하계학술회의
논문85-2-2

변화하는 사구간을 이용한 MRAC
ROBUST M.R.A.C. WITH VARYING DEAD ZONE

박 세 웅　　서 울 대 학 교
양 흥 석　　전 기 공 학 과

I. 서 론

시스템의 파라미터가 미지이거나 서서히 변화하는 경우에 효과적인 제어를 위하여 적응제어 이론이 제안되었고, 이에는 자동동조조절기(STR)와 기준모델적응시스템 (MRAS)이 있다. 기준모델 적응시스템은 그 기본을 시스템 파라미터와 상태를 동시에 추정하고자 하는 적응 관측자(Adaptive observer)에서 부터 시작한다. 기준모델 적응제어는 직접방식(Direct method)와 간접방식(Indirect method)으로 구분되고, 이들은 등가인 것으로 알려져 있다.

80년대 초반까지는 이러한 제어방식들이 시스템의 안정도를 보장하는지와 수렴속도 개선이 주과제였고, 이는 어느정도 해결되었다.(1,2)

그러나 실지 시스템은 외부잡음이나 측정잡음이 존재하며, 일반적으로 비선형성이 존재한다고 볼수 있으므로 적응제어 이론들에 대한 평가 기준이 달라져야 한다.

즉, 안정도및 수렴속도등을 보장하기 위해 필요했던 가정들이 지켜지지 않을때도 제어효과를 거둘수 있는가 하는 강인성(Robustness)에 관한 연구가 필요하다.

현제 기준입력, 외부잡음, 모델오차등이 시스템의 안정도를 해친다는 것이 밝혀졌으며, 외부잡음이 있을경우 모델과 시스템출력 차이가 제한된 범위내로 수렴하도록 K.S. Narendra와 B.B. Peterson은 사구간 (Dead Zone)을 도입하였다.

본 연구에서는 사구간을 변화시킴으로써 서로 상반된 개념인 강인성과 제어효과(Performance)의 타협점을 얻도록 했다.

II. 본 론

1)문제 설정

플랜트 $\dot{X}_p = A_pX_p + b_pU$

$Y_p = C'X_p + V_1$　　V_1 = 외부잡음

$W_p(s) = C'(SI-A_p)^{-1}b_p = K_p\dfrac{N_p(S)}{D_p(S)}$

기준모델 $\dot{X}_m = A_mX_m + b_mr$

$Y_m = C_m' X_m$

기본가정

i) $D_p(S)$는 차수 n의 monic polynomial

ii) $N_p(S)$는 차수 m(n-1)의 monic Hurwitz polynomial

iii) v_1의 최대값은 알고 있다.

iv) n 과 $n^* \triangleq n-m, K_p$ 는 알고 있다.

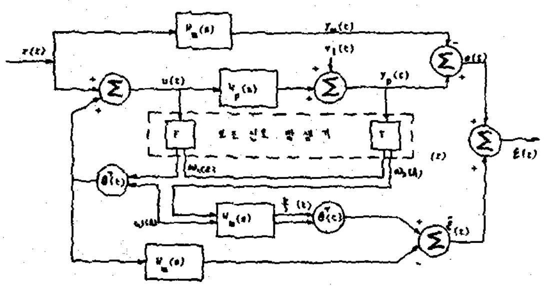
여기서의 목적은 $e(t)=Y_p(t)-Y_m(t)$ $t \geq t_0$ 인 모든 시간에 대해 bound 되도록 bound 입력 U(t)를 결정하는 것이다.

2) 적응제어 알고리즘

Controller 의 구성방법은 잡음이 없는 경우 (1)와 같은 형태를 가진다.

간단히 구성을 살펴보면, 가제어(controllable) 보조신호 발생기의 신호 $\omega_{(1)}, \omega_{(2)}$와 플랜트 출력 Y_p 로 보조벡터 $\omega^T=(\omega_{(1)}^T,\omega_{(2)}^T,Y_p)$를 만들고, 제어 파라미터 벡터 $(\theta_{(1)}^T,\theta_{(2)}^T,\theta_{2n+1})$를 잡으면 플랜트 입력은 $U(t)=r(t)+\theta^T(t)\omega(t)$ 이 된다.

플랜트와 Controller의 구성도



$$Y_m = W_m(S)\, r$$
$$Y_p = W_m(S)(r+\phi^T\omega)+V$$

v; 잡음 v_1 의 출력효과

$\phi \triangleq \theta(t)-\theta^*$ θ^*: constant 파라미터 벡터

$\bar{\varepsilon}$(보조오차신호)$=\theta^T W_m(S)\,\omega - W_m(S)\,\theta^T\omega$

확장된 오차 $\varepsilon(t) = e(t)+\bar{\varepsilon}(t)$
$$= \phi^T W_m(S)\,\omega + V$$
$$= \phi^T\xi(t) + V$$

잡음이 없는경우, 다음과 같은 적응법칙을 사용하면

$$\dot{\phi}(t) = -\frac{\Gamma\varepsilon(t)\xi(t)}{1+\xi^T\Gamma\xi(t)} \qquad \Gamma=\Gamma^T>0$$

파라미터와 신호가 bound되며 lim e(t)=0가 된다.

잡음이 있을경우, 위의 적응법칙을 사용하면 파라미터가 발산하게 되므로 사구간(Dead Zone)을 도입하여 오차와 파라미터를 수렴하도록 했다.(3)

$|V|$의 bound 값 V_0를 가정하면

$$\phi = -\frac{\Gamma\varepsilon(t)\xi(t)}{1+\xi\Gamma\xi(t)} \qquad |\varepsilon(t)|>V_0+\delta$$
$$= 0 \qquad |\varepsilon(t)|\le V_0+\delta$$

δ : 임의의 양의 실수

확장오차 $\varepsilon(t)$가 $V_0+\delta$ 클때는 적응법칙을 동작시키고, $V_0+\delta$ 보다 작을때는 파라미터값을 변화시키지 않는다. 여기서 $V_0+\delta$ 가 사구간이 된다.

사구간의 선정을 (3)에 따르면 안정성을 보장받을수 있으나, 지나치게 큰 e(t) 를 발생시키는 요인이 된다.

빠른적응을 위해 초기의 사구간은 (3)에 따르고 구간별로 e(t) 가 사구간에 들어 있는지를 확인하여 어느시간동안 e(t)가 범위내에 들면 사구간을 줄여줌으로써 제어효과를 개선시킬 수 있다.

일단 사구간을 설정하면 e(t) 는 사구간의 최대값 사이에서 진동을 한다.

실제로 잡음의 bound 는 안정성을 위해 지나치게 크게 잡혀 있으므로 구간별로 보면, 잡음의 bound 는 달라지게 된다.

사구간을 사용했을때의 안정도에 대한 증명과 사구간의 설정기준은 Peterson 과 Narendra (3)의 논문에 나와있다.

III. 결 론

사구간의 크기가 너무 작으면 적응속도가 떨어지고, 무한한 시간동안 e(t)가 사구간 밖에 있으면 안정도가 깨지며 사구간이 너무크면 적응속도는 빨라지나 정상상태의 오차가 너무 크다는 것을 알 수 있다.

안정도를 위한 선정한 사구간은 잡음이 감소하

거나 없을때도 e(t) 는 감소되지 않으므로 제어 효과를 떨어뜨리게 된다. 따라서 강인성과 제어 효과를 좋게하기 위하여 타협이 필요하게 되는데 이는 사구간을 적절히 변화시킴으로써 달성할 수 있다.

이 방법은 잡음이 변화하는 플랜트의 제어에서 수렴을 보장하고 정상상태 오차를 작게 하는데 효과적일 것이다.

현재 적응법칙에 변화를 주는 방법(4)을 비교하고 있으며 사구간의 효과적인 변화방법에 대한 연구를 하고 있다.

참 고 문 헌

1. K.S. Narendra, Y.H.Lin, and L.S. Valavani, "Stable adaptive controller design, Part II : Proof of stability," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-25, pp.440-448, Jun. 1980.

2. A.S. Morse, "Global stability of parameter adaptive control systems," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-25, pp.433-439, June 1980.

3. B.B. Peterson and K.S. Narendra, "Bounded error adaptive control," IEEE Trans. Automat. Contr. , Vol. AC-27, pp.1161-1168, Dec. 1982.

4. P.A. Ioannou and P.V. Kokotovic, "Instability analysis and improvement of Robustness of adaptive control," Automatica, Vol 20, No.5, pp.583-594, 1984.