매개변수화 어파인 모델에 기반한 꼬리날개 제어유도탄의 적응제어

Adaptive Control based on a ParametricAffine Model for tail-controlled Missiles

최 진 영*, 좌 동 경**

* 서울대학교 전기공학부(Tel: 02-880-8372; Fax: 02-885-4459 ; E-mail:jychoi@ee.snu.ac.kr)
** 서울대학교 전기공학부(Tel:02-880-7283; Fax:02-888-4182; E-mail:dkchwa@neuro.snu.ac.kr)

Abstract : This paper presents an adaptive control against uncertainties in tail-controlled STT (Skid-to-Turn) missiles. First, we derive an analytic uncertainty model from a parametricaffine missile model developec by the authors. Based on this analytic model, an adaptive feedbacklinearizing control law accompanied by a sliding mode control law is proposed. We provide analyses of stability and output tracking performance of the overall adaptive missile system. The performance and validity of the proposed adaptive control scheme is demonstrated by simulation.

Keywords : adaptive control, uncertainties, missiles, analytic uncertainty model, parametricaffine model

1. 서론

비선형 특성이 강한 미사일의 자동조종장치 설계 방법으로 시 궤환선형화 제어기법을 비롯한 비선형 제어 기법의 연구가 많이 진행되고 있다. 한편, 공력 계수 자체가 풍동 실험에 의해 구해진 값들이기 때문에, 실제 상황에서는 미사일 동력학에 불확실성의 존재가 불가피하다. 궤환선형화 제어 기법의 적용시 이러한 불확실성 모델을 보상하기 위해 다양한 강인 제어 및 적응 제어 결과들이 제시되어 왔고 [1-6], 또한 이러한 결과들은 자동조종장치에 적용되어 왔다 [7,8,9]. 그러나, 비선형 시스템에 대한 기존의 적응제어 기법들에서는 플랜트 동력학의 불확실성 형태에 대한 조건이 선형 매개변수의 조합으로 나타난다. 즉, 매개변수화된 불확실성이 동력학 식에서 비선형적으로 나타나는 형태에 대한 결과도 있지만 [6], 대부분의 결과에서는 선형적으로 나타나는 형태에 대한 결과들이다 [1-5]. 반면에, 미사일의 해석적인 불확실성을 얻기가 어렵기 때문에 대체로 불확실성의 형태가 직관적인 형태라고 가정을 하였다. 이에 따라, 비선형 미사일 시스템의 적응 제어기 설계 [9,10,11] 는 뉴럴-적응 제어기의 경우 [12,13] 보다 비교적 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해, 비선형 적응 제어 기법들이 비교적 어파인 모델에 대해 보다 많이 개발되어 온 사실을 주목하고서, [14] 에서 미사일 시스템의 매개변수화 어파인 모델 기법을 제시하였다. 매개변수화 어파인 미사일 모델의 경우 선형 매개변수화 형태를 지니므로, 쉽게 기존의 적응 제어 기법 [15] 을 적용할 수 있고, 실용적이면서 현실적인 미사일 적응 제어기를 설계할 수 있다.

본 논문에서는 STT 미사일의 매개변수화 어파인 형태의 불확실성을 유도한다. 불확실성 모델은 매개변수화 가능한 부분과 매개변수화가 가능하지 않은 부분으로 나누어 질 수 있는데, 각각 적응 궤환 선형화 제어와 슬라이딩 모드 제어를 이용하여 보상한다. 또한, 엄밀한 분석을 통해 제시된 방법으로부터 적응 제어기를 포함한 전체 미사일 시스템이 동력학에 불확실성이 존재하더라도 충분한 성능을 유지할 수 있음을 보인다. 모의실험을 통해서도 제시된 방법이 불확실성의 영향을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인한다.

2. 매개변수화 어파인 불확실성 모델

본 장에서는 매개변수화 어파인 미사일 모델에 바탕을 둔 매개변수화 어파인 불확실성 모델을 유도한다.

먼저, STT 미사일의 매개변수화 어파인 모델링 [14] 할 때와 마찬가지의 다음의 가정들을 도입한다.

가정 2.1: m , I_y , I_z 의 변이는 무시할 수 있다.

가정 2.2: 미사일은 Y-, Z-축에 대해 대칭이다.

가정 2.3: 미사일은 롤 안정화되어 있다 ($p=0$).

가정 2.4: $U \equiv V_M$ =상수.

피치 동력학과 동일하므로, 요 동력학에 대해서만 기술한다.

$$\begin{cases} \dot{\beta} = -r + \dfrac{QS}{Um} C_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A) \\ \dot{r} = -QC_a(\phi_A, \beta) - \dfrac{QS(l_f - l_g)}{I_M} C_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A) \\ A_y = \dfrac{QS}{m} C_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A). \end{cases} \tag{1}$$

여기서, C_a 는 공력 계수 C_y 와 C_n 으로 부터 구한 공력 함수 [16] 로서 다음의 관계식으로 표현된다.

$$C_n(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A) = -\frac{I_M}{SD} C_a(\phi_A, \beta) - \frac{l_f - l_g}{D} C_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A) \cdot \tag{2}$$

위의 $C_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A)$ 와 $C_a(\phi_A, \beta)$ 에 대해 각 국부 영역 모델에 대한 곡선 피팅과 이의 결과를 지역화 함수의 도입에 의해 전체 영역으로 확장하는 함수 근사화 방법을 적용하면, 각 근사화된 함수들은 다음과 같이 주어지게 된다 [14].

$$\hat{C}_y(M_m, \beta, \delta_r, \phi_A) = \theta_f^T \phi_f + \theta_g^T \phi_g \delta_r, \tag{3a}$$

$$\hat{C}_a(\phi_A, \beta) = \theta_h^T \phi_h. \tag{3b}$$