

로봇 매니플레이터를 위한 퍼지 이동 슬라이딩 모드 제어

Fuzzy moving sliding mode control for robotic manipulators

한 태 열, 전 경 한**, 최 봉 열***

* 경북대학교 전자공학과(Tel : 82-053-940-8653; Fax : 82-053-959-7336 ; E-mail: onehit@hanmir.com)
 ** 경북대학교 전자공학과(Tel : 82-053-940-8853; Fax : 82-053-959-7336 ; E-mail: kacarot@csl.knu.ac.kr)
 *** 경북대학교 전자공학과(Tel : 82-053-950-6553; Fax : 82-053-959-7336 ; E-mail: bychoi@ee.knu.ac.kr)

Abstract: In this paper, we present a fuzzy moving sliding mode control for two-degree-of-freedom robotic manipulator. The sliding surface parameters are designed by fuzzy inference. The proposed sliding mode control makes the error always remain on the surface from beginning and therefore, the system is insensitive to system uncertainties and external disturbances. Simulation results show the effectiveness of proposed scheme.

Keywords : VSC(Variable Structure Control), Moving sliding mode, Fuzzy moving sliding mode.

1. 서론

가변구조 제어는 불연속적인 입력을 이용하여 시스템의 구조를 의도적으로 가변시킴으로써 강인한 제어 특성을 얻는 제어 기법으로 시스템의 안정성과 함께 파라미터 및 외란에 대해 둔감하며, 시스템이 원하는 성능을 가지도록 할 수 있어 최근 활발한 연구가 진행되고 있다.^[1]

전형적인 가변구조 제어 시스템은 크게 슬라이딩 모드와 도달 모드라는 두 가지 동특성으로 구성된다. 슬라이딩 모드 동안은 시스템의 상태를 임의로 변화시켜 시스템의 매개변수 변동이나 외란 등에 상관 없이 원하는 동특성을 유지할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 시스템의 상태를 슬라이딩 평면 위로 천이시키는 도달 모드에서는 상태가 슬라이딩 평면에서 벗어나 있어 시스템의 견실성을 보장할 수 없다. 이러한 도달 구간을 감소시키기 위해 많은 연구가 이루어져 왔다. 도달 구간을 줄이는 한 방법으로는 큰 불연속 제어 입력을 가함으로써 이를 수 있으나 이 방법은 슬라이딩 모드에서의 원하지 않는 떨림 현상을 발생시키는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인해 지금까지의 연구는 주로 초기 상태를 기초로 하는 이동 슬라이딩 평면의 설계에 집중되어 왔다.^[2,3] Choi와 Park^[4]은 이차 가변구조 시스템의 성능과 견실성을 향상시키기 위해 기존의 슬라이딩 모드에 구간 연속적인 기법의 이동 슬라이딩 모드를 제안하였고, Bartoszczyk^[5]은 이를 개선하여 연속적인 형태로 바꾸었다. Ha^[6]는 위상평면에서 오차의 크기와 위치를 고려한 연속적인 형태의 이동 슬라이딩 모드를 제안하였다. 이는 견실성의 희생없이 떨림현상을 줄이기 위해 퍼지 추론과 슬라이딩 모드를 조합한 퍼지 이동 슬라이딩 모드였으며 슬라이딩 평면이 회전과 평행 이동에서 여전히 도달모드가 존재한다.

본 논문에서는 오차와 오차의 변화율을 고려한 연속적인 형태의 새로운 퍼지 이동 슬라이딩 모드 제어를 제안한다. 제안하는 퍼지 이동 슬라이딩 모드 제어는 초기 오차를 처음부터 슬라이딩 평면 위에 머물도록하며 입력 변수를 오차와 오차 변화율로 확장한 퍼지 추론을 통해 슬라이딩 평면을 이동시켜 도달 모드를 없애므로써 견실성이 보장되는 새로운 퍼지 규칙을 제안하며 이들의 크기와 위치를 고려한 퍼지 이동 슬라이딩 모드 제어를 설계한다. 제안한 알고리즘의 타당성을 보이기 위하여 2-자유도 로봇 매니플레이터에 적용한 모의 실험을 통하여 확인한다.

2. 퍼지 이동 슬라이딩 모드 제어

2.1 문제설정

본 논문에서 고려하는 제어 대상 시스템은 최근 가변구조 제어에 많이 적용되는 로봇 매니플레이터이다. 일반적으로 로봇 매니플레이터의 동특성은 다음과 같이 결합된 이차 비선형 시스템(coupled second-order nonlinear system)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_{2k-1}(t) &= x_{2k}(t) \\ \dot{x}_{2k}(t) &= f_k(X, t) + b_k(X, t)u_k(t), \quad k=1, 2, \dots, m \quad (1) \\ X_0 &= X(t_0) \end{aligned}$$

여기서 $X = [x_1(t) \ x_2(t) \ \dots \ x_{2m}(t)]^T \in R^{2m}$ 는 초기 조건 $X_0 = X(t_0)$ 를 가지는 상태벡터를 나타내고, $u \in R^m$ 는 제어 입력 벡터를 나타내며, $b_k(X, t) > 0$ 은 입력 이득이다. 알려지지 않은 비선형 동특성 $f_k, k=1, 2, \dots, m$ 은 \hat{f}_k 로 추정되며 $F_k(X)$ 에 의해 다음과 같이 유계된다.

$$|f_k - \hat{f}_k| \leq F_k(X) \quad (2)$$

추적하고자 하는 궤적을 $X_d = [x_{d1}(t) \ x_{d2}(t) \ \dots \ x_{d2m}(t)]^T \in R^{2m}$ 이라면 초기치 $X_0 = X(t_0)$ 에 대하여 다음과 같은 오차를 명으로 수립토록 하는 제어가 설계가 목적이다.

$$\begin{aligned} e &= [e_1(t) \ e_2(t) \ \dots \ e_{2m}(t)]^T \\ &= [x_1(t) - x_{d1}(t) \ x_2(t) - x_{d2}(t) \ \dots \ x_{2m}(t) - x_{d2m}(t)]^T \quad (3) \end{aligned}$$

일반적으로 가변구조 제어는 도달 모드와 슬라이딩 모드로 구성되어진다. 슬라이딩 모드에서 상태는 불확실성에 무관한 특성을 가지고 설계된 슬라이딩 평면에 따라 상태 변수의 동특성이 정해진다. 전형적인 슬라이딩 함수는 다음과 같다.

$$S_k(t) = e_{2k}(t) + c_k e_{2k-1}(t), \quad c_k > 0 \quad (4)$$

이 슬라이딩 함수에 대하여 다음의 제어 입력은 슬라이딩 조건

$$S_k(t) \dot{S}_k(t) \leq -\eta_k |S_k(t)|, \quad \eta_k > 0 \quad (5)$$

을 만족한다.