

선박용 위성 안테나 시스템의 안정화 및 추적 알고리즘

Stabilization and Tracking Algorithms of a Shipboard Satellite Antenna System

고운용, 황승욱, 하윤수, 진강규

(Woon-Yong Koh, Seung-Wook Hwang, Yun-Su Ha, and Gang-Gyoo Jin)

Abstract : This paper presents the development of stabilization and tracking algorithms for a shipboard satellite antenna system. In order to stabilize the satellite antenna system designed in the previous work, a model for each control axis is derived and its parameters are estimated using a genetic algorithm, and the state feedback controller is designed based on the linearized model. Then a tracking algorithm is derived to overcome some drawbacks of the step tracking. The proposed algorithm searches for the best position using gradient-based formulae and signal intensities measured according to a search pattern. The effectiveness of both the stabilization and tracking algorithms is demonstrated through experiment using real-world data.

Keywords : shipboard satellite antenna, stabilization algorithm, tracking algorithm, gradient-based formula, genetic algorithm

I. 서론

선박에서 이용되는 위성통신 서비스는 주로 국제해사위성(INMARSAT)과 직접방송위성(DBS)을 통해 이루어지고 있다. 전세계 광역 통신망을 구축하고 있는 INMARSAT은 선박 상호간 또는 선박과 육상간의 해상통신 및 조난구조 통신망으로 이용되고 있으며, 선박의 효율적인 운항관리, 좌표식별, 원격감시 등으로 그 응용 범위가 확대되고 있다. 또한, 지역적으로 위성방송이 보급됨에 따라 해기사의 복지 향상 차원에서 DBS 수신기의 선박 내 장착이 확대되고 있다[1]-[4]. 이와 같은 해사 관련 서비스를 향해 중인 선박에서 이용하기 위해서는 선박이 움직이더라도 안테나가 항상 위성을 지향하도록 해주는 안정화 소프트웨어 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 선박용 파라볼라 위성안테나 추적 시스템을 국산화하기 위한 연구의 일환으로서[5], 먼저 선박운동에도 불구하고 안테나 Pedestal을 항상 수평으로 유지하는 안정화 제어기를 설계한다. 이를 위해 Pedestal을 롤링, 피칭, 요잉축으로 회전할 수 있도록 설계하여 선박의 운동을 축 단위로 분해하여 검출하고 보상할 수 있도록 하였다. 또한 각 축별 운동을 제어하기 위한 제어대상 시스템의 모델을 유전 알고리즘을 이용하여 추정하며, 추정된 모델을 기반으로 최적 상태제어기를 설계한다.

일단 Pedestal이 수평으로 유지되면 연속적으로 안테나를 이동시켜서 최대 수신 레벨이 되는 지점을 찾는 트래킹 과정이 필요하다. 현재 사용되고 있는 방식으로는 코니칼(Conic), 멀티 혼(Multi-horn), 스텝(Step) 트래킹[6]-[8] 등이 있다. 코니칼 트래킹은 안테나 수신단을 원추 형태로 회전시켜 위성 방향이 회전의 중심 축에 있을 때는 신호세기가 일

정하지만 그렇지 못한 경우에는 신호세기가 달라지는 점을 이용한 것이다. 이 방식은 수신단을 회전시키는 기계 구조가 필요하므로 파라볼라 안테나 구조상 앞부분이 무거워지므로 대형 안테나에만 적용된다. 멀티 혼 트래킹은 코니칼 방식을 개선하여 기계구조를 없앤 것으로 여러 개의 혼(LNB)을 대칭적으로 배치하여 신호세기를 판정하는 방식인데, 통상 4개의 수신단이 필요하다. 스텝 트래킹은 일정시간 간격으로 안테나를 미소 각도로 상하좌우로 이동시키면서 신호세기를 측정하여 최대 레벨을 찾는 방식으로서, 구현이 간단하고 부가적인 기계구조가 요구되지 않아 소형 안테나의 대부분에 채택되고 있다[6][7].

그러나 기존의 스텝 트래킹은 방위각과 앙각에 대해서 독립적으로 방향을 결정함으로써 수신점을 놓치는 경우가 발생하며, 한 스텝씩만 움직이게 되므로 최대점을 찾는 데 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 스텝 트래킹 방식의 단점을 개선할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 개선된 알고리즘은 구배(Gradient)에 기초한 것으로서 적절한 탐색 패턴을 통해 방위각과 앙각을 변경하면서 계속된 위성 세기 신호를 이용하여 최적의 지향각을 탐색하게 된다. 제안한 방법의 우수성을 검증하기 위하여 모의 시뮬레이터와 실측된 위성 신호를 이용하여 실험을 실시한다.

II. 선박용 위성 안테나 시스템의 구조

본 논문의 연구대상 시스템은 저자들이 선행 연구를 통해 개발한 선박용 파라볼라형 위성추적 안테나로서 그림 1과 같이 Stabilized Antenna Pedestal(SAP), Pedestal Control Unit(PCU), Antenna Control Unit(ACU)로 구성된다.

1. Stabilized Antenna Pedestal(SAP)

SAP는 상갑판에 설치되는 파라볼라형 디쉬(Dish)와 3축 구동부를 포함하는 기계구조로서, 그림 2와 같이 각 축의 중앙에 구동용 액츄에이터와 회전정보 검출용 센서를 장착시켜 축 단위로 제어가 가능하도록 설계되어졌다. 롤링과 피칭 축에 설치된 액츄에이터는 안테나를 수평으로 유지하기

접수일자 : 2001. 6. 18., 수정완료 : 2001. 10. 24.

고운용 : 한국해양대학교 제어계측공학과(ahrong@hanmail.net)
 황승욱, 하윤수, 진강규 : 한국해양대학교 기계·정보공학부 (hsw@hanara.kmaritime.ac.kr/hys@hanara.kmaritime.ac.kr/ggjin@hanara.kmaritime.ac.kr)

* 본 논문은 2001년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다.

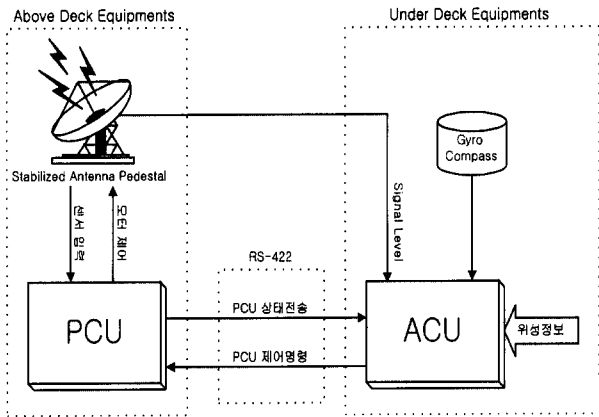


그림 1. 선박용 위성 안테나 시스템의 구성.
Fig. 1. Shipboard satellite antenna system.

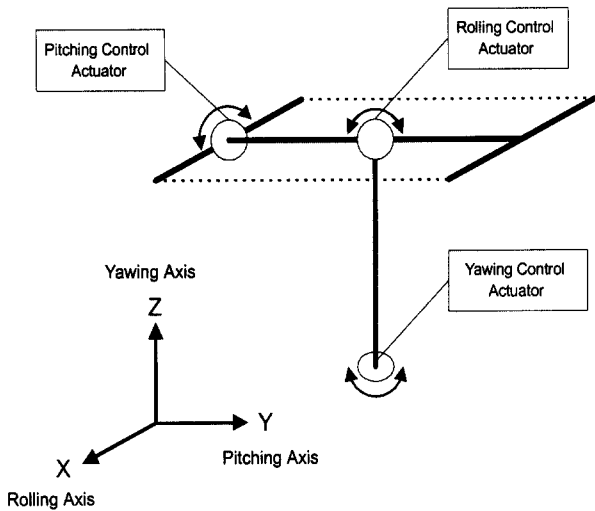


그림 2. SAP의 축 구조.
Fig. 2. Axis structure of SAP.

위한 것이고, 요잉 축에 설치된 것은 방위각을 일정하게 유지하기 위한 것이다.

2. Pedestal Control Unit(PCU)

PCU는 SAP에 설치되어 위성 안테나 시스템의 초기화, 안정화 및 추적 기능을 수행하는 핵심장치이다. 초기화 기능이란 시스템이 동작하기 전에 각종 하드웨어 소자와 소프트웨어 변수들을 초기화하는 것을 의미하며, 안정화 기능이란 선박의 롤링과 피칭 운동에 따라 나타나는 안테나의 기울기와 그 변화를 계측하고 실시간으로 제어하여 선박의 운동에 대하여 Pedestal의 수평을 유지시키는 것을 의미한다. 또한 추적 기능이란 ACU로부터 제공되는 정보인 위성의 지향각(방위각, 양각), 채널 및 위성 신호의 세기를 이용하여, 선박이 이동하더라도 Pedestal이 항상 위성을 지향하도록 제어하는 것을 의미한다.

PCU를 구성하는 하드웨어는 센서부, 액츄에이터 구동부, ACU와의 통신부로 구성된다. 센서부는 각도와 각속도 센서의 출력을 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기, 출력되는 신호의 레벨 조정 및 소프트웨어적으로 데이터 포맷을 읽어들이는 부분들로 구성된다. 액츄에이터 구동부는 제어

가 센서로부터의 측정치를 받아서 해당 액츄에이터를 구동하는 기능을 갖는다. 통신부는 ACU로부터 안테나의 방위각과 양각, 추적 기능에 필요한 위성의 RF 신호 세기를 전송 받는다.

3. Antenna Control Unit(ACU)

하갑판에 설치되는 ACU는 사용자로부터 위성 및 채널 신호를 입력받아 위성 위치와 채널 명령을 PCU에 전달하며, 선택된 위성의 RF 신호 세기를 입력받아 위성을 추종하기 위한 신호를 생성해 PCU에 전달하는 역할을 담당한다. ACU는 시스템의 초기화, 사용자 인터페이스, RF 신호의 AGC측정을 통한 추적 보조 기능, 자이로 인터페이스기능, PCU와의 직렬 통신부분으로 구성된다.

III. 안테나 Pedestal의 모델링

1. 선박의 운동

항해중인 선박은 파도 및 과랑 등의 영향에 의하여 그림 3과 같이 6자유도 운동을 하게 된다[9]. 이 운동은 선박 중심의 직교 좌표축인 X, Y, Z를 기준으로 한 병진운동, 즉 서어지(Surge), 스웨이(Sway), 히브(Heave)와 이들 축을 중심으로 한 회전운동, 즉 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)로 구분된다.

이러한 병진운동과 회전운동은 안테나의 지향각에 영향을 주게 된다. 병진운동은 안테나와 위성까지의 거리에 비하면 상대적으로 짧은 관계로 무시할 수 있으나, 회전운동은 지향각에 절대적인 영향을 미치게 된다. 특히 회전운동 중에서 롤링과 피칭은 안테나의 수평오차를, 요잉은 방향오차를 발생시키는 요인이 된다.

2. 시스템 모델

선박용 파라볼라 위성 안테나의 제어는 항해중인 선체의 운동에 대하여 안테나의 절대 수평을 유지하는 안정화 과정과 절대수평을 유지한 상태에서 위성의 지향각을 찾는 추적 과정으로 나뉜다. 먼저, 안테나의 Pedestal의 안정화는 롤링과 피칭 축을 주로 고려한다. Pedestal의 각 축에 부착된 센서는 선박의 운동을 축 단위로 분해하여 검출한다. 따라서 각축의 구동용 액츄에이터의 입력(제어입력)으로부터 센서 출력까지 모델 방정식을 쓰면 다음과 같다[10].

$$Y_i(s) = \frac{K_i e^{-L_i s}}{(1 + T_i s)} U_i(s) \quad (i=r, p) \quad (1)$$

여기서, $U_i(s)$ 는 제어입력, $Y_i(s) = \theta_i(s)$ 는 경사각 출력, K_i 는

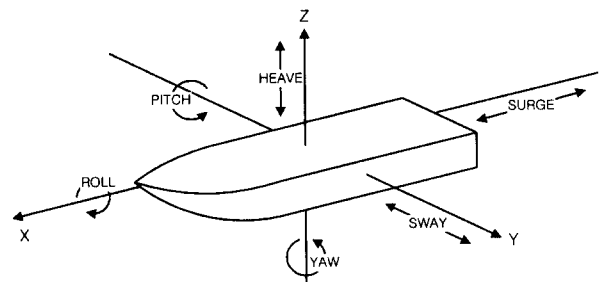


그림 3. 선박의 6자유도 운동.
Fig. 3. 6-degree movements of a ship.

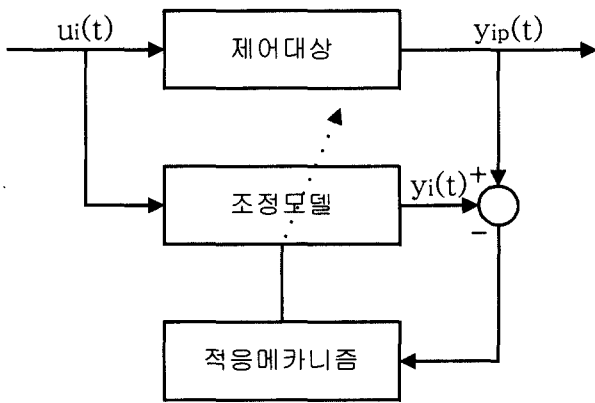


그림 4. 모델의 파라미터 추정 계통도.
Fig. 4. Block diagram to estimate model parameters.

이득, T_i 는 시정수, L_i 는 시간지연이다. 식에서 첨자 r 는 롤링 축, p 는 피칭 축을 뜻한다.

3. 유전알고리즘을 이용한 파라미터 추정

모델의 구조와 차수가 결정되면 다음 작업은 파라미터를 추정하는 것이다. 그림 4는 롤링 축과 피칭 축 모델의 파라미터를 얻기 위한 계통도이다.

적응 메커니즘은 시스템과 모델의 출력 차가 최소가 되도록, 즉 모델의 동 특성이 시스템의 동 특성에 가깝도록 모델의 파라미터를 조정하게 된다[11]. 이때 사용되는 목적함수는 다음과 같다.

$$J(\Phi) = \int_0^{t_f} |y_{ip}(t) - y_i(t)| dt \quad (i=r, p) \quad (2a)$$

여기서, $\Phi = [K_i \ T_i \ L_i]^T$ 는 조정되는 파라미터 벡터이고, $y_{ip}(t)$ 와 $y_i(t)$ 는 각각 롤링 축 또는 피칭 축 시스템과 모델의 출력이고, t_f 는 최종 적분시간으로서 이 이후의 적분 값이 무시되어도 좋을 정도로 충분히 큰 값이다.

본 논문에서는 비선형 최적화 문제인 대상모델의 파라미터 추정을 위해 실수코딩 유전알고리즘RCGA[12][13]을 이용한다. 개체집단이 진화해 가는 동안 RCGA는 개체간의 우열을 가리기 위하여 적합도를 필요로 하는데, 다음 적합도 함수가 선택되었다.

$$f(s) = -J(\Phi) + \delta \quad (2b)$$

여기서, δ 는 전 세대 동안 $f(s) \geq 0$ 의 관계가 만족되도록 선택되는 계수로서, 집단 내에 선택압(Selection pressure)이 적절히 유지되도록 변경된다[13].

IV. 안정화 제어기 설계

여기서는 선형모델을 얻고 이를 기반으로 안정화 상태공간 제어기를 설계한다. (1)에서 시간지연 요소를 일차 계로 근사화하고, 상태변수를 다음과 같이 정의하면

$$x_{i1} = \theta_i \quad (3a)$$

$$x_{i2} = \dot{\theta}_i - b_{i1}u_i \quad (3b)$$

(4)의 방정식을 얻을 수 있다.

$$(S) \begin{cases} \dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + d_i \quad (i=r, p) \\ y_i = C_i x_i \end{cases} \quad (4a)$$

$$A_i = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_{i2} & -a_{i1} \end{pmatrix}, B_i = \begin{pmatrix} b_{i1} \\ b_{i2} - a_{i1} b_{i1} \end{pmatrix}, \quad C_i = [1 \ 0] \quad (4b)$$

$$a_{i1} = \frac{2}{L_i} + \frac{1}{T_i}, \quad a_{i2} = \frac{2}{T_i L_i}, \quad b_{i1} = -\frac{K_i}{T_i}, \quad b_{i2} = \frac{2K_i}{T_i L_i} \quad (4c)$$

여기서, $x_i = [x_{i1} \ x_{i2}]^T$ 는 상태벡터, $y_i = \theta_i$ 는 출력, d_i 는 외란이다. 특히 선체 운동은 제어시간에 비하면 상대적으로 매우 느리므로 외란은 제어시간 동안 일정한 것으로 간주할 수 있다.

안테나 Pedestal의 안정화 문제는 결국 최적 조정기 설계 문제로 귀착되므로 외란으로 인해 발생할 수 있는 정상편차를 줄이기 위하여 적분기를 도입한다.

$$z_i = \int y_i dt \quad (5)$$

양변을 한번 미분하고 (4a)와 결합하면

$$(S) \begin{cases} \dot{\tilde{x}}_i = \tilde{A}_i \tilde{x}_i + \tilde{B}_i u_i + \tilde{d}_i \quad (i=r, p) \\ y_i = \tilde{C}_i \tilde{x}_i \end{cases} \quad (6a)$$

여기서,

$$\tilde{x}_i = \begin{pmatrix} x_i \\ z_i \end{pmatrix}, \tilde{A}_i = \begin{pmatrix} A_i & 0 \\ C_i & 0 \end{pmatrix}, \tilde{B}_i = \begin{pmatrix} B_i \\ 0 \end{pmatrix}, \tilde{d}_i = \begin{pmatrix} d_i \\ 0 \end{pmatrix}, \tilde{C}_i = [C_i \ 0] \quad (6b)$$

확장시스템 (S)는 원래의 시스템(S)가 가제어하고, $\rho \begin{pmatrix} B_i & A_i \\ 0 & C_i \end{pmatrix} = 3$ 의 관계가 성립되면 가제어하게 된다[14]. 확장시스템에서 외란을 제외한 시스템을 점근적으로 안정하게 하면서 다음의 평가함수

$$J_i = \int (\tilde{x}_i^T Q_i \tilde{x}_i + \tilde{u}_i^T r_i \tilde{u}_i) dt \quad (i=r, p) \quad (7)$$

를 최소로 하는 제어법칙은 다음과 같다.

$$u_i = -G_i \tilde{x}_i = -G_{i1} x_i + g_{i2} \int y_i dt \quad (i=r, p) \quad (8)$$

여기서, $G_i = [G_{i1} \ g_{i2}] = -r_i^{-1} \tilde{B}_i^T K_i$ 이고, K_i 는 Riccati 행렬방정식의 해가 된다. 한편 (7)에서 Q_i 와 r_i 는 각각 양의 반한정행렬, 양의 계수이고 전체 시스템의 성능을 결정짓는 중요한 변수로서 사용자에게 의해 적절히 결정된다.

V. 추적 알고리즘 개발

앞서 언급하였듯이 추적은 선박이 이동하더라도 안테나가 항상 위성을 지향하도록 해주는 기능으로서, Pedestal이 수평으로 유지된 상태에서 위성 지향각, 즉 방위각(θ_A)과 양각(θ_E)을 조절하게 된다. 이때 이용되는 위성신호는 안테나 케이블을 통해 ACU로 전해지고, ACU에서는 신호의 세기를 AGC (Auto Gain Control)회로를 통해 얻어낸다. AGC 회로로부터 얻어진 위성 신호의 세기는 다시 ACU와 PCU를 연결하는 RS-422 케이블을 통해 PCU에 전달된다.

1. 위성 신호의 세기 분포

그림 5는 방위각과 양각의 변화에 따른 위성 신호의 세기 (Signal Intensity)를 ACU로부터 통신을 통해 받아 그린 것이다. 최대 레벨을 가지는 지향점을 중심으로 방위각과 양각을 0.2° 씩 증감해 가면서 계속한 전압 신호를 최소값과 최대값 사이에서 선형적으로 정규화한 것이다. 이 신호에는 파라볼라 안테나의 특성이 그대로 나타나고 있다. 최대값을 갖는 지향점을 중심으로 세기가 지수함수 형태로 감소하는 그래프로 나타난다.

이러한 특성 때문에 수신가능 지역에서는 이득이 크지만, 그 외의 지역에서는 거의 신호가 잡히지 않는다. 따라서 먼저 서칭과정을 통해 수신가능 지역을 탐색해 들어간 후, 추적 과정을 통해 최고 수신점을 찾도록 지향각을 변경시키는 작업이 필요하다.

2. 서칭(Searching)

위성 신호는 대체로 목표 위성 위치의 $\pm 2^\circ$ 범위 내에서만 수신되고 이 범위를 벗어나면 수신에 불가능하다. 따라서 연속적인 추적을 위해서는 광범위한 영역에서 $\pm 2^\circ$ 이내의 위성 신호 영역을 찾는 과정이 필요하다. 서칭은 추적의 부분적인 기능으로서 예상한 목표 위성의 위치를 시작점으로, 실제 위성 위치의 $\pm 2^\circ$ 의 영역을 찾는다.

이를 위해 본 논문에서는 코니칼(Conical) 동작과 비슷하면서 프로그램 구현이 간단한 피라미달 스캐닝 방식을 채택하였다(그림 6 참조). 그림에서 보듯이 중심으로부터 일정한 비율의 사각형을 그리면서 위성 신호의 입력이 있을 때까지 스캐닝 과정을 거쳐 신호 영역을 찾게 된다.

3. 추적(Tracking)

추적은 $\pm 2^\circ$ 범위 이내에서 적용되며, 주로 선박의 항행에 따라 선박에서 보는 위성 방향의 변화에 의해서 발생되

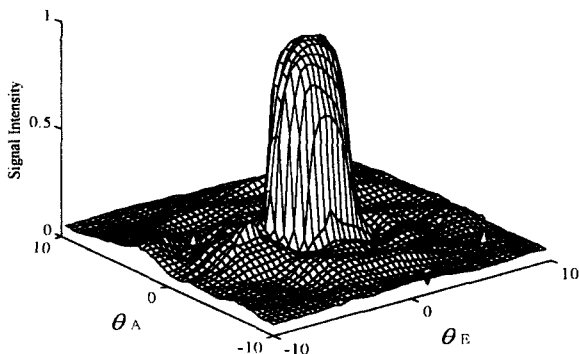


그림 5. 신호의 세기($-10^\circ \leq \theta_A, \theta_E \leq 10^\circ$).
Fig. 5. Signal intensity($-10^\circ \leq \theta_A, \theta_E \leq 10^\circ$).

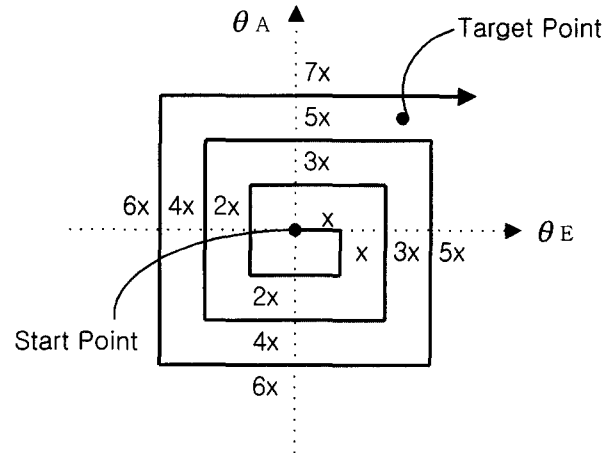


그림 6. 피라미달 스캐닝.
Fig. 6. Pyramidal scanning.

는 방위각과 양각의 오차를 보정한다. 일정한 시간 간격으로 안테나 각도를 미세하게 변화시키면서 수신 레벨의 변화를 관찰하여 최대 수신 지점을 찾는다.

3.1 기존의 추적 알고리즘

현재까지 파라볼라 위성 안테나 시스템의 추적에 자주 응용되고 있는 알고리즘으로는 코니칼, 멀티 혼, 스텝 트래킹 등[6][7]이 있다. 이 중에서도 스텝 트래킹은 구현이 간단하고 부가적인 기계구조가 요구되지 않아 소형 안테나를 중심으로 많이 채택되고 있다. 스텝 트래킹은 지향각을 미세하게 움직여 위성 신호의 최고점을 찾는 방법으로서, 현재의 수신 레벨을 일시 기억하고 있다가, 좌우(방위각) 또는 상하(양각) 방향으로 한 스텝씩 번갈아 가며 변화시켜서 수신된 두 신호 레벨과 비교하여 제일 큰 쪽으로 진행하여 나가게 된다. 그림 7은 스텝 추적의 원리를 보여주고 있다. 이 방

Procedure StepTrackingAlgorithm

```

Set k= 0 and initialize  $\theta_A(k)$ ;
Measure
 $J_1(k) = J_1(\theta_A(k))$ ,
 $J_2(k) = J_2(\theta_A(k) + \Delta\theta_A)$ ,
 $J_3(k) = J_3(\theta_A(k) - \Delta\theta_A)$  and find
 $J_{max} = \max\{J_1(k), J_2(k), J_3(k)\}$ ;
While < termination conditions are not met >
  If  $J_{max} = J_1(k)$ 
    Set  $\theta_A(k+1) = \theta_A(k)$ ;
  Else if  $J_{max} = J_2(k)$ 
    Set  $\theta_A(k+1) = \theta_A(k) + \Delta\theta_A$ ;
  Else
    Set  $\theta_A(k+1) = \theta_A(k) - \Delta\theta_A$ ;
  End if
  Measure  $J_1(k+1), J_2(k+1), J_3(k+1)$  and find
   $J_{max} = \max\{J_1(k+1), J_2(k+1), J_3(k+1)\}$ ;
  Set k= k+1;
End while
    
```

그림 7. 스텝 추적 알고리즘.
Fig. 7. Step tracking algorithm.

식은 방위각과 양각에 대해 독립적으로 한번씩 번갈아 가며 진행되기 때문에, 양각의 경우는 첨자를 E로 수정하면 된다.

이 알고리즘은 단순해서 구현하기가 쉽지만, 방위각과 양각에 대해 서로 독립적으로(실제 신호는 두 각의 함수) 방향을 결정함으로써 수신점을 놓치는 경우가 발생하며, 한 스텝씩만 움직이게 되므로 최고점을 찾는데 다소 시간이 소요된다.

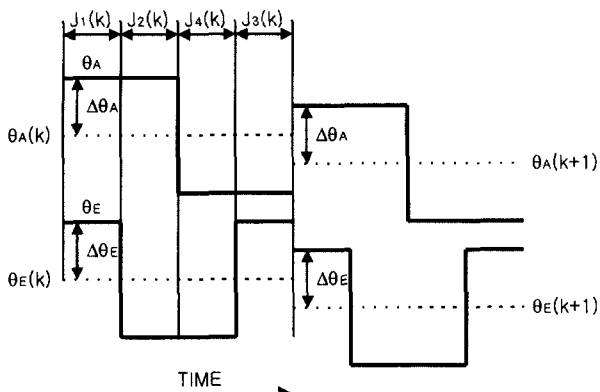
3.2 제안된 추적 알고리즘

스텝 추적의 단점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 그림 8과 같은 방식으로 방위각과 양각을 변경하면서 계속된 네 점의 신호를 이용하여 다음 단계의 지향각을 결정한다.

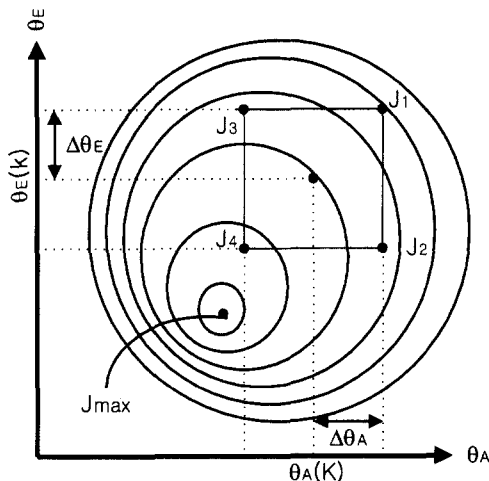
$$\theta_A(k+1) = \theta_A(k) + \alpha_A (J_1(k) + J_2(k) - J_3(k) - J_4(k)) \quad (9a)$$

$$\theta_E(k+1) = \theta_E(k) + \alpha_E (J_1(k) + J_3(k) - J_2(k) - J_4(k)) \quad (9b)$$

여기서, $\theta_A(k)$ 와 $\theta_E(k)$ 는 각각 k번째의 방위각과 양각이고, $J_1(k)$, $J_2(k)$, $J_3(k)$ 와 $J_4(k)$ 는 각 지점에서의 계측되는 신호의 세기이고, α_A 와 α_E 는 추적 성능에 영향을 미치는 계수로서 적절히 선택된다. 이는 등반(Hill-climbing)법과 유사하며 현재 점의 구배 근사값으로 목적함수의 차를 계산하여 다음 방위각과 양각을 결정하게 된다.



(a) 양각과 방위각의 변경 패턴(타임 차트)



(b) 신호 세기의 등고선

그림 8. 신호계측 전략.
Fig. 8. Signal sensing strategy.

Procedure ProposedTrackingAlgorithm

```

Set k= 0 and initialize  $\theta_A(k)$ ,  $\theta_E(k)$ ;
Measure
 $J_1(k) = J_1(\theta_A(k) + \Delta\theta_A, \theta_E(k) + \Delta\theta_E)$ ,
 $J_2(k) = J_2(\theta_A(k) + \Delta\theta_A, \theta_E(k) - \Delta\theta_E)$ ,
 $J_3(k) = J_3(\theta_A(k) - \Delta\theta_A, \theta_E(k) + \Delta\theta_E)$ ,
 $J_4(k) = J_4(\theta_A(k) - \Delta\theta_A, \theta_E(k) - \Delta\theta_E)$ ;
While < termination conditions are not met >
Calculate
 $\theta_A(k+1) = \theta_A(k) + \alpha_A (J_1(k) + J_2(k) - J_3(k) - J_4(k))$ ,
 $\theta_E(k+1) = \theta_E(k) + \alpha_E (J_1(k) + J_3(k) - J_2(k) - J_4(k))$ ;
Measure  $J_1(k+1)$ ,  $J_2(k+1)$ ,  $J_3(k+1)$ ,  $J_4(k+1)$ ;
Set k= k+1;
End while
    
```

그림 9. 제안한 추적 알고리즘.
Fig. 9. Proposed tracking algorithm.

그림 9는 제안된 알고리즘을 보여주고 있다.

VI. 실험 및 결과 고찰

구현한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 제작한 위성 안테나 시스템에서 실험을 실시하였다(그림 10 참조).

1. 안테나 Pedestal의 파라미터 추정

Pedestal의 파라미터 추정을 위해 입출력 신호의 계측 데이터가 요구된다. 시스템이 동작점(수평)에 있을 때, 입력으로

$$u_i = 10\sin(\frac{\pi}{30}t) + \sin(\frac{\pi}{10}t) + 5\sin(\frac{\pi}{6}t) \quad (i = r, p) \quad (10)$$

를 가하고 출력을 계측하였다. 이때 샘플링 시간은 $T = 0.05$ [sec]이었다. RCG의 매개변수로 집단크기 $N = 20$, 재생산

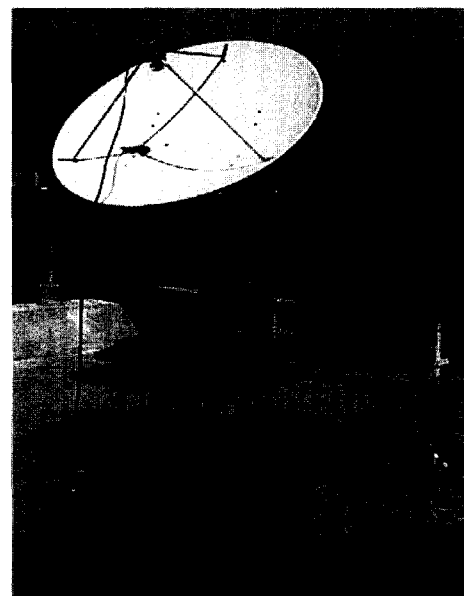


그림 10. 실험환경.
Fig. 10. Testing environment.

계수 $\eta_j=1.7$ ($1 \leq j \leq N$), 교배확률 $P_c=0.9$, 돌연변이 확률 $P_m=0.1$ 를 사용하였다[12]. K_i, T_i, L_i 의 탐색 구간은 $0 < K_i, T_i, L_i \leq 5$ 로 설정하였고, $t_f=20$ 으로 하였다

실험 결과 롤링 축 모델의 추정치로 $K_i=0.941, T_i=0.642, L_i=0.094$ ($a_{i1}=22.743, a_{i2}=32.980, b_{i1}=-1.465, b_{i2}=31.044$)를 얻었고, Pedestal의 구조적 유사성 때문에 피칭 축의 파라미터도 같았다. 그림 11은 파라미터 추정 과정의 한 예를 보여준다.

2. 안정화 실험

시스템의 안정화 기능을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 피이드백 이득행렬을 얻기 위해

$$Q_r=Q_p=\begin{pmatrix} 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 50 \end{pmatrix}, R_r=R_p=5 \quad (11)$$

을 선택하였고, 그 결과 $G_r=G_p=[2.023 \ 0.293 \ 3.162]$ 을 얻었다. 그림 12는 롤링과 피칭 축이 각각 $x_r=[20 \ 0]^T, x_p=[-10 \ 0]^T$ 위치에 있을 때, 시스템을 가동하고 각 축의 경사각 신호를 계측하고 그린 것이다. 효과적으로 안정화 제어를 수행하고

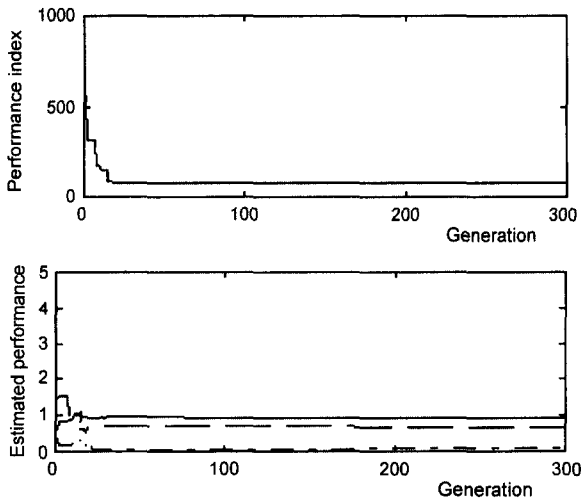


그림 11. 파라미터 추정, (a) 성능지수, (b) 추정 파라미터.
Fig. 11. Parameter estimation, (a) Performance index, (b) Estimates.

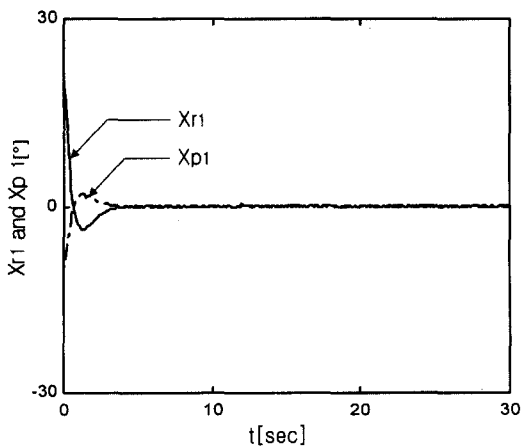


그림 12. 시스템 응답.
Fig. 12. System response.

있음을 알 수 있다.

3. 추적 실험

제안된 추적 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 실험 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였고 스텝 추적의 결과와 비교하였다. 시뮬레이션을 위하여 $\Delta\theta_A=\Delta\theta_E=0.2$ 을, $\alpha_A=\alpha_E=0.4$ 를 사용하였다.

그림 13과 14는 초기치 $\theta_A(0)=-2.5^\circ, \theta_E(0)=-2.5^\circ$ 에서 출발했을 경우의 추적 성능을 보여주고 있다.

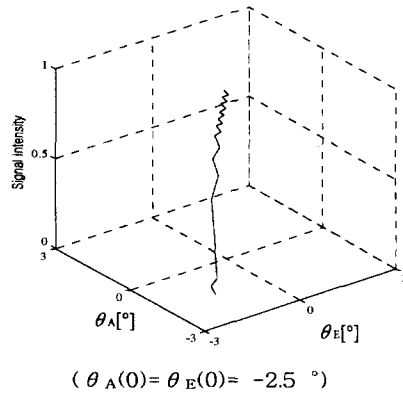


그림 13. 스텝 추적.
Fig. 13. Step Tracking.

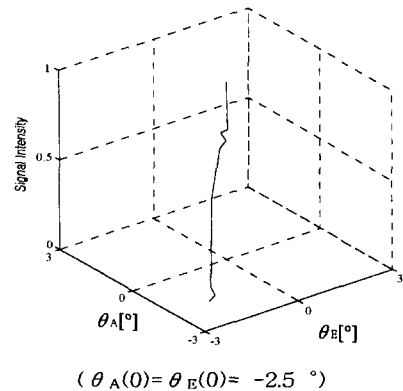


그림 14. 제안된 방법의 추적.
Fig. 14. Tracking using the proposed method.

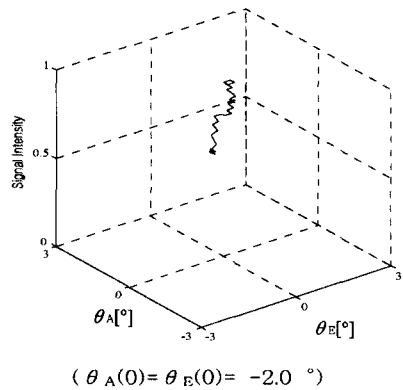


그림 15. 스텝 추적.
Fig. 15. Step Tracking.

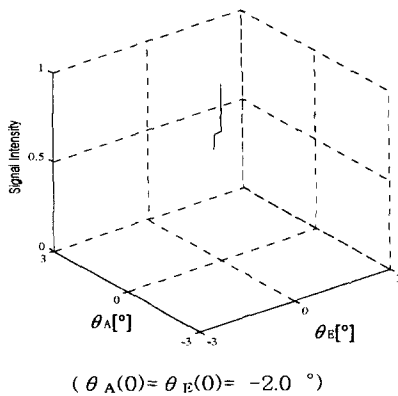


그림 16. 제안된 방법의 추적.
Fig. 16. Tracking using the proposed method.

제안된 방법은 초기 및 정상에서의 추적 성능을 동시에 개선할 수 있었다. 스텝 추적은 16번의 시도 끝에 최고 수신점 부근에 도달했으나, 제안된 방식은 8번의 시도로 도달하였다. 그림에서도 알 수 있듯이 스텝 추적은 최고점에 도달해서도 계속적으로 지그재그로 탐색하는 반면에, 제안된 방식은 정상에 도달하면 거의 안정된다. 그림 15와 16은 초기치 $\theta_A(0)=-2.0^\circ$, $\theta_E(0)=-2.0^\circ$ 에서 시작했을 경우의 추적 성능을 보여주고 있다. 스텝 추적은 10번의 시도 끝에 정상에 도달했고, 제안된 방식은 4번의 시도 끝에 도달하였다. 이 경우도 위의 결과와 유사하며 제안된 방법의 우수성을 확인할 수 있다.

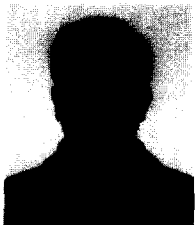
VII. 결론

본 연구에서는 선박용 위성 안테나 시스템의 안정화 및 위성 추적 알고리즘을 개발하는 문제를 다루었다. 안테나의 안정화 제어를 위해 모델을 구하고, RCGA를 이용하여 그 파라미터를 얻은 후, 선형모델에 기초하여 최적 상태제어를 설계하였다. 또한 기존의 스텝 추적의 단점을 극복하고 추적성능을 개선할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 개선된 알고리즘은 구배에 기초한 방법으로서 적절한 패턴으로 방위각과 양각을 변경하면서 계속한 위성신호를 이용하여 새

로운 지향점을 탐색한다. 모의 시뮬레이터와 실측된 위성 신호를 이용하여 실험을 실시한 결과 만족스러운 성능을 확인할 수 있었다.

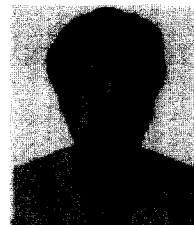
참고문헌

- [1] F. Baylin, *1995/96 World Satellite Yearly*, 1996.
- [2] T. P. Charles and W. Bostian, *Satellite Communications*, John-Wiley & Sons, 1994.
- [3] M. Ando, "New DBS receiver antenna," *Proc. of the 23rd European Conf. on Microwave*, Madrid, Spain, pp. 84-92, 1993.
- [4] Sea Tel Inc., *SEATEL Inmarsat-B Stabilized Antenna Manual*, Sea Tel Inc., 1995.
- [5] 고운용, 황승욱, 진강규, "선박용 위성 안테나 Pedestal의 안정화 제어," '98 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 188-191, 1998.
- [6] 최조천, 최병하, "선박용 위성방송수신 추적안테나 시스템에 관한 연구," *목포해양대학교 논문집*, pp. 109-125, 1996.
- [7] 김동혁, 최조천, 안동순, "이동체에서의 추적안테나 시스템 개발에 관한 연구," *목포해양대학교 정보산업연구지*, pp. 55-64, 1998
- [8] 박상원, 신지훈, 최병제, 김영호, "이동형 DBS 수신 안테나 최적 회전각 연구," '98 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1735-1738, 1998.
- [9] T. I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Willey & Sons, N.Y., 1994.
- [10] W. Leonhard, *Control of Electrical Drivers*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, N.Y., 1996.
- [11] 이현식, 진강규, "유전알고리즘을 이용한 연속시스템의 온라인 파라미터 추정," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제4권, 제1호, pp. 77-81, 1998.
- [12] 진강규, 주상래, "실수코딩 유전알고리즘에 관한 연구," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제6권, 제4호, pp. 268-275, 2000.
- [13] 진강규, *유전알고리즘과 그 응용*, 교우사, 2000.
- [14] B. Poter and A. Bradshaw, "Design of Linear Multivariable Continuous-time Tracking Systems," *Int. J. Systems Sci.*, vol. 5, no. 12, pp. 1155-1164, 1974.



고운용

1973년 6월 10일생. 1996년 한국해양대학교 제어계측공학과(공학사). 1998년 동대학원 석사(제어계측공학). 1998년~현재 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정.



황승욱

1958년 12월 25일생. 1984년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1986년 고려대학교 전자공학과(석사). 1992년 고려대학교 전자공학과(박사). 1986년~1992년 한국전자통신연구소 책임연구원. 현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 부교수.



하윤수

1962년 4월 23일생. 1986년 한국해양대학교 기관학과(공학사). 1990년 동 대학원 석사(제어공학). 1996년 일본 쓰쿠바대학 전자정보공학(박사). 현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 조교수.



진강규

1953년 10월생. 1977년 한국해양대학교 기관학과(학사). 1985년 Florida Institute of Technology, 전기·전자·컴퓨터공학과(석사). 1996년 University of Wales Cardiff, 전기·전자·시스템공학과(박사). 현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 정교수.