

이동로봇의 거리측정을 위한 고성능 일체형 초음파 모듈 개발

Development of Robust Single Ultrasonic Module for Distance Measurement of Mobile Robot

최종훈*, 심현민**, 유제균***, 이응혁****
Jong-Hoon Choi, Hyeon-Min Shim, Je-Goon Ryu, and Eung-Hyuk Lee

Abstract - This paper proposed ultrasonic distance measurement module development for correct distance detection with collision escaping or obstacle of mobile robot is traveling self-regulation. Representative ultrasonic module applied in existing was Polaroid company's 6500 series and Devantech company's SRF04/SRF08 series. This ultrasonic sensors are corrupted by systematic errors due mainly to the dependency of sound speed upon surrounding conditions and random errors of uncertain origin. Therefore Ultrasonic distance detecting means of error compensation method and high definition, narrow beam angle, board area distance detecting means to apply to ultrasonic mobile robot control urgently need. In this paper use internal type temperature compensation method to improve problem of ultrasonic distance measurement method instead of that volume that have shortcoming of used correct temperature compensation methods applied big addition device. Compensate error by environment change of temperature. Humidity density etc. and is applicable to mobile robot offering various interface and real-time processing developed possible distance measurement module.

Key Words : Mobile Robot, Ultrasonic sensor system, ranging system, sonar, range measurement

1. 서론

자율주행 중인 이동로봇이 장애물의 검출 회피 및 극부경로계획을 하기 위해 필요한 요소는 정확한 거리 검출 값이다. 로봇 시스템에서 거리계측 방법에는 여러 가지가 있지만, 대부분 광이나 초음파를 이용하고 있다. 광학적 거리계측은 신호의 파장이 짧아 정확성이 높고, 온도나 압력 같은 외부 환경요소에 강인하지만, 대체로 장치가 고가이고 신호처리 알고리즘이 복잡하다. 이에 비해 초음파를 이용한 거리계측은 해상도가 비교적 낮고 외부 환경에 따라 오차가 있지만, 측정 방식이 간단하고 먼지가 많은 환경이나 더러운 작업공간에서도 목표물의 색깔이나 투명성에 무관하게 사용한다는 이점이 있다. 따라서 초음파 센서는 로봇이나 이동체를 위한 거리계측 센서로써 뿐만 아니라 수중탐사장치, 의료용 진단장치 등 여러 가지 용도로 널리 활용되고 있다[1].

기존 이동 로봇의 환경 인식 및 제어 연구들은 주로 송수신 일체형인 Polaroid사의 6500 시리즈와 분리형인 Devantech사의 SRF04/08 시리즈를 사용하였다[2]. 6500 시리즈는 넓은 측정범위를 갖고 있지만, 외형과 전력 소비가 크고, SRF04/08 시리즈는 소형이고 저 소비전력을 갖고 있지만, 방습 및 방진이 취약하다. 대부분의 연구에서는 위 수준의 초음파 성능을 그대로 활용하는 단계의 연구가 대부분이다. 이

러한 초음파 센서들은 주변 환경 조건에 대한 음속의 의존성에 기인하는 시스템 오차와 불확실한 요인에 의한 불규칙 오차를 포함하고 있다[3].

본 연구는 주변 환경 조건에 대한 오차를 감소시켜 이동 로봇 제어에 적용하기 위해 주변 환경 조건에 둔감한 초음파 센서를 사용하고, 거리 계측시 성능을 향상시킬 수 있는 고정밀, 좁은 지향각, 광역의 거리 검출 방법을 제안하였다. 그리고 초음파 거리 측정 방식의 문제점을 개선하기 위해 지금까지 사용된 정확한 온도 보상 방법들의 단점인 부피가 큰 추가 장치를 대신에 신호 처리부를 일체화 시킨 모듈 형태로 구현하였다. 또한, 다양한 형태의 인터페이스를 제공하여 모바일 로봇에 적용 가능하고 실시간 처리가 가능한 거리계를 구현하여 검증하였다.

2. 초음파 센서 시스템

2.1 초음파 센서 검출 방식

초음파 센서의 검출방식은 그림 1과 같이 설치 방법에 따라 일반적으로 세 가지 종류로 분류된다. 그림 1(a)은 초음파 송신기(T)와 수신기(R) 일체형으로 만들어진 겸용 초음파 센서를 사용한 반사형 방식이다. 이 방식은 설치시의 구조가 간단하다는 장점이 있으나, 송수신 전환회로가 필요하고, 송신 시에는 수신할 수가 없어 근거리 측정이 어렵다는 단점이 있다. 그림 1(b)은 초음파의 송신기와 수신기가 독립되어 있는 반사형 방식이다. 이 방식은 근거리 측정이 가능하다는 장점이 있으나, 송신기에서 수신기로 신호가 직접 전달되지 않도록 센서 설치 시에 주의해야한다. 그림 1(c)은 송신기와 수신기를 마주보게 하는 대향형 방식이다. 이 방식은 반사파

저자 소개

- *韓國産業技術隊學校 情報通信學科 碩士課程
- **仁荷大學校 電子工學科 博士課程
- ***韓國産業技術隊學校 知能形healthcare system 研究所 研究員
- ****韓國産業技術隊學校 電子工學科 副教授 · 工博

가 아닌 송신기로부터의 직접적인 음파를 수신하므로 수신감도 설정이 비교적 자유로우나 설치장소가 2군데가 되므로 거리 측정을 위해서는 송수신의 동기화를 위한 신호선의 연결이 필요하다.

본 논문의 초음파 거리 측정 센서에서 목표물까지의 거리 검출을 위해 사용한 방식은 송수신 일체형인 반사형 방식을 사용한다. 거리계의 성질상 송수신 겸용 즉, 하나의 소자를 공유하는 방법이 더 유리하다. 사용한 센서는 센서택사의 ST-206W-T2이며[4], 방습 및 방진에 강한 몰딩 형태이다.

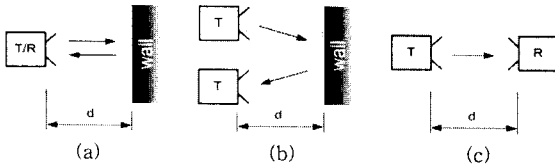


그림 1. 거리 검출방식.

(a) 반사형(겸용), (b) 반사형(독립형), (c) 대향형

2.2 거리 검출의 원리

초음파를 이용한 거리측정은 음파의 전달속도와 전달시간 정보를 이용하여 구할 수 있다. 일반적으로 TOF(time of flight) 방법을 사용한다. 초음파 펄스를 발사한 후 목표물에 반사되어 돌아올 때까지 걸리는 시간을 측정하면, 비행거리에 비례하므로 목표물까지의 거리를 계산할 수 있다. 즉, 센서에서 목표물까지의 거리가 d 이고 TOF 를 (T_x-R_x) 라고 하면, d 은 아래의 식에 의해 구할 수 있다.

$$d = C_0 \frac{(T_x - R_x)}{2} \quad (1)$$

여기서 C_0 는 초음파의 진행속도(343 m/sec) 이다. 방법은 초음파 센서를 이용하여 초음파를 송신하고, 송신된 초음파가 대상 물체를 만나서 반사되는 반사파를 수신하여 이 송신파 수신 사이의 시간차를 이용하여 거리를 계산한다.

2.3 센서 지향 특성

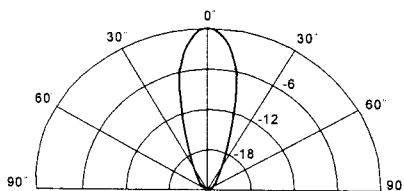


그림 2. 지향 특성.

초음파 센서를 이용한 거리 측정에서 대상 물체의 반사면이 작으면 정확한 거리 검출이 어렵게 된다. 이것은 초음파의 지향성에 의한 것으로 이것이 크면 타겟 이외에서의 반사파가 많아 정확한 거리 검출이 힘들게 된다. 이 때문에 비교적 반사면의 작은 물체의 검출에는 초음파의 지향성을 예리하게 할 필요가 있다. 초음파 센서의 지향성은 센서 소자의 방사면 치수와 주파수에 의해서 결정되지만 같은 주파수라도 초음파 센서의 외부에 혼(horn)을 부착하는 것으로 그 특성을 개선하여 측정 거리를 연장 시킬 수 있다. 그림 2는

ST-206W-T2 센서에 혼을 부착하고 지향성을 측정 한 것이다. 기존의 초음파 센서의 지향성과는 달리 좌 우 15° 부근에서 예리한 값을 나타남을 볼 수 있다. 이러한 특성은 높은 정밀도의 거리 검출을 가능하게 할 수 있다.

2.4 온도 보상 방법

초음파의 전파 속도는 공기 중에서 340[m/s] 정도의 속도로 진행한다. 이 속도는 통신 매체의 온도 변화를 강하게 받는다. 이 때문에 초음파를 이용한 거리 계측에서는 통신 매체의 온도 변화를 고려한 온도 보상 회로가 필요하다. 본 논문에서는 온도 변화에 따른 잔향 감쇠 특성을 변화 시켜 온도 특성 변화를 보상한다. ST-206W-T2 센서는 그림 3 과 같이 온도가 올라갈수록 커패시터 성분이 증가한다. 즉 40 kHz 의 캐리어 주파수를 1.5msec의 시간만큼 초음파에 버스트 파형을 주면 그 출력은 상승 특성을 나타내고, 이에 따라 전기적인 에너지와 기계적 진동은 1차 지연의 상승 특성을 나타내어 서서히 정상 값에 근접해가는 것이다. 이를 잔향 감쇠 시간이라고 하고 커패시터 성분이 증가할수록 길어지게 된다[5]. 잔향감쇠 시간의 변화는 음파의 길이를 변화시켜 오차를 발생시킨다. 본 연구에서는 이를 보상하기 위해 부성 특성을 갖는 온도보상 회로를 추가하여 잔향 시간을 조절한다. 그림 3을 온도가 증가함에 따라 잔향 감쇠 시간이 일정함을 보여준다.

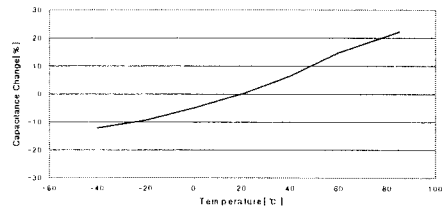


그림 3. 커패시터 대 온도 그래프.

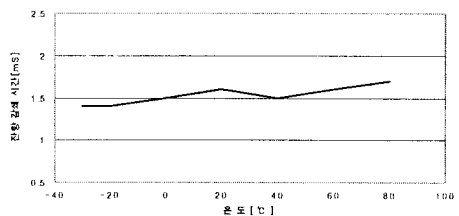


그림 4. 잔향 감쇠 시간 대 온도 그래프.

2.5 초음파 센서 모듈 시스템 구조도

평가를 위해 구현된 모듈을 시험하는 조건은 그림 5와 같다. 실온(25°C)에서 대상 물체는 $\Phi 100$ PVC 파이프를 검출하는 방식으로 벽면을 이용하는 방법보다 검출거리는 줄어들 수 있으나 좁은 대상 물체를 선택함으로써 대상 물체를 더욱 정밀하게 검출할 수 있다. 그림 5는 본 연구에서 구현된 초음파 거리계측 모듈을 간략히 보여주었고 있다. 시스템은 크게 신호 처리부, 전원부, 증폭부, 온도 보상부, 송신부 로 나누어진다. 송신부는 하나의 초음파 센서에 송신 출력을 줌과 동시에 수신용 초음파 센서로서도 이용하고 있다. 신호 처리부

는 마이크로프로세서에서 펄스 트랜스로 40 kHz 의 캐리어 주파수를 입력하고 이어서 수신된 미약한 파형은 증폭을 통해 신호를 복원한 후 거리 계측을 통해 출력으로 내보낸다. 출력신호는 수신된 파형을 마이크로프로세서에서 보내는 버스트 파형, 증폭된 수신파형, 그리고 에코 펄스와 시리얼 출력으로 내보낸다. 출력 신호는 그림 6과 같다.

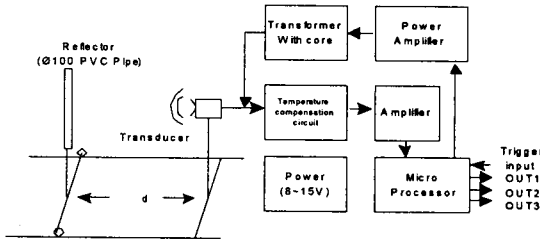


그림 5. 시스템 구조도 및 테스트 조건.

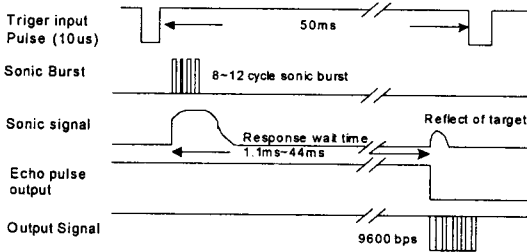


그림 6. 출력신호 타이밍도.

3. 실험 및 결과

실험방법은 파이프의 거리를 조절해 가면서 검출할 수 있는 거리 데이터를 얻고, 센서 특성을 정확하게 파악하기 위해 총 50번의 센서 검출 성능을 표시한다. 표 1과 2는 실제 계측한 거리 데이터를 나타낸다. 측정 거리의 변화에 따른 실험에서 거리 20cm부터 7.5m까지는 95%이상의 확률로 목표물의 거리와 검출 하였다. 구현한 센서 모듈은 일체형 형태로 근접 거리의 계측에 한계로 20cm로 제한했다. 반면에 원거리 거리 데이터 검출은 기존 센서들 보다 오차 없이 정밀한 측정이 가능했다. 실험결과에서 거리 0.2m에서 8m까지 장애물을 감지할 수 있음을 확인하였다. 표 3은 구현된 센서와 같은 조건에서 시험한 센서들의 비교표 이다. 송수신 분리형인 SRF04/08 에 비해 최소거리는 줄어든 반면 최대 거리가 커졌으며, 송수신 일체형인 폴라로이드 보다는 원거리 면이나 전력 소비, 부피 면에서 크게 개선되었다. 지향각 역시 예리해졌다. 또한 기존의 거리 계측 모듈은 출력 선은 다양하지 못하지만, 본 연구를 통해 구현된 거리 측정 모듈은 시리얼 및 에코펄스, 증폭된 신호등을 포함했다. 그림 7은 본 연구에서 구현된 초음파 거리 측정 모듈이다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 거리 측정 모듈의 단점을 분석하고, 이러한 단점을 개선한 모바일 로봇의 환경인식 센서의 하나로 사용하는 초음파 거리 계측 모듈을 구현 하였다. 구현된 거리 센서 모듈은 고가의 센서장비가 아니고 간단한 구조를

가지고 있으면서도 목표물을 정확하게 검출할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 모바일 로봇 및 거리검출용 센서로 활용될 것으로 판단된다.

향후 연구과제는 본 연구에서 구현된 고성능 초음파 거리 센서 모듈을 적용하여 다양한 행동을 구현할 수 있는 행동 제어 알고리즘을 개발하고자 한다.



그림 7. 초음파 거리 측정 모듈.

표 1. 측정 거리 값과 실제 거리 값의 비교 1.

실 제값 (cm)	20	25	55	85	115	145	175	205	235	265
측정치 (cm)	20.1	25.1	55.1	85	115.2	145.2	175.1	205.1	235	265.1
오차	-0.1	+0.1	+0.1	0	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1	0	+0.1
확률(%)	90	97	97	97	97	97	97	97	97	97

표 2. 측정 거리 값과 실제 거리 값의 비교 2.

실 제값 (cm)	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
측정치 (cm)	350	400.1	450.2	499.9	550	600	650.2	700.2	750.3	801
오차	0	+0.1	+0.2	-0.1	0	0	+0.2	+0.2	+0.3	+1
확률(%)	97	97	97	97	97	97	97	97	95	80

표 3. 센서별 비교표.

구분	전원	전류	주파수	지향각	최소	최대	출력
SRF04	5	30mA	40kHz	50°	3cm	3 m	Pulse
SRF08	5	15mA	40kHz	50°	3cm	6 m	I ² C
P6500	4.5~6.8	2~2.1A	50kHz	44.5°	10cm	8 m	Pulse
구현모듈	8~16	25mA	40kHz	30°	20cm	8 m	SCI, Pulse

참 고 문 헌

- [1] L.C.Lynnworth, "Industrial applications of ultrasound - a review II. Measurements, tests, and process control using low-intensity ultrasound," IEEE Trans. Sonics and Ultrasound, vol.SU-22, no.2, pp71-101, 1975
- [2] 도용태 외 "초음파 거리 센서의 계측 오차 감소를 위한 연구," 전자공학논문지,34권,11호,pp.1219-1228, 1997. 11.
- [3] D.A.Bell, "Electronic Instrumentation and Measurements," 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994
- [4] 센서텍, "http://www.sensortec.co.kr"
- [5] 이종락, "초음파와 그 사용법," 세화, pp.67-81, 1997