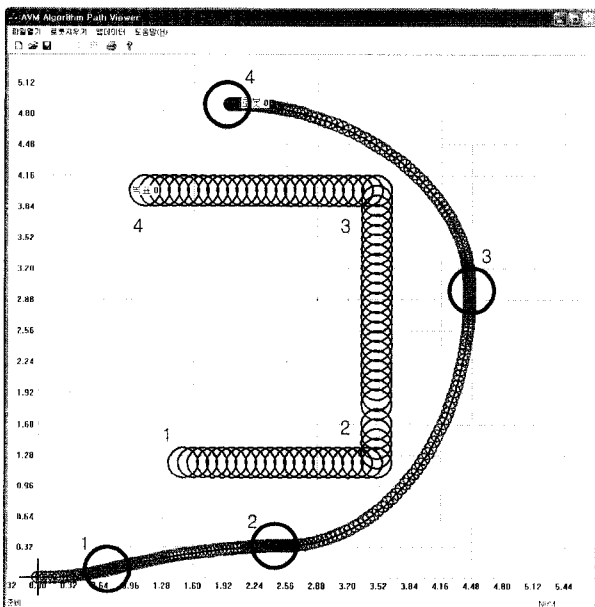


그림 9. 경우 3의 모의실험 결과
Fig 9. Experimental Result of case 3

그림 10은 경우 3에서의 위치 및 각도오차를 보여주며, 그림 9와 10의 1, 2, 3, 4는 서로 대응되는 위치를 나타낸다. 위치 1, 2, 3, 4에서 목표물의 방향이 불연속적으로 변하기 때문에 거리 및 방향 오차가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 위치 1 에서는 경우 2에서와 마찬가지로 로봇이 현재 보고 있는 방향과 다른 방향으로 목표물이 급격히 이동하

로 거리 및 방향 오차가 발생함을 알 수 있다. 목표물의 직진이동속도가 0.3m/sec로 움직이는 상태에서 로봇의 구동 명령으로 발생하는 직진속도의 최대값은 0.5593m/sec로 나타났으며 회전속도의 최대값은 0.3002 rad/sec로 나타났다. 직진속도와 회전속도가 급격히 커지는 경우는 로봇의 목표 지점과 현재위치의 오차가 커지는 경우이며, 목표물의 궤적이 급격한 변화를 갖는 경우에 이런 현상이 발생하였다. 반면에 로봇이 목표물에 수렴해있는 상태에서 목표물이 로봇이 보는 방향으로 직진운동을 수행하는 경우에는 로봇과 목표물의 속도차이가 크게 차이가 나지 않았다.

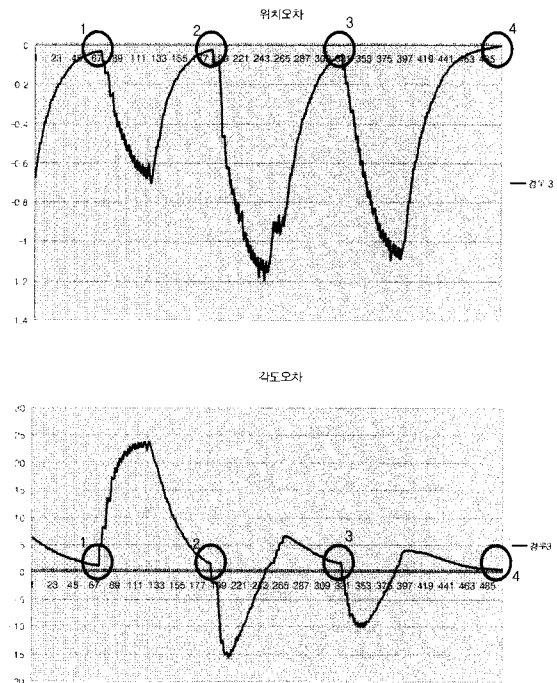


그림 10. 경우 3에서의 거리 및 방향각 오차
Fig 10. Distance and Heading Error of case 3

4.4 목표물이 원형으로 이동시 로봇의 궤적변화 실험

경우 4에서는 목표물의 이동 방향이 연속적으로 변화하는 경우의 로봇 추종 궤적을 관찰하였다. 추종을 위한 목표물과의 거리 및 방향각은 경우 2와 동일하게 설정하였다. 로봇이 (0, 0)에서 출발하여 (4, 2)에 있는 목표물을 추종한 후, 목표물이 원형 궤적의 이동을 시작한다.

그림 11은 경우 4에서의 모의실험의 결과를 보여주며, 안쪽의 원이 목표물의 궤적, 바깥쪽 원이 로봇의 궤적을 나타낸다. 로봇의 1은 (4,2)에 위치한 목표물에 로봇이 추종하는 위치이다. 목표물이 곡선운동을 시작하면 로봇이 목표물의 바깥쪽에서 빠르게 원형 궤적으로 목표를 따라간다.

그림 12는 경우 4에서의 거리 및 방향각 오차를 보여준다. 그림 11과 12의 1의 위치가 서로 대응된다. 1은 멈춰있는 목표물에 대하여 로봇이 추종하기 이동하는 수렴 위치이다. 그림 12의 1의 이후의 오차는 원형으로 목표물과 로봇이 이동 할 때의 오차이다. 경우 2와 3의 경우와는 다르게 거리오차가 10cm 미만인 된다. 각도 오차도 1도 내외로 좋은 추종 성능을 보여준다. 이것은 목표물의 직선 운동과 회전 운동에 불연속이 없기 때문에 로봇이 목표물을 작은 오차로 추종할 수 있음을 의미한다.

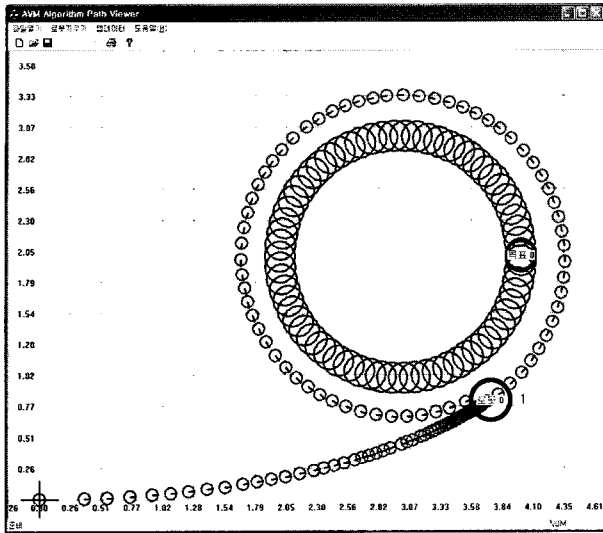


그림 11. 경우 4의 모의실험결과
Fig 11. Experimental Result of case 4

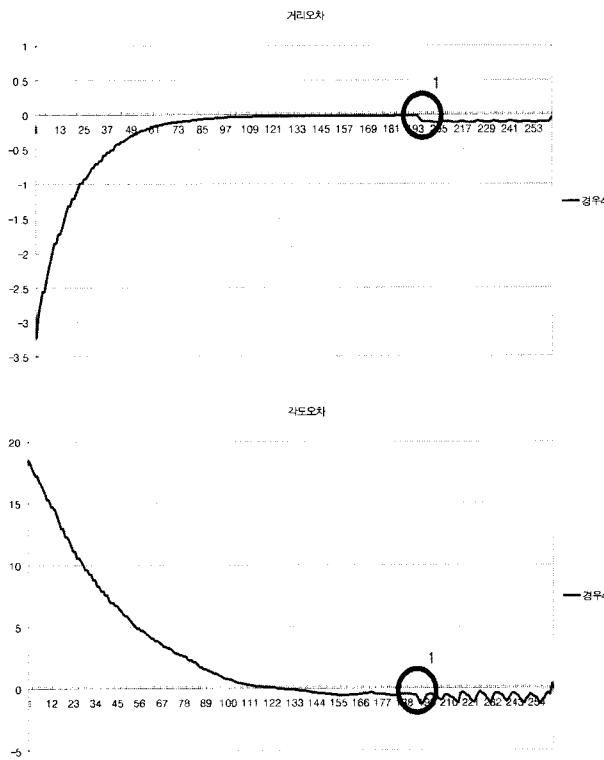


그림 12. 경우 4에서의 거리 및 방향각 오차
Fig 12. Distance and Heading Error of case 4

5. 결 론

본 논문에서는 이동하는 목표물을 영역센서를 이용하여 로봇으로부터의 상대적 거리와 방향을 감지하여, 목표물을 로봇이 일정한 거리와 방향에서 추종하기 위한 방법을 제안하였다. 이 방법의 특징은 다음과 같다.

- (1) 추종을 위한 영역센서로는 레이저 영역 센서(Laser Range Finder: LRF)를 사용하였다. 대부분의 이동 로봇이 영역 센서를 사용하고 있으므로, 이 방법은 대부분의 이동 로봇에 적용가능하다.
- (2) LRF는 영상시스템에 비해 고속 데이터 획득이 가능하고, 본 연구에서 제안한 히스토그램을 이용하는 방법은 보통의 영상 처리 알고리즘에 비해 빠르므로, 실시간으로 목표물 추종에 적합하다.
- (3) 추종을 위한 거리(l_t)와 방향 값(ω)를 PID제어기에 의해 제어하여 로봇의 직진속도와 회전속도를 조절한다. 따라서, 잘 알려진 안정된 기존의 제어 방법을 사용함으로써 안정된 성능을 얻을 수 있다.
- (4) 목표물의 직진 운동과 회전 운동에 불연속성이 없다면 우수한 추종 성능을 얻을 수 있다.

제안된 방식은 비전시스템과 조합하여 비전시스템에서 처리되는 데이터처리의 오버헤드를 줄여줄 수 있으므로 비전을 통한 로봇의 인공지능을 구현하는데 효과적인 방법을 제공할 수 있다. 또한 이 기법은 일정한 거리와 방향에서 목표물을 추종하는 기능을 구현하므로 이동 로봇이 사람을 따라다니게 하는 휴먼로봇 상호작용[8][9]에의 응용에 적합하다. 또한 로봇들끼리 대형을 맞추어서 이동하는 군사 응용이나[10-12], 다중로봇의 동작조정[13] 등의 많은 분야에 유용하게 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이주상, 임영철, 유영재, “유비쿼터스 이동로봇용 전장 인공지능을 이용한 비전기반 자기위치인식법”, 한국퍼지및지능시스템학회 논문지, 15권, 5호, pp560-566, 2005.
- [2] 진태석, 이장명, “이동물체의 기하학적 위치정보를 이용한 자율이동로봇의 위치추정”, 한국퍼지및지능시스템학회 논문지, 14권, 4호, pp438-444, 2004.
- [3] 노선영, 주영훈, 박진배, “퍼지 칼만 필터를 이용한 새로운 지능형 추적 알고리즘”, 한국퍼지및지능시스템학회 논문지, 15권, 5호, pp593-598, 2005.
- [4] R. Alur, A. Das, J. Esposito, R. Fierro, Y. Hur, G. Grudic, V. Kumar, I. Lee, J. P. Ostrowski, G. Pappas, J. Southall, J. Spletzer, and C. Taylor, "A framework and architecture for multirobot coordination," *Experimental Robotics VII*, D. Rus and S. Singh (eds.), Springer, LNCIS 271, pp.303-312, 2001.
- [5] R. Simmons, T. Smith, M. B. Dias, D. Goldberg, D. Hershberger, A. Stentz, and R. Zlot, "A Layered Architecture for Coordination of Mobile Robots," In *Multi-Robot Systems From Swarms to Intelligent Automata*, A. Schultz and L. Parker (eds.), Kluwer, 2002.
- [6] Nak Yong Ko, Dong Jin Seo, Koung Suk Kim, "Local Collision Avoidance of Multiple Robots Using Aoidability Measure and Relative Distance," *KSME International Journal*, Vol. 18 No. 1, pp. 132-144, 2004
- [7] A. Saffiotti, N. B. Zumel, and E. H. Ruspini,

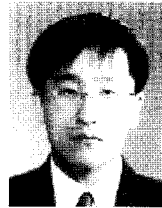
"Multi-Robot Team Coordination Using Desirabilities," *Proc. of the 6th Intl. Conf. on Intelligent Autonomous Systems(IAS)*, pp. 107-114, Venice, Italy, 2000.

- [8] R. R. Murphy, "Human-robot interaction in rescue robotics," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Application and Reviews, IEEE Transactions on*, Vol 34, pp. 138-153, 2004.
- [9] C. Breazeal, "Social interactions in HRI : the robot view," *Systems, Man, and Cybernetics, Part C : Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, Vol 34, pp 181-186, 2004
- [10] Balch, T. Arkin, R.C., "Behavior-based formation control for multirobot teams," *Robotics and Automation IEEE Transaction on*, Vol 14, pp. 926-939, 1998.
- [11] Long, M. Gage, A. Murphy, R. Valavanis, K., "Application of the Distributed Field Robot Architecture to a Simulated Demining Task," *Robotics and Automation, ICRA 2005 Proc. of the 2005 IEEE International Conference on*, pp. 3193-3200, 2005.
- [12] Skubic, M. Anderson, D. Khalilia M. Kavirayani S., "A Sketch-Based Interface for Multi-Robot Formations," *AAAI Mobile Robot Competition 2004, Papers from the AAAI Workshops, San Jose, CA July. 2004.*
- [13] 고낙용, 서동진, "다중 이동 로봇의 중앙 감시에 의한 충돌 회피 동작조정 방법" 대한전기학회논문지, D권 52:44, pp 223-232, 2003.



서동진(Dong Jin Seo)
 2000년 : 조선대 공대 제어계측공학과 졸업(학사).
 2002년 : 조선대 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사).
 2006년 : 동대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사).
 2004~2005 : 미국 Carnegie Mellon Univ. Visiting Student Scholar
 2006 : (주)한국에센 연구원
 2007년~현재 : (주)레드윈테크놀로지 부설 로봇연구소 책임연구원.

관심분야 : 로봇시뮬레이터, 로봇 자율주행, 위치인식, 다중 로봇 동작조정, 페스플래닝
 Phone : 062-373-2024
 Fax : 062 373-2022
 E-mail : commidi@gmail.com



문용선(Yongseon Moon)
 1983년 : 조선대학교 전자공학과 졸업(학사).
 1989년 : 동 대학원 석.박사
 1992년~현재 : 순천대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 산업통신망 및 로봇
 Phone : 061-753 1133
 Fax : 062-373 2022
 E-mail : moon@sunchon.ac.kr

저 자 소 개



고낙용(Nak Yong Ko)
 1985년 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사).
 1987년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학 석사).
 1993년 : 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학 박사).
 1992년~현재 : 조선대학교 전자정보공과대학 교수.

1997년~1998년, 2004년~2005년 : 미국 카네기 멜론 대학 로봇 연구소 방문 연구.

관심분야 : 로봇 자율 주행, 장애물 회피, 이동 로봇 위치인식, 로봇 주행 환경 인식.

Phone : 062-230-7108
 Fax : 062-233-6896
 E-mail : nyko@chosun.ac.kr