

Servo Manipulator 位置 제어의 計算機Simulation

고명삼·권옥현·최종호·차상균(서울대)

1. 서론

로봇 팔의 위치 제어는 단순한 위치 서어보 문제와는 달리, 그의 각 링크들이 동시에 움직이게 되면 조인트間的 커플링이 심하게 存在하는 非線型시스템이 된다. 많은 制御方式들이 발표된 바 있는데, 특히, Computed Torque 방식 [1, 2]은, 유도된 모델에 의해 계산된 토크 값에 出力의 위치 및 속도 差에서 피드백된 값을 더하여, 로봇 팔을 구동시키는 직류 전동기의 入力電壓으로 전달되게 하는 것이다. 한편 Lee 및 Saridis [3, 4]는 非線型 狀能方程式 모델에서 非線型性을 생기게 하는 토크項들을 계산한 값과 이들 項들을 제외한 나머지 선형 시스템을 구동시키는 피드백 제어값을 더해서 나오는 토크값을 직류 전동기의 입력으로 전달되도록 하였다. 본 연구는 후자의 경우에 있어서, 위치 및 속도 피드백 이득 행렬을 Suboptimality의 관점이 아닌 각 조인트의 동특성의 관점에서 선정하는 法을 제안하고자 한다.

2. 로봇 팔의 모델

본 연구에서는 6개의 회전 조인트를 가지는 MIT Arm을 모델로 삼았다. 위치 제어를 하는 동안에는 손의 방향 제어를 위한 하단 3

조인트는, 상단의 3 조인트에 대해 단순한 부하로서 작용하도록 정지해 있다고 가정한다.

이 때 상단 세 조인트의 각들로 이루어진 3 차원 벡터를 θ 라고 하면 Euler-Lagrangian 方程式에 의해 다음과 같은 식이 주어진다.

$$J(\theta)\ddot{\theta} + V\dot{\theta} + f(\theta, \dot{\theta}) + g(\theta) = \tau \quad (1)$$

여기서 τ 는 토크 벡터이며, 좌변의 項들은 각각 관성, 마찰, Coriolis 및 원심력, 중력에 의한 項들이다.

편의상 $N(\theta, \dot{\theta}) = -V\dot{\theta} - f(\theta, \dot{\theta}) - g(\theta)$ 라고 하고 상태 변수를 $X_i = \theta_i, X_{i+3} = \dot{\theta}_i (i = 1, 2, 3)$ 로 지정하면 (1)식은 아래와 같은 상태 방정식으로 된다.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & I \\ \hline 0 & 0 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ \hline J^{-1}(x)N(x) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \hline J^{-1}(x) \end{bmatrix} \tau \quad (2)$$

3. 제어 법칙

시스템 (2)를 최종 상태 X^d 로 가계하는 제어법칙을 다음과 같이 잡는다.

$$\tau = -N'(x) - J'(x) [S_1 : S_2] (X - X^d) \quad (3)$$

여기서 S_1, S_2 는 각각 위치 및 속도 피드백 이득을 나타내는

3×3 행렬이다. 기호 ($'$)는 제어 컴퓨터에서 계산된 값을 나타낸다. 만약 $N'(x) = N(x)$, $J'(x) = J(x)$ 이 성립된다고 가정하면, 제어 법칙(3)을 가한 시스템 (2)는 다음과 같이 된다.

$$X' = \begin{bmatrix} 0 & | & I \\ \hline & & \\ -S_1 & | & -S_2 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 & | & 0 \\ \hline & & \\ S_1 & | & S_2 \end{bmatrix} X^d \quad (4)$$

따라서 제어 법칙 (3)은 시스템 (2)를 S_1 및 S_2 의 적절한 선정을 통해 안정화시킬 수 있다.

한편, S_1 과 S_2 를 대각선 행렬로 취하면 식 (4)는 각 X_i ($i = 1, 2, 3$)에 대하여 독립된 부시스템으로 나누어질 수 있다.

즉, S_1 과 S_2 를

$$S_1 = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{bmatrix} \quad S_2 = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_3 \end{bmatrix}$$

라고 두면, 식 (4)는

$$\ddot{X}_i + \beta_i \dot{X}_i + \alpha_i X_i = \alpha_i x_i^d + \beta_i \dot{x}_i^d + 3 \quad (5)$$

$i = 1, 2, 3$

와 같이 3개 2차 부시스템들이 된다. 2차 시스템에 대해서는 그 의 時應答이 자연 주파수와 감쇄 상수에 의해 결정 되므로, 바라는 자연 주파수를 W_i , 감쇄 상수를 ξ_i 라고 하면 S_1 및 S_2 는 다음

과 같이 결정된다.

$$\alpha_i = W_i^2, \beta_i = 2\xi_i W_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (6)$$

4. 시뮬레이션 및 결론

(6)과 같이 S_1 및 S_2 를 선정하여 시뮬레이션한 결과 바라는 시응답을 각 조인트에 대해서 얻을 수 있었다. 제어 법칙 (3)은 Computed Torque 방식에서 요구되는 각가속도의 계산을 피할 수 있는 이점을 가진다. 한편, 위치 및 속도 피드백 이득 행렬을 대각선 행렬로 취함으로써 각 조인트들의 동적 應答을 독립적으로 지정할 수 있었다. 또한 계산량의 측면에서는, [3 , 4]에서 피드백 이득 행렬의 계산을 위해 필요한 많은 量의 오프라인 계산을 피할 수 있으며, 제어 법칙의 온라인 계산량도 상당히 줄어들게 된다.

참 고 문 헌

1. B.R. Markiewica, "Analysis of the Computed Torque Drive Method and Comparison with Conventional Position Servo for a Computer-controlled Manipulator," Technical Memorandum 33-601, Jet Propulsion Lab., California Institute of Technology, March 1973.
2. Raibert, M.H. and Horn, B.K.P., "Manipulator control using the configuration space method," Industrial Robot, Vol. 5, pp 69-73, June 1978.
3. Saridis, G.N. and Lee, C.S.G., "An Approximation Theory of Optimal Control for Trainable Manipulators," IEEE Tr. System, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 3, March 1979.
4. Lee, C.S.G. and Saridis, G.N., "Computer Control of a Trainable Manipulator," School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, TR*EE 78-42, December, 1978.