

〈論 文〉

초음파 배열센서 시스템을 이용한 국부지도작성 알고리즘의 개발

이상룡* · 박상혁** · 이종규*

(1994년 4월 27일 접수)

Development of the Local Map Construction Algorithm Using an Ultrasonic Array Sensor System

Sang-Ryong Lee, Sang-Hyuck Park and Jong-Kyu Lee

Key Words : Ultrasonic Array Sensor(초음파 배열센서), Local Map(국부지도), Mobile Robot(이동로봇), Mapping Algorithm(지도작성 알고리즘), Occupied Probability(점령 확률), Obstacle Occupied Density Function(장애물 점령밀도함수)

Abstract

The ultrasonic array sensor system, consisting of one transmitter and four receivers instead of the traditional combination of a transmitter and a receiver is proposed in order to identify the location of objects. From the theoretical analysis and the experimental results, it is found that this new array sensor system could derive the information on the position of objects accurately, while the traditional sensor system could provide only the information on the distance to objects. This sensor system is used to develop a sonar-based local mapping algorithm. The local map is used to find the existence of possible gates, through which the mobile robots can pass, and to select the suitable one in order for the robots to reach the goal safely in the presence of obstacles. The performance of the proposed local map algorithm is demonstrated experimentally in a small working area with several obstacles. It is found that the quality of the resulting local map is sufficient for the avoidance of collisions between the robots and obstacles and for the selection of the suitable gate leading to the goal. It is also shown that the global map of the working area could be obtained by integrating several local maps constructed from different locations and that it matches the actual layout of the working area well.

1. 서 론

이동 로봇이 미지의 작업 영역내에서 작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 주행경로 주변에 산재한 각종 장애물들을 인식할 수 있는 기능과 장애물

과 충돌을 피하면서 정해진 목표지점을 찾아갈 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 작업장환경 인식을 위하여 비전센서^(1,2)를 이용한 일정 규격의 표식 인식 알고리즘 및 장애물 윤곽정보 추출 알고리즘에 관한 연구가 진행되고 있으나 알고리즘 실행을 위해 고가의 장비가 필요하고 정보추출에 소요되는 시간이 많이 걸린다는 점이 단점으로 지적되고 있다. 센서 자체의 성능은 다소 미흡하나 경제적인 효과가 우수하기 때문에 초음파 센서를 사용한 장애물

*정회원, 경북대학교 기계공학과

**정회원, 금성사 중앙연구소

인식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^(3,4) 장애물위치 파악 및 주행경로 확보를 위하여 작업장에 분포되어 있는 각종 장애물들의 위치 및 형상정보를 격자 단위로 구성된 이차원 평면에 기록한 지도작성방법이 많이 적용되고 있다. 지도작성방법은 일반적으로 다수의 초음파 센서를 이동로봇의 몸체 주위에 설치하여 로봇 주변의 장애물과의 상대적인 거리를 측정한 결과를 적절한 알고리즘과 융합하여 격자 평면상에 표시하게 된다. 그러나, 반사면의 불균일성에 의한 측정 데이터의 오차, 거울 반사효과에 의한 거리 왜곡, 음파의 직진성 불량 등의 요인으로 초음파 센서 시스템을 사용하여 작성된 전체 지도의 질은 저하되게 된다. 단위 격자에 대한 물체 점유상태를 확률적으로 계산하여 확률 지도를 작성하려는 노력^(5,6)이 최초로 시도된 후 Bayes 확률이론⁽⁷⁾ 및 히스토그램 개념⁽⁸⁾을 도입하여 작성된 지도의 정밀도를 향상시키는 연구들이 진행되었다. 또한, 서로 다른 특성을 갖는 환경 인식센서의 융합으로 단일 센서의 한계를 극복하여 높은 질의 전체 지도를 작성하려는 노력도 시도되었다.^(9,10) 그러나, 작업장의 전체 지도를 미리 작성하여 이동로봇의 주행에 이용하는 방법은 시설물의 위치변화가 적은 작업장에서의 적용에는 큰 장점을 갖추고 있으나 물동량의 변화가 심한 생산현장, 사람들의 왕래가 빈번한 장소 등에서는 많은 시간을 들여 전체 지도를 미리 작성하여 적절한 주행경로를 선정하더라도 예기치 않은 장애물의 존재에 의해 주행에 방해가 되는 경우가 종종 발생한다.

전체 지도작성방법의 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 이동로봇의 진행방향에 대한 장애물의 분포상태를 표시하는 국부지도(local map) 작성방법을 제안하고, 작성된 국부지도에 표시된 장애물의 분포상태로부터 이동로봇이 장애물과 충돌을 피할 수 있는 주행방향을 결정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 로봇 전방에 위치한 장애물들을 인식하기 위해 1개의 송신부와 4개의 수신부를 가지는 초음파 배열센서를 개발하여 사용하였으며, 장애물의 감지영역을 넓히기 위해 로봇의 진행방향을 기준으로 배열센서를 $\pm 90^\circ$ 스캐닝하는 방법을 도입하였다.

2. 초음파 배열센서 시스템

초음파 센서에서 발신되는 음파는 직진성이 떨어

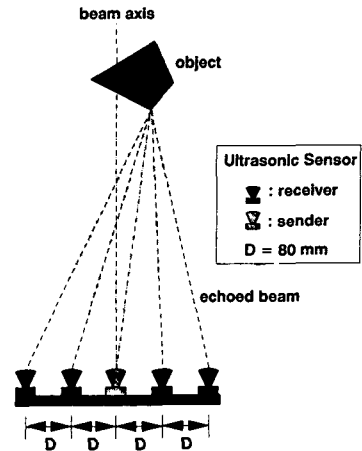


Fig. 1 Schematic layout of the ultrasonic array sensor

지므로 발신원에서 멀어질수록 음파의 폭이 넓어지는 특성을 가진다.⁽¹⁰⁾ 그러므로, 초음파 센서를 물체의 인식작업에 사용하면 센서와 물체간의 거리 정보는 정확하게 측정할 수 있으나 발신음파의 넓은 폭때문에 물체의 정확한 위치를 측정할 수 없게 된다. 초음파 센서의 이러한 단점을 보완하기 위해, 본 연구에서는 Fig. 1에 표시된 바와 같이 1개의 발신부와 4개의 수신부를 가지는 초음파 배열센서의 사용을 제안한다. 배열센서의 구조는 중앙부에 발신부를 설치하고 발신부를 기준으로 좌우 2개씩의 수신부를 고정하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서는 수신부들 혹은 수신부와 발신부 사이의 간격을 8 cm로 설계하였지만 이동로봇의 형태, 작업공간의 배치상태, 응용목적 등에 따라 센서 간격을 조정하여 사용할 수 있다.

일반적으로 발신부와 수신부가 분리된 형태의 초음파 센서를 사용하여 센서 전방에 위치한 물체거리를 측정하면 발신부와 반사파의 비행거리에 대한 정보를 이용하여 Fig. 2(a)에서 본 바와 같이 감지된 물체가 있다고 추정되는 타원케적을 구할 수 있다. 이 때 초음파 센서의 발신부와 수신부는 타원케적의 초점에 위치하며, 센서감지 영역내의 타원케적상에 놓여진 물체들에 대해 초음파 센서를 사용하면 동일한 측정결과를 얻게 될 것이다. 그러므로, 하나의 발신부와 하나의 수신부로 구성된 초음파 센서를 사용하면 측정결과로부터 감지대상 물체의 정확한 위치를 결정할 수 없게 된다. Fig. 2(a)에서 초음파의 비행거리 L , 발신부와 수신부 사이

의 간격 $2c$ 와 물체가 있으리라 추정되는 타원 방정식의 관계식은 식(1)과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{x^2}{(L/2)^2} + \frac{y^2}{[(L/2)^2 - c^2]} = 1 \quad (1)$$

한 쌍의 초음파 센서를 사용하면 식(1)과 같이 하나의 타원 방정식에 대한 정보만을 얻을 수 있으므로 측정물체의 정확한 위치를 알 수 없지만 1개의 발신부와 4개의 수신부를 가지는 배열센서를 사용한 경우에는 발신부와 각 수신부의 측정결과로부터 식(1)과 같은 형태로 표시되는 4개의 타원 방정식을 얻을 수 있다. 그러므로, 배열센서를 사용할 경우에는 측정물체의 위치는 이론상으로 Fig. 2(b)에서 표시한 것과 같이 식(1)의 형태로 유도된 4개의 타원 방정식들의 교점들(총 6개)의 좌표값에 해당된다. 측정 대상물의 크기가 매우 작을 경우에는 6

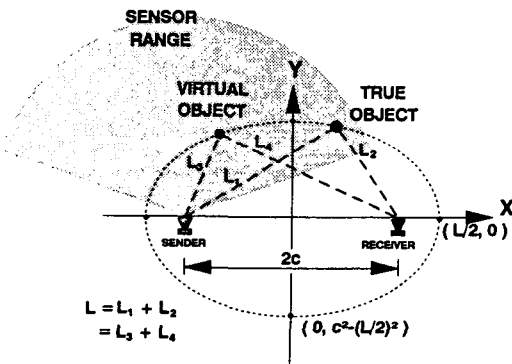
개 교점들의 좌표값이 거의 일치하게 되지만 측정물체의 크기가 클 경우에는 수신부에 들어오는 초음파의 반사면이 서로 다를 수 있기 때문에 교점들의 좌표값이 달라질 수 있다. 배열센서 시스템을 사용하여 측정된 장애물의 위치는 6개 교점들의 좌표값에 대한 평균값과 표준편차를 계산하여 편차가 심한 교점(표준 편차값의 2배이상)이 발생한 경우에는 거짓정보가 입력되었다고 간주하여 평균치 계산에서 제외하는 방법을 적용하였다.

3. 국부지도작성방법

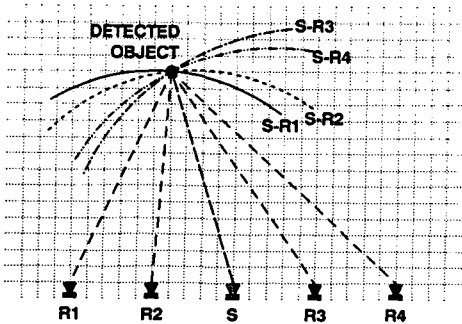
3.1 국부지도

이동로봇의 주행을 방해하는 각종 장애물들의 위치변화가 심한 지역이나 장애물 배치상태에 대한 정보가 전혀없는 미지지역을 탐색하는 이동로봇의 경우에는 주변 장애물들과 충돌을 발생하지 않고 목표점에 도달하기 위해서는 로봇의 주행위치를 기준으로 진행방향에 위치한 각종 장애물들의 배치상황을 일정한 수준의 허용 오차내에서 인식할 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 국부지도는 적절한 센서 시스템을 사용하여 주행중인 이동로봇의 진행방향에 있는 각종 장애물들의 배치상황을 기록한 지도를 말하며, 이동로봇에게 주행가능 지역과 불가능 지역에 대한 정보를 제공할 수 있어야 하며, 여러 위치에서 작성된 국부 지도를 합성하여 활동영역의 장애물 분포상태를 표시한 전체 지도를 재구성할 수 있는 형태로 작성되어야 한다.

국부지도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 작업장 바닥면을 일정한 크기의 격자들로 세분화한 뒤 이



(a) Ellipse whose boundary is considered as the location measurements



(b) The exact location of the detected object measured by the intersection point of four ellipses

Fig. 2 Position of the obstacle estimated from the single sensor and the array sensor measurements

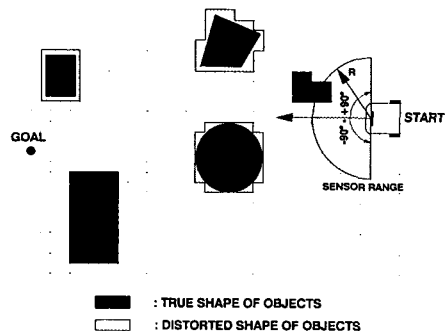


Fig. 3 Reconstruction of a working area using grid concept

동로봇에 설치한 배열센서 시스템으로 인식한 장애물들의 분포상태를 격자단위로 표시하는 방법을 사용하고자 한다. 배열센서 시스템의 감도를 조정하여 장애물 감지영역을 센서 전방 2미터로 제한하였으며, 배열센서를 이동로봇의 진행방향을 기준으로 $\pm 90^\circ$ 회전시켜 전방의 장애물들을 측정하기 때문에 국부지도의 크기는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 반경 2미터의 반원형태가 된다. 배열센서 시스템을 사용하여 측정된 장애물의 위치(타원들의 교점 좌표값의 평균치)에 해당하는 격자에 확률 연산방법을 적용하여 국부 지도상에 장애물의 존재를 표시하였다.

3.2 격자의 점령확률 연산방법

이동로봇의 작업영역을 구성하는 격자들에 물체가 위치한다고 판단하는 기준은 배열센서의 측정결과에 따라 각 격자들에 대한 확률 연산 과정을 거쳐 최종적으로 격자들의 확률값을 기준으로 점령격자, 비점령격자, 미지격자 등으로 분류한다. 각 격자에 물체가 위치할 확률값은 0~1 사이의 값으로 표시되며, 격자들의 확률값이 0.5보다 큰 경우에는 점령격자, 실험적으로 구한 특정 임계치 P_c 보다 작을 경우에는 비점령격자, 확률값이 P_c 이상 0.5이하일 경우에는 미지영역으로 판단하는 방법을 사용하였다. 확률 연산을 위하여 구성 격자들에는 점령확률 0.5의 초기값을 지정하였으며, 예비 실험 과정에서 작성된 장애물 분포 확률 지도와 실제 장애물위치 정보를 비교하여 임계값 P_c 를 0.3으로 결정하였다.

배열센서 시스템의 수신부를 통해 수집한 거리정보를 바탕으로 4개의 타원 방정식을 유도한 뒤 타원들의 교점을 계산하면 6개의 교점 좌표값을 얻을 수 있다. 그리고, 교점 좌표값들의 평균값과 표준편차를 계산하여 평균값과의 편차가 표준편차에 비해 2배 이상 큰 교점들은 제외하여 위치 추정에 사용될 수 있는 유효 교점들을 결정한다. 물체의 위치는 유효 교점들의 평균 좌표값을 계산하여 결정하였으며, 격자 평면에서는 평균 좌표값에 위치한 격자가 물체에 점령되었다고 간주하였다. 장애물이 있다고 추정된 (i, j) 번째 점령격자에는 확률값 $M_{ij}^k=1$, 측정시 초음파 배열센서의 감지영역 내에 위치한 다른 격자들에는 $M_{ij}^k=0$ 의 확률값을 지정하였다.

배열센서 시스템을 사용하여 크기가 작은 장애물

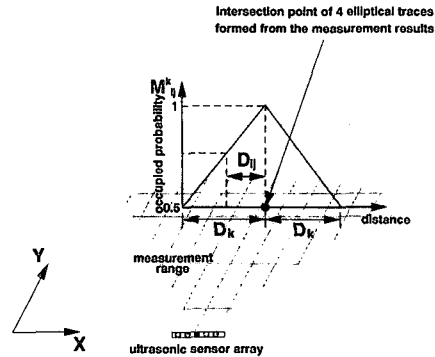


Fig. 4 Profile of the occupied probability function near the point determined as the location of obstacle by the array sensor

을 측정할 시에는 초음파의 반사면이 좁으므로 각각의 수신부에서 동일한 반사파를 수신하여 6개의 유효 교점을 사용할 수 있는 가능성이 높으나 반사면이 넓은 장애물의 경우에는 음파의 간섭현상, 거울 반사효과 등의 요인에 의해 유효 교점의 숫자가 줄어들 것이다. 이러한 경우에는 유효 교점의 좌표값에 해당하는 격자외에도 주변 격자의 위치에 물체가 존재하고 있는 가능성이 높으므로 주변 격자들의 점령확률값을 높일 수 있는 방법을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 점령격자와 배열센서의 발신부를 연결하는 선에 수직방향으로 좌우거리 D_k 에 위치한 주변 격자에도 물체가 존재할 확률을 0.5~1까지 선형적으로 부여하였다. Fig. 3에 표시한 변수 D_k 값은 식(2)와 같이 유효 교점수의 함수로 표시되며, 교점 좌표값에 해당하는 격자 주변에 위치한 (i, j) 번째 격자의 점령 확률은 식(3)과 같이 표시하였다.

$$D_k = -C_1 N_{eff} + C_2 (\text{cm}), 1 \leq N_{eff} \leq 6 \quad (2)$$

$$M_{ij} = \begin{cases} 0.5(1 + (D_k - D_{ij})/D_k) & \text{when } D_{ij} \leq D_k \\ 0 & D_{ij} > D_k \end{cases} \quad (3)$$

여기서, N_{eff} 는 타원 방정식들의 유효 교점수, D_{ij} 는 유효 교점들의 평균값과 주변 격자의 중심간의 거리를 의미한다. 상수 C_1 과 C_2 는 격자크기, 배열센서의 형태, 실험에 사용된 초음파 센서의 성능에 좌우되는 값이며, 실험적인 방법을 사용하여 결정되며, 본 연구에서는 각각 5 cm와 35 cm를 사용하였다. 그리고, 식(3)에서 보는 바와 같이 $D_{ij} \leq D_k$ 인 주변 격자에만 점령확률이 부여된다.

배열센서 시스템의 측정결과 물체에 의해 점령되었다고 판단된 격자와 식(2)와 식(3)에 의해 결정된 주변 격자들의 점령확률값, P_{ij}^k 는 식(4)와 같이 계산된다.

$$P_{ij}^k = W_f P_{ij}^{k-1} + (1 - W_f) M_{ij}^k \quad (4)$$

여기서, 가중치, W_f 값은 초음파 배열센서의 측정에 의한 결과 M_{ij}^k 와 전 단계에서 추정된 (i, j) 번째 격자의 점령확률, P_{ij}^{k-1} 에 대한 상대 신뢰도를 가리킨다. 유효 교점의 수가 많으면 M_{ij}^k 의 결과에 높은 신뢰도를 부여하는 방법이 타당하므로 본 연구에서는 실험적인 방법을 사용하여 가중치, W_f 값을 식(5)와 같이 결정하였다.

$$W_f = 0.5 + 0.05(6 - N_{eff}) \quad (5)$$

배열센서의 측정결과 물체가 있다고 판단된 격자들의 점령확률은 식(4)에 의해 계산할 수 있으나 점령격자라고 판단된 격자가 새로운 측정결과에 따라 비점령격자라고 판단된 경우에는 식(6)을 사용하여 점령확률값을 계산하고 비점령격자라고 판단된 격자가 다시 비점령격자로 확인된 경우에는 식(7)을 사용하여 계산한다.

$$P_{ij}^k = W_1 P_{ij}^{k-1} + (1 - W_1) M_{ij}^k \quad (6)$$

$$P_{ij}^k = W_2 P_{ij}^{k-1} + (1 - W_2) M_{ij}^k \quad (7)$$

식(6)과 식(7)에 표시된 가중치 W_1 과 W_2 는 실험적으로 구한 서로 다른 값이다. 식(6)과 식(7)에서 보는 바와 같이 측정결과와 비점령격자로 추정된 경우에는 해당 격자의 점령확률값은 연속적으로 낮아지게 된다.

3.3 주행가능통로 판별방법

초음파 배열센서를 사용하여 얻은 국부지도를 바탕으로 이동로봇은 전방의 장애물과 충돌을 일으키지 않고 목표점에 도달하기 위한 주행가능통로를 인식할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 배열센서를 이용하여 로봇 전방의 격자 단위에 대한 물체의 점령확률과 비점령확률을 계산한 뒤 Fig. 5와 같이 센서의 감지영역을 극좌표계 형식을 사용하여 40개의 세부영역(세부영역의 크기는 이동로봇의 크기 및 주행성능에 따라 조정하여야 한다)으로 나누어 각 세부영역에 대한 장애물 점령밀도함수와 활동가능영역을 정의하였다. 장애물 점령밀도 함수는 특정 세부영역내에 위치한 격자들 중 점령격자(점령확률값이 0.5 이상인 격자)로 판별된 격자들의 확률값들을 환산한 값으로 정의하였다. 그러므로 장애물 점령밀도 함수값은 특정 세부영역내에 위치한 장애물들의 분포상태를 표시하며 이동로봇의 주행가능 통로의 위치에 대한 정보를 제공하는 역할을 한다. 장애물 점령밀도 함수값은 장애물의 분포상태와 주행가능통로의 위치에 대한 정보를 제공하지

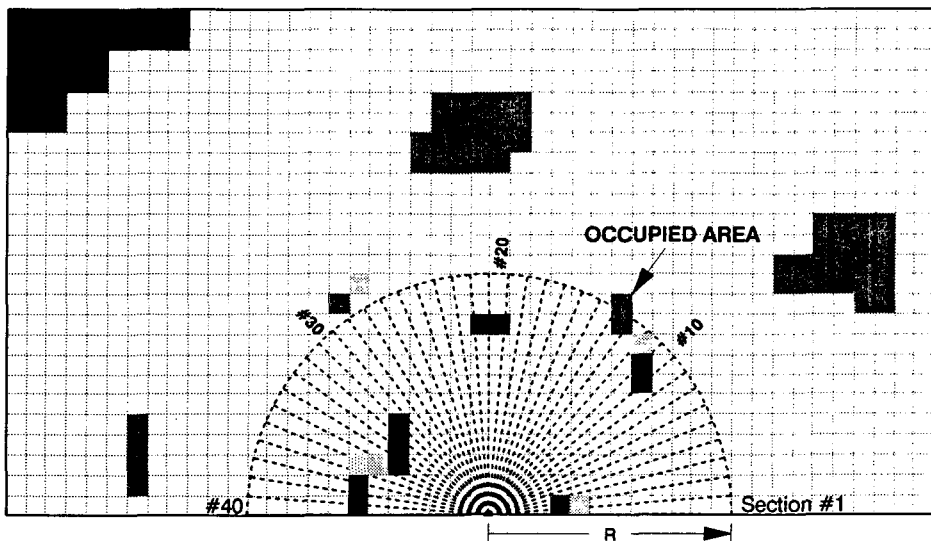


Fig. 5 Sectors of interest in which the obstacle occupied density function and possible working distance are to be computed by the resultant local map

만 장애물과의 거리 및 접근가능거리에 대한 정보를 제공하지 못하므로 이동로봇이 장애물과 충돌을 유발하지 않고 안전하게 주행할 수 있는 주행가능거리 함수를 정의하였다. 주행가능거리 함수값은 특정 세부영역에 점령격자가 있을 때는 로봇좌표계의 원점에서 가장 가까운 점령격자까지의 거리, 점령격자가 없을 때는 미지격자까지의 거리, 미지격자가 없을 때는 비점령격자들 중에서 가장 멀리 위치한 격자의 중심까지의 거리로 정의하였다.

그러므로, 이동로봇은 배열센서 시스템을 사용하여 측정된 결과를 이용하여 국부지도의 작성, 장애물 점령밀도함수의 계산, 주행가능거리의 연산과정을 수행하여 목표점에 도달하기 위한 유리한 세부영역들 중 장애물 점령밀도가 낮은 세부영역을 선택하여 통로까지의 거리를 주행가능거리 함수값을 참조하여 인식한 뒤 주행을 실시하게 된다.

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 실험장치

본 연구에서 제안한 초음파 배열센서의 특성을 조사하기 위하여 Fig. 6과 같은 실험장치를 구성하여 장애물 감지측정실험을 수행하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 실험장치는 중앙에 배치된 초음파 발신부와 좌우 2개씩 배치된 수신부로 구성된 배열센서부, 수신부에 감지된 음파신호를 변환하여 장애물과의 거리를 계산하기 위한 신호처리 회로부, 배열센서부를 일정한 각도로 회전시키기 위한 스텝핑모터 시스템, 스텝핑모터의 회전각을 측정하기 위한 엔코더 회로부, 스텝핑모터 시스템과 초음파 센서들의 제어기능 및 측정데이터의 연산을 통해 국부지도작성 작업을 수행하는 개인용 컴퓨터, 센서의 출력신호와 스텝핑모터 시스템을 PC에 접속하기 위한 인터페이스 회로부 등으로 구성되어 있다. 초음파 센서는 산업용 용도로 널리 사용되고 있는 일본 무라타사의 모델 MA40A5S/R을 채택하였으며, 사용된 초음파 센서모델은 발진주파수 40 kHz의 광대역 특징을 가지며 50°의 지향성 9 mm의 분해능, 외경치수 16φ×12h의 사양을 갖고 있다. Fig. 7은 본 연구에 사용된 배열센서 시스템의 장애물 감지영역을 빔폭 (beam width) 결정실험을 통해 측정된 결과와 각 수신부의 감지영역을 보여 주고 있다. 초음파 센서의 장애물 감지영역은 삼각형으로 단순화하여 모델링하여 사용하였으며, 수신

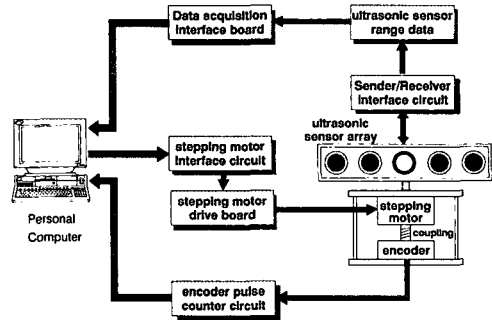


Fig. 6 Schematic diagram of the experimental equipments

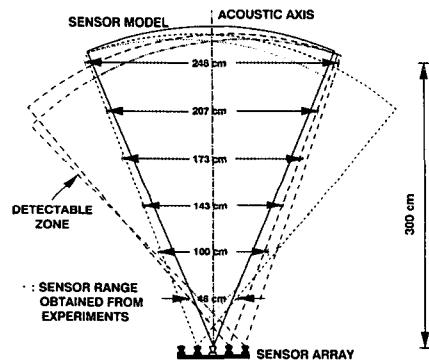


Fig. 7 Effective range of the ultrasonic sensor used in the experiment

부의 설치 각도를 조절하여 수신영역을 가능한 발신부의 감지영역과 일치시키기 위해 수신부의 방향을 조절하였다. 초음파 신호처리 회로부는 초음파 발생회로, 수신부에 감지된 신호의 증폭 및 감지회로, 초음파 비행시간 측정을 위한 기준 클럭발생회로, 측정된 비행시간을 거리정보로 환산하기 위한 연산회로, 데이터전송회로 등으로 구성되어 있다. 스텝핑모터와 모터축에 연결된 배열센서부는 컴퓨터의 명령에 의해 설치방향을 기준으로 -90° ~ +90°구간을 일정 각도씩 회전하게 된다. 스텝핑모터의 회전이 완료되면 초음파 작동신호가 초음파 발생회로에 전송되었으며 장애물에 의해 반사된 초음파는 4개의 수신부를 통해 감지되어 비행시간 및 비행 거리 연산회로를 거쳐 장애물과의 거리 정보 형태로 변환되어 컴퓨터로 전송된다. 실험을 통해 초음파 회로를 이용한 거리 정보의 획득에 0.02초 미만의 시간이 소요됨을 알 수 있어 스텝핑모터의 회전 주기를 0.02초로 설정하였다. 스텝핑모터의 회전이 완료되면 컴퓨터 프로그램은 각 측정점에서

전송된 장애물과의 거리정보와 엔코더를 통한 스텝핑 모터의 회전각 정보를 바탕으로 앞장에서 제안한 알고리즘을 사용하여 장애물의 정확한 위치를 기록하는 국부지도도를 작성하게 된다.

4.2 초음파 배열센서의 성능실험

배열센서 발신부의 전방 100 cm 지점에 지름 1.5 cm의 원형 봉을 설치하여 장애물 인식실험을 수행한 결과를 Fig. 8에 표시하였다. Fig. 8에 사용된 격자크기는 5 cm×5 cm이며, 배열센서부를 회전하지 않고 고정한 상태에서 측정된 결과를 보여주고 있다. 그림에 표시된 기호 ■는 센서의 측정 결과에서 추정된 장애물의 위치를 기호 ○는 실제 원형 장애물의 위치를 표시하고 있다. Fig. 8은 배열센서부를 사용하여 동일한 물체를 1번만 측정된 결과와 여러 번 측정된 결과들의 평균값들의 차이를 동시에 보여주고 있다. 본 실험결과에서보는 바와 같이 동일 물체에 대해 여러 번 측정하여 평균값을 취하는 방법이 1회만 측정할 경우에 비해 오차값이 작아지나 1회 측정의 경우도 1쌍의 초음파 센서를 사용하는 경우에 비해 매우 정확하게 물체의 위치를 추정할 수 있다는 사실을 알 수 있다. 수신부와 발신부를 하나씩 사용하는 기존의 단일 초음파 센서를 사용하여 지름 1.5 cm의 원형봉을 감지하는 실험을 수행할 경우에는 원형 봉과 센서간의 거리만을 측정할 수 있으며 센서 감지영역 내에서의 원형 봉의 위치를 정확하게 측정할 수 없으나 배열센서를 사용한 경우에는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 원형 봉의 거리 및 위치를 정확하게 알 수 있다는 사실을 알 수 있다. 또한, Fig. 8의 결과는 측정회수에 관계없이 장애물의 위치를 정확하

게 인식할 수 있다는 사실을 보여주고 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 제안한 배열센서 시스템의 우수한 위치 인식능력을 보여주는 것이다.

Fig. 9는 배열센서부의 전방 100 cm 지점에 위치한 원형 봉(직경 1.5 cm)과 벽에 대하여 배열센서를 0.36° 간격으로 회전하여 위치측정실험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 배열센서부를 0.36씩 회전시켜 실험을 수행하면 500개의 서로 다른 자세에서 동일 물체의 위치측정실험을 실시하는 효과를 얻을 수 있으므로 거울 반사 및 센서 장애에 의한 오차발생 기구를 관측할 수 있을 것이다. 그리고, 센서전방부의 영역을 5 cm×5 cm 크기의 격자들로

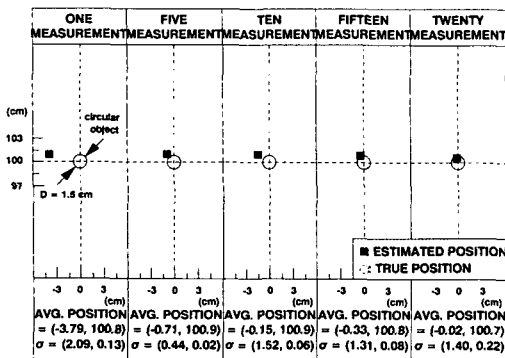


Fig. 8 Position of a small rod measured by the proposed array sensor

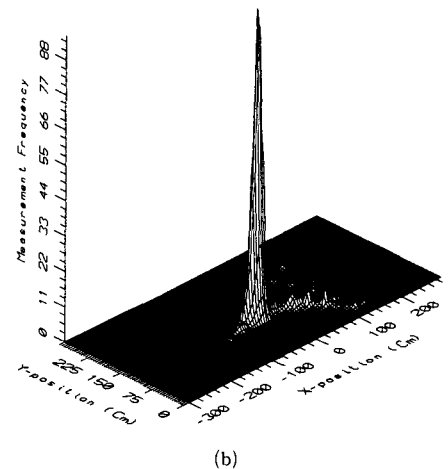
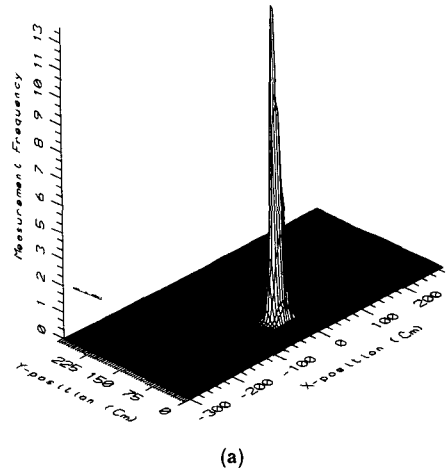


Fig. 9 (a) Measurement results of a small rod location using the array sensor
(b) Measurement results of a wall location using the array sensor

나누어 회전하는 배열센서에 의해 추정된 장애물들의 위치를 격자 단위로 변환하여 표시하였으며, 수직축은 500개의 자세에서 전방 격자에 장애물이 있다고 추정된 빈도를 표시하였다. 그러므로, Fig. 9에서 표시된 특정 격자의 빈도값이 높다는 것은 해당 격자에 물체가 존재할 확률이 높다는 사실을 의미한다.

원형 봉의 경우에는 봉이 설치된 위치에 해당하는 격자의 빈도값이 매우 높게 나타났으며, 이는 원형 봉의 위치를 정확하게 파악할 수 있는 성능을 배열센서가 갖고 있다는 것을 의미한다. 벽의 경우에는 배열센서와 벽이 거의 평행한 부분에서는 벽의 위치 및 형태를 매우 정확하게 측정하였지만 배열센서의 회전각이 큰 경우에는 벽과 발신부간의 경사각이 커지므로 초음파의 특성상 거울반사현상이 발생하여 벽의 위치를 정확하게 인식할 수 없었다. 그러나, 벽과 같이 길이가 긴 장애물의 경우에는 측정위치를 변경하여 다수의 측정점에서 물체 인식실험을 수행하여 실험결과를 융합하는 방법을 사용하면 장애물의 실제 형상에 대하여 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

근접한 두 개의 물체를 초음파 배열센서를 사용하여 정확하게 인식할 수 있는지를 실험하기 위하여 센서발신부의 100 cm 전방에 30 cm 간격을 두고 지름 1.5 cm의 원형 봉(Fig. 10에 표시된 점 B, C)을 설치하여 물체 인식실험을 수행하였다. 그림에 표시된 A와 D는 발신부의 좌·우측 거리 150

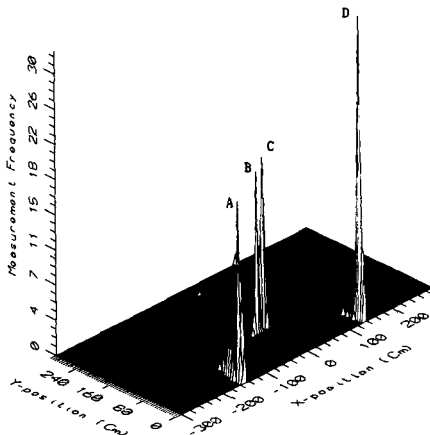


Fig. 10 Performance of the array sensor when two small rods(points B & C) are located 30 cm apart(A & D indicate the location of two walls)

cm에 배치된 벽면을 표시하며, 격자의 크기는 5 cm×5 cm이다. Fig. 7에서보는 바와 같이 실험에 사용한 초음파 센서의 경우 1미터 거리에서의 빔 폭은 거의 100 cm를 차지하므로 기존의 방법으로는 30 cm 간격으로 놓여진 두 개의 원형 봉을 분리하여 인식하기가 매우 곤란하다. 그러나, Fig. 10에서 보는 바와 같이 배열센서를 사용하여 얻은 실험결과에 측정 빈도수에 대한 적절한 임계값을 선택하여 측정결과를 정리하면 센서 주변에 배치된 장애물의 유무 판단이 정확할 뿐 아니라 매우 근접한 물체들의 분리인식이 가능하며 각 물체에 대한 위치정보도 매우 정확하게 수집할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 초음파 배열센서에 대한 성능 실험결과들은 배열센서의 측정영역에 위치한 각종 장애물들의 위치측정에 대한 우수한 성능과 일반 초음파 센서의 사용시에는 하나의 물체로 인식되는 근접 물체들을 뚜렷이 구분하여 인식할 수 있는 성능을 갖추고 있다는 사실을 보여주고 있다.

4.3 작업장의 국부지도작성 실험

제3장에서 제안된 작업장 국부지도작성 알고리즘을 사용하여 로봇의 주행에 적합한 수준의 정밀도를 가지는 국부지도를 작성할 수 있는지의 여부를 조사하기 위해 배열센서의 국부지도작성 실험을 수행하였다. Fig. 11은 작업장의 국부지도 작성 실험에 사용된 5 m×3 m의 작업장의 모습을 보여주고 있다. 작업장 내에는 직경 50 cm 및 56 cm의 원형 물체와 47 cm×45 cm 및 55 cm×50 cm의 직사각형 물체들이 위치하고 있으며, 배열센서를 이용한 국부지도의 작성은 총 8개의 지점에서 실시하였고 측정위치는 표식(⊥)으로 나타내었다. 각 측정점에서

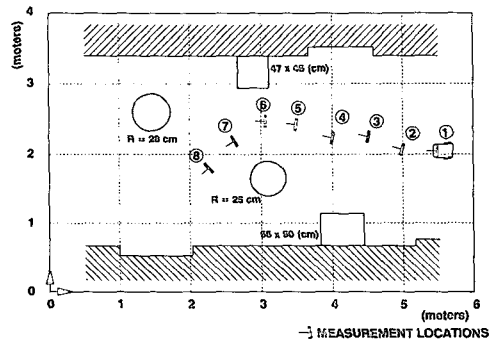


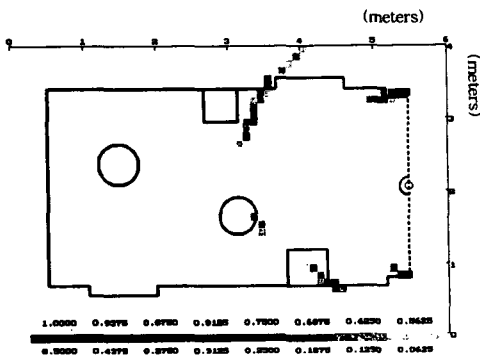
Fig. 11 Location of measurement points in the prototype working area

배열센서를 7.5°씩 회전시켜 동일 지점에서 동일한 물체 배치에 대해 25번 물체 인식실험을 수행하였다.

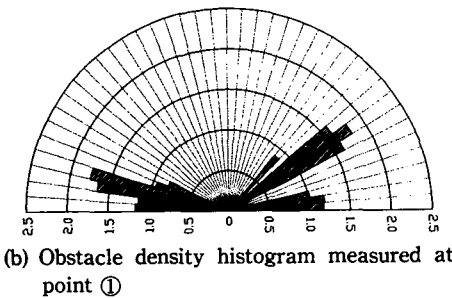
Figs. 12~15는 국부지도작성에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 그림의 (a)부분은 현재까지 인식된 장애물 분포상황을 각 단위 격자(10 cm×10 cm)에 대한 점령 확률값 형태로 보여주는 지도이며, 배열센서의 출력값을 국부지도작성 알고리즘에 적용하여 계산하나 장애물 분포상태의 누적결과를 보여주고 있다. 그림의 (b)부분은 국부지도 알고리즘에서 계산된 배열센서의 전방에 위치한 장애물

들의 점령밀도 함수값을 센서의 감지 영역을 구성하는 40개의 세부영역별로 표시하고 있다. 그리고, 그림의 (c)부분은 배열센서의 전방에 위치한 장애물까지의 주행가능거리를 표시한다. 센서의 측정거리는 3미터이나 최대 주행가능거리는 센서의 오차 및 이동로봇의 회전운동시의 운동 반경 등의 요인을 고려하여 최대 2미터로 제한하였다. Figs. 12~15의 (a)부분에 수평축과 수직축에 표시된 좌표는 미터 단위로 표시된 거리를 나타낸다.

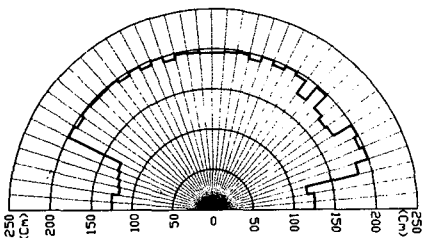
국부지도의 작성에 대한 실험결과에서 보는 바와 같이 배열센서 시스템의 사용은 일부 거울반사효과



(a) Local map constructed at point ①

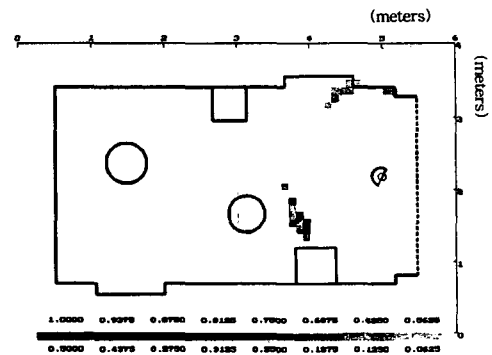


(b) Obstacle density histogram measured at point ①

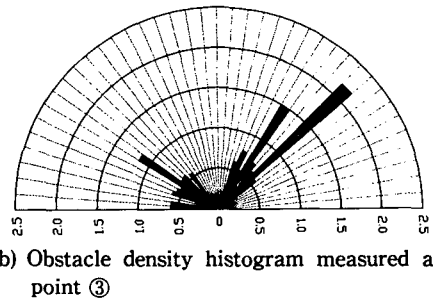


(c) Possible working area measured at point ①

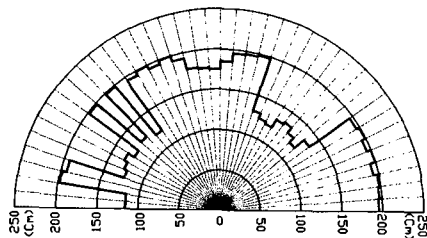
Fig. 12 measurement results of the local map, the obstacle occupied density function and possible working distance observed at point ①



(a) Local map constructed at point ③



(b) Obstacle density histogram measured at point ③

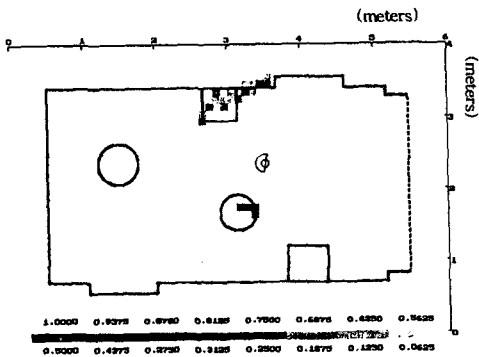


(c) Possible working area measured at point ③

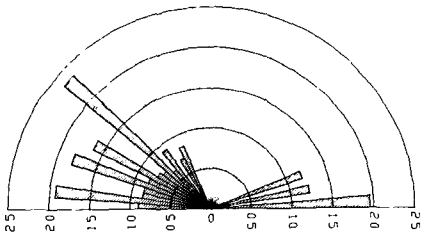
Fig. 13 Measurement results of the local map, the obstacle occupied density function and possible working distance observed at point ③

의 영향에 의해 장애물들의 형상을 왜곡하는 결과를 보여주고 있지만 대체로 우수한 지도작성 성능을 보여주고 있다. 특히, 측정지점을 기준으로 장애물 점령밀도함수와 주행가능거리함수는 매우 정확한 실험결과를 보여주고 있다는 사실을 알 수 있으므로 장애물의 분포상황에 대한 정보가 부족한 지역을 탐사하는 이동로봇의 주행제어에 본 연구에서 제안한 국부지도를 이용한 주행 경로 검색 알고리즘을 매우 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

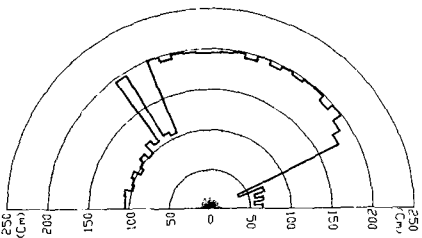
Fig. 16은 8개 지점에서 작성된 국부지도를 합성하여 작업장 전체 지도를 작성한 결과를 보여주고



(a) Local map constructed at point ⑤

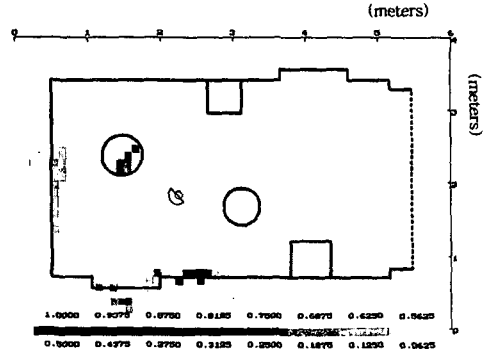


(b) Obstacle density histogram measured at point ⑤

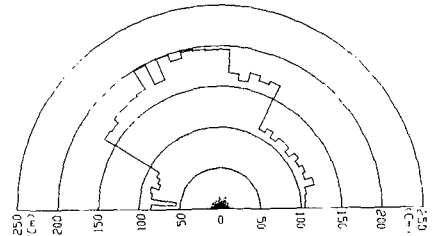


(c) Possible working area measured at point ⑤

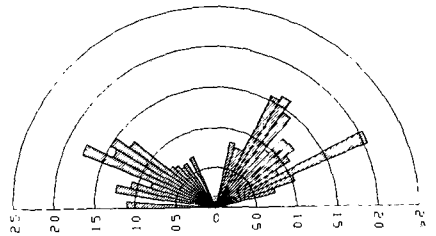
Fig. 14 Measurement results of the local map, the obstacle occupied density function and possible working distance observed at point ⑤



(a) Local map constructed at point ⑧



(b) Obstacle density histogram measured at point ⑧



(c) Possible working area measured at point ⑧

Fig. 15 Measurement results of the local map, the obstacle occupied density function and possible working distance observed at point ⑧

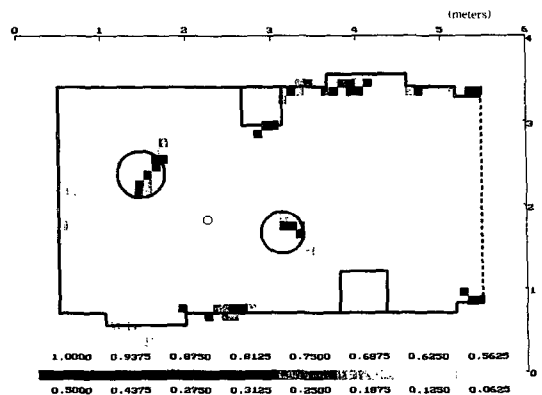


Fig. 16 Global map of the prototype working area constructed by the integration of several local maps measured at different locations

있다. 작성된 전체 지도의 질은 약간 떨어지나 측정지점의 수에 비해서는 물체 배치에 대한 매우 유용한 정보를 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 미지의 영역이나 주행에 지장을 주는 장애물의 분포의 변화가 심한 지역에서 작업을 수행하는 로봇의 장애물 인식 기능을 부여하기 위해 1개의 발신부와 4개의 수신부로 구성된 초음파 배열센서 시스템을 사용하여 이동로봇이 주변 장애물들과 충돌을 회피하면서 목표지점까지 안전하게 주행할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 배열센서 시스템과 국부지도작성 알고리즘을 사용하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 제안된 배열센서의 성능실험결과 물체의 위치에 대한 정보를 정확히 추출할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

(2) 초음파 배열센서를 사용하면 매우 근접한 물체들도 정확하게 분리하여 인식할 수 있다는 사실을 실험적으로 검증하였다.

(3) 본 연구에서 제안한 국부지도작성 알고리즘을 사용하여 실험을 수행한 결과 측정지점의 주변에 대한 물체의 분포상태를 정확하게 파악할 수 있는 고질의 확률지도를 얻을 수 있었으며, 국부 지도의 결과를 이용하여 작업장의 전체 지도를 작성할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

(4) 장애물 점령밀도함수는 이동로봇의 주행가능 통로의 검색에 대한 유용한 정보를 제공하였으며, 주행가능거리 함수는 장애물과 충돌을 회피하면서 이동로봇이 최대 속도로 주행할 수 있는 영역에 대한 정보를 제공한다는 사실을 알 수 있었다.

참고문헌

(1) 이상룡, 권승만, 1993, "이동로봇의 실시간 자

세 추정을 위한 센서 시스템의 개발," 대한기계학회 논문집, 제17권 제9호, pp. 2191~2204.

(2) Lee, C. W., Boem, H. R. and Cho, H. S., 1993, "An obstacle Detection Method for Mobile Robots Using Axial Stereo," *12th World Congress Int. Fed. of Automatic Control*, July.

(3) Scott, A. Walter, 1987, "The sonar Ring: Obstacle Detection for a Mobile Robot," *IEEE Trans. Robotics Automation*, pp. 1574~1579.

(4) Borenstein, J. and Koren, Y., 1990, "Teleautonomous Guidance for Mobile Robots," *IEEE Trans. Robotics Automation*, pp. 1437~1443.

(5) Moravec, H. P. and Elfes, A., 1985, "High Resolution Map From Wide Angle Sonar," *IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, pp. 116~121(1985)

(6) Elfes, A., 1981, "Sonar Based Real World Mapping and Navigation," *IEEE Trans. Robotics Automation*, pp. 249~265.

(7) 임종환, 조동우, 1990, "초음파 센서를 이용한 자율 이동로봇의 서튼티그리드 형성," 대한전기학회논문집, 제39권 제3호, pp. 386~392.

(8) Borenstein, J. and Koren, Y., 1991, "The Vector Field Histogram — Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots," *IEEE Trans. Robotics Automation*, pp. 278~288.

(9) Matties, L. and Elfes, A., 1988, "Integration of Sonar and Stereo Range Data Using a Grid Based Representation," *IEEE Int. Conf. Robotics Automation*, pp. 727~733.

(10) Flynn, A. M., 1988, "Combining Sonar and Infrared Sensors for a Mobile Robot Navigation," *Int. J. Robotics Research*, pp. 5~14.

(11) Ultrasonic Ranging System Handbook: *Application Notes/Technical Paper*, Polaroid Company.