

수직다관절 로봇의 역기구학 해석 및 LabVIEW를 이용한 제어 Inverse Kinematics Analysis of Articulated Robot and Control using LabVIEW

*안진수¹, #정원지²

*J. S. Ahn¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)²
¹² 창원대학교 기계설계공학과

Key words : Inverse Kinematics, Articulated Robot, LabVIEW

1. 서론

현재 산업현장에서는 다양한 종류의 산업용 로봇들이 광범위한 환경에서 인간 대신 작업하고 있다. 산업용 로봇은 산업 자동화 매우 중요한 역할을 차지하며 있으며 향후에도 산업용 로봇의 중요도는 점점 더 커질 것으로 예상된다. 산업용 로봇들이 산업현장에서 널리 보급됨에 따라 산업용 로봇 기술이 급속도로 발전하고 있으며 특히 제어 기법이 크게 발전 하고 있다.

본 논문에서는 산업용 로봇의 일종인 수직 다관절 로봇을 자체 개발하여 실험 및 연구 용도로 사용하고 있는 로봇을 대상으로 하여 로봇의 기구학적 구조 및 특징에 따른 역기구학을 해석하여 LabVIEW[®]라는 그래픽컬 언어를 사용하여 위치 추적 제어를 하고자 한다.

2. 역기구학 해석

본 논문에 사용 되는 수직 다관절 로봇은 중량물용 핸들링용 1/4사이즈 프로토타입 로봇으로 자체 설계 및 개발 된 로봇으로 Fig. 1과 같이 전형적인 6축 수직 다관절 로봇 형태를 하고 있으며 4Bar Link 구조를 사용하여 로봇 끝단에 받는 하중을 지지 할 수 있는 구조로 제작 되었다.

로봇 순기구학이나 역기구학에서 로봇을 해석할 때 각 링크의 정보를 표현할 때 Denavit - Hartenberg의 방법을 많이 쓴다. 본 논문에서도 이 방법을 택하여 해석에 사용하였다. D-H Parameter는 Table. 1과 같이 정의 된다.

역기구학은 로봇의 End-effector의 좌표 값을 알고 로봇의 3개의 축이 만나는 Wrist Point가 있다면 역기구학의 해를 구할 수 있으며 각 축의 회전 각도를 구할 수 있다. 역기구학 해석 방법에서는 해석적 방법과 도식적 방법이 있다. 본 논문에서는 도식적 방법을 이용하여 역기구학을 해석하고자 한다.

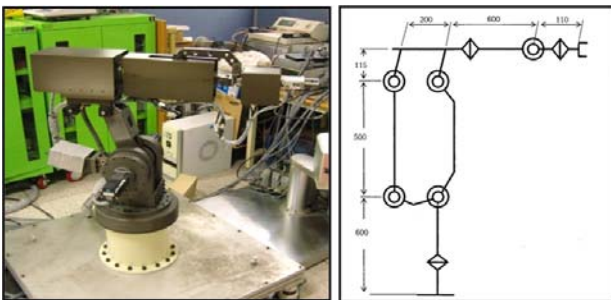


Fig. 1 Basic structure of Articulated Robot

Table 1 D-H Parameter

Joint	θ	d	a	α
1	θ_1	d_1	0	$-\pi/2$
2	$\theta_2 - \pi/2$	0	a_2	π
3	θ_3	0	a_3	$\pi/2$
4	θ_4	d_4	0	$\pi/2$
5	θ_5	0	0	$-\pi/2$
6	θ_6	d_6	0	0

2.1 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 계산

먼저 역기구학 풀이를 위해서 주어진 End-effector의 좌표를 이용하여 Wrist Point의 좌표를 계산해야 한다.

$$\vec{P}_W = \vec{P}_6 - d_6 \vec{a} \quad (1)$$

식(1)을 이용하여 P_W 를 계산하여 Wrist Point의 좌표를 구한다. 위에서 아래로 로봇을 보면 Fig. 3과 같이 1축의 회전 각도를 알 수 있다. θ_1 값을 정리 하면 식(2)와 같이 나온다.

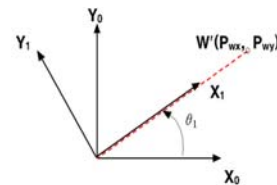


Fig. 2 Diagram for joint 1

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_{WY}}{P_{WX}}\right) = \text{Atan2}(P_{WY}, P_{WX}) \quad (2)$$

θ_2, θ_3 을 정리 하면 다음과 같다.

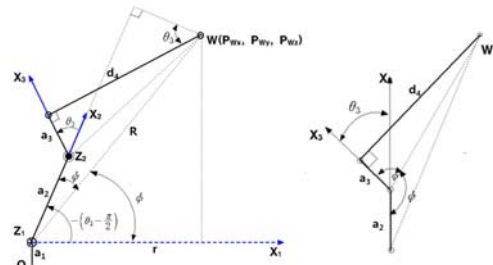


Fig. 3 Diagram for joint 2, 3

$$r = \sqrt{P_{WX}^2 + P_{WY}^2} - a_1, R = \sqrt{(P_{WZ} - d_1)^2 + r^2}$$

$$\cos \phi = \frac{r}{R}, \quad \sin \phi = \frac{P_{WZ} - d_1}{R}$$

$$\cos \psi = \frac{1}{R}(a_2 + a_3 \cos \theta_3 + d_4 \sin \theta_3)$$

$$\sin \psi = \frac{1}{R}(d_4 \cos \theta_3 - a_3 \sin \theta_3)$$

$$\phi = \text{Atan2}(\sin \phi, \cos \phi), \quad \psi = \text{Atan2}(\sin \psi, \cos \psi)$$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - (\phi + \psi)$$

$$\phi = \text{Atan2}(\sin \phi, \cos \phi) = \tan^{-1} \frac{a_3}{d_4}$$

$$\cos \psi = \frac{a_2^2 + a_3^2 + d_4^2 - R^2}{2a_2 \sqrt{a_3^2 + d_4^2}}, \quad \sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi}$$

$$\psi = \text{Atan}(\sin \psi, \cos \psi)$$

$$\theta_3 = \phi + \psi - \pi$$

2.2 $\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 계산

$\theta_4, \theta_5, \theta_6$ 는 Wrist Point에서 End-effector의 위치를 결정하는 것으로 Fig. 4와 같이 각 축의 회전각은 외적으로 쉽게 구할 수 있다. 이를 정리 하면 다음과 같다.

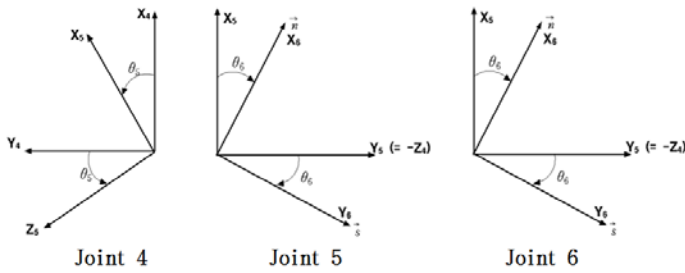


Fig. 4 Diagram for joint 4, 5, 6

$$\begin{aligned} \cos\theta_4 &= -M \cdot (\vec{Z}_4 \cdot \vec{Y}_3) \\ \sin_4 &= M(\vec{Z}_4 \cdot \vec{X}_3) \\ \theta_4 &= \text{Atan2}(M(s_1a_x - c_1a_y), -M(c_1s_{23}a_x + s_1s_{23}a_y + c_{23}a_z)) \\ \cos\theta_5 &= \vec{Z}_5 \cdot \vec{Y}_4 \\ \sin_5 &= -(\vec{Z}_5 \cdot \vec{X}_4) \\ \theta_5 &= \text{Atan2}((s_1s_4 - c_1s_{23}c_4)a_x - (s_1s_{23}c_4 - c_1s_4)a_y - c_{23}c_4a_z, \\ & c_1c_{23}a_x - s_1c_{23}a_y + s_{23}a_z) \\ \cos\theta_6 &= -\vec{Z}_4 \cdot \vec{s} \\ \sin_6 &= -\vec{Z}_4 \cdot \vec{n} \\ \theta_6 &= \text{Atan2}[-(c_1s_{23}s_4 + s_1c_4)n_x - (s_1s_{23}s_4 - c_1c_4)n_y - c_{23}s_4n_z, \\ & -(c_1s_{23}s_4 + s_1c_4)s_x - (s_1s_{23}s_4 - c_1c_4)s_y - c_{23}s_4s_z] \end{aligned}$$

M은 로봇의 손목부가 위로 향하는 지 아래로 향하는지 결정하는 단위이다. 손목부가 위를 향하고 있으면 M은 1이며 손목부가 아래를 향하면 -1 값을 갖게 될 것이다.

3. 역기구학적 제어

본 논문에서는 로봇을 제어하기 위해 Fig. 5와 같이 PC기반의 로봇 제어 시스템을 꾸렸다. 미쓰비시 서보 드라이버와 NI PXI-7350 Motion Controller를 직접 연결 하여 로봇을 제어 하도록 하며 LabVIEW®라는 그래픽 토크 프로그래밍 프로그램으로 사용자가 PC기반에서 프로그램으로 로봇을 제어 가능하도록 하였다.

앞에서 구한 역기구학 해를 이용하여 LabVIEW®를 이용하여 Fig. 6과 같이 역기구학 해를 구하는 프로그램을 만들었다. Input 값으로 End-effector의 위치인 X, Y, Z, α , β , γ 값을 입력 받아서 각 축의 회전 값을 구하며 속목부의 위, 아래 방향을 결정하는 M변수는 1로 고정하여 항상 위를 향하게 만들었다. Fig. 6은 단순히 End-effector의 위치를 Input 값을 받아서 역기구학의 해를 구해주는 프로그램이며 이를 응용하여 로봇을 제어 하도록 한다.

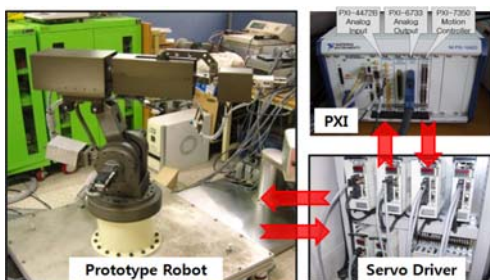


Fig. 5 Articulated robot control system

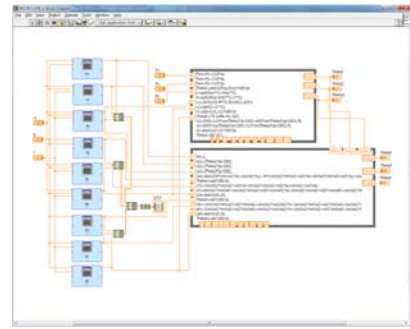


Fig. 6 Inverse kinematics calculation program



Fig. 7 Pathways of End-effector

Fig. 6의 역기구학 계산 프로그램을 SubVI로 만들어서 Output 인 각 축의 회전 값을 받아서 각 축의 모터를 회전 값만큼 모터를 회전하도록 하면 단순하지만 입력으로 준 End-effector의 위치를 추적하는 프로그램을 만들 수 있다. 이 프로그램은 위치 추적 프로그램으로써 로봇의 End-effector의 위치가 지정된 위치로 최단 거리로 이동가능하다. 여기서 입력 위치를 연속적으로 입력하여 로봇이 연속적으로 움직이게 한다면 Fig. 7에서 곡선 경로와 같이 부드러운 곡선처럼 되지는 않지만 어느 정도 비슷한 경로를 이동할 수 있도록 할 수 있다. 물론 Fig. 7의 경로에서 위치 값을 조밀하게 많이 입력한다면 실제 경로와 비슷하게 이동할 수 있으나 역기구학 계산에 시간이 많이 소요되어 다른 제어 방법으로 제어하는 것이 효율적일 것이다.

로봇 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 로봇 움직임을 시뮬레이션하고 이를 통해 얻은 End-effector의 위치 좌표를 이용하여 역기구학 프로그램을 이용하여 로봇을 제어한다면 단순 움직임을 실제 로봇으로 재현해 볼 수 있을 것이다.

4. 결론

본 논문은 중량물용 핸들링용 1/4사이즈 프로토타입 타입 로봇으로 자체 설계 및 제작된 수직 다관절 로봇을 도식적 방법을 통해 역기구학 해를 이론적으로 구했으며 LabVIEW®를 이용하여 이론적인 해를 사용하여 역기구학 프로그램을 제작하였다. 이를 이용하여 로봇이 입력으로 End-effector의 위치를 추적할 수 있도록 하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RT104-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음

참고문헌

1. Fu, K. S., Gonzalez, R. C., Lee, S. G., "Robotics," McGraw Hill, pp. 60-75, 1989.
2. Tsai, L. W., "Robot Analysis," John Wiley & Sons, Inc., pp. 77-85, 1999.
3. 육경환, 한성준, 양현석, 장민호, "3차원 스캐너의 측정 자동화를 위한 수직 다관절로봇의 역기구학 해석", 한국정밀공학회 2004년도 춘계학술대회 논문요약집, 2004. 10, pp. 15~20
4. National Instruments, LabVIEW Fundamentals, 2005