

실외환경에서의 이동 목표 추종용 로봇의 개발

Development of The Moving Target Tracking Robot in Outdoor Environment

안 철 기, 이 민 철

(Cheol Ki Ahn and Min Cheol Lee)

Abstract : In a park or street, we can see many people jogging or walking with their dogs tracking their masters. In this study, an entertainment robot that imitates a dog's behavior is created. The robot's task is tracking a moving target that is recognized as the master. In order to design the robot, the ecological approach, in which the robot's goals and surroundings heavily influence its design, is used. A three-wheel type locomotion system is designed as the robot's physical structure which can follow a human jogging in outdoor space like a park. A sensor system, which can detect the position of a master for the robot in the outdoor space, is developed. This sensor system consists of a signal transmitter which is at the hand of a master and some sensors which are mounted on the robot. The transmitter emits RF(radio frequency) and ultrasonic signals and the sensors detect the direction and distance from the robot to the transmitter by using the received signals. For the control architecture of the robot, a purely reactive behavior-based method is used in order to increase speed of response. The developed robot is evaluated through experiments conducted in indoor and outdoor environments.

Keyword : entertainment robot, outdoor environment, RF-ultrasonic sensor system, stimulus, reaction, purely reactive behavior

I. 서론

과거 산업용 로봇에 집중되던 로봇 산업은 지능 로봇 기술의 발전으로 점차 그 영역이 애완용 또는 오락용, 군사용, 의료용, 건축용, 홈 서비스용 등 다양한 분야로 확대되고 있다. 특히 애완용 지능 로봇은 일본 소니사의 AIBO 로봇으로 인해 그 시장가치가 입증되고 있으며, 로봇의 형태와 기능에 따라 응용 영역이 더욱 넓어지고 있다[1~4]. 지능 로봇의 형태와 기능은 로봇에 요구되는 행동과 환경조건에 의해 결정된다. 이러한 로봇에 요구되는 행동은 자극에 대해 반응하는 동물의 행동을 모방하는 경우가 대부분이다. 로봇에서 자극을 인지하는 것은 센서이며, 반응을 이루는 것은 구동기가 부착된 물리적인 구조가 된다. 지능 로봇을 설계하는 과정에서 가장 중요한 요소는 요구되는 행동과 환경에 적합한 로봇의 물리적인 구조와 센서이다[5].

본 연구에서는 그림 1과 같이 주인이 조깅하거나 산책할 때에 주인을 쫓아가는 강아지의 행동을 모방한 애완용 이동 로봇을 개발하고자 한다. 이러한 로봇에 요구되는 기본적인 기능은 움직이는 목표를 추종하는 것이다. 이 주제에 관한 많은 연구가 있었으나 실외의 환경에서 사람의 걸음속도(3~6 km/h)로 이동하는 목표물을 추종하는 연구는 없으며, 실내환경에서 1 km/h 이하의 저속에서 목표물을 추종하는 것이 대부분이다[6~10]. 본 연구에서는 저가이면서 실외 환경에서 조깅 또는 산책하는 주인을 쫓아갈 수 있다는 목적에 적합한 로봇의 물리적 구조 및 센서 시스템을 개발하고

이 로봇에 적절한 제어 시스템을 구현하였다.

빠른 속도로 임의의 방향으로 이동하는 사람을 추종해야 하는 로봇은 매우 동적이며, 미래의 경로를 예상하기 힘든 행동을 수행해야 한다. 그리고 로봇이 동작하는 환경은 공원과 같은 실외환경이며 상당히 거친 지표면을 가진 악조건 환경이다. 이러한 조건하에서 로봇의 동작을 제어하기 위해 주위환경을 모델링하고, 로봇의 동적 거동을 해석하는 것은 어려운 작업이므로, 로봇 제어 시스템은 순수한 반사 행동만을 수행하도록 설계하였다. 이 시스템은 센서에서 받아들여진 사람의 움직임이라는 자극의 정보가 추상적인 묘사로 표현되는 행동결정회로를 거치지 않고 바로 구동기에 연결되도록 함으로써 시스템을 단순화시키며, 제어기의 설계가 용이한 장점이 있다[5].

개발된 로봇의 물리적인 구조는 주어진 행동과 환경조건에 적합하도록 삼륜차(tricar) 형태의 바퀴형 구조로 설계하였다. 로봇의 명칭은 'CARTRI'이며, 한국어로는 '까투리'로 발음되어 삼륜차 형태의 애완용 로봇임을 나타내고자 하였다. 로봇의 센서는 실외의 환경에서 주인의 움직임을 검출할 수 있는 성능이 요구된다. 일반적으로 이동로봇의 환경 인식용 센서로는 반사형 초음파 센서와 비전 센서가 사용된다[6~15]. 그러나, 비전 센서는 실외 환경에서의 노이즈와 영상처리 시간으로 인해 야외에서의 동적인 움직임을 검출하기에는 무리가 있다. 반사형 초음파 센서는 여러 사람과 장애물이 존재할 때 주인을 인식하지 못하는 문제를 안고 있다. 본 연구에서는 직접형 초음파 센서와 RF신호를 이용하여, 신호 발신기를 주인이 들고있는 경우, 이 신호를 감지하여 주인의 위치에 대한 방위와 거리정보를 획득할 수 있는 RF-초음파 센서 시스템을 개발하였다. CARTRI 로봇은

논문접수 : 2001. 12. 11., 채택확정 : 2002. 9. 24.

안철기 : 부산대학교 메카트로닉스협동과정(ckiahn@pnu.edu)

이민철 : 부산대학교 기계공학부(mcleee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 교육부 BK21 프로젝트의 지원을 받아 수행되었음.



그림 1. 목표를 추종하는 애완용 로봇.
Fig. 1. Target tracking robot for entertainment.

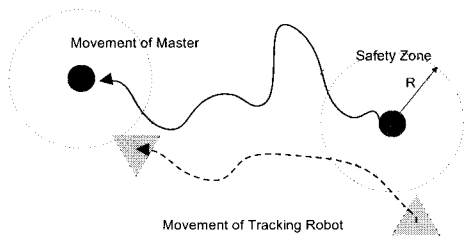


그림 2. 추종 패턴.
Fig. 2. Tracking pattern.

여러 명의 피험자를 대상으로 실내환경과 실외환경의 조건하에서 실험을 수행하였으며, 실험결과를 바탕으로 센서 시스템의 적합성과 로봇의 추종 성능 및 애완용 로봇으로서의 가능성을 검토하였다.

II. 로봇의 설계

1. 로봇 기구부 설계 조건

그림 2는 주인이 조깅이나 산책을 할 때 주인을 추종하는 로봇에 요구되는 로봇의 행동을 도식적으로 보여준다. 로봇의 행동은 주인의 위치가 움직일 때에 같이 따라가는 것이며 주인과의 충돌방지를 위해 반경 R의 근방에 설정한 안전영역(safety zone)보다 가까이 다가가지 않아야 한다. 주인이 정지할 때에는 안전영역에서 로봇이 정지상태가 되어야 한다. 이러한 목적에 부합하는 로봇에 대한 요구조건은 다음과 같다.

- 조깅하는 사람의 이동 속도를 추종할 수 있어야 한다.
- 사람의 선회움직임에 맞게 방향을 선회할 수 있어야 한다.
- 공원과 같은 실외환경에서 동작할 수 있어야 한다.

이와 같은 요구조건들을 만족하기 위해 로봇의 최고속도는 사람의 조깅속도를 추종할 수 있도록 10 km/h 이상이 되어야 하며, 가속능력은 정지상태에서 사람의 보통 걸음 속도인 4 km/h의 속도에 도달하는 시간이 1초 이내가 되어야 하고, 제동능력은 4 km/h의 속도에서 1초안에 정지할 수 있어야 한다. 그리고 사람의 보폭을 고려하면, 로봇이 지름 1 m의 원내에서 회전이 가능해야 하므로, 최소회전반경은 0.5 m 이하가 되어야 한다. 그리고, 흙과 작은 자갈 및 나뭇가지들이 있는 공원과 같은 실외 환경에서 구동하기 위해 최대 높이 2 cm의 요철을 주파할 수 있어야 한다. 요구되는 속도와 동작 환경을 고려할 때 로봇의 무게는 가벼울수록 좋다.

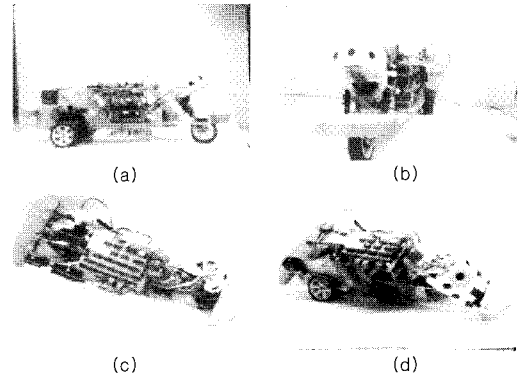


그림 3. CARTRI 로봇의 외형.
Fig. 3. Appearance of CARTRI robot.

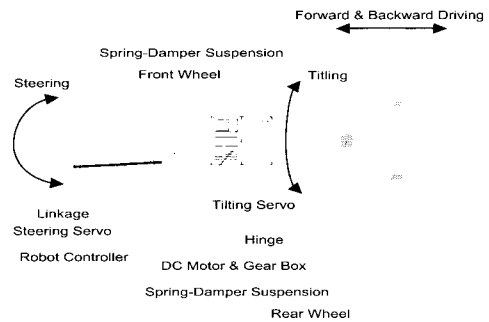


그림 4. 로봇의 물리적인 구조.
Fig. 4. Physical structure of the robot.

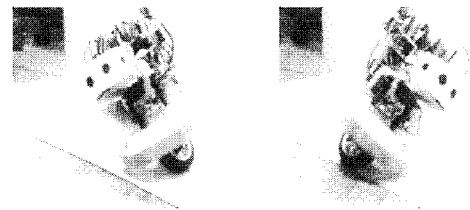


그림 5. CARTRI 로봇의 기울임 동작.
Fig. 5. Tilting of CARTRI robot.

2. 로봇 기구부의 구조

그림 3은 제작된 CARTRI 로봇의 외형을 보여준다. 로봇은 이동방향을 조종하는 한 개의 앞바퀴와 로봇의 추진 동작을 담당하는 두 개의 뒷바퀴로 구성된 삼륜차량의 형태로 설계되었다. 오토바이 형태의 앞바퀴는 최소 선회반경을 줄이고 기계구조를 단순화시키기 위해 선정되었고, 뒷바퀴의 축에는 차동기어(differential gear)가 설치되어 있어 선회동작을 부드럽게 한다. 로봇의 몸체는 무게를 줄이기 위해 섬유강화 플라스틱인 에폭시 수지로 제작되었다. 그림 4는 로봇의 기구 구조를 보여준다. 앞바퀴와 뒷바퀴의 지지축에는 각각 스프링과 유압 댐퍼(damper)로 구성된 충격흡수용 서스펜션(suspension)이 있으며, 앞바퀴에는 오토바이와 같은 구조로 설치되어 있고, 뒷바퀴에는 자동차의 더블위시본(double-wishbone) 구조로 설치되어 있어 실외환경에서의 기동성의 향상을 도모하였다.

표 1. 서보의 제원.

Table 1. Specification of servos.

	Steering (HS-705MG)	Tilting (HS 425BB)
Torque	11.6 kg · cm	3.3 kg · cm
Speed	0.26 sec/60 deg	0.20 sec/60 deg
Voltage	4.8V	4.8V

표 2. 구동 모터의 제원.

Table 2. Specification of driving motor.

RE540	RPM	15100 rpm
	Torque	325 g · cm
	Current	5.93 A
	Voltage	12 V
Gear ratio	12 : 1	

표 3. CARTRI 로봇의 제원.

Table 3. Specification of CARTRI Robot.

Maximum speed	10 km/h
Acceleration time from 0 to 4 km/h	0.5 sec
Deceleration time from 4 to 0 km/h	0.5 sec
Weight	3.4 kg
Length	57 cm
Width	18 cm
Height	21 cm
Steering range	±45°
Tilting range	±30°
Minimum radius of turning	40 cm

서스펜션 기구는 비슷한 중량의 RC자동차에 사용되는 부품들을 사용하였다. CARTRI 로봇은 조향(steering), 전 · 후진(forward-backward driving), 그리고 기울임(tilting) 행동의 3 자유도를 구현하기 위한 세 가지의 구동기를 가지고 있다. 조향과 기울임 구동기로는 위치제어기를 내장한 하이텍사의 서보를 사용한다. 표 1은 사용된 서보들의 제원을 보여준다. 조향용 서보는 4절 링크 구조로 앞바퀴의 방향을 제어한다. 로봇의 선회능력을 보장하기 위해 출력 토크가 높은 것을 선정하였다. 로봇의 좌우경사 행동은 애완용 로봇으로서의 애교나 몸짓을 구현하기 위한 것이며, 설치공간의 문제로 인해 두 개의 서보를 평행하게 연결하여 사용한다. 그림 5는 좌우로 기울이는 행동을 하는 로봇의 모습을 보여준다. 실제 로봇에서 기울이는 동작은 애완견이 잠에서 깨어나서 몸을 푸는 행동을 모사하여 전원이 투입된 초기 구동시에 이루어진다. 추진용 구동기로는 기어감속기를 가진 RE540 모터를 사용하였다. 표 2는 추진용 구동기의 제원을 보여준다. 표 2는 모터가 최대효율일 때의 값이며, 요구되는 속도를 내기 위해 필요한 높은 회전수와 토크의 출력을 보여준다. 실제 로봇에서는 지나친 속도와 소비전류를 억제하기 위해 4.8 V의 배터리 전원을 사용하여 모터를 동작시킨다.

표 3은 제작된 CARTRI 로봇의 제원을 나타내었다. 로봇의 최대속도 값과 가속능력, 제동능력은 실험을 통해 구하였으 며, 사람의 빠른 걸음걸이도 추종이 가능한 속도이다. 그리고, 로봇의 길이보다 선회반경이 작아서 조깅이나 산책하는 사람의 움직임을 충분히 추종 할 수 있다.

III. RF-초음파 센서 시스템을 이용한 거리 및 방향 계측

1. 센서시스템 설계 조건

로봇에 주어진 임무인 추종행동을 수행하기 위해서는 추종하고자하는 목표의 위치를 로봇이 정확하게 파악할 수 있는 센서 시스템이 필수적이다. 이러한 센서 시스템의 설계를 위해서 로봇에 주어진 임무를 분석하고, 동작 환경을 검토해야 한다. 주인이 조깅 또는 산책을 할 때 주인이라는 목표를 추종해야 하는 로봇의 행동조건과 애완용 로봇이라는 전제를 바탕으로 센서의 측면에서 설계조건들을 정리하면 다음과 같다.

- 비접촉식 센서여야 한다.
- 여러 사람들 중에서 주인을 판별해야 한다.
- 비교적 먼 거리에서도 거리를 검출해야 한다.
- 주인이 위치한 방향을 인식해야 한다.
- 실외에서의 운영에서 신뢰성이 있어야 한다.
- 센서 시스템의 크기가 작고, 간단해야 한다.
- 저비용으로 구현이 가능해야 한다.
- 높은 분해능은 필요하지 않다.
- 로봇의 제어가 가능한 샘플링 주파수가 요구된다.

이동로봇에 사용되는 센서들 중에서 위와 같은 요구조건에 가장 가까운 센서는 초음파 센서이다. 일반적으로 이동 로봇에는 반사형의 초음파 센서가 장애물 등의 환경인식에 사용되고 있다. 그러나 이러한 반사형의 초음파 센서는 여러 사람이 모여 있거나 장애물이 있는 경우 주인을 잘 판별하지는 못하므로 추종행동을 수행하진 못한다. 주어진 다른 요구조건들을 만족시키면서 주인을 판별하는 문제를 해결하기 위해서 주인이 물리적인 신호를 발생시키는 발신기를 들고 다니고, 로봇의 센서가 이를 감지하는 구조가 되어야만 한다.

2. RF-초음파 센서시스템의 구조

본 연구에서는 RF신호와 초음파신호를 이용하여 주인이 발신기를 들고 다닐 때 로봇이 이를 추종할 수 있는 RF-초음파 센서 시스템을 개발하였다. 그림 6은 센서 시스템의 구조를 보여준다. 신호 발신기는 RF송신기와 3개의 초음파 송신기를 가지고 있고, 로봇에는 RF 수신기와 5개의 초음파 수신기가 설치된다. 신호 발신기는 일정한 시간간격으로 초음파신호를 발신하며, 이와 동시에 RF신호를 발신한다. RF신호는 전자기파이므로 로봇에 도달하기까지 걸리는 시간은 무시할 수가 있고, 초음파 신호는 소리의 전달속도를 가지고 있다. 로봇이 RF신호를 수신한 시각을 발신기에서 초음파를 송신한 시각으로 간주할 수 있으므로 초음파 신호가 수신된 시각과 RF신호가 수신된 시각의 차이를 이용해 발신기로부터 로봇까지 초음파가 전달되는데 소요되는 시간 T_d 를 구할 수가 있다. 그림 7은 센서 시스템에서 사용되는 신호들의 시간에 따른 변화를 보여준다. 발신기와

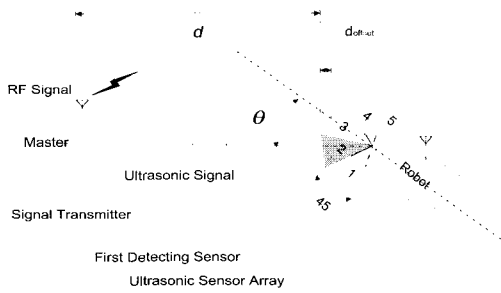


그림 6. 센서 시스템의 구조.
Fig. 6. Structure of the sensor system.

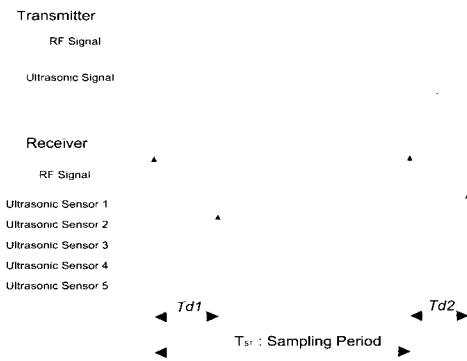


그림 7. 센서 신호.
Fig. 7. Sensor signals.

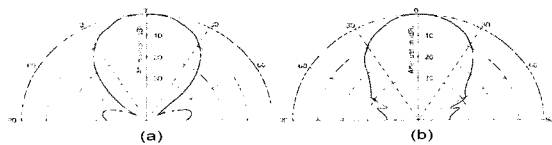


그림 8. (a)수신기와 (b)송신기의 지향특성.
Fig. 8. Directivity in sensitivity of (a) receiver and (b) transmitter.

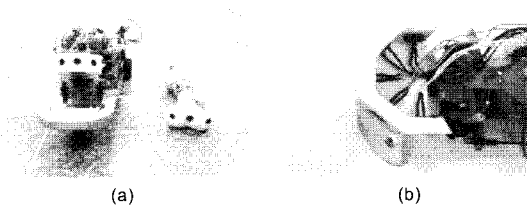


그림 9. 센서 시스템의 외관.
Fig. 9. Appearance of the sensor system.

로봇 사이의 거리 d 는 음속 v_s 를 주면 (1)에 의해 구해진다.

$$d = v_s T_d \quad (v_s = 340 \text{ m/s}) \quad (1)$$

로봇에서 발신기가 위치한 곳의 방향 θ 를 인식하기 위해서는 초음파 센서의 지향특성(directivity in sensitivity)을 이용한다. 로봇에 사용된 초음파 센서는 MURATA사의

MA40B8S(송신)와 MA40B8R(수신)이며, 그림 8은 이들의 지향특성을 보여준다. 초음파송신기나 수신기나 모두 $\pm 30^\circ$ 지점에서 감도가 10%이하로 감소함을 보여주고 있다. CARTRI 로봇에서는 이러한 지향 특성을 이용하여 방향을 검출하기 위해 5개의 초음파 센서를 그림 6과 같이 45° 간격으로 배열하였다. 지향특성으로 인해 5개의 센서 중에서 발신기와 마주보고 있는 센서에서 획득되는 신호의 강도가 가장 크게 된다. 그리고 센서의 배치구조상 발신기를 정면에 두는 센서와 바로 옆의 센서는 거리차이가 존재한다. 그림 6에서 d_{offset} 은 2번 센서와 발신기 사이의 거리와 3번 센서와 발신기 사이의 거리의 차이를 나타낸다. 이러한 센서의 지향특성과 각각의 센서와 발신기 사이의 거리의 차이로 인해 그림 7과 같이 각 센서마다 신호가 상승하는 시간이 각각 다르게 되며, 방향이 크게 틀린 센서는 신호를 받지 못하게 된다. 따라서, 5개의 센서 중에서 가장 빨리 신호의 상한 임계값에 도달하는 센서를 발신기와 마주하고 있는 센서로 간주할 수 있다. 이 방법은 발신기가 위치한 방향을 5개의 수신기가 향하는 방향($-90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$)으로만 인식할 수 있다는 단점이 있다. 그러나, 본 연구에서 추구하는 로봇의 추종행동은 정확한 운동궤적을 필요로 하지 않고, 주인의 움직임에 따른 반응 행동만을 유발하는 것이므로 큰 문제가 되지 않는 것으로 판단된다. 그림 9 (a)는 제작된 로봇과 발신기의 모습이며, 그림 9 (b)는 센서의 모습이다.

센서 시스템의 샘플링 주기는 그림 7에서 보이는 바와 같이 신호발신기에서 신호를 발생시키는 시간 간격이 된다. 초음파 센서의 측정거리가 길어지면 소리의 전달시간이 많이 걸리므로 샘플링 주기를 결정하는 요소는 초음파 센서의 측정거리가 된다. 본 연구에서 사용된 초음파 센서의 매뉴얼상의 감지거리는 6m이나, 실제 실험에서는 10m에서도 검출이 되었다. 그러나 거리가 멀어질수록 초음파 센서의 신호검출의 실패율이 매우 높아진다. 사람의 예상할 수 없는 움직임을 추종해야 하는 로봇에서는 높은 성공률의 신호검출이 중요한 요소가 되므로, 감지 거리를 5m로 제한한다. 5m 이상의 거리가 검출될 때는 신호를 무시하며, 로봇은 주인을 잃어버린 것으로 간주한다. 센서의 샘플링 주기는 초음파 신호가 전달되는 거리에 따라 결정된다. 초음파 신호가 5m를 이동하는 시간은 약 14.7ms이므로 샘플링 주기는 이보다 길어야 한다. 그리고 실내 환경에서 벽과 같은 장애물에 의한 반사파로 인해 다음 샘플링에서 센서가 반사된 초음파 신호를 먼저 검출할 수가 있다. 이를 방지하기 위해 샘플링 주기 T_{ST} 는 센서의 최대 감지거리를 이동하는 시간보다 길도록 (2)를 만족해야 한다. 실험에 의해 획득된 센서의 최대 감지거리인 10m를 이동하는 시간은 약 29.4ms이며 안전율을 고려하여 센서 시스템에 적용된 샘플링 주기는 40ms이다.

$$T_{ST} > \frac{l}{v_s} \quad (l: \text{센서의 최대 감지거리}) \quad (2)$$

센서는 그림 9 (b)에 보이듯이 로봇의 앞바퀴 구조물에 고정되어 있다. 따라서 센서는 조향 각도와 같이 움직인다. 5

개의 센서배열은 그림 6에서 보이는 바와 같이 하나의 센서 감지 각도가 45°이므로, ±112.5°의 감지 범위를 가진다. 따라서 센서의 후방지역은 사각지대가 되므로, 주인이 로봇의 뒤쪽으로 급격히 이동한 경우에는 로봇이 신호를 잃어버리게 된다. 그러나, 로봇의 동작 시에는 주인을 향해 조향을 하게 되므로, 로봇의 몸체를 기준으로 한 센서의 감지 범위는 조향각의 운동범위인 ±45°가 더해진 ±157.5°가 된다. 따라서 실제로 로봇이 추종 행동을 하는 중에는 로봇의 운동 능력을 벗어나지 않는 범위 내에서 주인이 움직일 경우 센서의 사각지대에 주인이 위치할 경우는 거의 없다.

IV. 제어 시스템

1. 제어 시스템 설계 조건

반응 행동 기반 로봇에서 제어 시스템의 설계는 요구되는 로봇의 행동과 제작된 로봇의 기구학적 형태 및 동적 특성과 센서의 특성에 의해 결정된다. CARTRI 로봇에 요구되는 행동은 그림 2에서 보여주듯이 주인이 움직임을 추종하되 주인과의 충돌을 방지하기 위해 안전영역 내에 머물러야 하는 것이다. 이러한 행동은 주인이 움직인다는 자극에 대하여, 로봇이 반응하여 추종하는 순수한 반응 행동으로 해석할 수 있다. 순수한 반응 행동을 수행하는 제어 시스템에서 제어 주기마다의 구동기 동작은 그 시점에서의 센서 자극신호에 의해서만 활성화되며 로봇과 환경의 추상화된 모델에 근거한 지식에 의해 간섭을 받지 않는다. 이러한 순수한 반응 행동의 가장 큰 특징은 반응 행동을 보이기 위한 각각의 구동기의 동작에 필요한 정보를 센서가 충분히 제공할 때, 센서와 구동기가 거의 일대일 대응의 형태로 구성된다는 것이다. 따라서 로봇 제어 시스템이 단순화되므로 개발을 용이하게 하고, 응용성을 높일 수 있다[5]. 그림 10은 제작된 로봇 제어 시스템의 구조를 보여준다. 순수한 반응 행동만을 제어하므로, 시스템의 구조가 간단하고, 연산능력이 크게 필요하지 않아서 8비트 마이크로프로세서인 ATMEL사의 89C51을 사용하여도 충분한 기능을 수행할 수 있다.

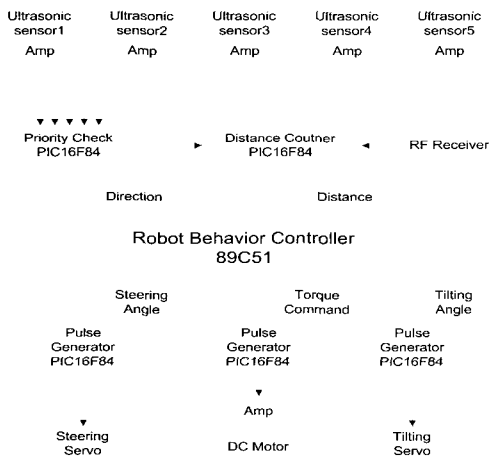


그림 10. 로봇제어기의 구성도.
Fig. 10. Construction of robot controller.

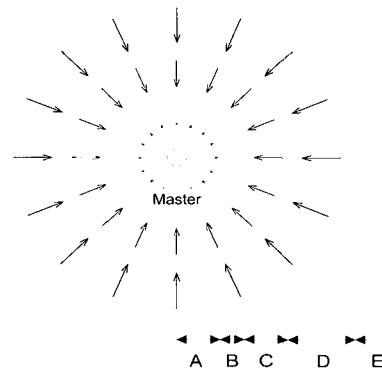


그림 11. 로봇의 반응 행동.
Fig. 11. Reaction behavior of the robot.

2. 반응 행동

순수한 반응 행동을 수행하는 제어 구조의 설계를 위해서는 센서가 감지한 자극에 대해 로봇에 요구되는 반응 행동을 분석하고 이 반응 행동을 보이기 위해 로봇의 각각의 구동기가 어떤 동작을 수행해야 하는지를 판단해야 한다. 그리고 센서의 정보와 각각의 구동기의 동작간의 대응관계를 찾아야 한다.

자극에 대한 반응 행동은 주인을 중심으로 하는 포텐셜 필드(potential field)의 형태로 표현할 수 있으며 그림 11은 설정한 로봇의 반응 행동을 보여준다. 그림 11에서 화살표의 방향은 로봇의 진행방향(orientation)을 표현하며, 화살표의 길이는 추진력(strength)을 표현한다. 로봇의 반응 행동은 주인과의 거리에 따라 총 5개의 영역으로 나누어 나타내었다. A 영역은 주인과 아주 가까운 영역이므로 바깥쪽으로 나가려는 힘을 주게 된다. B 영역은 안전 영역으로서 주인과 로봇간의 거리가 가장 이상적인 곳이고, 로봇의 최종 목표가 되므로, 로봇을 정지시킨다. C 영역은 조금 멀리 떨어진 영역이고, D영역은 주인에게서 멀리 떨어진 영역으로 주인을 향해 강한 힘으로 이동하도록한다. E영역은 센서의 감지 거리 바깥으로서 로봇이 이 영역에 위치하게 되면 주인을 잃어버린 것으로 간주하여 정지하게 된다.

3. 제어 규칙 설계

그림 4에서 도시된 CARTRI 로봇의 물리적인 구조를 살펴보면 진행방향을 결정하는 구동기는 조향용 서보이고, 추진력을 결정하는 것은 추진용 모터이다. 그림 10에 도시된 제어 시스템의 구조에서 조향을 담당하는 서보의 입력은 위치 명령이고, 로봇의 추진력을 담당하는 DC 모터용 전류

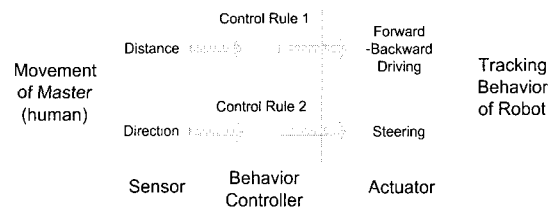


그림 12. 로봇 구조.
Fig. 12. Robot architecture.

증폭기의 입력은 토크 명령이다. 제어기에서 수행해야 할 일은 항상 로봇이 주인을 향해 있도록 하기 위해 조향 각도를 제어하는 것과 주인과의 거리에 따라 추진용 모터의 토크를 제어하는 것이다. 주인이 위치한 방향(direction)을 나타내는 센서정보는 조향 각도의 제어에 이용하고, 주인과의 거리를 나타내는 센서정보는 추진용 모터의 토크를 제어하는데 사용할 수 있다. 이러한 구조에서 설계해야 할 제어기의 요소는 센서 정보와 구동기의 입력간의 대응관계를 결정하는 것으로 압축할 수 있으며, 이를 제어 규칙(control rule)이라 한다. 그림 12는 설계된 로봇 구조를 보여준다. 제어규칙 1은 센서의 거리정보를 이에 대응하는 추진용 모터의 토크명령으로 변환하는 규칙이다. 그리고, 제어규칙 2는 센서의 방향정보를 이에 대응하는 조향용 서보의 각도 명령으로 변환하는 규칙이다.

제어 규칙을 이론적으로 설계하기 위해서는 로봇의 기구학적 특성과 동특성, 그리고 환경의 모델이 정확하다는 전제가 필요하다. 그러나 실외 환경의 모델을 정확히 설정한다는 것은 거의 불가능한 일이며, 실외 환경용으로 제작된 로봇의 경우에 동특성을 파악한다는 것도 어려운 일이다. 반응 행동을 수행하는 로봇의 제어규칙 설계는 대부분이 실험을 토대로 하여 시행착오를 통해 이루어진다[5]. 따라서 로봇의 설계 시에 요구되는 행동에 적절한 기구학적 설계와 센서의 적절한 배치를 통해 설계해야할 제어 규칙의 수를 줄이는 것은 개발작업과 로봇의 성능의 측면에서 의미 있는 일이다.

실험적 방법에 의해 획득된 CARTRI 로봇의 제어규칙을 표 4와 표 5에 나타내었다. 표 4는 주인과의 거리정보와 추진 모터의 전류증폭기에 들어가는 입력의 대응 관계를 보여준다. 거리정보에 의해主人的 위치가 알려지면 이에 적절한 힘의 크기가 주어지게 된다. 여기서 A 영역에서의 움직임은 조향각을 바꾸어 로봇의 몸을 돌려나오는 것이 아니라 로봇을 후진시키는 동작으로 이루어진다. 영역의 범위와 이에 따른 추진력의 범위는 주인이 빠른 움직임의 변화에 대해 로봇의 빠른 응답을 목표로 실험을 통해 구해진 값들이다.

표 4. 추진력의 제어규칙.

Table 4. Control rule for strength.

Section	A	B	C	D	E
Distance (m)	0~0.6	0.6~1	1~2.5	2.5~5	5~∞
Strength (%)	60	0	80	100	0

표 5. 조향의 제어 규칙.

Table 5. Control rule for orientation.

Sensor Angle	1	2	3	4	5
90°	90°	45°	0°	-45°	-90°
45°	45°	45°	45°	22.5°	0°
22.5°	45°	45°	22.5°	0°	-22.5°
0°	45°	22.5°	0°	-22.5°	-45°
-22.5°	22.5°	0°	-22.5°	-45°	-45°
-45°	0°	-22.5°	-45°	-45°	-45°

표 5는 센서의 방향정보와 조향 각도의 대응관계를 보여준다. 조향 각도의 부호는 위에서 보았을 때 반시계 방향이 양(+)이고, 시계방향이 음(-)이다. 센서가 앞바퀴의 구조물에 고정되어 같이 움직이므로 현재의 조향 각도와 센서에서 얻어진 방향정보를 조합해서 조향 각도 명령을 구하게 된다. 예를 들면 현재의 조향 각도가 45°인 경우 센서배열중 1번 센서가 신호를 받으면 로봇 몸체를 기준으로 1번 센서가 배치된 각도인 135°에 주인이 위치하지만 더 이상 조향각을 움직이게 할 수는 없으므로 명령은 45°가 된다.

V. 실험

개발된 로봇의 성능을 실험을 통해 평가한다. 개발된 로봇의 추종행동에 대한 성능을 정량적으로 평가하기 위해 센서 시스템의 방향정보와 거리정보 및 로봇의 조향각 정보와 속도정보를 이용한다. 실험자가 실내와 실외에서의 환경에서 직선경로와 왼쪽으로 90°로 꺾인 직각경로를 따라 움직일 때의 두 가지의 운동패턴에 대해 추종 실험을 수행하였다. 그림 13은 실내환경에서 직각경로를 따라 이동하는 추종실험을 보여준다. 그림 14는 실외환경에서의 임의의 움직임에 대한 로봇의 추종실험을 보여준다. 실외환경은 바닥이 흙과 작은 자갈들과 나뭇잎과 나뭇가지로 덮여있는 공원이다.

그림 15는 실내 복도 환경에서 실험자가 직선경로를 따라 약 3 km/h의 평균속도로 이동할 때의 로봇의 조향각의 변화를 보여준다. 표 5의 제어규칙에 따른 조향 명령(steering command)이 서보 모터에 인가되어 조향각(steering angle)을 제어하는데, 약 0.2초의 지연시간이 지난 뒤에 조향각이 목표치에 도달함을 볼 수있다. 그림 16은 그림 15와 동일한 실험에서의 시간에 따른 센서의 거리정보와 표 4의 추진력 제어규칙에 따른 추진력 명령(strength command), 그리고 이에 따라 동작하는 로봇의 속도를 표시한다. 속도 그래프를 살펴보면, 처음부터 0.5초까지 80% 추진력 명령으로 약 4 km/h의 속도까지 가속시킴을 볼 수가 있으며, 이는 사람의 평균 걸음 속도 4 km/h까지 0.5초만에 가속시킬 수 있음을 의미한다. 그림 16에서 모터의 회전방향이 바뀌는 경우 속도 그래프가 급격히 변화하는 현상을 볼 수 있는데 이것은 감속기어와 차동기어에 존재하는 큰 기어 백래쉬가 원인인 것으로 판단된다. 그림 16에서 센서의 거리정보를 살펴보면 그림 11의 B영역과 C영역의 경계선인 1m 근방에서 거리가 유지되고 있음을 알 수 있고 이는 로봇이 직선으로

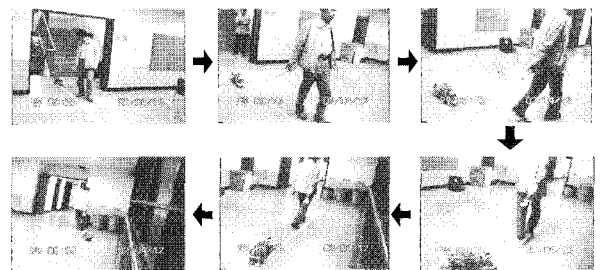


그림 13. 실내환경에서의 추종 실험.

Fig. 13. Indoor tracking experiment.

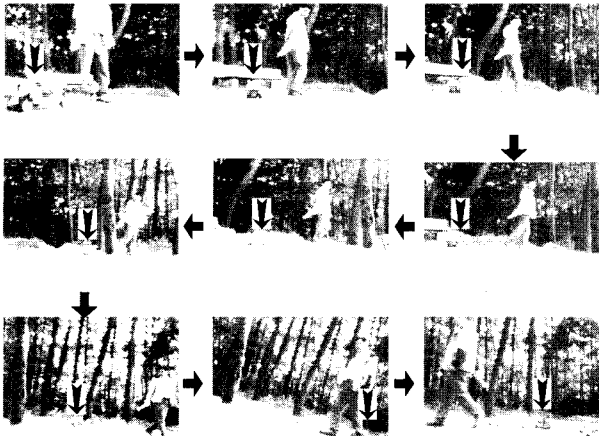


그림 14. 실외환경에서의 추종 실험.
Fig. 14. Outdoor tracking experiment.

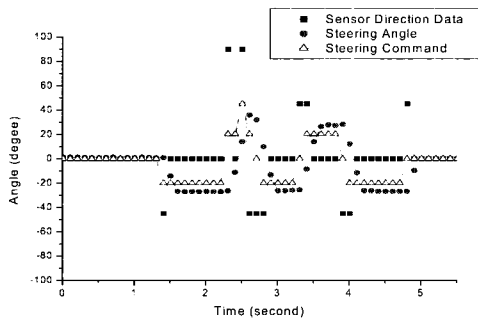


그림 15. 센서 방향정보에 따른 로봇의 조향각.
Fig. 15. Steering angle with direction data.

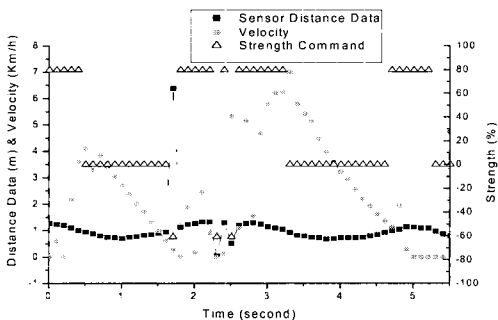


그림 16. 센서 거리정보에 따른 로봇의 속도.
Fig. 16. Velocity of robot with distance data.

건고 있는 사람을 계속 추종하고 있다는 사실을 의미한다. 그림 16에서 거리정보가 급격히 변화한 곳이 세 군데 있으며, 거리가 6m 이상으로 표시된 곳은 센서가 발신기 위치를 검출하지 못한 경우에 센서 시스템이 제어기에 보내기로 약속된 값이며, 거리 정보가 갑자기 줄어든 경우는 RF 신호 및 초음파 신호 검출시의 노이즈인 것으로 판단된다. 그림 17은 그림 15의 거리정보와 그림 16의 로봇의 조향각을 극좌표계상에서 도시한 것이다.

그림 17은 앞으로 걸어가는 사람의 뒤쪽에서 로봇이 추종하는 것으로 가정하여, 방위각 0°를 사람의 전진방향으로 설정하고, 사람의 후방인 180°를 기준으로 로봇의 조향각을 표시한다. 로봇이 사람을 계속 추종하고 있다면, 조향각은 항상 사람이 있는 방향으로 향해진다고 가정할 수 있으므로, 그림 17은 발신기의 위치, 즉 사람의 위치를 중심으로 하여 로봇의 상대위치를 어느정도 표현한다고 할 수 있다. 그림 18은 실외 환경에서 약 4 km/h의 평균속도로 직선이 동했을 때의 실험결과이다. 그림 17과 18을 비교하면 실내 환경에서는 조향각의 변화가 작고, 거리의 변화가 작으므로 로봇의 추종이 부드럽게 이루어짐을 볼 수 있고, 실외환경에서는 오픈과 자갈로 인해 바퀴의 미끄러짐 현상이 크고, 자갈과 작은 나뭇가지등으로 인해 로봇의 요동이 크므로, 조향각의 변화가 심하고, 거리의 변화폭도 실내환경보다 큼을 볼 수 있다. 그러나 거리 2m의 범위내에서 잘 따라옴을 볼 수 있다.

그림 19는 실내환경에서 직각경로를 약 4 km/h의 평균속도로 이동한 경우이며, 그림 20은 약 6.5 km/h의 평균속도로 이동한 경우이다. 4 km/h의 보통 걸음 속도에서는 거리 1 m 근방에서 따라옴을 볼 수가 있고, 6.5 km/h의 빠른 걸음 속도에서는 거리 1.5 m 근방에 머물러 있음을 볼 수가 있다. 이는 이동속도가 빠를수록 로봇의 가속능력의 한계로 인해 로봇이 약간 뒤쳐져서 따라오는 현상을 나타내는 것이다. 그림 21과 그림 22은 실내에서 직각경로를 약 6.5 km/h의 속도로 이동할 때 로봇이 추종행동이 실패한 경우의 실험결과이다.

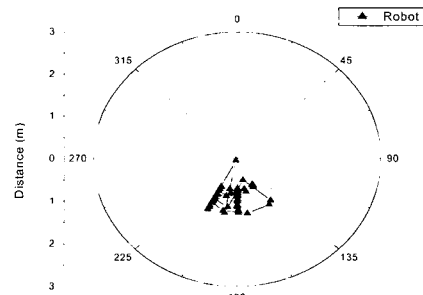


그림 17. 실내에서의 로봇의 추종행동.
Fig. 17. Indoor tracking behavior.

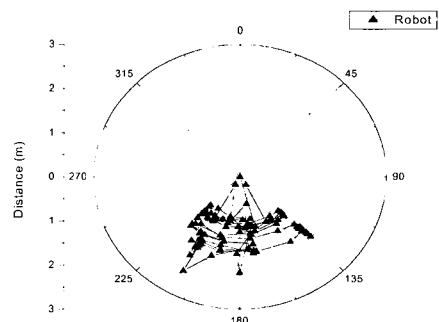


그림 18. 실외에서의 로봇의 추종행동.
Fig. 18. Outdoor tracking behavior.

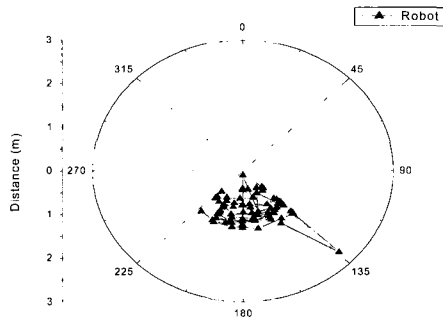


그림 19. 4 km/h에서의 추종행동.
Fig. 19. Tracking behavior at 4 km/h.

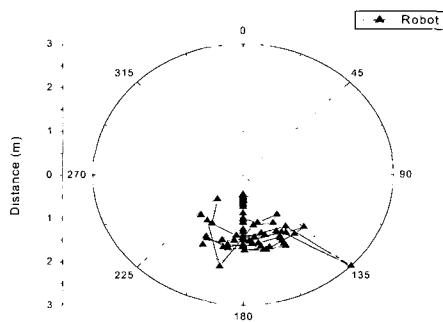


그림 20. 6.5 km/h에서의 추종행동.
Fig. 20. Tracking behavior at 6.5 km/h.

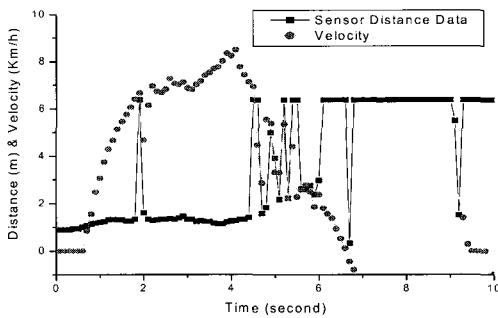


그림 21. 추종실패시의 거리정보.
Fig. 21. Distance when tracking failure.

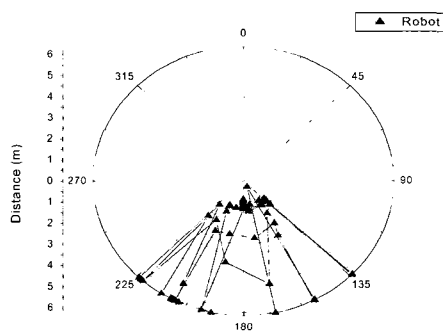


그림 22. 추종행동의 실패.
Fig. 22. Failure of tracking behavior.

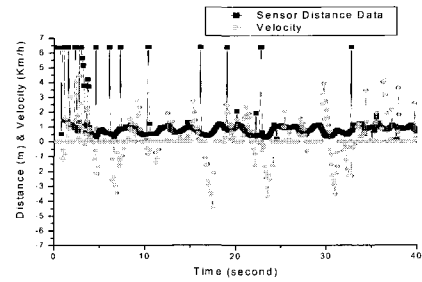


그림 23. 지그재그 운동시의 거리정보.
Fig. 23. Distance when zigzag movement.

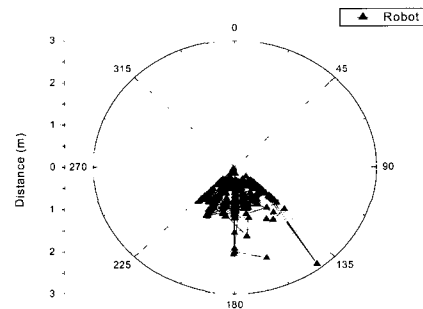


그림 24. 지그재그운동시의 추종행동.
Fig. 24. Tracking behavior when zigzag movement.

그림 21은 거리정보와 로봇의 속도를 나타낸다. 최대 9 km/h까지 속도가 증가하다가, 신호를 놓치면서 속도가 떨어져서 결국 추종에 실패하는 현상을 볼 수가 있다. 추종이 실패하는 경우는 속도가 빠를 때 발신기의 흔들림으로 인해 순간적으로 신호를 놓쳐서 감속하게 되면, 다시 신호가 들어와도 속도가 떨어진 상태에서 속도를 증가시키는 도중에 사람이 센서의 감지범위를 벗어나게 되어 발생한다.

그림 23과 24는 실외환경에서 사람이 임의의 지그재그 운동을 할 때의 실험결과이다. 그림 23에서 거리정보를 살펴보면, 지그재그 운동의 경우에 신호를 놓치는 경우가 많이 발생하지만 실제로 센서의 감지영역을 벗어날 정도로 이동거리가 멀지 않으므로 추종행동을 성공적으로 수행함을 볼 수가 있다.

VI. 결론

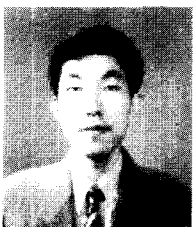
본 연구에서는 조깅이나 산책 시에 주인을 쫓아다닐 수 있는 애완용 로봇을 개발하였다. 이를 위해 로봇에 요구되는 행동과 환경조건을 고려하여 로봇의 물리적인 구조, 센서 시스템, 그리고 제어 시스템의 설계를 수행하였다. 실외 환경에서 사람이 빠르게 걸을 때의 속도와 움직임에도 위치를 검출할 수 있도록 RF신호와 초음파 센서를 이용한 거리 및 방향 계속 센서 시스템을 개발하였고, 공원과 같은 실외 환경에서 사람의 속도와 움직임을 추종할 수 있는 로봇의 물리적인 구조로서 삼륜 차량형 이동 로봇을 개발하였다. 로봇의 제어시스템은 로봇의 물리적인 구조와 센서 시스템의 특성을 고려하여 주인의 움직임이라는 자극에 대해 주인을 추종한다는 순수한 반응 행동을 수행하도록 설계하였다.

개발된 로봇은 실험을 통해 그 성능을 평가하였으며, 평가 대상은 로봇의 종합적인 성능인 이동 목표물의 추종 성능이다. 실험은 실내와 실외환경에서 수행하였고, 실험결과 넓은 복도와 같은 실내조건에서 이동 경로가 90°로 바뀌는 직각 경로에서도 6 km/h의 빠른 걸음속도까지 성공적으로 추종행동을 수행하였다. 실외환경에서 흙과 작은 자갈들로 인한 바퀴의 미끄러짐과 자갈과 나뭇가지 등의 의한 로봇의 흔들림으로 인해 실내 환경에서보다 추종행동시의 조향각 변화나 속도 변화가 크지만 사람의 빠른 걸음속도에서도 추종행동을 수행하였다. 이동속도가 6 km/h이상일 때, 로봇이 순간적으로 센서 신호를 놓치게 되면 추종행동이 실패하는 경우가 발생하였고, 보통 걸음 속도에서는 로봇이 장애물에 막히는 경우가 아니라면 순간적으로 센서신호를 놓치거나 일시적인 노이즈가 존재해도 성공적으로 추종행동을 수행하였다.

향후 연구 과제로는 장애물도 인식하도록 센서 시스템의 개선하는 것과 센서 신호를 검출하지 못한 경우, 즉 주인을 잃어버리는 등의 경우에 대해 반응하는 행동이 필요하다. 실제로 로봇이 실외, 실내에서 이동하는 경우 장애물과 마주치는 일이 많이 일어나고, 센서의 신호를 순간적으로 놓치는 일이 많이 발생할 수가 있으므로, 장애물의 인식과 로봇의 다양한 반응 행동에 관한 연구가 추가적으로 이루어질 때 애완용 로봇으로서의 가치를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] M. Fujita, "Digital creatures for future entertainment robotics," *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 801-806, 2000.
- [2] G. S. Hornby, S. Takamura, J. Yokono, O. Hanagata, T. Yamamoto, and M. Fujita, "Evolving robust gaits with AIBO," *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 3040-3045, 2000.
- [3] K. A. McIsaac, A. K. Das, J. M. Esposito, and J. P. Ostrowski, "A hierarchical, modal approach to hybrid systems control of autonomous robots," *Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1020-1025, 2000.
- [4] Y. Kuroki, "A small biped entertainment robot," *2001 IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Science*, pp. 3-4, 2001.
- [5] R. C. Arkin, *Behavior-based robotics*, MIT Press, U.S.A., 1998.
- [6] R. C. Luo, T. M. Chen, and K. L. Su, "Target tracking using hierarchical grey-fuzzy motion decision-making method," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 31, No. 3, pp. 179-186, May, 2001.
- [7] R. C. Luo and T. M. Chen, "Autonomous mobile target tracking system based on grey-fuzzy control algorithm," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 47, No. 4, August, 2000.
- [8] T. C. Wang and P. K. Varshney, "A tracking algorithm for maneuvering targets," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 29, No. 3, July, 1993.
- [9] K. C. C. Chan, V. Lee, and H. Leung, "Robust target tracking using a fuzzy filter," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 4464-4467, 1995.
- [10] L. Li, D. Cochran, and R. Martin, "Target tracking with an attentive foveal sensors," *Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 182-185, 2000.
- [11] A. M. Sabatini, "Ultrasound-based active hearing techniques for tracking and identification of objects," *Proceedings of the 1992 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, pp. 48~53, 1992.
- [12] L. Cahut, K. P. Valavanis, and H. Delic, "Sonar resolution-based environment mapping," *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 2541-2547, 1998.
- [13] J. Budenske and M. Gini, "Why is it so difficult for a robot to pass through a doorway using ultrasonic sensors," *Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3124-3129, 1994.
- [14] F. J. Toledo, J. D. Luis, L. M. Tomas, M. A. Zamora, and H. Martinez, "Map building with ultrasonic sensors of indoor environments using neural networks," *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 920~925, 2000.
- [15] N. Harper and P. McKerrow, "Recognizing plants with ultrasonic sensing for mobile robot navigation," (*Eurobot '99*) *1999 Third European Workshop on Advanced Mobile Robots*, pp. 105-112, 1999.



안철기

1972년 3월 14일생. 1995년 부산대학교 기계공학과 졸업. 동대학 석사(1997). 1997년~현재 동대학 박사과정. 관심 분야는 행동 기반의 지능로봇 설계 및 제어, 이족보행로봇.



이민철

1960년 8월 6일생. 1983년 부산대학교 기계공학과 졸업. 쓰쿠바 대학교 대학원 석사(1988). 동대학 박사(1991). 1991년~현재 부산대학교 기계공학부 교수. 주관심분야는 시스템 규명, 로봇제어, 메카트로닉스, 지능로봇, 마이크로

시스템 제어.