

이동 로봇 'KMR-2' 의 주행 및 장애물 인식 장치에 관한 연구

이 대 업 **
** 한국과학기술원 생산공학과

이 중 원 *
* 한국과학기술원 CAD/CAM 연구실

On the control and the obstacle detection system
of the Mobile Robot 'KMR-2'

Dae Youp Lee Chong Won Lee
Dept. of Production Engineering KAIST CAD/CAM Lab. KAIST

ABSTRACT

In this study, the Mobile Robot 'KMR-2' which is controlled by two motored wheels is designed and experimented for simple path tracking.

Ultrasonic ranging system for detecting obstacles is also experimented. With two ultrasonic ranging systems rotating independently, the orientation of a plane and the center of a cylinder whose radius is known can be found.

1. 서 론

산업용 로봇은 실용화 이래 산업 현장에서 널리 사용되고 있다. 그러나 산업용 매니퓰레이터(manipulator) 등은 고정된 위치에서 일정한 범위내의 작업만이 가능하기 때문에 이동을 하면서 작업을 해야되는 여러 산업 현장에서는 부가적으로 이동 기능 또는 주행 기능이 필요하게 된다. 또한 공장의 자동화 및 무인화 시스템을 위해서는 필수 불가결한 요소인 무인 반송차에 대한 기술 개발로서 이동 로봇에 관한 연구가 필요하게 된다.

이동 로봇의 주행 기구를 크게 3가지로 분류하면 차륜형(wheel type) 다리형(legged type), 그리고 기어타이는 크롤러형(crawler type) 등이 있고, 유도 제어 방식에 따라서는 주행면에 설치된 고정 경로를 이용하는 고정 경로 방식, 주행 경로의 중간 중간에 설치된 위치 마크를 인식하면서 움직이는 반고정 경로 방식, 그리고 외부 및 내부의 센서를 이용해서 임의의 경로를 주행할 수 있는 자유경로 방식으로 분류할 수 있다.

차륜형 주행 방식을 이용한 연구로서는 MELDOG(1) 과 Yamabico(2) 등이 있다.

무인 운반차의 주행경로를 유도하는 방법으로 고정경로 방식과 반고정 경로 방식이 산업 현장에서 많이 사용되고

있다. 전자의 경우는 설치 비용이 많이 들고 주행 경로의 변경이 곤란하다. 후자의 방법은 설치 비용은 적게 들지만 마멸(wear) 과 세척(cleaning)등에 의해서 주행 경로가 손상 받을 우려가 있다.

따라서 주기적인 관리 또는 보수가 필요하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대책으로서 주행면에 경로를 설치할 필요가 없고 주행 경로에 유연성(flexibility)을 갖는 자유 경로 방식의 이동 로봇에 대한 연구가 필요하게 된다.

2. 본 론

다양한 환경에 따라서 작업이 가능한 이동 로봇의 실현을 위해서는 주행 제어 기능, 위치 및 방향인식 기능, 그리고 장애물 인식 기능이 요구된다. 이러한 기능을 만족하는 이동 로봇을 개발하기 위해서 KAIST CAD/CAM 연구실에서는 이동 로봇의 기계부 설계 제작(3) 과 조음파 센서를 이용한 장애물 인식 시스템에 관한 연구(4)를 하였고, 주행 제어 및 위치 인식을 위한 연구를 하고 있다.(5) 연구 내용을 살펴보면 다음과 같다.

2.1. 이동 로봇의 몸체부 설계

이동 로봇의 몸체부 설계에서 기본적인 설계 개념은 모듈화, 경량화, 그리고 안정화로서 내용은 다음과 같다. 각 기능을 갖는 부분을 각각 서브-어셈블리(sub-assembly)로 하여 설계 제작하고, 몸체의 골격에 각 서브-어셈블리를 간단히 부착할 수 있게 하여 조립 및 매제 작업을 간단하게 하고, 보수 유지를 용이하게 할 수 있도록 하였다. 몸체의 무게는 전원 및 구동 모터의 전력 소비량에 직접적인 관련이 되므로 구조가 견고하면서도 무게가 적게 나가도록 몸체의 주재료로서 듀랄루민을 사용하였다. 이동 로봇이 주행할 때의 안정성을 위하여 무게 중심이 가능한 한 아래쪽에 위치하도록 하였고, 좌, 우 대칭으로 부품을 배치하여 좌, 우 동륜에 동일한 부하가 걸리도록 하였다. 그림 1에는 본 이동 로봇의 외영도를 나타내었다.

2.2. 이동 로봇 시스템의 구성

이동 로봇이 갖추어야 할 기능은 그림 2에 나타낸 바와

같이 주행 제어 기능, 위치 및 방향 인식 기능, 그리고 장애물 탐지 기능 및 충돌에 대비한 기능이 필요하게 된다. 각각의 기능에 대하여 본 연구에서 구성한 내용은 다음과 같다.

(1) 주행 제어 기능

본 이동 로봇은 차륜형 주행 방식으로서 바퀴를 구동하여 주행이 이루어진다. 차륜형 방식에는 주행용 및 방향 조종용 액츄에이터(actuator)가 별도로 된 경우와 2개의 주행 액츄에이터를 사용하여 속도차에 의해서 방향 조종을 하는 경우로 크게 분류할 수 있다.

본 연구에서는 전륜에 2개의 직류 모터를 장착해서 주행 및 방향조종을 하도록 하고, 후륜 2개는 유륜(following wheel)으로 한다. 직류 모터는 50:1 감속비의 하모닉 드라이브(harmonic drive) 감속기를 거쳐 전륜과 연결되고, 최대 0.5 m/sec.(1.8 km/h)의 주행이 가능하다. 좌, 우 동륜(drive wheel)에는 속도제어기(velocity controller)가 각각 연결되어 있어서 각 동륜의 속도를 독립적으로 제어할 수 있다.

(2) 위치 및 방향 인식 기능

이동 로봇이 자신의 주행 위치 및 방향을 인식하기 위한 방법으로는 가속도계 및 자이로스코프를 이용한 관성 항법 장치에 의한 방법, 바퀴의 회전수에 의해 지나는 궤적을 계산하여 위치를 인식하는 방법, 운동 범위내의 지도를 기억시켜 시각 시스템(vision system)을 통해 외부 상황을 인식하여 좌표를 설정하는 방법, 그리고 로봇의 활동 영역에 비콘(beacon) 등의 표식을 두고 여기서 신호를 받아 위치 및 방향을 계산에 내는 방법등이 있다.

본 연구에서는 자유 경로 방식의 유도 주행을 실현하기 위해서 거리계(odometer)를 이용한 위치 및 방향 인식 기능을 구성하였다. 즉 전륜 전방에 주행 위치 및 방향을 인식하기 위한 보조 바퀴를 장착하였다. 보조 바퀴에는 인코더(encoder)와 포텐쇼미터(potentiometer)가 부착되어 있어서 보조 바퀴의 이동 거리와 주행면에 수직인 방향으로의 보조 바퀴의 회전각을 각각 측정할 수 있다. 이 신호를 이용해서 이동 로봇의 주행 궤적을 계산할 수 있고, 이를 토대로 주어진 주행 경로에 대한 추종 주행을 실현할 수 있다.

(3) 장애물 탐지 기능

이동 로봇이 자율적인 활동을 하기 위해서는 외부 인식 기능이 필요하다. 즉 이동 경로상의 장애물을 인식하여 회피하거나, 특정 물체를 인식하여 로봇의 위치를 판단할 수 있어야 한다. 외부 인식용 센서로는 시각 시스템(vision system), 초음파 센서를 이용한 거리측정 시스템, 그리고 빛을 이용한 거리 측정 시스템 등을 생각해 볼 수 있다.

시각 시스템을 이용하는 경우에는 물체까지의 거리 정보를 얻기가 어렵고, 영상 정보처리에 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 초음파 센서를 이용한 시스템에서는 음파의 직각각(dispersion angle)이내에 있는 물체중 가장 가까운 물체까지의 거리를 알 수 있다. 그러나 물체의 형태 등에 관한 정보는 거의 얻을 수 없다. 빛을 이용한 거리

측정 시스템은 일반 광 센서의 경우 반사영으로는 최대 측정 거리에는 한계가 있으며 레이저를 이용할 경우 이동 로봇에 설치하기에는 취약점이 있다. 이러한 방법 가운데 초음파 거리 측정 시스템은 간편하고 정보처리가 간단하다는 등의 장점으로 인해 많은 이동 로봇에 적용되고 있다.

(6)·(7)

본 연구에서는 초음파 거리 측정 시스템을 이용하여 간단한 영상의 물체를 인식하도록 하였다. 사용된 초음파 센서는 주파수가 50 kHz 이고 측정 횟수는 초당 10회 그리고 최대 측정 거리는 약 3m 이다.(8)

(4) 기타 기능

이동 로봇이 외부의 장애물과 충돌했을 때 이를 감지하기 위해서 마이크로 스위치를 전, 후면에 부착하였다. 그리고 조이스틱(joystick)을 부착하여 수동 조종(manual operation)이 가능하도록 하였다.

이상의 기능을 실현하기 위한 시스템의 구성을 그림 3에 나타내었고, 그림 4에는 위치 및 방향 인식을 위한 보조 바퀴의 구조를 간단히 나타내었다.

2.3. 실험

본 연구에서는 직선 주행 및 간단한 경로에 대한 추종 주행 실험과 초음파 센서를 이용한 간단한 영상의 물체에 대한 영상 인식에 관한 실험을 하였다. 각 실험 내용 및 결과는 다음과 같다.

(1) 주행 실험

본 이동 로봇에서는 거리계(odometer system)로서 보조 바퀴를 이용해서 주행 중의 이동 로봇의 위치 및 방향을 인식하였다.

위치 및 방향 인식을 위한 기본 원리는 그림 5에 나타난 바와 같이 단위 시간동안의 보조 바퀴의 이동거리 ΔL_n 과 주행면에 수직인 방향으로의 보조바퀴의 회전각 $\Delta \theta_n$ 을 측정하여 주행 중의 위치 및 방향을 계산하게 된다. 이러한 위치와 방향을 기준 궤적(reference trajectory)과 비교해서 그림 6에서와 같이 기준 궤적에 대한 거리 편차(lateral deviation)와 방향 편차(directional deviation)를 계산하게 된다.

주행 제어는 이러한 거리 및 방향 편차에 대한 비례-적분-미분 제어(PID control)를 하도록 하였다. 주행 제어를 위한 알고리즘을 블록 선도도 그림 7에 나타내었다. 각 이득(gain)은 시뮬레이션(simulation)과 실험을 통해서 구하였다.

주행 성능을 평가하기 위해서 개회로 제어(open loop control)와 폐회로 제어(closed loop control)의 주행 결과를 비교해 보면 그림 8에서와 같다. 개회로 제어의 경우에는 고의로 좌측 모터의 회전 수를 약간 크게 하여 우측으로 주행 편차가 발생하도록 하였고 폐회로 제어를 할 경우 주어진 기준 궤적으로 추종 주행됨을 알 수 있었다.

폐회로 제어의 경우에 대한 좌, 우 동륜의 속도 선도는 그림 9에 나타내었고, 그림 10에는 초기 편차가 주어졌을 경우의 주행결과를 나타내었다.

(2) 장애물 인식 실험

초음파 센서를 이용한 거리 측정 원리는 물체를 향해 초음

파를 발사하여 발사파가 되돌아 올 때 까지의 시간을 측정하는 것이다. 이때 물체 까지의 거리를 d , 반사파가 되돌아 오기까지의 시간을 t 라하면 다음과 같은 관계가 있다.

$$d = V_s \times t / 2$$

여기서 $V_s = 331.4 \sqrt{T/273}$ 음속 (m/sec)

T = 주위 온도 (°K)

1개의 초음파 센서를 이용하여 평면과 원통에 대한 인식 실험의 결과를 그림 11에 나타내었다. 평면은 약 $-10^\circ \sim 10^\circ$ 의 지향각 이내에서 인식되었고 지향각을 벗어난 곳에서는 여상 현상이 발생하였다. 원통의 경우에는 $\pm 10^\circ$ 의 지향각 범위에서 물체의 존재가 인식되었고 여상 현상은 발생되지 않았다.

각각의 경우에서 거리 오차는 0.6 cm 이내 에 있었다.

초음파 센서를 2개 사용할 경우의 실험결과는 그림 12에 나타내었다.

3. 결 론

(1) 좌,우 동륜의 속도차를 이용해서 주행 및 방향 제어를 하는 이동 로봇을 설계 제작하였고, 보조 바퀴를 이용해서 주행 중의 위치 및 방향을 인식하도록 하였다.

(2) 기존 궤적에 대해 주행중 발생한 거리 편차 및 방향 편차에 비례-적분-미분제어를 적용한 결과 초기에 편차가 주어졌을 때도 기존 궤적으로 유도 주행 됨을 알 수 있었다.

(3) 2개의 초음파 센서를 이용한 장애물 인식 실험 결과 67 cm 거리에 있는 평면의 경우 1%의 거리 오차와 1.5° 이내의 방향 오차내에서 인식되었고, 반경을 알고 있는 원통을 $15 < x < 55$ cm, $75 < Y < 95$ cm 의 위치에 놓았을 경우 최대 위치 오차 2cm 이내에서 중심의 위치를 인식할 수 있었다.

4. 향후 연구 과제

(1) 다양한 주행 속도에 대해서 최적의 이득 (gain) 을 설정하기 위한 이동 로봇의 동력학적 특성을 고려한 제어기의 해석이 이루어져야 한다.

(2) 본 연구에서 위치 및 방향 인식을 위해 사용한 내부 센서 시스템에서는 필연적으로 누적 거리 오차가 발생하므로 이러한 누적 오차를 보상해주기 위한 외부 센서를 이용한 위치 및 방향 인식 장치가 개발되어야 한다.

(3) 장애물의 영상 및 위치 인식을 통해서 장애물을 회피할 수 있는 알고리즘과 보다 다양한 외부 환경의 인식을 위한 센서 기능이 추가되어야 한다.

참고 문헌

1. Susumu Tach et al., "Guided Dog Robot, Feasibility experiments with MELDOG MARK III", 11 th ISIR, 1981
2. J. Iijima et al., "Elementary function of a self-contained robot 'YABICO'3.1'",

- 11 th ISIR, 1981
3. 홍대선, "이동 로봇의 개발 - 몸체부 및 제어 회로 설계 제작에 관한 연구",

KAIST, 1986

4. 신동목, "이동 로봇을 위한 초음파 센서 시스템에 관한 연구", KAIST, 1986

5. 조 덕영, "이동 로봇의 조타 제어기 설계와 직선 주행 실험에 관한 연구",

KAIST, 1987

6. Y. Kanayama et al., "A Sonic Range Finding Module for Mobile Robots",

14 th ISIR, 1984

7. Hans P. Moravec et al., "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", 1985 Int'l Conference on Robotics and Automation,

8. Polaroid Ultrasonic Ranging System, Polaroid Corp., 1984

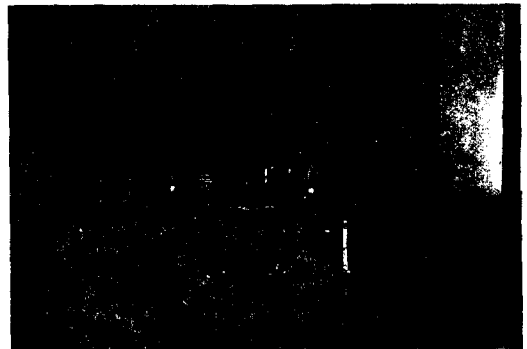


Fig. 1 External view of the 'KMR-2'

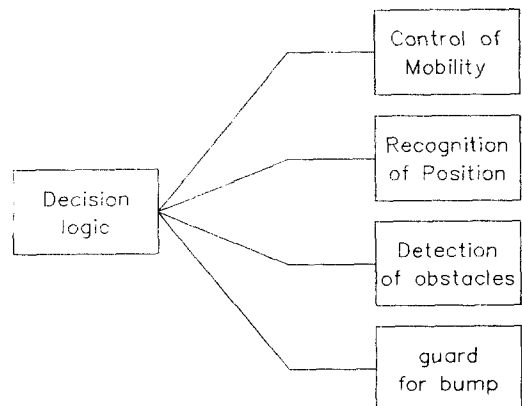


Fig.2 Functions required for a mobile robot.

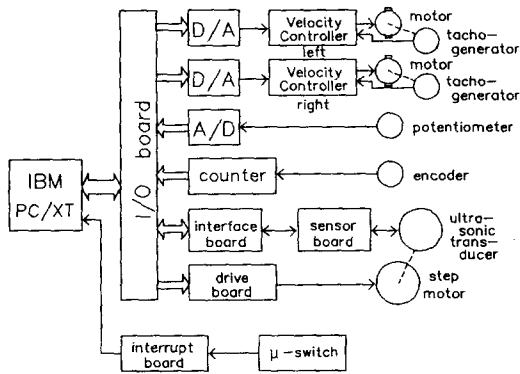


Fig.3 Schematic diagram of the system

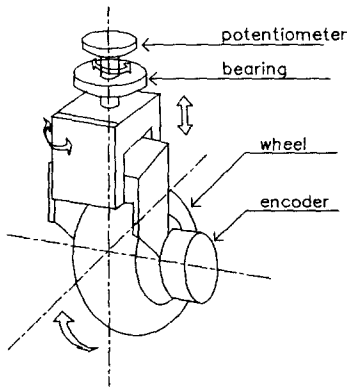
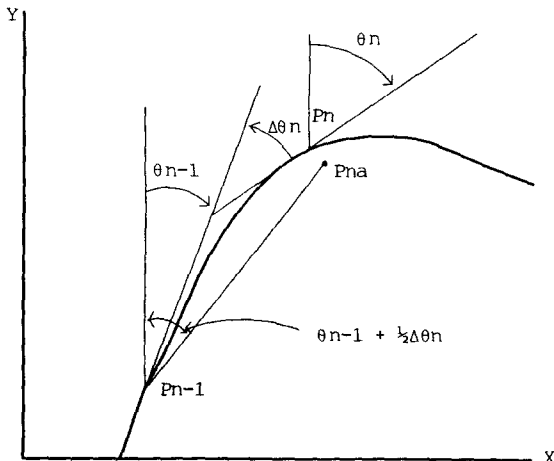


Fig.4 Structure of the auxiliary wheel which senses the position and the azimuth angle of the mobile robot.

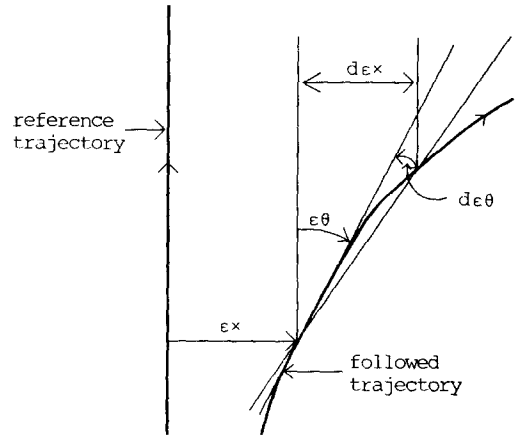


$$X_n \approx X_{na} = X_{n-1} + \Delta L_n \sin(\theta_{n-1} + \frac{1}{2} \Delta \theta_n)$$

$$Y_n \approx Y_{na} = Y_{n-1} + \Delta L_n \cos(\theta_{n-1} + \frac{1}{2} \Delta \theta_n)$$

$$\Delta \theta_n = \theta_n - \theta_{n-1}$$

Fig.5 Principle of calculating the position and the azimuth angle



ϵ_x : lateral deviation
 ϵ_θ : directional deviation

Fig.6 Definition of the lateral deviation and the directional deviation

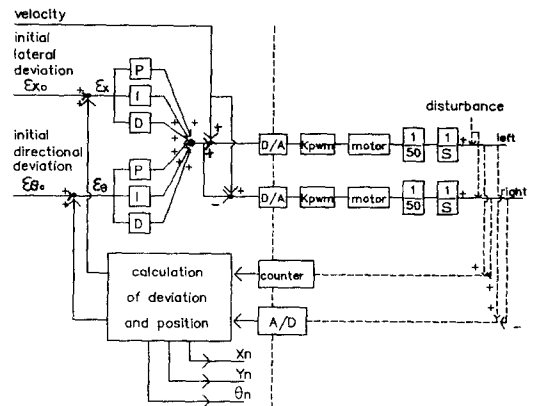


Fig.7 Block diagram of the control algorithm

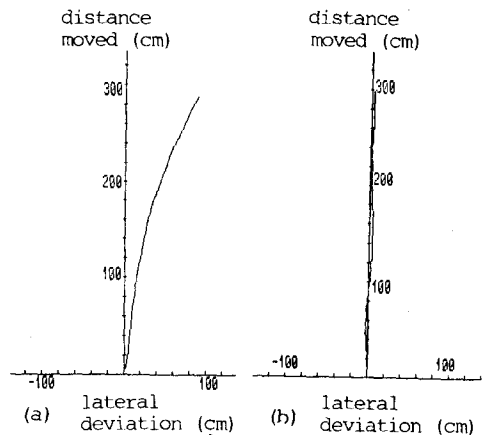


Fig.8 Followed trajectories with the open loop control and the feedback
 (a) open loop control
 (b) feedback control

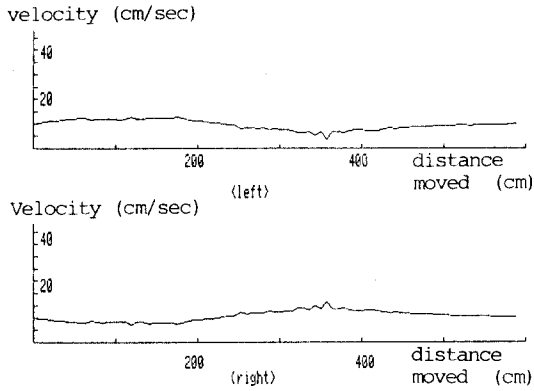


Fig.9 Velocity profiles of the both wheels with feedback control

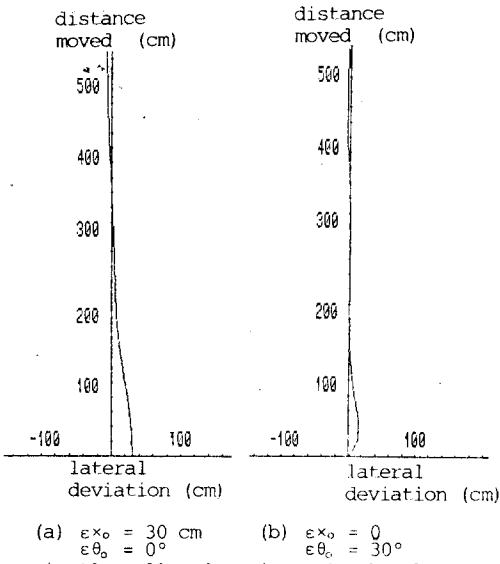


Fig.10 Followed trajectories by the 'KMR-2' with different initial deviations

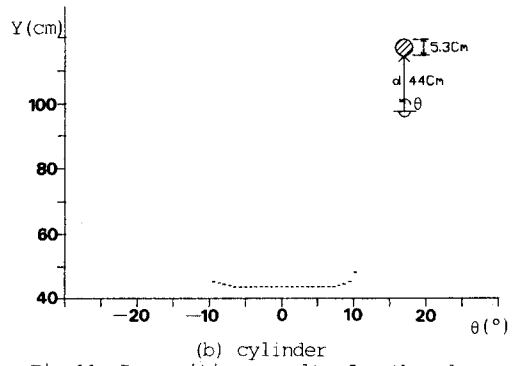
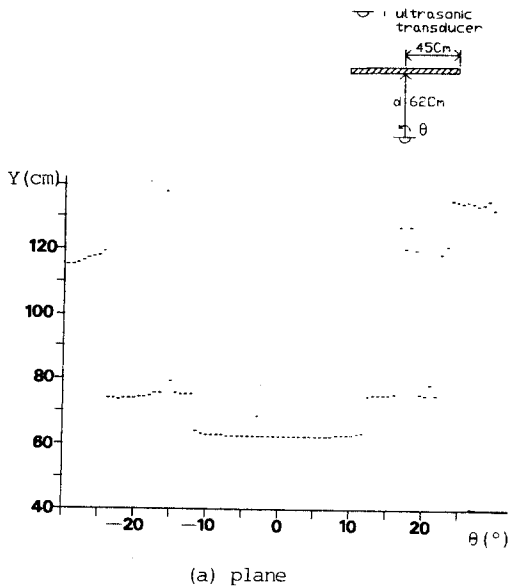


Fig.11 Recognition results for the plane and the cylinder with one ultrasonic sensor

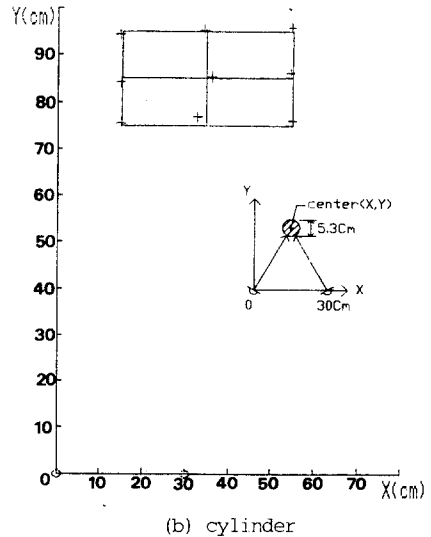
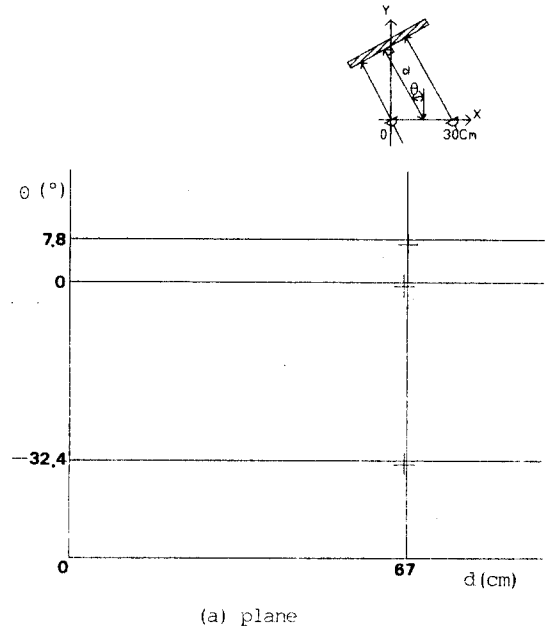


Fig.12 Recognition results with two ultrasonic sensor