

이동 로봇을 위한 궤적 계획 방법

정 일 호, 임 준 흥

한양 대학교 전자공학과

Trajectory Generation for Mobile Robot

I. Jeong, J. Lim

Dept. of Electronics Eng., Hanyang Univ.

ABSTRACT

In this paper, the problem of trajectory generation for mobile robots is investigated. The robot trajectory is generated so that smooth turns are guaranteed. Also the kinematic constraints of the actual robot are considered and incorporated in the trajectory generation.

1. 서론

이동 로봇의 효율적인 이용을 위하여서는 로봇트 경로 계획 방법 개발이 중요한 것 중의 하나이다. 이동 로봇트 경로 계획 방법에 관한 연구로는 Kuo 등이 [3]에서 sonar의 특성을 이용하여 잘 정돈되지 않은 환경에서 환경 인식을 고려한 계획 방법을 제안하였고 이동 로봇트의 위치와 조향을 독립적으로 제어하는 방법이 Crowley에 의하여 제안되었다[4]. 사실 이동 로봇트의 경로는 line과 Circular Arc의 연결로 되어 있다. 그러나 이러한 연결은 경로(path)의 곡률 반경(curvature)의 불연속성을 초래하여 대부분의 이동 로봇트의 조향(steering)능력을 벗어나므로 매끄러운(smooth) 움직임을 위하여 경로의 곡률 반경이 연속적이 되도록 경로를 계획하는 방법이 필요하다. 특히 조향의 급격한 변화는 물리적인 impulse 형태의 force를 요구하므로 이동 로봇트의 위치 및 자세가 line과 Circular Arc segment마다 오차가 발생하게 된다.

이동 로봇트에서는 위치 및 자세의 오차는 장애물과의 충돌 혹은 궤도 이탈에 의한 오류 복원 불능 등의 어려움이 따르게 된다[8]. 물론 적절한 feedback에 의하여 transient response는 빠르게 없어지게 할 수 있으나 이는 high gain을 요구하므로 dynamic 특성을 넘어서는 과도한 control effort를 요구한다. 한편 이동 로봇트의 속도를 줄임으로 상기한 영향은 줄일 수 있으나 task에 대한 효율성은 감소시킨다. 본 논문에서는 Step 함수 형태의 곡률 반경(curvature)를 요구함으로써 경로 계획을 매끄럽지(smooth) 못하게 하는 Circular Arc 대신에 다른 방법을 제시한다. 이 방법은 우선 매끄러운 경로 계획에 필요한 연속적인 곡률 반경을 보장하며 경로의 모양이 Circular Arc에 가깝도록 한다. 그리고 또한 이 제시된 경로 계획 방법은 이동 로봇트의 기구학적 제약 조건이 충분히 고려된 궤적을 생성한다.

2. 경로 계획 방법

이동 로봇트의 경로를 계획하는 방법들을 알아보기 앞서 몇 가지 도움이 되는 개념들을 소개한다. 이 개념들의 정의는 앞으로 경로 계획에 있어서 기본이 되는 것들이다.

자세(posture) : 이동 로봇트의 경로 계획은 대개 2차 평면 상에서 이루어진다. 그리고 로봇트의 위치와 기울기를 합쳐서 자세(posture) $p=(x,y,\theta)$ 라 정의한다[7].

거리(distance)와 경로 길이(path length) : 출발 자세, $p_i = (x_i, y_i, \theta_i)$ 와 도착 자세, $p_f = (x_f, y_f, \theta_f)$ 에 있어서 두 자세간의 거리, d 는 다음과 같다[7].

$$d = \sqrt{(x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2} \quad (2-1)$$

거리, d 와는 달리 경로 길이는 말 그대로 다음절에서 소개될 각각의 이동 경로 계획 방법에 있어서 이동 경로의 길이, l 이다.

회전 반경(turn radius)과 회전각(turn angle) : 두 자세간의 회전각, θ 는 출발 자세의 기울기, θ_i 와 도착 자세의 기울기, θ_f 의 차이이다.

$$\theta = \theta_f - \theta_i \quad (2-2)$$

두 자세간의 거리가 d 이고, 회전각이 θ 이면 그 회전 반경, R 은

$$R = \frac{d}{2} \sin \frac{\theta_f - \theta_i}{2} = \frac{d}{2} \sin \frac{\theta}{2} \quad (2-3)$$

의 값을 갖는다.

대칭적(symmetric) : $(x_i, y_i) \neq (x_f, y_f)$ 인 두 개의 자세, 출발 자세, $p_i = (x_i, y_i, \theta_i)$ 와 도착 자세, $p_f = (x_f, y_f, \theta_f)$ 를 생각한다. Orientation β_0 는

$$\beta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{y_f - y_i}{x_f - x_i} \right) \quad (2-4)$$

라 정의한다[7].

식(1)의 각 β_0 와 두 자세의 기울기, θ_i 와 θ_f 가 아래 관계식을 만족하면 두 자세, p_i 와 p_f 는 대칭적(symmetric)이라 부른다.

$$\theta_i - \beta_0 = -(\theta_f - \beta_0) \quad (2-5)$$

곡률 반경(curvature) : 이동 경로의 단위 길이 당 접선의 변화량을 나타내는 것을 곡률 반경(curvature), k 라 하는데 다음과 같이 나타낸다[7][8][13].

$$k = \frac{d\theta}{ds} \quad (2-6)$$

여기서 s 는 경로 길이 변수이고, θ 는 경로의 접선 각이다.

2.1. Circular Arcs

두 직선간의 매끄러운 연결 곡선을 나타내는 몇 가지 방법 중에서 우선 가장 간단한 방법인 원호(circular

arc)에 의한 궤적 생성에 대해 알아본다. 반경, R과 기울기 차, θ 를 갖는 원호 궤적은 다음의 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} x &= R \cos \phi & 0 \leq \phi \leq \theta \\ y &= R \sin \phi \end{aligned} \quad (2-7)$$

다음으로 원호에 의한 경로의 곡률 반경이다.

$$k = \frac{1}{R} \quad (2-8)$$

원호에 의한 경로는 그 길이가 가장 짧은 반면, 경로의 곡률 반경이 위 식(2-8)에서처럼 일정한 상수를 갖는다. 즉 매끄러운 경로 계획에 필수 요건인 연속적인 곡률 반경(continuous curvature)이 보장되지 않는다. 곡률 반경이 매끄러움이 없는 불연속적인 형태를 보임으로 궤적 생성의 방법으론 부적합하다.

2.2. Polynomial Curves

원호로부터 모양새가 너무 이탈되지 않으면서 그 출발점과 도착점에서 주어지는 위치(position), 진행 방향(heading), 곡률 반경(curvature)의 제약 조건들(contraints)을 만족하는 곡선을 얻기 위해서는 전체 각과 무관하게 곡선 상의 거리에 대해 독립변수들이 균등하게 변할 수 있는 좌표를 정해야 한다. 따라서 극좌표계가 적당하다. 극 각도(polar angle), ϕ 의 다항 함수(polynomail function)인 극 반지름(polar radius), r의 일반식은 다음과 같다[8].

$$r(\phi) = a_0 + a_1\phi + a_2\phi^2 + a_3\phi^3 + a_4\phi^4 + \dots \quad (2-9)$$

원호를 대신하면서 바람직한 연속적인 곡률 반경(continuous-curvature)을 위한 잇식(2-9)에 대한 위치, 기울기, 그리고 곡률 반경의 제약조건들은

$$\begin{aligned} r &= R, \quad \dot{r} = 0, \quad k = 0 \text{ at } \phi = 0, \\ r &= R, \quad \dot{r} = 0, \quad k = 0 \text{ at } \phi = \theta \end{aligned} \quad (2-10)$$

이고, 여기서 $\dot{r} \equiv \frac{dr}{d\phi}$, k는 r에 대한 곡률 반경인데 어떤 임의의 곡선에 대한 곡률 반경의 일반적은 표현식은

$$k = \frac{d\theta}{ds} \quad (2-11)$$

이다. 여기서 s는 경로 길이 변수(path-length variable)이고, θ 는 경로의 접선 각도(tangent angle)이다. 그리고 극좌표 (r, ϕ)에서 정의된 경로에 대한 접선 각도는

$$\theta = \theta_1 + \phi - \tan^{-1} \frac{\dot{r}}{r} \quad (2-12)$$

로 표현되고 이를 다시 ϕ 에 대해 미분하면

$$\frac{d\theta}{d\phi} = 1 - \frac{r\ddot{r} - \dot{r}^2}{r^2 + \dot{r}^2} \quad (2-13)$$

가 된다. 여기서 $\ddot{r} \equiv \frac{d^2r}{d\phi^2}$

경로 길이의 극소(infinitesimal) 변화, ds는 극 좌표 형태로

$$ds = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2} d\phi \quad (2-14)$$

로 주어진다.

식(2-13)와 (2-14)을 이용하여 식(2-11)에서 언급한 곡률 반경 k를 다음과 같이 구한다.

$$k = \frac{r^2 + 2r\dot{r} - \dot{r}^2}{(r^2 + \dot{r}^2)^2} \quad (2-15)$$

식(2-15)에 식(2-10)의 위치와 기울기의 제약 조건들을 이용하면, 네 개의 non-zero 계수, 즉,

$$a_0 = R, \quad a_2 = \frac{R}{2}, \quad a_3 = -\frac{R}{\theta}, \quad a_4 = \frac{R}{2\theta^2} \text{를 식(2-9)}$$

에서 구해낸다. 그래서 식(2-9)의 단극 다항(simple polar-polynomial : SPP) 곡선은 다음과 같이 표현된다.

$$r(\phi) = R \left(1 + \frac{\phi^2}{2} - \frac{\phi^3}{\theta} + \frac{\phi^4}{2\theta^2} \right) \quad (2-16)$$

극 좌표 값인 잇식(2-9)로부터 (X,Y)좌표 값은

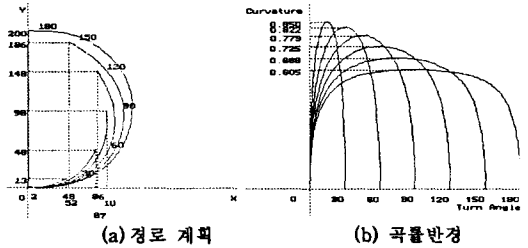
$$x = r \cos \phi$$

$$y = r \sin \phi$$

$$\theta = \theta_1 + \phi - \tan^{-1} \frac{\dot{r}}{r}$$

여기서, θ_1 는 출발 자세의 기울기이다.

다음 [그림 1] (a)는 회전 반경, R = 100(cm)인 여섯 개의 회전각에 대한 연속적인 곡률 반경을 갖는 SPP 곡선들이다. [그림 1] (b)는 (a)에 곡률 반경을 보여준다.



[그림 1] SPP의 경로 계획과 곡률반경

(회전 반경, R = 100)

SPP곡선은 회전각이 90°이하일 때 연속적인 곡률 반경을 갖으며 곡선 모양이 원호와 비슷하나 회전각이 90°이상으로 커지면 모양이 많이 이탈된다. 중간 부분의 원호 부분에 의해서 나누어진 두 개의 SPP곡선으로 SPP곡선을 대신한다. 회전각, θ 와 반지름, R의 경로를 계산해야 한다면 경로를 $\phi = 0$ 에서 $\phi = \beta$ 까지의 SPP, $\phi = \beta$ 에서 $\phi = \theta - \beta$ 까지의 원호, 그리고 $\phi = \theta - \beta$ 에서 $\phi = \theta$ 까지의 SPP의 세 부분으로 나눈다.

식(2-9)에 대한 첫 부분의 위치, 기울기, 그리고 곡률 반경의 제약 조건들

$$\begin{aligned} r &= R, \quad \dot{r} = 0, \quad k = 0 \text{ at } \phi = 0 \\ r &= R_b, \quad \dot{r} = 0, \quad k = \frac{1}{R_b} \text{ at } \phi = \beta \end{aligned} \quad (2-17)$$

여기서, $\dot{r} \equiv \frac{dr}{d\phi}$, 그리고 k는 r의 곡률 반경이다.

이러한 식(2-17)의 경계 조건들을 만족하는 첫 부분의 SPP는

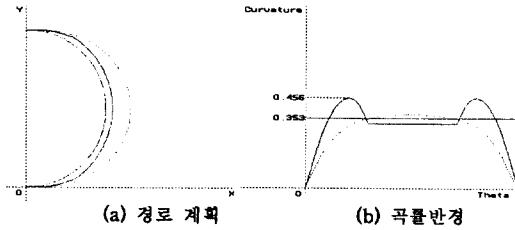
$$r(\phi) = R \left(1 + \frac{\phi^2}{2} - \frac{\phi^3}{2\beta} + \frac{\phi^5}{10\beta^3} \right) \quad (2-18)$$

여기서, β 는 분리각(break angle)이고, 분리각, β 와 반지름 R_b 는 다음의 조건을 만족한다.

$$\beta^2 = 10 \left(\frac{R_b}{R} - 1 \right) \quad (2-19)$$

세 부분중 두 번째 부분은 반지름이 R_b 인 원호이고, 마지막 부분은 식(2-18) SPP에서 ϕ 대신에 $(\theta - \phi)$ 를 대입하여 얻어진 SPP가 된다. [그림 2] (a)에선 회

전 반경, $R = 100$ 인 회전각, $\theta = 180^\circ$ 에 대한 경로 계획
계획을 보여주는 그림이고 [그림 2] (b)는 그 경로 계획
에 대한 곡률 반경의 변화를 보여준다.



[그림 2] 수정된 SPP의 경로 계획과 곡률반경

(회전 반경, $R = 100$ & 회전각, $\theta = 180^\circ$)

2.3.Cubic Spirals

매끄러운 경로 계획의 문제에 있어서, 대칭적인 자
세에 대한 간단한 경로 함수의 하나로써 Cubic Spiral
함수가 있다[7].

일정한 길이, l 와 연속적인 곡률 반경 함수, k 의 한
쌍인 (l, k) 로 경로, Π 를 정의한다. 그 접선 방향 함수 θ
는

$$\theta(s) = \int_0^s x(t) dt, \quad \frac{-l}{2} \leq s \leq \frac{l}{2} \quad (2-20)$$

가 된다. 따라서 경로, Π 의 X-Y좌표, $(x, y) = (x(s), y(s))$ 는

$$x = x(s) = \int_0^s \cos \theta(t) dt \quad (2-21)$$

$$y = y(s) = \int_0^s \sin \theta(t) dt$$

가 된다.

매끄러운 정도를 나타내기 위한 경로의 cost 함수를
다음과 같이 정의한다.

$$\text{cost}(\Pi) = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (k)^2 ds = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (\dot{\theta})^2 ds \quad (2-22)$$

이 cost 함수를 최소화하는 경로를 구하면 된다. 길
이 l 이 고정되었을 때 아래의 경로 함수는 식(2-22)의
cost 함수를 최소화한다.

$$\dot{\theta}(s) = \frac{1}{2} As^2 + Bs + c \equiv k(s) \quad (2-23)$$

$$\theta(s) = \frac{1}{6} As^3 + \frac{1}{2} Bs^2 + Cs + D$$

여기서, $A, B, C,$ 그리고 D 는 적분상수이다. 이러한
Cubic Spirals의 집합을 특성 지을 필요가 있으므로 함
수의 정의에 의해 곡률 반경 함수, $k(s)$ 는

$$k(s) = c \left(\frac{l^2}{4} - s^2 \right), \text{ for } s \in \left[-\frac{l}{2}, \frac{l}{2} \right] \quad (2-24)$$

가 된다. 여기서 c 는 상수이다.

단위 길이를 갖는 Cubic Spiral을 표준(standard)이라
하고, 회전각이 θ 인 표준 Cubic Spiral의 크기를 $D(\theta)$ 라
한다.

$$D(\theta) = s \int_0^{\frac{\theta}{2}} \cos \left(\theta \left(\frac{3}{2} - 2s^2 \right) s \right) ds \quad (2-25)$$

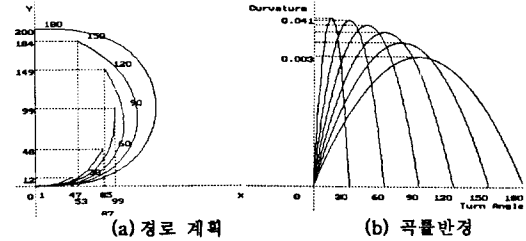
회전각, θ 와 거리, d 를 갖는 일반적인 Cubic Spiral Π
의 길이, 곡률 반경, 그리고 cost는 다음과 같다.

$$l = \frac{d}{D(\theta)} \quad (2-26)$$

$$k(s) = 6c \frac{D(\theta)^3}{d^3} \left(\frac{d^2}{4D(\theta)^2} - s^2 \right) \quad (2-27)$$

$$\text{cost}(\Pi) = 12c^2 \frac{D(\theta)^3}{d^3} \quad (2-28)$$

다음 [그림 3] (a)는 Polynomial Curve에서와 마찬가
지로 회전 반경, $R = 100$ 인 여섯 개의 회전각에 대한
연속적인 곡률 반경을 갖는 Cubic Spiral 함수의 경로
이고, [그림 3] (b)는 이 경로에 대한 연속적인 곡률 반
경을 보여준다.



[그림 3] Cubic Spiral의 경로 계획과 곡률반경

(회전 반경, $R = 100$)

이상에서 네 가지의 경로 계획 방법에 대해 알아보았다.
Circular Arc는 그 경로가 가장 간단한 모양을 보이지만 곡
률 반경이 그림에서 본 것처럼 일정한 상수를 가짐으로 직
선과 연결 부분에서 불연속성을 보인다. 이 불연속적인 곡
률 반경은 매끄럽지 못한 로봇의 이동을 초래한다. 즉, 일
호는 비록 경로가 가장 간단한 모양을 보여 주지만 연속적
인 곡률반경을 보장하지 못하므로 로봇의 이동 경로 계획
의 방법으로는 부적합하다. 다음의 이론들 중에서 그 경로
의 계획이 원호와 가장 유사하면서 동시에 연속적인 곡률
반경을 보장하는 방법을 택하면 된다. Polynomial Curve,
수정된 다항 곡선, 그리고 Cubic Spiral은 각 그 곡률 반경
이 연속적임을 보인다. 그리고 [그림 3]에서와 같이 수정된
다항 곡선이 그 경로가 가장 원호에 가까움을 또한 볼 수
있다. 따라서 경로가 가장 간단하고 또한 연속적인 곡률 반
경을 보장하는 수정된 다항 곡선을 가지고 다음 장에서 궤
적 생성을 하고자 한다.

3. 기구학적 성질을 고려한 경로 계획

3.1.기구학적 성질

2장에서 비교 검토된 경로 계획 방법들을 실제 로봇
인 HERO에 적용하여 궤적을 생성하기 위해선 로봇의 기
구학적 성질을 알아야 할 필요가 있다. HERO의 기구학적인
모양은 [그림 4]에 나타나 있듯이 몸체 아래 부분에 세개의
바퀴를 갖는다. 앞바퀴 하나와 뒷 바퀴 둘을 갖는데 뒷바퀴
들은 아무런 동력 없이 조향축이 고정된 채로 앞 뒤로의 굴
림만이 가능하고, 반면 나머지 하나인 앞바퀴는 구동 및 조
향을 동시에 한다. 따라서 앞바퀴의 구동 속도, v 와 조향
속도, u 에 의해 이 이동 로봇 HERO의 이동 궤적이 결정
된다. 그러므로 HERO는 v 와 u 의 두개의 자유도를 갖는다.
그리고 이 두 자유도는 HERO의 기구학적 모양새에 의해
다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} v &= R_w \omega \\ u &= \alpha \end{aligned} \quad (3-1)$$

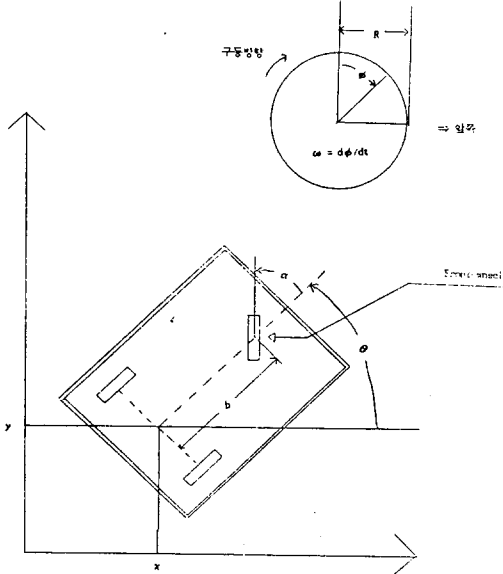
여기서, R_w 는 앞바퀴의 반지름, ω 는 앞바퀴의 각속도, 그
리고 α 는 앞바퀴의 조향각이다.

자유도, v 와 u 로부터 로봇의 다음 순간 진행 방향
(heading) θ 의 변화량과 위치 (x, y) 의 변화량을 아래와 같이
구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \frac{1}{b} v \sin \alpha \\ \dot{x} &= v \cos \theta \cos \alpha \\ \dot{y} &= v \sin \theta \cos \alpha \end{aligned} \quad (3-2)$$

여기서, b는 앞바퀴의 중심과 뒷바퀴들의 중심축 간의 거리이다. 첫식 (3-1)과 (3-2)에서 다음과 같은 기구학식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \alpha \\ \sin \theta \cos \alpha \\ 1/b \sin \alpha \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \omega \quad (3-3)$$



[그림 4] 이동 로봇의 기구학적 모양

3.2. 기구학적 제약 조건

로봇 HERO는 식 (3-3)에서의 같은 기구학적인 성질을 갖는데 다음과 같은 기구학적인 제약 조건(kinematic constraint)을 또한 가지고 있다. 우선 식 (3-3)에서 위치 변화량인 (\dot{x}, \dot{y}) 를 다음과 같이 정리하고

$$\begin{aligned} \frac{\dot{x}}{\cos \theta} &= v \cos \alpha \\ \frac{\dot{y}}{\sin \theta} &= v \cos \alpha \end{aligned} \quad (3-4)$$

다시 식 (3-4)의 우변이 같은 값을 가지므로

$$\begin{aligned} \dot{x} \sin \theta &= \dot{y} \cos \theta \\ \tan \theta &= \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \end{aligned} \quad (3-5)$$

으로 정리가 된다. 즉 HERO의 실제 궤적 생성은 이러한 기구학적 제약 조건을 만족해야 한다. 2장에서 검토된 바 있는데 경로 계획 방법들은 이러한 제약 조건을 만족시켜야 하는 것이다.

3.2. 기구학적 성질을 이용한 경로 계산

이번 절에서는 앞 절에서 살펴본 HERO의 기구학적 성질을 고려한 실제 로봇의 경로를 계산한다. HERO의 모든 진행 움직임을 좌우하는 것은 앞에서 살펴본 두개의 자유도이다. 따라서 로봇의 자유도인 구동 속도와 조향 속도를 구할 수 있다면 이 로봇은 실제 궤적을 생성할 수 있는 것이다.

우선 식 (3-3)의 위치 변화량들을 제공하여 정리하면,

$$x^2 + y^2 = \frac{v^2 \cos^2 \alpha (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)}{v^2 \cos^2 \alpha} \quad (3-12)$$

즉, 다시 정리하면

$$v \cos \alpha = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3-13)$$

가 되고, 식 (3-13)와 식 (3-3)의 진행 방향 변화량에 관한 식,

$$\dot{\theta} b = v \sin \alpha$$

을 다시 제공하여 더한다.

$$v^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = x^2 + y^2 + \dot{\theta}^2 b^2 \quad (3-14)$$

이 식 (3-14)으로부터 구동 속도, v를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$v = \sqrt{x^2 + y^2 + \dot{\theta}^2 b^2} \quad (3-15)$$

따라서 조향각, α 는 식 (3-13)에 식 (3-15)의 구동 속도를 대입하여 정리하여 다음과 같이 유도된다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + \dot{\theta}^2 b^2}} \right) \quad (3-16)$$

또는 곡률 반경, k로 표현을 할 수 있다. 식 (3-16)에서 제곱근 안에서 분자와 분모를 $(x^2 + y^2)$ 로 나누면,

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\dot{\theta}^2 b^2}{x^2 + y^2}}} \right) \\ &= \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{1}{1 + k^2 b^2}} \right) \end{aligned} \quad (3-17)$$

으로 표현된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 현재의 자세에서 바로 다음 자세로의 변화량들, 위치와 기울기의 변화량을 안다면 그 변위만큼의 이동을 위한 앞바퀴 구동 속도, v와 거기에 따르는 조향각, α 를 식 (3-16)과 (3-17)에서 계산한다.

4. 시뮬레이션 및 그 결과

이번 4장에서선 이러한 일련의 이동 로봇 HERO의 기구학적인 성질을 충분히 고려한 경로 계획을 실행함으로써 이동 로봇을 위한 이동 궤적 생성을 보이고자 한다.

시뮬레이터에서 로봇의 초기 자세는 $(0, 0, 90^\circ)$ 이다. [그림 6]과 [그림 7]에서 볼 수 있듯이 이 시뮬레이터는 명령어들을 읽어 들이고 이를 수행한 결과 데이터들을 보여준다. 그리고 이러한 시뮬레이션의 흐름은 [그림 5]의 흐름도에 대략적으로 나타난다.

4.1. 사용된 함수들

이번 절에서는 이러한 시뮬레이션을 하는데 사용된 몇 가지 함수들을 소개하고자 한다.

Initial()함수는 시뮬레이션에 필요한 각종 자료들을 초기화한다.

SetBackgnd()함수는 작업장을 정의하고 화면으로 보여준다.

GoHero()함수는 입력된 데이터를 가지고 도착 자세를 향해 로봇이 움직인다.

ResetHero()함수는 이미 수행된 모든 데이터들을 다시 초기화 시킨다.

SetHero()함수는 계산된 로봇에 관련된 데이터로 로봇을 set한다.

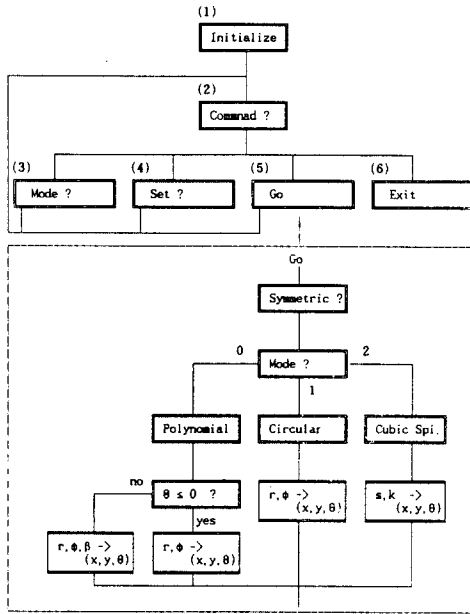
DrawHero()함수는 set된 로봇을 그린다.

PolynomialPath()함수는 Polynomial Curve 경로 계산법과 관련된 각종 계산을 수행한다.

CircularPath()함수는 Circular Arc 경로 계산법과 관련된 각종 계산을 수행한다.

CubicPath()함수는 Cubic Spiral 경로 계산법과 관련된 각종 계산을 수행한다.

Simpson()함수는 수치 계산법 중 하나인 적분을 해준다.



[그림 5] 시뮬레이션의 간단한 흐름도

4.2. 명령어

시뮬레이션하는데 필요한 몇가지 명령어들을 이 절에선 소개한다. 앞에서 소개된 것처럼 화면 상에 작업장 바로 아래에 있는 길다란 네모 상자가 명령어 상자이다. 다음에 살펴볼 명령어들은 이 상자를 통해 입력된다.

Command ? Mode 경로 계획 방법을 설정한다.

Mode Value	Path Planning Method
0	Polynomial Curve
1	Circular Arc
2	Cubic Spiral

표 4-1. mode값에 따른 경로 계획 방법

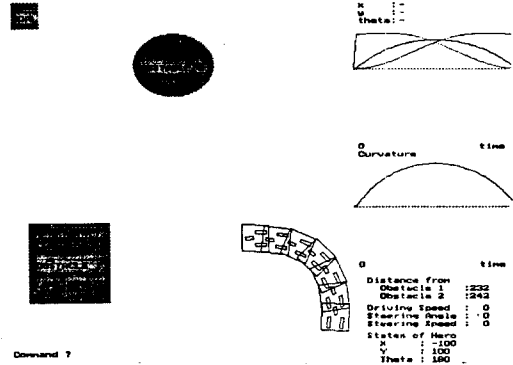
Command ? Set 도착 자세를 입력한다.

Command ? Go 도착 자세를 향해 로봇이 움직이게 한다.

Command ? Exit 작업을 마치고 OS환경으로 나간다.

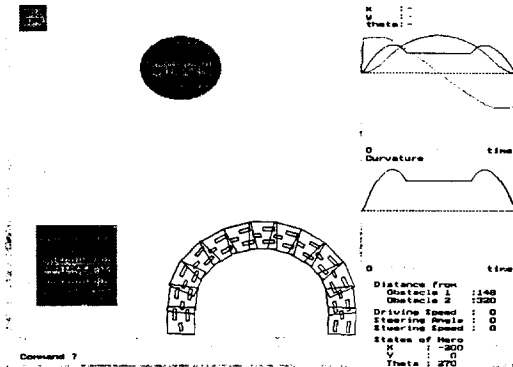
이상에서 시뮬레이션 프로그램에 사용된 몇 가지 함수들과 프로그램 실행에 필요한 명령어들을 알아보았다. 아래

[그림 6]은 회전 반경, $R=100(\text{cm})$ 와 회전각, $\theta = 90^\circ$ 인, 로봇의 기구학적 제약조건이 충분히 고려된 수정된 다항 곡선(SPP) 경로 계획 방법에 의한 궤적의 생성이다. 그 다음 [그림 7]은 회전각, $\theta = 180^\circ$ 인 궤적의 생성이다.



[그림 6] 기구학적 제약조건이 고려된 시뮬레이션

($R=100, \theta = 90^\circ$)



[그림 7] 기구학적 제약조건이 고려된 시뮬레이션

($R=100, \theta = 180^\circ$)

5. 결론 및 추후 과제

이동 로봇의 궤적 생성을 위한 경로 계획시 그 경로의 곡률 반경은 연속적이어야 한다. 왜냐하면 곡률 반경의 불연속성은 이동 로봇의 조향능력을 벗어나게 하기 때문이다. 이런 이유로 이동 곡선 이동을 하기 위해 로봇이 멈췄다간다면 그건 또 로봇의 효율적인 이용 측면에서 나쁘다. 따라서 본 논문에서는 연속적인 곡률 반경을 가지면서 또한 그 경로가 원호에 근접한 경로를 결정하였다. 그리고 로봇의 기구학적 성질을 조사하고 그 기구학적 제약조건을 충분히 고려하여 로봇의 궤적을 생성하였다.

이러한 이동 로봇의 궤적의 생성은 로봇 이동의 기본 움직임이 되기 때문에 이를 기본으로 충돌 회피와 같은 지능적인 주행이 가능하도록 해야 한다.

참고문헌

- [1] J.L. Crowley, "Navigation for an intelligent mobile robot", IEEE J. of Robotics & Automation, vol. RA-1, No.1, pp 31 - 41, 1985
- [2] A.M. Flynn & R.A. Brooks, "MIT mobile robots - What's next ?", Proc. of 1988 ACC, pp 611 - 617, 1988
- [3] R. Kuo & B. Barshan, "Naviating Vehicles through an unstructured environment with sonar", Proc. of IEEE Robotics & Autom. Conf., pp. 1422 - 1426, 1989
- [4] J. Crowley, "Asynchronous Control of orientation and displacement in a robotics & Autom. Conf., pp. 1277 - 1282, 1989
- [5] G. Wilfong, "Shortest paths for autonomous vehicles", Proc. of IEEE Robotics & Autom. Conf., pp. 15 - 20, 1989
- [6] P. Jacobs & J. Canny, "Planning smooth paths for mobile robots", Proc. of IEEE Robotics & Autom. Conf., pp. 2 - 7, 1989
- [7] Y. Kanayama & B. Hartman, "Smooth local path planning for autonomous vehicles", Proc. of IEEE Robotics & Autom. Conf., pp. 1265 - 1270, 1989
- [8] W. Nelson, "Continuous-curvature paths for autonomous vehicles", Proc. of IEEE Robotics & Autom. Conf., pp. 1260 - 1264, 1989
- [9] Y. Kanayama & S. Yuta, "Vehicle path specification by a sequence of straight lines", IEEE J. of Robotics & Autom., pp. 265 - 276, 1988
- [10] P. Muir, "Modeling and control of wheeled mobile robots", Ph.D. Thesis, CMU, 1988
- [11] Ingeman J. Cox, "Blanche - An experiment in guidance and navigation of an autonomous robot", IEEE Transactions on Robotics & Automation, vol. 7, No. 2, April 1991
- [12] Yilin Zhao & Spencer L. Bement, "Kinematics, dynamics and control of wheeled mobile robots", Proc. of IEEE Inter. Conf. on Robotics & Automation Nice, France, May 1992
- [13] H. Delingette, M. Hebert & K. Ikeuchi, "Trajectory generation with curvature constraint based on energy minimization", IEEE/RSJ inter. Workshop on Intelligent Robots & Systems IROS '91, Nov. 3-5, 1991