

## 5자유도관절식로봇의 역운동학풀이의 한가지 방법

김은철, 량경일

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《여러가지 로봇을 개발하고 받아들이는데서 나서는 과학기술적문제도 풀어야 하겠습니까.》(《김정일선집》 중보판 제11권 138페이지)

실용적인 기계손로봇을 제작도입하는것은 생산공정의 무인화실현에서 절실하게 제기되는 문제이다. 세계적으로도 용접과 도색, 제품포장과 출하 등 여러가지 기능을 수행하는 로봇들이 적극 개발되어 리용되고있다. 여기서 중요한 문제로 되는것은 기계손로봇을 조종하기 위한 운동학 및 역운동학풀이방법을 합리적으로 개발하는것이다.

기계손로봇의 역운동학풀이를 얻는 방법은 세계적으로 많이 연구되고있지만 모든 로봇에 적용할수 있는 유일풀이를 얻는 방법이 정해져있지 않은것으로 하여 이에 대한 연구는 기계손로봇조종에서 중심연구과제의 하나로 되고있다.[1-3]

론문에서는 5자유도관절식로봇의 기구학적특성을 고찰한데 기초하여 그것의 역운동학풀이를 구하는 한가지 방법을 제안하였다.

### 1. 5자유도관절식로봇의 모형과 기술적특성

5자유도관절식로봇의 모형구조는 그림 1과 같다.

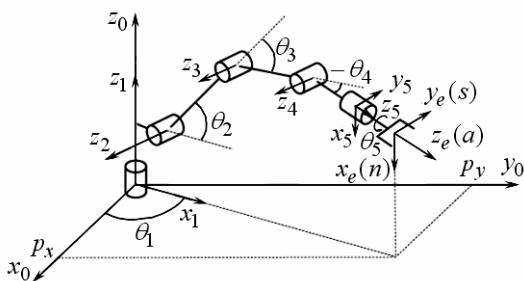


그림 1. 5자유도관절식로봇의 모형구조

그림 1에서  $x_0y_0z_0$ 은 기준자리표계,  $x_e y_e z_e$ 는 손자리표계,  $x_i y_i z_i (i=1, \dots, 5)$ 는 관절  $i$ 의 자리표계,  $p = [p_x \ p_y \ p_z]^T$ 는 기준자리표계에서 손자리표계의 위치,  $R = [n \ s \ a]$ 는 기준자리표계에서 손자리표계의 방위,  $\theta_i (i=1, \dots, 5)$ 는 관절  $i$ 의 회전각도를 나타낸다.

5자유도관절식로봇의 기술적특성은 다음과 같다.

최소관절각조종분해능  $0.09^\circ$ , 관절의 최대 회전속도  $135^\circ/\text{s}$ , 자유도 5, 풀이가능한구역 80%, 기계손의 최대위치오차 1mm

### 2. 5자유도관절식로봇의 역운동학풀이

#### ① $\theta_1$ 의 결정

3차원공간에서 집게손의 위치가  $p = [p_x \ p_y \ p_z]^T$ 로 주어진 경우 제안된 5자유도관절식로봇에서 관절각  $\theta_1$ 은  $\theta_1 = \text{atan2}(p_y, p_x)$ 로 쉽게 구할수 있다.

### ② $\theta_2$ 의 결정

론의를 간단히 하기 위하여 3차원기준자리표계  $x_0y_0z_0$ 에서의 공간기하를 2차원자리표계  $x_1z_1$ 에서의 평면기하로 넘긴다.

주어진 목표자세 즉 손의 위치  $p$  와 방위  $nsa$  를 리용하여 기준자리표계에서 4번째 관절자리표계원점의 위치  $p_4$  를 다음과 같이 구할수 있다.

$$p_4 = p - (l_4 + l_5)\mathbf{n} = \begin{bmatrix} {}^0p_{4x} & {}^0p_{4y} & {}^0p_{4z} & 1 \end{bmatrix}^T$$

기준자리표계  $x_0y_0z_0$ 에서 주어진  $p$ 와  $p_2, p_4$ 를  $x_1z_1$  평면자리표계으로 넘기자.(그림 2)

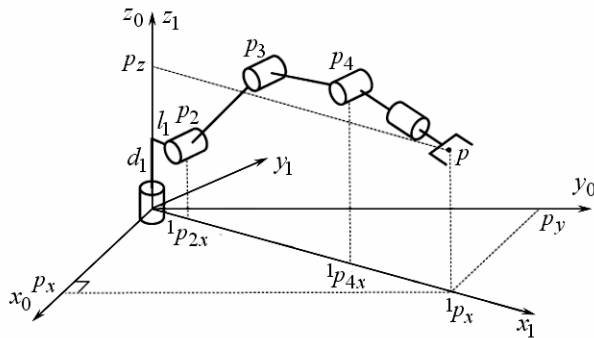


그림 2. 기준자리표계  $x_0y_0z_0$ 의  $x_1z_1$ 평면자리표계로의 변환

$\frac{p_x}{1} = \cos \theta_1$  이 성립하므로  $p$  를  $x_1 z_1$  평면으로 넘기는 다음의 관계식이 얻어진다.

$${}^1p_x = \frac{p_x}{\cos \theta_1}, \quad {}^1p_y = 0, \quad {}^1p_z = p_z$$

한편  $x_1z_1$  평면자리표계에서 두번째 관절자리표계원점의 위치  $p_2$ 는 다음과 같다.

$${}^1p_{2x} = l_1, \quad {}^1p_{2y} = 0, \quad {}^1p_{2z} = d_1$$

$p_4$ 를  $x_1z_1$  평면으로 넘기는 관계식은 다음과 같다.

$${}^1p_{4x} = \frac{{}^0p_{4x}}{\cos \theta_1}, \quad {}^1p_{4y} = 0, \quad {}^1p_{4z} = {}^0p_{4z}$$

여기서  ${}^0p_{4x}$ ,  ${}^0p_{4z}$  는 기준자리표계에서 4번째 관절자리표계원점의 위치자리표이다.

$x_1 z_1$  평면자리표계에서 벡토르  $p_2, p_4, r_3$  들사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$p_4 = p_2 + r_3$$

여기로부터  $r_3 = p_4 - p_2 = [r_{3x} \ 0 \ r_{3z} \ 1]^T$ 가 성립하며 따라서

$$r_3 = |r_3| = \sqrt{r_{3x}^2 + r_{3z}^2}$$

을 구할 수 있다.

한편 코시누스의 법칙으로부터  $l_3^2 = l_2^2 + r_3^2 - 2l_2r_3 \cos \alpha_2$  이므로

$$\cos \alpha_2 = \frac{l_2^2 + r_3^2 - l_3^2}{2l_2 r_3}$$

이 성립하며 여기로부터  $\alpha_2$ 를 구할수 있다.

그리고

$$\beta_2 = a \tan 2({}^1p_{4z} - d_1, {}^1p_{4x} - l_1)$$

이 성립하며 결과적으로  $\theta_2$  는 다음과 같이 구해진다.

$$\theta_2 = \alpha_2 + \beta_2$$

③  $\theta_3$  의 결정

코시누스의 법칙을 리용하여  $\alpha_3$  을 구할수 있다.

$$\cos \alpha_3 = \frac{l_2^2 + l_3^2 - r_3^2}{2l_2l_3}$$

한편  $\alpha_3 - \theta_3 = \pi$  이며 따라서  $\theta_3 = \alpha_3 - \pi$  이다.

④  $\theta_4$  의 결정

$\theta_4$  를 구하기 위해서는  $x_1z_1$  평면상에서  $p_3$  의 위치를 결정해야 한다.

$\theta_2$  를 이미 구했으므로  $p_3$  의 위치를 다음과 같이 구할수 있다.

$${}^1p_{3x} = l_1 + l_2 \cos \theta_2, {}^1p_{3y} = 0, {}^1p_{3z} = d_1 + l_2 \sin \theta_2$$

벡터  $p$ ,  $p_3$ ,  $r_4$  들사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$r_4 = p - p_3 = [r_{4x} \ r_{4y} \ r_{4z} \ 1]^T$$

여기로부터  $r_4 = |r_4| = \sqrt{r_{4x}^2 + r_{4z}^2}$  이며 코시누스의 법칙에 따라

$$\cos \alpha_4 = \frac{l_3^2 + (l_4 + l_5)^2 - r_4^2}{2l_3(l_4 + l_5)}$$

을 얻을수 있으며 결과적으로  $\theta_4 = \alpha_4 - \pi$  로 된다.

⑤  $\theta_5$  의 결정

$\theta_5$  는 목표자세를 고려하여 목표방위에 도달하도록 구한다.

### 3. 실험 및 결과분석

론문에서 제안한 방법의 유효성을 검증하기 위하여 5자유도관절식로봇을 리용하여 역운동학풀이실험을 진행하였다.

초기에 매 관절위치를

$$q_0 = [0^\circ \ 180^\circ \ 0^\circ \ 0^\circ \ 90^\circ]^T$$

로 설정하고 목표자세를

$$p = [20 \ 20 \ 0]^T$$

로 주었을 때 풀이결과로서

$$q = [53.87^\circ \ 63.04^\circ \ 18.32^\circ \ 90^\circ \ 53.64^\circ]^T$$

가 얻어졌으며 이때 실제위치와의 오차는 0.33mm정도이고 평균오차는 0.5mm미만이였다.

실험결과는 제안한 방법이 주어진 5자유도관절식로봇의 역운동학풀이에 효과적이라는것을 보여준다.

## 참 고 문 헌

- [1] Claudiu Radu Pozna et al.; International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, 299, 2016.
- [2] A. Jamali et al.; International Conference on Mechatronics, 1, 2011.
- [3] J. Xie et al.; International Conference on Robotics and Biomimetics, 1659, 2007.

주체108(2019)년 2월 5일 원고접수

## **A Study of Inverse Kinematics Problem Solution for 5-DOF Manipulator**

*Kim Un Chol, Ryang Kyong Il*

We proposed a method for the inverse kinematics solution for 5-DOF manipulator.

The paper described the geometrical model of the mentioned problem and continued with the model of solution.

The experimental results showed that our method could be used usefully in the inverse kinematics solution for 5-DOF manipulator.

Key words: Inverse kinematics solution, 5-DOF Manipulator