

불확실성 추정을 갖는 새로운 슬라이딩 모드제어기의 설계

A study on the Novel Sliding Mode Controller with Uncertainty Adaptation

김민찬, 박승규**, 안호균**, 정은태***

* 창원대학교 전기공학과(Tel : 82-055-263-6885; Fax : 82-055-263-9956 ; E-mail:kmc710@kebi.com)
 ** 창원대학교 전기공학과(Tel : 82-055-279-7514; Fax : 82-055-263-9956 ; E-mail:skpark@sarim.changwon.ac.kr)
 *** 창원대학교 제어계측공학과(Tel : 82-055-279-7557; Fax : 82-055-262-5064 ; E-mail:jet26@sarim.changwon.ac.kr)

Abstract : In this paper, a novel sliding mode control with uncertainty adaptation is produced by introducing a virtual state. Because upper bounds of the uncertainty is difficult to know, we estimate these upper bound by using the simple adaptation law and design the novel sliding mode controller. The nominal controller is used the optimal controller to minimize cost function.

Keywords : Robust control, Sliding mode control(SMC), Parameter uncertainty

1. 서론

일반적으로 슬라이딩 모드제어는 파라미터 불확실성의 노음(norm)의 상계(upper bound)를 알고 정합조건을 만족하는 경우에 있어서 강인한 성능을 가지고 있기 때문에 원하는 동특성을 얻을 수가 있다. 하지만 실제 계통에서는 상계(upper bound)를 아는 것이 어렵기 때문에 본 논문에서는 새로운 가상 상태를 이용하여 슬라이딩 평면을 정의하고 이 평면에 불확실성을 추정하기 위해서 적응제어 기법을 도입하며 그 추정값을 가지고 SMC의 입력을 구함으로써 슬라이딩 모드의 동특성이 불확실성이 존재하더라도 강인한 성능을 얻을 수 있는 새로운 SMC 제어기법을 소개하고자 한다. 또한 SMC의 문제점으로 도달 거리(reaching phase)와 입력 채터링(input chattering)문제가 있고 시스템의 상태제어는 입력 수 만큼 낮은 슬라이딩 평면에 의해서 그 동특성이 결정되기 때문에 공칭 상태의 동특성과 같지 않게 된다. 이를 극복하기 위해서 본 논문에서는 가상 상태의 초기치를 적절하게 선정함으로써 도달 거리(reaching phase)를 없애고 SMC의 불연속 입력을 기존에 나와 있는 방법으로 연속 입력으로 바꾸어 SMC의 입력을 구성함으로써 입력 채터링(input chattering)을 개선시키며 그 결과 슬라이딩 모드의 동특성이 공칭 상태의 동특성과 같아지게 할 수 있게 된다. 이러한 과정에서 필요한 공칭 제어기는 하중함수에 의해서 정량화 된 평가 함수(cost function)를 최소화하는 제어기인 최적 제어기(optimal controller)를 사용하였다.

2. 문제 설정

다음과 같이 표현되는 불확실성을 포함하는 n차 시스템을 고려하자.

$$\dot{x}(t) = (A + \Delta A)x(t) + (B + \Delta B)u(t) + Df(t) \quad (1)$$

여기서, $x(t) \in R^n$ 는 상태, $u(t) \in R^m$ 은 입력, $e(t) \in R^r$ 은 외란이고 노음 유계를 가지는 불확실한 행렬 $\Delta A, \Delta B, D$ 는 다음의 정합

조건을 만족한다.

$$\text{rank}([B \ \Delta A \ \Delta B \ D]) = \text{rank}B \quad (2)$$

식(2)의 정합조건을 만족하면 외란과 파라미터 불확실성은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta Ax(t) &= B \cdot \Delta \tilde{A}x(t) \\ \Delta Bu(t) &= B \cdot \Delta \tilde{B}u(t) \\ Df(t) &= B \cdot D\tilde{f}(t) \end{aligned} \quad (3)$$

위의 식을 사용하여 식(1)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(x, t) + Be(x, t) \quad (4)$$

여기서, $e(x, t) = \Delta \tilde{A}x(t) + \Delta \tilde{B}u(t) + D\tilde{f}(t)$
 식(4)에 대한 슬라이딩 평면은 다음과 같이 주어진다

$$S(x, t) = c_1(t)x_1 + \dots + c_{n-1}(t)x_{n-1} + c_n(t)x_n = 0 \quad (5)$$

여기서, $c_1(t), \dots, c_{n-1}(t), c_n(t)$ 는 슬라이딩 평면의 동특성이 안정하도록 선택하면 된다.

위의 슬라이딩 평면의 동특성은 (n-1)차이므로 원래 시스템의 n차의 동특성과 같지 않다. 또한 $S(x, t)$ 의 초기치가 0이 아닐 때 도달 거리(reaching phase)가 생기게 된다.

슬라이딩 모드가 일어날 조건은 Lyapunov 안정도 이론에 의해서 다음 식과 같다.

$$S(x, t) \dot{S}(x, t) < 0 \quad (6)$$

그러나 실제로 식(4)와 같은 제한 제어의 제어기 설계 방법에 있어서 불확실성의 존재를 쉽게 알 수 없을뿐더러 더구나 무시하고 제어를 한다는 것은 간과할 수가 없다.

따라서 본 논문의 목적은 $\|e(t, x)\|$ 의 상계(upper bound)를 적응제어 기법을 도입하여 추정하고 가상 상태를 이용하여 슬라이딩 평면의 동특성이 원래 시스템의 동특성과 같으며 도달 거리도 없앨 수 있는 새로운 슬라이딩 모드 제어기(SMC)를 설계하고자 한다.