

시간지연 제어와 슬라이딩모드 제어기법을 이용한 불확실한 동적 시스템의 강인 제어기 설계

Robust Controller Design for Uncertain Dynamic System Using Time Delay Control and Sliding Mode Control Method

박 병 석, 이 인 성**, 윤 지 섭***, 강 이 석****

- * 한국원자력연구소(Tel : 81-042-868-2596; Fax : 81-042-868-2854 ; E-mail:nbspark@nanum.kaeri.re.kr)
- ** 한국원자력연구소(Tel : 81-042-868-2596; Fax : 81-042-868-2854 ; E-mail:insunglee@hanmail.net)
- *** 한국원자력연구소(Tel : 81-042-868-2855; Fax : 81-042-868-2854 ; E-mail:jsyoon@nanum.kaeri.re.kr)
- **** 충남대학교 기계설계공학과(Tel : 81-042-821-5600; Fax : 81-042-822-7366 ; E-mail:eskang@hanbat.chungnam.ac.kr)

Abstract : We propose the hybrid robust controller for TDC(Time Delay Control) and SMC(Sliding Mode Control) method. TDC and SMC deal with the time-varying system parameters, unknown dynamics and unexpected disturbance. This controller is applied to follow the desired reference model for the uncertain time-varying overhead crane. The control performance is evaluated through simulation. The theoretical results indicate that the proposed controller shows excellent performance to an overhead crane with the uncertain time-varying parameters and disturbance.

Keywords : time delay control, sliding mode control, robust control, overhead crane, multivariable system

1. 서론

시스템을 기술하는 수학적 모델은 실제 시스템의 동적 특성과는 모델링 및 외란에 의한 오차가 존재한다. 이와 같은 오차에도 불구하고 시스템의 안정성이 보장되고, 요구되는 성능을 만족하도록 설계된 제어기가 강인 제어기(robust controller)다. 강인 제어기법으로는 슬라이딩 모드 제어(Sliding Mode Control, SMC)⁽¹⁾, 시간 지연 제어(Time Delay Control, TDC)⁽²⁾, 외란 및 환경 관측기(disturbance & environment observer)⁽³⁾ 등이 있다. SMC는 외란에는 강인한 성능을 보이지만, 디지털 제어시에는 불연속함수에 의해 제어 입력에 떨림(chattering)이 발생하는 단점이 있다. 특히, 떨림의 크기는 제어시간(sampling time) 및 불확실성의 크기와 밀접한 관련이 있다. TDC는 오차에 대한 제환(feedback) 루프와 시스템의 불확실성을 제거하기 위한 부가적 루프로 구성되어 있어서, 간단하면서도 강인한 제어 성능을 낸다. 그러나, TDC는 시간 지연이 매우 작다는 가정하에 설계되기 때문에 시간 지연이 다소 큰 경우, 즉 제어시간을 작게 할 수 없는 경우에는 외란을 완벽하게 제거할 수 없다. 또한, 대부분의 시스템은 입력의 개수와 출력의 개수가 일치하지 않기 때문에 제어입력에 pseudo-inverse가 존재하여 최적해가 되지 않는 단점이 있다. 외란 및 환경 관측기는 TDC와 근본적으로 유사한 개념이며 구조도 거의 같다. 본 논문에서는 TDC로 동적 시스템에 존재하는 대부분의 불확실성을 제거하여 SMC의 단점인 제어입력의 떨림을 최소화하고, 장점인 특유의 강인성을 최대한 활용하는 강인 제어기를 설계하였다. 설계된 제어기의 성능은 비선형 불확실 시변 시스템으로 알려진 천정 크레인(overhead crane)⁽⁴⁾에 적용하여 전산모사를 통해서 검증한다.

2. 제어기 설계

2.1 시간지연 제어기

시스템 매개변수의 변화, 시스템의 비선형성, 불확실성 및 외란

을 고려한 일반적인 다변수 시스템(multivariable system)의 상태방정식(state equation)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + f(t) \\ &= (A_o + \Delta A(t))x(t) + \\ &\quad (B_o + \Delta B(t))u(t) + f(t)\end{aligned}\quad (1)$$

여기서 $x(t)$ 는 시스템의 상태벡터, $u(t)$ 는 제어입력 벡터, A_o 는 알고 있는 시스템 매개변수 행렬, B_o 는 제어 입력 매개변수 행렬이며, (A_o, B_o) 는 제어 가능하다고 가정한다. 또한, $\Delta A(t)$ 는 시스템 매개변수의 변화 행렬, $\Delta B(t)$ 는 입력 매개변수의 변화 행렬, $f(t)$ 는 시스템 비선형성, 불확실성 및 외란 벡터이다. 여기서, $\Delta A(t)$, $\Delta B(t)$, $f(t)$ 는 연속이고, 식 (1)은 유한집합 공간 내에 존재하는 것으로 가정한다. 변수 t 는 시간이다. 식 (1)에서 모든 상태변수와 그들의 미분은 측정 혹은 추정 가능하다고 가정한다. 따라서, 식 (1)은 총체적인 불확실 요소 벡터 $v(t)$ 가 포함된 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\dot{x}(t) = A_o x(t) + B_o u(t) + v(t)\quad (2)$$

여기서, $v(t) = \Delta A(t)x(t) + \Delta B(t)u(t) + f(t)$ 이다.

시스템이 추종하기를 원하는 선형 시불변 다변수(time-invariant multivariable) 기준 모델을 다음과 같이 정의한다.

$$\dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m r(t)\quad (3)$$

여기서 $x_m(t)$ 는 모델 상태 벡터, A_m 은 상수 안정 시스템 행렬이다. 즉, A_m 의 고유값(eigenvalues)은 음의 실수부를 가진다. B_m 은 상수 제어지령 매개변수 벡터, $r(t)$ 는 제어지령 벡터이다. $e(t)$ 는 모델과 시스템의 상태벡터 차인 오차 벡터로서 다음과 같이 정의한다.

$$e(t) = x_m(t) - x(t)\quad (4)$$