

CARTRI 로봇의 목표물 검출과 장애물 검출을 위한 RF-초음파 센서 시스템 개발

Development of an RF-Ultrasonic Sensor System to Detect Goal and Obstacle for the CARTRI Robot

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 chasing their masters. In the previous study, an entertainment robot, CARTRI that imitates the dog's behavior was created. The robot's task was chasing a moving goal that was recognized as the master. The physical structure of the CARTRI robot was three-wheel type locomotion system. The sensor system which could detect the position of the master in the outdoor space, was consists of a signal transmitter which was held by the master and five ultrasonic receivers which were mounted on the robot. In the experiment, the robot could chase a human walking in outdoor space like a park. But it could not avoid obstacles and its behavior was only goal-chasing behavior because of the limit of the sensor system.

In this study, an improved RF-ultrasonic sensor system which can detect both goal and obstacle is developed in order to enable the CARTRI robot to carry out various behavior. The sensor system has increased angle resolution by using eight ultrasonic receivers instead of five in the previous study. And it can detect obstacle by using reflective type ultrasonic sensors. The sensor system is designed so that detection of goal and obstacle could be conducted in one sampling period. The performance of the developed sensor system is evaluated through experiments.

Keyword : entertainment robot, RF-ultrasonic sensor system, goal detection, obstacle detection

I. 서론

1970년대에 싹튼 로봇기술은 80년대에 산업용 로봇으로 성공을 거뒀지만, 90년대에는 포화에 가까운 현상이 나타나 21세기가 시작된 지금은 새로운 응용분야가 모색되고 있다. 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 SONY 사의 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 결정되며, 일반적으로 자극에 대해 반응하는 동물의 행동을 모방하여 연구되어지고 있다. 외부 환경으로부터의 자극을 인식하는 센서 시스템은 지능 로봇의 행동제어 기술에 있어 가장 핵심적인 부분이다. 최근 연구되어지는 지능 로봇의 행동양식은 목표물의 추종과 장애물의 회피라는 두 가지의 기본적인 행동에 기반을 두고 다양한 형태를 구현하고 있다. 이를 위한 목표물의 검출과 장애물의 검출이라는 두 가지 기능은 지능로봇의 환경인식 센서 시스템에 필수적으로 요구되어지는 요소가 된다[5~7]. 이러한 센서 시스템의 사양은 로봇의 목적과 환경조건에 의해 결정되며, 센서 시스템의 특성에 따라 로봇의 행동 제어 방식이 결정된다.

본 연구에서는 주인이 조깅하거나 산책할 때에 주인을 쫓아가는 강아지의 행동을 모방한 애완용 지능 로봇에 적합한 센서 시스템을 개발한다. 기존의 애완용 지능 로봇들이 실내 환경을 기준으로 하여 운동의 폭과 속도가 작은 데 비하여, 본 연구의 대상 로봇은 실외환경에서 사람의 빠른 움직임을 추종하는 동적인 행동을 수행한다. 이러한 조건에서 목표물의 검출과 장애물의 검출을 수행하는 적합한 목표물 검출 센서시스템은 기존의 다른 연구들과는 달리, 실외조건에서 빠르게 움직이는 목표물인 사람의 위치를 신뢰성 있게 검출할 수 있어야 하며, 시스템이 간단하고 저비용으로 구현이 가능할 것이 요구된다. 기존의 이동 로봇의 환경 인식 및 제어 연구들은 주로 반사형 초음파 센서를 사용하여 벽 등의 물체를 검출하는 방법을 사용한다[9~13]. 이러한 반사형 초음파 센서는 장애물의 검출에는 실외환경

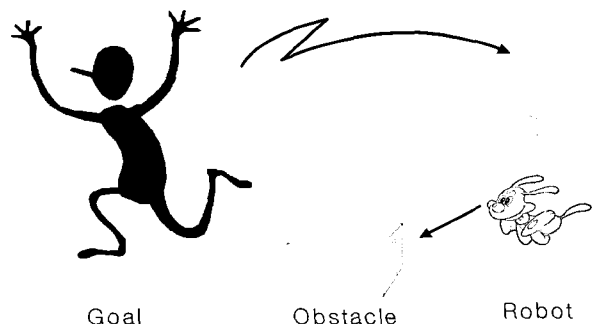


그림 1. 목표물 검출과 장애물 검출을 수행하는 로봇.
Fig. 1. Detection of the goal and the obstacle.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 2. 28., 채택확정 : 2003. 7. 28.

안철기 : 부산대학교 메카트로닉스협동과정(ckiahn@pnu.edu)

이민철 : 부산대학교 기계공학부(mcleec@pnu.edu)

에서도 신뢰성 있게 동작하지만, 여러 물체 중에서 특정한 하나의 물체를 구분해야하는 목표물의 검출에는 부적절하다. 이동 로봇의 목표물 추종에 관한 여러 연구에서는 영상 처리를 이용한 시스템이 제시되고 있지만 아직까지는 처리 속도가 느리고, 고가의 시스템이며, 조명, 진동문제 등의 이유로 실외환경의 애완용 지능 로봇에 실용적으로 적용되지는 못하는 실정이다[14~16].

제안된 애완용 지능 로봇에 적합한 목표물 검출 기능을 위해 RF신호를 동기신호로 이용하는 대향형 초음파 방식을 사용하여 RF-초음파 센서 시스템을 개발하였다. 본 연구의 선행 연구에서 주인이 조강하거나 산책할 때에 주인을 쫓아가는 강아지의 행동을 모방한 애완용 지능 로봇인 CARTRI 로봇을 개발하고, 목표물 검출을 수행하는 RF-초음파 센서 시스템을 로봇에 탑재하여 사람의 빠른 걸음속도를 추종할 수 있음을 보였다[8]. 그러나, 선행 연구에서는 목표 검출기능을 가진 센서 시스템 자체의 성능 및 특성에 대한 실험자료가 없어 지능적인 행동 제어 알고리즘의 개발에 제약이 있었고, 가장 단순한 형태의 행동제어만을 구현할 수 있었다. 또한, 그림 1과 같은 장애물 검출기능이 없어 장애물과의 충돌 회피 등의 다양한 행동은 수행하지 못하는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 CARTRI 로봇에 다양한 행동 기능을 부여하고, 성능을 개선하기 위해 장애물 검출과 목표물 검출을 하나의 센서 시스템에서 구현할 수 있도록 하였다. 그리고 목표물 검출기능의 특성과 성능을 실험적으로 분석하고 평가하였다. 개발된 RF-초음파 센서 시스템은 8조의 초음파 센서를 사용하며, 목표물 검출을 위한 대향형 초음파 센서 시스템과 장애물 검출을 위한 반사형 초음파 센서 시스템을 통합하여 제작되었다. 목표물의 위치 검출 특성을 확률 데이터로 보여주기 위한 실험방법을 고안하였고, 5조의 센서를 사용한 경우와 8조의 센서를 쓴 경우를 비교하여 센서 취부구조 설계에 따른 목표물의 위치 검출의 특성을 분석하고 평가하였다. 그리고, 측정 거리변화에 따른 대향형 초음파 센서의 개별적인 특성을 실험하였고, 같은 조건에서 센서 시스템의 목표물 위치 검출 특성에 관한 실험을 수행하여 성능을 평가하였다. 장애물 검출 기능은 일반적으로 사용되는 반사형 초음파 센서 방식으로 설계되었다. 목표물 검출과 장애물 검출은 동일한 초음파 수신부의 하드웨어를 사용하였고, 초음파 신호의 감쇠시간을 고려한 센서 샘플링

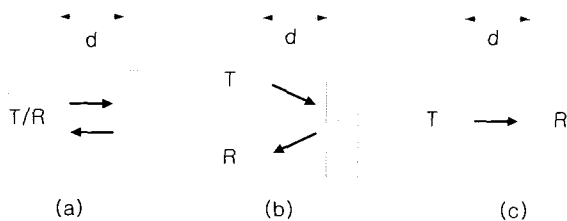


그림 2. 거리 검출 방식 (a) 반사형(겸용), (b) 반사형(독립형), (c) 대향형.

Fig. 2. Methods to detect distance.
 (a) Reflective type(T/R)
 (b) Reflective type(T & R)
 (c) Opposed type

주기를 선정하여 동작시간을 분할함으로써 서로간의 신호 간섭이 없도록 하였다. 장애물 검출 기능은 가장 많이 부딪히는 장애물인 벽을 대상으로 거리를 변화시켜가며 실험을 수행하여 특성을 평가하였다.

II. RF-초음파 센서 시스템

CARTRI 로봇은 오락용 및 애완용 지능 로봇으로서, 요구되는 기본적인 행동은 실내 또는 공원과 같은 실외 환경에서 목표물에 해당하는 신호발생기를 소지한 사람을 쫓아가는 추종행동을 수행하고, 추종 경로 상에서 충돌이 예상되는 장애물을 회피하는 것이다. 센서 시스템에 요구되는 검출 기능은 목표물과 장애물의 방위와 거리를 검출하는 것이다. 본 연구에서는 초음파 센서를 이용하여 요구되는 기능을 수행할 수 있는 RF-초음파 센서 시스템을 개발한다.

1. 초음파 센서 검출 방식

초음파는 인간이 들을 수 있는 가청주파수 대역을 벗어난 20 kHz이상의 주파수를 가진 음파를 말한다. 초음파는 낮은 주파수의 음파보다도 에너지를 많이 가지고 있어서 더 멀리까지 전달되며 감쇠가 더 적은 물리적 성질을 가진다. 따라서 이 성질을 이용하여 물체의 유무나 물체까지의 거리를 재는 계측기의 용도로 사용되며, 지능형 이동로봇에서 환경인식 센서의 하나로서 많이 사용된다[9~13]. 초음파 센서의 검출방식은 그림 2와 같이 설치 방법에 따라 일반적으로 세 가지 종류로 분류된다. 그림 2(a)는 초음파의 송신기(T)와 수신기(R) 일체형으로 만들어진 겸용 초음파 센서를 사용한 반사형 방식으로 물체와의 거리를 알아내는 방식이다. 이 방식은 설치시의 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 송수신 전환회로가 필요하고, 송신시에는 수신할 수가 없어 근거리 측정이 어렵다는 단점이 있다. 그림 2(b)는 초음파의 송신기와 수신기가 독립되어 있는 반사형 방식이다. 이 방식은 근거리 측정이 가능하다는 장점이 있으나, 송신기에서 수신기로 신호가 직접 전달되지 않도록 센서 설치시에 주의해야한다. 그림 2(c)는 송신기와 수신기를 마주보게 하는 대향형 방식이다. 이 방식은 반사파가 아닌 송신기로부터의 직접적인 음파를 수신하므로 수신감도 설정이 비교적 자유로우나 설치장소가 2군데가 되므로 거리 측정을 위해서는 송수신의 동기화를 위한 신호선의 연결이 필요하다.

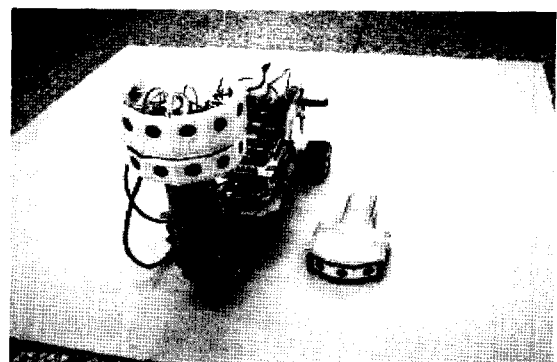


그림 3. RF-초음파 센서 시스템 외관.
 Fig. 3. Appearance of the sensor system.

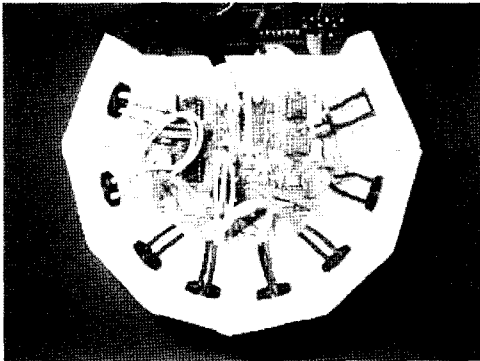


그림 4. 초음파 센서의 배치 형태.
Fig. 4. Disposition of the sensor array.

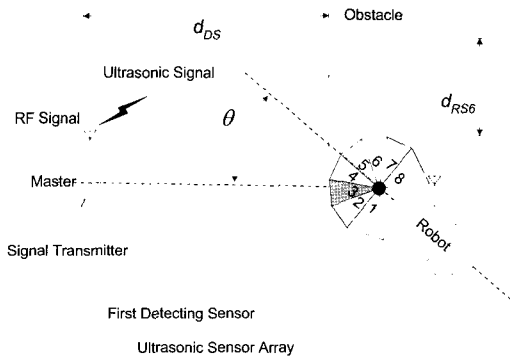


그림 5. 센서 시스템의 구성.
Fig. 5. Composition of the sensor system.

본 논문의 RF-초음파 센서에서 목표까지의 거리 검출을 위해 목표물에 송신부를 설치하고, 로봇에 수신부를 설치한 대향형 초음파 검출방식을 사용하고, 동기 신호로는 무선인 RF 신호를 사용한다. 그리고 장애물의 거리 검출을 위해서는 근거리 측정이 용이한 송수신부가 독립된 반사형 검출 방식을 사용한다. 목표물과 장애물의 방위검출을 위해서는 8조의 초음파 센서들을 원형으로 배치하였다. 그림 3은 개발된 RF-초음파 센서 시스템이 장착된 CARTRI 로봇과 목표물의 역할을 하는 신호 발신기의 모습을 보여준다. 그림 4는 초음파 센서의 배치형태를 보여준다.

목표물과 장애물 검출을 하나의 센서 시스템에서 검출하기 위해 대향형과 반사형 초음파 방식을 통합한다. 센서 시스템에 사용되는 초음파 수신부는 대향형과 반사형 검출방식에서 같은 수신기를 사용하며, 그림 3의 센서 취부구조의 위층에 배열된 것이 수신기이다. 초음파 송신부는 대향형인 경우 목표물에 설치되고, 반사형에서는 로봇에 장착된 초음파 수신부의 배치와 동일한 위치에 설치된다. 그림 3의 센서 취부구조의 아래층에 설치된 것이 장애물을 검출하기 위한 송신기이다. 센서부의 아래층과 위층간에는 부드러운 소재를 사용하여 음파가 구조물을 통해 전달되는 것을 방지함으로써 근거리의 장애물 측정이 가능하도록 하였다. 사용된 초음파 센서는 MURATA사의 MA40B8S(송신)와 MA40B8R(수신)이며, 주파수는 40 kHz이다. 목표물을 검출하는 시간대와 장애물을 검출하는 시간대를 다르게 함으로써

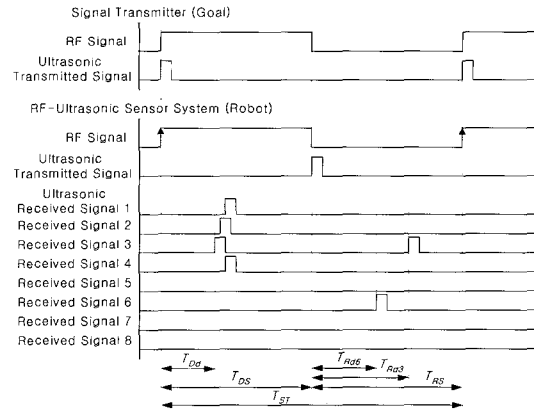


그림 6. 센서 신호 타이밍도.
Fig. 6. Timing chart of sensor signal.

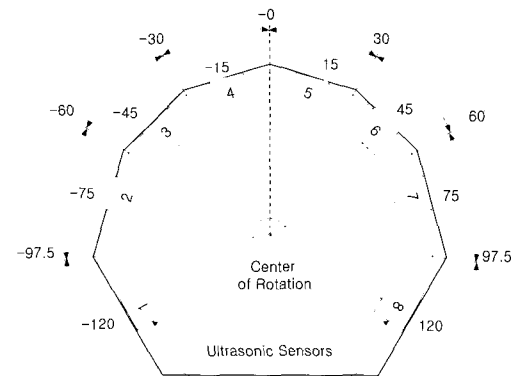


그림 7. 8조의 초음파 센서 배열 설계.
Fig. 7. Design of 8 sensor array.

대향형과 반사형 방식에 사용되는 서로 다른 초음파 송신 신호의 혼선을 방지하여 하나의 센서 시스템으로 통합한다.

2. RF-초음파 센서 시스템의 설계

CARTRI 로봇은 신호 발신기를 소지한 주인과 주변의 장애물을 인식함으로써 장애물과의 충돌을 회피하면서 주인을 쫓아가는 강이치의 행동을 구현하는 것이 목적이다. 그림 5는 CARTRI 로봇의 환경 인식을 위해 개발된 RF-초음파 센서 시스템 설계 개념을 도식적으로 보여준다. 그림 6은 센서 시스템의 목표물 검출 및 장애물 검출의 원리를 설명하기 위해 각각의 신호들의 상태를 시간적으로 도시한 것이다. 그림 7은 8조의 초음파 센서 배열을 이용한 방위검출의 개념을 보여주는 센서 취부구조의 설계사양이다. 그림 8은 선행연구에서 개발되었던 5조의 초음파 센서 취부구조의 설계사양이다.

목표물을 검출할 때의 센서 출력 정보는 로봇에서 목표물까지의 거리와 방위정보이다. 그림 5에서 d_{DS} 는 대향형 방식으로 검출된 목표물의 거리 정보이고, θ 는 방위 정보이다. 장애물을 검출할 때의 센서 출력 정보는 8조의 반사형 센서에서 검출된 8개의 거리 정보이며 그림 5에서 d_{RS6} 는 6번 센서에 검출된 장애물의 거리이다.

대향형 방식과 반사형 방식은 같은 주파수의 초음파를 사용하므로 검출 시간대를 다르게 함으로써 신호의 혼선을

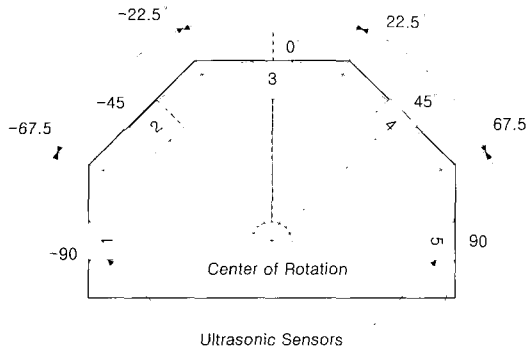


그림 8. 5조의 초음파 센서 배열 설계.
Fig. 8. Design of 5 sensor array.

방지할 수 있다. 초음파는 시간이 지날수록 음파가 감쇠되므로, 일정 시간이 지나면 초음파 수신기에서 신호를 검출하지 못할 정도로 감쇠된다. 초음파가 감쇠하는 시간은 센서의 검출 시간대인 샘플링 주기를 결정하게 되며 실험을 통해 구할 수 있다. 본 연구에서 사용된 초음파 센서를 대향형으로 사용할 경우 매뉴얼상의 감지거리는 6m이나, 실제 실험에서는 6m이상에서도 검출이 되었으며 10m이상의 거리에서는 초음파를 수신할 확률이 0%가 된다. 실험에 의해 획득된 센서의 최대 감지거리인 10m를 초음파가 이동하는 시간은 약 29.4ms이며 안전율을 고려하여 센서 시스템에 적용된 샘플링 주기는 40ms이다. 그림 6에서 T_{ST} 는 RF-초음파 센서의 전체 샘플링 주기이며, T_{DS} 는 목표물 검출을 위한 대향형 센서의 샘플링 주기로서 40ms로 설정되고, T_{RS} 는 장애물 검출을 위한 반사형 센서의 샘플링 주기로서 40ms로 설정되었다. T_{DS} 와 T_{RS} 를 합한 시간이 T_{ST} 가 되며, 센서 시스템의 전체 샘플링 주기는 80ms가 된다.

그림 6의 RF 신호는 대향형 검출방식의 동기 신호입과 동시에 전체 센서 시스템의 샘플링 주기를 결정한다. 신호 발신기의 RF 신호의 상승 모서리(rising edge) 시점에 대향형 방식의 초음파 송신기에서 초음파를 발신하고, 이 초음파 신호가 충분히 감쇠하였다고 판단되는 40ms가 지난 시점에 반사형 방식의 초음파 신호를 발신한다.

3. 거리 검출

초음파 센서에서의 거리 정보는 초음파 발신 시점부터 수신 시점까지의 시간을 측정함으로써 검출한다. 대향형인 경우의 거리정보와 반사형인 경우의 거리정보는 다른 방법으로 계산된다.

목표물 검출에 사용되는 대향형 방식에서는 그림 6에서 보여주듯이 신호 발신기가 초음파신호를 발신하면 몇 개의 초음파 수신기에서 신호를 수신한다. 이때 목표물과의 거리가 가장 가까운 센서는 가장 빠른 시간에 신호를 수신하며, 이때의 시간을 측정하여 거리 정보를 계산한다. 그림 6의 경우에서는 센서 3번이 목표물과 가장 가까운 상태임을 보여주며, 목표물의 거리는 가장 빨리 신호를 수신한 시간인 T_{D3} 에 비례한다. 목표물과 로봇사이의 거리 d_{DS} 는 상온에서의 초음파의 속도 v_s 를 주면 (1)에 의해 구해진다.

$$d_{DS} = v_s T_{Dd} \quad (v_s = 340 \text{ m/s}) \quad (1)$$

장애물 검출에 사용되는 반사형 방식에서는 초음파 신호가 발신되어 물체에 도달하였다가 반사되어 초음파 수신기에 수신된 신호의 시간을 측정하는 것이다. 목표물 검출에서는 하나의 거리정보가 필요하지만, 장애물은 여러 개가 될 수 있고, 형상이 복잡할 수 있으므로, 장애물 검출을 위해서는 8조의 센서에서 각각의 거리정보를 검출해야 한다. 그림 6에서는 센서 3번이 T_{Rd3} 의 시간에 신호를 수신하고, 센서 6번이 T_{Rd6} 의 시간에 신호를 수신한 경우를 보여준다. 각각의 반사형 센서에 대한 거리 d_{RSi} 는 (2)에 의해 구해진다.

$$d_{RSi} = \frac{v_s T_{Rdi}}{2} \quad (i = \text{Sensor number}) \quad (2)$$

4. 방위 검출

목표물과 장애물의 방위정보는 센서들이 배열된 취부구조에 의해 결정된다. 그림 7은 8조의 초음파 센서 취부구조의 설계사양이다. 각각의 센서들은 센서부의 회전중심에 중심을 둔 원에 접하여 설치된다. 센서부의 정면방향을 0°라 둘 때, 센서 1번은 -120°, 센서 2번은 -75°, 센서 3번은 -45°, 센서 4번은 -15°, 센서 5번은 15°, 센서 6번은 45°, 센서 7번은 75° 그리고 센서 8번은 120°를 중심축으로 하여 배치되어 있다.

대향형 방식인 경우는 가장 먼저 신호를 수신한 센서 번호를 검출하여 이 센서가 배치된 각도를 목표물의 방위로 판단한다. 센서들이 원에 접하여 배치되어 있으므로, 설계구조상 목표물이 발신한 초음파는 목표물의 방향으로 지향하는 센서에서 가장 먼저 도달하게 된다. 또한 초음파 센서의 지향 특성으로 인해 가장 감도가 좋으므로 신호가 가장 먼저 수신되어 목표물의 방위를 검출할 수 있게 된다. 방위 검출 분해능은 각각의 센서 배치 각도에 따른 경계지점에 의해 결정된다. 그림 7에서 센서 1번과 센서 2번의 경계지점은 각 센서들이 배치된 중심축의 중간위치인 -97.5°가 되며, 센서 2번과 3번의 경계지점은 -60°가 된다. 이 경계지점 부근에 목표물이 위치한 경우에는 이웃한 센서들이 동시에 수신할 수도 있다. 그림 7의 설계사양에 따라 각각의 센서에 대해 방위 검출 범위를 살펴보면 센서 1번은 -97.5°에서 -180°까지 82.5°의 범위에서, 센서 2번은 -97.5°에서 -60°까지 37.5°의 범위에서, 센서 3번은 -60°에서 -30°까지 30°의 범위에서 목표물을 검출하게 된다. 본 연구에서는 로봇이 전진하는 방향의 방위 검출 범위를 작게 함으로서 방위 검출 분해능을 높여 로봇의 행동 제어를 부드럽게 하고자하였다. 이와 비교하여 선행 연구에서 사용했던 5조의 센서 취부구조의 설계사양을 그림 8에서 도시하였다.

장애물 검출을 위한 반사형 방식의 경우에는 목표물 검출과는 달리, 8조의 센서에서 각각 거리정보가 나오며, 해당 센서가 설치된 방위각에 위치한 장애물로 인식한다. 목표물은 단 하나이므로 로봇에게는 거리와 방위로 표시되는 하나의 점으로 인식되지만 장애물은 여러 개일 수도 있고 복잡한 형상일 수도 있으므로 8조의 센서 배치각도와 거리정보를 조합하여 장애물을 인식하게 된다.

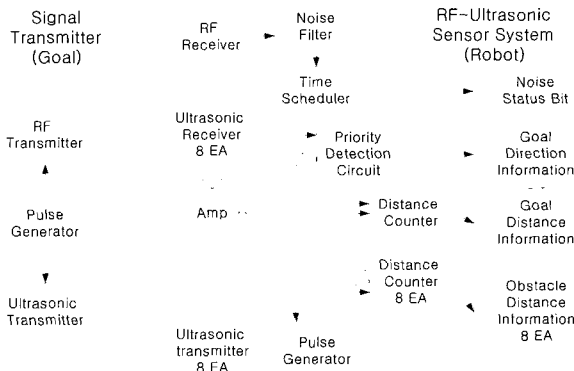


그림 9. 센서 시스템 구조도.
Fig. 9. Architecture of the sensor system.

5. RF-초음파 센서 시스템 구조

개발된 센서 시스템은 그림 6의 신호 타이밍도를 만족시키도록 구성된다. 그림 9는 센서 시스템의 구조도이다. 시스템의 구조는 목표물에 해당하는 신호 발신부와 로봇에 장착되는 센서부로 나뉘어진다. 발신부는 샘플링 주기에 맞추어 RF 신호와 초음파 신호의 펄스를 생성하는 단순한 구조이다. 센서부에서는 RF 신호에서 상승 모서리를 검출하여 샘플링 주기를 판단하고, 목표물 검출과 장애물 검출을 수행한다. 목표물 검출 시에는 8개의 초음파 수신기에서 수신된 신호를 증폭하고 우선순위 판별회로를 통해 가장 먼저 신호를 수신한 센서 번호를 파악하여 방위 정보를 검출한다. 그리고 수신된 첫 번째 신호의 시간을 거리 카운터로 측정하여 거리정보를 검출한다. 장애물 검출 시에는 샘플링 주기에 맞추어 8개의 초음파 송신기에 펄스 신호를 인가하고, 초음파 수신기에서의 신호 수신 시간을 각각의 거리 카운터로 측정하여 8개의 거리정보를 검출한다.

센서부에서 상위제어기로 보내는 정보는 크게 네 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 가장 먼저 신호를 수신한 센서의 번호로 표시되는 목표물의 방위 정보이다. 두 번째는 목표물과 로봇간의 거리정보이고, 세 번째는 각각의 센서에서 검출된 장애물의 거리정보이다. 네 번째는 노이즈 상태 비트 정보로서 수신된 RF 신호 펄스의 주기를 조사하여 설정된 샘플링 주파수인 80ms와 다를 때 노이즈라고 판단하고 이를 상위제어기에 알려준다. 선행연구의 실험에서 로봇의 제어성능이 센서 노이즈에 크게 좌우될 수 있고, 센서 노이즈는 RF-초음파 센서 시스템에서 가장 중요한 요소인 RF 동기 신호의 노이즈가 가장 큰 원인인 것으로 밝혀져 추가된 것이다. 상위제어기가 이 정보를 받으면 그 시점에서의 센서 정보들을 무시하고 센서 노이즈에 대비한 행동을 수행할 수 있도록 한다.

III. 목표물 검출 실험

1. 목표물 검출 실험 방법

목표 검출을 수행하는 대향형 초음파 센서 특성을 파악하고 성능을 평가하기 위한 항목은 기본적으로 목표물의 방위와 거리 검출데이터이다. 개발된 RF-초음파 센서 시스템에서는 8조의 센서 중에서 목표가 발신한 초음파 신호를

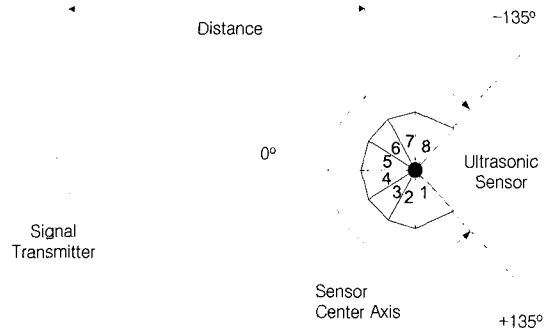


그림 10. 초음파 센서 특성과 실험 방법.
Fig. 10. Experimental verification method.

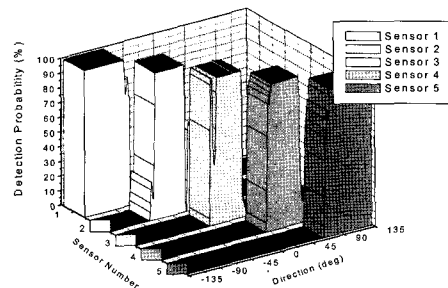


그림 11. 5조의 초음파 센서 특성.
Fig. 11. Experiment result of 5 sensors.

가장 먼저 검출한 센서의 배치 각도가 목표의 방위가 되며, 이때 이 센서가 신호를 검출한 시각과 RF 동기화 신호 시각과의 시간을 측정하여 거리를 판단하게 된다. 센서의 검출 특성을 파악하기 위해서는 목표물의 실제 방위각에 대해 검출되는 센서의 번호를 확인해야 하고, 거리데이터가 정확하지 확인하여야 한다. 본 연구에서는 센서 시스템의 목표 검출 특성을 파악하기 위해 일정한 거리에 대해 목표물의 각도를 연속적으로 변화시키면서 센서 데이터를 획득하였다.

그림 10은 데이터 획득을 위한 실험 방법을 보여준다. 목표물을 일정한 거리에 고정시키고, 스테핑 모터를 사용하여 센서 장착부를 -135°에서 +135°까지 100ms마다 0.9°단위로 회전시키면서 8개의 센서에서 데이터를 획득한다. 이 데이터는 0.9°단위의 각도별로 8조의 센서 중에서 가장 먼저 신호를 검출한 센서번호와 거리정보로 구성되어진다. 센서 특성을 정확하게 파악하기 위해 총 100번의 회전을 수행하며 확률데이터로서 센서 검출성능을 표시한다. 확률데이터는 각도별로 수집된 100개의 데이터에서 각각의 센서별로 거리정보가 약 ±10 cm의 오차이내에 존재하면서 가장 먼저 신호를 검출한 횟수를 백분율로 나타낸 것이다.

그림 11은 1m의 거리에 목표물이 있을 때 기존의 5조의 센서 구조에서의 신호 검출 특성을 보여준다. 센서 1번은 장착된 중심위치인 -90° 주위에서 거의 100%의 확률로 목표물을 검출함을 볼 수가 있다. 그림 8의 설계사양 대로 센서 2번은 -45°, 센서 3번은 0°, 센서 4번은 45° 그리고 센서

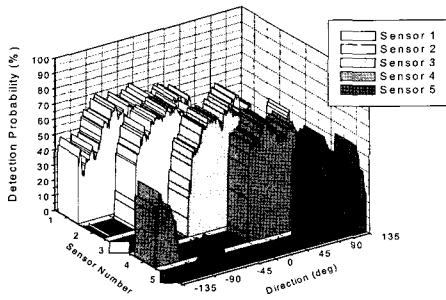


그림 12. RF 노이즈의 영향.
Fig. 12. Effect of RF noise.

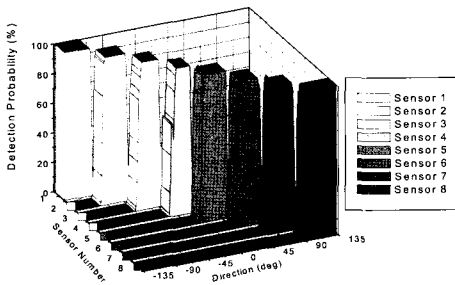


그림 13. 8조의 초음파 센서 특성.
Fig. 13. Experiment result of 8 sensors.

5는 90° 주위에서 방위분해능인 45°의 범위를 정확하게 검출함을 보여준다. 센서간의 경계지점, 예를 들면 센서 2번과 3번간의 경계지점인 -22.5° 주위에서 센서 2번을 검출할 확률과 3번을 검출할 확률이 공존함을 보여준다.

그림 12는 1m의 거리에 목표물이 있을 때 기존의 5조의 센서 구조에서 전자파 노이즈가 있을 때의 검출 데이터로서 동기화 신호에 사용되는 RF 신호에 노이즈가 존재할 때 센서 시스템에 끼칠 수 있는 영향을 보여준다. RF 노이즈의 존재는 거리정보를 왜곡시키며, 각각의 센서의 방위검출 확률을 현저히 떨어뜨리고, 오동작을 일으키게 한다. 그림 12는 실험 장소 주위에 다른 RF 기기를 동작시킨 경우이며, 전자파 노이즈의 상태에 따라 현저히 다른 그래프를 나타낼 수도 있을 것으로 예상된다.

그림 13은 1m의 거리에 목표물이 있을 때 개발된 8조의 센서 시스템에서의 신호 검출 특성을 보여준다. 그림 7의 설계사양 대로 각각의 센서들이 장착된 각도에서 100%의 확률로 목표물의 방위를 검출하고 있음을 볼 수 있다. 각각의 센서가 목표물을 검출하는 각도 범위는 센서 취부구조의 제작오차 때문에 설계사양과는 약간 틀리다. 센서 4번의 신호검출 범위는 설계치인 30°보다 약간 작고, 센서 5번의 경우는 약간 넓음을 볼 수가 있다. 그림 11과 그림 13의 실험 결과를 비교하면, 센서를 조밀하게 배치함으로써 목표물의 방위검출 분해능을 높일 수 있음을 판단할 수 있다.

2. 측정 거리의 변화에 따른 특성 실험

RF-초음파 센서 시스템의 목표 검출 특성을 알기 위해서 대향형 초음파 센서의 측정거리의 변화에 따른 개별적인

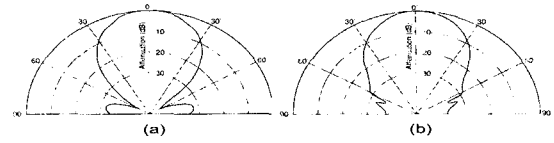


그림 14. (a)수신기와 (b)송신기의 지향특성.
Fig. 14. Directivity in sensitivity of (a)receiver and (b)transmitter.

특성을 우선적으로 파악한다. 그림 14는 사용된 초음파 센서의 매뉴얼상의 지향특성을 보여준다. 초음파송신기와 수신기 모두 ±30°지점에서 감도가 10%이하로 감소함을 보여주고 있다. 개발된 센서 시스템에서 실제적인 특성을 파악하기 위해, 8조의 센서 중 하나만 사용하여 그림 10과 같은 방법으로 실험을 한다. 이때 센서 하나만 동작하므로 최초로 신호를 검출한 센서는 항상 동일한 센서이며, 다른 센서의 값은 전부 0%이다. 그림 15는 목표물과의 거리가 0.3m이고 센서 5번만 동작할 때의 검출 확률 데이터이다. 그림 16은 2.0m일 때, 그림 17은 6.0m일 때 그리고 그림 18은 7.0m일 때의 데이터를 보여준다. 거리가 가까운 그림 15에서는 센서 중심축에서 ±90°의 범위 내에서 신호가 검출됨을 보여주며, 그림 14의 매뉴얼 데이터와 같이 ±60°부근에서 센서가 검출이 되지 않는 노치형태의 각도범위가 존재함을 보여준다. 거리가 2.0m일 때는 약 ±45°의 범위까지 신호를 검출하며, 거리가 멀어질수록 검출 범위는 점점 좁아진다. 그림 17에서는 약 ±20°의 범위 내에서 신호를 검출하지만 그래프의 형태가 중심축을 기준으로 완만한 포물선을 그리며 떨어짐을 볼 수 있어 검출확률이 현저히 떨어짐을 볼 수가 있다. 그림 18에서는 최대 검출확률이 40%이하로 떨어짐으로써 초음파 신호가 약해져서 센서가 신호를 검출하지 못하는 현상을 보여준다. 거리가 더 멀어지면 검출확률이 0%가 되어 신호를 전혀 검출하지 못한다. 측정 거리에 따른 검출 데이터를 분석하면, 거리가 가까울수록 검출 범위가 넓어지고, 멀수록 검출 범위가 좁아짐을 알 수가 있으며, 거리가 6m까지는 설계사양인 목표물의 검출 범위 30°를 보장할 수 있음을 알 수가 있다. 거리가 7m까지 신호를 검출할 수 있지만 확률이 낮아서 사용할 수가 없다. 이와 같은 특성은 거리가 멀어질수록 초음파 신호가 감쇠하여 신호를 검출하지 못하는 현상을 보여주며, 거리 6m가 실제적으로 사용 가능한 초음파 센서의 측정 가능 거리의 한계임을 의미한다.

대향형 초음파 센서의 신호 검출특성은 측정 거리에 따라 확연히 달라진다. 따라서 목표물의 방위를 측정하는 센서의 성능을 파악하기 위해서는 측정 거리가 다를 때의 센서 시스템의 검출 특성을 파악해야 한다. 본 연구의 RF-초음파 센서 시스템의 설계목표는 거리 5m이내에서 목표물의 방위각도를 거리에 상관없이 그림 7의 설계사양 범위대로 90%이상의 확률로 검출하는 것이다. 개발된 센서 시스템을 평가하기 위해 그림 10의 실험 방법으로 거리를 변화시켜 실험을 수행하였다. 그림 19는 거리가 0.1m일 때의 데이터이고, 그림 20은 거리가 4.0m, 그림 21은 거리가 6.0m 그리고

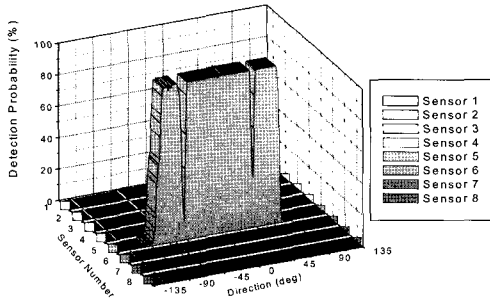


그림 15. $d_{DS} = 0.3$ m.
Fig. 15. $d_{DS} = 0.3$ m.

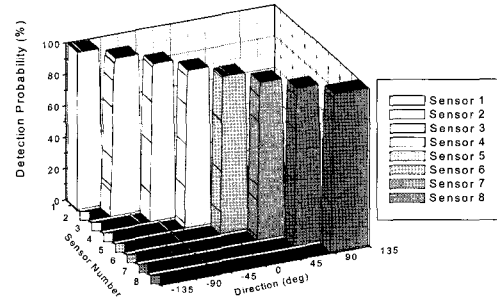


그림 19. $d_{DS} = 0.1$ m.
Fig. 19. $d_{DS} = 0.1$ m.

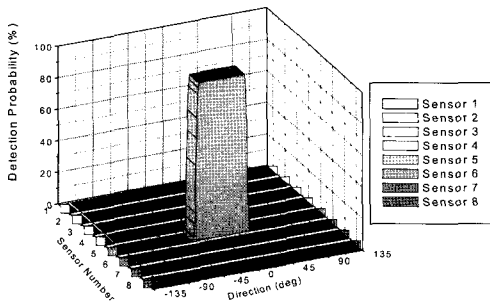


그림 16. $d_{DS} = 2.0$ m.
Fig. 16. $d_{DS} = 2.0$ m.

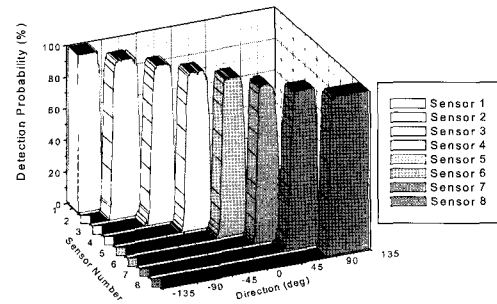


그림 20. $d_{DS} = 4.0$ m.
Fig. 20. $d_{DS} = 4.0$ m.

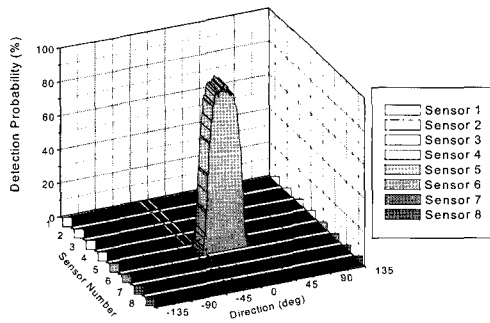


그림 17. $d_{DS} = 6.0$ m.
Fig. 17. $d_{DS} = 6.0$ m.

그림 22는 거리가 7.0m일 때의 데이터이다. 실험 결과를 살펴보면 목표물과의 거리가 0.1m에서 6.0m까지 각각의 센서가 장착된 각도 범위에서 목표물을 90%이상의 확률로 검출함으로써 설계 목표를 충족시킴을 알 수가 있다. 거리에 따른 특성을 살펴보면 거리가 가까우면 그래프의 형상이 사각기둥처럼 보일 정도로 설계 사양의 목표방위 검출 범위를 거의 100%의 확률로 만족시킴을 볼 수가 있다. 거리가 멀어지면 각각의 센서의 방위 검출 범위의 경계선들이 겹치는 형태를 보여주고 있고, 100%의 확률을 나타내는 구간이 줄어들고 있음을 보여주지만 거리 6.0m까지는 약 90%이상의 확률로 설계사양의 방위 검출 범위를 충족하고 있음을 알 수 있다. 거리가 7.0m에서는 거의 0% 검출 확률을 보이는 센서도 나타나고 있어, 거리 6.0m가 센서 시스템의 측정 가능 거리의 한계임을 알 수 있다.

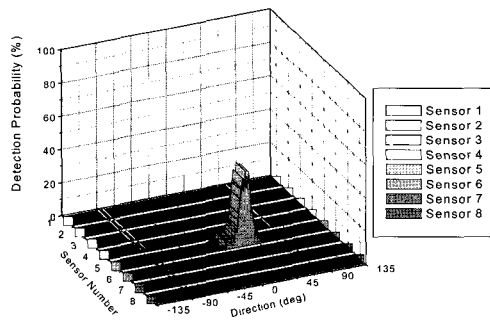


그림 18. $d_{DS} = 7.0$ m.
Fig. 18. $d_{DS} = 7.0$ m.

IV. 장애물 검출 실험

RF-초음파 센서 시스템에서 장애물의 검출은 반사형 초음파 센서 형식으로 이루어지며, 장애물의 검출을 알려주는 센서의 출력정보는 8조의 센서에서 나오는 8개의 거리정보이다. 반사형 센서의 장애물 검출 특성은 로봇의 동작 시에 가장 많이 접하게 되는 벽과 같은 장애물을 대상으로 실험적으로 검토한다. 실험 조건은 실내의 넓은 복도에서 벽을 향해 일정한 거리를 두고 센서 장착부를 고정하여 각각의 센서에서 데이터를 수집하였다. 센서 장착부의 정면이 벽과 마주 보는 방향으로 고정하여 실험하였다. 벽과의 거리를

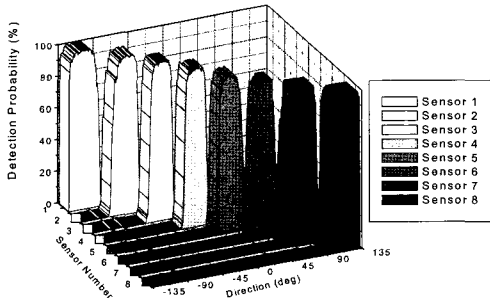


그림 21. $d_{DS} = 6.0$ m.
Fig. 21. $d_{DS} = 6.0$ m.

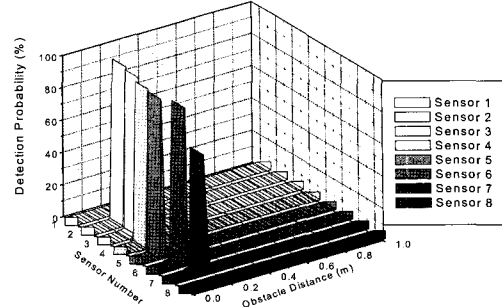


그림 23. $d_{RS} = 0.1$ m.
Fig. 23. $d_{RS} = 0.1$ m.

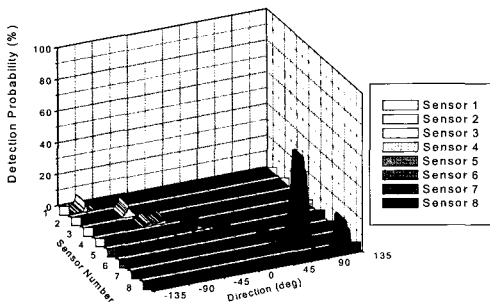


그림 22. $d_{DS} = 7.0$ m.
Fig. 22. $d_{DS} = 7.0$ m.

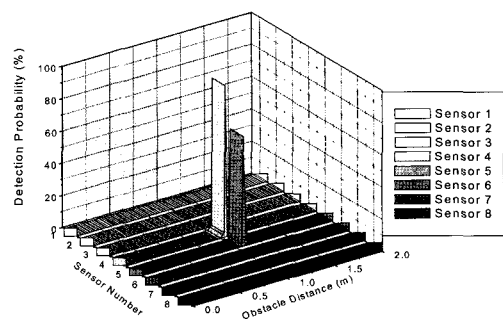


그림 24. $d_{RS} = 1.0$ m.
Fig. 24. $d_{RS} = 1.0$ m.

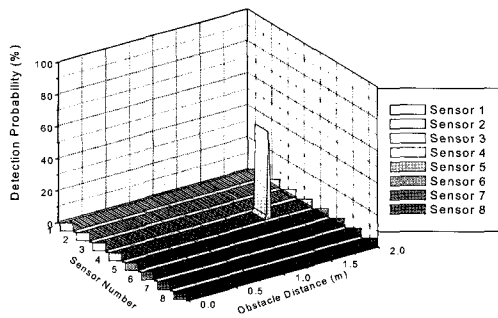
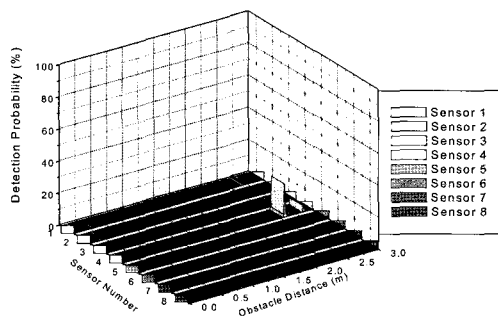
바꾸어가며 실험을 수행하였고, 각각의 실험에서 총 600개의 데이터를 획득하여 확률 데이터로서 결과를 나타내었다. 이 확률 데이터는 각각의 센서에서 나오는 600개의 거리 데이터를 거리별로 검출된 횟수를 계산한 값이며, 장애물과의 거리 정보의 검출확률을 보여줄 수 있다. 그림 23은 벽과의 거리가 0.1m일 때의 반사형 센서의 데이터이며, 그림 24는 1.0m일 때, 그림 25는 2.0m일 때 그리고 그림 26은 2.5m일 때의 데이터이다. 장애물인 벽과의 거리가 매우 가까운 그림 23의 경우에는 센서 1번과 8번을 제외한 나머지 센서들이 거의 100%의 확률로 장애물을 검출함을 알 수 있다. 그리고 반사형 센서의 특성상 센서가 배치된 각도에 따라 검출된 거리가 다른 것을 알 수 있다. 그림 7의 설계사양을 고려하면, 센서 4번과 5번은 초음파가 반사되는 각도가 $\pm 15^\circ$ 이므로 가장 가까운 거리를 검출하고, 센서 3번과 6번은 $\pm 45^\circ$ 이므로 거리가 좀더 멀게 나타나며, 반사각이 $\pm 75^\circ$ 인 센서 2번과 7번은 거리가 더 멀게 나타나며, 센서 7번인 경우에는 장애물을 검출할 확률자체가 약 70%정도로 작게 나타남을 볼 수 있다. 그림 24의 경우에는 반사각이 작은 4번과 5번의 센서에서 벽과의 거리를 검출함을 볼 수 있고, 5번 센서의 검출확률이 약간 낮음을 볼 수 있는데, 센서 취부구조의 제작오차와 실험시의 위치오차, 그리고 각각의 센서마다 증폭회로 및 센서자체의 특성이 조금씩 다른 것에 기인한 것으로 해석할 수 있다. 거리가 2.0m보다 멀어지면 그림 25와 그림 26에서 볼 수 있듯이 검출 확률이 점차 낮아짐을 볼 수가 있다. 이상의 실험은 장애물의 배치각도가

센서 4번과 5번의 경계지점인 정면에 위치할 때, 개발된 RF-초음파 센서 시스템의 장애물 검출 특성을 보여준다. 실험 결과에서 센서간의 경계지점에 있는 벽을 1m에서는 100%의 확률로 안정되게 검출하고 2.5m에서도 검출 확률이 있음을 보여주고 있다. 장애물 검출은 거리가 가까우면 인접한 센서들에서도 검출할 확률이 높아지고, 장애물의 방향으로 근접하게 배치된 센서에서 가장 짧은 거리를 나타내었고, 거리가 멀어지면 장애물 방향의 센서에서만 거리를 검출하는 특성을 가지고 있다.

V. 결론

본 연구에서는 애완용 지능 로봇인 CARTRI 로봇의 다양한 행동 제어를 위해 하나의 환경인식 센서 시스템에서 목표물 검출과 장애물 검출이 모두 가능한 RF-초음파 센서 시스템을 개발하였다. 초음파 센서의 검출 방식 중에서 대향형 방식을 이용하여 목표물을 검출하고, 송수신기가 독립된 반사형 방식을 사용하여 장애물을 검출한다. 로봇의 행동 제어기의 설계 및 성능에 가장 큰 영향을 미치는 목표물의 검출 기능을 실험을 통해 분석하고, 성능을 평가하였으며, 목표물과 장애물을 함께 검출할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

목표물 검출 특성을 파악하기 위하여 목표물의 방위 검출성능을 확률데이터로 보여줄 수 있는 실험방법을 고안하여 5조의 센서를 가진 구조와 8조의 센서를 가진 구조를 비교하여 분석하였다. 실험 결과를 통해 개발된 시스템이

그림 25. $d_{RS} = 2.0$ m.Fig. 25. $d_{RS} = 2.0$ m.그림 26. $d_{RS} = 2.5$ m.Fig. 26. $d_{RS} = 2.5$ m.

센서 취부구조의 설계에 따라 목표물을 검출하는 방위의 분해능을 결정할 수 있음을 확인하였다. 이러한 시스템의 특성은 로봇에 요구되는 행동과 조건에 따라 센서의 방위 검출 분해능을 변화시킬 수 있음을 보여준다. 측정 거리의 변화에 따른 실험에서 거리 0.1m부터 6m까지는 90%이상의 확률로 목표물의 거리와 방위를 검출하였다. 거리가 가까우면 거의 100%의 확률로 거리와 방위를 검출함을 볼 수 있었다. 거리가 6m이상이면 검출 확률이 낮아지며, 7m이상에서는 거의 0%가 되었다. 장애물 검출 실험은 CARTRI 로봇이 가장 많이 접하는 장애물인 벽을 기준으로 거리에 따른 센서 특성을 파악하였다. 실험 결과에서 거리 0.1m에서 2.5m까지 장애물을 감지할 수 있음을 확인하였고, 목표물 검출과 장애물 검출을 동시에 수행할 수 있음을 확인하였다.

개발된 센서 시스템은 고가의 센서장비를 사용하지 않았으며, 간단한 구조를 가지고 있으면서도 목표물과 장애물을 동시에 검출할 수 있는 기능을 가지고 있고, 취부구조의 설계에 따라 센서의 방위검출 분해능을 조절할 수 있어, 오락용 또는 애완용 지능 로봇에 있어 유용한 센서 시스템이 될 것으로 판단된다.

향후 연구과제에서는 본 연구에서 개발된 RF-초음파 센서 시스템을 CARTRI 로봇에 탑재하여 선행 연구에서의 목표물의 추종행동에 장애물 회피 행동을 추가하고 다양한 행동을 구현할 수 있는 행동제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

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] M. Dorigo and M. Colombetti, *Robot Shaping: An Experiment in Behavior Engineering*, MIT Press, U.S.A, 1998.
- [7] D. McFarland and T. Bösser, *Intelligent Behavior in Animals and Robots*, MIT Press, U.S.A, 1993.
- [8] 안철기, 이민철, "실외환경에서의 이동 목표 추종용 로봇의 개발", *제어·자동화·시스템공학 논문지* 제 8 권, 제 11 호, pp. 954~962, 11, 2002.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.

- [15] T. C. Wang and P. K. Varshney, "A tracking algorithm for maneuvering targets," *IEEE Transactions on Aero*

space and Electronic Systems, vol. 29, no. 3, July, 1993.

- [16] 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.



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, 지능형 이동로봇 및 이

족 보행로봇.