

다중반사특성을 이용한 새로운 초음파 거리 센서

A New Ultrasonic Range Sensor Using Multiple Reflections

이 왕 현, 권 인 소

(Wang-heon Lee and In-So Kweon)

Abstract : This article describes the ultrasonic range sensor for the recognition of the indoor environment, especially utilizing the multiple reflection properties of the sonar usually ignored as disturbances or noises. In this paper, we endow the ultrasonic range sensor with the active motion using the stepping servomechanism in order to get the multiple reflections with environment objects. Environment features such as target type, distance and azimuth based on the scanned one frame data of that multiple reflection patterns are recognized simultaneously.

Keywords : ultrasonic sensor, multiple reflection, active motion, world map generation, mobile robot

I. 서론

초음파 레인지 센서는 초음파가 비행한 시간(TOF : Time of Flight)을 측정하여 물체까지의 거리를 감지하는 방법이 주로 사용된다. 이 경우 초음파가 지나는 본래의 특성인 회절과 다중반사 특성등으로 인하여 신뢰성은 떨어지지만 시스템구성이 간단하다는 점과 초음파 센서의 가격이 싸다는 장점이 있어서 이동로봇 등에 많이 사용되고 있다[7].

초음파 센서가 지닌 이러한 단점을 제거하고 올바른 거리 정보를 얻기 위한 많은 방법들이 제안 되었다. 예를들면 칼만필터를 초음파의 TOF 정보에 적용하여 거리정보를 얻고 사전에 저장된 기하적인 맵과 초음파센서에 의해 감지된 환경특징치를 정합하여 자기위치를 확인하는 방법이 제안 되었으나 칼만필터의 발산의 가능성과 신호처리에 있어서 시간이 많이 걸린다는 단점등이 있다[5].

다른 방법으로는 초음파원을 인벨롭(Envelop)함수로 수식화하고 공간내의 물체에 대한 초음파의 전달함수를 구한 다음 이를 중첩 적분하여 물체를 식별하는 방법등이 제안되었다[3]. 이 방법은 한 번의 초음파 스캔 정보로부터 환경지도를 구할 수 없다는 단점이 있고 또한 여러 형태의 물체(코너, 에지, 평면등)가 결합된 경우 이들 물체를 분리해내는 것이 어렵다.

다른 방법으로는 3개의 초음파를 이용하여 공간상의 표식과 반사파형이 이루는 TOF정보를 기하학적인 구속 방정식으로부터 해석하여 표식을 분리하는 방법이 있으나[7] 이 또한 여러 형태의 물체를 한번의 스캔으로 부터 동시에 분리할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 TOF를 이용한 종래의 초음파 레인지 센서의 한계를 극복하고자 본 연구에서는 초음파의 다중반사 특성을 적극적으로 응용하여 실내공간의 환경을 인식하는 방법을 제안한다.

II. 초음파 다중반사를 이용한 레인지 시스템의 구성

1. 다중반사 시스템의 특징

일반적으로 사용하는 TOF시스템의 경우에 있어서 발사된 음파가 물체를 만났을 때는 반사파가 발생되며 이때 측정된 거리 값은 반사파가 물체에 부딪히고 돌아오는 첫번째 음파의 크기가 문턱치 τ 를 넘는 시점의 시간 t_0 를 측정하여 거리 $r=ct_0/2$ 를 계산한다. 여기서 t_0 는 TOF이며 c 는 음파의 속도로 상온에서 $c=343.3m/sec$ 이다[8].

또한 초음파센서를 0.9° 의 각도로 회전시키면서 평면과 코너의 표식으로 부터 얻은 TOF정보의 형태는 공히 원호의 형태를 띄게 되어[8] 순수한 TOF정보만으로는 표식의 식별이 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 2개의 초음파를 일정거리를 띄고 설치하고 각각의 초음파를 베셀 함수로 모델링한 다음 발신파와 수신파와의 크기를 분석하여 코너와 평면을 분리하는 방법이 사용된다[8].

본 연구에서는 초음파 센서에 의한 표식 인식을 위하여 초음파를 이용한 환경 인식에서 외란으로 무시하였던 초음파의 다중반사 특성을 적극적으로 응용한다. 한번의 초음파 스캔으로 부터 얻은 다중반사 데이터로부터 물체의 형태 및 거리와 방위각을 동시에 인식하여 환경지도를 작성 할 수 있는 방법을 제안 한다.

2. 초음파 다중반사 센서의 특징

본 연구에서의 초음파다중반사 센서를 영문 "Sonic Multiple Reflection Range Sensor"의 두음을 따서 "SMRS"라 부르도록 한다.

본 연구에서는 아래의 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이 실내환경에서 흔히 볼 수 있는 4종류의 표식을 실험의 대상으로 사용하였다[3][10].

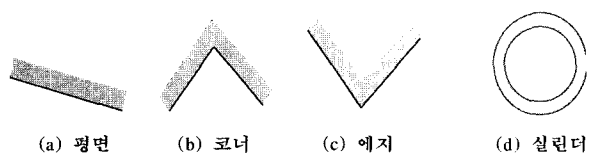


그림 1. 실내 환경인식을 위한 기본 특징물체.

Fig. 1. Basic targets for recognition.

초음파 시뮬레이션 모델에서 음향 콘(acoustic con)의 각도는 다음으로 정의 된다[8].

$$\theta_0 = \sin \frac{0.61\lambda}{a} \tag{1}$$

여기서 θ_0 : 음향콘, λ : 음파의 파장

a : 초음파 트랜스듀서의 반경 으로 그림 2(b)에 보여주고 있다.

음향 콘의 각도에 따른 음파의 크기는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$A(\theta) = e^{-\frac{2\theta^2}{\theta_0^2}} \tag{2}$$

표식의 각도가 θ_0 이상 벗어나게 되면 반사되는 음파는 반사판을 벗어나게 되어 수신되는 다중반사현상이 나타나지 않는다.

그림 2(a)는 SMRS의 외관을 보여주는 사진으로 음향콘으로 가정하여 초음파 발신기로부터 직선으로 투사되는 초음파 발신기와 물체사이에 반사가 잘 일어나도록 그림 2(a)와 같이 발신기의 뒷면에 반사판을 부착하였다.

초음파의 가시영역을 그림 2(b)에 보여주고 있으며 여기서 θ 는 초음파(SONAR)의 음파가 발사되어 물체를 감지할 수 있는 범위를 나타내며 이 영역내의 범위를 음향 콘(Acoustic Cone)이라 하고, a 는 초음파 변환기의 반경을 나타낸다[3][8].

음파의 반사형태는 반사와 회절로 나눌 수 있고 반사의 경우는 가상의 반사면을 이용하여 설명할 수 있으며, 이에 반해서 회절은 음파가 반사되는 부분의 크기가 음파의 파장보다 작을 때 일어나는 반사현상으로 주로 에지 표식의 경우 발생한다.

초음파가 발사되고 발사된 초음파가 물체에 반사되어 다시 발사된 곳으로 돌아오는 경로를 조사해 보면 SMRS의 특징을 이해 할 수 있다. 평면물체에 있어서는 가상의 발신기가 있다고 가정하고 음파가 그림 3의 (a)에서와 같이 반사만 일어난다고 가정하면 반사 파형의 분석을 간단히 할 수 있다[6]. 그러나 코너표식의 경우에 있어서는 다중 반사그룹이 예측 불가능하게 2번 이상 발생하며, 에지 물체의 경우에 있어서는 난반사가 일어남으로 가상의 반사 개념을 이용하여 초음파의 경로를 추적하기는 어렵게 된다.

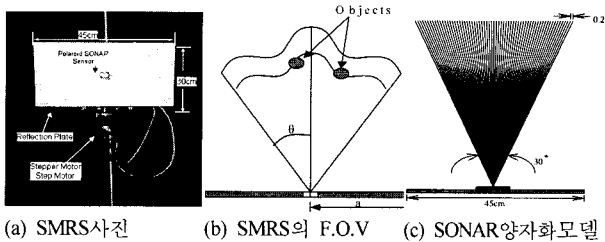


그림 2. 초음파 레인지 센서의 외관 및 특징.
Fig. 2. External View of SMRS and SONAR quantized Model.

본 연구에서는 그림 2(c)에서와 같이 음향 콘(Acoustic Cone)을 0.2°의 등 간격으로 양자화 시켜서 초음파가 직선으로 물체를 향하여 발사되는 것으로 가정한다. 음파의 양자화 모델을 도입함으로써 초음파 발신기로부터 발사되어 목표물과 접촉한 음파는 재차 초음파 음원으로 작용하는 것으로 생각 할 수 있다. 이러한 시뮬레이션을 통해서 간섭이나 회절이 없이 오직 반사만이 발생하는 조건하에서 대기중을 이동하는 초음파의 다중반사 경로를 해석할 수 있게 된다.

그림 3(a)에서는 평면표식의 가상의 초음파 발신기의 모델을 보여준다[8]. (b)와 (c)에는 평면물체의 경우에 다중반사 모델을 보여주며 (d)에는 코너 물체의 경우에 다중반사 모델을 보여준다

평면 물체의 경우에 있어서 가상의 다중반사는 그림 3(a)와 같으며, 코너 물체의 경우에 있어서 음향 콘은 그림 3(d)에서와 같이 코너 물체의 중앙에서 분할되며 코너를 구성하는 2개의 평면사이에, 그리고 2평면과 초음파 다중반사판 사이에 복잡한 다중반사특징을 나타낸다.

III. SMRS를 이용한 환경인식 실험

1. SMRS의 실험장치의 구성

그림 4에는 SMRS의 초음파 레인지 센서의 구성을 보여주는 것으로 회전이 가능한 한 개의 반사판에 초음파 센서와 반사된 초음파를 감지할 수 있는 초음파 레인지 유니트가 부착되어 있고, 이 반사판을 마이크로 스텝퍼 서보에 의해 회전하며 동시에 상위 제어기로부터의 명령에 따라 동작되도록

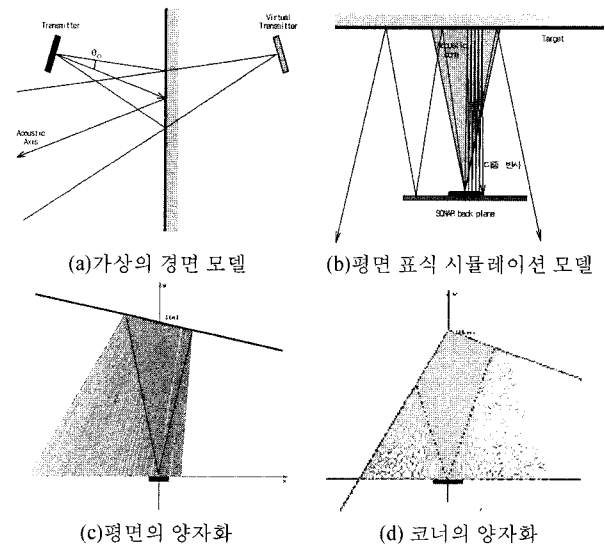


그림 3. 반사 패턴과 시뮬레이션 모델.
Fig. 3. Reflection Pattern and its simulation Model.

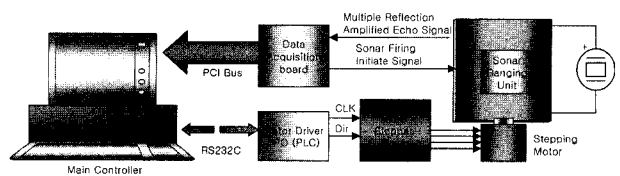


그림 4. SMRS 측정시스템의 구성.
Fig. 4. Configuration of SMRS System.

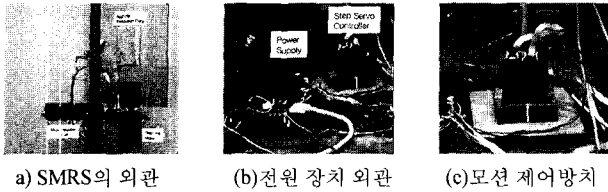


그림 5. SMRS 시스템의 외관과 전원공급장치.
Fig. 5. External View of SMRS and Power supply.

로 구성되어 있다.

그림 5는 SMRS의 완성된 시스템 외관과 전원공급장치 및 SMRS 서보 제어기를 보여주는 사진이다. 초음파를 발사 및 수신하는 초음파 변환기는 반사판의 중앙에 위치하고 있으며 SMRS를 구동하는 스텝모터는 반사판의 중앙에 위치하고 있다.

2. SMRS의 캘리브레이션

주 제어장치인 컴퓨터(PENTIUM-III 850Mhz)의 RS232C 통신포트를 통해서 SMRS 서보계와 명령 및 정보를 교환하고 주 제어장치의 데이터 어퀴지션 보드는 초음파 신호 증폭기에 반사되어 돌아오는 신호를 10[μsec]주기 5000개의 데이터를 샘플 한다. 이 과정을 통해서 얻어낸 5000개의 초음파 다중반사 데이터는 SMRS레이저 센서의 환경인식의 기본이 되는 1프레임의 원시데이터가 된다. 이 데이터를 기반으로 이치화, 일치(alignment), 예비필터링(prefiltering)과 환경인식 과정 등을 거쳐서 목표물의 형태, 방위각과 목표물까지의 거리정보를 인식하게 되는 것이다.

그림 6은 SMRS레이저 센서 장치를 이용하여 1m전방에 평면 표식을 놓고 다중반사신호를 측정 한 예비 실험 결과를 보여준다. 이 과정을 통하여 실제 표식과 관계없는 노이즈나 다중 에코등을 필터링 해낼 수 있다. 그림 6으로부터 각각의 다중반사파 안에는 56개의 발사된 초음파의 로브 파형이 내재되어 있음을 알 수 있다. 또한 49.5Khz의 56개의 파형의 묶음으로 발사된 초음파는 다중반사가 진행됨에도 불구하고 발사될 때의 로브 파형을 그림 6과 같이 유지하고 물체가 존재하는 시점에 반사에너지의 묶음으로 나타난다. 이 에너지를 묶음은 필터링 하는 과정을 통하여 반사되어 돌아오는 첫 번째 데이터를 얻어내는 과정을 거친다.

10[μsec] 샘플링 주기를 갖고 입력되는 다중 반사파의 12bit ADC데이터를(0~4095) 이치화 문턱치의 설정을 변화 하면서 이 값을 넘는 경우는 255로 하고 그렇지 않은 경우는

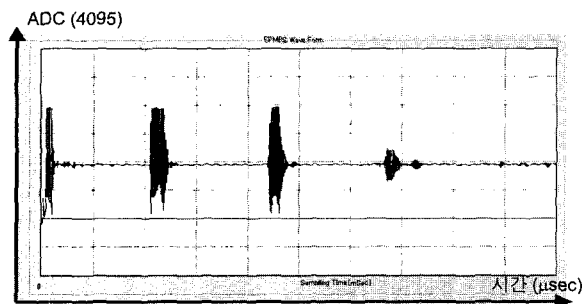


그림 6. 100cm전방의 평면 물체의 다중반사 파형.
Fig. 6. Multiple reflection waveform 100cm apart from the reflector.

0로 한 이치화의 결과 파형을 그림 7에 보여주고 있다.

그림 7로부터 이치화 문턱치가 작으면 작을수록 데이터의 양은 많으나 노이즈의 제거가 어렵고 문턱치가 크면 다중 반사파형 중에 내포되어 있는 공간 정보를 잃어버리게 됨으로 올바른 이치화 값의 선정은 중요한 변수 선정중의 하나이다. 다음으로는 다중반사판 전방100cm에 코너물체를 놓고 이치화 문턱치를 2926에서 2928까지 변화 시키면서 SMRS를 회전시키면서 데이터를 얻어서 이치화 한 후의 다중반사 파형을 그림 8에 보여주고 있다.

그림 8에서 이치화 처리과정을 통하여 다중 반사 진행속을 따라 다중반사 그룹들 사이에 나타난 실제 물체와의 다중 반사가 아닌 노이즈들이 필터링 되고 데이터들이 정렬되게 된다. 그림 8의 코너 표식의 파형으로부터 본 연구에서는 환경정보를 잃어버리지 않는 이치화 문턱치를 2928로 하고 이후 본 연구의 SMRS시스템에서는 이 값을 이치화 문턱치로 사용하였다.

3. 실내공간 표식의 시뮬레이션

다음의 그림 9는 실내공간의 4종류의 인식 대상 표식에 대한 다중반사 시뮬레이션 모델을 보여주는 그림이다.

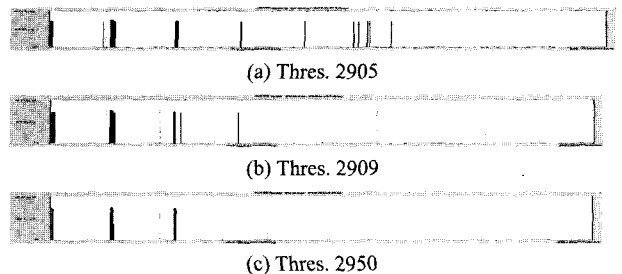


그림 7. 평면 표식의 문턱치 변화에 따른 이치화후의 다중 반사 반사파형.
Fig. 7. Thresholded multiple reflection waveform of plane target according to the threshold changes.

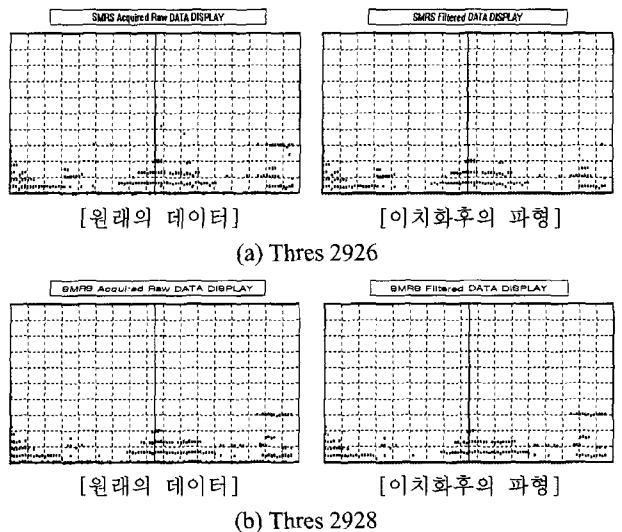


그림 8. 코너물체의 전방 100cm전방에 다중 반사판을 놓고 측정 한 파형.
Fig. 8. Multiple reflection waveform of a corner located at 100cm.

3.1 평면 물체의 시물레이션

그림 10에 평면 표식과 반사판사이의 각도로 표시되는 스캐닝 각도는 절대 각도가 증가함에 따라서 다중반사의 수도 증가한다. 양측이 정확히 평행을 이룰때 그림 10(b)에서 알 수 있는 바와 같이 다중반사의 양이 최대 값에 도달한다. 절대 스캐닝 각도는 음향 콘의 중반을 지나가면 다중반사는 그림 10(c)와같이 더 이상 관측할 수 없게 된다[8].

평면 표식을 SMRS전방 100cm 놓고 측정된 파형 및 인식 결과를 그림 11에 보여주고 있다.

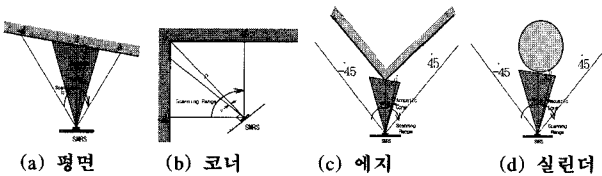


그림 9. 물체인식을 위한 스캐닝 시물레이션 모델.
Fig. 9. Scanning model for target recognition.

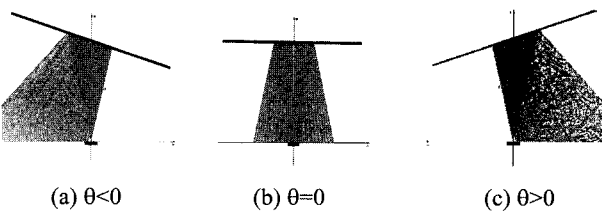
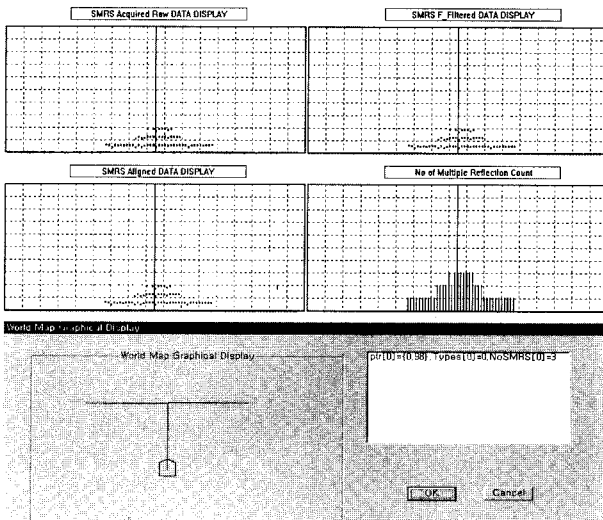


그림 10. 평면 물체의 다중 반사 시물레이션.
Fig. 10. Multiple reflection simulation of plane target.



(a) 반사판 전방 100cm의 평면 표식의 인식결과

실제위치		측정데이터		절대오차		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(0, 50)	90	(0, 50)	90	(0, 0)	0	5
(0, 100)	90	(0, 98)	90	(0, -2)	0	3
(0, 150)	90	(0, 151)	90	(0, +1)	0	2
(0, 200)	90	(0, 195)	90	(0, -5)	0	2

(b) 측정거리 변화에 따른 평면 target 의 오차 해석

그림 11. 평면물체 다중 반사 파형측정 결과.
Fig. 11. Measured multiple reflection data.

그림 11에서의 평면 물체 실험으로부터 최대 반사가 일어나는 지점은 스캐닝 각도가 0°에 도달할 때, 즉 반사판과 평면 물체가 정면으로 바라보고 있을 때에 발생된다는 것을 알 수 있으며, 이 지점에서 평면 물체와 다중 반사판이 이루는 방위각은 왼쪽과 오른쪽으로 2등분 되게 된다.

3.2 90° 코너의 반사 파형

인식대상이 코너인 경우는 2개의 평면이 만나서 코너를 이룬다는 코너자체의 기하학적인 특징으로부터 2개의 평면과 반사판 사이의 다중 반사뿐 아니라 2개의 코너를 이루는 평면과 반사판으로 이루어지는 3개의 평면사이의 다중 메아리파 등이 코너 주위에 발생한다. 그림 12에 보여주는 바와 같이 코너 Target의 독특한 특징은 θ 가 0에 접근함에 따라 즉, 코너와 반사판이 마주보는 각도에서 관측 할 수 있다. 그리고 반사판이 코너 표식의 양 평면에 평행 할 때는 평면 표식에서 관측되었던 파형이 나타나고, 과도적인 복잡한 다중 반사가 코너의 2평면과 반사판 사이에 나타난다. 50cm에서

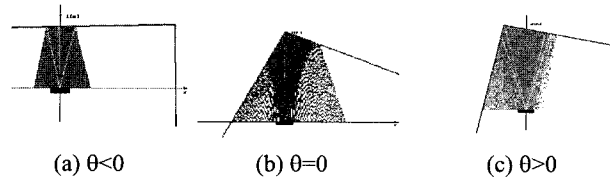
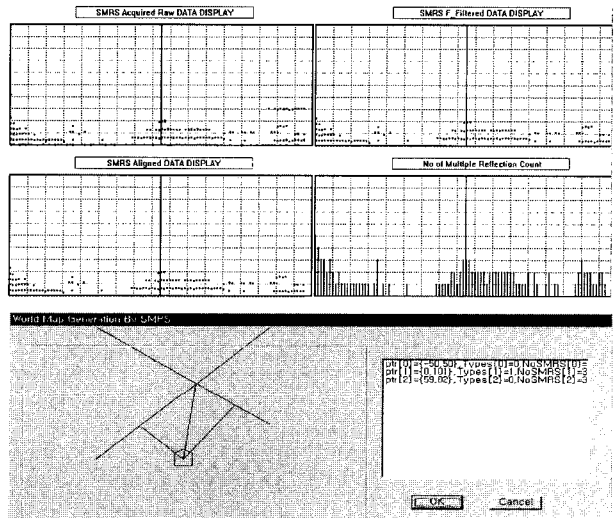


그림 12. 코너 인식 대상의 다중 반사 파형.
Fig. 12. Multiple reflection pattern of corner target.



(a) 반사판전면 100cm

실제위치		측정데이터		절대오차		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(0, 50)	92	(0, 51)	80	(0, +1)	-10	[4][4]
(0, 100)	92	(0, 98)	81	(0, -1)	-9	[3][2]
(0, 150)	90	(0, 151)	85	(0, +5)	-5	[2][2]
(0, 200)	91	(0, 190)	82	(0, -10)	-8	[4][1]

(b) 거리 변화에 따른 코너Target의 오차 분석

[]안의 값은 [왼쪽]과[오른쪽] 평면을 나타낸다.

그림 13. 90° 코너의 다중 반사 파형.
Fig. 13. Multiple reflection waveform of right angle corner.

200cm까지 50cm등분으로 이동하면서 측정된 결과가 그림 13에 있다.

앞의 그림 13으로부터 코너의 중앙부분과 코너를 이루는 양쪽의 평면과 반사판 사이에 다중반사가 존재하는 코너만의 특징을 보여주고 있다

3.3 에지 표식의 다중 반사

그림 14는 90° 에지의 다중 반사 모델을 보여주는 그림이다. 그림 14에서 알 수 있는 바와 같이 다중 반사는 방위각 $\theta=0$ 인 부근에서만 관측 할 수 있고 다른 각도에서는 에지 표식 본래의 기하학적 특징으로 인하여 다중 반사를 거의 측정할 수 없다. 반사판과 에지 표식간의 거리와는 관계없이 단지 한 개의 1개의 다중반사만이 발생한다는 점은 에지 표식을 식별해 내는 단서로 사용된다. 다음의 그림 15는 에지 표식의 실험 결과이다.

반사를 관측 할 수 있는 거리는 120cm까지 임을 알 수 있다.

3.4 실린더 표식의 다중 반사 실험

그림 16는 실린더 표식의 시뮬레이션 모델을 보여준다. 그림 17은 실린더 표식의 다중 반사 파형은 원주 20cm,

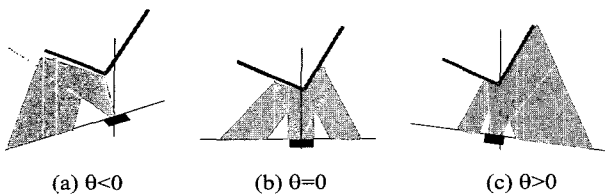
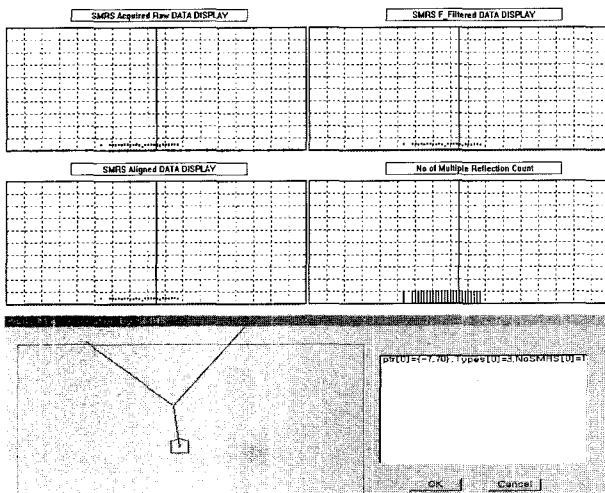


그림 14. 에지 표식 시뮬레이션 모델.
Fig. 14. Simulation model for edge target.



(a) 반사판 전방 80cm

실제 좌표		측정 결과		절대 오차		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(-5, 49)	84	(-6, 41)	81	(-1, -8)	-3	1
(-4, 69)	86	(-7, 70)	82	(-3, +1)	-4	1
(-10, 99)	86	(-2, 89)	88	(-8, 10)	+2	1
(0, 120)	90	(-8, 120)	89	(-8, 0)	-1	1

(b) 에지 target의 오차 해석

그림 15. 에지 Target의 다중 반사 실험.
Fig. 15. Multiple reflection experiments for edge target.

30cm, 45cm의 3종의 실린더를 50cm에서 200cm까지 50cm등 간격으로 이동하면서 얻은 실험 결과이다.

그림 17은 20cm에서 45cm까지 직경이 다른 실린더에 관하여 측정된 다중반사 파형에 관한 것이다.

그림 17에서 실린더 표식의 실험 결과와 그림 11의 평면 표식의 실험결과로부터 실린더 표식은 평면 표식과 유사한 특징을 지니고 있으나 신호의 크기로 대변되는 다중반사의 횟수와 스캐닝 축을 따라 다중반사가 일어나는 폭이 평면 표식 보다 작다는 것을 알 수 있다.

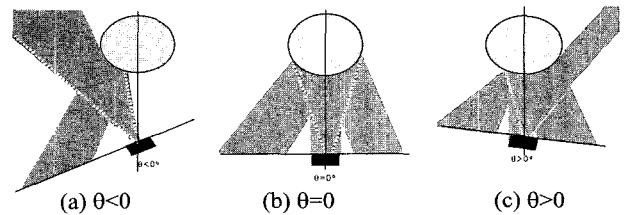
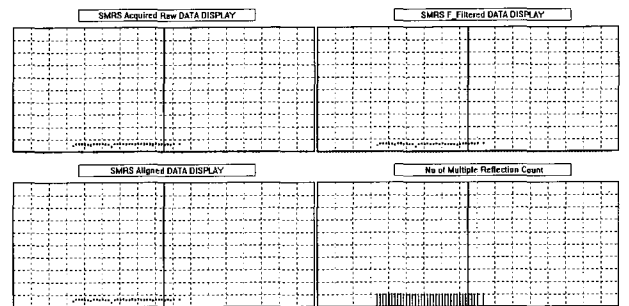
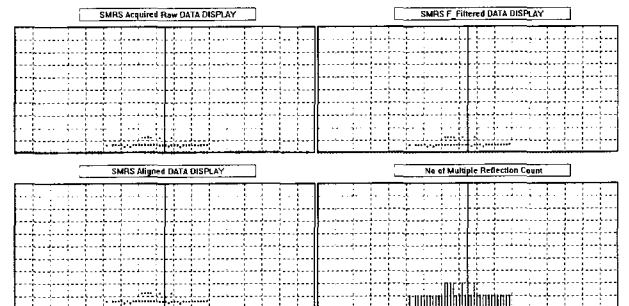


그림 16. 실린더 Target의 시뮬레이션 모델.
Fig. 16. Simulation Model of Cylinder target.



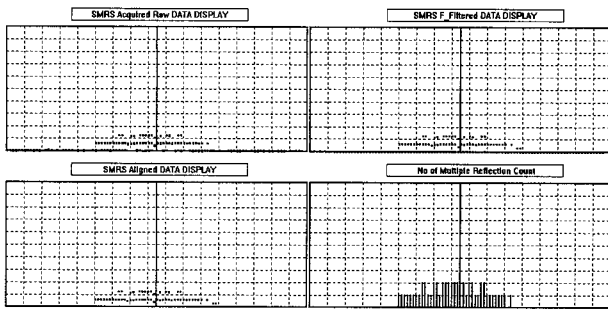
실제 좌표		측정 데이터		측정 오차		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(-2, 49)	87	(-4, 49)	85	(-2, 0)	-2	2
(-17, 98)	80	(-20, 89)	78	(-3, 9)	-2	1
(-18, 148)	83	(-22, 144)	82	(-4, 4)	-1	1
(-27, 198)	82	(-33, 189)	81	(-6, 95)	-1	1

(a) 직경 20cm 실린더의 오차 해석



실제 좌표		측정 데이터		절대 오차		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(-12, 48)	75	(-14, 45)	72	(-4, -3)	3	2
(-10, 99)	84	(-7, 100)	82	(-3, +1)	-2	2
(-31, 146)	78	(-30, 142)	78	(+1, -4)	0	1
(-34, 196)	80	(-31, 193)	81	(2, -3)	+1	1

(b) 직경 30cm 실린더의 오차 해석



실제 좌표		측정 데이터		절대 좌표		다중반사 횟수 (turns)
거리 (cm)	각도 (°)	거리 (cm)	각도 (°)	거리오차 (cm)	각도오차 (°)	
(0, 50)	90	(0, 50)	90	(0, 0)	0	2
(0, 100)	90	(-4, 98)	90	(0, -2)	0	2
(0, 150)	90	(-27, 143)	90	(0, +1)	0	1
(0, 200)	90	(-20, 193)	90	(0, -5)	0	1

(c) 45cm 실린더의 오차 해석

그림 17. 직경 45cm의 실린더 표식의 SMRS파형.

Fig. 17. SMRS waveform of cylinder target(100cm in front of the reflector).

또한 실린더 표식 내에서도 직경이 크면 스캐닝 축을 따른 다중반사의 폭이 넓다는 것을 알 수 있으며 이러한 특징은 SMRS를 이용한 환경인식의 특징치로 된다.

4. SMRS 시스템을 이용한 표식인식을 위한 특징 요약

본 절에서는 지금까지 논의 해 온 각각의 표식에 대한 실험 결과로부터 SMRS의 특징중 다중반사 특성을 정리 한다.

4개의 기본 표식과 다중 반사 특성과의 관계를 다음과 같이 정리 할 수 있다.

1) 평면과 코너, 실린더의 경우 다중반사는 첫번째 반사된 TOF의 거리에 정수배로 발생한다.

2) 다중반사는 에지 표식에서는 표식의 거리와는 관계없이 오직 1개만 일어난다.

3) 평면 표식에서의 다중반사가 일어나는 폭은 실린더 표식에서보다 길다.

4) 코너의 중앙과 2개의 평면까지의 거리를 연결하는 선분은 그림 18에 보여주는 것처럼 직각을 이루며 다음과 코너의 중심까지의 거리와 두개의 평면 X,Y거리 그리고 X,Y평면이 이루는 각도 사이의 관계는 다음의 (3)과 같은 관계가 성립된다.

$$X^2 + Y^2 = \sigma^2, \theta = \cos^{-1} \frac{X}{\sigma} \quad (3)$$

5) 실린더 표식과 평면표식에서 평면표식의 다중반사의 크기가 실린더 표식보다 크다

표 1. 각각의 표식에 대한 다중반사횟수의 요약.

Table 1. Number of multiple reflection for each targets.

항목	다중반사의 개수(Turns)					
	Cyl. 45	Cyl. 30	Cyl. 20	Corner (90°)	Plane	Edge (90°)
50cm	2	2	1	5	4	1
100cm	2	2	1	3	3	1
150cm	1	1	1	2	2	1
200cm	1	1	1	2	2	1

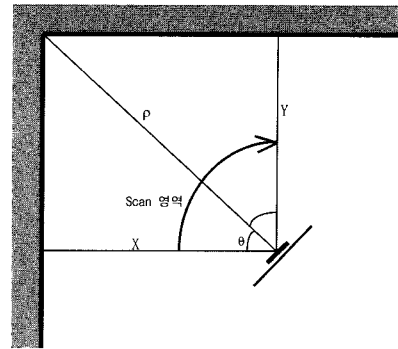


그림 18. 코너 실험에서의 2평면의 기하구조.

Fig. 18. Geometrical Configuration of 2 Plane in Corner Target.

5. 표식 인식을 위한 특징 변수의 정의

이 절에서는 SMRS 레이저 센서의 감도를 정의 하기 위한 특성 변수를 NID(Normalized Inverse Distance) 라하며 (4)와 같이 정의한다.

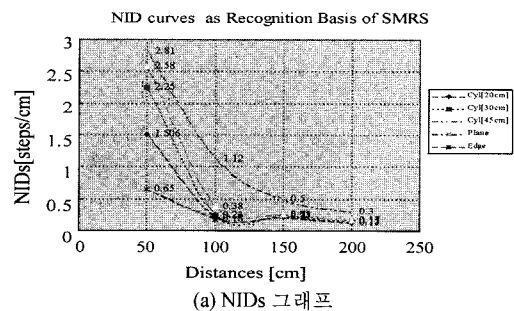
$$NID = W_s / D_T * NMR \quad (4)$$

위의 식에서 NID(Normalized Inverse Distance) : 정규화 역거리 [steps/cm*turns], W_s : SMRS의 스캐닝 방향을 따라 2 번째 다중 반사가 발생하는 지점의 시점과 종점의 거리를 [steps], D_T : 검지된 Target위치까지의 거리[cm], NMR(Number Of Multiple Reflections) : 다중 반사의 수[turns] 를 나타낸다. 그림 19는 SMRS의 특성인 NID와 NMR 커브로 이 센서의 감도를 나타내며 이 그래프를 기반으로 환경인식을 할 수 있다.

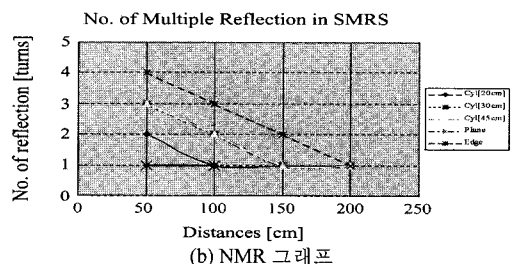
IV. SMRS 기반의 환경인식 알고리즘

1. 특징 인식 알고리즘

이 절에서는 지금까지의 실험 결과와 그림19의 SMRS의 특성을 이용한 환경 인식 알고리즘에 관하여 논의 하도록 하



(a) NIDs 그래프



(b) NMR 그래프

그림 19. SMRS특성 곡선.

Fig. 19. SMRS characteristic curves.

고, 이 알고리즘을 실제 환경에 적용함으로써 유용성을 증명하도록 한다. 인식 알고리즘의 구성은 그림 20과 같다.

우선 얻어낸 초음파 다중반사 데이터를 MRSPP(Multiple Reflection Sonic Pre-filter) 예비 필터링 과정을 거쳐서 다중반사 그룹 데이터 중에서 처음의 반사되어 돌아오는 데이터인 PDSMRS 데이터를 얻어내는 것과 동시에 NID와 NMR를 계산한다.

우선 다중반사 진행축을 따라서 다중반사의 그룹이 3개 이상이면 코너 표식으로 인식한다. 다음으로 NMR이 1인 경우 NID곡선으로부터 에지 표식임을 확인한다. 그 외의 경우는 그림 23(a)와 같이 NID와 NMR곡선으로부터 표식을 확인하고 거리정보를 얻어 인식된 결과를 출력한다.

각 공정별 시간은 예비필터링에서 소요시간 (10msec), 인식과정에서의 소요시간(22msec)로 로봇에 적용할 경우 로봇 자체의 기계적인 시상수(500msec)에 비하여 1/10로 작음으로 데이터의 계산에 걸리는 시간은 무시할 수 있다.

단지 스텝핑 서보를 회전하면서 다중반사데이터를 얻어야 함으로 향후 이 부분에서 가장 많은 시간이 소요됨으로 데이터획득과 관련한 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서 사용한 스텝핑 서보는 부분은 보편화 되어 있는 기술로 값싸고 쉽게 구현이 가능하다.

2. 실제 환경 적용 실험

그림 21과 같은 로봇이 주행하게 되는 실내공간에 존재하는 10개의 목표물에 그림 20의 SMRS환경인식 알고리즘을 적용하였다. 이 실험에서 사용한 표식은 이상적으로 만든 실험장치라 아니라 가리개가 있는 창문이나, 파이프 전선등이

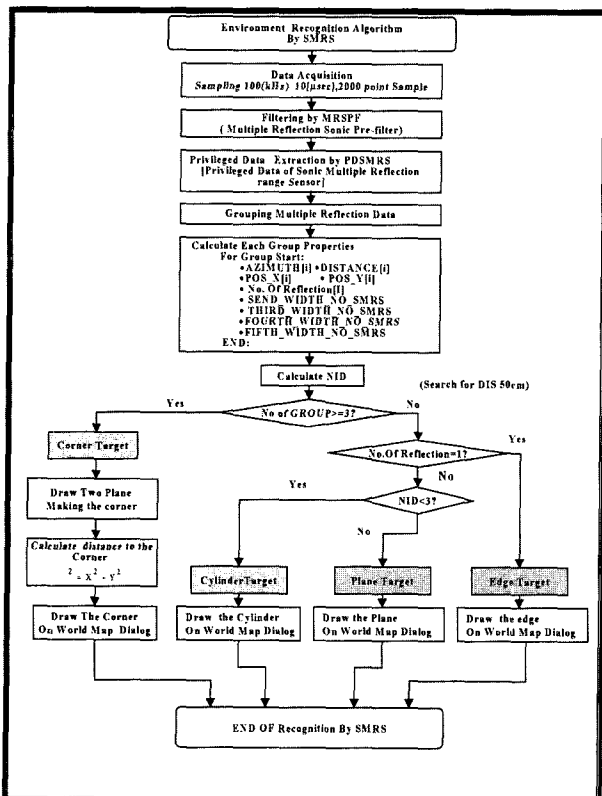
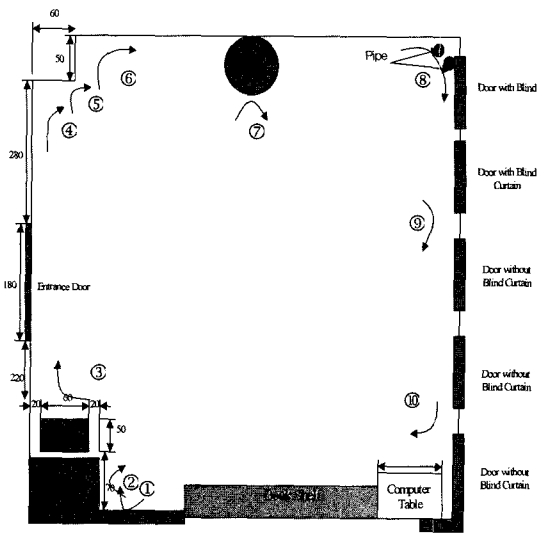
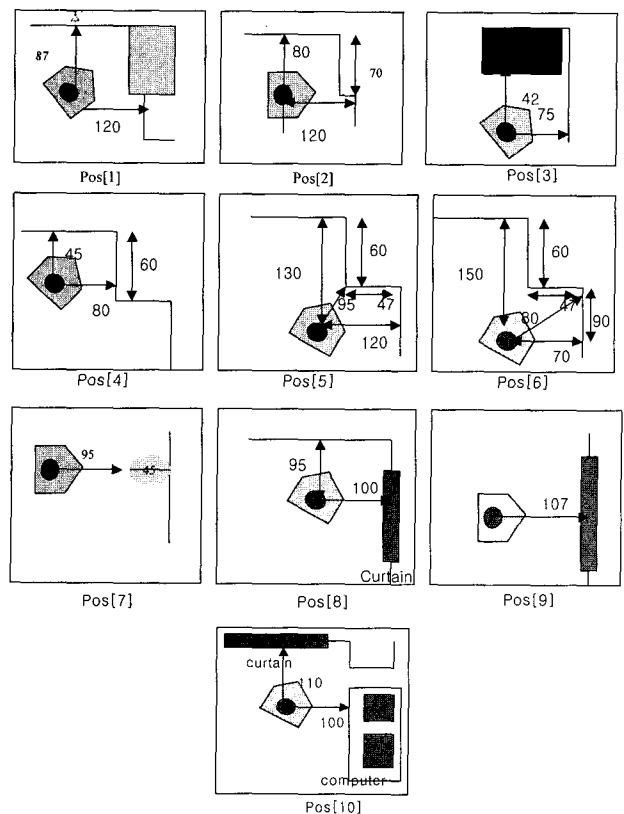


그림 20. SMRS 인식 알고리즘의 순서도.
Fig. 20. Flow chart of SMRS recognition algorithm.



(a) 실험을 위한 실제 환경의 구성도



(b) 각 위치별 좌표

그림 21. SMRS인식 알고리즘의 실제 환경실험.
Fig. 21. Rreal environment experiments of SMRS recognition algorithm.

존재하는 실제 사용중인 실내공간에서 행한 실험 결과이다.

그림 22는 그림 21의 실제환경의 각 위치마다 SMRS를 적용하여 얻은 다중반사 파형을 보여주는 그림이며, 이 데이터에 그림 20의 환경인식 알고리즘을 적용하여 인식된 결과를 표 2에 정리하였다.

그림 23은 SMRS 센서의 특징인 NID와 NMR특성곡선을 이용하여 환경인식을 수행하는 과정을 보여주는 그림이다.

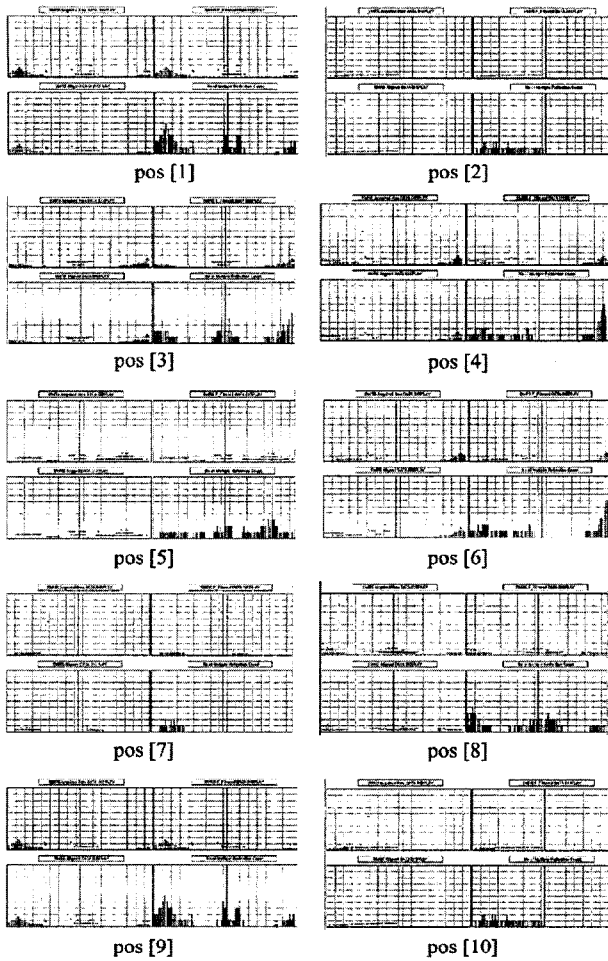


그림 22. 실험환경 각 위치에서 얻은 다중반사파형.
Fig. 22. Real experimental results at each local positions.

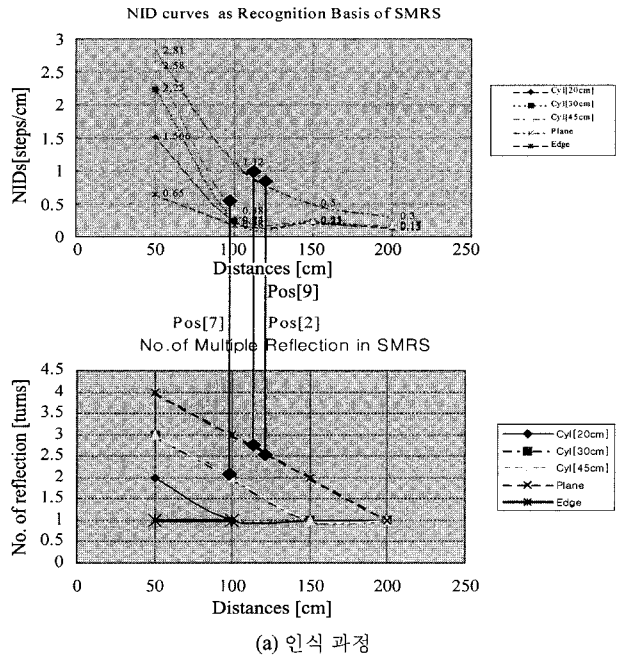
여기서는 예로 pos[2], pos[7], pos[8]의 위치에서 인식이 이루어지는 과정을 보여주고 있다.

Pos[5]는 코너와 에지 그리고 이를 구성하는 기하학적인 특징들이 좁은 공간안에 혼재되어 있어서 센서에서 얻은 파형은 에지부분 보다는 두개의 평면으로 이루어진 코너의 특징을 인식하고 이를 코로 인식하고 있음을 알 수 있다.

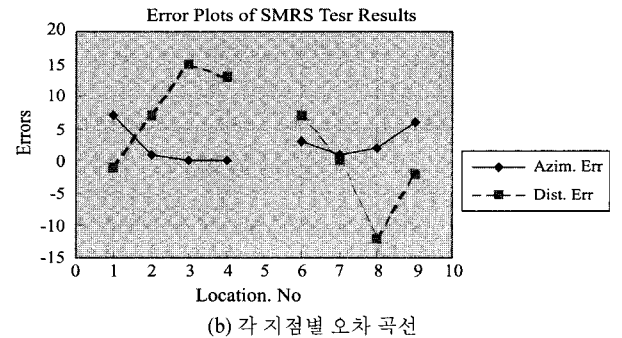
pos[10]에는 (3)과 그림 18에서 정의한 관계식을 만족 하는 특징치를 얻을수 없으므로 평면으로 인식한 결과를 얻었

는데 이는 컴퓨터, 프린터 등 여러 종류의 기하학 적인 구성과 높이가 서로 다른 물체들이 혼재되어 있어서 코너가 지닌 다중반사파형을 얻을 수 없었기 때문이다.

인식이 실패하는 경우는 퍼지, 뉴럴네트 등의 지능형 인식기술을 적용하거나 센서의 감도를 높일 수 있는 방법을 고안함으로써 인식률을 높일 수 있으며 이 부분개 관한 연구가 필요하다.



(a) 인식 과정



(b) 각 지점별 오차 곡선

그림 23. 인식과정 및 오차 분석표.
Fig. 23. Recognition procedures and errors.

표 2. SMRS에 의한 실내 환경 실험 결과 및 오차 해석.
Table 2. Experimental Results and Their Error Analysis.

No.	기하학적 데이터			인식된 결과				오차			
	Azim.(°)	Dist.(cm)	Type	Azim.(°)	Dist.[cm]	NID	NMR	Type	Azim.(°)	Dist[cm]	Type
①	41	166	Cor	48	165	-	5	Cor	-1		T
②	15	113	Pla	16	120	0.79	2	Pla	+7		T
③	60	85	Cor	60	100	-	2	Cor	+15		T
④	61	91	Cor	61	104	-	4	Cor	+13		T
⑤	46	95	Ed	39	175	-	2	Cor	-		
⑥	37	114	Cor	40	121	-	2	Cor	+7		T
⑦	15	95	Cyl	14	95	0.38	2	Cyl	0		T
⑧	43	137	Cor	45	125	-	3	Cor	-12		T
⑨	25	107	Pla	31	105	1.23	3	Pla	-2		T
⑩	20	148	Cor	15	107	3	3	Pla	-		F

V. 결론

본 논문에서는 SMRS시스템의 특성을 구하기 위한 예비 실험을 실시하였고, 4종류의 실내공간상의 인식대상 표식에 대한 예비 실험으로부터 SMRS센서의 특징인 NIDs, NMRs 특성곡선을 구했다. 구한 특성 곡선을 기반으로 SMRS 센서를 실내환경에 적용하여 평면과 코너, 예지, 실린더 등의 표식의 형태를 분리하고 표식이 존재하는 방위각 및 표식까지의 거리를 인식하는 실험을 실행 하였다.

실험결과 2개소의 표식 인식에 실패 하였고, 성공함 경우에 측정오차로는 방위각 최대+7°, 거리오차는 최대 -12cm, +15cm(평균 3.4cm)의 결과를 얻었다.

참고 문헌

- [1] Polaroid corporation technical assistance, Ultrasonic ranging system, 1992.
- [2] O. Bozone and R. Kuc, "Building a sonar map in a specular environment using a single mobile sensor," PAMI, pp. 1260-1269, Dec. 1991.
- [3] R. Kuc. And M. W. Siegel, "Physically based simulation model for acoustic sensor robot navigation," in *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 9, no. 6, pp. 776-777, Nov., 1987.
- [4] D. H. Ryu, S. K. Park, and I. S. Kweon, "Target classification in indoor environments using multiple reflections of a SONAR sensor," *Proc. of KACC*, vol. 2, pp. 1938-1941, OCT. 1997.
- [5] J. J. Leonard Hugh and F. Durrant-Whyte, "Mobile robot localizin by tracking geometri beacons," *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, vol. 7, no. 3, JUN. 1991.
- [6] L. Kleeman and R. Kuc, "An optimal SONAR array for target localization and classification," *IEEE proc. ICRA*, May. Sandiego USA, 1994.
- [7] H. Premans and V. Campenhout, "High resolution sensor based on tri-aural perception," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 36-48, 1993.
- [8] B. Barshan and R. KUC, "Differentiating Sonar reflections from corners and planes by employing an intelligent Sensor," *PAMI*, vol. 12, no. 6, 560-569, JUNE, 1990.
- [9] L. Kleeman and R. KUC, "Mobile robot SONAR for target localization and classification," *International J. of robotics researches*, vol. 14, no. 4, pp. 295-318, AUG, 1995.
- [10] B. Barshan, B. Ayrulu, and S. W. Utete, "Neural network based differentiation using sonar for robotics applications," *IEEE Trans. on Robotics and automation*, vol. 16, no. 4, AUG. pp. 435-442, 2000.



이 왕 현

1985년 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 학사. 1985년 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 석사. 2001년 한국과학기술원 자동화 및 설계공학과 박사. 2001년 11월~현재

한국과학기술원 전기전산학과 BK21연구원 주관심분야는 초음파, 영상 및 대드랙컨닝의 센서융합을 이용한 이동용 로봇의 제작 및 제어에 관한 연구, 초음파 레인지 센서 및 환경 맵 작성에 관한 연구, 비주얼 서보기반의 매니플레이터에 관한 연구.

권 인 소

제어·자동화·시스템 공학 논문지 제4권, 제3호 참조.