

비전 센서와 초음파 센서를 이용한 이동 로봇의 자율 주행 알고리즘

An Algorithm of Autonomous Navigation for Mobile Robot using Vision Sensor and Ultrasonic Sensor

이재광*, 박종훈**, 허욱열***

*인하대학교 전기공학과 (전화:(032)860-7394, 팩스:(032)864-6442, E-mail : ljk3815@empal.com)

**인하대학교 전기공학과 (전화:(032)860-7394, 팩스:(032)864-6442, E-mail : patch_hanl@hotmail.com)

***인하대학교 전기공학과 (전화:(032)860-7394, 팩스:(032)864-6442, E-mail : uyhuh@inha.ac.kr)

Abstract : This paper proposes an algorithm for navigation of an autonomous mobile robot with vision sensor. For obstacle avoidance, we used a curvature trajectory method. Using this method, translational and rotational speeds are controlled independently and the mobile robot traces a smooth curvature trajectory that consists of circle trajectories to a target point. While trying to avoid obstacles, the robot can be goal-directed using curvature trajectory.

Keywords : Optical flow, circle trajectory, obstacle avoidance

I. 서론

자율 이동로봇의 자율 주행에 주로 사용되는 센서에는 초음파 센서와 비전센서가 있다. 초음파 센서는 물체와의 거리 측정이 빠르고 가격이 저렴하기 때문에 로봇의 주행에 많이 이용되어 왔다. 하지만 초음파 센서로는 측정할 수 있는 거리가 제한되어 있고 장애물 회피, 지면과의 마찰 등으로 인해 발생하는 오차를 보정하기가 매우 힘들다. 이를 보정하기 위해서 비전센서를 함께 사용하기도 한다. 이는 초음파 센서에서 생기는 오차를 최소화 하고 정확한 환경 인식을 통해 자기 위치를 보정함으로써 누적되는 오차를 보정할 수 있기 때문이다.

비전센서를 사용할 경우 영상의 데이터 양이 많기 때문에 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 연속된 영상에서 각 픽셀들의 움직임 방향만 추출하는 광류 추정 방법이 많이 사용되고 있다.

광류 추정에 의한 방법은 로봇의 지도 작성, 사람의 행동이나 표정 추정, 자기 위치 확인 및 무인 자동차의 주행 등에 이용되고 있다.

본 논문에서는 비전센서를 통해 얻은 광류 정보를 이용하여 인식된 주위 환경을 토대로 자율 주행을 할 수 있는 알고리즘을 제시하고 장애물이 탐지 되었을 때 초음파 센서를 이용하여 곡선 궤적을 만들며 안전하게 회피하는 실험을 하였다.

자율 이동로봇은 다른 곳으로 이동시에 지도 정보에 없는 장애물이 로봇의 계획된 경로에 나타날 경우 신속하고 안전하게 장애물을 회피하면서 목표점을 향해

이동해야 한다[1] 특히 장애물을 회피하는 과정에서 로봇은 자기 위치를 지속적으로 파악해야 하는데 계산 과정이 복잡하게 되면 계산하는데 시간이 많이 걸리게 되고 장애물과 충돌 하거나 계획된 경로를 이탈하는 경우가 생기기도 한다. 이를 위해 운동 방정식을 근사화 시킴으로서 간략화 하고, 효율적으로 바꿔 나가야만 한다.[2]

본 논문의 구성은 2장에서 비전 센서를 이용한 자율 주행 알고리즘을 제시하고, 3장에서는 간략화된 운동 방정식을 사용하여 곡선 궤적을 만들고 장애물을 회피하는 방법을 소개를 하였다. 4, 5장에서는 실험결과, 결론 및 향후 과제를 제시하였다.

II. 비전 센서에 의한 자율 주행 알고리즘

1. 광류(Optical Flow)

물체에 대한 카메라의 위치를 이동시키거나 또는 카메라에 대한 물체의 위치를 이동시키면서 형성되는 연속적인 영상들에 있어서 각 픽셀의 밝기의 변화가 나타난다. 이러한 명암 패턴의 이동을 광류라고 한다. 이와 같이 명암 패턴의 이동 분석을 통하여 물체의 3차원 구조를 추론할 수 있다. 이것은 우리 인간이 2차원 영상의 연속적인 변화를 나타내는 영화(movie)를 통하여 3차원 구조를 추론하는 원리와 일치하며, 이와 같은 원리는 카이네틱 효과(Kinetic effect)라 불리운다.

이렇듯 얻어진 연속된 2차원 영상을 분석함으로써

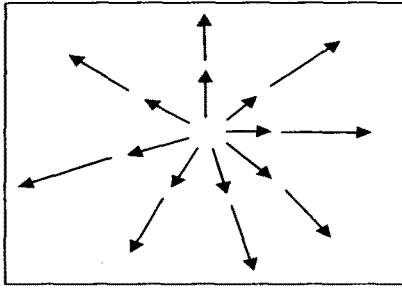


그림 1. FOE 현상 (카메라 zoom in 현상)

3차원을 추정할 수 있고 장애물과의 거리, 움직임 정보 등을 쉽게 얻을 수 있다.

만약 관측기(카메라)가 이동하는 로봇에 장착이 되어 있다면 주목해야 할 현상이 있다. 이것은 확장 초점, 즉 FOE(Focus Of Expansion) 현상이다. FOE 현상은 관측기가 정적인 물체를 스쳐 지나갈 때 그 물체에 대한 영상은 어떤 특정한 점으로 빨려가는 것과 같은 현상을 말한다. 쉽게 말하면 <그림 1>과 같이 확장 초점 현상이 마치 카메라를 zoom in 했을 때 나타나는 패턴과 같다는 것을 나타낸다.

2. 자율 주행 알고리즘

광류 정보를 이용하여 자율 이동 로봇의 주행 알고리즘은 <그림 2>와 같은 구조를 지니고 있으며 구성 요소별 특징은 다음과 같다.

· 영상 입력

이동하는 로봇에 장착된 한 대의 CCD 카메라에 의해 30frames/sec 의 속도로 영상이 입력이 된다. 동시에 Synchro-drive 로봇의 양쪽 바퀴의 속도를 비교한다. 양 바퀴의 속도가 같다면 로봇은 직진을 하고 있다는 뜻이 된다.

· 광류(움직임) 추정

양 바퀴의 속도가 같다면 아주 짧은 시간 간격 사이에 잡힌 연속된 두개의 정지 영상으로부터 광류를 검출한다. 관측기가 이동하고 있으므로 광류는 FOE 현상과 같은 패턴으로 나타날 것이다. 만약 양 바퀴의 속도가 다르다면 이는 로봇이 회전하고 있다는 뜻으로 추정된 광류는 모두 한쪽 방향으로 쏠리는 현상이 나타날 것이다. 이렇게 되면 로봇은 로봇 앞에 옆으로 움직이는 장애물이 있다고 판단, 멈추게 되므로 양 바퀴의 속력이 다르다면 초음파 센서에 의해 장애물 탐지를 하게 된다. 만약 장애물이 있다면 다음 장애 소거될 곡률 궤적을 이용하여 장애물을 회피한다. 장애물이 없다면 계속 이동을 하게 된다.

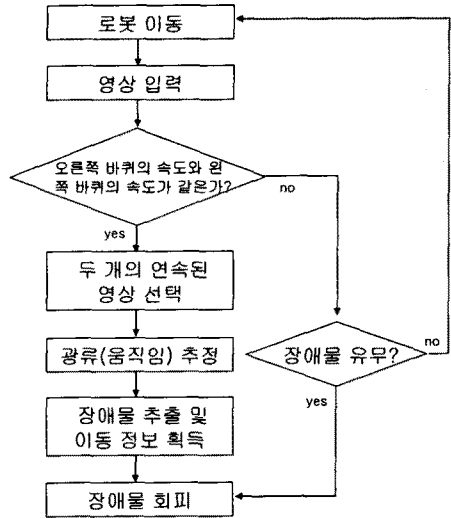


그림 2. 광류 정보를 이용한 주행 알고리즘

· 장애물 추출 및 이동 정보 획득

광류 추정에 의하여 장애물과의 거리, 크기, 이동 속도 및 이동 방향의 정보를 얻는다. 장애물과 가까이 있다면 초음파 센서를 가지고 곡률 궤적을 이용한 장애물 회피를 하게 된다.

III. 초음파 센서를 이용한 장애물 회피

본 논문에서는 장애물이 가까이 있다고 판단되었을 때 초음파 센서를 사용하여 장애물을 회피 하였다.

D. Fox et al.[2]는 실제 로봇에 적용하기 위해 다음과 같은 간략화 된 운동방정식을 제시하였다.

$$x(t_n) = x(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \dot{v}_i \cdot \cos(\theta(t_i) + \omega_i \cdot (t - t_i)) dt \quad (1)$$

$$y(t_n) = y(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} \dot{v}_i \cdot \sin(\theta(t_i) + \omega_i \cdot (t - t_i)) dt \quad (2)$$

식 (1)과 (2)의 적분 항을 풀면, 식 (3)과 (4)를 얻게 된다.

$$x(t_n) = x(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} (F'_x(t_{i+1})) \quad (3)$$

$$F'_x(t) = \begin{cases} \frac{v_i}{\omega_i} (\sin \theta(t_i) - \sin(\theta(t_i) + \omega_i(t - t_i))), & \omega_i \neq 0 \\ v_i \cos(\theta(t_i)) \cdot t & , \omega_i = 0 \end{cases}$$

$$y(t_n) = y(t_0) + \sum_{i=0}^{n-1} (F_y^i(t_{i+1})) \quad (4)$$

$$F_y^i(t) = \begin{cases} -\frac{v_i}{\omega_i} (\cos \theta(t_i) - \cos(\theta(t_i) + \omega_i(t-t_i))), & \omega_i \neq 0 \\ v_i \sin(\theta(t_i)) \cdot t & , \omega_i = 0 \end{cases}$$

식 (3)과 (4)에서는 각속도가 0인 경우와 0이 아닌 경우로 나누어서 표현하였다. 즉, 각속도가 0인 경우는 직선 운동을 하고, 그렇지 않은 경우는 곡선 궤적을 쫓아 이동 하도록 하였다. 위의 식에서 보는 바와 같이 식 (3)과 (4)는 계산 과정을 단순, 간략화하여 실제 로봇의 계산에 적용할 수 있게 하였다. 또한 M_x^i 와 M_y^i 를 식 (5)과 같이 정의하면, 식 (6)을 얻을 수 있게 된다.

$$M_x^i = -\frac{v_i}{\omega_i} \cdot \sin \theta(t_i) \quad M_y^i = \frac{v_i}{\omega_i} \cdot \cos \theta(t_i) \quad (5)$$

$$(F_x^i - M_x^i)^2 + (F_y^i - M_y^i)^2 = \left(\frac{v_i}{\omega_i}\right)^2 \quad (6)$$

식 (6)에서 보는 바와 같이 로봇은 translational speed v_i 와 rotational speed ω_i 의 2가지 입력 신호로 제어되며, 좌표계에서 (M_x^i , M_y^i)를 중심으로 하고, 반지름이 $\xi_i = v_i/\omega_i$ 인 원의 궤적을 따라 이동함을 알 수 있다.

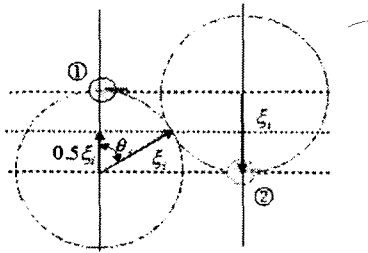
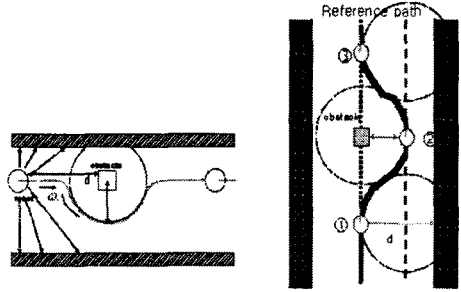


그림 3. 곡선 궤적에서의 각도와 원 궤적 반지름

위의 <그림3>은 곡선 궤적에서의 각도와 원 궤적의 반지름을 구하는 그림이다. ①의 위치에서 로봇이 2번째 원의 중심에 위치한 장애물을 발견한 경우 로봇과 장애물과의 거리 d 는 $(2\xi_i)^2 = \xi_i^2 + d^2 (d = \sqrt{3} \cdot \xi_i)$ 으로 나타내어진다. 로봇이 위치 ①에서 ②로 이동하기 위하여는 로봇이 일정한 속도로 이동한다는 가정 하에 곡선 궤적의 반지름 ξ_i , 각속도 ω_i 와 각 가속도 인가 시간 t_i 를 구해야 한다. 그러기 위해서 우선 로봇이 안전하게 회전할 수 있는 회전 반경 ξ_i 를 구한 후 이 값에 의하여 유도되어지는 ω_i 값과 t_i 값을 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\xi_i = \frac{v_i}{\omega_i} \Rightarrow \omega_i = \frac{v_i}{\xi_i}, t = \frac{\theta}{\omega_i}, \text{ where } \theta_i = 60[\text{deg}] \times \frac{2\pi}{360} \quad (7)$$



(a) (b)
그림 4. 장애물 회피에 사용된 원 궤적

<그림 4>의 (a)는 로봇이 비전 센서를 사용하여 이동하는 도중에 장애물을 만났을 때 초음파 센서를 통해 장애물과의 거리 d 를 측정하게 된다. 그 후에 로봇이 이동할 수 있는 free space를 찾게 되는데 이 과정에 의하여 오른쪽으로 회전할 것인지 왼쪽으로 회전할 것인지가 결정되어 진다.

<그림 4>의 (b)는 하나의 장애물을 회피하기 위해 3개의 원이 생성되어져야 함을 보여주고 있다. 이와 같은 방법은 연속적인 궤적을 발생시킴으로서 급작스러운 회전에 의한 위치 에러 등을 줄일 수 있고, 일정 속도로 이동하면서 목표점을 지향하면서 이동할 수 있는 장점이 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 장애물 회피 실험에 사용된 로봇은 Active Media사의 Pioneer2-DXE이고, 센서로는 전방에 설치된 초음파 센서를 사용하였다. 로봇의 내부적 cycle time은 100ms이고, 센서 하나가 정보를 얻는데 걸리는 시간은 25Hz 이므로, 총 8개의 센서 정보를 얻는데 걸리는 시간은 320ms가 된다. 본 실험에서는 센서의 cycle time을 400ms로 정하고 실험을 하였다. 구현은 visual C++을 이용하였으며, PC에 serial port와 RS232 port를 이용하여 로봇과 통신하였다. 장애물 회피시 곡률궤적의 반지름과 로봇이 수행한 곡률 궤적에는 약간의 차이가 있었지만 장애물 회피에는 큰 영향을 주지 않았고, 장애물 회피 과정에서도 지속적으로 목표 방향을 지향하면서 이동하였다.

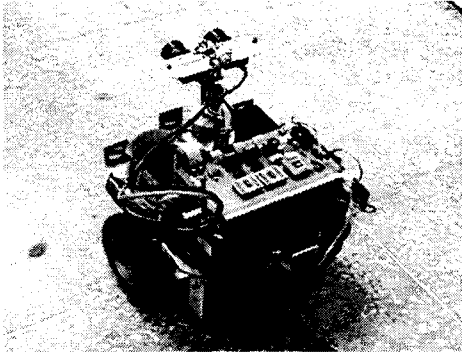


그림 5. 실험에 사용된 Active Media사의 P2-DXE

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 비전 센서와 초음파 센서를 이용한 자율 주행 알고리즘을 제안한다. 또한 Synchro-drive robot의 운동방정식을 이용하여 실제 로봇에 적용할 수 있는 간략화 되어진 운동방정식을 사용하여 장애물을 회피하였다. 로봇의 dynamics가 고려된 원 궤적을 이용한 로봇의 곡선 궤적을 생성시켜서 장애물 회피 시에도 안정성을 고려하면서 목표점의 방향을 지향할 수 있었다.

제시된 알고리즘에서는 로봇이 장애물을 회피할 때 초음파 센서만을 사용하였다. 초음파 센서로는 장애물과의 거리는 쉽게 측정이 가능하지만 장애물의 크기는 측정할 수 없다. 그리고 제한된 측정 거리 때문에 영역 밖의 장애물은 회피가 불가능 하다. 또한 로봇이 장애물을 회피할 때 이동할 수 있는 free space를 찾는 것이 쉽지 않다. 그래서 비전 센서로부터 얻은 광류 정보를 이용하여 장애물의 크기, 장애물과의 거리, 회피할 수 있는 free space를 정확히 알아내어 더욱 효율적인 원 궤적을 만들고 로봇이 장애물을 회피하는 과정에서 비전센서를 이용하여 계속적으로 장애물을 탐지하여 장애물 회피 도중 예기치 않은 장애물 출현 시 안전하게 회피할 수 있는 연구가 필요하다. 또한 이에 맞는 실내 환경에서의 자율주행 알고리즘 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Teruko YATA, "Wall Following Using Angle Information Measured by a Single Ultrasonic Transducer". Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics & Automation. pp. 1590 ~ 1596, May. 1998
 [2] D. Fox, W. Burgard and S. Thrun, "The

Dynamic Window Approach to Collision Avoidance" IEEE Robotics & Automation Magazine Vol.4, no. 1. 1997

[3] A.Ohya, A.Kosaka and A.Kak, "Vision based Navigation of Mobile Robot with Obstacle Avoidance by Single Camera Vision and Ultrasonic Sensing" Intelligent Robots and Systems. IROS 97. Vol. 2. pp.704 ~ 711. 1997
 [4] M. Khatib, "Indoor Navigation with Uncertainty using Sensor-Based Motions" IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 1997
 [5] 정갑관, "광유도식 무인 반송차의 경로 추종에 관한 연구" 인하대학교 전기공학과 대학원 석사 학위 논문, 1999
 [6] 이우영, "실내 환경에서의 이동 로봇의 자율 주행" 인하대학교 전기공학과 대학원 석사 학위 논문, 2003
 [7] Berthold Klaus Paul Horn, "Robot vision" The MIT press. pp.278~294, 1986