Basic Homogeneous Transformation(BHT)을 이용한 이동로봇 기구학 모델링에 대한 연구

A Study on Modeling of Mobile Robot Using Basic Homogeneous Transformation(BHT)

°류 신 형, 이 기 철, 이 성 렬, 박 민 용

연세대학교 전기, 컴퓨터공학과(Tel : 82-02-361-2868; Fax : 82-02-312-2333 ; E-mail: redblue2000@hanmail.net)

Abstract : In this paper the systematic modeling method of general wheeled mobile robot is proposed. First we show how to describe kinematics properties of wheeled mobile robot in the method formulating constraint equations using Basic Homogeneous Transform(BHT) which is used mainly the kinematics modeling of manipulator, and, under assumption it's provided part of nullvector in given constraint equations, find kinematics model of mobile robot related to actuators in real robot.

Keywords :Basic Homogeneous Transformation, BHT, Mobile, Kinematics, Modeling

1. 서론

본 논문에서는 바퀴가 달린 일반적인 이동로봇의 체계적인 기구학적 모델링 방법을 제시한다. 바퀴가 장착된 이동로봇의 순시 운동 방정식은 비선형이며, 논홀로노믹 제약을 포함한다. 이러한 이동로봇의 기구학적 운동 방정식은 이동로봇에 부착된 바퀴의 제약 방정식(constraint equation)을 구하는 것으로부터 시작한다. 이동로봇의 제약 방정식은 순시 운동 제약(유동제약 혹은 파피안 제약)으로 나타난다. 이동로봇의 운동 방정식은 바퀴 제약 방정식의 속도 제약 여벡터에 수직인 벡터(소멸자 혹은 영분포상의 벡터)를 구하여 기저벡터(basis)로 사용하는 것이다. 기존의 연구들은 이동로봇의 운동 방정식을 구하는 과정에 대해서 구체적인 방법을 제시하고 있다[1]. 그러나 제약 방정식을 구하는 과정을 자동화하기 어렵거나 표준화하기 어려운 단점을 가지고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 제약 방정식을 구하는 과정에서 관절로봇 기구학 모델링에 널리 사용되는 Basic Homogeneous Transformation (BHT) [3][4][5]을 사용하여 이동로봇의 기구학 특징을 기술하는 방법을 제안한다. 이 방법은 이동로봇의 제약 방정식의 표현을 표준화할 수 있기 때문에 기존의 관절로봇에서 많이 사용하는 D-H 표현(Denavit - Hartenberg representation)과 같은 방법으로 기구학 파라미터만 가지면 제약 방정식을 표현할 수 있는 장점을 가지게 된다.

이어서 제약 방정식을 분석하고 속도 제약 여벡터에 수직인 영벡터(영분포상의 벡터)에 대해 알아본다. 이 수직인 영벡터를 임의로 구했을 경우 운동 방정식의 입력이 실제 로봇에 부착된 엑츄에이터(actuator)의 동작과 관계없는 경우가 많다. 본 논문에서는 위와 같은 경우에 실제 로봇에 부착된 엑츄에이터에 관계 있는 영벡터로 변환한다.

2. 바퀴 접촉면의 해석

바퀴가 달린 이동로봇은 바퀴의 회전에 의해 구동력을 얻고 있다. 본 장에서는 바퀴의 회전에 따른 바퀴와 접촉면사이의 기하학적인 관계를 알아본다.

유클리디안 3차원 공간상에서 $c\, U \subset R^2 \rightarrow R^3$ 같은 매핑을 통해 물체의 표면을 기술할 수 있다. 매핑 c는 2차원 공간상의 정의역의 요소를 3차원 공간상의 평면으로 대응해준다. 이런 매핑과 정의역을 요소로 갖는 집합을 Coordinate chart라고 하고 (c, U)로 표현한다. 일반적으로 임의의 3차원 공간상의 물체의 전체표면을 기술하기 위해서는 local coordinate chart를 여러 개를 조합할 필요가 있으나 이동로봇의 해석을 위해서 회전원판과 평평한 바닥에 대한 표면을 기술하는 것으로 하면 회전원판과, 바닥에 대해서는 각각 1개의 Coordinate chart만 있다고 생각할 수 있다. Coordinate chart로부터 물체의 표면과 접한 평면을 기술할 수 있다. 평면을 기술하는 것은 평면에 속한 두 개의 독립 기저벡터를 선형 조합하는 것으로 표현 가능하다.

$$c_u = \partial c / \partial u \ , \quad c_v = \partial c / \partial v \qquad \text{(식 2-1)}$$

물체의 표면 S가 정칙(regular)이라면 c_u, c_v가 반드시 직교하는 Coordinate chart가 존재한다. Coordinate chart에 대해 가우스 맵(N)은 각 점의 접평면에 수직인 단위 법선 벡터를 정의한다.

$$n = N(u, v) = \frac{c_u \times c_v}{|c_u \times c_v|} \qquad \text{(식 2-2)}$$

접평면을 기술하는 두 개의 기저벡터와 접평면에 수직인 벡터를 합해서 정규 가우스 좌표계(Normalized gauss frame)라고 한다.

$$[\,x \;\; y \;\; z\,] = \left[\, \frac{c_u}{\|c_u\|} \;\; \frac{c_v}{\|c_v\|} \;\; n \,\right] \qquad \text{(식 2-3)}$$

정규 가우스 좌표계는 물체의 표면을 기술하는 기준이 되는 접촉 좌표계(Contact frame)중에 특별한 경우의 정규 직교 좌표계(Orthonormal frame)이다. 물체 표면상에 움직이는 궤적($p(t)$)은 접촉 표면을 기술하는 접촉 좌표계의 변화를 가지고 표현할 수 있는데, 주된 관심사항은 어떻게 하면 접촉 좌표계의 움직임을 기하학적인 수식이나 파라미터로 나타낼 수 있는가 하는 것이다.

바퀴에 붙어 있는 좌표계는 F로 하고, 바닥에 붙어 있는 좌표계는 O로 한다. 또한 바퀴와 바닥의 접촉점에 붙어 있는 좌표계는 각각 c_f, c_o라고 하자. c_f, c_o는 물체 표면의 접촉면의 접촉점의 궤적($p_f(t)$, $p_o(t)$)에서 구해진 정규 가우스 좌표계와 일치한다.