'87 韓國自動制御學術會議論文集 1987. 10.16~17

적응제어에 있어서의 robustness 개선을 위한 방법에 관한 연구

o 김홍필　　민병태　　양해원

한양대학교

A Study on Improvement of Robustness in Adaptive Control

o Hong Pil Kim　　Byung Tae Min　　Hai Won Yang

Hanyang University

ABSTRACT

When a ε_1 - modification is applied to a plant with unmodeled dynamics and bounded output disturbances, the output error seems to be relatively large. A ε_1 - modification with the same switching action as in the switching σ-modification is proposed to reduce the output error. The proposed adaptive control scheme is applied to a second-order plant and it can be asserted that the control objective is satisfied.

1. 서 론

제어하고자 하는 플랜트에 외란이 가해지는 경우 혹은 unmodeled dynamics 가 존재하는 경우에는 소위 ε_1 - modification [1] [2]을 이용하여 전체 적응 제어계통의 강인성을 개선시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 singular perturbation 형태로 기술된 간단한 2차 플랜트에 외란이 존재하는 경우, ε_1 - modification 기법을 적용하여 simulation 해 본 결과, 플랜트의 출력과 기준 모델간의 정상상태 오차가 상당히 큰 것을 관찰할 수 있었다.

본 연구에서는 이러한 정상상태 편차를 줄이기 위한 한가지 방법으로서 σ - modification [3]에서 사용되는 것과 같은 적응칙의 절환장치(switching action) [4]를 ε_1 - modification에 도입하여 보았다.

2. 플랜트 및 적응 제어계의 구조

다음과 같은 단일 입출력 계통을 생각하기로 한다.

$$\dot{x} = A_{11}x + A_{12}z + b_1 u$$
$$\mu\dot{z} = A_{21}x + A_{22}z + b_2 u \qquad (1)$$
$$y = Co'x + v_1$$

여기서 x와 z는 각각 n차원, m_e차원의 우세상태 (dominant state), 기생상태 (parasitic state) 이다. 그리고 u와 y는 플랜트의 입력,출력이다. v_1은 외란이다.

기생부분에 대하여

$$\eta \triangleq z + A_{22}^{-1}(A_{21}x + b_2 u)$$

라고 정의하면 위의 플랜트는 다음과 같이 쓸 수 있으며 우세부분과 기생부분이 확실하게 구별된다.

$$\dot{x} = A_0 x + b_0 u + A_{12}\eta$$
$$\mu\dot{\eta} = A_{22}\eta + \mu(A_1 x + A_2 u + A_3\eta + A_4\dot{u}) \qquad (2)$$
$$y = Co'x + v_1$$

한편 기준모델은 다음과 같이 주어지는 것으로 한다.

$$\dot{x}_m = A_m x_m + b_m r \ ; \ y_m = C_m' x_m \qquad (3)$$

여기서 r(t)는 기준 입력이다.
기준 모델의 전달함수는

$$\frac{y(s)}{r(s)} = Wm(s) = Km\frac{1}{Dm(s)} \qquad (4)$$

이며 Dm(s)는 $n^*(=n-m)$차의 monic안정한 다항식이다.

플랜트와 기준모델에 대하여 다음과 같이 가정한다.

a) { Ao, bo, Co } 는 가제어, 가관측이며, 전달함수는 다음과 같이 주어진다.

$$Wo(s) = Co'(sI-Ao)^{-1}bo = KpN(s)/D(s) \qquad (5)$$

여기서 N(s)는 n-1 차의 monic 안정한 다항식이고, D(s)는 n 차의 monic 다항식이다.

b) $Re\,\lambda(A_{22}) < 0$

c) 편의상 Kp = Km = 1

d) r(t)와 $\dot{r}(t)$는 uniformly bounded 이다.

제어기의 구조는 다음과 같다.

$$\dot{w}_1 = Fw_1 + qu , \qquad \dot{w}_2 = Fw_2 + qy \qquad (6)$$
$$u = r + \theta' w \qquad (7)$$

e) u 과 θ 에 대한 상한은 안다.

여기서 $w' = (w_1', w_2', y)$,

$$\theta'(t) = [\ \theta_1'(t),\ \theta_2'(t),\ \theta_3(t)\ ]$$ 이다.

또 F는 안정한 행렬이고 (F,q) 는 가제어쌍이다.

미지 매개변수 θ를 조정하기 위한 적응칙은 기존의 ε_1 - modification [3] 에 절환동작을 추가시킨 다음과 같은 적응칙을 사용한다.

$$\dot{\theta} = -\Gamma\frac{\varepsilon_1\zeta}{m^2} - \Gamma_1|\varepsilon_1|\left(\frac{\lambda_0}{m} + \frac{w_0}{m^2}\right)\theta$$

$$
\Gamma_1 = \begin{cases} 0 & \text{if } \|\theta\| < Mo \\ \Gamma\left(\dfrac{\|\theta\|}{Mo} - 1\right) & \text{if } Mo \le \|\theta\| \le 2Mo \\ \Gamma & \text{if } \|\theta\| > 2Mo \end{cases} \qquad (8)
$$

여기서 $\Gamma = \Gamma' > 0$

$$
\begin{aligned} \varepsilon_1 &= y - y_m + \theta'\xi - \nu, \\ \xi &= Wm(s)Iw, \\ \nu &= Wm(s)\theta' w \end{aligned} \qquad (9)
$$

$$
\begin{aligned} \dot{m} &= -\delta_0 m + \delta_1 (|u| + |y| + 1), \\ m(0) &\ge \frac{\delta_1}{\delta_0} \end{aligned} \qquad (10)
$$

Mo 는 $2\|\theta^*\|$에 대한 상한이며, w_o는 v_1에 대한 상한이다. 그리고 λ_o는 적당한 양의 상수이다.

위의 적응칙을 switching σ- modification과 비교해 볼 때 일정한 σ-인자 대신 시변 인자를 사용한다는 것이 다른 점임을 알 수 있다. 따라서 전체 제어계통의 안정도는 참고문헌 [3]과 같은 방법으로 증명될 수 있을 것으로 사료된다.

4. Simulation 결과 및 검토

기존의 ε_1 - modification 과 여기에서 제시한 절환동작을 추가한 ε_1 - modification과의 특성을 비교하기 위한 예제로서 다음과 같은 2차 플랜트 [4]를 선택하였다.

기준모델 : $\dot{y}_m = -3y_m + r, \quad r = 3\sin 2t$

플 랜 트 : $\dot{x}_p = 4x_p + 2z - u, \quad \mu\dot{z} = -z + u, \quad y_p = x_p + v_1$

제어입력 : $u = r - \theta(t)y$

여기서 $\nu = 1.0$ 이고 v_1의 상한 w_o는 3.0이다.

출력오차 $e_1 = y_p - y_m$

적 응 칙 $\dot{\theta} = -\Gamma \dfrac{e_1 y_p}{m^2} - \Gamma_1\left(\dfrac{\lambda_o}{m} + \dfrac{w_o}{m^2}\right)|e_1|\theta$

$$
\Gamma_1 = \begin{cases} 0 & \text{if } \|\theta\| < Mo \\ \Gamma\left(\dfrac{\|\theta\|}{Mo} - 1\right) & \text{if } Mo \le \|\theta\| \le 2Mo \\ \Gamma & \text{if } \|\theta\| > 2Mo \end{cases}
$$

여기서 $\lambda_o = 0.012$,
Mo($2\|\theta^*\|$에 대한 upper bound, $\|\theta^*\| = 7$) = 20

$$
\dot{m}(t) = -0.7m(t) + 0.1(|u| + |y| + 1)
$$

전체 제어계통의 블록선도는 그림 1과 같다.

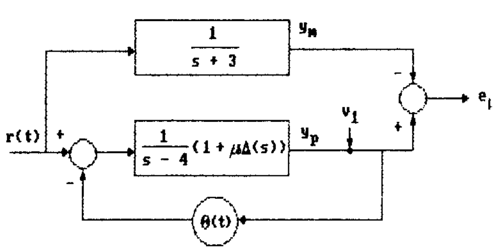

그림 1. 전체 제어계통의 블록선도
Fig 1. Block diagram of the overall control system

그림 2는 플랜트에 unmodeled dynamics가 존재하고 또 외란이 가해지는 경우 절환동작이 없는 기존의 ε_1 - modification 을 사용했을 때의 출력오차, θ, m(t) 를 나타낸 것이다.

그림 3 에서는 절환동작을 첨가한 ε_1 - modification을 사용했을 경우 의 출력오차, θ, m(t) 를 나타내었다.

이 두 그림들을 비교하여보면 ε_1 - modification 에 절환동작을 추가시켜 줌으로써 정상상태 편차를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

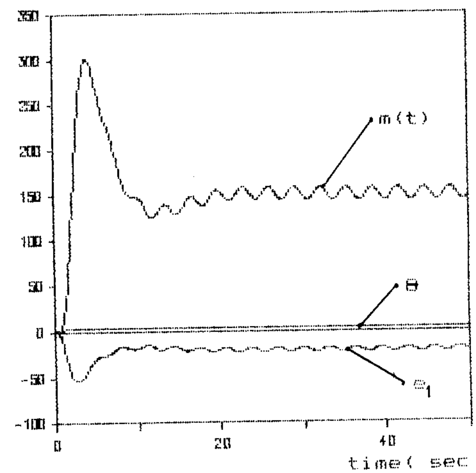

그림 2. 기존의 ε_1 - modification을 사용할 경우
Fig 2. When an existing ε_1 - modification without switching action is used.

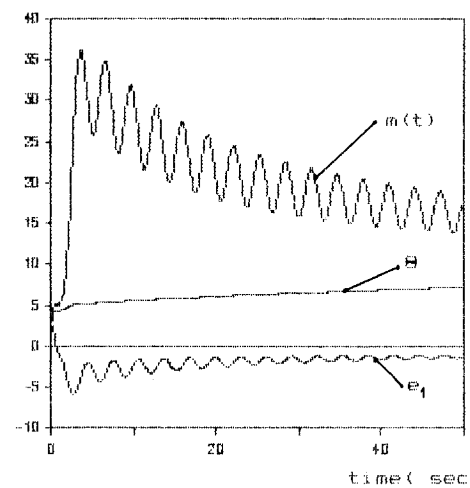

그림 3. 절환동작을 추가한 ε_1 -modification을 사용할 경우
Fig 3. When a ε_1 - modification with switching action is used.

5. 결 론

Singular perturbation 형태로 기술된 플랜트에 외란이 가해지는 경우 기존의 ε_1 - modification 을 사용하면 출력오차의 정상상태 편차가 상당히 큰 것을 계산기 simulation을 통하여 관찰하였다.

이러한 정상상태 편차를 줄이기 위한 한 가지 방법으로 기존의 ε_1 - modification 에 절환동작을 추가하여 보았고, 2차 플랜트에 적용하여 그 타당성을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K.S. Narendra and A. M. Annaswamy, "A New Adaptive Law for Robust Adaptation without Persistent Excitation", IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-32, No.2, pp. 134 - 145, 1987.

[2] P. Ioannou and J. Sun, "A General Robust Adaptive Law for Tuning Controllers", Proceedings of 25th Conference on Decision and Control, Athens, Greece, Dec. 1986.

[3] P. Ioannou and K. Tsakalis, "A Robust Direct Adaptive Controller", IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-31, No.11, pp. 1033 - 1043, 1986.

[4] P. Ioannou and P. Kokotovic, "Robust Redesign of Adaptive Control", IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-29, No.3, pp 202 - 211, 1984.