

비선형 관절강성을 가지는 로봇의 캘리브레이션 Including Non-Linear Joint stiffness Robot Calibration

*#이용호¹, 최관범², 김동은³

*#Y.H Lee¹ (yongho.lee@lignex1.com), G.B Choi², D.W Kim³
1,2,3 LIG넥스원 PGM연구센터

Key words : Non-Linear stiffness, robot calibration, stiffness calibration

1. 서론

산업 현장에서 로봇의 정밀도 향상을 위하여 3차원 측정기를 이용한 Calibration 알고리즘과 작업 효율을 높이기 위한 Offline-Program에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다.

특히 Calibration 알고리즘의 경우 로봇의 기구학적인 오차^[1]의 추정뿐만 아니라 중력에 의해 발생하는 로봇 관절의 축 처짐까지 고려, 비기구학적인 특성이인 관절강성 또한 추정할 수 있는 연구가 진행되었다.^[2,3]

이전 연구^[3]의 경우 관절 강성을 선형으로 가정, 모든 작업 영역에 대하여 같은 강성치를 적용하여 축의 처짐을 계산 하였다. 하지만 실제 물체의 강성의 경우 비선형성을 가지고 있으므로 본 연구에서는 물체의 비선형강성을 가정하여 로봇의 관절에 받는 토크의 크기에 따라 처짐을 다르게 적용함으로써 위치정밀도를 향상시키고자 하였다.

2. 강성 모델

많은 재료는 일정 구간의 변형도에 대해 상수의 강성(stiffness)를 가진다. 이런 종류의 재료를 선형 재료라 한다. 하지만 일반적인 선형재료일지라도 일정 이상의 stress(ϵ)를 받게 되면 strain(σ)가 Fig. 1과 같은 특성을 가지며 비선형성 구간을 가지게 된다.

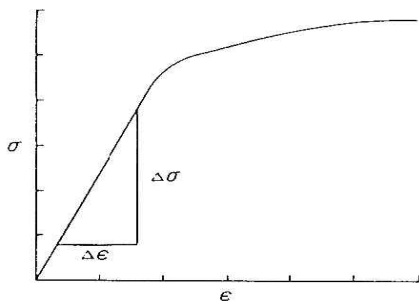


Fig 1. 선형재료의 Stiffness 모델

본 연구에서는 Fig 1. 과 같은 특성을 가지는 강성 모델에 대하여 Fig 2와 같이 2구간으로 나누어 로봇의 관절강성에 대한 Calibration을 진행하여 로봇말단의 위치 정밀도를 향상하고자 하였다.

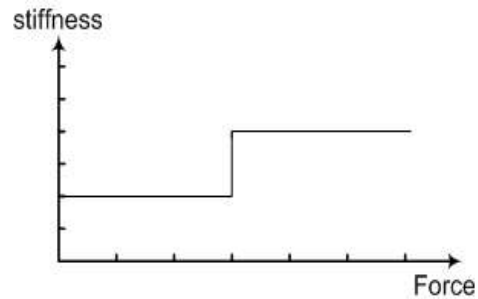


Fig 2. Assuming Stiffness Model

3. Robot Calibration

이전의 연구^[3]에서는 로봇 관절의 강성 값(K)와 실제 로봇 파라미터와 설계도상의 파라미터 오차인 기구학적인 오차($\Delta\Phi$)를 구하기 위하여 다음식에 Iterative Least Squares Solution을 적용하여 해를 구하였다.

$$\Delta x = [J_{\Phi} \ J_{\theta}(\tau)] \begin{bmatrix} \Delta\Phi \\ \frac{1}{K} \end{bmatrix}$$

하지만 본 논문에서는 각 관절에 걸리는 토크($\tau = J^T F$)를 계산할시 기준 토크 값을 설정 강성 모델을 2구간으로 나누어 독립적으로 로봇 모델과 강성 값의 해를 구하고자 하였다.

본 연구에서는 로봇의 Tool과 자중에 따른 관절 축 처짐(joint deflection)으로부터 발생하는 로봇의 위치오차를 줄이기 위하여 관절축의 강성 모델을 두 구간으로 나누어 표현하고, 기구학적 Calibration 모델에 강성 모델을 포함함으로써 통합된 로봇 Calibration 알고리즘을 사용하였다.

4. 2-Link 로봇 시뮬레이션 및 결론

본 알고리즘의 유용성을 입증하기 위해 다음과 같은 D-H 파라미터(Table 1,2)를 가지는 2-Link 로봇 모델을 가정하였다.

Table 1. 2-Link Robot D-H Parameter(real)

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0m	90.1°	0.05m	0.1°
2	1.55m	0.1°	0	0.1°
tool	1.05	-	-	-

$$K = 200000 (\tau < 2000), 400000 (\tau \geq 2000)$$

Table 2. 2-Link Robot D-H Parameter(Nominal)

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0m	90.0°	0m	0°
2	1.50m	0°	0m	0°
tool	1.00	-	-	-

Table 1.과 Table 2.에 같은 관절명령(Joint Command) 10패턴을 입력하여 다음과 같이 Calibration을 진행하였다.

단순한 선형강성만을 고려하여 Nominal Model에 대하여 Calibration 결과는 다음과 같다. (Fig 3, Table 3)

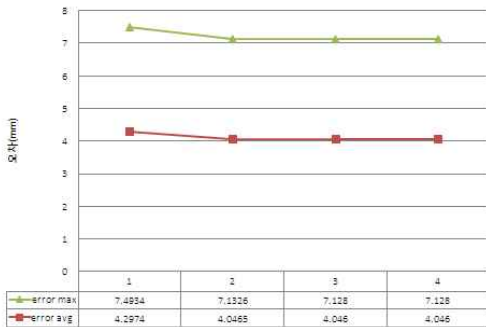


Fig 3. Simple Stiffness Calibration Result

Table 3. Simple Stiffness CAL Parameter Result

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0m	90.100°	0.05m	0.145°
2	1.551m	0.100°	0	0.103°
tool	1.048m	-	-	-

$$\text{Joint1 } K=340770, \text{ Joint2 } K=155820$$

다음은 강성을 2구간으로 나누어서 Calibration한 결과이다. (Fig 4, Table 4)

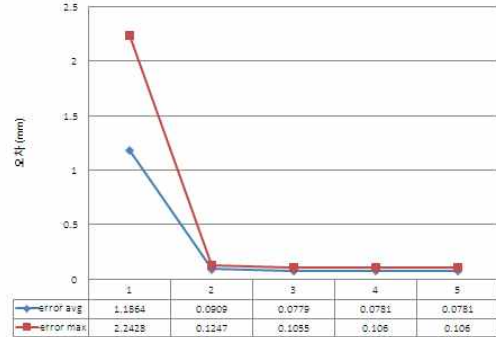


Fig 4. Dividing Stiffness Calibration Result

Table 4. Dividing Stiffness CAL Parameter Result

i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1	0m	90.1°	0.05m	0.099°
2	1.55m	0.1°	0	0.098°
tool	1.05	-	-	-

$$\text{Joint1 } K = \begin{bmatrix} 200130 \\ 399750 \end{bmatrix}, \text{ Joint2 } K=200560$$

5. 결론

위의 결과에서 알 수 있듯이 강성 구간을 나누어 Calibration을 적용하였을 때 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

하지만 본 실험은 축강성이 나뉘지는 구간을 가정하고 진행되었던 만큼 실제 로봇의 축의 강성은 축에 사용된 물체의 특성에 따라 다를 수 있으며, 이를 고려할 수 있는 방법 또한 추후 다루어져야 할 부분이라 할 수 있겠다.

참고문헌

1. Z. S. Roth, B. W. Mooring, B. Ravani, "An Overview of Robot Calibration," IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 5, pp. 377-385, 1987.
2. 장준현, "산업용 로봇의 기하학적 및 비기하학적 오차의 동시 보정", Ph.D Thesis, KAIST, 2000
3. .Jian Zhou, Lee Y.H, Kang H.J, Kim S.R "병렬구조 로봇 캘리브레이션" 한국정밀공학회 2008 추계 학술대회논문집. pp.153~154, 2008년 11월