

가상 매니플레이터 조작을 위한 3차원 입력장치 인터페이스

김창희, 김성현, 김기호

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

chkim3@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서는 미래형 사용후 핵연료 재변환 시설 개발의 일환으로 3차원 그래픽 기반의 PRIDE 시설의 디지털 목업 시스템을 개발하였다. 개발된 디지털 목업은 가상의 미래형 핵주기 시설(Advanced Fuel Cycle Initiative) 환경 내에서 각 공정장치의 3차원 그래픽 모델을 배치하고 원격작업을 수행할 마스터-슬레이브 매니플레이터(MSM), 천장 이동 조작기(BDSM), 크레인 등의 모델을 이용하여 각 공정장치 간의 기구학적인 간섭 여부 및 각 공정 간의 연계 과정 및 유지보수의 효율성 등을 설계 단계에서 사전에 평가할 수가 있다.

본 논문에서는 디지털 목업 내에 설치된 BDSM을 작업자가 용이하게 취급하기 위한 3차원 입력장치 인터페이스 및 이를 이용한 시뮬레이션에 대하여 기술하고 있다.

2. 본론

2.1 BDSM의 기구학적 특징

사용후 핵연료 처리 기술 개발의 일환으로 개발 중에 있는 BDSM은 손목부가 롤(roll)-피치(pitch)-롤(roll)의 형태로 설계되었으며 4번째 관절과 5번째 관절 사이에는 오프셋 거리 a_4 가 존재한다. 사용후 핵연료 변환시설에서 사용하게 될 BDSM은 마스터-슬레이브 형태로 관절 공간 기준으로 제어가 수행되므로 역기구학 해가 필요치 않으나 디지털 목업 시스템에서는 3차원 마우스의 입력값에 연계되어 가상의 BDSM이 구동되므로 직교좌표 공간의 3차원 마우스 값을 BDSM 관절 공간 값으로 매핑하기 위하여 역기구학 해가 필수적이다.

2.2 BDSM 역기구학 해석

그림 1은 관절값이 $[0, 0, 20^\circ, 90^\circ, 0, 0]$ 일 때의 BDSM의 자세를 보여 주고 있다. BDSM의 기구학적 특징을 고려하면 조건식 6개를 설정할 수

있고 P_2 및 P_4 의 미지수 6 개를 대입하면 수식적으로는 해를 구할 수 있으나 최소 4차 이상의 다항식으로 전개되어 해를 구하기가 용이하지가 않다.

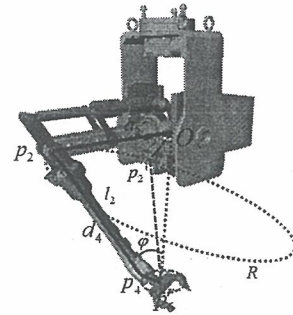


Fig. 1. BDSM의 자세

본 논문에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 원점 O 를 중심으로 반경이 a_2 인 구와 점 p_6 를 중심으로 반경이 $l_2^2 = d_4^2 + a_4^2$ 인 구가 접하여 생성되는 원 R 의 원주 상에 한 점(p_2')을 구하고 p_2' 을 이용하여 점 p_4 의 위치를 구한 후 점 O , p_2' , p_4 을 포함하는 평면의 법선 벡터의 z 축 성분이 0이 아닐 경우 원점과 점 p_6 를 연결하는 직선을 중심으로 p_2' 을 회전시키는 과정을 반복하여 p_2 의 위치를 구하고 이로부터 p_4 의 위치를 구한 후 이를 이용하여 각 관절의 값을 구하였다.

p_2' 의 좌표를 알 경우 p_2' 을 원점으로 하면 BDSM의 상부관절은 다음 그림과 같이 간략화시킬 수 있다. 여기에서 평면 P_2 는 점 p_2' , p_4 , p_6 를 포함하는 평면이고 평면 P_1 은 원 r 을 포함하는 평면이다.

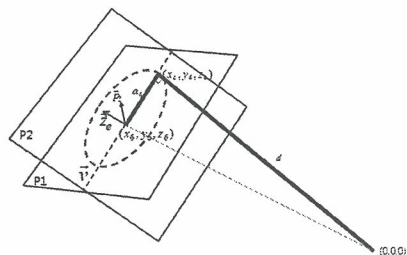


Fig. 2. BDSM의 상부 팔의 형태

평면 P₁의 방정식은 다음과 같다.

$$x_6x_4 + y_6y_4 + z_6z_4 = (d_4^2 + x_6^2 + y_6^2 + z_6^2 - a_4^2)/2$$

평면 P₂의 방정식은 다음과 같다.

$$\vec{v} = \vec{t} \times \hat{h}_3 = \begin{bmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_{13} \\ h_{23} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_6h_{33} - z_6h_{23} \\ z_6h_{13} - x_6h_{33} \\ x_6h_{23} - y_6h_{13} \end{bmatrix}$$

평면 P₁과 P₂가 교차하는 직선은 다음과 같다.

$$\vec{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} \equiv \vec{t} \times \vec{v} = \begin{bmatrix} \hat{x}_6 \\ \hat{y}_6 \\ \hat{z}_6 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{y}_6v_3 - \hat{z}_6v_2 \\ \hat{z}_6v_1 - \hat{x}_6v_3 \\ \hat{x}_6v_2 - \hat{y}_6v_1 \end{bmatrix}, \quad \frac{x - \hat{x}_6}{w_1} = \frac{y - \hat{y}_6}{w_2} = \frac{z - \hat{z}_6}{w_3} = s$$

따라서 점 p₄는 다음과 같다

$$\begin{aligned} x_4 &= sw_1 + a' \equiv p_x \\ y_4 &= sw_2 + b' \equiv p_y \\ z_4 &= sw_3 + c' \equiv p_z \end{aligned}$$

위의 과정을 통하여 점 p₄의 위치를 찾아내면 BDSM의 각 관절값들은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} q_1 &= \text{atan2}(p_y, p_{4x}) \\ s_3 &= \frac{d_4^2 + a_2^2 - p_{4z}^2 + (c_1p_{4y} - s_1p_{4x})^2 - (s_1p_{4y} + c_1p_{4x})^2}{2d_4a_2} \\ c_3 &= \pm \text{sqrt}(1 - s_3^2) \\ q_3 &= \text{atan2}(s_3, c_3) \\ s_{23} &= \frac{a_2c_3(c_2p_{4y} + s_1p_{4y}) + (a_2s_3 - d_4)p_{4z}}{(c_2p_{4x} + s_2p_{4y})^2 + p_{4z}^2} \\ c_{23} &= \frac{a_2c_3}{p_{4z}} \frac{(c_1p_{4x} + s_1p_{4y})(a_2c_3(c_1p_{4x} + s_1p_{4y}) + (a_2s_3 - d_4)p_{4z})}{((c_1p_{4x} + s_1p_{4y})^2 + p_{4z}^2)p_{4z}} \\ q_{23} &= \text{atan2}(s_{23}, c_{23}) \\ q_2 &= q_{23} - q_3 \\ q_4 &= \text{atan2}(\xi r_{13} - c_1r_{23}, (c_1s_{23}r_{13} + s_1s_{23}r_{23} + c_{23}r_{33})) \\ c_5 &= ((c_1s_{23}c_4 + s_1s_4)r_{13} + (s_1s_{23}c_4 - c_1s_4)r_{23} + c_{23}c_4r_{33}) \\ s_5 &= (c_1c_{23}r_{13} + s_1c_{23}r_{23} - s_{23}r_{33}) \\ q_5 &= \text{atan2}(s_5, c_5) \\ s_6 &= ((-c_1s_{23}s_4 + s_1c_4)r_{11} + (-s_1s_{23}s_4 - c_1c_4)r_{21} - c_{23}s_4r_{31}) \\ c_6 &= ((-c_1s_{23}s_4 + s_1c_4)r_{12} + (-s_1s_{23}s_4 - c_1c_4)r_{22} - c_{23}s_4r_{32}) \\ q_6 &= \text{atan2}(s_6, c_6) \end{aligned}$$

반복적 방법에 의하여 역기구학 해를 구하게 됨으로써 해를 구하는 시간이 오래 걸리면 디지털 목업 시스템의 성능을 저하시키는 요소가 되겠지만 추정결과 5 msec 시간이 소요되어 디지털 목업 시스템의 성능을 크게 저하시키지 않는 것을 확인하였다.

2.3 3D 마우스 인터페이스

디지털 목업 시스템의 부하를 줄이기 위하여 그림 3에서 보여주는 것처럼 3차원 마우스는 별도의 프로세서에 의하여 관리된다. 3차원 마우스 관리 프로세서는 이벤트가 발생하면 이를 해석하여 TCP/IP 프로토콜로 디지털 목업 시스템에 전달한다. 디지털 목업 시스템에서는 스레드(thread)를 구동하여 멀티테스킹 방식으로는 메시지를 수신한다. 수신된 메시지에서 BDSM의 엔드이펙터 위치 및 방위값을 추출한 후 역기구학 해를 구하여 BDSM 모델의 관절값을 갱신하게 되며 이 과정은 작업자가 시뮬레이션을 멈출 때까지 반복적으로 수행된다.

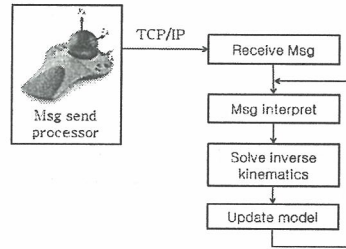


Fig. 3. 3차원 마우스 인터페이스

3. 결론

본 논문에서는 디지털 목업 내에 설치된 매니플레이터의 현실감 있는 원격조작이 가능하도록 3차원 마우스를 이용한 BDSM의 조작에 관하여 기술하였다. 손목부에 오프셋 거리가 있는 BDSM의 역기구학 해를 구함으로써 실제 작업자가 원격조작을 행하는 것과 같이 BDSM의 정밀한 시뮬레이션이 가능토록 하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.(연구과제 관리코드: 2010-000139)

5. 참고문헌

- [1] Tai-Gil Song, et al., "Development of the Interface Module for an Effective Application of a Digital Mock-up", Pro. of the ICCAS 2005.
- [2] K. S. Fu, R.C. Gonzalez, C. S. G. Lee, "Robotics Control, Sensing, Vision, and Intelligence", McGraw-Hill Book Company, 1987.