

초음파 센서를 이용한 자율 이동 로봇의 지도 작성

이 승 철, 홍 창 호, 추 형 진
 중앙대학교 전기공학과

A Map Generation For Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor

S. C. Lee, C. H. Hong, H. J. Choo
 Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang University

Abstract - 본 논문에서는 CREEP 알고리즘을 사용한 자율 이동 로봇의 경로계획과 이를 바탕으로 한 실제 하드웨어 구현에 관하여 다루었다. 로봇이 알지 못하는 지역을 진행하게 될 때 주변의 위치를 파악하기 위해서는 센서를 필요로 하는데 여기에는 초음파 센서를 사용하였다. 초음파 센서는 주변에 장애물과 로봇사이의 거리를 알아내는데 사용할 수 있다. 또한 다른 종류의 센서들보다 간단히 설치하여 사용할 수 있다. 초음파 센서는 장애물의 형태와 표면상태에 따라서 또는 장애물과 센서와의 거리와 각도에 따른 오차가 생기는 데 이를 보정하고 이 값을 이용하여 로봇의 운행을 위한 지도를 작성하였다. 작성된 지도에 의해서 컴퓨터에서 경로를 결정하여 로봇에 전달함으로써 실제 로봇이 목표를 향해 진행하게 하였다.

1. 서 론

CREEP(Concentric Ripple Edge Evaluation and Progression) 알고리즘[1]은 cell decomposition 방법에 기초한다. cell decomposition 방법은 Cell이라는 미리 정의된 모양으로서 영역을 표현하는 방법이다. CREEP 알고리즘에서는 각각의 셀들은 로봇이 지나갈 수 있는 경로 셀들과 장애물 셀들로 나뉘게 된다. 그리고 각 셀의 모양은 정 사각형으로 하고 각 셀의 크기는 적어도 로봇이 통과할 수 있도록 하기 위해서 로봇과 같게 하였다. 목표로부터 가상의 웨이브가 전파된다고 할 때 이 웨이브는 로봇이 지나갈 수 있는 셀들을 지나가게 된다. 만약 이 웨이브가 로봇이 있는 곳까지 도달하게 된다면 로봇으로부터 목표까지의 경로가 존재하는 것이다. 웨이브는 지나면서 크기가 점점 감소하게 된다. 그러므로 로봇은 들어오는 웨이브들 중에서 가장 강한 웨이브를 따라서 가면서 최단 경로 목표점을 찾아가게 된다.

또한 로봇이 진행하는데 장애물의 위치를 알거나 충돌을 피하기 위해서는 주변 환경을 아는 것이 필수적이다. 이를 위해서 여러 가지 센서가 사용될 수 있는데 본 논문에서는 초음파 센서를 사용할 경우의 경로계획을 위한 지도작성에 대하여 논하기로 한다.

2. 본 론

2.1 CREEP 알고리즘

로봇은 정사각형의 셀(cell)들로 구성된 2차원의 평면을 운행하게 되고, 일정한 거리안의 장애물을 탐지(sensing)할 수 있다고 가정한다.

셀들로 구성된 2차원 평면공간상에서 i 번째 행과 j 번째 열에 있는 셀을 $c(i, j)$ 로 표시한다. 하나의 셀은 두 종류로 구분되는 8개의 이웃 셀을 갖는다. 임의의 셀 $c(i, j)$ 와 면을 접하며 이웃해 있는 4개의 셀을 면 이웃 셀(side adjacent cells), $A^s(i, j)$ 로 정의하고, $c(i, j)$ 와 점에 의해 이웃해 있는 4개의 셀을 점 이웃 셀(point adjacent cells)이라 정의하고 $A^p(i, j)$ 로 표시한다. 예를

들면, 임의의 셀 $c(i, j)$ 를 중심으로 보았을 때,

$$\begin{aligned} A^s(i, j) &= \{c(i, j-1), c(i-1, j), c(i, j+1), c(i+1, j)\} \\ A^p(i, j) &= \{c(i-1, j-1), c(i-1, j+1), c(i+1, j-1), \\ &\quad c(i+1, j+1)\}, \quad (1) \\ A(i, j) &= A^s(i, j) + A^p(i, j) \end{aligned}$$

이다. 여기에서 $A(i, j)$ 는 $c(i, j)$ 의 모든 이웃하는 셀들의 집합이다.

2.1.1 가상 웨이브 (Virtual Wave)의 발생 및 전파

먼저 목표점(goal point)인 c_g 에 웨이브 세기(wave strength; WS) 초기값 w_g 를 부여하면 가상의 웨이브가 목표점에서 발생하여 장애물 셀을 제외한 이웃 셀들에게 값을 부여하면서 동심 구 모양으로 영역전체로 퍼져나간다. 임의의 셀 $c(i, j)$ 에서 이웃 셀로 웨이브가 퍼져나갈 때, WS 값은 $A^s(i, j)$ 에 속한 셀에는 거리 값인 1이, $A^p(i, j)$ 에는 $\sqrt{2}$ 이 감소되면서 전파된다. 웨이브는 장애물에 부딪힐 때마다 갈라져서 그 장애물을 돌아가서 퍼져나간다. 만약 목표로부터 로봇까지의 경로가 존재하게 된다면 적어도 하나의 웨이브가 로봇에게 도착하게 될 것이다.

2.1.2 간접적으로 장애물에 의해 막혀있는 셀 (indirectly obstructed cell)

임의의 셀 $c(i, j)$ 는 그 주위의 8개의 셀들 중에서 이미 WS 값을 갖고 있는 셀로부터 WS 값을 받을 수 있다. 그러나 면으로 접해있는 셀이 장애물일 경우 그 주변에 있는 점 이웃 셀로부터는 직접적으로 웨이브를 받을 수 없고 웨이브가 우회해서 들어오게 된다. 이러한 셀들을 간접적으로 장애물에 의해 막혀있는 셀(indirectly obstructed cell)이라고 한다. 이 셀들은 보통의 점 이웃 셀들과 같이 웨이브 세기 값을 받을 수 없다. 예를 들어, 임의의 셀 $c(i, j)$ 가 이웃 셀들로부터 WS 값을 받으려고 할 때 $c(i, j+1)$ 가 장애물 셀이라면,

$$A^s(i, j) = \{c(i-1, j+1), c(i+1, j+1)\} \quad (2)$$

이 된다. 여기서 $A^s(i, j)$ 는 간접적으로 장애물에 의해 막힌 셀들의 집합이다.

2.1.3 웨이브 세기 값(Wave Strength Value)의 위에서 살펴본 것과 같이 주어진 임의의 셀 $c(i, j)$ ($c(i, j) \neq c_g, c(i, j) \notin W$)의 WS 값 $w(i, j)$ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$w(i, j) = \max [((w(l, m) - 1) \forall c(l, m) \in A^s(i, j)), ((w(l, m) - \sqrt{2}) \forall c(l, m) \in A^p(i, j) - A^s(i, j))] \quad (3)$$

과 같이 계산된다. 여기에서 W 는 이미 WS 값을 받은

셀들의 집합이고, $c(i, j)$ 에 $w(i, j)$ 를 주는 $c(l, m)$ 은 $c(i, j)$ 의 부모 셀(parent cell)이라 하며 $p(i, j)$ 로 표시한다.

41.59 (8)	42.59 (7)	43.59 (6)	44.59 (5)	45.59 (4)	46.59 (3)	47.59 (2)	48.59 (1)	49 (1)	48.59 (1)
41.18 (8)	42.18 (7)	43.18 (6)	44.18 (5)	45.18 (4)	46.59 (3)		48 (1)		49 (1)
40.77 (9)	41.8 (8)					47 (3)	48 (2)		
39.77 (10)	40.8 (9)	39.18 (10)	38.18 (11)		34.77 (15)		47 (3)	48 (4)	
	39.18 (10)	38.77 (11)	37.77 (12)	36.77 (13)	35.77 (14)		46 (4)	45.59 (4)	44.59 (5)
37.18 (12)	36.18 (13)	37.77 (12)	37.36 (12)	36.36 (13)	35.36 (14)		45 (5)	44.59 (5)	43.19 (6)
36.18 (13)		36.77 (13)	36.36 (13)	35.36 (14)	34.95 (15)		44 (6)	43.59 (6)	43.19 (6)
35.18 (14)	34.18 (15)								
34.18 (15)	33.77 (16)	32.77 (17)	31.77 (18)	30.77 (19)	29.77 (20)	28.77 (21)	27.77 (22)	26.77 (23)	25.77 (24)
34.18 (16)	32.77 (17)		30.77 (19)	30.36 (19)	29.36 (20)	28.36 (21)	27.36 (22)	26.36 (23)	25.36 (24)

그림 1. CREEP 알고리즘을 적용한 경로 계획

[그림 1]은 기발표[1]된 알고리즘을 적용한 경로 계획지도이다. 본 논문에서는 경로계획을 위한 실제 지도 작성에 초점을 두었다.

2.2 초음파 센서를 이용한 지도작성

초음파 센서는 가청 주파수(20Hz~20KHz) 보다 높은 주파수대를 사용하여 초음파의 직진성과 반사성 및 소리의 속도를 이용하여 거리를 측정한다. 또한 초음파 센서는 다른 센서에 비해 가격이 저렴하고 그 주변회로가 간단하기 때문에 여러 로봇들이 적용하였다. 그러나, 반사성의 경우 거리를 측정하고자 하는 물체의 표면 상태나 물체와 초음파 센서와의 각도에 따라 측정오차가 발생하게 된다.

본 논문에서는 CREEP 알고리즘의 적용을 위한 초음파 센서를 사용한 지도 작성법에 대해서 고찰하였고 하드웨어의 실제 사용을 통하여 그 가능성에 대해서 검증하였다.

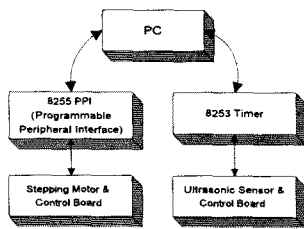


그림 2. 초음파 센서 전체 구성도

2.2.1 시스템 구성

본 연구에 사용된 센서는 그림 Murada사의 40KHz 초음파 센서이다[그림4]. 이는 송수신부가 분리되어 있어, 송수신부를 적절히 배치 할 수 있으며, 반사형으로 사용하기 전에 대향형으로 테스트 할 수 있어 초음파 센서의 특징을 파악하는데 유리하다. 테스트 환경은 486 PC와 8255PPI (Programmable Peripheral Interface), 2상구동시 0.9도의 최소 회전각을 가지는 스텝 모터를 사용하여 제어하였다[그림1]. 스텝 모터를 사용하여 360도 회전시킴으로서 지도를 작성하였다. 이러한 지도 작성법은 여러개의 초음파 센서를 사용하는 방법보다 센서의 수를 줄여 주변회로를 단순히 만들 수 있으며, 장애물이 발견되었을시 그 부분만을 스텝 모터의 최소 회전각도 만큼 더 자세히 반복하여 측정할수 있어 더 자세한 지도작성이 용이하다.

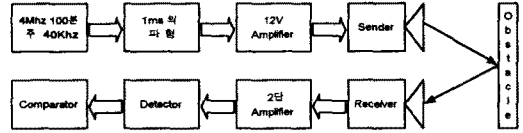


그림 3. 초음파 센서 내부 구성도

2.2.2 초음파 센서 내부 구성

40KHz를 만들기 위해서 4Mhz의 오실레이터를 출력력을 74HC390으로 100분주하여 얻은후 PC에서 들어오는 입력을 74HC123B를 통하여 one shot multivibrator를 사용하여 1ms의 크기를 가지는 파형을 얻은후 TR을 통하여 12V로 증폭한후 출력한다. 반사된 파형은 그 크기가 매우 작으므로 RC4558, OP amp를 통해 2단 증폭시킨다. 증폭된후에는 다이오드와 콘덴서에 의해서 검파된후 LM358, comparator에 의해서 Threshold를 수행하여 PC의 8255에 전달하게 된다.[그림3]

초음파 센서의 송신부와 수신부는 근거리 물체의 검출에 적합하도록 4cm 정도 떨어져 있고, 초음파가 송신부에서 수신부로 직접 들어가지 않기 위해서 센서 뒤쪽에 흡음재를 부착하였다. 또한 4cm 정도의 갭을 띄워서 초음파의 지향성을 보완하였다.

거리 측정을 위한 초음파의 속도는

$$v = 331 + 0.6 \times T \quad [m/s]$$

장애물과의 거리는

$$D = (\text{도착시간} - \text{시작시간}) \times \frac{(331 + 0.6T)}{9320 \times 2} \quad [m]$$

8253 Timer 의 기본 인터럽트는 1초의 18.2번 설정이 되어 있어 이 횟수로는 목적하는 범위의 거리 측정이 불가능하므로 1초당 인터럽트 횟수를 9320으로 늘림으로서 거리계산을 행하였다.

실제 대향형으로 초음파센서를 구동하였을 시에는 이상적인 환경에서는 대략 6m 까지 측정이 가능하나 반사형으로 했을 시에는 초음파가 반사될 때의 오차를 고려하여 2m 내외로 측정 거리를 제한하였다.

초음파가 2m 왕복(4m) 하는데 걸리는 시간은 11.76ms 이고 360도 회전하면서 400번을 측정하므로 약 4.7s가 지도작성에 소요된다.

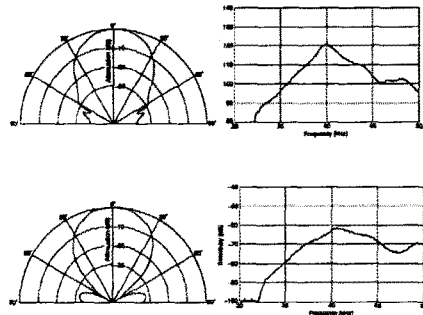


그림 4. 초음파 센서 특성 그래프
송신부(위) 수신부(아래)

3. 결 론

본 논문에서는 CREEP 알고리즘을 사용하여 로봇의 경로를 계획하기 위하여 초음파 센서를 사용하여 실제적인 거리값을 통하여 장애물 지도를 작성하였다.

초음파 센서를 스텝모터로 회전시킴으로써 전방향의 데이터를 얻을 수 있었다. 하나의 초음파 센서를 사용하여 전방향을 스캔하는데, 이는 스캔속도가 4.7s정도 걸리게 됨으로 이를 알고리즘과 결부하여 앞방향으로만 180도 스캔을 하거나, 혹은 송수신부를 추가하는등, 한번에 스캔하는 각도를 증가시켜서 지도 작성 속도를 높일 필요가 있다.

본 논문에서는 로봇이 이동한 후 측정된 거리값은 이동하기전의 그것과 대개 일치함을 알 수 있었고, 모서리 부분에서와 같은 측정오류는 향후에 퍼지이론을 적용할 예정이다.

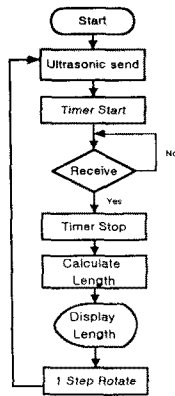


그림 5. 순서도

[그림 6]은 실제 초음파 센서를 0.9도씩 스텝 모터에 400 펄스를 인가하여 360도 시계방향으로 회전한 후 작성한 지도이다. 각 셀의 크기는 4개가 하나의 실제 경로계획에 사용되는 셀이다.

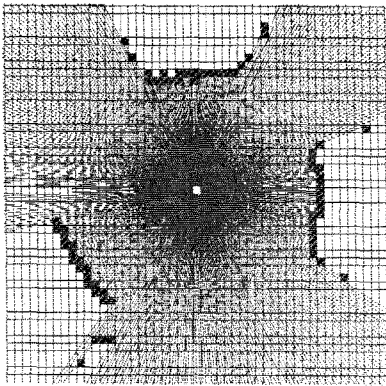


그림 6. 초음파 센서에 의한 지도 작성

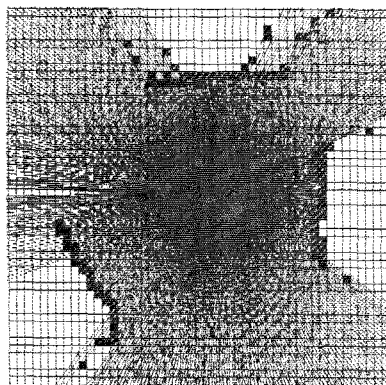


그림 7. 우로 4셀 (20cm) 이동후 지도작성

본 연구는 1998년도 중앙대학교 학술 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 이승철, 양원영, 김용환, "능률적인 3차원 경로계획 알고리즘 개발에 관한 연구," 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 1208-1211, 1996년 7월.
- [2] 이주호, 서삼준, 박귀태, "자율 이동 로봇의 경로계획," 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.866-870, 1995년 7월
- [3] 서남일, 홍현주, 권석근, 이용중, 노영식, "이동 로봇을 위 초음파 센서 기반의 지도 생성에 관한 연구," 대한 전기 학회 하계 학술대회 논문집, pp. 3080-3082, 1999년 7월
- [4] 명기호, 양동훈, 유영동, 홍석교, "초음파 센서를 이용한 이 동 로봇의 지역 최소 회복을 위한 주행 알고리즘," 대한 전기 학회 하계 학술대회 논문집, pp.3086-3088, 1999년 7월
- [5] Brooks, R. A., "Solving the Find-Path Problem b Representation of Free Space," *IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-13, N March/April 1983.
- [6] Chavex, R. and Meystel, A., "Structure of Inte for an Autonomouse Vehicle," *Proceedings of the 1 International Conference on Robotics*, pp. 584-591, 19
- [7] Koren Y. and Borenstein J., "Potential Field Meth Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navig *Proceedings of the 1991 IEEE International Con Robotics and Automation*, Sacramento, California 1398-1404, April 1991.
- [8] Latombe, J., *Robot Motion Planning*, Norwell Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [9] Borgefors, G., "Distance Transformations in Ar Demensions," *Computer Vision, Graphics, and I Processing*, Vol. 27, pp. 321-345, 1984.
- [10] Zhu, D. and Latombe, J.C., "New Heuristic A for Efficiet Hierachical Path Planning," *IEEE Trans on Robotics And Automation*, Vol. 7, No.1, pp.9-2 1991.

위 지도는 실제 경로 계획에 사용될 지도의 4배의 resolution 으로 작성되었다.