

## 센서 스캐닝에 의한 자율주행로봇의 경로주행 알고리즘

박동진\*, 안정우\*, 한창수\*\*

### A Path Navigation Algorithm for an Autonomous Robot Vehicle by Sensor Scanning

Tong-Jin Park\*, Jung-Woo Ahn\* and Chang-Soo Han\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, a path navigation algorithm through use of a sensor platform is proposed. The sensor platform is composed of two electric motors which make panning and tilting motions. An algorithm for computing a real path and an obstacle length is developed by using a scanning method that controls rotation of the sensors on the platform. An Autonomous Robot Vehicle (ARV) can perceive the given path by adapting this algorithm. A sensor scanning method is applied to the sensor platform for using small numbers of sensor. The path navigation algorithm is composed of two parts. One is to perceive a path pattern ; the other is used to avoid an obstacle. An optimal controller is designed for tracking the reference path which is generated by perceiving the path pattern. The ARV is operated using the optimal controller and the path navigation algorithm. Based on the results of actual experiments, this algorithm for an ARV proved sufficient for path navigation by small number of sensors and for a low cost controller by using the sensor platform with a scanning method.

**Key Words** : ARV (Autonomous Robot Vehicle, 자율주행로봇), Sensor platform (센서 플랫폼), Ultra-sonic sensor (초음파 센서), Path navigation (경로주행), Optimal control (최적 제어), Sensor scanning (센서 스캐닝), Kinematic model (기구학 모델), Panning motion (좌우 방향의 회전)

기호설명				
$d$	Distance from the $M$ to $D$	[m]	$l$	Distance from the measured object [m]
$D$	A point located at a distance $l$ from the wheels' axis	[m]	$h$	Distance from the wall [m]
$r$	Radius of actuated wheel	[m]	$x, y$	Coordinates of the $F_M$
$R$	Half the wheels' axis length	[m]	$x_p, y_p$	Coordinates of the point $P$ in the $F_0$
$v$	ARV's translation velocity	[m/s]	$x_M, y_M$	Coordinates of the $F_0$
$\theta$	Panning angle of sensor platform	[rad]	$x_{M/ob}, y_{M/ob}$	Coordinates of the obstacle in the $F_M$
			$F_0$	Global frame
			$F_M$	ARV's frame
			$M$	Center of the wheels' axis

\*\*\* 2000 년 8 월 16 일 접수

\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 한양대학교 기계정보경영공학부

### 1. 서론

자율주행로봇(Autonomous Robot Vehicle)은 경로를 인식하고, 스스로 주행할 경로를 생성해야 하는 경로주행 알고리즘이 필요하다. 즉, 주행하고자 하는 목표 지점까지 경로를 파악하는 인식성과, 들쭉는 주행 중에 인식되는 장애물에 대해 적절한 경로를 스스로 주행하여 이동할 수 있는 유연성이 다.<sup>(1)(12)</sup>

이러한 경로주행을 위한 알고리즘 연구는 주어진 경로를 먼저 입력하여 설정하는 경로 계획(path-planning)과, 센서 장비를 이용한 장애물 회피 주행 및 자기 위치 추정에 의한 지도 작성 등의 분야로 되어 연구되고 있다. 최근에는, 센서 수를 줄이면서, 효과적인 물체 인식 방법에 대하여 다양한 방법이 개발되었다.<sup>(3)(5)(6)</sup> 또한, 센서 입력에 대한 값을 처리하여 생성된 경로주행 알고리즘에 따라 자율주행로봇이 주행하기 위한 경로 추종 알고리즘도 중요하다. 즉, 노면의 마찰과 바퀴의 미끄러짐, 장애물 회피 등에 의해 경로주행 알고리즘대로 주행하지 못하는 경우에 대한 연구가 필요하다. 이러한 경로추종 알고리즘은 자율주행로봇의 기구학적 모델을 제어함으로써, 정확한 주행경로를 구현하는 연구가 수행되었다.<sup>(1)(2)(7)</sup>

본 논문에서는, 자율주행로봇이 주행하고자 하는 경로에 대한 인식과, 여기에 장애물 회피 알고리즘이 적용된 경로인식 알고리즘에 대한 연구를 논한다. 또한, 경로인식 알고리즘대로 주행하는 경로추종알고리즘이 적용된 경로주행 알고리즘에 관한 연구를 논한다.

경로인식 알고리즘은 센서부분에 전동 액츄에이터를 적용된 센서 스캐닝을 적용한다. 즉, 센서가 스캐닝하면서 경로인식 및 장애물의 형태를 인지할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 여기에 인식된 경로를 주행하기 위한 경로추종 알고리즘을 적용한다. 경로추종 알고리즘은 자율이동로봇에 대한 기구학 모델로부터 유도된다. 특히, 2륜 구동(Two-Wheel-Drive)에 의해 야기된 논홀로노믹 특성의 자율이동로봇을 제어하여, 경로를 추종하는 방법을 적용한다. 실제 제작된 자율주행로봇에 경로인식 알고리즘과 경로추종 알고리즘이 통합된 경로주행 알고리즘을 적용한다. 제작된 자율주행로봇은 센서 스캐닝을 위한 센서 플랫폼이 장착되어 있고, 전동 모터의 구동 방식은 2륜 구동 방식이다.

2 절에서는 자율이동로봇의 기구학적 모델에 대해 서술한다. 3 절에서는 센서 스캐닝에 의한 경로주행 형태 인식과 장애물 회피로 이루어진 경로주행 알고리즘에 대해 설명한다. 4 절에서는 2 절에서 유도한 로봇의 기구학 모델을 바탕으로 경로추종을 위한 제어기에 대해 언급한다. 5 절에서 실제 자율이동로봇에 경로주행 알고리즘이 적용되어 이행한 결과를 서술한다.

### 2. 자율이동로봇 모델링

제어기 설계를 위하여 자율이동로봇의 기구학적 모델을 설정한다. Fig. 1 은 최적 제어기 설계를 위한 자율이동로봇 기구학 모델을 나타내고 있다.<sup>(1)</sup>

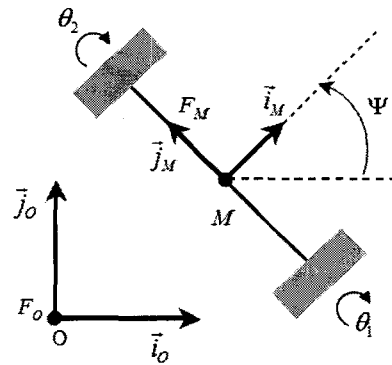


Fig. 1 Kinematic model of an ARV

Fig. 1 모델링에 의한, 2륜 구동하는 자율이동로봇의 기구학 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_M &= \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\cos\Psi_M \\ \dot{y}_M &= \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\sin\Psi_M \\ \dot{\Psi}_M &= \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \end{aligned} \tag{1}$$

이 식은 다음 식 (2)의 구속조건, 즉 지면에 대해 완전 구름 조건을 만족하고, 측면 미끄러짐도 없다고 만족해야 한다.<sup>(4)</sup>

$$\dot{x}_M \sin\Psi_M - \dot{y}_M \cos\Psi_M = 0 \tag{2}$$

이러한 구동방식은 양 바퀴의 속도차에 의해 조향

이 이루어지는 방식이다. 식 (1)은 가장 일반화 된 2 른 구동 자율이동로봇의 기구학 방정식이지만 제어는 쉽지 않다. 그 이유는 구속조건식 식 (2)가 완전하게 적분 될 수 없는 논홀로노믹 특성을 갖기 때문이다.<sup>(6)</sup>

이러한 논홀로노믹 특성을 제어하기 위해, 본 논문에서는, 본래 2 른 구동 방식의 로봇이 하나의 조향 바퀴와 2 개의 구동 바퀴를 가진 자율이동로봇의 거동과 유사하도록 하는 제어입력이 적용되는, 기구학 모델을 이용한다.<sup>(1)(7)</sup> 이러한 조향 방식의 기구학은 식 (2)의 조건이 적용되지 않으므로, 바퀴 속도 입력에 대한 경로주행결과를 얻어낼 수 있다. Fig. 2 는 1 개의 가상의 조향점, 즉, 점 D 에 의해 조향하는 자율이동로봇의 기구학적 모델을 나타내고 있다.

먼저 가상적으로 연결되어 있는 점 D 를 설정한다. 이점에 의해 자율이동로봇은 조향한다고 가정한다. 또한 점 P 는 임의의 점으로써, 이 점에 대해 자율이동로봇이 상대운동을 하고 있다고 가정한다.

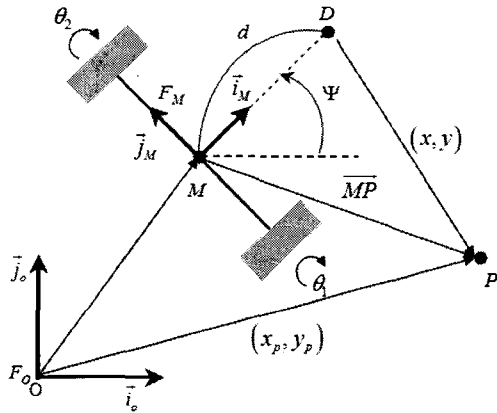


Fig. 2 Linearized kinematic model for point P

점 D 가 바퀴 축에 거리 d 만큼 떨어져있다고 하면 벡터  $\overline{MD}$  는 다음과 같다.

$$\overline{MD} = d \cdot \vec{i}_M \quad (3)$$

점 D 에서 점 P 까지 좌표를  $(x, y)$  라고 설정한다. 역시, 고정 프레임  $F_0$  에서 바라본 임의의 점  $P(x_p, y_p)$  로 설정한다. 자율이동로봇의 프레임,  $F_M$  에 대한 점 P 의 상대 속도식은 다음 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{P/F_M} &= \dot{x} \cdot \vec{i}_M + \dot{y} \cdot \vec{j}_M \\ &= \vec{V}_{P/F_0} - \vec{V}_{M/F_0} - \vec{\omega}_{F_M/F_0} \times \overline{MP} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에 대한 각 항의 값은 Fig. 2 를 통해 다음과 같이 유도 된다.

$$\vec{V}_{P/F_0} = (\dot{x}_p \cos \Psi + \dot{y}_p \sin \Psi) \cdot \vec{i}_M + (-\dot{x}_p \sin \Psi + \dot{y}_p \cos \Psi) \cdot \vec{j}_M \quad (5)$$

$$\vec{V}_{M/F_0} = v \cdot \vec{i}_M \quad (6)$$

$$\vec{\omega}_{F_M/F_0} = \dot{\Psi} \cdot \vec{k}_0 \quad (7)$$

$$\overline{MP} = \overline{MD} + \overline{DP} = (d+x) \cdot \vec{i}_M + y \cdot \vec{j}_M \quad (8)$$

$$\vec{\omega}_{F_M/F_0} \times \overline{MP} = -y \dot{\Psi} \cdot \vec{i}_M + (d+x) \dot{\Psi} \cdot \vec{j}_M \quad (9)$$

v 는  $\vec{i}_M$  축을 따르는 자율이동로봇의 접선 방향 속도,  $\vec{\omega}_{F_M/F_0}$  는 고정 프레임  $F_0$  에 대한 자율이동로봇의 프레임  $F_M$  의 각속도이다. 식 (4)를 정리하여 행렬 형태로 표현 하면 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(d+x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \Psi & \sin \Psi \\ -\sin \Psi & \cos \Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{y}_p \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 점 P 를 고정 프레임  $F_0$  의 원점으로 대치 하면,  $\dot{x}_p = \dot{y}_p = 0$  이 된다. 결국 P 점에 대한 상대 속도식이 고정 좌표계에 대한 상대 속도식으로 환원된다. 따라서 자율이동로봇의 상태방정식은 다음과 같이 유도 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(d+x) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서 제어 벡터  $\mathbf{u}$  는 다음 식과 같다.

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r/2 & r/2 \\ r/(2R) & -r/(2R) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

결국 시스템의 방정식은  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{u}$  의 형태의 시스템이 된다. 식 (11)의 모델링은, 기구학식 (1)에 의해 sine, cosine 함수가 적용되지 않는 형태로 바뀌었다. 대신, 2 른 구동의 자율이동로봇 조향은 양 바퀴 속도 차이에 의해 발생하지만, 식 (11) 에 의해서 제자리에서 조향하는 기능은 사라지게 되고, d 값의 설정에 따라 선회 반경이 제한되는 형태의 기구학으로 바뀌었다. 여기에 기준경로를 추종하는 제어기를 사용하면 논홀로노믹 특성을 갖는 시스템에서 안정성을 보장할 수 있다.<sup>(6)(9)</sup>

### 3. 경로주행 알고리즘

본 논문에서는 경로인식을 위한 센서입력을 보다 더 효과적으로 하기 위해 센서 스캐닝 사용한다. 센서의 입력 범위를 확장시킴으로써, 경로주행을 위해 사용되는 센서의 수를 줄이고, 자율이동로봇의 제어기에 보다 더 효율적인 센서 입력을 하기 위함이다. 이 센서 스캐닝에 의해 자율이동로봇은 경로주행 형태를 인식하고 주행한다. 자율이동로봇이 주행 도중 장애물을 만나게 되면, 이 장애물을 인식하고 회피한다. 본 장에서는 센서스캐닝과 이에따른 경로 인식과 장애물 인식에 의해 자율이동로봇에 적용될 경로주행 알고리즘에 대해 설명한다.

#### 3.1 경로주행 알고리즘 1 - 경로주행 형태 인식

경로형태를 인식하고 자율이동로봇의 위치와 자세를 결정하는 알고리즘을 구성한다. Fig. 3 은 센서 좌표계와 경로 벽면과의 관계를 나타내었다.

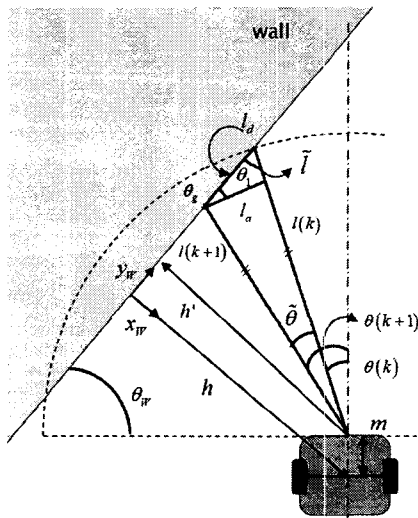


Fig. 3 Coordinates of sensor and wall

경로형태 인식에 대한 기하학적인 관계는 다음과 같다.

$$\bar{\theta} = \theta(k+1) - \theta(k) \quad (13)$$

$$\bar{l} = l(k+1) - l(k) \quad (14)$$

$$l_a = l(k+1) \cdot \bar{\theta}$$

$$l_a = \sqrt{l(k)^2 + l(k+1)^2 - 2l(k) \cdot l(k+1) \cos \bar{\theta}} \quad (16)$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left( \frac{l_a^2 - \bar{l}^2 - l_a^2}{2\bar{l} \cdot l_a} \right) \quad (17)$$

센서 플랫폼의 스캐닝 모션을 통해, 측정된 경로의 형태는 식(13)~(17)를 이용하여, 자율이동로봇의 경로인식 알고리즘에 적용한다.

#### 3.2 경로주행 알고리즘 2 - 장애물 회피

이 알고리즘은 자율이동로봇이 주행도중 장애물을 만나 이 물체의 형상을 인식하는 알고리즘이다.

역시 스캐닝 방법에 의해 대략의 물체의 형태를 측정할 수 있는 알고리즘을 구현한다. Fig. 4 는 장애물 인식을 위해 사용하는 센서와 측정대상간의 좌표를 나타내고 있다.

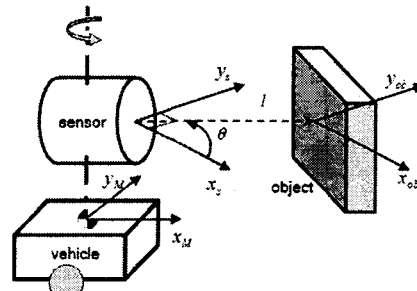


Fig. 4 Coordinates of sensor and object

센서 입력에 따라 물체의 크기를 구하는 식은 다음과 같다.

$$s(k) = \sqrt{(x_{ob}(k+1) - x_{ob}(k))^2 + (y_{ob}(k+1) - y_{ob}(k))^2} \quad (18)$$

식(20)에 의해 정지해 있는 측정 대상과 움직이는 대상에 대한 판정 알고리즘을 유도해 낼 수 있다. 즉 정지하고 있는 대상은

$$\dot{x}_{ob/m}[k] = \dot{x}_m[k] \quad (19)$$

$$\dot{y}_{ob/m}[k] = \dot{y}_m[k] \quad (20)$$

으로 유도되며, 움직이는 대상은

$$\dot{x}_{obl/m}[k] \neq \dot{x}_m[k] \quad (21)$$

$$\dot{y}_{obl/m}[k] \neq \dot{y}_m[k] \quad (22)$$

식 (19)에서 (22)를 통해, 센서가 스캐닝하면서 측정된 물체에 대한 크기를 인식한다.

### 3.3 주행 알고리즘

장애물을 회피에 의해 경로이탈이 일어났을 때, 다시 그 경로를 추종해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 최적 제어를 이용한다. 본 논문에서 사용한 경로주행 알고리즘은 “경로 인식 주행”과 “경로 추종 주행” 이 두 부분으로 구성한다. 경로 인식 주행은 경로주행 알고리즘 1 에 의한 주행 즉, 경로주행 형태 인식 알고리즘을 따라 주행하는 자율이동로봇의 주행 알고리즘이다. 이 경로를 기준경로로 설정한다. 경로 추종 주행은 경로주행 알고리즘 2, 즉 기준 경로로부터 이탈한 자율이동로봇이 기준 경로로 추종하기 위한 주행 알고리즘이다.

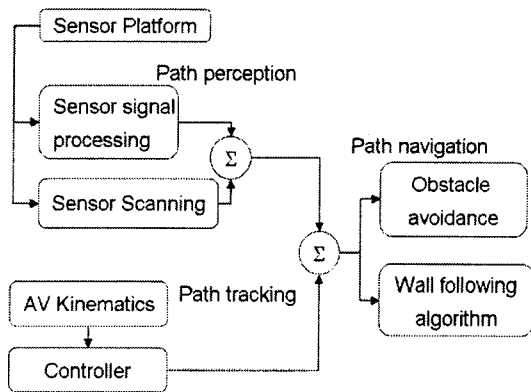


Fig. 5 Path navigation algorithm

Fig. 5 는 본 논문에서 언급하는 경로주행 알고리즘을 나타내고 있다.

### 4. 경로추종을 위한 최적 제어기 설계

기준경로는 경로 인식 알고리즘에 의해 결정된다. Fig. 6 은 기준경로 자율이동로봇의 좌표와 추종하는 자율이동로봇의 좌표 관계를 나타내고 있다.

기준경로를 주행하는 자율이동로봇의 방향을  $\Psi_r$  이라 하고, 기준경로로부터 이탈된 경로에 있는 자율이동로봇의 방향을  $\Psi_t$  라 한다. 이들간의 오차를 다음 식(25)와 같이 정의한다.

$$\tilde{\Psi} = \Psi_t - \Psi_r \quad (23)$$

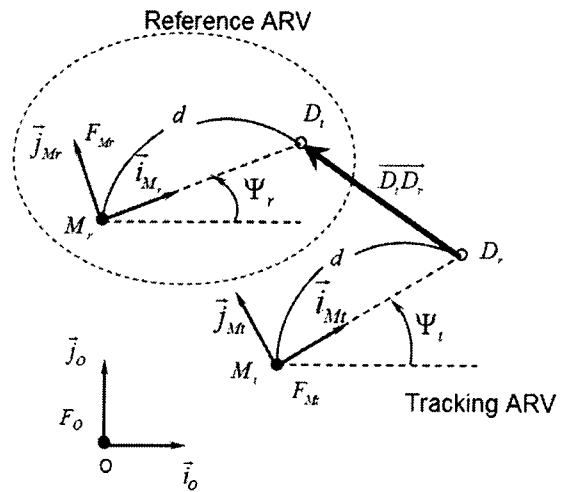


Fig. 6 Kinematic relationship between a reference ARV and a tracking ARV

$\tilde{v}(t)$  는 기준경로를 따라 주행하는 자율이동로봇의 속도와 기준경로로부터 이탈된 자율이동로봇의 속도 오차라고 하면, 제어 입력  $u$  는 다음 식 (26) 과 같이 된다.

$$u = \begin{bmatrix} \tilde{v} \\ \tilde{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_t - v_r \\ \Psi_t - \Psi_r \end{bmatrix} \quad (24)$$

기준경로 자율이동로봇과 추종경로 자율이동로봇의 기구학적 관계를 앞서 유도한 자율이동로봇 기구학과 마찬가지로 방법으로 유도한다. 먼저,  $\overline{D_r D_t}$  는 다음 식 (25)과 같다.

$$\overline{D_r D_t} = x \cdot \vec{i}_{M_t} + y \cdot \vec{j}_{M_t} \quad (25)$$

또한 기준경로 자율이동로봇의 접선속도 및 각속도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_r \\ d\dot{\Psi}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Psi_r & \sin \Psi_r \\ -\sin \Psi_r & \cos \Psi_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \end{bmatrix} \quad (26)$$

같은 방법으로, 고정 프레임,  $F_0$  에 대하여 기준경로 자율이동로봇과 추종경로 자율이동로봇의 각각

의  $d$  점에 속도 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_{D_r/F_0} \end{bmatrix}_{F_r} = \begin{bmatrix} \cos \tilde{\Psi} & \sin \tilde{\Psi} \\ -\sin \tilde{\Psi} & \cos \tilde{\Psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_{D_r/F_0} \end{bmatrix}_{F_r} \quad (27)$$

여기서  $\vec{V}_{D_r/F_0}$  는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{D_r/F_0} &= v_r \cdot \vec{i}_{M_r} + d \dot{\Psi}_r \cdot \vec{j}_{M_r} \\ \begin{bmatrix} \vec{V}_{D_r/F_0} \end{bmatrix}_{F_r} &= \begin{bmatrix} v_r \\ d \dot{\Psi}_r \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (28)$$

식 (28)을 식 (27)에 대입하고, 앞서 점  $P$  를  $D_r$  과 같다고 정의하면,  $\vec{V}_{D_r/F_0} = \vec{V}_{P/F_0}$  가 되므로, 식 (4)의 경우가 다음과 같이 기준경로 자율이동로봇과 추종경로 자율이동로봇의 관계식으로 유도된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(l+x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \tilde{\Psi} & \sin \tilde{\Psi} \\ -\sin \tilde{\Psi} & \cos \tilde{\Psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ l \dot{\Psi}_r \end{bmatrix} \quad (29)$$

따라서 시스템 방정식은 다음 식으로 유도된다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & \dot{\Psi}_r & v_r \frac{\cos \tilde{\Psi} - 1}{\tilde{\Psi}} + d \cdot \dot{\Psi}_r \frac{\sin \tilde{\Psi}}{\tilde{\Psi}} \\ \dot{\Psi}_r & 0 & -v_r \frac{\sin \tilde{\Psi}}{\tilde{\Psi}} + d \cdot \dot{\Psi}_r \frac{\cos \tilde{\Psi} - 1}{\tilde{\Psi}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \Psi \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(l+x) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (30)$$

식 (30)은  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{G}\mathbf{u}$  의 시스템 방정식으로 표현되었다.  $\mathbf{F}$  는 기준경로 자율이동로봇과 추종경로 자율이동로봇의 관계를 나타내며,  $\mathbf{G}$  는 고정좌표계  $F_0$  에서 추정경로에 있는 자율이동로봇에 대한 제어 입력을 나타낸다. 기준경로를 추종하기 위한 제어 입력을 선정하기 위해 최적 제어(Optimal Control) 이론을 적용 하였다. 정방 최적 제어는 수행 지수(performance index)를 다음 식 (31)과 같이 선정한다.

$$J = \int_0^{+\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \quad (31)$$

기준경로의 자율이동로봇의 접선속도,  $v_r$  이 일정하고,  $\dot{\Psi}_r = 0$  이라고 가정하면, 제어지수 값을 최소화 시키는 선형 제어 입력은 Riccati 방정식을 이용하여 구할 수 있다. 이 값에 의한 최적 제어

이득은 다음 식 (32)와 같다.<sup>(1)(3)</sup>

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sign}(v_{A1}) & -\sqrt{1+2|v_r|} \end{bmatrix} \quad (32)$$

이 이득값을 적용하고, 자율이동로봇의 적분 초기값을 센서 입력에 의한 위치와 자세로 값을 이용한다. 앞서 설정한 경로인식 알고리즘에 의해, 경로인식 좌표를 자율이동로봇의 초기값으로 적용하게 된다. 즉

$$\theta_w = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left( \frac{l_a^2 - \tilde{l}^2 - l_d^2}{2\tilde{l} \cdot l_d} \right) - \theta(k) \quad (33)$$

$$h = h' - m \cdot \cos \theta_w \quad (34)$$

$\theta_w$  는 벽면에 대한 자율이동로봇의 자세가 되고,  $h$  는 벽면에 대한 자율이동로봇의  $x$  축 거리가 된다. 다음 식은 이 경로좌표와 자율이동로봇의 좌표에 대한 관계를 나타내고 있다.

$$\mathbf{x} = [x_0 \quad y_0 \quad \tilde{\Psi}_0]^T = [h \quad 0 \quad \theta_w]^T \quad (35)$$

이 값을 자율이동로봇의 추종경로 초기값 좌표로 설정한다.

## 5. 경로주행 알고리즘 실험

본 장에서는 실제 제작된 자율이동로봇과 센서플랫폼에 경로주행 알고리즘 적용을 논한다. 사용된 센서는 초음파센서를 사용하였다.

### 5.1 센서플랫폼

센서플랫폼을 제작하여, 센서 스캐닝 방법을 적용한다. 전동 액추에이터가 적용된 센서 플랫폼의 형태는 다음 Fig. 7 과 같다.

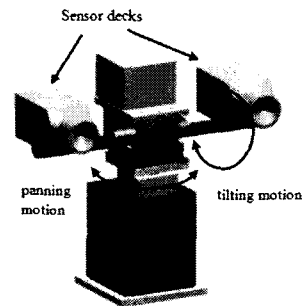


Fig. 7 Sensor platform

센서 플랫폼은 2 개의 전동 액츄에이터와 동력 전달 기구부에 의해, 센서 주사를 상하 좌우 방향으로 변환시킬 수 있다. 자율이동로봇의 좌우 방향 경로 인식을 위해 패닝 운동(panning motion), 상하 방향 경로 인식을 위해 티핑 운동(tilting motion)이 동시에 가능하다. 여러 가지 센서를 적용할 수 있도록 2 개의 센서 데크(sensor deck)를 장착하였다. 이 센서 플랫폼은 향후 비전용 카메라나 적외선, 또는 레이저 센서등을 단독, 또는 복합적으로 장착할 수 있게 다용도로 설계되었다. 제작된 센서 플랫폼은 센서 스캐닝을 위한 연구를 위해 패닝 운동에 대해서만 적용한다.

### 5.2 센서 적용

센서플랫폼의 속도에 따라 자율이동로봇의 주행속도에 영향을 주게 되므로, 되도록이면 고속의 스캐닝 속도를 적용하였다.

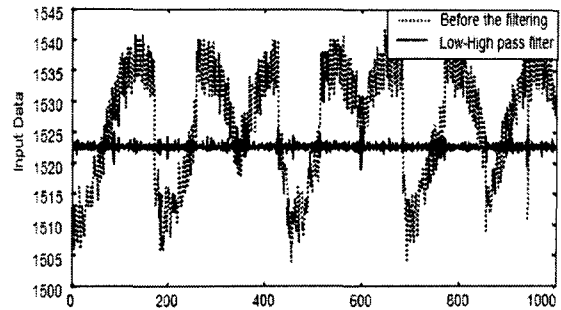


Fig. 8 Comparison of sensor data and filtered sensor data

센서값의 안정된 입력을 고려하여센서의 스캐닝 속도는 40rpm 을 적용하였다.센서에 의해 측정되어진 데이터는 0~10[V]사이의 아날로그 전압값으로 입력한다. 이 값은 제어기에서 10bit 샘플링되어 아날로그신호를 디지털신호로 바꾸었다.



Fig. 9 Photos of the ARV's path navigation

센서가 센서플랫폼에서 빠른 속도로 회전하면서 측정하게 되므로, 입력신호에 많은 노이즈 성분을 가지고 있다. 이 노이즈를 줄이기 위하여 Low-High Pass Filtering 하였다. 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 이렇게 필터링된 데이터 값에 의해 앞서 설정한 센서 스캐닝 알고리즘을 바로 적용시킬 수 있었다.

### 5.3 자율주행로봇 적용

자율주행로봇의 실제 제작에 있어서 가장 중요한 부분은 전동 모터의 성능이다. 이 모터는 바퀴 일체형으로써, 240W 용량을 가지고 있다. 이산신호제어기(Digital-Signal-Processor)칩이 적용된 멀티모션 제어기(Multi-Motion Controller)에 의해, 바퀴일체형 전동모터 입력방식은 양쪽 바퀴의 각속도 신호가 사용되었다.

Fig. 9는 실제 자율이동로봇이 주행중에 장애물을 인식하고 나서, 장애물을 회피한 다음, 경로 알고리즘 1을 수행하는 자율이동로봇의 경로로 추종하는 상황을 보여 주고 있다. Fig. 9의 결과에 의해, 초음파센서의 스캐닝 방법에 의해 자율이동로봇은 경로형태와 장애물을 잘 인식하고 주행하였다.

## 6. 결론

본 연구에서는 센서플랫폼이 적용된 2륜 구동 자율이동로봇의 주행을 위한 경로주행 알고리즘을 논하였으며, 실제 자율이동로봇에 적용하였다. 이를 바탕으로 실제 자율이동로봇에 적용된, 경로주행 알고리즘의 타당성을 실험으로 검증하였다.

본 논문의 연구내용 결론은 다음과 같다.

1. 센서 스캐닝에 의해 경로형태와 대상물의 크기를 인식하는 알고리즘을 적용하였다.
2. 자율이동로봇의 기구학적 관계식을 이용하여 논홀로노믹 특성을 갖는 자율이동로봇에 대한 제어기를 설계하였다.
3. 경로를 인식하는 알고리즘과 장애물을 인식하는 알고리즘을 서로 통합하기 위해, 최적제어기를 설계하였고, 이것에 의해 전반적인 경로주행 알고리즘을 구현하였다.
4. 실제 자율이동로봇과 센서플랫폼을 제작하고, 경로주행 알고리즘을 적용함으로써, 경로주행 알고리즘의 타당성을 보여주었다.

## 후 기

본 연구는 이 논문은 2001년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구 되었습니다.

## 참고문헌

1. 안정우, 박동진, 권태중, 한창수, “자율 주행차량의 경로추종 제어 알고리즘,” 한국정밀공학회지, 제 17 권, 4 호, pp. 121-128, 2000.
2. Tong-Jin Park, Chang-Soo Han, “A Path Generation Algorithm of Autonomous Robot Vehicle Through Scanning of a Sensor Platform,” Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 151-156, 2001.
3. John Borenstein and Yoram Koren, “Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensor,” IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 4, No. 4, pp. 213-218, 1988.
4. Takanori Fukao, Hiroshi Nakagawa and Norihiko Adachi, “Adaptive Tracking Control of a Nonholonomic Mobile Robot,” IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 5, Oct. 2000.
5. Ryo Kurazume and Shigeo Hirose, “Development of a Cleaning Robot System with Cooperative Positioning System,” Autonomous Robots, Vol. 9, No. 3, pp 237-246, 2000.
6. Gisbert Lawitzky, “A Navigation System for Cleaning Robots,” Autonomous Robots, Vol. 9, No. 3, pp 255-260, 2000.
7. X. Yun and Nilanjan Sarkar, “Dynamic Feedback Control of Vehicle with Two Steerable Wheels,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3105-3110, April 1996.
8. Luis E. Aguilar, T. Hamel and P. Soueres, “Robust Path Following Control for Wheeled Robots via Sliding Mode,” Proc. IROS 97, pp. 1389-1395, 1997.
9. Y. Zhao and M. Reyhanoglu, “Nonlinear Control of Wheeled Mobile Robots,” Proc. Of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1967-1973, July 7-10 1992.
10. Barry Steer, “Trajectory Planning for a Mobile Robot,” International Journal of Robotics Research, Vol. 8, No. 5, pp. 3-14, 1989.