

---

# 두 개의 거리 센서를 이용한 차륜형 로봇의 이동물체 추종제어

서동진\* · 노성우\*\* · 고낙용\*\*\*

Moving Object Following Control for Differential Drive Robot Based on Two Distance  
Sensors

Dong-Jin Seo\* · Sung-Woo Noh\*\* · Nak-Yong Ko\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 거리센서기반의 차륜형 로봇의 물체추적과 추종에 대한 로봇의 구동제어방법을 제안한다. 물체 추종을 위해 1개의 초음파 송신부와 2개의 초음파 수신부를 사용하여 추종하고자 하는 물체로부터 2개의 거리데이터를 생성한다. 생성된 거리데이터를 기반으로 로봇의 물체까지의 직진오차와, 회전오차를 산출한 뒤, 물체 추종을 위해 PID제어기 기반의 조작량을 계산하여 로봇의 동작제어에 사용한다. 제안된 방법의 특징을 확인하기 위해 3가지 경우에서 실험을 수행하였으며 PID게인이 로봇의 움직임에 미치는 영향과 직진오차계인과 회전오차계인이 로봇의 움직임에 미치는 영향을 각각 확인해 보았다. 제안된 방법은 항상 추종물체를 로봇에 대하여 일정위치에 존재하도록 하는 기법으로 물체추종 어플리케이션 이외에도, 여러 대의 로봇이 특정한 대형을 이루어 움직이게 하는 군집형 제어 문제에 적용될 수 있다.

## ABSTRACT

This paper proposes a control method for a differential robot to track and follow a moving object based on ultrasonic sensor. To track a target object, the method uses a transmitter and two receivers to get distances from the object. The method derives translational and rotational error by the distances and then it uses the errors to calculate control values based on PID control method. The control values are used to control the robot to follow moving object. The authors do some experimentations to analyze some characteristics such as influence of PID gain, influence of translational and rotational gain. This method not only can be applied for following moving object problem but also can be done group unit control problems.

## 키 워 드

Object Following, Differential Drive Robot, Distance Sensor  
물체추종, 차륜구동형 로봇, 거리센서

## 1. 서 론

산업의 발전과 더불어 로봇의 인간생활에 대한 적

용분야에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 구현하기 위한 제반 기술은 환경인지를 위한 입력요소와 로봇의 움직임이나 대화 등을 위한 출력요

---

\* 전자부품연구원 지능로봇기술 연구센터(commidi@keti.re.kr)

\*\* † 교신저자:조선대학교 제어계측로봇공학과(nyko@keti.re.kr)

접수일자 : 2011. 08. 22

심사(수정)일자 : 2011. 09. 23

게재확정일자 : 2011. 10. 12

소로 구분된다.

로봇이 환경을 인지하기 위한 입력요소로 인간의 오감을 전기신호로 바꾸어주는 센서들이 있을 수 있으며 그 예로 거리측정센서, 위치인식센서, 비전, 가스센서, 압력센서, 마이크(청각센서) 등으로 크게 나뉠 수 있다. 로봇의 동작을 위한 출력요소로는 모터나 유압장치와 같은 구동기, 모니터, 스피커 등으로 나뉜다.

출력 요소인 모터를 이용하여 제작된 이동로봇은 다양한 형태가 존재하지만, 로봇의 형태 중에 가장 보편적이고 오래된 형태의 로봇은 차륜형 구조를 가지는 로봇으로 볼 수 있으며, 그 구조가 단순하여 제어가 용이하다는 장점이 있다. 차륜형 로봇은 가격적인 장점과 이동성을 바탕으로 지능형 로봇분야의 구동부로 가장 널리 사용되고 있으며, 그 대표적인 것으로 청소로봇, 서비스 로봇 및 교육용 로봇 등이 있다.

본 논문에서는 입력요소로 초음파 거리측정 센서와 출력요소로 차륜형 바퀴구동을 위한 2개의 모터를 제어하여 목표 물체를 추종하는 내용을 다룬다.

물체를 추종하는 기술은 인간과 로봇의 상호작용을 위해서 반드시 필요한 분야이며, 로봇의 실생활 적용을 위해 그 중요성이 커지고 있다. 물체 추종 문제를 구현하기 위해서 1개의 초음파 송신부와 2개의 초음파 수신부를 사용하여, 추종하고자 하는 물체로부터 생성되는 2개의 거리데이터를 이용하여 로봇의 물체에 대한 회전오차와 직진오차를 산출한다. 이렇게 계산된 오차를 바탕으로 로봇의 좌우 바퀴를 제어하여 목표에 대하여 일정 지점에 위치하도록 동작제어를 수행하여 물체를 추종한다.

이전에 연구된 유사기술로 레이저 레인지 파인더를 이용하여 물체의 위치를 감지하고 추종하는 기술에 대한 연구가 있다[1]. 레이저 레인지 파인더만을 이용하여 물체의 위치를 판별하는 것은 다른 장애물들이 많은 경우 그 불확실성이 커지게 되어 추종에 실패할 확률이 높다. 비슷한 방법으로 불확실성을 제거하기 위하여 확률기반의 접근을 포함하여 문제의 해결을 모색했지만 근본적인 해결책으로 보기에는 무리가 있으며, 계산량의 증가로 인한 샘플링 주기의 길어짐으로 인해 추종 성능에 좋지 않은 영향을 미쳤다. 이런 이유로 본 논문에서는 초음파센서를 이용하여 획득된 로봇부터 물체까지의 2개의 거리를 생성하였으며 이를 목표 거리와의 차이를 이용하여 회전오차와 직진

오차를 생성하였다. 생성된 오차정보를 바탕으로 직진 오차에 대한 로봇의 속도 제어량과, 회전오차에 대한 로봇의 속도 제어량을 각각 PID제어기에 적용하여 로봇의 추종제어를 실현하였다.

제안된 방법은 항상 추종물체를 일정위치에 존재하게 만들 수 있으므로 자동 골프카트[2]와 같은 사람을 따라다니게 하는 어플리케이션 이외에도 로봇들끼리 대형을 만들어 움직이게 하는 다중로봇의 동작조정문제[2-6]에도 적용될 수 있다.

본 논문은 2장에서 로봇의 초음파센서 기반의 물체 추적기술에 대해 설명하고, 3장에서는 추적된 물체를 추종하기 위한 제어기법에 대해 설명한다. 4장에서 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 거리 센서를 이용한 물체추적

거리를 측정하기 위한 초음파센서는 인간의 가청주파수 보다 높은 주파수대역의 음파를 이용한 센서를 의미하며, 센서는 압전 세라믹 소자로 구성되어 있다. 일반적으로 공기 중 물체감지에 사용되는 초음파 센서는 40KHz대 전후의 음파를 사용하며 지향특성이 상당히 좋다.

초음파 센서는 송신부와 수신부가 같은 위치에 존재하는 반사형과, 송신부와 수신부가 서로 마주보는 형태의 대향형이 있다. 센서의 측정원리는 그림 1과 같이 송신부에서 발사된 초음파가 수신기에 도달할 때 까지의 시간을 측정하여 거리를 측정 할 수 있다.



그림 1. 초음파 센서의 거리측정 방법  
Fig. 1 Distance measuring by ultrasonic sensor

일반적으로 공기 중에서의 음파의 진행 속도는 매질의 복원력과 관성에 의해 결정되며 0℃ 공기 중에서 음파의 속도는 331m/s로 알려져 있다. 또한 음파

는 온도에 따라 속도가 차이가 있으며 일반적으로 섭씨온도  $t^{\circ}\text{C}$ 에서의 음파의 속도는 식(1)로 표현된다.

$$v = 331 + 0.6t \quad (1)$$

초음파 센서를 대향형으로 설계할 경우 송신부에서 음파신호가 송출되는 시간을 수신부에서 알고 있어야 송수신기 사이의 거리를 측정 할 수 있다. 이를 위해서 RF시그널을 이용하는 동기화 방법을 사용하면 시스템을 구성할 수 있다.

측정된 거리를 기반으로 로봇바퀴의 구동속도를 산출하기 위하여 로봇의 회전오차와, 직진오차를 산출하여야 한다. 물체추종 문제해결을 위해 레이저 스캐닝 센서를 사용하여 추종할 물체의 위치를 검출했던 연구가 있지만 레이저 센서의 특성상 여러 장애물과 추종물체가 함께 있는 경우 추종물체를 확신하지 못하는 불확실성의 문제가 대두 되었다[1]. 이를 보완하기 위한 방법으로 확률기반의 물체의 방향 예측에 관한 연구가 있지만 근본적인 해결책이 되기에는 부족함이 있다. 보다 적극적인 방법으로 스테레오 비전을 이용하여 색깔과 거리정보를 추출하여 추종물체의 위치를 계산하는 것이 레이저 레인지 파인더 만을 사용하는 것 보다 정확도에서 우수 하다. 그러나 비전을 사용하여 물체를 추종하는 경우, 영상 자료구조의 특성상 계산에 드는 시간비용이 더 많아지는 단점이 있으며, 주변광의 변화가 생기는 야외에서 사용하기에는 적합하지 않은 단점이 있다. 이에 비해서 대향형 초음파 거리센서를 사용하는 경우, 송신부와 수신부의 동기화 문제만 해결된다면 실내, 실외 모든 상황에서 사용하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 위와 같은 장점을 가진 초음파 송신부 1개와 수신부 2개를 이용하여 물체를 추종하는 문제를 해결하고자 하였다.

초음파 거리센서 수신부 2조를 로봇의 좌우측 상단에 설치하였을 경우 로봇은 송신기로부터 각각의 수신기에서 획득되는 2개의 거리데이터  $L_1(t)$ 과  $L_2(t)$ 를 얻을 수 있다. 그림 2 에서 송신기와 로봇의 전방에 대한 각도가 0도 일 경우  $L_1(t)$ 과  $L_2(t)$ 는 같은 값이 되고 송신기가 로봇이 보는 방향에서 오른쪽상단에 있을 경우  $L_1(t) > L_2(t)$ , 송신기가 오른쪽 상단에 있을 경우  $L_1(t) < L_2(t)$ 의 형태로 나타난다.

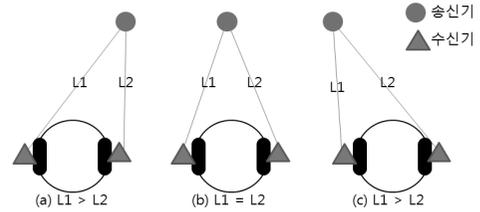


그림 2. 수신기의 거리 값과 목표물과의 관계  
Fig. 2 The relation between distances and the target

차륜형 로봇의 구동명령을 위한 회전오차와 직진오차를 구하기 위한 문제 구성은 다음과 같이 가정할 수 있다.

- 1) 문제구성 : 로봇의 중심에서 좌우로 대칭인 두 개의 초음파 수신 센서로부터의 거리 데이터가 획득되었을 때 로봇의 회전오차와 직진오차를 산출한다.
- 2) 주어진 값 : 각 센서의 목표거리( $L_{1\_ref}$ 와  $L_{2\_ref}$ )
- 3) 입력 값 : 초음파 센서에서 획득된 측정 값( $L_1(t)$ ,  $L_2(t)$ )
- 4) 출력 값 : 회전오차( $e_{rot}(t)$ ), 직진오차( $e_{trans}(t)$ )

위의 4가지 사항을 만족하는 회전오차와 직진오차를 구하기 위하여 왼쪽 센서와 오른쪽 센서의 오차 값  $E_{r1}(t)$ ,  $E_{r2}(t)$ 를 각각 식 2, 3과 같이 구할 수 있다.

$$e_1(t) = L_{1\_ref} - L_1(t) \quad (2)$$

$$e_2(t) = L_{2\_ref} - L_2(t) \quad (3)$$

바퀴의 오차  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ 를 이용하여 회전오차  $e_{rot}(t)$ , 직진오차  $e_{trans}(t)$ 를 각각 식 4, 5와 같이 구할 수 있다. 식 4에서  $e_1(t)$ 과  $e_2(t)$ 값의 차이는 로봇이 회전해야 할 회전량과 연관되며, 식 5에서 오차의 평균은 이동해야 할 거리와 관계가 있다. 그림 3은 센서의 오차생성방법을 보여준다.

$$e_{rot}(t) = e_2(t) - e_1(t) \quad (4)$$

$$e_{trans}(t) = \frac{e_2(t) + e_1(t)}{2} \quad (5)$$

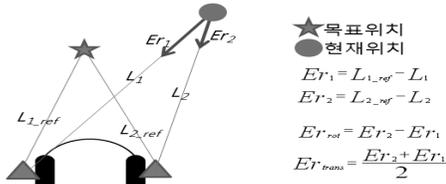


그림 3. 위치추종을 위한 오차생성  
Fig. 3 Errors for tracking target object

초음파 센서기반의 물체추종 문제에서는 반드시 현재 목표물의 위치를 계산해야 할 필요는 없다. 그 이유는 2개 센서의 거리 값이 목표의 위치에 유일하게 대응하므로 제어를 위해서 단순히  $L_1(t)$ 과  $L_2(t)$ 를  $L_{1,ref}$ 와  $L_{2,ref}$ 에 각각 대응하도록 바퀴를 움직여 주면 물체추종이 자동적으로 이루어지게 된다. 다시 이야기 하면 센서의 거리 값을 이용하여 위치를 계산하는 프로세스가 필요하지 않으며 그만큼 계산량을 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

### III. 로봇의 물체추종 제어

제어를 위한 회전오차  $e_{rot}(t)$ , 직진오차  $e_{trans}(t)$ 를 기반으로 로봇의 바퀴구동명령을 산출하기 위해 PID 제어기를 사용한다. 회전오차에 대한 조작량  $u_{rot}(t)$ 와 직진오차에 대한 조작량  $u_{trans}(t)$ 는 식 6, 7에 의해 구해진다.

$$u_{rot}(t) = k_{p1}e_{rot}(t) + k_{i1} \int_0^t e_{rot}(t)dt + k_{d1} \frac{de_{rot}}{dt} \quad (6)$$

$$u_{trans}(t) = k_{p2}e_{trans}(t) + k_{i2} \int_0^t e_{trans}(t)dt + k_{d2} \frac{de_{trans}}{dt} \quad (7)$$

식 6, 7에서  $k_{p1}$ ,  $k_{i1}$ ,  $k_{d1}$ ,  $k_{p2}$ ,  $k_{i2}$ ,  $k_{d2}$ 는 직진오차와 회전오차에 대한 각각의 PID계인을 의미한다.

구해진 조작량에 의해 바퀴의 구동속도  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$ 를 산출 가능하며 식 8, 9와 같이 구해진 로봇바퀴의 속도값을 구동명령으로 실행했을 때 로봇은 물체를 추종할 수 있게 된다.

$$v_1(t) = -(g_t u_{trans}(t) - g_r u_{rot}(t)) \quad (8)$$

$$v_2(t) = -(g_t u_{trans}(t) + g_r u_{rot}(t)) \quad (9)$$

식 8과 9에서  $g_t$ ,  $g_r$ 은 각각 직진조작량 계인과 회전조작량 계인이며 이 파라미터를 조절하여 로봇의 제어 동작형태를 결정할 수 있다.

### IV. 실험

제안된 제어방법의 성능실험을 위해 다음과 같은 3가지 경우에서 실험되었다. 실험의 평가를 위해 시간의 변화에 따른 센서의 정보와 바퀴의 속도명령을 획득하여 그 내용을 고찰 하였다.

1) 경우1 : 로봇이(0,0)에서 0도 방향으로 보고있는 상태에서 로봇으로부터 (1m, 0m)에 있는 목표를 추종하도록  $L_{1,ref}$ 와  $L_{2,ref}$ 를 설정한 후, 목표를 임의의 위치로 위치시키고 회전오차 계인을 0으로 설정한 상태에서 추종동작 실행 시 PID계인의 변화가 로봇의 직진 동작에 미치는 영향판단

2) 경우2 : 로봇이(0,0)에서 0도 방향으로 보고있는 상태에서 로봇으로부터 (1m, 0m)에 있는 목표를 추종하도록  $L_{1,ref}$ 와  $L_{2,ref}$ 를 설정한 후, 목표를 임의의 위치로 위치시키고 직진오차 계인을 0으로 설정한 상태에서 추종동작 실행 시 PID계인의 변화가 로봇의 회전 동작에 미치는 영향판단

3) 경우3 : 로봇이(0,0)에서 0도 방향으로 보고있는 상태에서 로봇으로부터 (1m, 0m)에 있는 목표를 추종하도록  $L_{1,ref}$ 와  $L_{2,ref}$ 를 설정한 후, 목표를 임의의 위치로 위치시키고 추종동작 실행 시 직진오차계인과 회전오차계인에 대한 영향판단(PID계인은 고정)

#### 4.1 PID계인이 직진동작에 미치는 영향

경우 1에서는 PID계인이 직진동작에 미치는 영향을 확인하고 그 특성을 파악한다. PID계인의 제어특성은 이미 많은 문헌들에서 찾아볼 수 있으며 그 일반적인 특징은 다음과 같다.

$K_p$  : 상승시간 감소, 너무 클 경우 진동발생

$K_i$  : 정상상태 오차제거, 과도응답특성 저하  
 $K_d$  : 안정성 증가, 오버슈트, 과도응답특성 향상

로봇의 직진제어에 PID게인이 미치는 영향을 파악하기 위해 표1과 같이 파라미터와 목표값을 설정한 후, 목표물을 약 3m전방으로 이동시킨 다음 로봇을 동작시킨다. 표 1에서와 같이 경우 1의 실험에서는 회전오차에 대한 파라미터가 모두 0이므로 회전동작이 수행되지 않고 항상 양쪽바퀴에 같은 명령어가 입력되기 때문에 결과를 확인하기 위한 데이터로  $L_{l_1}$ ,  $L_{l_2}$ 의 패턴이 유사하게 나타난다. 그러므로  $L_{l_1}$ 만을 그래프에 출력하여 동작특성을 파악하였다.

표 1. 경우 1에서의 파라미터 값 및 목표값  
 Table 1. Parameters and reference distances of case 1

	$k_{p1}$	$k_{i1}$	$k_{d1}$	$g_t$	$k_{p2}$	$k_{i2}$	$k_{d2}$	$g_r$	$L_{l_1-ref}$ $L_{l_2-ref}$
실험1	40	0	0	1	0			1.044m	
실험2	10	0	0	1	0				
실험3	20	1	3	1	0				
실험4	20	3	1	1	0				

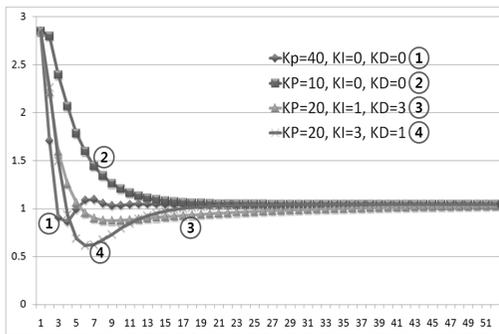


그림 4. PID게인이 직진제어에 미치는 영향  
 Fig. 4 Influences of PID gain for translational control

표 1에서 알 수 있듯이, 로봇은 2개의 센서의 길이  $L_{l_1}$ ,  $L_{l_2}$ 가  $L_{l_1-ref}=1.044$ ,  $L_{l_2-ref}=1.044$  과 같아지도록 이동을 수행하게 된다. 그림 4의 출력 그래프에서 ①과 ②는  $K_p$ 값이 다르고 다른 값들은 모두 0인 실험이다. 두 개의 실험에서 봤을 때 ①의 경우 더 큰 비례게인  $K_p$ 의 값에 의해 ②에서 보다 정상상태에 도달 시간이 짧지만 너무 큰 게인 값으로 인해 약간의 진동이 발

생하는 것을 확인 할 수 있다. ③과 ④의 경우에는는 적분게인  $K_i$ 와 미분게인  $K_d$ 가 더 크거나 더 작은 경우이며 ④의 경우 더 큰 적분게인으로 인하여 오버슈트가 더 크게 발생한 후 빠르게 정상상태로 제어 되며, ③의 경우에는 ④의 경우보다 더 작게 오버슈트가 발생하고 더 큰 미분게인에 의하여 정상상태로의 도달이 더 느림을 확인 할 수 있다.

#### 4.2 PID게인이 회전동작에 미치는 영향

로봇의 회전제어에 PID게인이 미치는 영향을 파악하기 위해 표2와 같이 파라미터와 목표값을 설정하였다. 경우 2의 실험에서는 식4, 8, 9와 관련하여 로봇이 회전오차 보정을 위해 바퀴2개가 서로 반대로 이동하는 형태의 동작이 생성된다. 실험을 위해 그림 5와 같이 로봇의 전방 1m지점에서 센서의 레퍼런스를 설정하고 로봇으로부터 (1m, 1m) 지점에 목표물을 설치하고 그 동작을 실험해 보았다. 로봇의 명령은 항상 회전하는 방향으로만 나타나므로 그림 5의 (b)와 같이 제어동작 후 센서 값이 기준 값인 1.044m로 수렴하는 것이 아니라 센서의 값의 비율이 기준 값의 비율과 일치하도록 회전제어가 수행된다. 다시 이야기 하자면 기준 값을 로봇의 정면방향에서 설정하였기 때문에 두 기준 값은 동일한 크기를 갖는다. 두 기준 값 들의 비가 1:1 이기 때문에 로봇은 두 센서의 값이 1:1이 되는 방향으로 제어가 수행된다.

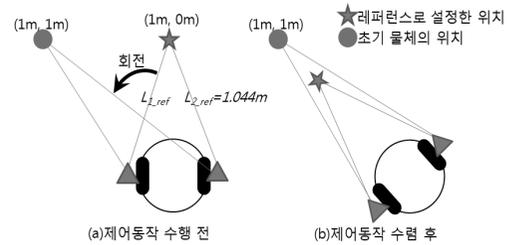


그림 5. 로봇의 회전제어동작 실험  
 Fig. 5 A method for rotational control experiment

표 2. 경우 2에서의 파라미터 값 및 목표값  
 Table 2. Parameters and reference distances of case 2

	$k_{p1}$	$k_{i1}$	$k_{d1}$	$g_t$	$k_{p2}$	$k_{i2}$	$k_{d2}$	$g_r$	$L_{l_1-ref}$ $L_{l_2-ref}$
실험1	0			30	0	0	1	1.044m	
실험2	0			10	0	0	1		

실험3	0	20	3	1	1
실험4	0	20	1	3	1

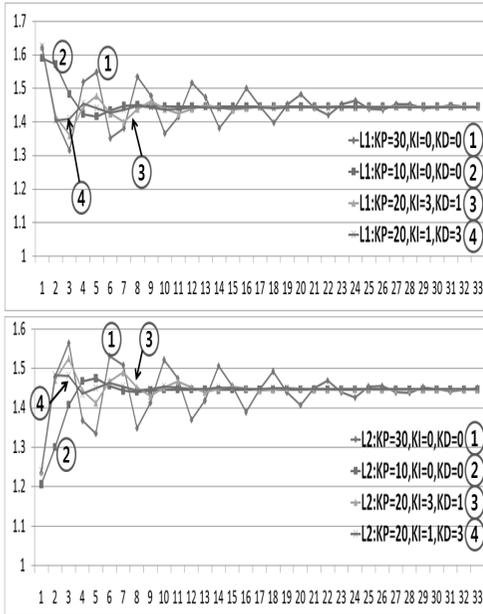


그림 6. PID게인이 회전 제어에 미치는 영향  
Fig. 6 Influences of PID gain for rotational control

표 2에서 알 수 있듯이, 로봇은 2개의 센서의 길이  $L_1$ ,  $L_2$ 의 비율이 같아지도록 회전을 수행하게 된다. 그림 6의 출력 그래프에서 상단의 그래프는 1번 센서(왼쪽)의 길이의 변화를 보여주며, 하단의 그래프는 2번 센서(오른쪽)의 길이의 변화를 보여준다. 그래프에서 ①과 ②는 비례게인  $K_p$ 값이 다르고 다른 값들은 모두 0인 실험이며, ①의 경우 큰 비례게인 값으로 인해 진동이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 2의 경우는 상대적으로 진동의 발생이 적다. ③과 ④의 경우에서는 적분게인  $K_d$ 와 미분게인  $K_d$ 가 더 크거나 더 작은 경우이며 ④의 경우 더 큰 적분게인으로 인하여 ③의 경우보다 회전변화량이 더 큰 것을 확인할 수 있다.

**4.3 직진오차계인과 회전오차계인의 특성실험**

경우 3의 실험에서는 일정한 PID게인이 일정한 상태에서 직진오차계인  $g_t$ 와 회전오차계인  $g_r$ 이 로봇의 동작에 미치는 영향을 고찰한다. 실험을 위해 그림 6과 같이 로봇의 전방 1m지점에서 센서의 레퍼런스를 설정하고 로봇으로부터 (2m, 3m) 지점에 목표물을 설

치하고 그 동작을 실험해 보았다. 로봇에 사용된 파라미터 값 및 목표 값은 표 3과 같다.

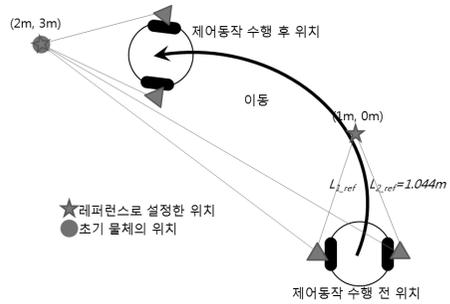


그림 7. 로봇의 회전오차계인, 직진오차계인 실험  
Fig. 7 A Experiment for rotational and translational gain

표 3. 경우 3에서의 파라미터 값 및 목표값  
Table 3. Parameters and reference distances of case 3

	$k_{p1}$	$k_{i1}$	$k_{d1}$	$g_t$	$k_{p2}$	$k_{i2}$	$k_{d2}$	$g_r$	$L_{1\_ref}$	$L_{2\_ref}$
실험1				0.3				0.7		
실험2	20	0.5	1	0.5	20	0.5	1	0.5	1.044m	
실험3				0.7				0.3		

그림 7은 센서1번과 2번의 거리 값의 변화를 보여주며, 그림 8과 9는 로봇의 오도메트리정보를 이용하여 로봇의 방향각의 변화와 로봇의 이동궤적을 각각 보여주는 그래프이다. 그림 7의 그래프에서 ①의 경우가 가장 거리의 변화율이 느리며 ③의 경우가 거리의 변화율이 가장 컸다. 이것은 직진오차계인이 크면 클수록 목표물에 빨리 도달한다는 의미로 해석할 수 있다. 그러나 그림 8과 9의 그래프에서 볼 수 있듯이 ①의 경우가 각도의 변화율이 가장 작으며 ③의 경우가 각도의 변화율이 가장 컸다. 이것은 회전오차계인이 크면 클수록 목표물로의 방향을 잘 잡기 때문에 이동속도는 조금 느린대신 이동거리가 짧아지고 로봇의 전체 회전곡률이 적게 나타난다. 정리하자면 직진오차계인을 크게 하는 것은 로봇의 목표물의 위치를 추종하는데 빠른 응답성을 보이도록 할 수 있지만 직진오차계인이 크면 클수록 목표물과 로봇의 각도변화에 따라 로봇이 매우 큰 곡률을 그리면서 이동하게 된다. 너무 큰 값의 직진오차계인은 로봇이 목표물을 추종하지 못하고 원을 그리면서 발산하게 만든다. 또한 회

전오차계인을 크게 하는 것은 로봇의 목표물의 위치를 추종하는 응답성에는 좋지 않은 영향을 미치지만 로봇과 목표물과의 이동계적과 이동곡률을 짧게 만들어준다. 실제 사용에 있어서는 사용자의 상황에 맞도록 직진오차계인과 회전오차계인을 적절히 조절할 필요가 있다.

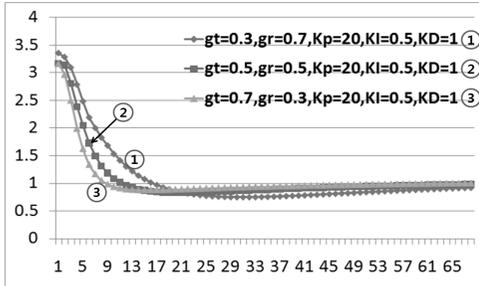


그림 8. 경우 3에서의 거리 값의 변화  
(상 : L1, 하 : L2)

Fig. 8 The distance variation of case 3  
(upper : L1, lower : L2)

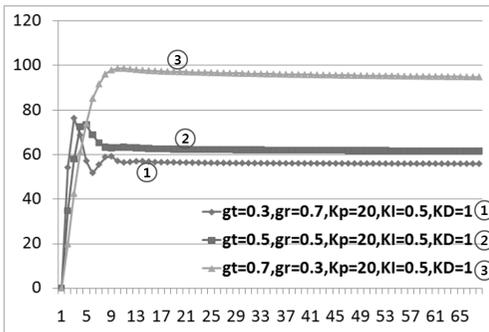


그림 9. 경우 3에서의 로봇의 각도 변화  
(단위 : Degree)

Fig. 9 The robot angle variation of case 3  
(unit : degree)

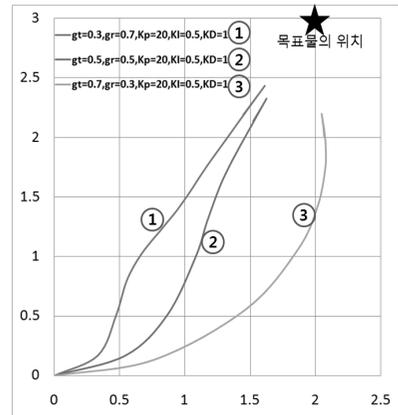


그림 10. 경우 3에서의 로봇의 이동계적  
(단위 : meter)

Fig. 10 The robot trajectories of case 3  
(unit : meter)

## V. 결론

본 논문에서는 이동하는 물체를 초음파 센서를 사용하여 물체에 대하여 일정한 거리와 방향에 로봇을 위치시킬수 있도록 제어하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 특징은 다음과 같다.

- (1) 초음파센서기반의 물체추종시스템 및 구동제어를 구현하여 로봇이 특정 목표를 추종하면서 이동하는 것이 가능하다.
- (2) 레이저 레인지 파인터를 이용하여 추종하는 방식의 경우와 비교하여 물체인식에 대한 불확실성이 개선되었다.
- (3) 직진오차와 회전오차에 대한 PID계인값의 적절한 설정을 통해 로봇의 움직임을 효과적으로 제어가능하다.
- (4) 로봇의 동작조정을 위한 직진오차계인과 회전오차계인을 조정하여 물체추종의 특성을 조절할 수 있으며 직진오차계인이 큰 경우 더 빠른 물체추종성능을, 회전오차계인이 큰 경우 더 안정된 물체추종성능을 갖게 된다.

제안된 방식은 일반적으로 사용되는 저가의 초음파 센서와 RF모듈을 이용하여 구현이 가능하므로 가격적인 면에서 장점을 가지며, 항상 추종물체를 일정위치

에 있도록 제어할 수 있으므로 사람을 따라다니는 가이드 로봇, 무인골프캐디 등의 어플리케이션에 효과적으로 적용될 수 있다. 본 논문에 사용된 초음파센서 모듈이 적용가능한 다른 분야로, 사람의 얼굴에 초음파 송신기를 부착하고 모니터의 좌우 양쪽에 수신기를 장착하여 사용자의 얼굴이동 패턴을 감지하는 휴먼로봇인터랙션[7-8] 어플리케이션이나 로봇끼리 대형을 만들어 이동하는 군사 응용로봇기술[9-11] 등에 사용이 가능하다.

**감사의 글**

- 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [NRF-2009-351-D00013]
- 본 연구는 교육과학기술부, 한국연구재단의 2010년 지역혁신인력양성사업(과제명: 로봇의 자율주행 요소 기술 상용화 및 인력양성, No. 100061)의 지원에 의해 이루어짐

**참고 문헌**

[1] 고낙용, 서동진, 문용선, “방향각 및 거리 정보에 의한 이동 로봇의 실시간 목표물 추종 방법”, 한국지능시스템학회 논문지, 18권, 5호, pp. 632-637, 2008.

[2] <http://www.golfingtrolley.com/>

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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), Venice, Italy, pp. 107-114, 2000.

[6] Skubic, M. Anderson, D. Khalilia M. Kavi-rayani S., “A Sketch-Based Interface for Multi-Robot Formations”, AAAI Mobile Robot Competition 2004, Papers from the AAAI Workshops, San Jose, CA Jul., 2004.

[7] 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.

[8] C. Breazeal, “Social interactions in HRI : the robot view”, Systems, Man, and Cybernetics, PartC : Applications and Reviews, IEEE Transactions on, Vol 34, pp 181-186, 2004.

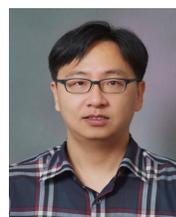
[9] Balch, T. Arkin, R.C., “Behavior-based formation control for multirobot teams”, Robotics and Automation IEEE Transaction on, Vol. 14, pp. 926-939, 1998.

[10] 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.

[11] 배영철, 박종규, “카오스 이론에 기반한 포메이션 제어를 위한 다중 카오스 로봇의 장애물 회피 및 동기화에 관한 연구”, 한국전자통신학회 논문지, 5권, 5호, pp. 534-540, 2010.

**저자 소개**

**서동진(Dong-Jin Seo)**



2000년 조선대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)  
 2002년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)  
 2006년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)  
 2009년~현재 전자부품연구원 박사 후 연구원  
 ※ 관심분야 : 충돌회피, 주행알고리즘, 시뮬레이터



**노성우(Sung-Woo Noh)**

2007년 조선대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

2010년 조선대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2010년~현재 조선대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정

※ 관심분야 : 이동로봇, 경로계획, Microprocessor



**고낙용(Nak-Yong Ko)**

1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

1987년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

1993년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)

1992년~현재 조선대학교 제어계측로봇공학과 교수

※ 관심분야 : 위치추정, 충돌회피, 힘-토크제어, 수중로봇