방향이탈각을 이용한 구륜보정을 위한 실험

노택종, 문종우, 박종국
경희대학교 전자공학과
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 449-701
vincent3@hanmail.net

Experiment for Modification of wheel-radius using Curvature

Taek-Jong Lho, Jong-Woo Moon, Chong-Kug Park
Department of Elecrtonic Engineering, Kyung Hee University, 449-701

Abstract

Unequal wheel-radius causes odometry errors which may be increased unbounded. This paper deals with the practical method for modification of wheel-radius through experiments. This can increase the robot's odometric accuracy. Experimental results are presented that show improvement of odometric accuracy.

1. 서론

균일한 고품질의 대량생산과 위험한 작업환경에서의 작업수행을 위해 로보트 매니퓰레이터가 이용되고 있다. 그러나 매니퓰레이터는 고정된 위치에서 작업을 수행하므로 작업 반경이 제한되며 일련의 공정을 수행하기 위해 다수의 매니퓰레이터가 요구되는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 이동 기능을 겸비한 다기능 로보트가 필요함에 따라 구륜 이동로보트(Wheeled-Mobile-Robot, WMR)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 구륜 이동로보트의 기하학적 특성을 고려한 기구학 모델을 유도한다. 좌우 구륜의 해를 구하기 위해 최소 자승해(least-squares solution)를 이용한다. 일반적으로 구륜 이동로보트의 현위치는 구동기에 부착된 엔코더의 회전수에 의해 결정된다. 그러나 엔코더는 구륜의 회전수만을 감지하므로 구륜 반경의 불일치로 인한 오차는 감지될 수 없다. 이러한 주행오차는 주행거리에 비례하여 추적되므로 장거리 주행시 상당한 위치오차를 유발시킬 수 있다. 또한 구륜반경의 불일치로 인하여 WMR는 경로설계기에 의해 명시된 기준궤적을 수행할수 없다. 좌우 구륜의 반경이 일치하지 않을 경우 구륜 이동로보트는 일정한 곡률(Curvature)에 따라 좌 또는 우측으로 치우치게 된다. 이러한 곡률과 방향이탈각은 구륜반경의 불일치에 기인한 것이다. 본 논문에서는 곡률과 방향이탈각을 이용하여 양 구륜의 실제적인 반경을 구한다. 구륜보정에 의한 정밀도의 향상을 보이기위해 구륜반경을 보정하기위한 전·후의 실험결과를 제시한다.

2. 기구학

기구학(kinematics)은 WMR의 본체와 구륜 사이의

동작관계를 나타낸다. 정기구학(forward kinematics)은 엔코더에 의해 측정된 구륜 속도로부터 본체의 속도를 계산한다. 역기구학(inverse kinematics)은 기준궤적으로 명시된 본체속도를 구현하기 위해 요구되는 구동구륜의 속도를 계산한다. 본 논문에서 고찰대상이 되는 2 자유도 구륜 이동로보트의 구조는 그림 1과 같다. 2개의 전륜은 2개의 독립된 구동기에 의해 구동되는 구동구륜(driven wheels)이며 1개의 후륜은 보조구륜(castor)이다. WMR의 동작분석을 위해 WMR를 구성하는 각 구성요소의 양끝 또는 질량중심에 좌표계를 할당한다. 여기서 F 는 고정기준 좌표계이고 B는 본체의 질량중심에 할당된 본체 좌표계이다. 기구학 모델링의 단순화를 위해 WMR는 평지에서 이동하며 구륜의 미끄러짐은 발생하지 않는다고 가정한다[1].

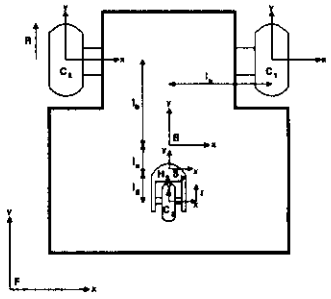

그림 1. 2자유도 구륜이동 로보트
Fig.1 wheeled-mobile robot with 2 d.o.f

모델링 과정의 단순화를 위해 순간일치 좌표계를 정의한다. 임의의 좌표계 A에 대한 순간일치 좌표계 $\overline{A}$ 는 A와 동일한 위치와 방향을 갖지만 상대속도 및 상대 가속도는 0이 아니다. 순간일치 좌표계를 정의함으로서 WMR의 구륜과 본체의 속도 및 가속도를 WMR의 위치에 대해 독립적으로 명시할 수 있다.

그림 1의 매개변수를 이용하여 좌표변환 행렬 ${}^{F}T_{B}$, ${}^{F}T_{\overline{C}}$, ${}^{F}T_{C_i}$, ${}^{F}T_{B}$, ${}^{F}T_{C_i}$ 를 구할 수 있다. 자코비안행렬은 다음과 같은 연속적인 변환행렬을 이용하여 구할 수 있다[2].

$$ {}^{\overline{B}}\Pi_{B} = {}^{F}T\,{}^{\overline{B}}_{B}T^{-1}\,{}^{B}T_{C_i}\,{}^{\overline{C_i}}T_{C_i}\,{}^{B}T^{-1}_{C_i}\,{}^{\overline{C_i}}T_{C_i}\,{}^{B}T^{-1}_{C_i} \qquad (2\text{-}1) $$

그림 1의 매개변수와 식(2-1)로부터 본체속도와 구륜 속도 사이의 관계를 구할 수 있다.

$$ \begin{bmatrix} {}^{B}v_{B_x} \\ {}^{B}v_{By} \\ {}^{\overline{B}}\omega_{B_z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ R & (-l_a)^{j+1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^{A_j}\omega_{W_j} \\ {}^{C_i}\omega_{W_j} \end{bmatrix} $$

$$ {}^{B}\dot{P}_{B} = J_j \cdot q_j \qquad (j=1,2) \qquad (2\text{-}2) $$

${}^{\overline{B}}v_{b_x}$ 와 ${}^{\overline{B}}v_{b_y}$ 는 본체 속도의 x , y 방향 성분이며, ${}^{\overline{B}}\omega_{B_z}$ 는 본체의 회전속도이다. ${}^{\overline{C_i}}\omega_{C_{ix}}$ 는 접촉면에서 각 구륜의 z축을 중심으로 한 회전속도를 나타내며, ${}^{A_j}\omega_{C_{ix}}$는 구륜 구동축에 대한 구륜의 회전속도를 나타 낸다. ${}^{\overline{C_i}}\omega_{C_{ix}}$ 는 좌우 구륜의 오차에 의해 발생되는 종속적인 비구동성분이므로 구륜 이동로보트가 기준궤적을 추적 하도록 하기 위해서는 독립적인 구동성분을 구해야 한다.

3. 구륜 반지름의 보정

구륜 이동로보트는 역기구학에서 계산된 양 구륜 속도에 의해 기준궤적을 추적한다. 그러나, 실제 상황에서 구륜 이동로보트는 구륜 반경의 불확실성으로 인하여 명시된 기준궤적을 정확히 수행할 수 없다. 즉 좌구륜의 반지름이 우구륜의 반지름보다 클 경우, 구륜 이동로보트는 우측으로 회전 이동하게 된다. 따라서 구륜 이동로보트의 실제 주행을 위해서는 구륜 반지름의 보정은 필수적이다. 본 논문에서는 구륜 반지름의 보정을 위해 구륜 하중을 도입한다. 기준궤적이 직선 궤적으로 주어질 경우, 양 구륜의 반지름이 동일하다면 구륜 이동로보트는 직선궤적을 추적할 수 있다. 그러나 양 구륜의 반지름이 일치하지 않을 경우,

구륜 이동로보트는 좌 또는 우측으로 치우치게 된다. 따라서 이러한 이탈각을 이용하여 구륜이동 로보트의 반지름의 차를 구할 수 있게 된다. 구륜 이동로보트의 양구륜의 반지름이 일치하지 않을 경우에 발생하는 동작을 그림 2에 나타내었다

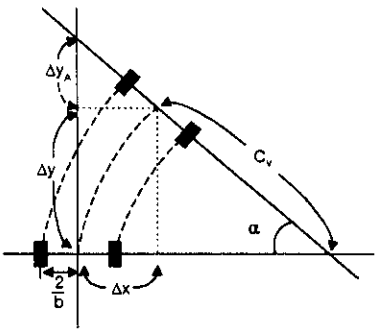

그림 2. 구륜 반지름이 일치하지 않을 경우의 동작
Fig. 2 Motion with the inconsistent wheel radius

b : 차축 변위 α : 곡률각
C_V : 곡률

엔코더에서 발생되는 1펄스당 이동거리는 다음과 같다

$$\Omega = \frac{2\pi R \cdot g}{N} \text{ meter/count} \qquad (3\text{-}1)$$

여기서 R은 구륜반지름을, g는 기어비(gear ration)을, N은 엔코더의 해상도를 나타낸다. 따라서 좌우구륜에 대한 이동거리는 다음과 같다.

$$\Delta S_{L,R} = \Omega \cdot C_T$$

여기서 C_T는 주행동안 발생된 펄스의 수이다.
그림 2로부터 곡률각은 다음과 같다.

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{\Delta y_A}{\Delta x} \qquad (3\text{-}2)$$

주행거리에 따른 곡률각은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\Delta S_L - \Delta S_R}{b} \qquad (3\text{-}3)$$

(3-1)~(3-3) 식으로부터 곡률각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{2\pi g \Omega}{N}(R_L - R_R)/b \qquad (3\text{-}4)$$

구륜반경을 상대적 크기로 나타내기 위해 다음과 같이 정의되는 구륜하중을 도입한다.

$$W_T = \frac{R_R}{R_L} \qquad (3\text{-}5)$$

식 (3-4)를 이용하여 구륜하중은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = 1 - \frac{Nb\tan^{-1}\frac{\Delta y_A}{\Delta x}}{2\pi\Omega R_L} \qquad (3\text{-}6)$$

구륜하중을 이용하고 우구륜의 크기를 좌구륜의 크기로 나타낼 수 있다.

$$R_R = W_T \cdot R_L$$

4. 시스템 개요

구륜 이동로보트를 구동시키기 위한 제어 시스템을 그림 3에 나타내었다. 구륜 이동로보트는 센서에서 얻어진 정보에 기초하여 일련의 제어 알고리즘을 수행함으로써 제어입력을 계산하며, 결정된 제어 입력을 구동기에 입력하기 위해 제어신호를 전압 또는 전류로 변환하는 과정이 필요하다. 이를 위해 부동소수점 연산을 포함한 많은 양의 계산이 요구된다. 특히 부동소수점을 포함한 삼각함수의 계산은 일반적으로 수 msec 단위의 계산시간을 필요로 하므로 계산량은 시스템의 실시간 제어에 절대적인 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 호스트 컴퓨터(host computer), 마이크로 콘트롤러(micro controller), 모터 제어기(motor controller)로 구성되는 구동 시스템을 구성하여 계산을 분산시키는 방법을 채택하였다. 호스트 컴퓨터는 부동소수점 연산을 포함하여 본 연구에서 제시된 일련의 알고리즘을 수행하며, 계산시간을 단축시키기 위하여 펜티엄급의 노트북 컴퓨터를 탑재하였는데 8bit 병렬포트(parallel port)와 직렬포트(serial port)를 통하여 80C196KC와 통신하면서 알고리즘 수행에 필요한 가속도 및 속도, 위치에 대한 정보를 구한다.

5.실험 및 고찰

본문에서 제시된 구륜 보정방법에의한 주행 정

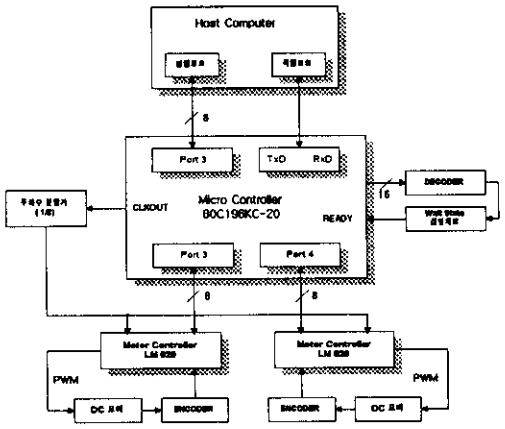

그림 3. 제어 시스템

Fig. 3 Control system

밀성의 향상을 보이기 위해 실험을 수행한다. 실험에 사용된 엔코더의 해상도는 900펄스/회전 이며 기어비는 1이다. 구륜의 미끄러짐(slippage)을 방지하기 위해 가속도는 0.101 rev/sec, 속도는 0.523 rev /sec로 하였고 총 1.809 m(8회전)을 이동하게 하였다. 구륜보정을 수행하기전의 주행을 그림 4에 나타내었다. 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

$$\Delta x = 2.525\,\text{cm}\ ,\ \Delta y_A = 1\,\text{mm}$$

식(3-2)로부터 곡률각은 다음과 같이 구해진다.

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{0.1}{2.525} = 0.0396\ (\text{rad})$$

식(3-6)으로보트 구륜하중은 다음과 같이 구할수 있다.

$$W_T = 1 - \frac{900\times 37.2\times\alpha}{2\pi\times 900\times 8\times 3.6} = 0.9919$$

따라서 좌구륜에 대한 우구륜의 상대적 크기는 다음과 같다.

$$R_R = 0.9919\times 3.6 = 3.5707\,\text{cm}$$

우구륜의 크기를 3.5707cm로 하였을때의 주행을 그림 5에 나타내었다. 그림 5로부터 WMR의 기준궤적 추적이 향상되었음을 알 수 있다.

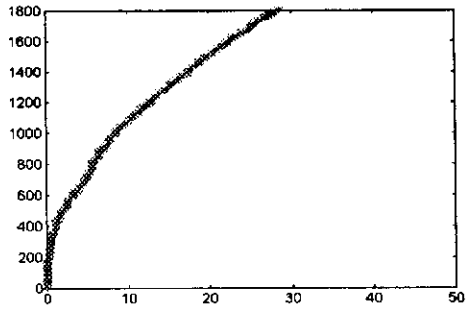

그림 4. 구륜 보정 전의 경로추적

Fig. 4 Path-tracking with uncomplemented wheels

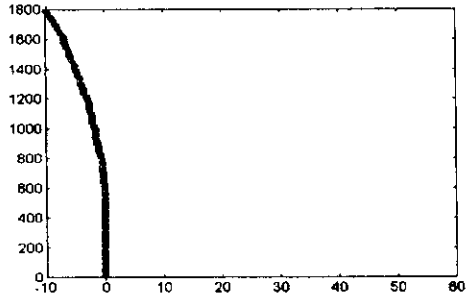

그림 5. 구륜 보정 후의 경로추적

Fig. 5 Path-tracking with complemented wheels

參考文獻

[1]C. Samson and K. Ait-Abderrahim, "Feedback control of nonholonimic Wheeled Cart in Cartsian Space," *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Auto.*, pp.1136- 1141, 1991

[2]B. d'Andrea-Novel, G. Bastin, and G. Campion, "Modeling andControl of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots," *IEEE Inter Conf on Robotics and Auto.*, pp.1130-1135, 1991

[3]Alberto Isidori, *Nonlinear Control*, Springer-Verlag, 2nd., pp.234-288, 1989

[4]Ilya Kalnanovsky, and N. Harris NcClamroch, "Development in Nonholonomic Control Problems,"