論文 한국공작기계학회지 제 7 권 제 4 호 1998. 8.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

이 용 중*, 이 상 태**, 김 학 범***

Robust Controller Design of Robot Manipulator

Yong-Joong Lee*, Sang-Tae Lee**, Hak-Pom Kim***

Abstract

The gloval model is developed by combining this actuator formular with robot manipulator formular which is reported previously. The model initially represented in the form of coupled time-varying nonlinear dynamic system. It then decomposed into the decoupled linear model using nonlinear feedback and state transformation techniques. The new model employs the pole replacement method to improve the stability of the system. Using this new model, an robust control algorithm is developed. The proposed algorithm takes two state variables, position vector and velocity vector, and one input variable from actuator, input voltage.

성을 갖도록 구동 장치의 동적 특성을 고려한 매니퓰레이터의 제어 알고리즘 개발에 대한 필요성은 절대적이라 할 수 있다. 그간 구동 장치의 동적 특성을 고려하여 매니퓰

2-1 구동 장치의 동적방정식

로봇 매니퓰레이터를 구동시키는 구동장치의 동적 방정

(2-6)과 같다.

$$Ri + L\frac{di}{dt} + K_t(q)\dot{q} = u \quad (2\text{-}5)$$

$$\tau = K_t(q)\,\imath \quad (2\text{-}6)$$

여기서

$R = diag[R_j], \quad L = diag[L_j],$

$K_t = diag[K_{tj}]$

$u = [u \ \ u_2 \cdots u_n]^T, \ i = [i_1 \ \ i_2 \cdots i_n]^T$

$, \tau = [\tau_1 \ \tau_2 \cdots \tau_n]^T$

식 (2-3)과 식 (2-4)로 부터 식 (2-7) 및 식 (2-8)과 같이 정리된다.

$$K_t(q) = K_{t0} + \delta K_t(q) \quad (2\text{-}7)$$

그리고

$$\| K_t(q) - K_{t0} \| = \| \delta K_{tj}(q_j) \| \le K_{tc}: \\ = \max[K_{tcj}] \\ i \le j \le n \quad (2\text{-}8)$$

2-2 매니퓰레이터의 동적 방정식

n 자유도 강체 로봇매니퓰레이터의 동적 방정식을 표현하면 다음과 같다.

$$\tau_i = \sum_{j=1}^{n} D_{ij}\ddot{q}_j + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} C_{ijk}\dot{q}_j\dot{q}_k + g_i \\ i = 1,2 \cdots n \quad (2\text{-}9)$$

여기서

D_{ii}, D_{ij} : 로봇 매니퓰레이터의 관성행열 $[n \times n]$

C_{iij}, C_{ijk} : 코리올리력과 원심력에 관련된 행렬 $[n \times n]$

g_i : 중력항 벡터 $[n \times 1]$

$q_i, \ \dot{q}_i, \ \ddot{q}_i$: 위치, 속도, 가속도 벡터 $[n \times 1]$

또한 식 (2-9)는 식 (2-10)과 같이 집약된 형태로 나타낼 수 있다.

$$D(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau \quad (2\text{-}10)$$

이러한 모델은 다음과 같은 특성을 만족한다.

(1) 관성행렬은 대칭적이고 정치(positive definite)로 정의한다.

$$D(q) = D(q)^T > 0 \quad (2\text{-}11)$$

(2) $D(q)$와 $D(q)^{-1}$는 일정한 상수 d_1과 d_2로 제한된다.

$$0 < d_1 \le \| D(q) \| \le d_2 < \infty \quad (2\text{-}12)$$

$$0 < \frac{1}{d_2} \le \| D(q)^{-1} \| \le \frac{1}{d_1} < \infty \quad (2\text{-}13)$$

(3) 행렬 $[\dot{D}(q) - 2C(q,\dot{q})]$ 은 *skew*-symmetric이다.

$$[\dot{D}(q) - 2C(q,\dot{q})]^T = [\dot{D}(q) - 2C(q,\dot{q})] \quad (2\text{-}14)$$

2-3 구동장치를 고려한 2차계의 동적 방정식

식 (2-6)으로 부터

$$i = [K_t(q)]^{-1}\tau \ := K_{tt}(q)\,\imath \quad (2\text{-}15)$$

여기서 $K_{tt}(q) = [K_t(q)]^{-1}$ 이다.

식 (2-15)를 미분하면 식 (2-16)과 같이 된다.

$$\frac{di}{dt} = K_{tt}(q)\dot{\tau} + [\frac{d}{dt}K_{tt}(q)]\tau \quad (2\text{-}16)$$

식 (2-16)에서 다음과 같이 정한다.

$$K_{tq} = diag[\frac{d}{dq_i}K_{tt}(q)] ; \ \underline{\dot{q}} \\ = diag[\dot{q}_i] \quad (2\text{-}17)$$

또한 식 (2-16)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{di}{dt} = K_{tt}(q)\dot{\tau} + K_{tq}(\underline{\dot{q}})\,\tau \quad (2\text{-}18)$$

식 (2-15)와 식 (2-18)을 식 (2-5)에 대입하여 정리하면 다음 식과 같이 할 수 있다.

$$RK_{tt}(q)\tau + L[K_{tt}(q)\dot{\tau} + K_{tq}\underline{\dot{q}}\tau] \\ + K_t(q)\dot{q} = u \quad (2\text{-}19)$$

그리고 식 (2-10)을 미분하면 다음과 같다.