

이축 안테나 시스템의 안정화를 위한 제어 기법

○ 임 중 수 유 준
 충남대학교 공과대학 전자공학과

A Control Scheme for Stabilizing a Two-Axes Antenna System

Joong-Soon Lim and Joon Lyou

Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

Abstract

This paper presents a control scheme to stabilize a two-axes microwave antenna system which is located on a ship and is subject to roll, pitch and yaw(RPY) motions. The scheme first computes the compensated angular positions of the antenna for RPY disturbances through coordinate transformations, and then use a servo controller of PID type for each axis to track the compensated position command with a good transient behavior.

1. 서 론

해상에서 이동하는 선박은 본래의 운동 외에도 파도나 바람등에 의한 간섭운동을 받게된다. 선박의 무게중심을 원점으로 해서 길이방향(longitudinal), 측면방향(lateral), 수직방향(vertical)을 각각 x축, y축, z축으로 잡으면, 선체가 받는 간섭운동은 일반적으로 각축에 대한 회전운동의 조합으로 볼 수 있으며 이 회전운동을 각각 Roll, Pitch, Yaw (RPY)라 부른다. [1]

선박에 설치된 안테나 시스템은 RPY의 영향을 받게되어 불안정하게 되는데, 즉 안테나가 원하는 방향으로 지향하지 못하게 되는데, 이의 안정화를 위해서는 RPY에 대해 지향각을 보상하는 제어기법이 필요하다. [2]

본 논문에서는 선박에 설치된 마이크로웨이브 통신용 이축 안테나 시스템을 대상으로, 이를 안정화하기 위한 제어 기법이 제시되었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 본 안정화 제어 기법은 마이크로프로세서를 통하여 구현되며, 다른 부분과의 연관성을 살펴보면 다음과 같다. 방향지시장치로 부터 안테나가 지향해야 될 방위각(azi-

muth angle ; α) 및 고각(elevation angle ; β)을 받고, 또 Gyroscope로 부터 RPY에 관한 측정정보를 받아, 보상된 방위각(α_{co}) 및 고각(β_{co})를 계산한다. 그리고 안테나의 실제 방위각(α_s) 및 고각(β_s)이 보상된 각 α_{co} 및 β_{co} 에 도달할 수 있도록 각 축에 부착된 구동부에 적절한 구동명령($U\alpha, U\beta$)을 내준다.

보상된 지향각을 계산하는데 있어서는 여러단계의 좌표 변환(coordinate transformation)을 이용한 알고리즘이 제시되었고, 실제각이 보상된 각을 따라가는데 있어서는 주어진 성능사항을 만족시킬 수 있도록 극점배치(pole assignment) 방법에 의거한 PID 형태의 서보 제어기가 설계되었다. 아울러 컴퓨터 모사를 통하여 본 안정화 제어방식의 유용성을 보였다.

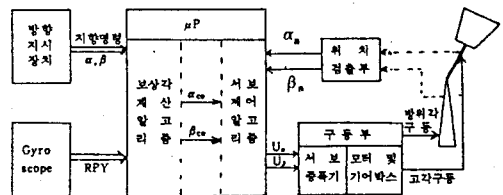


그림 1. 안정화된 시스템의 구성도

2. RPY에 대한 보상각 계산

이축 안테나의 경우 지향각(α, β)는 크기를 1로 간주하여 구형 좌표계(spherical coordinate)로 나타낼 수 있다. 한편으로 RPY는 직각좌표계에서 각 축에 대한 회전운동이므로 RPY가 ϕ, θ, ψ 만큼 일어났을 때 회전 변환은 다음과 같이 주어진다. [3]

$$R_{PY}(\phi, \theta, \psi) = \text{Rot}(Z, \psi) \text{Rot}(Y, \theta) \text{Rot}(X, \phi)$$

$$= \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} R_{11} &= \cos \psi \cos \theta \\ R_{12} &= \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi \\ R_{13} &= \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi \\ R_{21} &= \sin \psi \cos \theta \\ R_{22} &= \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi \\ R_{23} &= \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi \\ R_{31} &= -\sin \theta \\ R_{32} &= \cos \theta \sin \phi \\ R_{33} &= \cos \theta \cos \phi \end{aligned}$$

R_{PY}에 대한 보상각의 계산은 다음의 3단계 좌표변환을 통하여 이루어 진다.

단계 1. 구형좌표(α, β, l)을 직각 좌표 값으로 변환

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \sin \alpha \cdot \sin \beta \\ \cos \beta \end{pmatrix} \quad (2)$$

단계 2. 직각좌표계에서 R_{PY}에 대해 보상된 값을 계산

$$\begin{pmatrix} x_{co} \\ y_{co} \\ z_{co} \end{pmatrix} = R_{PY}(\phi, \theta, \psi)^{-1} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

$$= R_{PY}(\phi, \theta, \psi)^T \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} \quad (3)$$

단계 3. 보상된 직각좌표(x_{co}, y_{co}, z_{co})를 구형좌표 값으로 변환

$$\begin{aligned} \alpha_{co} &= a \tan 2(y_{co}, x_{co}) \\ \beta_{co} &= a \tan 2(\sqrt{x_{co}^2 + y_{co}^2}, z_{co}) \end{aligned} \quad (4)$$

3. 서보제어의 설계

이축 안테나 시스템의 각 축은 독립적으로 구동되고 구동장치가 동일한 구성으로 되어있기 때문에 한축에 대해서만 고려하기로 한다.

구동장치는 그림 2와 같이 구성하였다. 여기서 서보제어기는 설계과정상 analog 제어형태로 표시되었지만 실제로는 디지털 제어형태로 구현된다. 그리고 서보제어기는

그림 2에서 보는 바와 같은 PID구조(이를 소위 PID-B 형태라 부름)를 갖도록 하였는데 이 구조는 다음과 같은 잇점을 가지고 있다. [4]

- (i) 급격한 입력의 변화에 대하여 "derivative kick" 현상을 방지할 수 있다.
- (ii) 시스템 전달함수상에 영점(zero)을 추가하지 않아 다른 PID 구조에 비해 과도특성이 우수하다.

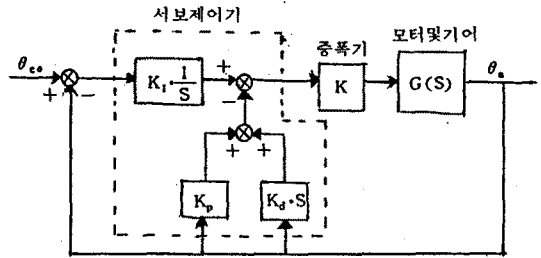


그림 2. 구동장치 구성도

actuator로는 직류모터(모델번호: TRW-102A-162, 미국TRW회사제품)을 사용하였으며 모터축은 기어 train(기어비 170:1)을 거쳐 안테나 기구축에 연결된다. 사용한 모터의 제원 및 기어비를 환용하여 모터 및 기어의 전달함수를 구하면 다음과 같다. [5]

$$G(S) = \frac{\theta_a(S)}{U(S)} = \frac{945}{S(S+30)} \quad (5)$$

여기서 U는 입력으로 amateur에 가하는 전압이고, θ_a는 출력으로 기어비로 환산된 실제각을 나타낸다. 그리고 그림 2에서 증폭기 이득(K)이 5일때 보상된 입력(θ_{co})에 대한 출력 θ_a의 전달함수를 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\theta_a(S)}{\theta_{co}(S)} = \frac{4725k_1}{S^3 + (4725k_d + 30)S^2 + 4725k_p S + 4725k_1} \quad (6)$$

서보제어기의 설계변수로서 비례이득 k_p, 적분이득 k_i, 미분이득 k_d를, 페루프 시스템(6)의 극점(pole)들이 원하는 위치에 배치되도록 정해 주기로 했다. [6] 그런데 이 극점들은 구동장치에 대한 성능사항을 토대로(표 1에 주어진) 다음과 같이 규정될 수 있다.

- (1) 감쇄비(ξ)를 0.707로 하고 대역폭(ω_n)을 고려하여 2개의 우세한 극점을 정한다.

$$\begin{aligned} S_{1,2} &= -\xi \omega_n \pm j \omega_n \sqrt{1-\xi^2} \\ &\approx -7 \pm j7 \end{aligned}$$

(2) 또 하나의 다른 극점용 S_1, S_2 와 벌리 떨어져 있도록 배치한다.

$$S_2 = -50$$

이상의 극점들을 갖도록 하는 k_p, k_D, k_I 는 (6)식의 분모로부터 다음과 같이 구해진다.

$$k_p = 0.168$$

$$k_D = 0.007$$

$$k_I = 1.038$$

표 1. 구동장치의 성능사항

항 목	사 양
대역폭	10 rad/sec
settling Time (in 5%)	1초 이내
정상상태 오차	1.5도 이하

최종적으로 디지털 서보제어기는 그림 3과 같이 구성된다.

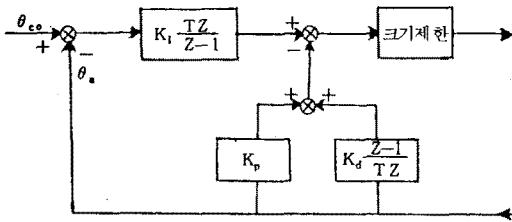


그림 3. 디지털 서보제어기의 구성

여기서 샘플링시간 T 는 성능사항의 대역폭을 고려하여 60ms로 잡았다. 그리고 모터에 가해 줄 입력 전압이 최대를 넘지 않도록 미리 크기 제한 기능을 둔다.

5. 컴퓨터 모사 결과

RPY의 간섭운동을 받는 이축 안테나 시스템이 안정화되는지를 보기 위하여 본 안정화 제어기법을 포함한 컴퓨터 모사가 행하여 졌다. RPY의 주기가 6.28초 및 4.0초인 경우, 보상된 방위각 명령(α_{c0}) 및 방위각 오차($\alpha_{c0} - \alpha_a$)에 대한 결과를 그림 4와 5에 걸쳐 도시하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 최대정상상태 오차가 1.45도, 최대 settling time이 0.3초 만큼 발생하였는데 이는 표 1로 주어진 성능사항을 만족하고 있다.

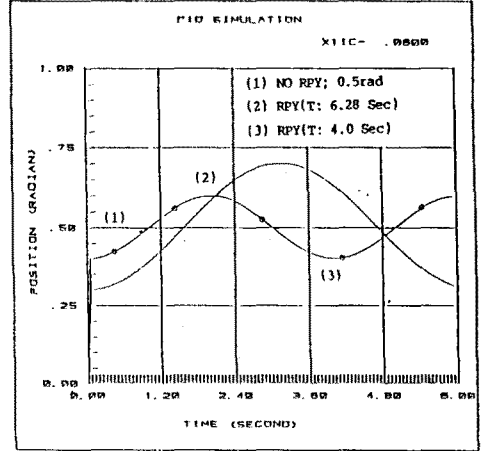


그림 4. 보상된 방위각 명령

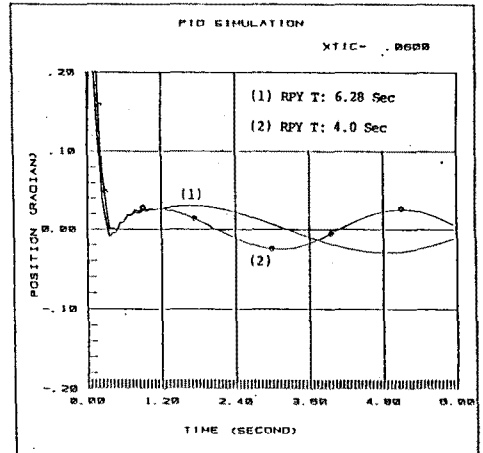


그림 5. 방위각 오차

6. 결 론

본 연구에서는 이축 안테나가 RPY의 영향을 받음에도 불구하고 계속 원하는 방향을 지향하도록 하기 위해 안정화 제어기를 구성하는 방안이 모색되었다. 좌표변환을 이용하여 보상각을 계산하는 알고리즘이 제시되었고, 극점 배치방법을 이용하여 PID 구조의 서보제어기가 설계되었다.

앞으로 보상각 계산을 되도록 빨리 해야되는 등 실제 구현시 고려해야 될 여러가지 측면에 대한 보완 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] Mavin Hobbs, *Applied Electronics*, J. F. Rider Publisher Inc., p.23, 1959.

- [2] John M. Smith, "Architecture of an IMARSAT Standard - A Ship earth Station," *IEE, 3rd International Conference on Satellite Systems for...*, pp.90-94, June 1983.
- [3] Richard P. Paul, *Robot manipulators*., the MIT press, pp.45-47, 1981.
- [4] P. K. Nandom and P. C. Sen, "A comparative study of P-I and I-P controller for DC moter drives, *INT. J. Control*, 1986, vol.44, pp.283-297.
- [5] 임중수, "이축 안테나 시스템의 안정화에 관한 연구" 충남대학교 대학원, 1987.
- [6] Benjamin C. Kuo, *Automatic Control Systems*. prentice-Hall Inc., Fourth edition, 1982.
-