

Mapping을 위한 자율이동로봇의 Wall Following 기법

A Wall-Following Method of Mobile Robot for Mapping

이강민*, 임동균**, 김경근*** 서병설****

(Kang-Min Lee, Dong-Kyun Lim, Kyung-Geun Kim, Byung-Suhl Suh)

Abstract - A Effective wall following plays important role for the mapping behaviors which determine the entire memory size and the shape of map before building a map. In case of wall following, attacking those cause by curved wall or obstacles brings a bad stuff that makes ripples on the moving trajectory. These types of ripples come to an end with problems that increase the load of calculation and sensing errors.

In this paper, a new sensing method and its corresponding controller are suggested for problems. It minimizes the occurrence of the trajectory ripples.

Key Words : wall following, PI control, mobile robot, mapping, ripple

1. 서론

위치 정보를 알 수 있도록 하는 field tag의 기술 발전으로 grid형 map 설정이 용이해지고 있다.^[1] 본 논문에서 고려된 mapping 환경은 완전한 grid형 barcode tag를 가지고 있다.

Mapping에 앞서 wall following은 map 저장용 메모리 사이즈를 결정하고, map의 형태를 유추하는 중요한 역할을 수행한다. 이를 위한 주행상의 직선에 가까운 뚜렷한 궤적은 계산상 많은 이점을 가지고 있다.

wall following 시 장애물이나 장애물에 의한 우회는 주행 궤적의 ripple을 유발하게 되고 이러한 ripple은 로봇의 메모리 사용상의 문제 및 이동로봇에 장착된 sensor에 의한 장애물 정보 기록 시에 오차를 유발하거나, 추후의 수치 해석적인 선형화 기법이 적용 될 때 연산상의 부하를 가중시키는 등 여러 악재를 초래하는 주요인으로 작용한다. 이러한 문제들은 벽 추적주행에 대해 효과적인 주행방법과 그에 대한 최적화된 제어를 구성함으로써 ripple 발생 율을 근본적으로 최소화 할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 단일 sensing 방법을 수정하여 다양한 형태의 wall에 대해 주행 궤적의 왜곡을 최소화하고, 장애물을 미리 탐지하여, 대처 할 수 있는 새로운 sensing 방법을 제안하였으며, 이와 더불어 그에 대한 제어방법을 제시하였다.

2. 이동 로봇

2.1. 센서 및 하드웨어 사양

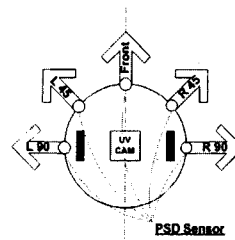


그림 1. 이동 로봇

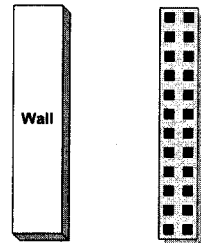


그림 2. Tag

과거에 비해 성능이 향상된, 거리 값을 측정할 수 있는 센서와 영상처리를 위한 CMOS센서의 비용이 저렴해지고, 상용 이동로봇에 장착이 가능해짐에 따라 PSD(Position-Sensitive device) Sensor^[6]와 그림 2와 같이 바닥 장식재 상의 바코드를 영상 처리하여 인식할 수 있는 CMOS Camera(Tag Reader)를 사용한다.

PSD Sensor의 주 역할은 로봇의 방향 설정 및 벽과의 거리를 측정하는 용도로 사용되고, CMOS Camera는 위치정보를 담고 있는 field의 tag정보 습득 및 이동로봇의 오차 발생에 대한 보정수단으로 사용된다.

제안된 제어방법의 구현을 위하여 로봇에는 비교적 충분한 성능을 보유한 TI사의 DSP TMS320F2812가 사용되었고 장착된 DC brush 모터를 구동하기위한 드라이버로는 NS사의 LMD18200T 모델이 사용되었다.

저자 소개

- * 學生會員 : 漢陽大學 電氣工學科 碩士課程
- ** 正會員 : 漢陽Cyber大學 컴퓨터學科 教授
- *** 正會員 : 漢陽Cyber大學 컴퓨터學科 教授
(現 (주)마이크로 로봇트 代表)
- **** 正會員 : 漢陽大學 電氣制御生體工學部
教授(交信責任者)

2.2. 이론 이동 로봇의 기구학 식

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos \theta \\ \dot{y} = v \sin \theta \\ \dot{\theta} = \omega \end{cases} \quad (1)$$

여기서, x 와 y 는 직각좌표계의 위치를 나타내고, θ 는 그림 5에서와 같이 각도 왜곡을 나타낸다. v 와 ω 는 각각 이동 로봇의 선형 속도와 회전 각속도를 의미한다.^{[2][3]}

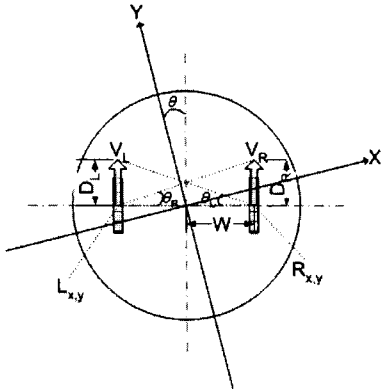


그림 3. 기구의 구형

제안한 방법에 의한 제어입력은 그림 3에서와 같이 V_L 과 V_R 의 형태로 식 (1)의 기구학식에 적용되어 가상로봇으로 구현되어진다.

$$\begin{aligned} L_x &= W \cdot \cos(\theta \pi/4), L_y = W \cdot \sin(\theta \pi/4) \\ R_x &= W \cdot \cos(\theta \pi/4), R_y = W \cdot \sin(\theta \pi/4) \\ D_L &= \text{SAMPLE TIME} \cdot V_L, D_R = \text{SAMPLE TIME} \cdot V_R \end{aligned}$$

여기서, D_L 과 D_R 은 누적하여 일반화 된 odometry data^[4]로 사용한다.

$$\theta_L = \text{atan}(D_L / 2 \cdot W), \theta_R = \text{atan}(D_R / 2 \cdot W)$$

그래서 다음 SAMPLE TIME의 양 횡의 위치와 로봇의 방향은

$$\begin{aligned} L_x[k+1] &= L_x[k] + 2 \cdot W \cdot \cos(\theta \pi/4 + \theta_R) \\ L_y[k+1] &= L_y[k] + 2 \cdot W \cdot \sin(\theta \pi/4 + \theta_R) \\ R_x[k+1] &= R_x[k] + 2 \cdot W \cdot \cos(\theta \pi/4 + \theta_L) \\ R_y[k+1] &= R_y[k] + 2 \cdot W \cdot \sin(\theta \pi/4 + \theta_L) \\ \hat{d}[k+1] &= \theta_L - \theta_R + \hat{d}[k] \end{aligned}$$

과 같고, 최종적으로 이동된 로봇의 위치는

$$\begin{aligned} x[k+1] &= \{ L_x[k+1] + R_x[k+1] \} / 2 \\ y[k+1] &= \{ L_y[k+1] + R_y[k+1] \} / 2 \end{aligned}$$

와 같다.

3. 환경 조건

상대위치 정보를 포함하는 field tag는 그림 2와 같은 바닥 장식재 상에 바코드 형태로 균일한 간격으로 분포되어있다. 시공된 바닥 장식재의 tag는 일률적 방향정보, grid 좌표의 수평, 수직 정보를 가진다. 이러한 정보는 로봇의 이동에 따라 장착된 카메라를 이용하여 실시간으로 영상 처리되어져 이동로봇의 wall following 및 전체 navigation 상의 확정적인 정보를 제공한다.

4. Wall Following 방법

4.1 이전의 방법

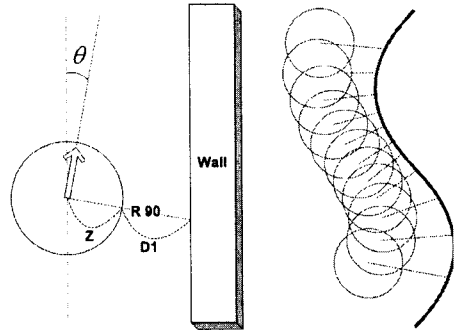


그림 4. 이전의 wall following 방법

그림 4와 같은 기존의 방법은 이동로봇의 중심부에 위치한 좌측(L90) 또는 우측(R90)의 한 개의 센서정보만으로 wall following을 수행하는 경우가 많았다.^{[3][5]} 이는 변화하는 벽 정보를 미리 탐지하지 못하므로 고속주행 또는 구부러진 벽이나 벽으로부터 돌출된 작은 장애물 등에 의해 충돌의 위험성을 가지고 있다. 이런 잦은 충돌들은 이동로봇의 미끄러짐 현상을 일으키는 주요인으로 작용하는데, 이는 곧 주행 정보(odometry data)^[4]의 오차를 유발하고 벽 정보의 mapping과 정에서 오차를 크게 한다. 또한 주행 궤적의 리플을 초래하며, 실제 벽의 형태와는 왜곡된 주행 궤적을 나타낸다.

4.2 제안한 방법

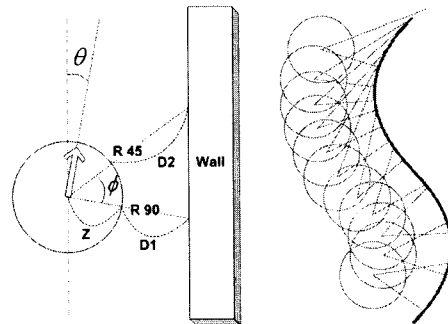


그림 5. 제안된 wall following 방법

제안하는 sensing 방법은 먼저 벽 추적주행에 필요한 변수 정보를 그림 6의 R45센서정보와 R90센서정보가 이루는 각 ϕ 와 벽과의 거리로 설정하고, 이들의 복합된 오차 식 (2)로 그림 7과 같은 P-I 제어를 구성한다. 이는 R45센서정보에 의해 그림 5와 같이 장애물 정보 및 벽의 변형상태를 미리 탐지 할 수 있으므로 wall following 수행에 많은 이점을 제공한다.

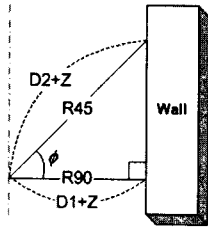


그림 6. ϕ 의 구성

먼저, 복합된 오차 식 중, ϕ 의 구성은 다음과 같다.

$$\cos \phi = \frac{D1+Z}{D2+Z} \text{로부터,}$$

$$\phi = \text{acos}\left(\frac{D1+Z}{D2+Z}\right)$$

여기서, Z는 이동로봇의 반지름을, D1, D2는 각각 R90, R45 센서에 의한 측정 거리를 나타낸다.

ϕ 는 왜곡이 존재하지 않을 때, 다시 말해서 ϕ 가 '0'일 때 $\pi/4$ 를 유지하여야 하고, D1은 초기에 설정된 일정한 벽과의 거리를 유지해야 하므로 복합된 오차 식은 다음과 같다.

$$e(t) = (\pi/4 - \phi) + (\text{설정된 벽과의 거리} - D1) \quad (2)$$

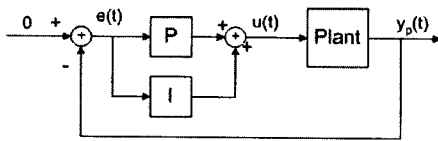


그림 7. P-I 제어기 구조

오차 식 (2)는 정상상태에서 '0'으로 수렴하고, 이는 벽과의 일정한 간격을 유지하며 wall following을 수행하게 됨을 의미한다.

다음은 실제 구현 예이다.

```
acos_arg = ( PSD_Sen[SEN_R90_POS] + Robot_Radius )
           / ( PSD_Sen[SEN_R45_POS] + Robot_Radius );
Err = ( PHI/4 - acos_arg ) // PHI = 3.14
     + ( TRACKING_GAP - PSD_Sen[SEN_R90_POS] );

Err_Sum += ( SAMPLE_TIME * Err );

Steer = Kp*( Err ) + Ki*( Err_Sum );
```

```
Left_Wheel_Command = v - Steer;
Right_Wheel_Command = v + Steer;
```

여기서 이동로봇의 선형 속도 v는 허용 가능한 범위 내의 정속도로 지정한다.

5. 가상 실험

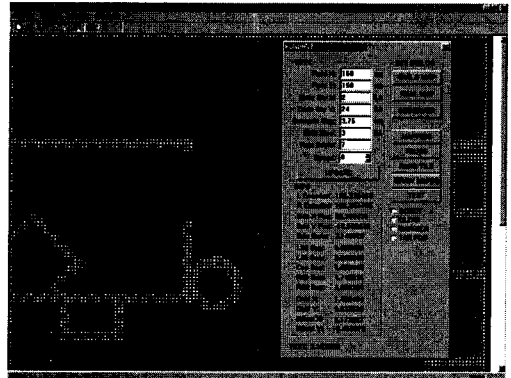


그림 8. MFC로 구축된 가상실험 환경

가상 실험은 그림 8과 같이 C++(MFC)로 작성된 자체 제작된 가상 환경을 토대로, 로봇에 장착된 양쪽 휠의 모터를 차동 구동하는 방식으로 이동로봇의 기구학을 구성하여 운용하였다.(2절 참조)

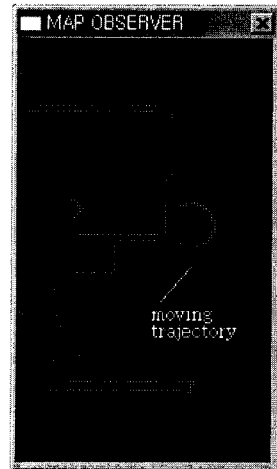


그림 9. 제안한 방법에 의한 Mapping 결과

그림 9는 제안한 wall following 방법에 의한 장애물 및 벽의 일부분에 대한 mapping 결과로, 비교적 선형에 가까운 주행 궤적을 나타내었다.

6. 고찰

가상 실험에서 볼 수 있듯이 제안한 방법이 다양한 환경에 대해 적용 가능성을 알 수 있다. 그러나 고려된 기구학식만으로는 제어계수 동조 시 실험적인 시행착오를 피할 수 없다. 확정적이고 안정성을 보장하는 제어기 설계 방법을 적용하기 위하여 이동로봇의 선형 동역학식을 도출하여 LQ제어 법칙^[7]을 적용 할 수 있다. 로봇의 상태는 센서를 통해 모두 알 수 있고, 이는 Full State Feed Back의 제어법칙을 구성할 수 있으므로 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] T. Tsubouchi "Nowadays Trends in Map Generation for Mobile Robots," Proceeding of IEEE/RSJ international Conference on Intelligent Robot and Systems, pp. 848-833, 1996.
- [2] Patrick F. Muir and Charles P. Neuman "Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots," CMU-RI-TR-86-12, Dept. of ECE Carnegie-Mellon Univ. , June 1986.
- [3] Teruko YATA, Lindsay KLEEMAN, Shin'ichi YUTA, "Wall Following Using Angle Information Measured by a Single Ultrasonic Transducer," Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, vol.2, pp.1590-1596, 1998.
- [4] Kok Seng Chong, Kleeman, L., "Accurate odometry and error modeling for a mobile robot," Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation, vol.4, pp.2783-2788, 1997.
- [5] Alberto Bemporad, Mauro Di Marco, Alberto Tesi, " Wall-Following Controllers for Sonar-Based Mobile Robots," Proceedings of the 36th Conference on Decision & Control IEEE, pp.3063-3068, 1997.
- [6] Ando, Y., Yuta, S, "Following a wall by an autonomous mobile robot with a sonar-ring," Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics & Automation, vol.3, pp.2599-2606, 1995.
- [7] M. Athans, Lecture Notes on Multivariable Control Systems, M.I.T. Ref. No. 860126/6234, 1986.
- [8] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2004.