

SCARA형 로봇의 위치정밀도 개선

°백 상기, 홍 석교

아주 대학교

Improvement of positioning accuracy for SCARA type robot

Sang ki Baik, Suk kyo Hong

Ajou University

Abstract

This paper presents two methods for reducing the position error of the robot hand. The first method change the parameters of the D-H transformation using real position error. The other one calibrates the joint angle by using the datas from the known teaching points. SCARA type robot is used for verifying the validity of the proposed methods.

1. 서 론

수평 다관절형 로봇(SCARA TYPE ROBOT)는 일정한 작업영역내에서 주어지는 여러점으로 물체를 옮기는 단순반복 작업에 적합한 로봇이다. 이러한 작업에 사용되는 로봇은 보통 교육방법(Teaching by doing)으로 프로그램되어 작업을 하게된다. 이때, 로봇이 만족할만한 반복정확도(repeatability)를 가지고 있다면 이 방법만으로도 정확히 작업을 수행할수 있다. 그러나 로봇에 대한 동작명령이 시각장치(vision system)와 같은 외부센서에 의해 주어지거나, 컴퓨터 에서 오프라인 프로그램(off line programming)으로 주어지는 경우 역 기구학 방정식(inverse kinematic equation)을 풀어야 한다. 그러나 기구학 방정식(kinematic equation)이 정확한 로봇의 모델이 아니거나 링크파라미터의 오차가 발생하는 경우 이로인해 로봇의 위치에 오차가 발생하게 된다.

본 논문에서는 SCARA 로봇에 나타나는 이러한 위치오차를 줄이기 위해 기구학 방정식의 수정에 의한 방법과 위치오차를 직접 보정에 이용하는 방법을 사용하였다. 이를 위하여 회전축의 비틀린 정도를 나타내는 파라미터를 추가하여 기구학적 방정식을 유도하였고 위치 정밀도에 영향을 주는 모든 파라미터의 영향을 고려하였다.

위치오차를 직접 위치보정에 이용하는 방법은 교시점(Teaching point)의 위치오차를 직접 보정에 사용하여서 기구학 방정식의 해를 구하였고 실제 실험을 통하여 위치 정밀도 향상을 보여주었다.

2. 파라미터 보정에 의한 위치정밀도 개선

로봇의 링크좌표 시스템에서 두축  $Z_{i-1}$  와  $Z_i$  가 약간 어긋난 경우 그림 1. 에서와 같이  $Z_i$  축은  $Z_{i-1}$  축에 대해  $\beta$  만큼 회전시키는 것으로 표시할수 있다. 본 논문에서 사용된 SCARA 로봇은 모든  $Z$  축들이 평행이므로 이 오차는 실제의 위치결정에 있어 큰 오차의 요인으로 작용할수 있다.

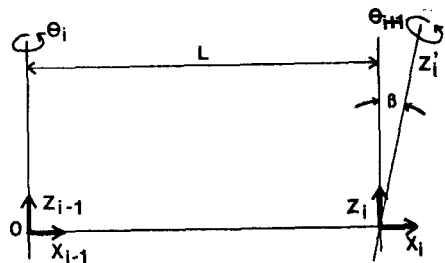


그림 1. 파라미터  $\beta$ 를 갖는 링크

그러므로 기존의 D-H 표기법은 다음과 같이 수정된다.

$${}^{i-1}A_i = \text{Rot}(Z_{i-1}, \Theta_i) \cdot \text{Trans}(a_i, 0, d_i) \cdot \text{Rot}(X_i, \alpha_i) \cdot \text{Rot}(Y_i, \beta_i) \quad \text{--- (2.1)}$$

이에 대한 기구방정식은  $T = A_0 \times \dots \times A_n$  로 표시된다.

조인트 변위  $\Theta_i$ 와 링크 파라미터  $\alpha_i, \beta_i, a_i, d_i$ 에 약간의 오차가 있다면, 이를 이용하여 해석된 로봇의 기구학 방정식으로는 정확한 로봇 손의 위치(end point)를 구할수 없다. 조인트 변위값  $\Theta$ 에 대하여 계산된 위치와 실제 로봇트가 움직인 위치사이의 위치오차는 조인트 변위오차 ( $\Delta\Theta$ )와 링크 파라미터오차 ( $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta a, \Delta d$ )들로 모델링되어질 수 있다. 식(2.1)의 파라미터들이 오차를 포함하게되면

$${}^{i-1}A_i^c = \text{Rot}(Z_{i-1}, \Theta_i - \Delta\Theta_i) \cdot \text{Trans}(a_i + \Delta a_i, 0, d_i + \Delta d_i) \cdot \text{Rot}(X_i, \alpha_i + \Delta\alpha_i) \cdot \text{Rot}(Y_i, \beta_i + \Delta\beta_i) \quad \text{--- (2.2)}$$

가 되며, 수정되어지는 기구학 방정식은

$$T^c = A_0^c \times \dots \times A_n^c \text{ 로 표시된다. 링크 파라미터의}$$

미소오차에 대해  $\sin \Delta\Theta = \Delta\Theta, \cos \Delta\Theta = 1$  로 되며 2차 미소오차 항을 무시하면 위치오차 벡터  $\vec{dp}$  는 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\vec{dp} = [M] \vec{x} \quad \text{--- (2.3)}$$

[M] :  $3 \times n$  행렬  
(n : 파라메타오차 갯수)

$\vec{x}$  :  $n \times 1$  파라메타 오차 벡터  
=  $[\Delta\Theta_i, \Delta\alpha_i, \Delta\beta_i, \Delta a_i, \Delta d_i]^T$

$$\vec{dp} = [\Delta x, \Delta y, \Delta z]$$

위치오차 벡터  $\vec{dp}$ 는 주어지는 조인트 변위값에 대한 위치벡터를 정확히 측정된 값과 기구학 방정식에 의해 계산되는 위치벡터값의 차로 구해진다. 식(2.3)에서  $\vec{x}$ 를 구하기 위해  $n/3$ 번 이상의 측정을 함으로서 "least square solution" 방법을 사용하면  $\vec{x}$ 에 대한 근사식을 얻을 수 있다. 구해진 파라미터 오차값을 기구방정식에 update 시킴으로서 수정된 기구방정식을 얻을수 있으며 이를 반복 계산함으로써 정확한 기구 방정식을 얻을수있다. 보정된 기구학 방정식으로부터 역기구학 해를 구하기 위해 다음과 같은 방법을 사용한다.

주어지는 목표점에 대해 보정되지 않은 기구학 방정식으로 부터 조인트 변위값을 구한후 수정된

기구학 방정식을 이용하여 이에대한 정확한 위치를 계산한다. 이 위치와 목표점사이의 오차를 계산하여 보정된 목표점을 계산하고 이를 다시 보정되지 않은 역기구학 방정식에 대입하여 조인트 변위값을 구한다.

### 3. 교시에 의한 위치정밀도 개선

로봇트의 작업영역내에 있는 임의의 점을 교시(Teaching)함으로써 교시하는 점의 정확한 조인트 변위값을 알수있다. 이때 조인트 변위값은 인코더 펄스수에 의해 계산이 된다. 인코더 펄스에 의해 계산된 교시점(Teaching Point)의 조인트 변위값  $\Theta_w$ 를 기존 기구방정식에 대입해 계산되어지는 좌표변환 행렬  ${}^B T_w(\Theta_w)$ 와 실제  $\Theta_w$ 를 측정된 교시점의 좌표변환 행렬  ${}^B T_w(\Theta_w)$ 와는 그림에서와 같이 약간의 오차가 생기게 된다. 다시말해 계산되어진 위치벡터값, 즉 W'점에 대한 조인트 변위값은  $\Theta_w$ 가 되고 이에대해 실제 매니퓰레이터가 이동하는 점은 W'가 아니고 W가 된다.

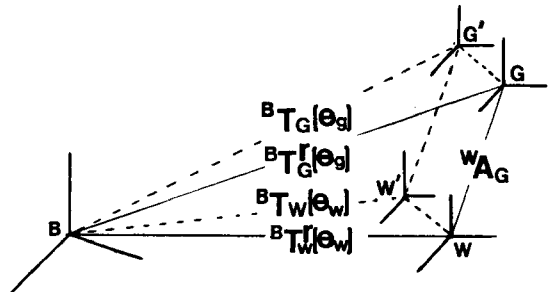


그림 2. 교시에 의한 위치보정

이러한 개념을 이용하면 교시점 W에 대해  ${}^W A_G$ 로 표현되는 목표점 G는  ${}^B T_w(\Theta_w) \cdot {}^W A_G$ 에 의해 G'로 수렴이 된다. 그러므로 G'에 대한 inverse solution을 구함으로써 실제 G에 대한 개선된 조인트 변위값을 구하게 된다. 이때 구해진 조인트 변위값에 의해 실제 매니퓰레이터가 이동하게 되는 점은 그림에서와 같이 교시점에서의 오차값만큼 보정된 목표점 G 또는 G에 근접한 점으로 이동하게 된다.

이를 식으로 표현하면

$${}^B T_G(\Theta_G) = {}^B T_w(\Theta_w) \cdot {}^W A_G \quad \text{--- (3.1)}$$

이와같이 교시점의 위치오차값을 직접 위치보정에 사용함으로써 교시점의 설정에 따라 정밀도 개선이 정해 지게 된다. 이런 방법은 교시점에서 멀리있는 점일수록 위치오차가 많은 차이가 나므로 이런경우 두점 혹은 둘이상의 점을 교시함으로써 위치 정밀도를 좀더 높일수 있다. 두점교시의 경우 식(3.1)은

$${}^B T_A(\theta_0)[U1+U2] = {}^B T_{A1}(\theta_{w1}) \cdot {}^B A_{A1} \cdot U1 + {}^B T_{A2}(\theta_{w2}) \cdot {}^B A_{A2} \cdot U2 \quad (3.2)$$

U1, U2 : weighting values

와 같이 표시할수 있으며, 교시점 W1, W2에서 목표점까지의 거리를 각각 d1, d2라 하면 U1 과 U2는 다음과 같이 나타낼수있다.

$$U1 = \frac{(1/d_1^2)}{(1/d_1^2) + (1/d_2^2)}$$

$$U2 = 1 - U1$$

#### 4. 실험결과 및 고찰

- 수정된 기구학 방정식을 이용하여 SCARA 로봇의 위치제어를 수행한 결과를 표 1.과 그림 3.에 나타내었다.

표1. 기구학방정식 수정에 의한 위치 정밀도 개선 결과

position	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X^c$	$\Delta Y^c$
1 (200,300)	-3.46	2.0	-1.0	-0.8
2 (200,350)	-3.10	2.82	-0.8	-0.5
3 (140,240)	-2.10	3.17	-0.6	0.0
4 (-10,250)	-1.02	1.02	-0.8	-0.8
5 (-50,350)	-1.35	1.89	-1.0	-0.8

단위 : mm

$\Delta X, \Delta Y$  : 보정전

$\Delta X^c, \Delta Y^c$  : 보정후

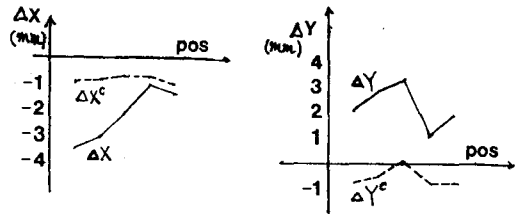


그림 3. 표1.에 대한 결과 그래프

- 교시에 의한 위치정밀도 개선결과를 X-Y평면상에 나타내게 되면 그림 4.와 같다.

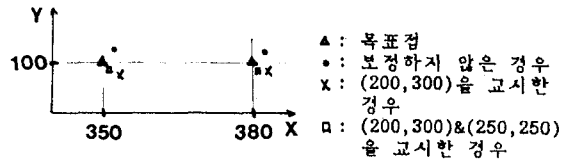
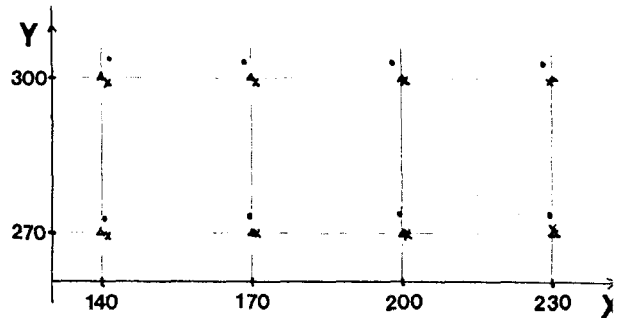


그림 4. 교시에 의한 위치정밀도 개선결과

- 결과 고찰

앞의 결과에서 볼수있듯이 기구학 방정식 수정에 의한 방법으로는 넓은 영역내에서도 최대 위치 오차를 1mm로 줄일수 있었으며, 교시에 의한 방법으로는 일정한 작업영역 내에서 최대오차 1.2mm, 평균오차 X=0.73mm, Y=0.69mm 로 줄일수 있었다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 파라미터 오차값을 구해 기구학 방정식을 수정하는 방법과 위치오차를 직접 위치보정에 이용하는 방법을 이용하여 SCARA 로봇에 대한 위치 정밀도 개선을 보였다. 실험결과에 나타난 위치오차에는 측정상의 측정오차가 많이 포함

되었으므로 정확한 측정이 가능하다면 더 좋은 결과볼 얻을수 있을 것으로 기대된다. 또한 파라미터 오차값을 구해 위치보정을 한후 이때 생기는 위치오차에 대해 교시방법을 적용하게되면 상당히 정확한 위치제어를 이룰수 있을것 으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. R.P.Paul, Robot manipulators : Mathematics, Programming and Control, MIT Press, Cambridge, 1982.
2. S.Hayati and M.mirmirani, "Improving the Absolute positioning Accuracy of Robot Manipulator", Journal of Robotic systems, vol2, spring, 1985.
3. W.K.Vetschegger and Chi-haur Wn, "A method calibrating and compensating Robot Kinematics error", IEEE Robotics and Automation Int. Conf., 1987.
4. Jin-Hawn Borm, "Improvement and characterization of Robot positioning accuracy for off line programmig".
5. R.L.Johnston, Numerical methods: A sotware approach, Jhon Wiley & Sons, 1982.