

벽면추적 기법을 이용한 청소로봇의 경로계획법

°정광식* 노용준* 임영철* 유영재**
 *전남대학교 전기공학과 **목포대학교 제어시스템공학과

Path-Planning for Cleaning Robot Using a Wall Tracing

*°Kwang-Sik Jung *Yong-Jun No *Young-Cheol Lim **Young-Jae Ryoo
 *Dept.of Electrical Eng. Chonnam National University
 **Dept.of Control System Eng. Mokpo National University

Abstract - 본 논문에서는 청소로봇이 두 점간에 이동할 때 벽면을 안전하게 추적하는 방법과 두 점간의 이동 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 각각의 적외선 센서에 다른 가중치 벡터를 부여하여 장애물이나 벽면에 대한 정보를 이용하게 된다. 청소로봇은 벽면정보를 이용하여 벽면 주회하게 했다. 그리고 두 점점간의 이동알고리즘으로 이동 할 경우에 벽면 추적 방법과 각도 오차 값과 거리의 error값이 오차가 0이 되도록 두 점간의 이동 알고리즘의 수식의 대수적인 합으로 안전하게 벽면을 주행하였다. Visual C++기반에서 시뮬레이션 한 결과 안전하게 벽면을 추적하고 벽면을 따라 주행하는 벽면주행 알고리즘을 제안하였다.

1. 서 론

과거에는 주로 산업현장에 이용되는 이동 로봇에 관한 연구와 수요가 있었지만 최근에는 서비스 로봇과 같은 가정용 이동 로봇에 대한 연구와 수요가 증가하고 있다. 가정용 서비스 로봇 중에서 청소 로봇은 효과적인 청소 작업과 작업한 위치에서 다음 청소 작업이 이루어질 곳으로 안전하게 이동을 할 수 있어야 한다. 따라서 청소 로봇은 효과적인 청소 작업을 수행하고 안전한 주행을 하기 위하여 두 점간의 이동 알고리즘과 장애물 회피 방법이 필요하다.

기존의 두 점간의 이동 알고리즘으로는 셀 분할 법(Cell Decomposition)과 자기장을 이용한 방법(Potential Field)등이 많이 사용되어지고 있다[1]. 이상의 두 점간의 이동 알고리즘들은 청소로봇에 적용시킬 경우 주변 환경이 정확하지 않은 경우나 특히 실내 환경에서는 장애물 위치들이 바뀌는 경우가 많기 때문에 장애물 회피에 적합하지 않다. 또한 청소로봇은 청소할 영역 전체 맵을 기억해야하는 문제와 두 점간의 이동 알고리즘과 장애물에 대한 회피까지 계산하므로 계산이 복잡하고 속도가 느리는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 두 점간의 이동 알고리즘에서 청소로봇이 6개의 적외선 센서만 가지고 안전하게 주행할 수 있는 벽면 추적 방법과 안전하게 다음 청소작업이 이루어질 곳으로 주행 할 수 있는 두 점간의 이동 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 청소 로봇이 다음 청소작업이 이루어질 곳의 위치에 대해서 최단거리 직선으로 주행을 한다. 청소로봇이 벽이나 장애물을 만날 경우에 청소 로봇에 부착된 각각의 6개 적외선 센서입력에 다른 가중치 벡터를 부여하여 양 바퀴의 속도와 로봇의 방향을 조절하여 장애물이나 벽면을 이용하여 안전하게 이동 할 수 있는 청소로봇의 벽면 추적 기법을 제안 하고자 한다.

제안된 벽면 추적 기법은 Visual C++에서 시뮬레이션 틀에 의해 제안된 벽면 추적 기법의 타당성을 입증하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 청소로봇의 벽면 주행이론에 관하여 기술하고 3장은 제안된 벽면 주행이론에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 타당성을 입증한

다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론 및 연구방향을 기술한다.

2. 청소로봇의 벽면추적주행

2.1 청소로봇의 기구학

본 논문에서 제안된 청소로봇은 차륜형(differential wheel type) 구동 방식으로 설계되었다[2].

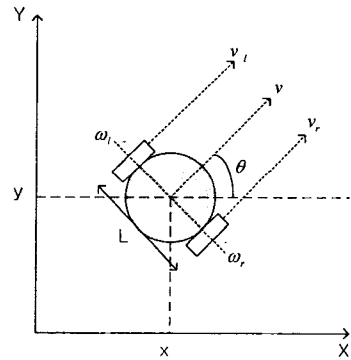


그림 1. 청소로봇의 기구학

차륜형 구동방식은 좌측바퀴와 우측바퀴가 독립적으로 제어되는 방식으로, v_r, v_l 는 오른쪽과 왼쪽 바퀴의 속도, ω_r, ω_l 는 오른쪽과 왼쪽바퀴의 각 속도를 나타내며 로봇의 속도(v)와 각 속도(ω)는 식(1), (2)과 같이 두 바퀴의 차동 속도에 의해 제어된다.

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{L} = R \frac{\omega_r - \omega_l}{L} \quad (1)$$

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} = R \frac{\omega_r + \omega_l}{2} \quad (2)$$

여기서 L 은 양 바퀴 사이의 거리이다.

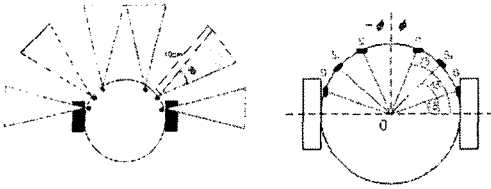
$(x \ y \ \theta)^T$ 와 $(v \ \omega)^T$ 은 다음과 같은 기구학식에 의해 연관 관계를 가진다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (3)을 보면 로봇에서 제어할 수 있는 입력은 2개인데 반해 도달해야 하는 위치 및 각도의 자유도는 3이다. 따라서 현재 청소 로봇의 자세에서 원하는 자세로 이동할 때 비선형적인 조건이 가지고 있기 때문에 바닥과 바퀴의 접촉면에서 바퀴 면에 수직인 방향의 속도성분은 0이라는 non-slipping 조건을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

2.2 센서 모델링

2.2.1 센서의 배치



(a)센서 Range (b)센서 위치 및 방향
그림2. 센서 모델링

Range of infrared sensor = 0.1m
Degrees of infrared sensor = 30°

각 적외선 센서 배치 각은 로봇의 중심으로 15°, 45°, 75°, 90°, 105°, 135° 방향으로 센서를 배치를 했고, {S0, S5} 센서는 벽과 수직으로 배치하였으며 {S1, S4} 센서는 좌우 벽과의 거리를 측정, {S2, S3} 앞 벽과 거리를 측정하는데 이용하였다[3].

2.2.2 센서의 동작 모델



(a)장애물 인식 불가능 (b)장애물 인식 가능

그림3. Sensor 측정 방법

적외선 센서는 광장에 따라서 장애물을 인식하는데 시뮬레이션에서는 적외선 센서 측정 범위 안에 장애물이 들어오면 인식을 하게 했다. 하지만 이 경우는 장애물을 인식하는데 불확실성을 가져올 수 있는 문제점이 발생한다. 그림(a), (b)와 같은 경우 모두다 장애물을 인식하게 된다. 이런 불확실성을 제거하기 위해서 본 논문에서는 적외선 센서의 측정범위 30°에 15° 중심으로 5°도씩 6개의 삼각형으로 나눠 물체가 2개 이하의 삼각형에 걸리는 경우는 인식하지 않고 2개 이상의 삼각형에 장애물이 걸리는 경우에만 장애물을 인식하게 된다. 정확한 센서 동작으로 청소로봇의 벽면추적방법을 시뮬레이션을 하였다.

2.3 벽면과 주행 모델

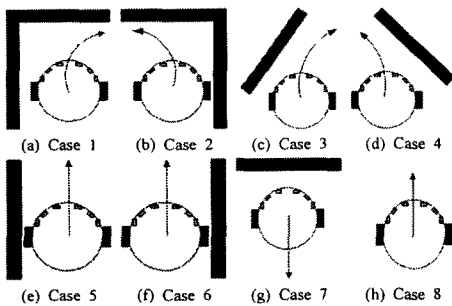


그림.5 벽면 모델에 대한 8가지 주행 패턴

Case1,2경우는 각각의 센서 {S0, S1, S2, S3}와{S2, S3, S4, S5}에 입력이 들어오면 좌에서 우로, 우에서 좌로 청소로봇이 이동 시켜야 한다. Case 3,4 경우는 청소로봇이 주행시 장애물을 만날 경우에 {S1, S2}와{S3, S4}에 입력이 들어오면 각각 장애물에 대해서 회피 시켜야 한다. Case 5,6 경우는 벽면 주행시 {S0, S5}쪽에 입력이 들어오면 각각 벽면에 0.1m이상 거리를 유지하면서 정 속도로 주행 시켜야 한다. Case 7,8 경우에는 청소로봇이 주행시 정면에 벽이나 장애물을 만날 경우에 청소로봇은 후진하여 다음 상태에서 다른 입력 값에 따라 주행하고 Case 8같은 경우는 센서에 입력 값이 들어오지 않기 때문에 VL, VR으로 정속도 운동하게 된다[4].

2.4 벽면 추정 주행 알고리즘

각 센서마다 다른 가중치를 두고 센서의 값에 따라 양쪽바퀴의 회전방향 및 속도를 식(4), (5)에서 결정한다.

$$V_L = S * L^T + V_{SL} \quad (4)$$

$$V_R = S * R^T + V_{SR} \quad (5)$$

$$S = \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\} \quad (6)$$

$$L = \{\omega_0, \omega_1, \omega_2, -\omega_3, -\omega_4, -\omega_5\} \quad (7)$$

$$R = \{-\omega_0, -\omega_1, -\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5\} \quad (8)$$

S는 장애물의 입력센서 벡터 값이다. L와 R는 각 센서에 곱해지는 가중치 벡터이다. V_{SL}, V_{SR}는 센서에 장애물이 발견되지 않았을때 청소로봇의 정속도로 전진하는 역할을 하는 값이다. 이동 로봇의 장애물 회피 알고리즘[5]에 따라 주행시 장애물 회피는 효과적으로 할 수 있지만 벽면 추적 주행에는 어려움이 있다.

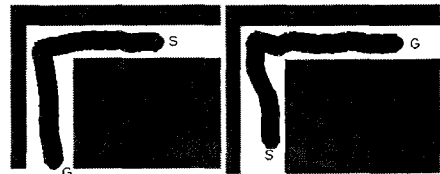


그림 6-1. 장애물 가중치에 따른 주행

그림 6-1은 장애물 가중치를 가지고 벽면 주행시 안정하게 벽면을 주행하지 못하는 경우가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 벽면의 정보를 이용하여 청소로봇이 벽면으로 추적하여 주행하는 알고리즘을 제안했다.

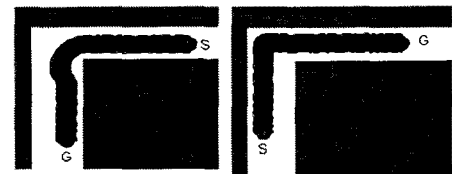


그림 6-2. 벽면용 가중치에 따른 주행 제안한 알고리즘은 오른쪽 바퀴에 입력된 가중치 벡터 값 ω₃, ω₄에 양수 값 대신에 음수 값을 주면서 벽면을 추적해서 주행하도록 했다. 수정한 최적의 가중치 벡터는

$$L = [4, 4, 6, -18, -12, -5] \quad (9)$$

$$R = [-5, -12, -18, -6, -4, 4] \quad (10)$$

벽면주행 가중치로 벽면주행 할 경우에 그림 6-2처럼 청소로봇은 효과적으로 벽면 주행을 하였다.

2.5 두 점간의 이동 알고리즘

청소로봇이 청소작업 수행 후에 다음 청소 작업이 이루어질 지점으로 이동하기 위해서 방향각과 거리오차가 필요로 한다. 다음 청소작업 구역 (X_2, Y_2) 과 현재 청소로봇의 위치 (X_1, Y_1) 와의 측정하여 거리 오차는 d_e 로, 각도 오차는 θ_e 로 나타내어 오차가 0으로 수렴하도록 제어한다.

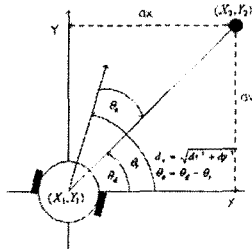


그림 7. 청소로봇의 각도, 거리 제어

여기서 $d_e = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ (dx, dy : X, Y 좌표에서의 목표점과 로봇과의 거리차), $\theta_e = \theta_d - \theta_r$ (θ_d 는 목표점과 로봇의 각도, θ_r 현재 로봇의 방향각)

$$V_{SL} = K_{distance} * d_e - K_{angle} * \theta_e \quad (11)$$

$$V_{SR} = K_{distance} * d_e + K_{angle} * \theta_e \quad (12)$$

$K_{distance}$ 와 K_{angle} 각각 오차 및 각도 오차에 곱해지는 상수 값이다.

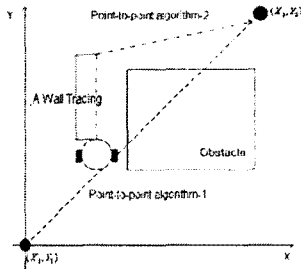


그림 8. 두 점간의 이동의 벽면추적알고리즘

청소로봇이 다음 청소작업 지점으로 주행할 때 청소로봇의 각도오차 값과 거리 error 값이 오차가 0이 되도록 두 점간의 이동알고리즘으로 주행한다. 주행을 하다가 벽면이나 장애물을 만날 경우에는 벽면주행으로 전환하여 벽면을 주행을 하다가 벽면이 끝나는 지점에서는 다시 두 점간의 이동알고리즘으로 주행하게 된다. 두 점간의 이동 알고리즘의 벽면주행의 양쪽바퀴의 속도 값은 대수적인 합으로 구해졌다.

$$V_L = S * L^T + (K_{distance} * d_e - K_{angle} * \theta_e) \quad (13)$$

$$V_R = S * R^T + (K_{distance} * d_e + K_{angle} * \theta_e) \quad (14)$$

표.1 각 센서 입력 값에 따른 두 바퀴의 속도 값

	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	V _L	V _R
1	1	1	1	1	0	0	V _{SL} -4	V _{SR} -44
2	0	0	1	1	1	1	V _{SL} -32	V _{SR} -24
3	1	1	1	0	0	0	V _{SL} +14	V _{SR} -38
4	0	0	0	1	1	1	V _{SL} -38	V _{SR} -6
5	1	0	0	0	0	0	V _{SL} +4	V _{SR} -5
6	0	0	0	0	0	1	V _{SL} -5	V _{SR} +4
7	0	0	1	1	0	0	V _{SL} -12	V _{SR} -24
8	0	0	0	0	0	0	V _{SL}	V _{SR}

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제시한 청소로봇의 두 점간의 이동 알고리즘에 대한 장애물 회피 및 벽면 주행 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 청소로봇의 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 청소로봇의 기구학식 (1)~(3)를 이용했고 센서 모델과 입력에 대한 식은 (4)~(10)를 이용했고 벽면주행을 위한 두 점간의 이동 알고리즘에 대한 식은 (11)~(14)를 이용하여 프로그램으로 작성하였다. 개발 환경은 Visual C++ 에서 시뮬레이션을 했다.

3.1 벽면추적 주행

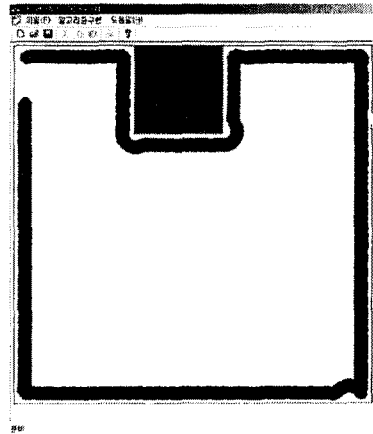


그림 9 장애물과 벽면 주행

3.2 복잡한 환경추적 주행

그림 10처럼 청소로봇은 복잡한 환경에서도 벽면을 주행하였다 하지만 청소로봇이 벽면 주행 시 코너 지점에서 주행 문제가 발생하는 것을 보았다. 이 문제는 벽과 장애물이 만나는 지점에서 벽면 주행과 장애물 회피에 대한 청소로봇의 속도 문제가 발생되기 때문에 위와 같은 상황이 발생하는 것으로 사료된다. 청소로봇의 장애물 아래쪽으로 주행한 후 좌측으로 주행할 경우 회전반경이 생기는 것으로 나타났다. 회전반경이 너무 크면 청소로봇이 벽면주행에서 벽면 추적을 못 할 경우가 발생된다. 따라서 청소로봇의 벽면주행에서 적절한 속도주행이 필요하겠다.

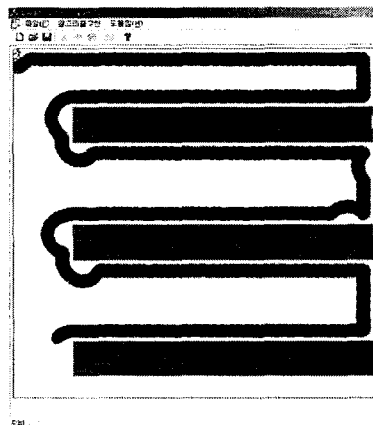


그림 10 복잡한 환경 주행

3.3 두 점간의 이동 알고리즘

청소로봇이 다음 청소구역으로 주행할 때 Star 지점에서 다음 청소구역인 Goal 지점으로 이동할 때 최단거리인 직선주행을 하게 된다. A지점에서 장애물이나 벽면을 만날 경우 속도를 줄이고 A에서 B지점까지는 벽면추적 기법으로 벽면을 주행하게 된다. 벽면이 끝나는 B지점에서 다시 Goal 지점까지 다시 최단거리 직선주행을 하게 된다.

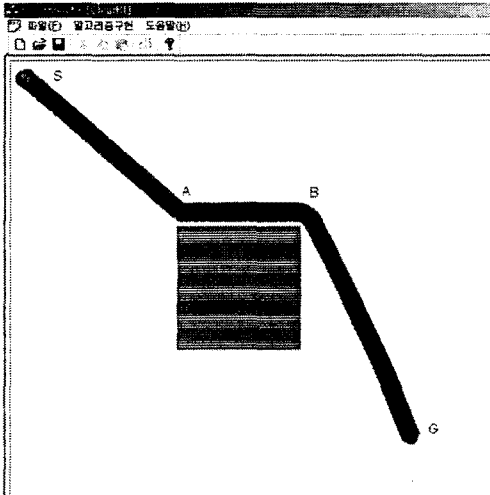


그림.11 두 점간의 이동 알고리즘

4. 결론 및 향후연구방향

본 논문은 두 점간의 이동 알고리즘에서 벽면을 추적하여 벽면을 안전하게 주행하는 방법을 제안했다. 제안한 방법은 입력 센서에서 들어가는 값에 최적의 가중치를 주어 벽면을 추적하도록 했고 청소로봇의 각도 오차값과 거리의 error값이 오차가 0이 되도록 두 점간의 이동알고리즘의 수식과 벽면추적 알고리즘을 대수적인 합으로 양쪽 바퀴의 속도와 angle각을 정해 안전하게 벽면을 주행하였다. Visual C++기반에서 시뮬레이션한 결과 안전하게 벽면을 추적하고 장애물을 만나도 벽면을 안전하게 추적하여 벽면을 따라 주행하였다. 향후 시뮬레이션의 결과를 실험을 통해서 타당성을 입증할 계획이다.

본 연구는 한국과학재단 지정 전남대 고품질전기자부품 및 시스템 연구센터 연구비 지원에 의하여 연구된 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

[1]A.Zelinsky,"A mobile robot exploration algorithm",Robotics and Automation, IEEE Transactions on , vol. 8, pp. 707-717 , Dec. 1992.
 [2]Guy Campion, Geroges Bastin, and Brigitte D'Andrea-Novet "Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile

Robots" IEEE, transaction Robotics and Automation, Vol.12, No.1,pp.47-62,1996.
 [3]Fire'deric Davesne and Claude Borret" A Reactive Navigation Method Based on the Incremental Learning of Tasks sequences"Robot Motion and Control, 1999. RoMoCo '99. Proceedings of the First Workshop on , Vol,8,pp.29 -34 1999.
 [4]Mariorie Skubic, George Chronis. Pascal Matsakis and James Keller"Generationg Linguistic Spatial Description from Sonar Reading Using the Histogram of Forces" Robotics and Automation, 2001.Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on ,vol.1,pp. 485 -490 2001.
 [5]Seo-Kwang Kim and Seong-Gon Kong "Generation of Fuzzy Rules for Swarm Intelligence" Robotics and Automation ICONIP 2001 IEEE International conference on, vol.1,pp. 234-238, November 2000.