좌표계 전환기법을 활용한 모바일 로봇의 기구학 모델링

Kinematic Modeling of Mobile Robots by Transfer Method of Generalized Coordinates

김 도 형*, 김 희 국*, °이 병 주**

* 고려대학교 제어계측공학과(Tel : 82-41-860-1443; Fax : 82-41-865-1820; E-mail : wheekuk@tiger.korea.ac.kr)
** 한양대학교 전자컴퓨터공학부(Tel : 82-31-400-5218; E-mail : bj@email.hanyang.ac.kr)

Abstract : *Firstly, kinematic model of various type of wheels which includes skidding and skidding friction are presented. Tend, the transfer method of generalized coordinates which is useful to model the parallel mechanisms, can be applied to mobile robot by including such friction terms. Particularly, by appling the modeling method to mobile robot consisting of two conventional wheels and one caster wheel, forword/reverse kinematic modeling could be obtained without using pseudoinverse solutions.*

Keywords : kinematic modeling, mobile robot,

1. 서론

모바일 로봇에 주로 사용되는 바퀴는 크게 conventional wheel, centered orientable wheel, off-centered orientable wheel("caster wheel"), Swedish wheel로 요약될 수 있다.[1] conventional wheel이나 centered orintable wheel은 바퀴축 방향으로 운동이 제한되므로 기구학적으로 두 개의 자유도를 가지는 직렬 체인으로 모델될 수 있다. 반면에 caster wheel이나 Swedish wheel 또는 구형태의 바퀴는 모두 3 자유도를 가지는 직렬체인으로 모델될 수 있다.

문헌에서 이미 위와 같은 다양한 형태의 바퀴에 대한 기구학 모델과 이들에 대한 기구학 분석이 수행되었다.[2] 또한, 이러한 기법은 모바일 로봇의 기구학 모델링에 많이 활용되어 오고 있다.[3,4]

본 논문에서는 좌표계 전환기법을 활용할 수 있는 모바일 로봇의 각 직렬체인의 속도 관계식에 관한 모델을 제시하고 좌표계 전환기법을 활용하여 다양한 형태의 바퀴로 구성되는 전체 모바일 로봇의 구동 관절 속도와 출력속도사이의 속도관계식을 구하는 방법을 제시한다.

본 논문의 내용은 다음과 같이 요약된다. 먼저 바퀴의 마찰 속도를 포함한 직렬형 구조를 가지는 네 가지 형태의 바퀴에 대하여 모바일 로봇의 출력 속도 벡터와 각 바퀴의 관절 속도 벡터와의 기구학 및 역기구학 모델을 제시한다. 끝으로 두 개의 conventional 바퀴와 하나의 caster 바퀴로 구성되는 2 자유도 모바일 로봇에 이러한 모델링 방법을 적용하여 입출력 속도간의 정기구학 및 역기구학 관계식을 구한다.

2. 바퀴의 기구학 모델링

먼저 모바일 로봇의 출력 속도 벡터는 평면형 운동으로 제한된다는 가정한다. 그림 1과 같이 지면에 고정된 기준 좌표계와 몸체에 고정된 몸체 좌표계를 각각 ($\hat{X}$ $\hat{Y}$ $\hat{Z}$)와 ($\hat{x}_b$ $\hat{y}_b$ $\hat{z}_b$)라 하자. 그리고 바퀴축의 회전방향을 x축으로, 바퀴의 진행방향을 y축으로 하는 바퀴와 지면과의 접촉점에 위치한 접촉 좌표계를 (x_c, y_c, z_c)라 하자. 앞에서와 같이 모바일 로봇이 평면 운동으로 제한된다는 가정 하에서는 기준 좌표계의 $\hat{Z}$과 $\hat{z}_b$는 동일하다는 것을 알 수 있다. 그리고 모바일 로봇의 출력 속도 벡터는 몸체 좌표계로 표현한 몸체 좌표계 원점 O_b의 선형속도 $v_b = (v_{bx}\ v_{by})^T$와 몸체의 회전속도 ω로서 다음과 같이 정의하자:

$$\dot{u} = (v_{bx}\ v_{by}\ \omega)^T \tag{1}$$

2.1. Conventional wheel의 기구학 모델링

그림 1과 같은 모바일 로봇에 부착된 conventional 바퀴를 고려한다. 편의상, 그림에서와 같이 일반성의 결여 없이 $\hat{z}_w$와 $\hat{x}_b$는 평행하지만 방향이 다르도록 부착되었다고 가정한다 ($\hat{z}_w = -\hat{x}_b$). 바퀴의 중심점 O_w는 몸체 좌표계로부터 (x, y, z)의 위치에 부착되어 있다. v_w는 마찰속도가 없다고 할 때의 바퀴 중심점 O_w의 속도로서 아래와 같이 표현된다:

$$v_w = \dot{\theta}\,\hat{z}_w \times r\,\hat{z}_b \tag{2}$$

$\dot{\theta}$는 바퀴의 회전축 $\hat{z}_w$에 대한 회전 속도, $\dot{\eta}$는 기준 좌표계의 $\hat{Z}$축에 대한 바퀴의 회전속도, 그리고 v_{sk}와 v_{sl}은 각각 바퀴의 축 방향으로의 skidding 속도와 바퀴의 진행방향으로의 sliding 속도를 나타낸다. 실제로 이러한 두 방향의 마찰에 관련된 sliding이 없다고 가정하면 이러한 값들은 뒤따르는 해석 과정에서 언제든지 편의에 따라 $v_{sk}=0$ 이라는 조건과 $v_{sl}=0$ 이라는 조건이 활용될 수 있음을 유의하기 바란다. 그리고 그림으로부터 $\hat{x}_c = \hat{x}_b$, $\hat{y}_c = \hat{y}_b$임을 알 수 있다. 벡터 $\overrightarrow{O_wO_b}$는 몸체 좌표계로 표현된 바퀴축의 중심점 O_w로부터 몸체 좌표계의 원점 O_b까지의 위치벡터를 나타낸다:

$$\overrightarrow{O_wO_b} = -(x\,\hat{x}_b + y\,\hat{y}_b + z\,\hat{z}_b) \tag{3}$$

모바일 로봇의 몸체 속도와 회전 속도는 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$v_b = v_w + \dot{\eta}\,\hat{z}_b \times \overrightarrow{O_wO_b} + v_{sk}\,\hat{x}_c + v_{sl}\,\hat{y}_c \tag{4}$$

$$\omega = \dot{\eta} \tag{5}$$

위 식을 모바일 로봇의 출력 속도 벡터와 바퀴의 마찰 속도를 포함한 관절 속도 벡터 $\dot{\phi}^* = (\dot{\eta}\ \ \dot{\theta}\ \ v_{sk}\ \ v_{sl})^T$에 대하여 정리하면

$$\dot{u} = [G^u_{\phi^*}]\,\dot{\phi}^* \tag{6}$$