

안테나 축반이 안정화를 위한 고정도 위치 제어시스템의 개발

\* 전 부찬\*, 심 영진\*\*, 배 정철\*\*\*, 이 준탁\*\*\*\*

\* 동아대학교 대학원 전기공학과 석사과정, \*\*박사과정, \*\*\* 삼양무선(주)

\*\*\*\*동아대학교 전기·전자·컴퓨터 공학부 교수

Development of high precision position control system for Antenna pedestal stabilization

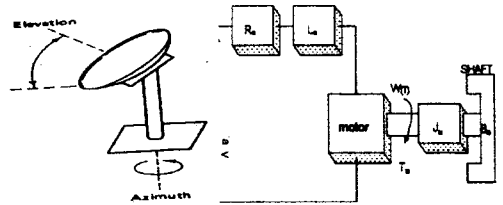
Jeon Pu-Chan\*, Sim young Jin\*\*, Bea Jung-Chul\*\*\*, Lee Joon-Tark\*\*\*\*

\* Graduate Student, Dept of Electrical Engineering, Dong-A Univ.

\*\*\* Sam Aang Radiation Corp. \*\*\*\* Professor, Dept of Electric-Electronic-Computer Engineering

**Abstract** - the satellite tracking problem of Antenna with two axis of elevation angle and azimuth one is described in this paper. The proposed control procedures for stabilization of nonlinear pedestal unit are consists of a off-line modeling identified by neural network and a on-line neural network controller combined with a reference model using the least square method. the simulation results are introduced and compared to a conventional PID controller.

안테나 시스템의 구성도는 그림2와 같이 나타낼 수 있다.



1. 서론

그림1. 양각과 방위각 그림2.안테나 시스템의 구성도

위성의 위치를 정확히 파악하고 안테나 설비를 위성에 추종시키기 위해 먼저 위성의 양각(Elevation Angle) 및 방위각(Azimuth Angle) 검출이 대단히 중요하다. 또한 이들 데이터에 따라 지상에서의 바람 및 기타 외부 외란, 내부 구동장치의 파라미터 변동 등이 주어지더라도 위성에 정확하게 추종시키는 안정화 제어시스템의 설계가 요청되고 있다.

안테나 축반이 시스템은 두 개의 독립된 기능 즉, 선박의 운동에 대한 안테나의 안정화부 및 위성을 향한 안테나의 위치 제어부로 대별될 수 있다. 이들 기능을 수행하기 위해 안정화용 3축(레벨, 크로스 레벨, 트레인)과 안테나 자세용 2축(양각 및 방위각)이 이용된다.

따라서, 본연구에서는 먼저 장기간 제어(Long term control)와 관련된 양각과 방위각 2축 제어를 통한 위성 추종 시스템을 모델링하고 안정된 동작특성을 얻기 위해 고정도 위치제어기를 설계할 것이다. 이 제어기 설계에는 고전적 제어기법(PID)과 지능적 요소를 갖춘 신경회로망제어를 적용하여 서로간의 제어특성을 Matlab의 Simulink를 통해 비교, 분석할 것이다.

$$v_a(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) + v_b \text{ ----- (1)}$$

$$T_m(t) = K_i \cdot i_a(t) \text{ ----- (2)}$$

$$v_b(t) = K_b \frac{d\theta(t)}{dt} = K_b \cdot \omega(t) \text{ ----- (3)}$$

$$T_m(t) = J_m \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} + T_g(t) \text{ ----- (4)}$$

$$T_g(t) = mgr \sin\theta_g$$

$v_a(t)$  : 입력전압 [v]  $L_a$  : 전기자 인덕턴스 [h]

$R_a$  : 전기자 저항 [Ω]  $v_b(t)$  : 모터의 역기전력 [v]

$i_a(t)$  : 전기자 전류 [A]  $K_i$  : 토크상수 [Kg·cm/A]

$\theta(t)_m$  : 회전자 각변위 [rad]  $\omega(t)$  : 회전자 각속도 [rad/s]

$K_b$  : 역기전력 상수 [v/rad/s]  $\theta(t)_g$  : 축의 각변위

$B_m$  : 점성 마찰계수 [Kg·cm/rad/s]  $T_g$  : 부하토크

$J_m$  : 회전자 관성모멘트 [kg·cm<sup>2</sup>]  $T_m$  : 모터의 발생토크 [Kg·cm]

식(1)에 식(3)을 대입하고 라플라스 변환하면

$$V(s) = L_a s I_a(s) + R_a I_a(s) + K_b s \theta(s)$$

$$\therefore I_a(s) = \frac{V_a(s) - K_b s \theta(s)}{L_a s + R_a} \text{ ----- (5)}$$

된다.

식(2)을 라플라스 변환후 식(5)을 대입하면

2. 안테나 추미시스템의 수학적 모델링

2.1 양각에 대한 수학적 모델링

$$T_m(s) = \frac{K_i \cdot (V_a(s) - K_b s \theta(s))}{L_a s + R_a} \quad \text{--- (6)}$$

된다.

식(4)을 라플라스 변환후 식(4)=식(5)로 두면

$$J_m s^2 \theta(s) + B_m s \theta(s) + T_g(s) + K_i \cdot \frac{(V_a(s) - K_b s \theta(s))}{L_a s + R_a}$$

$$J_m s^2 \theta(s) + (B_m + \frac{K_i \cdot K_b}{L_a s + R_a}) \cdot s \theta(s) + T_g(s) - \frac{K_i \cdot V_a(s)}{L_a s + R_a} = 0$$

된다. 상태방정식으로 변환하면

$$x_1 = \theta$$

$$x_2 = \dot{\theta}$$

$$x_3 = i_a$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{T_g}{J_m} - \frac{B_m}{J_m} \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{K_i}{J_m} \cdot i_a$$

$$\dot{x}_3 = -\frac{K_b}{L} \cdot \frac{d\theta}{dt} - \frac{R_a}{L} \cdot i_a + \frac{1}{L} \cdot v_a$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B_m}{J_m} & \frac{K_i}{J_m} \\ 0 & -\frac{K_b}{L} & -\frac{R_a}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} v_a + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{T_g}{J_m} \\ 0 \end{bmatrix}$$

된다.

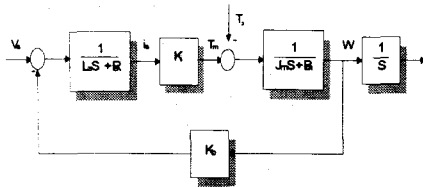


그림3. 시스템의 블록선도

## 2.2. 방위각에 대한 수학적 모델링

방위각에 대한 수학적 모델링은 양각의 수학적 모델링에서  $T_g=0$ 가 되면 동일하므로 간단히 전달함수만 나타내면 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{\Phi(s)}{v_a(s)} = \frac{K_i}{s[J_m L_a s^2 + (b_m L_a + I_m R_a)s + (B_m R_a + K_i K_b)]}$$

## 3. 신경회로망을 이용한 간접 적응제어의 설계

### 3.1. 플랜트 동정

플랜트 동정을 위한 신경회로망의 학습data는 그림4와 같이 플랜트의 입출력 특성에 의해 주어진다. 즉, 동적 시스템의 입출력 동작을 모델화하기 위해 신경회로망은 오차 역전파 알고리즘을 사용하였으며, 신경회로망으로 구현된 비선형 정적 사상은 시스템 동특성을 적절히 나타낼 수 있다.

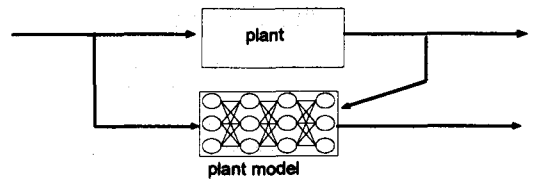


그림4. 플랜트 동정 신경회로망의 구성도

### 3.2. 플랜트 시스템의 제어

동정된 플랜트에 기초해서 적절한 제어가 설계된다. 본 논문에서 제안되는 간접 적응제어 전략은 이상에서 제시된 시스템 동정법에 따라 플랜트의 입출력 특성을 모사하는 신경회로망과 부 시스템의 일종인 선형 동적요소를 포함하는 동정모델에 의해서, 제어기의 파라메타는 동정 모델과 규범모델출력과의 오차를 역전파시킴으로써 동조되어진다. 즉, 플랜트가 허용정도내로 동정완료되면 플랜트의 출력이 안정한 규범모델의 추종하도록 제어기의 동작이 개시된다.

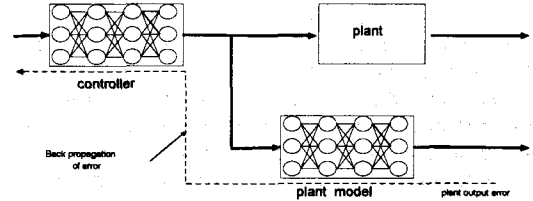


그림5. 플랜트 제어 신경회로망의 구성도

외란이나 잡음이 없는 경우는 제어 및 동정파라메터를 동시에 조절하는 것이 바람직하다. 즉, 매 스텝마다 동정과 제어가 동시에 행해진다. 그러나 센서의 잡음이나 외란이 존재하면, 동정은 매 스텝마다 행해지나, 제어 파라메타는 강인성을 위해 상대적으로 복수스텝마다 조정된다.

### 3.3. 규범모델 선정 및 신경회로망의 구성

위에서 구한 상태방정식에 직접 사양에 해당하는 값을 대입하면

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -7111.75 \sin x_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -17.04375 & 542.96875 \\ 0 & -24.10588 & -764.70588 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 588.23529 \end{bmatrix} v_a$$

가 된다.

비선형적인 양각 시스템의 동적 특성은 정상상태오차 잔존 및 상승시간이 길므로 다음과 같은 조건을 만족하도록 정상상태 오차없는 선형 규범모델을 선택한다.

- 정정시간 : 0.08초이내 , 오버슈트 : 5%이내

상기 조건에 따라 LSE법으로 선정된 선형 규범모델은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{1m} \\ \dot{x}_{2m} \\ \dot{x}_{3m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -7111.7 & -11500 & -165 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1m} \\ x_{2m} \\ x_{3m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 300000 \end{bmatrix}$$

### 3.4. 신경회로망을 이용한 간접 적응제어기

신경회로망을 이용한 간접 적응제어는 그림6와 같이 개략도로 나타낼 수 있다. 이 제어에 이용되는 신경회로망은 플랜트를 동정하는 동정 신경회로망과 규범모델의 출력값에 근사한 출력을 발생케 하는 제어 신경회로망 제어기로 구성될 수 있다. 신경회로망을 이용한 간접 적응제어를 위한 입력층, 중간층(히든층), 출력층의 뉴런수는 각각 3, 10, 1로 하였다.

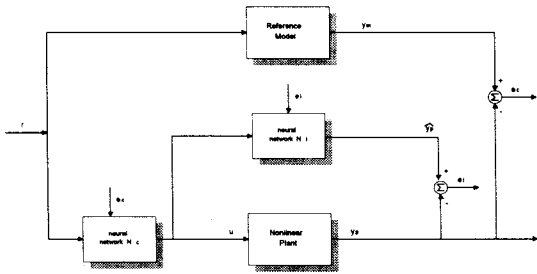


그림6. 신경회로망을 이용한 간접 적응제어

## 4. 시뮬레이션

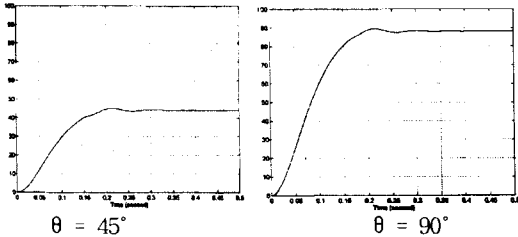


그림7. 양각에 대한 응답특성

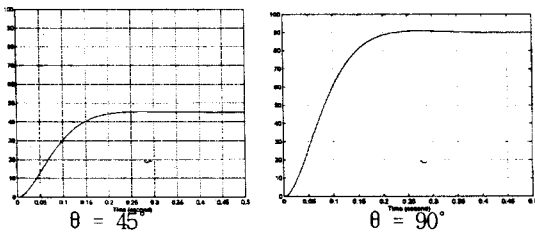


그림8 방위각에 대한 응답특성

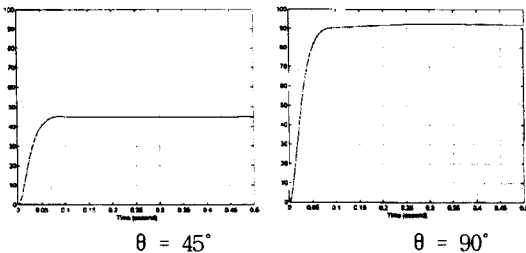


그림9. 양각에 대한 PID 제어

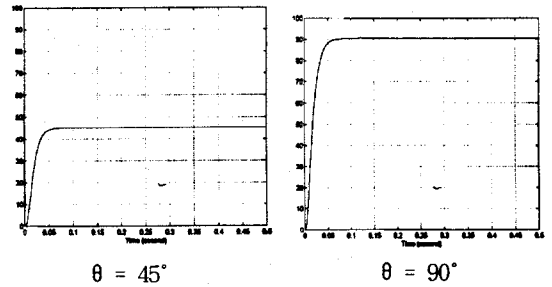


그림10. 방위각에 대한 PID제어

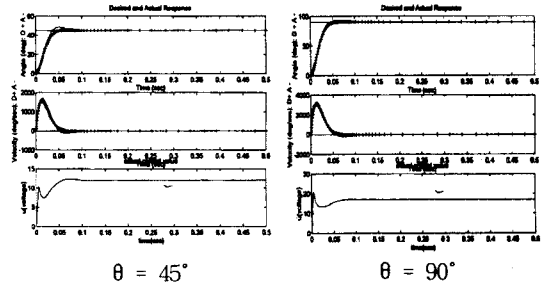


그림11. 신경회로망을 이용한 간접적응제어

## 5. 결론

본 논문에서는 안테나 양각 및 방위각의 위치제어를 중심으로 시스템의 동적 특성을 모델링하고 비교, 분석하였다. 비선형적 시스템에서의 매개변수의 변화로 PID 제어는 유효하지 못하여 양각 변화시 PID 매개변수도 변경되어야 함을 알 수 있었다. 그러나 실제 플랜트를 모사한 동정 신경회로망과 모델의 출력값을 정확하게 추종하도록 제어하는 제어 신경회로망을 갖는 간접 적응제어를 할 경우 바람직한 동적 특성을 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 학습시간이 긴 단점이 있어 추후 학습시간의 감소를 위한 알고리즘을 개발할 것이며, 실제 시스템에 적용하여 그 동적 특성을 구현할 것이다.

### [참고 문헌]

- [1] Leen houts, A. C. 1986. "The art and practice of step motor control , intertec communication.
- [2] Howard Demuth and Mark Beale, "neural network toolbox for using matlab" the math work inc.
- [3] Chin-Teng Lin and C.S. George Lee "neural fuzzy system" p445~457
- [4] John M. Smith, "Architecture of INMARSAT Standard-A ship earth Station", IEE, 3rd International Conference on Satellite Systems for..., June 1983, pp 90~94.