工學碩士 學位論文

초음파 센서를 이용한 이동로봇용 환경인식 시스템개발에 관한 연구

A Study on the Development of Environment Perception System for a Mobile Robot Using Ultrasonic Sensors

指導敎授 河 潤 秀

2001年 2月

韓國海洋大學校 大學院

制御計測工學科

金 德 坤

목 차

A Study on the Development of Environment Perception System for a Mobile Robot Using Ultrasonic Sensors

Duck-Gon Kim

Department of Control & Instrumentation Engineering, Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

To move in unknown or uncertain environment, a mobile robot must collect informations from various sensors and use it to construct a representation of the external world. Ultrasonic sensor can provide range data for this purpose in a simple cost-effective way. However, conventional ultrasonic sensor systems for a mobile robot are not sufficient for environment recognition because of their large beam opening angle and specular reflection.

This paper describes on environmental perception algorithm which can solve these problems in case using ultrasonic sensor. The algorithm consist of two parts. One is to solve beam opening angle problem by data fusion from multiple ultrasonic sensors. The other is to cope with specular reflection problem in wall line extract, which is using Hough Transform. Experiments to verify the validity of the proposed algorithm are carried out, and the results are provided at last part in this paper.

제 1 장 서 론

이동로봇은 공장자동화, 빌딩감시등의 일반적인 산업현장에서부터 해양 및 우주 탐사 등의 극한작업 분야나 청소대행 혹은 간호보조 등의 역할을 위한 서비스 분야에까지 그 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이러한 이동로봇이 주어진 임무를 원활히 수행하기 위해서는 목표지점까지 정확히 이동할 수 있는 이동기능, 이동환경이나 작업 환경을 정확하게 인식할 수 있는 환경인식기능, 동적 환경에서 임무 수행과 관련하여 새롭게 얻어진 정보를 바탕으로 자신의 행동을 결정할 수 있는 판단·처리기능 등을 보유해야한다. 특히 자립형 (self-contained) 이동 로봇의 경우 전원, 중량 등의 여러 가지 물리적인 제약이 따르므로 상기의 3가지 기능들을 적절히 통합하는 것이 결코 쉬운 일은 아니다. 그러나 최근 제어 및 컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 이동기술 및 판단·처리기술에 관한 상당한 진전이 있었다. 반면 이들에 비해 센서응용기술을 바탕으로 하는 환경인식기술은 상대적으로 발전이 느린 편이다. 따라서 인간과 유사한 기능을 가지는 지능로봇의 개발을 위해서는 인간의 오감에 대응하는 센서의 개발과 센서응용기술의 발전이 보다 가속화 되어져야한다.

이동로봇을 위한 환경인식시스템에 주로 사용되는 센서로는 초음파 센서[1 7], 스테레오 비젼, 레이저 레인지 센서 등이 있다.
스테레오 비젼은 구조적으로 인간의 눈에 가까운 센서지만 인간의 시각과 같이 물체를 정확히 인식하기 위해서는 복잡한 처리과정을 거쳐야하며 실시간 처리를 위해서는 강력한 계산시스템이 뒷받침되어야 한다.

레이저 발진기와 CCD 카메라를 이용한 레이저 레인지 센서는 물

체의 2차원 또는 3차원적 형태를 인식 할 수 있고, 또한 수동적 시각센서와 달리 암흑 속에서도 사용 할 수 있는 장점이 있지만, 밝은 태양광 아래서는 잡음을 동반할 뿐만 아니라 사용상의 부주의로 인해 인간의 시각에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

한편, 초음파 센서는 물체까지의 거리밖에 측정 할 수 없지만, 광학 센서에서 포착 할 수 없는 환경, 예를 들면, 암흑 속에서 장거리를 측정하는 경우나 유리 혹은 거울과 같이 광을 투과 또는 반사해버리는 경우, 가스나 먼지 등으로 인해 광이 산란되는 경우에도 유효하게 활용할 수 있다. 또한, 초음파 센서는 다른 센서에 비해 하드웨어적으로 간단하고 시스템 구성비용이 적게들며 실시간 처리가 가능하다는 것이 장점이다. 그러나, 초음파 센서를 이용한 환경인식 시스템에서 초음파의 경면반사(specular reflection), 넓은 지향각(large beam-opening-angle)문제로 인한 영향은 정확한 거리측정을 어렵게 한다. 이러한 초음파 센서의 문제점을 개선하기 위한 다양한 시도가 있었다. 그 예로서 초음파 신호의 물리적인 특징을 모델링에 의해 구석과 평면을 인식하는 방법을 들 수 있다[8]. 그러나, 이 경우에는 트랜스듀서의 음향 축에 의해 반사되는 물체를 추측할 뿐 경면반사 현상을 고려하지 않으므로 트랜스듀서의 불확실한 반사점 인식으로 인해 정확한 거리정보가 제공되지 못한다.

따라서, 본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 환경인식에 있어서 넓은 지향각에 의한 오차를 감소시키기 위하여 복수의 트랜스듀서를 이용한 기하학적 데이터 융합알고리즘을 제안하여 실제 벽면에 가까운 거리 정보를 얻고, 또한 경면반사에 의한 영향을 최소화하기 위해 Hough변환을 이용한 미지환경인식 알고리즘을 제안하고, 구현된 실제 시스템에 의한 실험을 통해 그 유효성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 초음파 센서를 이용하여 이동로봇 주위환경을 인식 할 때 일어날 수 있는 문제점에 대해 설명하고, 제 3 장에서는 제안한 초음파 센서 시스템의 구성과 환경인식 알고리즘에 대해 설명하고, 제 4 장에서는 실험 결과를 토대로 제안한 방법을 적용하고 그 결과를 검토하였다, 그리고 제 5 장에서는 결론에 대해서 정리하였다.

제 2 장 초음파 센서를 이용한 환경인식

이동로봇 분야에서 초음파 센서는 가격이 저렴하고, 시스템의 구성을 소형으로 할 수 있고, 측정가능 범위가 넓고, 정도가 높으며 계산이 간단하여 실시간 처리가 가능하다는 이유 때문에 널리 이용되고 있다. 그러나, 초음파 센서의 넓은 지향성과 경면반사에 의한 영향 등은 환경에 대한 정확한 정보를 얻기 위해 해결해야할 과제들이다. 이하에서는 이들에 의한 정확한 정보와의 오차에 대해 상세히 고찰한다.

2.1 초음파 센서를 이용한 거리측정원리

일반적으로 초음파의 발생 및 검출은 전자유도현상, 자왜(磁歪) 현상, 압전 현상을 이용하고 있다. 전기신호를 음파로 변환하는 송신기(transmitter)와 그 역 변환을 하는 수신기(receiver)가 있다. 이들은 동일구조로 초음파의 발생과 검지가 가능하며, 합쳐서 초음파 트랜스듀서(transducer)라 한다. 송신기에서 방출된 초음파는 물체에 부딪쳐 수신기로 되돌아오는 반향(echo)에 의해 거리가 검출되는데 그림 2.1은 그 파형의 예이다.

거리 측정 방법은 반향신호가 임계치를 넘어서는 시간을 검출하여 거리를 측정하는 TOF(time of flight)방법을 사용하는데, 측정된 거리 R_o는 다음 식에 의해 표현된다.

$$R_o = \frac{c\, t_o}{2} \qquad (2.1)$$

여기서, t_o 는 초음파가 물체에 부딪혀 돌아오는 시간이며 공기중의 초음파 전파속도 c 는 섭씨20 ° C 에서 343.5 [m/s] 이다. 이때 수신된 반향신호의 진폭은 수신각도에 의해 달라진다. 따라서, 초음파 센서를 이용하여 거리 측정을 하면 고정된 초음파 지향각 내에서 가장 가까운 거리로 측정된다.

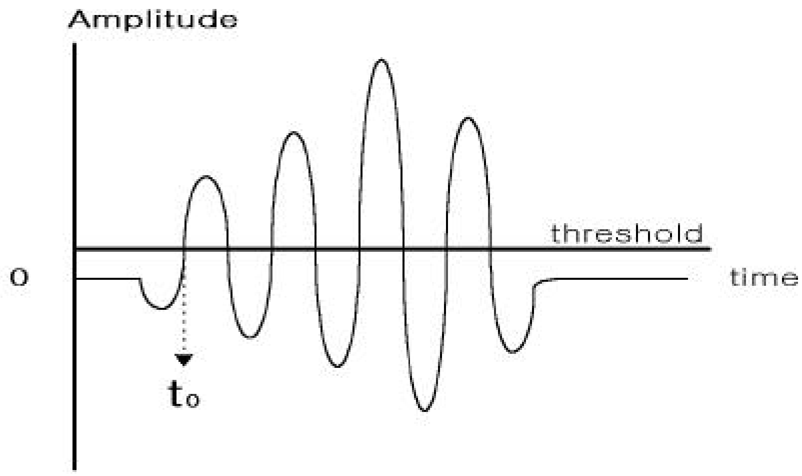


그림 2.1 초음파 반향파의 전형적인 특성

Fig 2.1 Typical echo measurement of ultrasonic wave

2.2 초음파 센서의 지향성에 의한 오차

일반적으로 초음파는 트랜스듀서의 중심점을 기준으로 파동이 동심원상으로 퍼져 나가는데 그림 2.2는 구동 주파수 50[kHz] 에서 초음파 빔의 강도를 나타낸 것이다. 전기 에너지를 초음파 신호로 변환하는 초음파 트랜스듀서는 그 자체의 크기에 따라 진동판 표면의 각 지점에서 초음파가 간섭을 일으키면서 빔을 발생한다. 또한, 초음파 파장은 트랜스듀서 직경에 비해 무시될 정도로 짧기 때문에, 초음파 빔은 트랜스듀서가 향하는 방향(트랜스듀서 음향축)에 대하여 확장하며 전파된다[12].

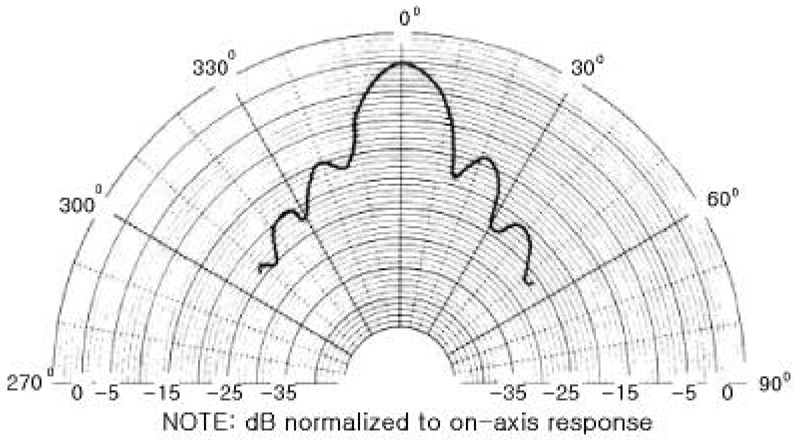


그림 2.2 50 kHz **에서 초음파 빔의 패턴**

Fig 2.2 Ultrasonic beam pattern at 50 kHz

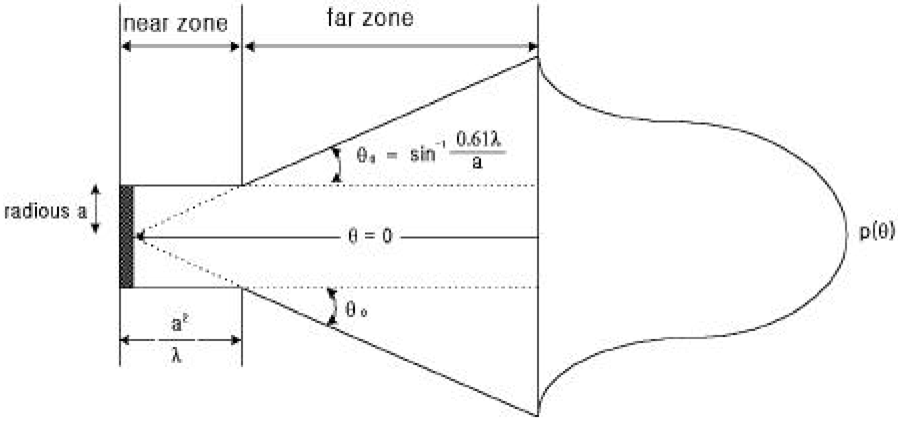


그림 2.3 **초음파 트랜스듀서의 지향성에 대한 모델링**

Fig 2.3 Modeling about the beam pattern of the ultrasonic transducer.

그림 2.3**은 그림** 2.2**의 초음파 방사현상을 모델링 한 것으로 트랜스듀서의 반지름을** a, **초음파 파장을** λ **라 하면**, **원장**(far zone)**에서 초음파 빔의 편각** θ_0 **는 다음 식과 같다**.

$$\theta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{0.61\lambda}{a}\right) \tag{2.2}$$

여기서, θ_0 **는 구동주파수에 의해 결정되어지는데**, **이 각도가 크게 되면**, **트랜스듀서의 음향축 상에서 어느 정도 떨어진 물체에서도 측정이 가능한 반면**, **얻을 수 있는 측정치에 대한 실제 물체의 위치 정도가 나빠진다**[13,14].

초음파 센서의 지향성에 의해 그림 2.4와 같이 기울어진 평면에 대한 거리측정에 있어서 수신된 반향(echo)신호는 초음파 빔 각 내의 중앙값을 감지하는 것이 아니라, 초음파 빔 내의 가장 가까운 거리를 읽게 된다. 따라서, 측정된 데이터를 바탕으로 벽면을 표현하면 그림 2.5에 나타낸 바와 같이 실제 환경과는 큰 차이를 보인다.

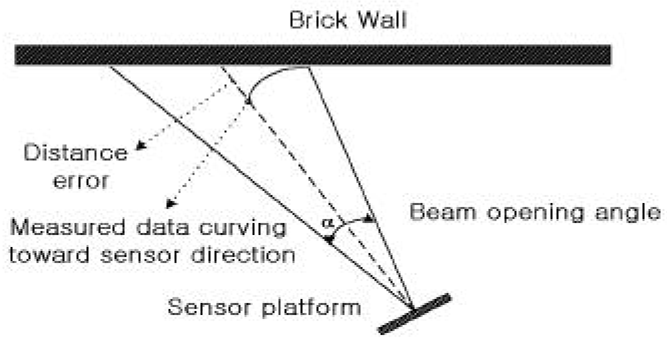


그림 2.4 초음파 트랜스듀서의 지향각에 의한 측정 오차

Fig 2.4 Measurement error data due to beam opening angle of ultrasonic transducer

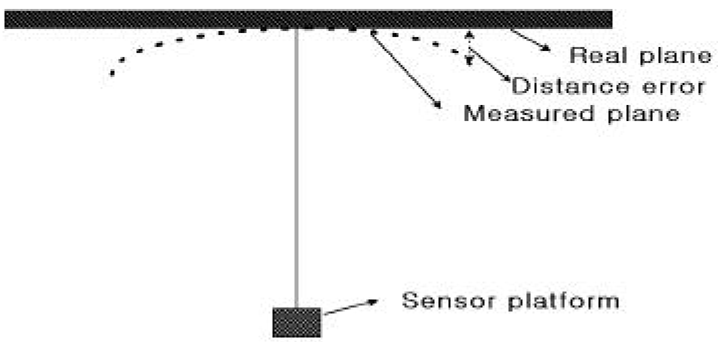


그림 2.5 거리측정오차

Fig 2.5 Error of distance measurement

2.3 초음파 센서의 경면반사 현상에 의한 오차

거리 측정 정도를 높게 하기 위해서는, 주파수가 높은 것이 좋지만, 주파수가 높게 될수록 전달 매체 중에서 감쇄가 크다. 따라서, 공기 중에서 수 미터거리 측정을 위한 이동로봇용 초음파 센서로는 100 [kHz]가 한계이며, 널리 이용되고 있는 초음파 센서의 주파수는 40 60 [kHz] 이다. 이때 공기 중 파장은 상온에서 약 5 10[mm] 이고, 옥내 벽면의 요철은 10^{-1}[mm] 의 거친 평면이다[15]. 따라서, 벽면의 거침은 초음파 파장에 비해서 충분히 작기 때문에 벽면에 대하여 초음파 입사각과 반사각은 같다. 이런 성질을 경면반사라고 한다.

그림 2.6은 평면과 구석에 대한 경면 반사현상을 나타낸 것으로 초음파 센서의 이런 성질로 인해, 곡면환경을 측정할 경우 트랜스듀서의 음향 축 상에서 물체까지의 거리는 다중 반사에 의해 정확한 거리측정이 어렵다. 또한, 기울어진 벽에 대해서 초음파 센서의 큰 입사각에 의해 그 벽면을 관측을 어렵게 한다.

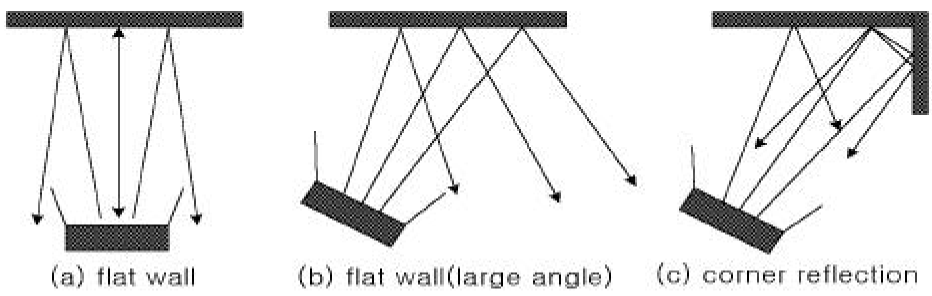


그림 2.6 평면의 경면 반사 현상

Fig 2.6 Specular reflection of flat wall

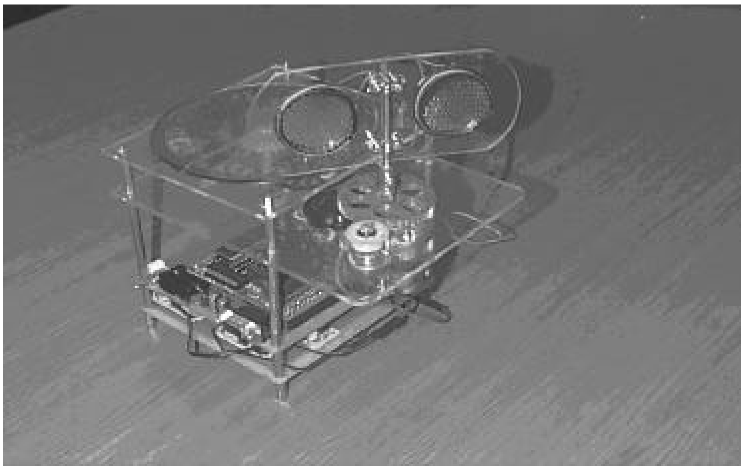
초음파의 이런 성질들로부터, 초음파 센서를 이용하여 거리측정을 할 때, 트랜스듀서의 음향축 상에 물체가 존재한다고 할 수 없고, 빔 축 내에 존재할 것으로 추정될 뿐이다.

또, 경면반사 성질에 의해 임계 각 이상 기울어진 벽면에 대한 존재는 관측할 수 없다. 일반적으로 임계 각은 평면의 구조에 의해 결정되는데 나무 벽면의 경우에는 22.5。, 벽돌로 이루어진 벽면의 경우에는 70。 이다[15]. 따라서, 이동로봇이 어떤 미지 환경을 인식할 경우 부정확한 거리정보로 인해 불확실한 환경을 인식하게된다.

제 3 장 초음파 센서 시스템의 구성

3.1 하드웨어의 구성

본 연구에서는 옥내를 주행하는 실험용 이동로봇의 환경인식시스템에 있어서 전술의 지향각 및 경면반사에 의한 영향을 최소화하는 초음파 센서 시스템의 구성 및 인식 알고리즘을 개발하는 것을 최종 목표로 하고있다. 그림 3.1은 본 연구에서 개발한 초음파 센서 시스템의 외관을 나타낸 것이다. 회전 평판 좌우에 두개의 초음파 트랜스듀서가 부착되어있고, 그 아래에 트랜스듀서를 회전시키기 위한 스텝모터, 초음파 센서 구동 드라이버, 각도 측정의 위한 포텐쇼메타, 거리정보를 보여주는 LCD, 데이터를 처리하는 CPU 보드로 구성되어져있다.



3.1 초음파 센서 시스템의 사진

Fig 3.1 Picture of ultrasonic sensor system

본 연구에서 사용되어진 초음파 센서는 Polaroid사의 6500 series가 사용되었으며 이로부터 얻어진 데이터를 처리하는 마이크로 컨트롤러는 80C196KC가 사용되었다. 또한 트랜스듀서가 부착된 회전판의 구동에는 H-546 스텝모터가 사용되었으며, 이의 회전각 검출을 위해 Potentiometer를 사용하였다. 그림 3.2는 Intel사의 80C196KC 마이크로 컨트롤러를 중심으로 한 초음파 센서 시스템의 데이터 처리 블럭 선도를 보여주고 있다.

80C196KC의 출력포트 P1.0 P1.2를 통하여 센서플랫폼의 회전명령이 스텝모터 구동 드라이버 L297에 전달되면 스텝모터는 회전하게된다. 이때 모터의 회전축에 부착된 포텐쇼미터의 출력전압은 입력포트 P0.0를 통하여 8비트 A/D 변환기의 입력으로 받아들여진다. CPU는 변환기의 출력으로부터 플랫폼의 회전각 정보를 계산하게된다. 또한 초음파 센서 트랜스듀서의 구동 신호는 출력포트 P1.4 P1.7을 통해 트랜스듀서 구동드라이버에 전달되며 수신신호는 HSI(high speed input) 0 3 포트를 통해 입력되어진다. 이들 신호를 이용하여 CPU는 물체까지의 거리를 계산한다. 이와같이 계산되어진 거리 및 각도정보는 LCD 디스플레이와 RAM에 보내진다. 여기서, PAL은 LCD, RAM, ROM등의 영역을 어드레스 디코딩하기 위하여 사용되어졌다.

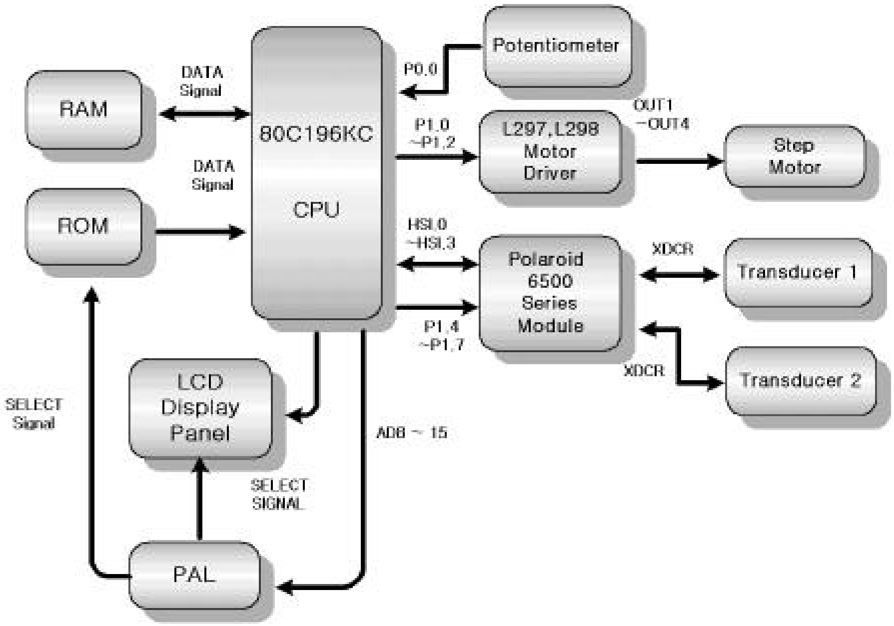


그림 3.2 80C196KC **중심 데이터 처리 블럭 선도**

Fig 3.2 The schematic diagram for data processing using 80C196KC

그림 3.3 **은 테이다 처리 실행 순서도를 나타낸 것이다**. **먼저** 80C196KC**의** SFR(special function register), **초음파 센서모듈의 내부신호 및**, LCD**를 초기화시킨 후**, **초음파 센서모듈** 1, 2**의** INIT (initial) **단자와** HSI.0, 1 **포트로 입력신호를 준다**. **그리고** HSI **인터럽트 루틴이 실행되어진 다음 타이머**1**이** ECHO **단자와 연결되어 있는** HSI.0 3**단자가** HIGH **가 될 때까지 카운터 하게 된다**. **물체까지의 거리정보는** HSI.1**이** HIGH **가 된 시간과** HSI.0**이** HIGH**가 된 시간의 차 그리고** HSI.3**이** HIGH**가 된 시간과** HSI.2**가** HIGH **가 된 시간의 차로부터 얻어지며** RS-232 **통신에 의해** LCD**와** IBM PC **로 전송되어진다**.

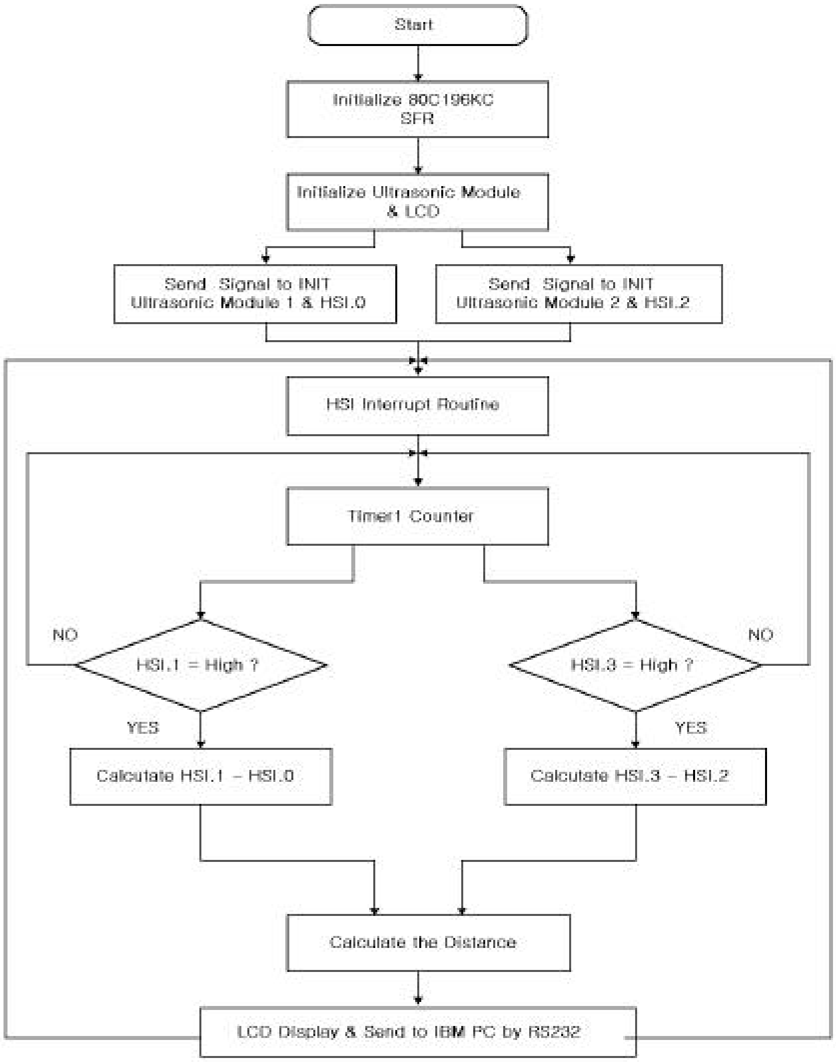


그림 3.3 **거리측정을 위한 테이다 처리 실행 순서도**

Fig 3.3 Flow chart of data processing for distance measurement

3.2 초음파 센서 모듈

본 논문에서 사용되어진 초음파 센서는 이동로봇 분야에서 옥내 미지환경을 인식하는 시각센서로 널리 사용되어지고 있는 측정범위 25[Cm] 1000[Cm], 오차범위 ±1[%], 지향각 12°를 가지는 Polaroid 사의 6500 series 모듈을 사용하였으며 그 사양은 표3.1과 같다.

표 3.1 폴라로이드 6500 series 특성표

Table 3.1 Characteristics of Polaroid 6500 series

Parameter		MIN.	MAX.	UNIT
Supply voltage VCC		4.5	6.8	V
High-level input voltage	BLNK,BINH,INIT	2.1		V
Low-level input voltage	BLNK,BINH,INIT		0.6	V
ECHO and OSC output votage			6.8	V
Delay time, power up to INIT high		5		ms
Recycle period		80	ms	
Operating free-air temperature, T_A		0	40	° C
Internal Blanking Interval			2.38	ms
FrequencyDuring 16-pulse OSC output			49.4	kHz
Transmit Period	XMIT output		49.4	kHz
Frequency After 16-pulse	OSC output		93.3	kHz
Transmit Period	XMIT output		0	kHz
Transducer Bias Voltage	TA=25。C	200		V
Transducer Output Voltage	TA=25。C	400		V

3.2.1 거리측정을 위한 타이밍

폴라로이드 초음파 센서를 이용하여 거리를 측정하는 방법에는 싱글 에코 모드 와 멀티 에코 모드 두 가지 방법이 있다.

그림 3.4는 싱글 에코 모드 타이밍도를 나타낸 것이다. 전원이 인가된 상태에서 INIT 신호가 HIGH가 되기 전에 5 [ms] 정도 경과되어야만 하는데, 이 시간은 모든 내부 회로가 초기화되어지고, 내부 오실레이터가 안정화되어지는 시간이다. INIT 신호가 HIGH가 될 때 트랜스듀서의 입력신호(XDCR)가 발생하여 내부적으로 49.4 [kHz] 의 16 펄스신호가 400 [V]의 피크치 전압으로 트랜스듀서로 방사되어진다.

16 펄스가 송신되어진 후 트랜스듀서에는 약 DC 200 [V] 정도의 전압이 남아있어 트랜스듀서가 최적의 동작을 한다. 또한, 트랜스듀서 한 개로 송·수신을 모두 하기 때문에 송신되어진 신호는 수신되어지기까지 내부적인 지연시간 2.38 [ms] 가 존재하게 된다. 이 내부 지연시간에 의해 대략 40 [Cm] 이하의 물체는 감지를 못하게 되는데, 이때는 BINH 입력을 INIT 신호가 HIGH가 되고 내부 지연시간 안에 HIGH로 해주면 40 [Cm] 이하의 짧은 거리도 측정 할 수 있게 된다. 수신되어진 신호는 증폭되어지고 ECHO 신호의 HIGH 의해 검출되어진다. INIT 신호가 HIGH가 되고 ECHO 신호가 HIGH가 되는 시간은 물체와 트랜스듀서간의 거리에 따라 비례적으로 늘어난다. 따라서, 이 비례적인 시간에 의해 거리를 검출하게된다.

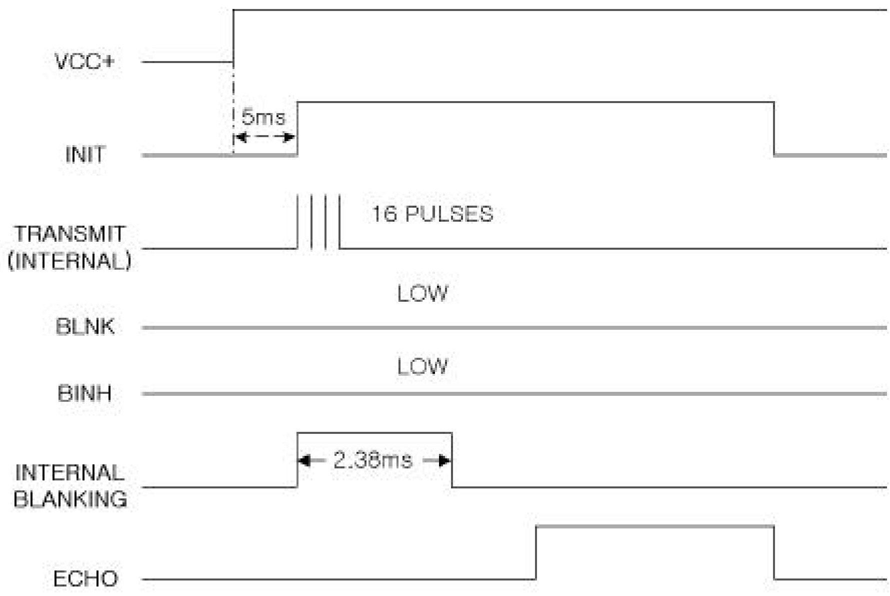


그림 3.4 브랭킹 입력이 없는 싱글 에코 모드 주기

Fig 3.4 A single echo mode cycle without blanking input

또한, 멀티 에코 모드에서는 만약 한 개 이상의 물체를 한 번의 송신에 의해 검출 할 때 사용되어진다. 그림 3.5 는 멀티 에코 모드에 대한 타이밍을 보여주고 있다.

멀티-에코 모드의 경우에는 먼저 내부 브랭킹 신호가 HIGH가 된 후 BINH(blank inhibit)단자를 HIGH로 한 다음 송신된 초음파가 되돌아온 에코신호가 처음으로 HIGH가 될 때 브랭크 신호(BLNK) 입력을 다음 에코 신호가 돌아오기 전 까지는 HIGH가 되어야만 한다. 또한 브랭크 시간은 첫 번째 물체로부터 되돌아오는 신호를 감지하기 위해 최소 0.44[ms] 로 유지해야한다. 이것은 두 물체가 7.62[Cm] 정도 떨어져 있을 때의 경우이다.

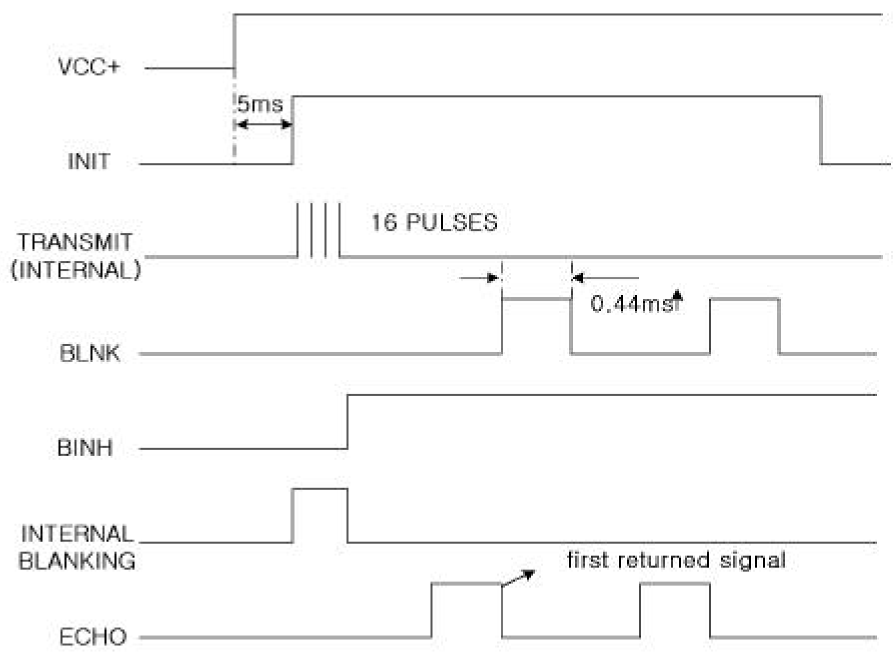


그림 3.5 **브랭킹 입력이 있는 멀티-에코-모드의 타이밍**

Fig 3.5 A multiple-echo-mode cycle with blanking input

3.2.2 입 · 출력 회로 설계

그림 3.6**은 폴라로이드** 6500 **시리즈 모듈의 입·출력 구성도를 보여주고 있다**. Polaroid **초음파 센서를 이용한 거리측정 시스템의 구현에 있어서 초음파 방사에 의한 역 전류를 막기 위해** BLNK, BINH **및** INIT **입력신호의 외부 결선을 그림** 3.6**과 같이 하여야한다. 또한, 미약한 출력단자의 신호를 풀업 저항을 외부에 연결해 주어 그 단자 전압을 기준전압으로 끌어 올려 주어야** ECHO **신호를** 5[V] **전압레벨까지 올릴 수 있다**.

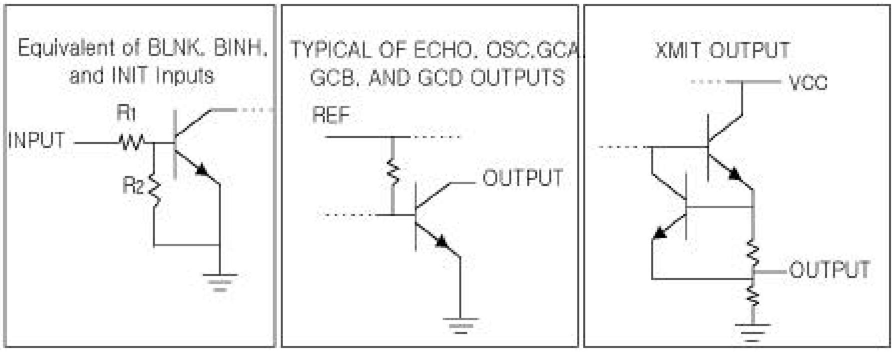


그림 3.6 **폴라로이드** 6500**시리즈 모듈의 입** / **출력 구성도**

Fig 3.6 Polaroid 6500 series ranging module

input / output schematics

3.2.3 초음파 센서를 이용한 거리측정 실험

그림 3.7**은** polaroid 6500 series Module **의** INIT **신호와** ECHO **신호를** 2m **거리에서 측정한 파형을 오실로스코프로 포착한 그림으로**, **그림에서 알 수 있듯이** INIT **신호가** HIGH**가된 시간과** ECHO **신호가** HIGH**가 된 시간의 차를 낸** Δt **의 시간차를 가지고 들어옴을 알 수 있다**. **또한 시간차** Δt **는 거리에 따라 비례적으로 증가한다**.
따라서, **물체와의 거리는** TOF(Time of Flight) **방법에 의해 거리** D **는 다음 식에 의해 계산된다**.

$$D = \frac{\Delta t \cdot V}{2} \tag{3.1}$$

여기서 V **는 공기중 초음파의 전파속도**, Δt **는 시간차이다**.

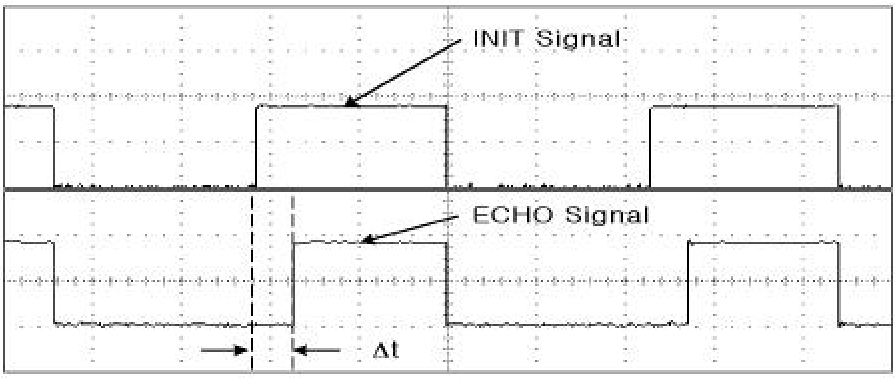


그림 3.7 200 Cm **거리 측정을 위한** INIT, ECHO **신호**
Fig 3.7 INIT signal and ECHO signal for measurement distance at 200[Cm]

3.3 초음파 센서 데이터 융합

그림 3.8은 본 논문에서 제안한 초음파 센서시스템의 트랜스듀서 배치도를 나타낸 것이다. 두 개의 초음파 트랜스듀서를 일정한 거리 d 을 두고 동일한 위치에 배치함으로써 각각의 센서가 지향하는 중앙선과 두 센서에 의해 생성되는 거리는 평행을 이루게 된다.

이들은 하나의 트랜스듀서로 송·수신을 겸하게 되고 각각은 순차적으로 초음파를 방사하여 혼선 문제가 생기지 않도록 하고 있다.

본 논문에서는 입사각이 지향각보다 큰 경우와 작은 경우로 나누어 이들에 대해 두 센서의 테이타를 기하학적 방법으로 융합함으로써 정확한 거리 정보를 구하고자한다.

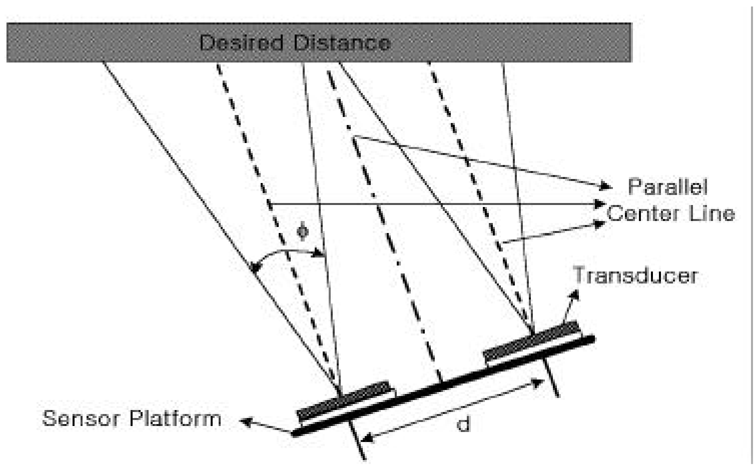


그림 3.8 트랜스듀서의 배치도

Fig 3.8 Arrangement of transducers

3.3.1 입사각이 지향각보다 큰 경우

그림 3.9는 초음파 센서를 이용한 거리측정의 경우 입사각(θ)이 지향각($\frac{\phi}{2}$) 보다 클 때를 나타낸다.

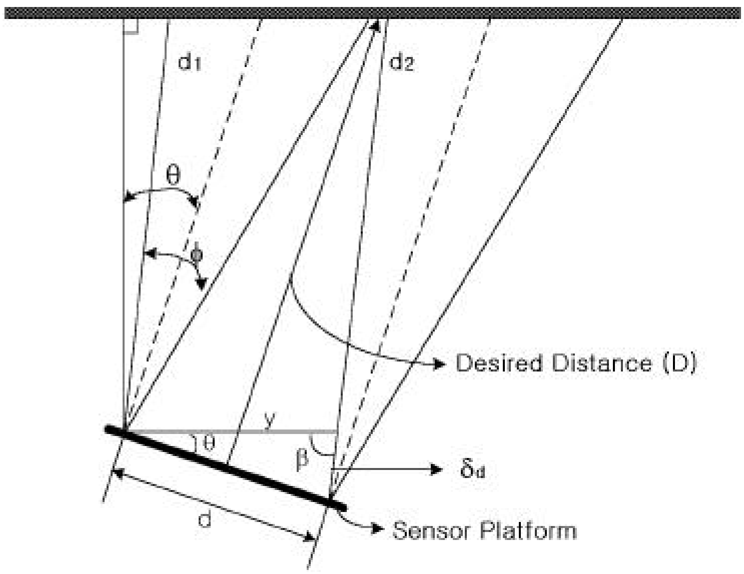


그림 3.9 센서 데이타 융합을 위한 기하학적 모델 ($\theta \geq \frac{\phi}{2}$)

Fig 3.9 Geometric model for sensor data fusion

그림 3.9 에서 두 센서로부터 얻어진 거리의 차는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\delta_d = | d_2 - d_1| \quad (3.2)$$

여기서 d_1, d_2는 두 센서로부터 얻어진 거리 값이다.

또한 그림 3.9에서 두 트랜스듀서 사이의 거리를 d ,초음파 방사각을 ϕ로 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$y = \sqrt{d^2 + \delta_d^2 - 2d\,\delta_d \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2}\right)} \qquad (3.3a)$$

$$\frac{\delta_d}{\sin\theta} = \frac{y}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2}\right)} \qquad (3.3b)$$

그러므로 벽면과 센서가 이루는 각 θ에 관하여 정리하면

$$\theta = \sin^{-1}\frac{\delta_d \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2}\right)}{y} \qquad (3.4)$$

이 된다. 따라서 입사각이 지향각보다 크거가 같은 경우 초음파 센서 중심과 벽면사이의 거리는 다음 식에 의해 계산되어진다. 여기서 d_{ave} 는 d_1 , d_2 의 평균값이다.

$$D = \frac{d_{ave}\cos(\theta - \phi/2)}{\cos\theta} \qquad (3.5)$$

3.3.2 입사각이 지향각 보다 작은 경우

그림 3.10**과 같이** θ **가** $\frac{\phi}{2}$ **보다 작은 경우에는 다음 식** (3.6) **식** (3.8)**과 같이 계산되어진다**.

$$\frac{\delta_d}{\sin\theta} = \frac{d}{\sin\pi/2} \tag{3.6}$$

$$\theta = \sin^{-1}\frac{\delta_d \sin\pi/2}{d} \tag{3.7}$$

$$D = \frac{d_{ave}}{\cos\theta} \tag{3.8}$$

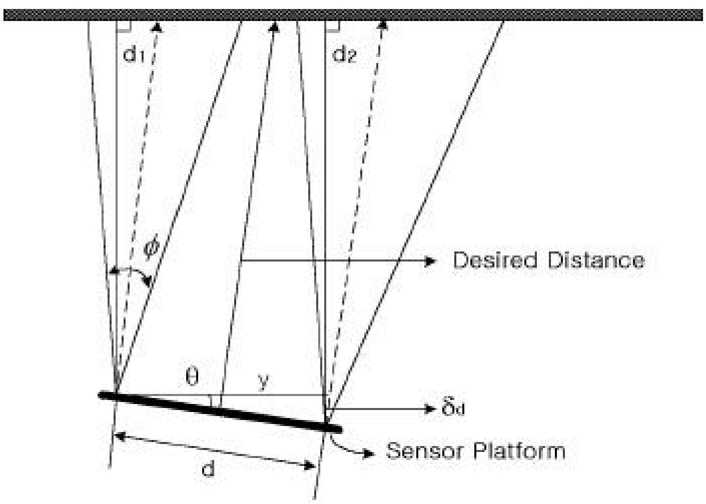


그림 3.10 **센서 융합의 기하학적 모델** ($\theta < \frac{\phi}{2}$)

Fig 3.10 Geometric model for sensor fusion

3.4 Hough 변환을 이용한 환경인식 알고리즘

이동로봇이 미지의 환경인식을 위해 초음파 센서를 이용하여 환경을 탐색할 때 초음파 트랜스듀서의 입사각이 벽면에 대한 경면반사 현상에 의해 수신파가 되돌아오지 않는 각을 임계각이라 한다. 이 각을 벗어날 경우 센서 데이터는 실제 정보와는 전혀 다른 결과를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 2차원평면에서 초음파 센서들에 의해 받아들여진 한 쌍의 거리 데이타를 전 절에 언급한 융합알고리즘을 이용하여 보다 정확한 벽면 거리정보를 구한다. 또한 이를 근거로 하여 Hough변환을 적용함으로써 미지의 환경에 대한 벽면라인을 검출하는 환경인식 알고리즘을 제안한다.

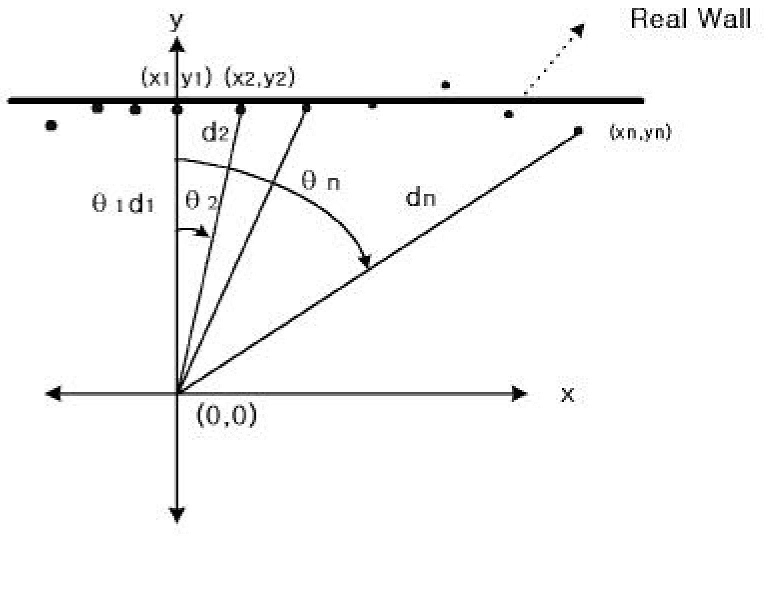


그림 3.11 X-Y 평면상에서의 데이타 표현

Fig 3.11 Data representation on X-Y plane

융합된 거리정보로부터 벽면라인을 검출하기 위해 다음과 같은 과정을 거친다. 우선 그림 3.11 에 나타낸 바와 같이 센서 플랫폼을 중심으로 환경을 스케닝한 후에 얻어진 거리정보 d를 센서 플랫폼의 회전 정보 θ와 함께 다음과 같이 표현한다.

$$\text{Data} = \{(d_1, \theta_1)(d_2, \theta_2) \cdots\cdots (d_n, \theta_n)\} \qquad (3.9)$$

식(3.9)와 같이 표현되는 정보는

$$x_i = d_i \sin\theta_i, \quad y_i = d_i \cos\theta_i \qquad (3.10)$$

에 의해 다음과 같은 X-Y 평면상의 점으로 나타내어진다.

$$\text{Data} = \{(x_1, y_1)(x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n)\} \qquad (3.11)$$

여기서 초음파 센서의 경면반사 현상이 없고 거리 정보 d 가 정확하다면, 벽면 라인은 X-Y 평면상의 인접한 두 점들을 연결하는 직선이 된다. 그러나, 실제 측정의 경우에는 경면반사의 영향으로 인해 실제 벽면과는 전혀 다른 결과를 얻게 된다. 따라서, 경면반사의 영향을 최소화하여 근사적인 벽면 라인을 검출하기 위해 X-Y 평면에 나타낸 n 개의 점들 중에서 인접한 두 점을 지나는 n-1 개의 무한 직선을 구하고 이들에 대해 Hough 변환을 적용하였다.

이로부터 얻어진 $(\rho_1, \alpha_1)(\rho_2, \alpha_2) \ldots (\rho_{n-1}, \alpha_{n-1})$ 점들은 ρ-α 그리드 평면상에 투영된다. 이 과정을 그림 3.12에 나타낸다.

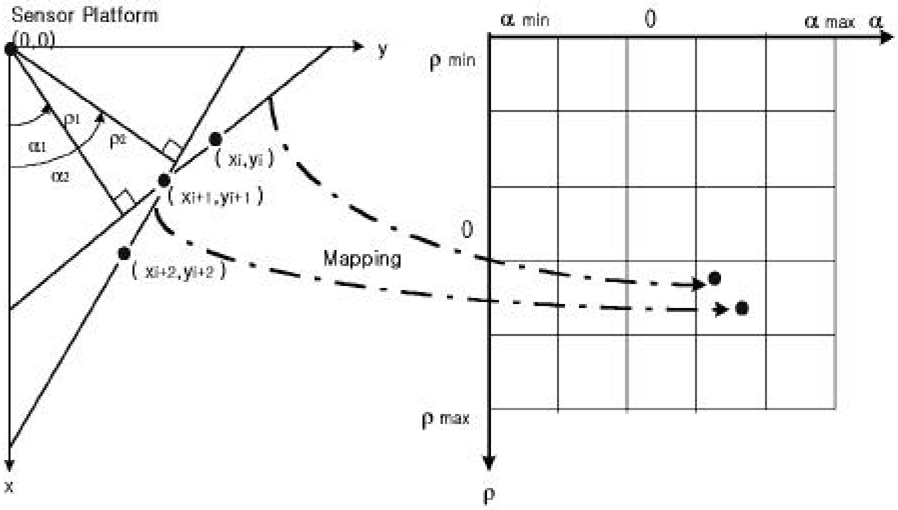


그림 3.12 센서 데이터에 대한 Hough 변환

Fig 3.12 Hough transform of sensor data

ρ-α 평면상에 투영된 점들에 대한 밀도가 높은 셀을 선택하여 이들로부터 실제 벽면과 근사한 직선을 구하고자한다. 각 셀에 투영된 점의 갯수 N이 문턱치 값보다 크거나 같은 셀이 선택되어지면 이들 각 셀에 있어서 평균 $\overline{\rho}, \overline{\alpha}$ 는 식 (3.14)에 의해 구해질 수 있다.

$$\overline{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \rho_i}{N}, \quad \overline{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \alpha_i}{N} \tag{3.14}$$

여기서, 문턱치 값은 임계각도, 센서 플랫폼 구동 스텝모터의 분해능, ρ- α 평면상 셀의 크기 및 스케닝 횟수를 고려하여 실험적으로 결정되는 상수이다.

따라서, 벽면 라인과 근사한 직선은 선택된 각 셀의 $\overline{\rho}, \overline{\alpha}$ 로부터

식 (3.15) 과 같이 얻어 질 수 있다.

$$y = -\frac{\cos\overline{\alpha}}{\sin\overline{\alpha}}x + \frac{\overline{\rho}}{\sin\overline{\alpha}} \qquad (3.15)$$

그림 3.13은 Hough 변환에 의한 라인 추출 알고리즘의 흐름을 나타낸 것이다. 초음파 센서 시스템에 의해 1.8° 마다 스켄닝한 데이터를 $d_1, d_2, \theta, |\delta|$ 로 나타내고, 이들로부터 D_i, θ_i 를 구한다. 그리고, ρ, α 그리드 평면의 각 셀을 초기화 한 다음 D_i, θ_i 데이터를 X, Y 평 면상에 x_i, y_i으로 변환하고 인접한 점 (x_i, y_i) (x_{i+1}, y_{i+1})을 잇는 무한직선을 긋는다. 각 직선에 대해 허프변환을 하여 점으로 나타낸 뒤 ρ, α 그리드 평면에 투영하는데, i가 200일 때까지 루프를 반복하게되는 것은 360°를 1.8°마다 스케닝하기 때문이다. 그리고 각셀 (j , j)에 투영된 점의 갯수를 카운터 하여 임계값보다 크거나 같은 셀을 선택, 그 셀의 각 점들을 평균하여 허프 역 변환을 하면 환경과 유사한 직선을 구할 수 있다.

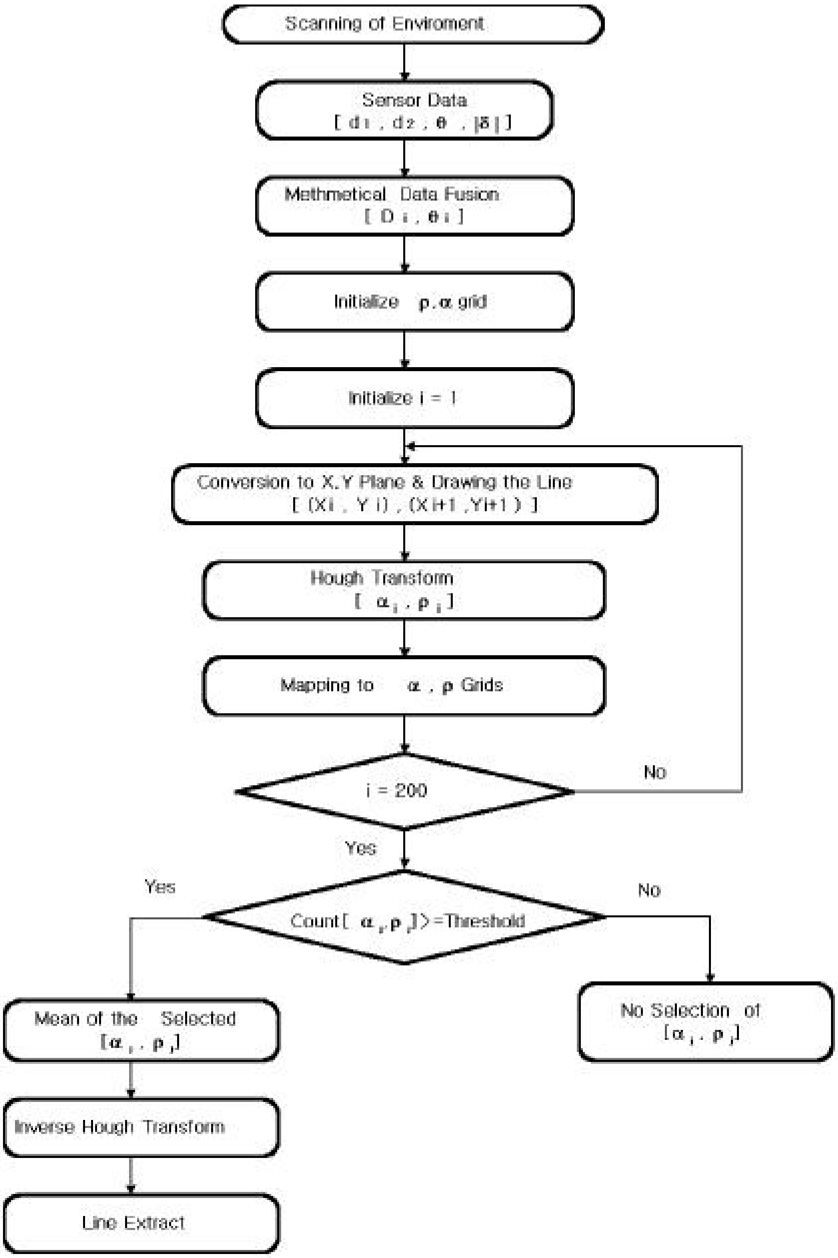


그림 3.13 Hough **변환을 이용한 라인 추출 알고리즘**

Fig 3.13 Line extraction algorithm using Hough transform

제 4 장 실험 결과 및 검토

4.1 데이터 융합알고리즘에 대한 검증 실험

우선 제안한 데이터 융합 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 두 개의 초음파 센서를 사용하여 얻어진 거리 데이터와 이들을 제안한 융합알고리즘에 적용시킨 후의 거리 데이터를 비교하는 실험을 실시하였다. 그림 4.1은 실험을 위한 환경을 나타낸 것으로 무한 평면에 대하여 초음파 센서 시스템을 100[Cm], 160[Cm] 두 지점에서 차례로 초음파 센서 플랫폼을 중심으로 ±45° 범위 내에서 0° → + 45° → 0° →- 45° →0° 로 회전시키면서 1.8° 간격으로 방사하여 거리 데이터를 얻게 된다. 이때, 두 초음파 트랜스듀서의 중심간의 간격은 3 [Cm]로 설정하였으며, 초음파 트랜스듀서간의 혼선현상을 방지하기 위해 순차적으로 초음파를 방사하고, 스텝모터가 회전할 때 초음파 센서가 동작하지 않도록 하였다.

또한, 초음파 센서의 방사 주파수는 13[Hz]로 구동되도록 하여 감지거리를 40 [Cm] 646 [Cm] 로 제한하여 실험하였다. 폴라로이드 트랜스듀서의 구동주파수는 50[kHz] 이므로

$$\lambda = c/f \tag{4.1}$$

에 의해 파장 λ 는 6.88[mm]이다. 실험에 이용된 트랜스듀스의 반지름 a가 20[mm]이므로 식 (2.2)에 의해 초음파의 반 방사각 θ_0 는 12 ° 가 된다.

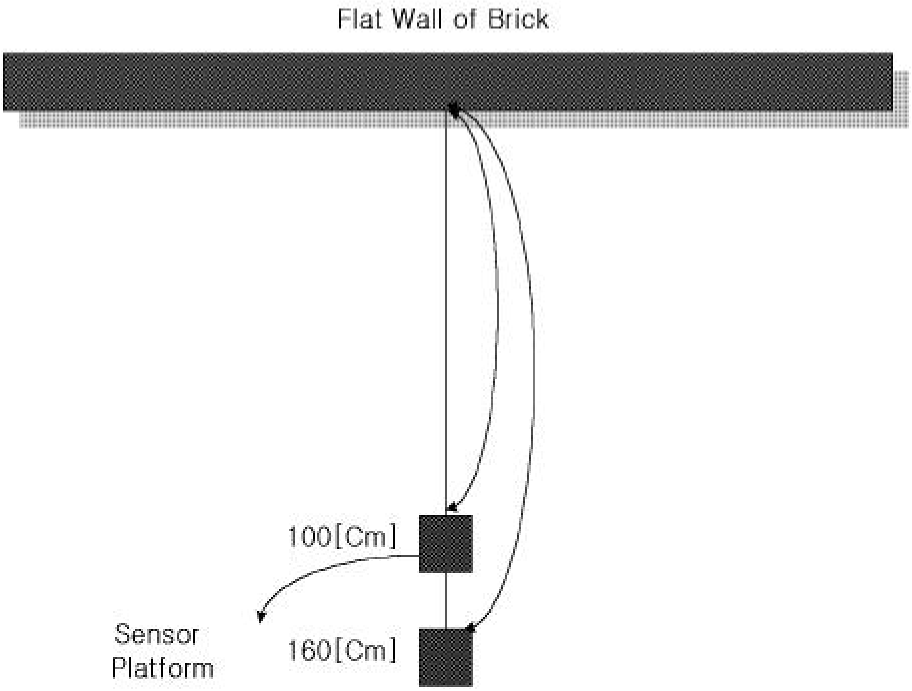


그림 4.1 데이터 융합 알고리즘에 대한 유효성 검증실험 환경

Fig 4.1 Experimental environment to verify validity of the proposed data fusion algorithm

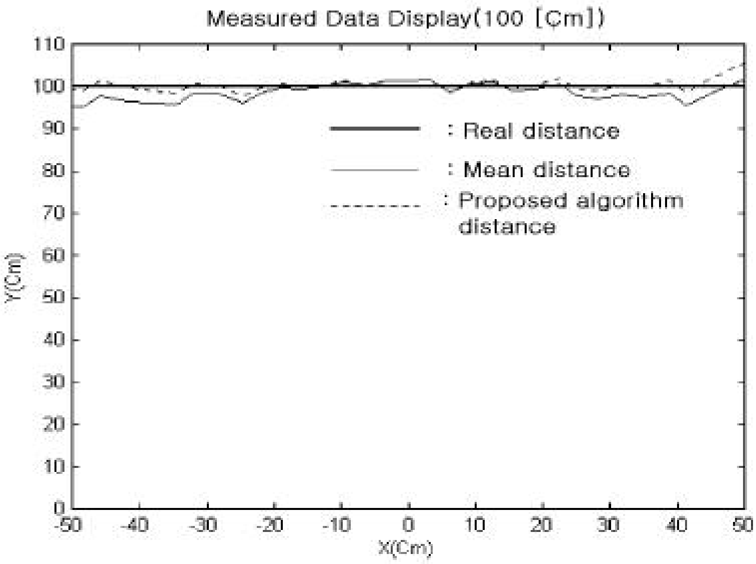


그림 4.2 100[Cm] **에서 거리측정 실험결과**

Fig 4.2 Experimental results of distance measurement at 100[Cm]

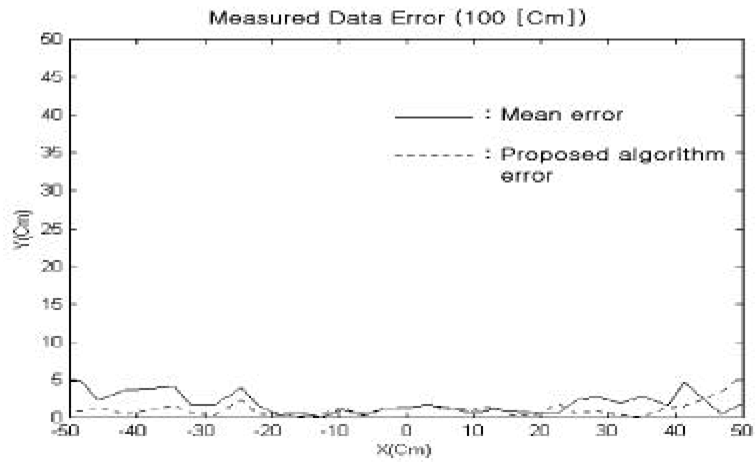


그림 4.3 **그림** 4.2**의 거리측정에 대한 오차**

Fig 4.3 Error in distance measurement of figure 4.2

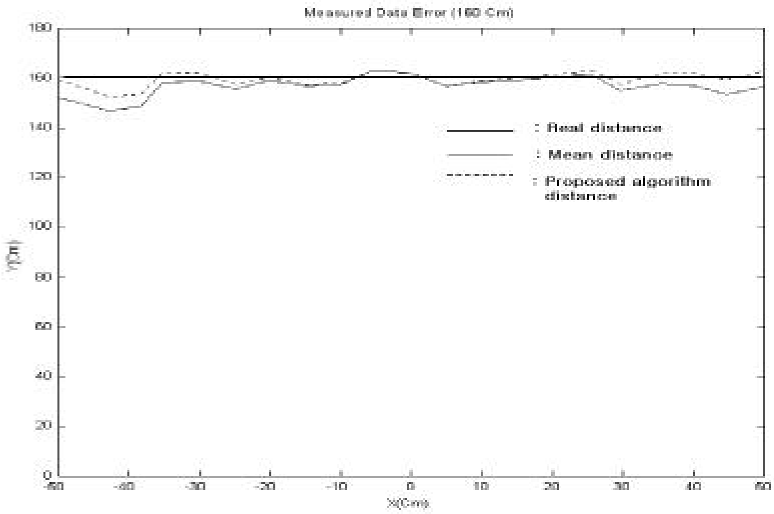


그림 4.4 160[Cm] **에서 거리측정 실험 결과**

Fig 4.4 Experimental results of distance measurement at 160[Cm]

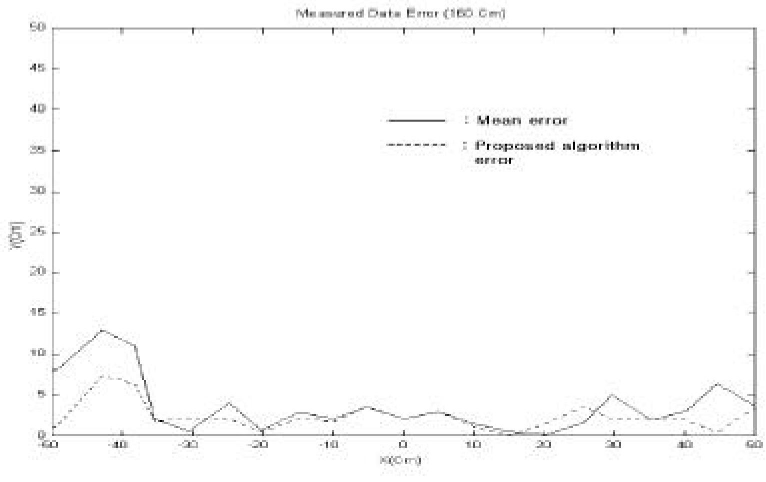


그림 4.5 **그림** 4.4**의 거리 측정에 대한 오차**

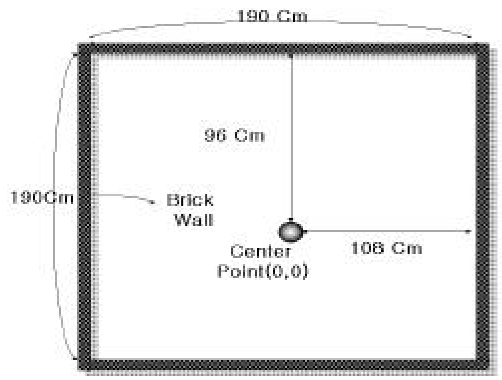
Fig 4.5 Error in distance measurement of figure 4.4

그림 4.2는 100[Cm] 거리에 있는 무한 평면에 대하여 초음파를 방사하여 두 센서로부터 얻어진 거리 측정값을 단순히 평균한 값과 제안한 알고리즘을 적용시켜 얻은 결과를 나타내고있다. 또한 그림 4.3은 이때의 거리 오차를 나타내고있다. 이 그림들로부터 두 센서 데이터를 단순히 평균했을 때와 제안한 알고리즘을 이용했을 때 모두 결과가 (0, 0) 부근에서는 오차의 크기가 비슷하지만 (±50, 0) 부근에서는 제안한 알고리즘에 의한 거리오차가 적음을 알 수 있다.

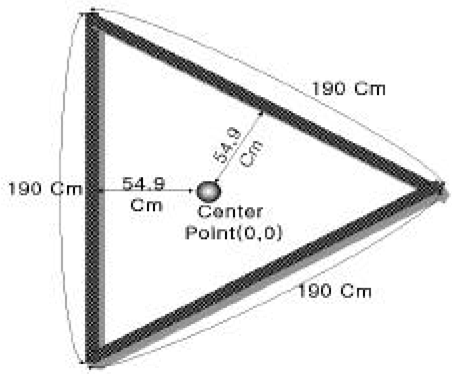
또한 그림 4.4 와 그림 4.5 는 160[Cm] 지점에서의 거리 측정 결과와 그 오차를 보여주고 있다. 이 경우에 있어서도 제안한 알고리즘에 의해 얻어진 결과가 단순히 평균을 취한 결과보다 우수함을 알 수 있다. 이는 제안한 알고리즘이 초음파 센서의 넓은 지향각에 의한 오차를 줄이는데 기여하고 있음을 입증하고 있다.

4.2 벽면라인 검출 실험 결과

Hough 변환을 이용한 벽면라인 검출 알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여 그림 4.6과 같은 격자형 환경에서 벽면라인 검출 실험을 실시하고 그 결과를 최소자승법을 이용한 경우와 비교 검토하였다 .



(I)



(II)

그림 4.6 벽면 라인검출 실험을 위한 환경

Fig 4.6 Environments for line extract experiment

이를 위해 센서 플랫폼을 0° → + 180° →0° → - 180° →0° 순으로 회전시키면서 1.8° 간격으로 초음파를 방사하여 두 초음파 센서로부터 얻어진 데이터를 융합한 후 Hough 변환알고리즘을 적용하였다. 이때 문턱치 값은 8로 결정되었다.

그림 4.7은 사각형환경에 대한 라인 추출결과를 나타낸 것으로 여기서 실선은 실제환경을, 파선은 제안된 융합 알고리즘에 의해 얻어진 거리정보를, 일점쇄선은 파선으로 표시되는 거리정보를 바탕으로 본 논문에서 제안한 Hough 변환알고리즘에 의한 라인추출결과를, 점선은 최소자승법에 근거한 라인추출결과를 나타낸다. 최소자승법에 의한 라인추출은 사각형의 각각의 벽면에 대해 영역을 분할하고 그 영역에서 오차가 최소가 되도록 1차로 근사화 시켜 얻어졌다. 그 결과 실제 환경과는 많은 오차가 발생함을 볼 수 있다. 그러나, 제안한 알고리즘에 의해 얻어진 라인 추출 결과는 실제 환경과 매우 유사함을 알 수 있다. 또한, 그림 4.8 은 삼각형 환경에서 동일한 방법으로 한 결과를 나타낸 것이다. 이 경우 역시 제안한 알고리즘에 의해 얻어진 결과가 최소자승법을 이용한 경우보다 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 이는 초음파 센서의 경면반사에 의한 오차를 줄이는데 효과가 있음을 입증하고 있다.

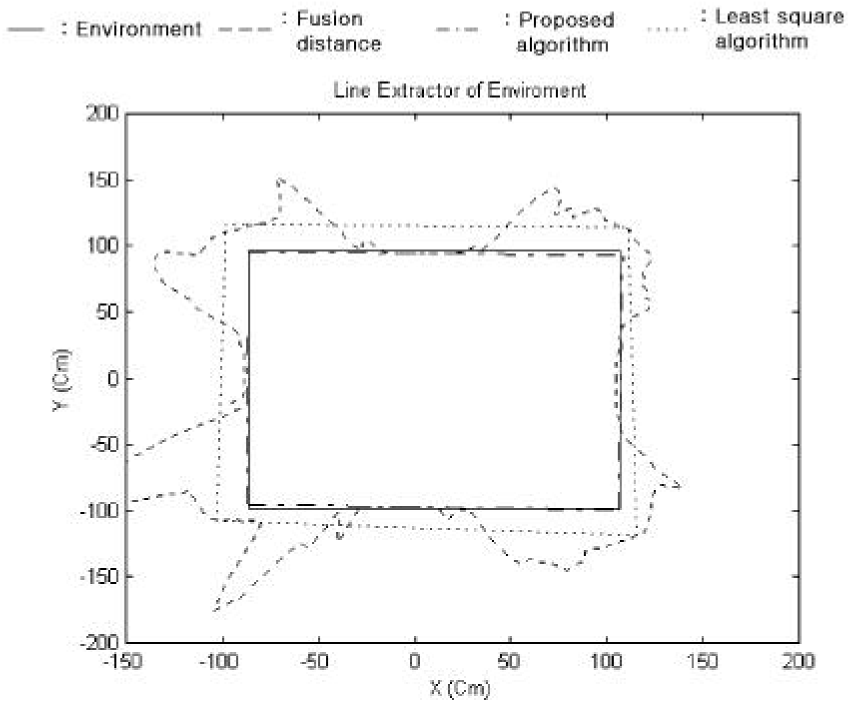


그림 4.7 **라인추출 실험 결과Ⅰ**

Fig 4.7 Results of line extract experiment Ⅰ

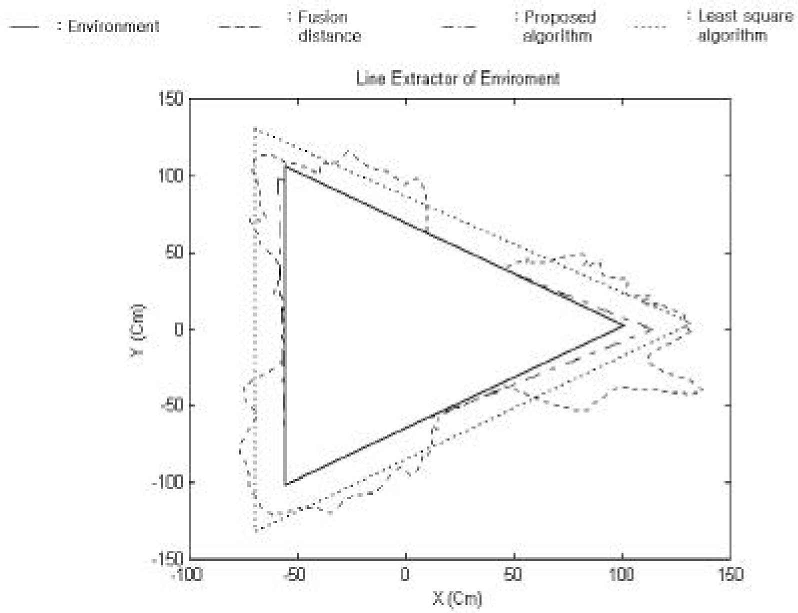


그림 4.8 **라인추출 실험 결과 II**

Fig 4.8 Results of line extract experiment **II**

제 5 장 결론

본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 이동로봇용 환경 인식 시스템 구성시 초음파 센서의 넓은 지향각, 경면반사 문제에 의해 일어날 수 있는 오차들에 대해 언급하였다. 그리고, 이러한 오차를 보정하기 위해 복수의 초음파 트랜스듀서를 이용하여 이로부터 얻어진 데이터를 기하학적으로 융합하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 융합된 거리 정보를 바탕으로 Hough 변환을 적용하여 미지 환경에 대한 보다 정확한 라인 검출이 가능한 알고리즘을 제안하였다. 실제상황에서 제안된 방법에 대한 유효성검증을 위한 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

첫째, 제안한 데이터 융합 방법으로 넓은 지향각에 의한 오차를 줄임으로서 보다 정확한 벽면 거리 정보를 얻을 수 있다.

둘째, Hough 변환 알고리즘을 이용한 라인 검출 알고리즘은 경면반사에 의한 영향을 줄이는데 효과가 있다.

이러한 사실로부터 본 논문에서 제안한 알고리즘은 초음파를 이용한 이동로봇의 환경인식 시스템 및 기타 계측분야에 응용이 기대된다.

참고문헌

[1] Billur Barshan and Roman Kuc, "Differentiating Sonar Reflections from Corners and Planes by Employing an Intelligent Sensor", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 12, No. 6, June 1990.

[2] Borenstein, J and Koren Y, "Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing for Mobile Robot Obstacle Avoidance ", *IEEE Transaction on Robotics and Automation* Feb. 1995, Vol. 11, No. 1, pp. 132-138.

[3] Young Joon Han and Hern Soo Hahn "2**쌍의 초음파 센서를 이용한 측정 면의 위치측정 및 종류 분류 기법**" *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 4, No 6, Dec. 1998.

[4] Young Joon Han and Hern Soo Hahn, "Localization and classification of Target Surfaces using Two Pares of Ultrasonic Sensors", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 12, No. 6, Dec. 1990

[5] J. M. Manyika and H. F. Durrant-Whyte, "A Tracking Sonar Sensor For Vehicle Guidance", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 424-429, 1993.

[6] Roman kuc and M.W.siegel, "Physically Based Simulation Model for Acoustic Sensor Robot Navigation", *IEEE Trans. on Pattern Analysis Machine Intelligence*, Vol. 9, NO. 6, Nov. 1987.

[7] R. C. Luo and M. G. Kay, "Multisensor integration and fusion in intelligent system", *IEEE Trans. Sys.* Man Cybern., Vol. 19, pp. 901-931, 1989.

[8] Yoshiaki Nagashima and Shin'ichi Yuta, "Ultrasonic sensing for a mobile robot to recognize an environment", *Yamabico symposium*, 27, July 1992.

[9] Olle Wijk, Patric Jensfelt, and Bowahlberg "Sensor Fusion for Mobile Robot Navigation A First Subjective Discussion", *Automatic Control Royal Institute of Technology*, 27, Mar. 1997.

[10] Charles C. Chang, and Kai-Tai Song, "Ultrasonic sensor data integration and it's Application to environment perception", *Journal of Robotic Systems* 13(10), pp. 663-667, 1996.

[11] T.Pavlidis and S.L. Horowitz, "Segmentation of plane curves" *IEEE Trans. Computer*, C-32, pp. 860-870, 1974.

[12] H. R. Everett, *Sensors for mobile robots theory and application*, A K Peters, Ltd. Wellesley, Massachusetts.

[13] P.M. Morse and K.U. Ingard, *Theoretical Acoustics*, New York: McGraw Hill, 1968.

[14] J.L.Crowley, " Dynamic world modeling for an intelligent mobile robot using a rotating Ultrasonic Ranging Device" *Proc. IEEE. Rob. Automation.*, Louis, MO, pp.128-135, 1985.

[15] Charles C. Chang and Kai-Tai Song, "Ultrasonic Sensor Data Integration and Its Application to Environment

Perception", *Journal of Robotics Systems*, pp. 663-677, 1996.

[16] H.P.Moravec and A.Elfes, "High resolution maps from wide angle sonar", *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 166-121, 1985.

[17] Johann Borenstein and Yoram Koren, "Histogram In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance", *IEEE Transations on robotics automation*, Vol. 7, No. 4. Aug. 1991.

[18] **차영배 著**, *Micro Controller 80196*, **다다미디어**, 1997.