

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2008-0079137 (43) 공개일자 2008년08월29일
(51) Int. Cl. <i>G06F 17/10</i> (2006.01) <i>G06F 17/00</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2007-0019255 (22) 출원일자 2007년02월26일 심사청구일자 2007년02월26일	(71) 출원인 창원대학교 산학협력단 경남 창원시 사림동 9 창원대학교내 (72) 발명자 박승규 경남 창원시 반림동 트리비앙아파트 204동 104호 안호균 경남 창원시 반지동 대동아파트 108-1102 (74) 대리인 이민영	
전체 청구항 수 : 총 1 항		
(54) 슬라이딩모드와 확장형 칼만필터를 이용한 상태변수추정방법		

(57) 요약

본 발명은 직접 측정이 가능하지 않은 상태변수의 값을 미분하지 않고 추정하는 상태추정기에서 상기 상태변수를 추정하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 상기 상태변수는 불확실성에 대한 고려를 슬라이딩 모드를 이용하여 시간정보갱신(Time update)과정에서 추정하고 측정정보갱신(Measurement update)부분은 확장형 칼만필터 알고리즘을 사용하여 추정하는 것이 특징인 슬라이딩모드와 확장형 칼만필터를 이용한 상태변수 추정방법에 관한 것이다.

특허청구의 범위

청구항 1

상태추정기에서 상태변수를 추정하는 방법에 있어서,

상기 상태변수는 불확실성에 대한 고려를 슬라이딩 모드를 이용하여 시간정보갱신(Time update)과정에서 추정하고 측정정보갱신(Measurement update)부분은 확장형 칼만필터 알고리즘을 사용하여 추정하는 것이 특징인 슬라이딩모드와 확장형 칼만필터를 이용한 상태변수 추정방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

종래기술의 문헌 정보

- <1> [1] J.Y. Hung, W. Gao, J.C. Hung, Variable structure control: A survey, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1, pp.2-22, 1993
- <2> [2] V.I Utkin, Sliding modes and their application in variable structure systems. Moscow, Mir Publishers, 1978.
- <3> [3] V.I Utkin, Sliding Mode Control in Electromechanical Systems, Taylor & Francis, 1999
- <4> [4] S.K. Park, H.K. Ahn, Robust controller design with novel sliding surface-linear optimal control case, IEE Proc.-Control Theory and Application, Vol.146, No.3, pp.242-246, May 1999
- <5> [5] D.E Kirk, Optimal control theory-An Introduction, Prentice-Hall, 1970
- <6> [6] Lewis, Applied optimal control and estimation, Prentice-Hall, 1999
- <7> [7] K. Furuta, "Sliding mode control of a discrete system", System & Control Letters 14, pp145-152, 1990
- <8> [8] M.S. Grewal, A.P. Andrews, Kalman Filtering-Theory and Practice Using MATLAB

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <9> 본 발명은 직접 측정이 가능하지 않은 상태변수의 값을 미분하지 않고 추정하는 상태추정기에서 상기 상태변수를 추정하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 상기 상태변수는 불확실성에 대한 고려를 슬라이딩 모드를 이용하여 시간정보갱신(Time update)과정에서 추정하고 측정정보갱신(Measurement update)부분은 확장형 칼만필터 알고리즘을 사용하여 추정하는 것이 특징인 슬라이딩모드와 확장형 칼만필터를 이용한 상태변수 추정방법에 관한 것이다.
- <10> 슬라이딩 모드 제어기는 파라미터와 외란에 둔감한 특성이 있으며 그 개념과 구성이 간단하기 때문에 실제 여러 분야에서 많은 적용이 이루어지고 있다.
- <11> 상태추정기에 있어서도 가변구조를 이용한 슬라이딩 모드의 개념이 도입되었다.
- <12> 그러나 제어기 구성과 근본적으로 다른 점은 슬라이딩 평면의 구성에 있다.
- <13> 슬라이딩 평면의 구성은 모든 상태들에 의해서 이루어지며 상태추정기에서도 같은 방법으로 슬라이딩 평면을 구성하려면 상태 오차들을 구하여야 한다.
- <14> 그러나 모든 상태들이 측정가능하지 못함으로 인하여 이것은 불가능하다.
- <15> 이러한 이유로 알고 있는 상태 오차를 가지고 슬라이딩 평면을 구성해야 한다는 어려움이 있으며 슬라이딩 평면을 구성한다 하더라도 슬라이딩 모드를 보장할 수 없으려면 측정 불가능한 상태 오차가 일정한 크기보다 작아야 한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<16> 상기와 같은 문제점을 보완하기 위하여 본 발명의 상태추정기에서는 슬라이딩모드를 이용한 추정기의 구성에 있어서 새로운 동 특성을 추가하여 그 성능을 향상 시킴과 동시에 노이즈가 존재하는 계통에 대해서 노이즈의 영향을 최소화시키는 칼만필터의 특성을 유지하는 새로운 상태추정기를 구성하는 것을 그 목적으로 한다.

발명의 구성 및 작용

<17> 본 발명은 직접 측정이 가능하지 않은 상태변수의 값을 미분하지 않고 추정하는 상태추정기에서 상기 상태변수를 추정하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 상기 상태변수는 불확실성에 대한 고려를 슬라이딩 모드를 이용하여 시간정보갱신(Time update)과정에서 추정하고 측정정보갱신(Measurement update)부분은 확장형 칼만필터 알고리즘을 사용하여 추정하는 것이 특징인 슬라이딩모드와 확장형 칼만필터를 이용한 상태변수 추정방법에 관한 것이다.

<18> 먼저 슬라이딩 모드의 상태추정기의 구조를 살펴보면 다음과 같은 비선형 계통을 다룬다.

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{k-1}, k-1) + \mathbf{w}_{k-1} + \mathbf{d}_{k-1} \quad (1)$$

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k, k) + \mathbf{v}_k$$

<21> 여기서 $\mathbf{w}_k, \mathbf{v}_k$ 는 공분산이 G, Q인 백색잡음이며 $\mathbf{d}_k$ 는 크기가 제한된 외란이다.

<22> 초기상태 평균값은 알고 있다고 가정한다.

<23> 우선 본 발명에서 외란이 정합조건을 만족시키는 경우, 상태추정기 구성에 있어서의 불확실성의 정합조건은 다음과 같다.

$$\mathbf{h}(t) = \mathbf{C}\mathbf{h}_1(t) \quad (2)$$

<25> 여기서 C는 출력행렬이다.

<26> 본 발명에서 슬라이딩 모드를 이용한 상태추정기는 추정된 상태 근방에서 근사 선형화된 선형시스템의 동 특성을 기반으로 한다.

<27> 불확실성이 정합조건을 만족시키는 경우의 슬라이딩 모드 상태추정기의 개념 설명을 명확하게 하기 위하여 다음과 같은 2차 계통을 고려하기로 한다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{k+1} \\ \mathbf{y}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_k \\ \mathbf{y}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \mathbf{u}_k \quad (3)$$

<29> 여기서 y는 측정 가능한 상태이고 x는 측정이 불가능한 상태이다.

<30> 위의 시스템에 대한 슬라이딩모드 상태추정기는 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_{k+1} \\ \mathbf{y}_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_k \\ \mathbf{y}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} (\mathbf{u}_k + K \text{sign}(\mathbf{y}_k - \hat{\mathbf{y}}_k)) \quad (4)$$

<32> 외란이 정합조건을 만족시키기 때문에 sign함수 일반 슬라이딩모드 상태추정기와는 다르게 측정 불가능한 상태의 추정에만 사용하였다.

<33> 슬라이딩 평면은 다음과 같이 구성이 된다.

$$S = y_k^{\wedge} - y_k \quad (5)$$

스위칭 이득 K는 슬라이딩모드가 일어나도록 다음과 같은 조건을 만족하도록 결정해야 한다.

$$0 \leq \sigma_{k+1} \leq \sigma_k, \sigma_k > 0$$

$$\sigma_k \leq \sigma_{k+1} \leq 0, \sigma_k < 0 \quad (6)$$

이상과 같이 상태추정기를 설계한 것은 강인한 칼만필터를 구성하기 위한 사전작업이다.

이제까지의 상태추정기 설계는 불확실성의 영향을 제거한다는 것이며 상태추정기의 성능에 대한 작업은 아래에 서술하였다.

확장형 칼만필터의 기본적인 구조를 간단히 살펴보면 다음과 같다.

칼만필터는 다음과 같은 확률적 계통의 상태추정에 사용된다.

$$x_{k+1} = f(x_k, k) + w_k \quad (7)$$

$$z_k = h(x_k) + v_k$$

위의 계통에 대한 칼만필터를 정리하면 다음과 같다.

$$x_k^{\wedge}(-) = f_{k-1}(x_{k-1}^{\wedge}(+)) \quad (\text{시간정보갱신}) \quad (8)$$

$$z_k^{\wedge} = h_k(x_k^{\wedge}(-))$$

$$x_k^{\wedge}(+) = x_k^{\wedge}(-) + K_k(z_k - z_k^{\wedge}) \quad (\text{측정정보갱신})$$

$$P_k(-) = \Phi_{k-1}^{[1]} P_{k-1}(+) \Phi_{k-1}^{[1]T} + Q_{k-1}$$

$$K_k = P_k(-) H_k^{[1]T} [H_k^{[1]} P_k(-) H_k^{[1]} + R_k]^{-1}$$

$$P_k(+) = \{I - K_k H_k^{[1]}\} P_k(-)$$

$$\Phi_k^{[1]} = \frac{\partial f_k}{\partial x} \Big|_{x=x_{k-1}^{\wedge}(-)} \quad H_k^{[1]} = \frac{\partial h_k}{\partial x} \Big|_{x=x_k^{\wedge}(-)},$$

여기서

위의 칼만 필터의 알고리즘은 두 단계로 구성이 되어 있다.

시간정보갱신(Time update)과 측정정보갱신(Measurement update)이다.

계통에 불확실성이 존재하는 경우에는 불확실성이 고려한 상태로 위의 방정식들의 해를 구하기가 어렵기 때문에 칼만필터의 적용이 어렵다.

따라서, 슬라이딩 모드 상태추정기를 이용하여 불확실성이 존재하는 경우에도 칼만필터의 장점인 노이즈의 영향을 최소화시킬 수 있는 강인한 칼만필터를 구성하기로 한다.

<56> 본 발명의 주된 요점은 다음과 같다.

<57> 불확실성에 대한 고려를 슬라이딩 모드를 이용하여 시간정보갱신(Time update)과정에서 하고 측정정보갱신(Measurement update)부분은 기존의 확장형 칼만필터 알고리즘을 통해 추정할 수 있다는 것이다.

<58> 본 명세서에서 제시된 확률적 슬라이딩 모드 상태추정기를 설계함에 있어서 기존의 슬라이딩 모드 상태추정기를 사용하기보다는 새로운 가상의 상태를 정의하고 그것을 이용하여 슬라이딩 평면을 정의한다.

<59> 가상의 상태를 이용하는 이유는 오차의 동특성을 향상시키기 위함이며 초기 시간부터 오차의 동 특성이 슬라이딩 평면에 있도록 하기 위함이다.

<60> 가상의 상태는 다음과 같이 정의한다.

$$\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{a} \mathbf{e}_k (|\mathbf{a}| < 1) \quad (9)$$

<62> 이해를 돕기 위해서 2차 계통을 대상으로 전개하며 출력도 상태 중의 하나라고 가정한다.

<63> 가상상태를 포함한 상태추정기는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{k+1} \\ \hat{\mathbf{y}}_{k+1} \end{bmatrix} = \Phi_k^{[1]} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_k \\ \hat{\mathbf{y}}_k \end{bmatrix} + H_k^{[1]} (\mathbf{u}_k + \mathbf{U}_{smc}) \quad (10)$$

$$\mathbf{z}_{k+1} = \Phi_k^{[1]} \mathbf{e}_k$$

<65>

<66> 여기서 슬라이딩 평면은 다음과 같이 결정한다.

$$\sigma_k = \mathbf{e}_k + \mathbf{z}_k \quad (11)$$

<68> 오차가 슬라이딩 평면에 있도록 하는 $\mathbf{U}_{smc}$ 는 다음과 같이 결정된다.

<69> $V_k = \sigma_k^2$ 이라고 하면 다음 조건을 만족하면 슬라이딩 평면에 있게 된다.

$$\sigma_k \Delta \sigma_{k+1} < \frac{1}{2} (\Delta \sigma_{k+1})^2 \quad (12)$$

<70>

<71> 위의 조건을 만족시키는 $\mathbf{U}_{smc}$ 는 참고문헌에서와 같은 방법으로 구할 수 있다.

<72> 다만, 측정하지 못하는 상태의 추정오차의 최대범위를 가정해야하며 이것은 기존의 슬라이딩 모드 상태추정기 설계에서도 요구되는 조건이다.

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{k+1} \\ \hat{\mathbf{y}}_{k+1} \end{bmatrix} = \Phi_k^{[1]} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_k \\ \hat{\mathbf{y}}_k \end{bmatrix} + H_k^{[1]} \mathbf{u}_k$$

<73>

<74> 이 경우 오차방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} e_{k+1} \\ e_{k+1} \end{bmatrix} = \Phi_k^{[1]} \begin{bmatrix} e_k \\ e_k \end{bmatrix} + w_k \quad (14)$$

이것은 외란에 관계없이 다음과 같은 시스템에 대해서 시간정보갱신 했을 때의 오차 방정식과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ y_{k+1} \end{bmatrix} = \Phi_{k-1}^{[1]} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + H_k^{[1]} u_k \quad (15)$$

이때의 오차 시스템의 공분산을 계산하면 다음과 같다.

$$P_k(-) = \Phi_{k-1}^{[1]} P_{k-1}(+) \Phi_{k-1}^{[1]T} + Q_{k-1}$$

$$K_k = P_k(-) H_k^{[1]T} [H_k^{[1]} P_k(-) H_k^{[1]T} + R_k]^{-1}$$

$$P_k(+) = \{I - K_k H_k^{[1]}\} P_k(-) \quad (16)$$

이제까지의 상태추정기 설계가 칼만필터에서 시간정보갱신(Time update)에 대한 설계라면 출력정보를 이용해서 공분산을 최적으로 줄일 수 있는 측정정보갱신(Measurement update)부분을 설계해야 한다.

이 부분은 기존의 알고리즘을 그대로 이용하면 된다.

발명의 효과

본 발명에서의 상태추정방법은 비선형 계통에 대한 상태추정기를 구성함에 있어서 슬라이딩 모드를 이용하여 외란과 같은 불확실성을 배제할 수 있고 노이즈의 영향도 최소화할 수 있도록 설계할 수 있다.