

초음파 어레이를 이용한 이동 로봇의 장애물 회피에 관한 연구

김 병 남, 지 용 근, 권 오 상, 이 응 혁
건양대학교 정보전자공학부
전화 : (0461) 730-5186 / 팩스 : (0461) 734-1977

A Study on Obstacles Avoidance for Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor Array

Byung-Nam Kim, Yong-Keun Ji, Oh-Sang Kwon, Eung-Hyuk Lee
School of Information and Electronics Engineering, Konyang University
E-mail : bnkim@kytis.konyang.ac.kr

Abstract

For mobile robot, the navigation effectiveness can be improved by providing autonomy, but this autonomy requires the mobile robot to detect unknown obstacles and avoid collisions while moving it toward the target. This paper presents an effective method for autonomous navigation of the mobile robot in structured environments. This method uses ultrasonic sensor array to detect obstacles and utilizes force relationship between the obstacles and the target for avoiding collisions. Accuracy of sensory data produced by ultrasonic sensors is improved by employing error eliminating rapid ultrasonic firing (EERUF) technique. Navigation algorithm controlling both the velocity and steering simultaneously is developed, implemented to the mobile robot and tested on the floor filled with the cluttered obstacles. It is verified that from the results of the field tests the mobile robot can move at a maximum speed of 0.66 m/sec without any collisions.

I. 서론

이동 로봇이 자율주행을 하기 위해서는 주변 환경에 대한 정보를 습득하여 인식된 주변환경을 기초로 경로 계획을 생성하여야 한다. 이동 로봇의 경로생성방식은 크게 전체경로계획(global path planning)과 국부경로 계획(local path planning)으로 나뉘어진다. 전체경로계획은 작업 환경 내에서 로봇이 주어진 목표점을 향하여 최적의 경로를 찾아내는 것이며 이미 알려진 구조적인 환경(structured environment)에 대해서 수행되고, 국부경로계획은 이동 로봇이 주행 중에 장애물의 변화에 적응하여 경로를 계획하는 것으로서 대체로 미지의 환경에 대해 수행된다.

자율주행을 위한 이동 로봇의 가장 중요한 기능은 적절한 경로계획을 수립하여 최적의 경로를 선택하여 목적지까지 빠르게 이동할 수 있어야 한다. 자율주행 이동 로봇에서 최적 경로계획을 생성하기 위해서는 로봇이 이동하면서 장애물과의 충돌회피가 효율적으로 수행되어야 한다. 이동 로봇이 주행 중에 장애물과 충돌을 회피하기 위해서는 주변환경 인식용 센서를 사용하여 장애물의 배치를 확인하고 이를 토대로 주행경로 계획을 작성하여 주행하여야 한다. 이동 로봇의 환경 인식용 센서로는 CCD 카메라와 초음파 센서가 일반적으로 많이 사용되고 있으나 이들은 서로가 특성상의 장단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 측정시간이 다른 센서에 비해 긴 편이나 처리시간이 빠르고 시스템 구현이 간단한 초음파 센서를 사용하였다. 이동 로봇이 미지의 환경에서 주행하기 위해서는 초음파 센서의 지

향성으로 인해서 센서 어레이 형태의 부착이 불가피하다. 센서 어레이 형태의 구조를 사용할 경우 초음파 센서의 고유 문제인 지향성, 물체로부터의 산란과 더불어 인접한 센서 상호간의 간섭으로 인하여 신호 분석^{[1],[2],[3]} 과정을 거쳐야 한다.

초음파 센서를 사용한 이동 로봇 주행 알고리즘의 대표적인 예로 Borenstein과 Koren은 힘 필드를 사용하여 장애물은 로봇을 밀어내는 힘이 있으며 목표점은 로봇을 끌어당기는 가상적인 힘을 적용하여 모델링하는 VFF(Virtual Force Field)와, VFH(Vector Field Histogram) 방법을 제안하였다.^{[4]-[6]} 이 방법들은 초음파 센서의 고유 문제인 지향성, 물체로부터의 산란과 센서의 부정확성을 개선하기 위해 장애물 존재 유무에 대한 확률적인 개념을 도입하여 부정확한 센서의 영향을 개선하였다.

본 논문의 주행 실험에 사용되는 이동 로봇은 장애물 인식용으로 폴라로이드사의 초음파 센서 24개를 어레이 형태로 탑재하였으며 이동부에는 TRC사의 Labmate^[6]로 구성하였다. 이동 로봇이 건물 내부로 제한된 공간에서 출발점에서 목표지점까지 주행하면서 장애물 충돌 회피를 위해서 VFF 알고리즘을 사용하였으며 돌발 장애물에 대한 충돌회피를 위하여 국부경로 계획을 병행하여 구현하였다. 알고리즘에서 필요로 하는 관련 계수의 결정을 위해 시뮬레이션을 거쳐서 결정된 파라메타를 실제 주행 실험에 적용하여 그 타당성을 입증하였다.

II. 다중 초음파 센서를 사용한 장애물 검출

2-1. 초음파 센서를 이용한 거리 계측의 원리

초음파 센서를 사용하여 거리를 계측하기 위해서는 일반적으로 TOF(time of flight) 방법을 사용한다. TOF 방법은 초음파 센서를 이용하여 초음파를 송신하고, 송신된 초음파가 물체를 만나서 반사되는 반사파를 수신하여 이 송신과 수신 사이의 시간차를 이용하여 거리를 계산한다. 즉, 초음파가 송신되어 물체에 의해 반사된 것을 수신하였을 때, 거리 Z_0 는 식 (1)과 같이 구해진다.

$$Z_0 = C \frac{t_0}{2} \quad (1)$$

여기서 C 는 음속(343 m/sec) 이고, t_0 는 TOF이다.

2-2. 센서 어레이를 사용한 거리 계측의 원리

초음파 센서를 이동 로봇의 주행에 필요한 환경 인식용 센서로 사용하기 위해서는 이동 로봇 주위 영역들을 완전히 감지할 수 있도록 초음파 센서가 모든 방향으로 장착되어야 하며 이때 센서의 지향각이 고려되

어야 한다. 본 시스템에서 사용한 초음파 센서로는 폴라로이드사의 600계열로서, 센서의 지향각은 15° 이므로 모든 방향의 장애물을 검출하기 위해서는 센서 사이의 각도 차이를 15° 로 설정하여 24개의 센서를 그룹 1과 같이 배열하여야 한다^[10].

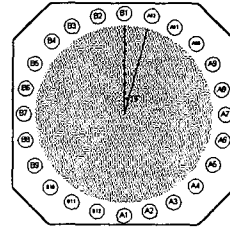


그림 1. 초음파 센서의 배치

그림 1과 같은 구조로 배열된 센서들에서 12개를 하나의 그룹으로 묶어 A와 B 2개 그룹을 대각선상에 위치하도록 하고, 각 그룹에 대해 하나의 초음파 구동 모듈만을 사용하였으며 센서의 검색 시간을 단축하기 위해서 각 그룹에서 1개씩 동시에 두 개의 센서를 구동하도록 설계하였다. 따라서 한 개의 모듈로 한 개의 센서를 구동하던 기존의 방식과는 달리 초음파 센서 구동 모듈당 12개의 센서를 구동하기 때문에 공간적으로나 비용적으로 비효율적인 문제점을 개선했다.

III. 이동 로봇의 주행 알고리즘

3-1. VFF 알고리즘^[7]

VFF 알고리즘의 기본 개념은 이동 로봇이 미지의 환경을 주행할 경우에 이동 로봇과 장애물 사이에는 척력이 작용하고, 이동 로봇이 주행하여야 하는 목표점과는 인력이 작용한다는 것이다. 그림 2에 VFF 알고리즘의 전반적인 개념을 설명하고 있다.

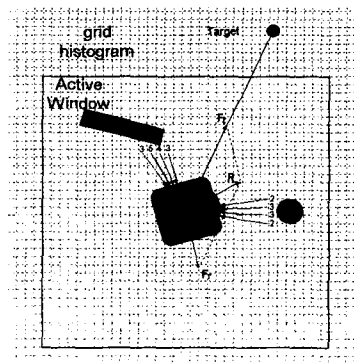


그림 2. VFF(Virtual Force Field)의 개념

3-2. 유연성을 고려한 이동 로봇의 회전 주행

VFF 알고리즘을 사용한 주행은 물체가 미는 힘과 목표점이 당기는 힘의 합성된 방향으로 전진하게 되는데 이 방법은 전방향 구동(omni-directional) 로봇에서는 매우 효과적인 적용이 가능하지만 Labmate와 같은 차륜형 이동 로봇에서는 원호의 궤적을 따라 이동하므로 실제 진행 방향(θ')은 계획된 진행 방향(θ)의 2배가 된다. 따라서 로봇의 회전각도가 크면 클수록 주행각도의 오차 θ_{em} 도 커지므로 로봇이 진동을 일으키기 쉽다. 따라서 본 연구에서는 그림 3과 같이 회전반경을 2배로 설정하여 회전 주行的 유연성을 살리면서 효율적인 충돌 회피를 가능하게 했다.

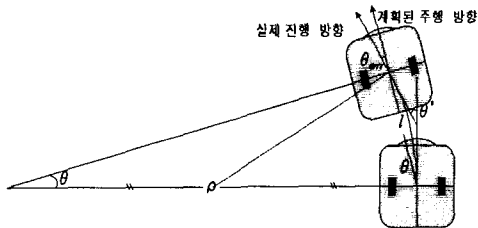


그림 3. 유연성을 고려한 회전반경

IV. 실험 시스템 구성

본 연구의 평가를 위해 제작된 이동 로봇의 외관을 그림 4에 나타내었다.

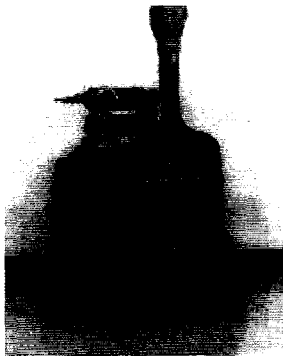


그림 4. 다중 초음파 센서를 탑재한 이동 로봇 외관 사진

이동 로봇에는 주행 경로상에 존재하는 장애물 인식용으로 초음파 센서 24개가 설치되어 있다. 기존의 초음파 신호 처리는 각 센서에 초음파 구동 회로로 구성되어 있었으나 2절에서 설명한 대로 12개의 센서를 하나의 초음파 구동 회로로 구동하기 위하여 본 연구에서는 그림 5에

나타낸 다채널 초음파 센서 구동 방법을 제안하였다. 다채널 초음파 센서 구동 모듈은 기존의 방법에 비해 간단한 회로를 추가하여 2개의 초음파 모듈만을 사용하여 24개의 초음파 센서를 구동할 수 있다.

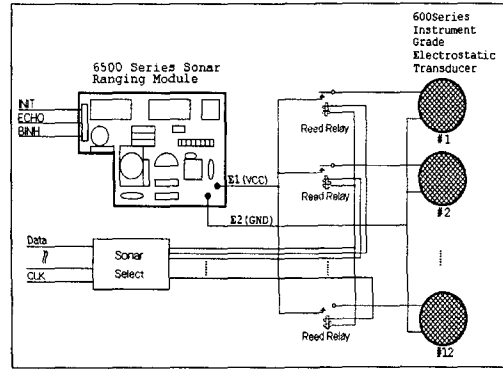


그림 5. 다채널 초음파센서 구동 방법

V. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 초음파 센서의 검색 시간을 단축하기 위해서 24개의 센서를 A, B 두 그룹으로 나누어 각 그룹에 1개씩 동시에 두 개의 센서를 구동하도록 설계하였다. 동일 보드상에서 여러 개의 센서를 구동하는 방식을 채택해서 한 개의 모듈로 한 개의 센서만을 구동하던 기존 방식에 비해 경제성과 공간 이용 측면에서 효율성을 향상하였으나 다중경로 발생이 증가하였다. 이러한 다중경로를 제거하기 그림 6과 같은 장애물을 설치하고 센서의 구동 순서를 조절하면서 실험한 결과 센서 4개 차이로 구동할 때 인접한 센서 간섭의 영향을 최대한 배제할 수 있다.

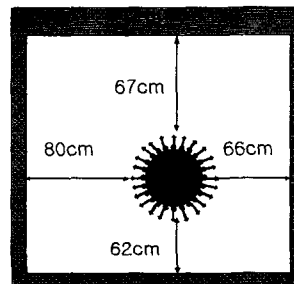


그림 6. 다중경로 실험 환경

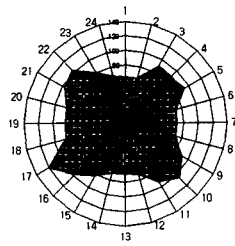


그림 7. 4개 간격으로 구동

본 연구에서는 이동 로봇의 주행에 앞서 시뮬레이션을 적용하여 알고리즘에 필요한 관련 계수의 값들을 설정하였으며 시뮬레이션 환경과 동일한 환경을 구성하여 주행한 결과 그림 8과 빠른 속도에서 안정된 주행을 할 수 있었다.

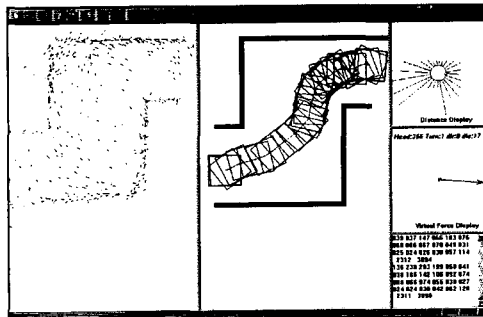


그림 8. 실제 이동 로봇 주행 경로

VI. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 이동 로봇 주위에 24개의 초음파 센서를 어레이 형태로 초음파 센서를 부착하여 실시간에 주변 장애물을 인식하여 VFF 알고리즘을 이동 로봇의 주행에 적용하여 주행 성능을 고찰하였다.

본 연구에서는 초음파센서 구동 회로를 새롭게 설계하여 고가의 초음파 구동 모듈 수를 줄임으로써 비용 절감의 효과와 다양한 환경 하에서 초음파 센서 실험을 통해서 센서의 구동 간격을 조정하여 다중경로를 제거함으로써 초음파 센서 데이터의 정도를 20 ~ 30% 향상 시켰다. 그리고 인력과 척력의 가상 힘 방식을 적용하여 주행한 결과 장애물 앞에서 멈추지 않고 연속적인 조향이 이루어지며 0.66m/sec로 빠르게 주행할 수 있었다.

이동 로봇이 장애물을 회피하여 현재보다 더 빠른 속도에서 주행하려면 현재 24개의 센서를 읽는데 최소 200ms 이상이 소요되는데 150ms이하로 낮추어야 한

다. 현재 이 문제에 대한 실험이 진행중이며 향후 개선된 환경에서는 현재보다 빠른 속도로 안정된 주행이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] 이용혁, "재활보조용 이동 로봇의 주행 기법에 관한 연구", 인하대학교 박사학위 청구 논문, 1997. 2
- [2] 권오상, "로봇 팔이 부착된 재활보조 시스템의 구현과 제어기법에 관한 연구", 인하대학교 박사학위 청구 논문, 1999.2
- [3] Johann Borenstein, Y. Koren, "Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing for Mobile Robot Obstacle Avoidance," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.11, No.1, pp 132-138, 1995.
- [4] Johann Borenstein, Yorem Korem, "The Vector Field Histogram Fast Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, pp. 278-288, 1991
- [5] Y. Koren, J. Borenstein, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation," Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation Sacramento, California, pp. 1398-1404, 1991
- [6] Johann Borenstein, Yorem Korem, "Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol.7, No.4, pp. 535-539, 1991
- [7] Johann Borenstein, Y. Koren, "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robot," IEEE Trans. on System, Man, And Cybernetics, Vol.19, No.5, pp 1179-1187 SEP/OCT., 1989.
- [8] Johann Borenstein, D. Wehe, C. Feng, Y. Koren, "Mobile Robot Navigation in Narrow Aislies with Ultrasonic Sensor," Proceeding of the ANS 6th Topical Meeting on Robotics and Remote System, Monterey, California, 1995.
- [9] TRC(Transition Research Corporation), LABMATE User Manual, Ver 5.21L-f
- [10] POLAROID Corp, Ultrasonic Components Group, 119 Windsor Street, Cambridge, MA.1995, pp. 1370-1378