

이동 로봇을 위한 다중 초음파 센서의 구성과 주변 환경 인식 방법

김 병 수, 이 필 주, 이 건 영
 광운대학교 전기공학과

Recognition of geometric elements and the configuration of multi ultrasonic sensors for mobile robot

Byoung Soo Kim, Phil Ju Lee, Keon Young Yi
 Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문은 IEEE 1394 통신을 기반으로 하는 센서보드를 개발하고 센서보드의 초음파 센서만을 이용하는 이동 로봇의 지도 생성 및 위치 추정을 위한 과정에서 효과적인 초음파 센서 구성과 그에 따른 주변 환경 인식 방법을 소개한다. 일반적으로 이동 로봇의 주행을 위해서 시각센서, 초음파 센서, 레이저 센서 등과 같은 많은 센서들을 사용한다. 시각 센서나 레이저 센서를 이용하면 정확한 정보를 얻을 수 있으나 가격이 비싸다는 단점이 있다. 초음파 센서는 저렴하고, 데이터 처리와 사용이 쉽지만 반사각 민감성 같은 초음파의 특성상 일반적으로 장애물의 판별 여부에만 사용되는 경우가 많다. 따라서 본 문에서는 다중 초음파 센서만을 이용한 로봇의 위치 인식 문제를 보완하여 주변 환경 인식 방법을 소개한다.

시스템에서의 문제점 해결과 주변 환경 인식 방법을 소개한다.

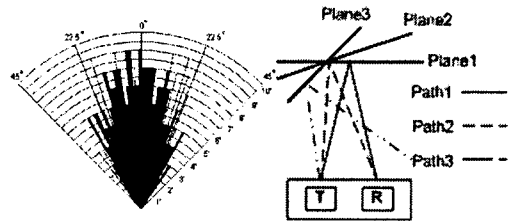


그림 1. 초음파 센서 Beam Pattern 및 비행경로

1. 서 론

이동 로봇의 주행을 위해서는 국부적 위치 추정과 지도 생성이 필요하다. 위치 추정은 센서로부터 획득한 외부 환경에 대한 측정값과 지도상에 주어진 외부 환경에 대한 정보를 비교하여 로봇의 현재 위치를 추정하는 작업이다. 반면 지도 생성은 외부 환경에 대한 센서의 측정값을 이용하여 외부 환경의 주요한 특징들을 추정하는 작업이다. 따라서 위치 추정을 위해서는 정확한 지도 정보가 필요하고, 지도 생성을 위해서는 로봇의 위치를 정확히 파악하고 있어야 한다. 그런데 만약 로봇이 초음파 센서만 사용한다면, 실내에서의 로봇의 위치 추정과 지도 생성 작업은 초음파 센서의 특성상 어려운 일이다. 따라서 초음파 센서는 시각 센서, 레이저 센서 등과 같은 다양한 센서들과 병행하여 사용되며 주로 장애물 회피에 사용되어 왔다. [1]

초음파 센서만을 이용한 물체 인식이나 벽, 코너, 모서리와 같은 주변 환경 인식에 관한 연구의 사례가 아래와 같이 있었다. Zhao[2] [3]은 하나 또는 두개의 초음파 센서를 가지고 삼각 측량 알고리즘을 이용하였지만 다중 센서 시스템에서의 문제점 등을 고려하지 않았으며, 두 쌍의 송신부 및 수신부로 이루어진 초음파 장치를 이용하여 주변 환경 인식에 관한 연구[4]에서는 일반적인 초음파 센서 시스템에서는 적용할 수 없는 문제점을 갖고 있다. 또한 [5]에서는 한 개의 송신부와 2개의 수신부로 이루어진 초음파 센서 시스템을 이용하여 주변 환경 인식에 관하여 연구하였지만 원형의 로봇에 적용하기에는 센서 배치 및 간섭 현상의 문제점과 벽 또는 코너와 같은 특정 환경의 인식은 가능하나 모서리와 같은 환경에 관해서는 연구가 진행되지 않았다.

초음파 센서를 이용한 주변 환경인식에 관한 연구에서는 센서의 범위와 로봇에 장착 문제에 따라 초음파 센서를 16개 이하를 사용해야 한다. 본 논문에서는 16개의 초음파 센서를 이용하며 센서 간의 각도(22.5°)의 1/2인 각도로 전체 센서를 로봇의 중심점을 기준으로 회전하여 32개의 센서를 사용하는 효과를 얻도록 하고 있다. 이를 통하여 정확성을 높이며 이를 이용한 센서

2. 본 론

2.1 초음파 센서

초음파 센서는 음파가 물체에 반사되어 돌아오는 시간 TOF(Time of Flight), 즉 식(1)을 이용하여 간단하게 거리를 측정한다.

$$d = \frac{1}{2} \cdot \nu \cdot T_f \quad (1)$$

d: 거리, ν : 초음파 속도, T_f : 음파의 비행시간

본 논문에서 사용된 초음파 센서는 Acroname사의 각각 한 개의 송신부와 수신부를 갖는 SRF04(40kHz) 초음파 센서를 사용하였다. 센서의 범위는 3cm에서 최대 3m까지 가능하며, 그림 1과 같은 비행경로를 갖고 있다. 본 논문에서는 거리가 10cm 크기 이상의 물체를 인식하는데 초음파 센서를 사용하였다. 송신부와 수신부 사이의 간격은 2cm이므로 10cm 이상의 물체의 거리를 수직으로 측정할 경우 초음파 센서는 오차 범위(0.05cm)를 보완하면 직진성의 성격을 갖는다. 본 논문에서 사용된 초음파 센서는 식(2)을 이용하면 그림 1과 같이 θ 가 최대 30° 이상일 경우 물체에 반사되어 receiver에 수신되는 초음파 센서의 크기는 threshold level 이하로 떨어져 물체의 거리를 인식할 수 없게 되는 것을 알 수 있다.

$$\theta_o = \sin^{-1} \frac{0.61\lambda}{a} \quad (2)$$

θ_o : Half Angle, a: Transmitter반지름, λ : 음파의 파장

2.1.1 초음파 센서 시스템

일반적으로 많은 로봇에는 초음파 센서를 센서 간의 간섭 등의 이유로 16개 정도를 사용하고 있다. 그러나 본 논문에서는 32개의 초음파 센서의 효과를 얻도록 로봇의 중심을 축으로 하여 그림 2와 같이 11.25°의 각도로 전체 초음파 센서를 회전 하도록 구성하였다. 센서의 간섭 현상을 막기 위하여 이웃하지 않은 센서 8개씩 동작 후 센서들을 회전하여 같은 방법으로 센서를 동작하여 총 4번의 센서의 구동으로 주변 환경을 인식하도록 하였다.

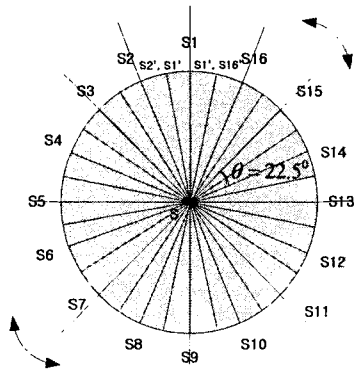


그림 2. 초음파 센서 시스템

2.2 주변 환경 인식

본 논문에서는 제안된 초음파 센서 시스템을 이용한 주변 환경 인식에서 평면, 코너, 모서리에 관하여 설명한다. 제안된 센서 시스템은 원형으로 그림 3과 4와 같이 주변을 인식하며 거리를 측정한다. 센서 시스템은 원형이므로 그림 3의 S1과 같이 적어도 한 개의 초음파 센서는 직진성의 성격을 갖게 된다.

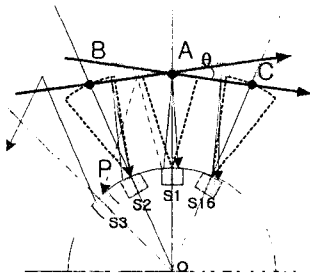


그림 3. 평면 인식

또한 그림 4의 S3, S15와 같이 이웃한 센서의 난반사의 직, 간접적인 원인이 된다. 따라서 전체 센서를 일정 각도로 회전하여 센서의 정밀도와 난반사 여부를 판단 할 수 있는 효과를 얻도록 한다.

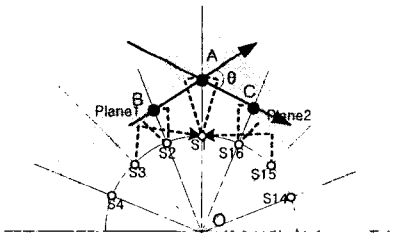


그림 4. 코너 인식

2.2.1 평면 및 코너 인식

다중 초음파 센서를 이용한 평면 인식 방법은 그림 3과 같이 평면으로부터 얻은 거리 데이터 중 가장 단거리의 센서 거리를 기준점(S1)으로 하여 이웃한 센서(S2, S16)로부터 얻은 센서 데이터의 각 점들을 직선으로 연결하여 기준점을 교차하는 직선들이 이루는 각을 식(3)에 의하여 데이터를 구할 수 있다. $\theta \pm 10^\circ$ 이내일 경우 평면이라 로봇이 인식 하도록 한다. 또한 이를 이용하여 평면을 판단하며 기울기까지 파악하며 이를 확장하여 그림 4와 같이 코너의 정보를 알 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{BA \cdot AC}{BA \cdot AC} \quad (3)$$

2.2.2 모서리 인식

일반적으로 모서리를 측정할 경우 초음파 센서가 반사되어 오는 신호의 크기가 평면과 코너보다 훨씬 적음으로 인하여 센서의 조준선과 모서리와의 각도가 작을 경우에만 TOF가 검출되기 때문에 본 논문에서는 센서를 회전시켜 그림 5와 같이 TOF를 검출하도록 하였다.

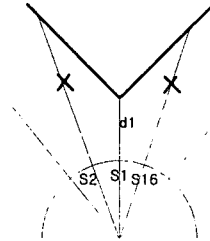


그림 5. 모서리 인식

2.2.3 난반사 인식

이웃한 센서의 음파가 이웃한 센서로 그림 6과 같이 전달되어 다중 초음파 센서 시스템에서는 발생한다. 회전으로 얻은 두개의 S3의 거리 데이터를 식(3)과 식(4)에 의한 난반사 거리 범위와 비교하여 난반사를 판단할 수 있다.

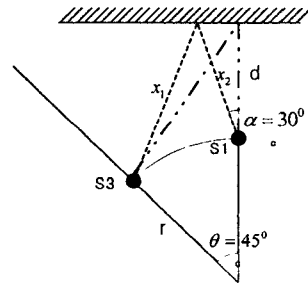


그림 6. 난반사 경로

$$x_1 = \sqrt{(r \sin\theta - x_2 \sin\alpha)^2 + (d + r(1 - \cos\theta))^2} \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{d}{\cos\alpha} \quad (5)$$

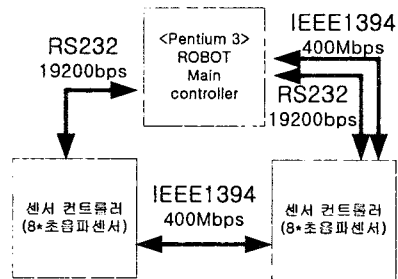


그림 7. 전체 시스템 구성

2.3 시스템 구성

초음파 센서 시스템은 그림 7과 같이 로봇의 메인 컨트롤러에 2가지 통신 방식(RS-232, IEEE1394)을 사용하였다. IEEE 1394 통신 방식은 루프를 형성하지 않으면 각각의 노드끼리 400[Mbps] 속도로 통신을 할 수 있다.

2.4 실험

이전 논문에서는 RS-232방식을 사용하여 센서의 데이터를 취합하던 방식을 본 논문에서는 IEEE1394를 이용하여 주제어기와 센서보드 사이의 통신을 구축하였다. 주제어기의 개발환경은 Linux 7.3에서 이루어졌으며 센서보드에 명령을 전달하고 일정주기로 센서의 데이터를 취합하여 사용자에게 정보를 전달하는 역할을 담당하고 있다.

본 연구실에서 개발한 센서보드에서는 70[ms]주기로 4개의 적외선 센서, 8개의 초음파센서, 2개의 인체 감지 센서가 구동되도록 구성되어 있다. 센서보드의 최소 검색 주기는 초음파가 발사된 후 측정거리 이상을 벗어나 측정불가로 인식되는데 걸리는 시간 및 다음 구동을 위한 여유시간을 계산하였을 때 총 36[ms]의 시간이 걸리게 되어있다. 하지만 본 실험에서는 센서의 간섭현상을 줄이기 위하여 8개의 초음파 센서를 인접하지 않은 4개의 센서를 쌍으로 하여 2회 구동하였기 때문에 약 70[ms]의 주기로 검색할 수 있도록 되어 있다.

IEEE1394통신을 이용한 데이터 전송의 효율성을 측정하기 위하여 주제어기로부터 연속적으로 센서데이터의 전송을 요청하였을 시 총 142Byte의 데이터를 전송하는 데에는 최소 12[ms]의 시간이 소요되었으나 총 1회의 상태전송 명령의 주기는 120[ms]가 소요됨을 측정할 수 있었다. 이는 주제어기의 Linux환경에서의 프로세스 속도가 100[ms]이상의 속도로 센서보드에 명령을 전달하지 못하였고, 이는 Linux Kernel의 환경에 의하여 향후 극복되어질 수 있을 것으로 보인다. 또한 이전 논문에서 보여준 GUI환경 또한 RS232방식의 환경에서 IEEE1394방식으로 개발 중에 있으며, 새롭게 개발되는 GUI환경에서는 난반사 효과를 고려한 새로운 지도 생성 알고리즘을 선보일 것이다.

2.4.1 벽 인식

다음 표1은 벽 인식에 관한 실험이다. D_{exp1}은 S4를 중심으로 S2, S3, S5, S6값의 분포를 통하여 벽이 인식되었음을 알 수 있다. D_{exp2}는 센서를 회전시켜 측정한 결과 값이며 이 실험에서는 S3, S4, S5, S6의 분포를 통해서 평면임을 알 수 있으며 나머지 높은 수치의 데이터는 센서의 원형배치에 의하여 불가피하게 센서범위를 벗어난 값을 알 수 있다.

표 1. 벽 인식에 관한 실험

Sensor	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
D _{exp1}	211	63	65	55	57	59	266	266
D _{exp2}	220	179	61	55	56	60	266	266

2.4.2 코너 인식

다음 표2는 코너인식에 관한 실험이다. 본문에서 소개하였듯이 S1, S2, S3를 비교하였을 시, S2를 중심으로 S1, S3를 식(3),(4),(5)를 이용하여 계산하였을 때 오차 범위안에 들어감을 볼 수 있으며 이를 통하여 S2를 기준으로 평면임을 알 수 있다. 마찬가지로 방법으로 S6을 기준으로 평면임을 알 수 있으며, 이 데이터를 통하여 평면이 2개 겹쳐져 있는 코너임을 알 수 있다.

표 2. 코너 인식에 관한 실험

Sensor	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
D _{exp1}	40	38	39	63	40	38	40	120
D _{exp2}	38	37	41	44	38	38	42	70
D _{exp3}	40	38	40	63	40	38	40	121

D_{exp2}는 S4, S5의 값이 불확실하여 2개의 평면임은 인식되었으나 코너가 인식되지 않아 1개의 평면인지 2개의 평면인지 구분할 수 없는 부적당한 데이터이다. 이때 11.25° 회전하여 측정한 D_{exp3}에서는 D_{exp1}과 같은 유사한 데이터 값을 얻을 수 있음으로 하여 S4에 코너가 위치함을 알 수 있으며 이를 통하여 전체적인 코너의 모양을 형상화 할 수 있다.

2.4.3 모서리 인식(rotating and fixed)

다음 표3은 모서리 인식에 관한 실험이다. D_{exp1}은 S2를 중심으로 모서리의 인식에 성공하였으나 D_{exp2}에서는 난반사에 의하여 S2에 오류 값이 측정된 데이터이다. D_{exp2}에 의한 데이터 상으로는 S1, S2, S3 센서의 정면에 벽이 위치하고 있는 모습으로 형상화될 수 있으나 센서를 회전시킨 후 측정된 D_{exp1}을 통하여 모서리임을 인식할 수 있다. 모서리의 특성상 가장 인식하기 어려운 형태이며 이는 로봇의 주행 및 다량의 데이터 분석에 의하여 인식될 수 있을 것으로 보인다.

표 3. 모서리 인식에 관한 실험

Sensor	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
D _{exp1}	199	34	231	266	266	266	266	266
D _{exp2}	188	186	188	266	266	266	266	266

3. 결 론

본 논문은 본 연구실에서 개발된 센서보드를 이용한 물체인식 및 위치추정에 관한 연구이다. 현재 총8개의 센서를 이용하여 회전 측정하였을 때 16개의 센서를 로봇의 전방에 배치한 효과를 얻을 수 있으며, IEEE1394 통신을 이용하여 로봇의 감각기관 역할을 수행하는 센서의 데이터통신을 고속으로 전송할 수 있게 됨으로써 좀 더 빠른 로봇의 주행속도를 보장하여 줄 수 있을 것으로 예상된다. 또한 난반사효과의 고려 및 IEEE1394를 이용한 다량의 센서 데이터 수집을 통하여 조금 더 실물에 가까운 지도 생성 및 위치추정을 GUI를 통하여 선보일 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kai-Tai Song, Wen-Hui Tang "Environment Recognition for a Mobile Robot Using Double Ultrasonic Sensors and a CCD Camera" 1994 IEEE International Conference on MFI, pp. 715 722, 1994.
- [2] Zhao Feng-ji, Guo Hai-jiao and Ken-ichi Abe, "A Mobile Robot Localization Using Ultrasonic Sensors in Indoor Environment" Proceedings 6th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp. 52 57, 1997.
- [3] Zhao Feng-ji, Guo Hai-jiao and Ken-ichi Abe, " Mobile Robot Localization Using Two Sonar Sensors and one Natural landmark" Proceedings of the 37th SICE Annual Conference, International Session Papers, pp. 893 898, 1998.
- [4] Ming Yang , S.L. Hill, and J.O. Gray "Localization of Plane Reflectors Using a Wide-Beamwidth Ultrasound Transducer Arrangement"1997 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol.46, pp. 711716, June 1997.
- [5] Youngjoon Han, Hernsoo Hahn "Localization and Classification of Target Surfaces Using Two Pairs of Ultrasonic Sensors" Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.1, pp. 637 643, 1999.
- [6] Hyoung Jo Jean and Byung Kook Kim "A Study on World Map Building for Mobile Robots with Tri-Aural Ultrasonic Sensor System" Proceedings 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.3, pp.2907-2912
- [7] J.J.Leonard and H.F.Durrant Whyte. " Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation" Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [8] Olivier AYCARD, Pierre LAROCHE & Francois CHARPILLET " Mobile Robot Localization in Dynamic Environments using Places Recognition" Proceedings 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.4, pp. 3135 3140, 1998.
- [9] Young Jin Lee, Myung Jin Chung and Byoung Wook Choi "Simultaneous localization and map Building of a mobile robot in consideration of uncertainty" Proceeding 2002 KIEE Conference, Vol.4, pp. 2418-2420, 2002