

선박용 위성 안테나의 트래킹 알고리즘 개발

◦ 고운용*, 황승욱**, 진강규**

Development of a Tracking Algorithm for Shipboard Satellite Antenna Systems

◦ Woon-Yong Koh*, Seung-Wook Hwang**, Gang-Gyoo Jin**

* 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과
** 한국해양대학교 기계·정보공학부

Abstract : This paper presents the development of a tracking algorithm for shipboard satellite antenna systems which can enhance the tracking performance. In order to overcome some drawbacks of the conventional step tracking algorithm, the proposed algorithm searches for the best tracking angles using gradient-based formulae and signal intensities measured according to a search pattern. The effectiveness of the proposed algorithm is demonstrated through simulation using real-world data.

Keywords: shipboard satellite antenna(선박용 위성 안테나), tracking algorithm(트래킹 알고리즘), gradient-based formula(구배에 기초한 식)

1. 서론

위성통신은 망 구성의 광역성, 회선 구성의 신속성 및 효율성, 이동의 용이성 등의 장점이 있어 이에 대한 연구와 개발이 점점 확대되고 있다[1,2]. 특히, 선박에서 이용되는 위성통신 서비스는 주로 국제해사위성(INMARSAT)과 직접방송위성(DBS)을 통해 이루어지고 있다. INMARSAT은 선박 상호간 및 선박과 육상간의 신뢰성 있는 광역 통신망을 확보함으로써 해상통신 및 조난구조 통신망으로 이용되고 있으며, 선박의 효율적인 운항관리, 좌표식별, 원격감시 등으로 그 응용 범위가 확대되고 있다 [3]. DBS는 지역단위 위성방송의 구축이 확대됨에 따라 해기사들의 복지 향상 차원에서 수신기의 선박 내 장착이 확대되고 있다[4].

이와 같은 해사 관련 서비스를 향해 중인 선박에서 이용하기 위해서는 위성 안테나 시스템의 하드웨어와 설정된 위성을 지향하도록 안테나를 안정화하고 선박이 이동할 때 위성을 트래킹하는 소프트웨어 개발이 필요하다. 선행

연구에서 저자들은 선박운동에도 불구하고 안테나 Pedestal을 항상 수평으로 유지하는 안정화 문제를 다루었다[5,6,7]. 여기서 안테나 Pedestal을 롤링, 피칭, 요잉 축으로 회전할 수 있도록 설계함으로써 각 축은 선박의 운동을 축 단위로 분해하여 검출하고 보상할 수 있도록 하였고, 안정화를 위하여 최적 상태제어를 설계하였다.

이를 바탕으로 본 연구에서는 기존의 트래킹 알고리즘의 단점을 극복하고 지향성을 개선할 수 있는 트래킹 알고리즘을 개발한다. 개선된 알고리즘은 구배(Gradient)에 기초한 것으로서 적절한 탐색 패턴을 통해 방위각과 앙각을 변경하면서 계측된 위성 세기 신호를 이용하여 최적의 지향각을 탐색하게 된다. 제안한 방법의 우수성을 검증하기 위하여 실측된 위성 신호를 이용하여 시뮬레이션을 실시한다.

2. 선박용 위성 안테나 시스템의 구조

수행된 연구를 통해 설계된 선박용 위성 안

테나 시스템은 크게 Stabilized Antenna Pedestal, Pedestal Control Unit, Antenna Control Unit로 구성되며, 그림 1은 이를 보여 주고 있다.

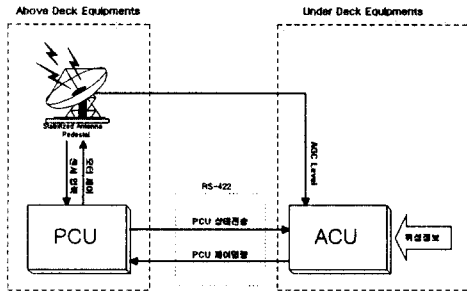


그림 1 선박용 위성 안테나 시스템의 구성

2.1 Stabilized Antenna Pedestal(SAP)

SAP는 상갑판에 설치되는 디쉬(Dish)와 구동부를 포함한 기계구조로서, 3축 구조로 설계되고, 각 축의 중앙에 액츄에이터를 장착시켜 축 단위로 제어가 가능하도록 하였다. 롤링과 피칭 축에 설치된 액츄에이터는 안테나를 수평으로 유지하기 위한 것이고, 요잉 축에 설치된 것은 방위각을 일정하게 유지하기 위한 것이다. 각 축에는 센서를 부착하여 SAP의 운동을 축 단위로 분해하여 감지할 수 있도록 하였다.

2.2 Pedestal Control Unit(PCU)

PCU는 SAP에 설치되어 위성 안테나 시스템의 초기화, 안정화, 트래킹 기능을 수행하는 핵심장치이다. 초기화 기능은 시스템이 동작하기 전에 각종 하드웨어 소자와 소프트웨어 변수들을 초기화 해준다. 안정화 기능은 선박의 롤링과 피칭 운동에 따라 나타나는 안테나의 기울기와 그 변화를 예측하고 실시간으로 제어하여 Pedestal을 수평으로 유지시키는 역할을 해준다. 트래킹 기능은 ACU로부터 통신을 통해 입력받은 위성 신호의 세기를 이용하여, 선박이 이동하더라도 Pedestal이 항상 위성을 지향하도록 해준다.

PCU를 구성하는 하드웨어는 센서, 액츄에이터 구동, 직렬통신에 관계된 것으로 나뉜다. 센서부는 각도와 각속도 센서의 출력을 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기, 출력되는 신호의 레벨 조정 및 소프트웨어적으로 데이터 포맷을

읽어들이는 부분들로 구성된다. 액츄에이터 구동부는 제어기가 센서로부터의 측정치를 받아서 해당 액츄에이터를 구동하는 기능을 갖는다. 직렬 통신부는 ACU로부터 안테나의 방위각과 양각, 트래킹 기능에 필요한 위성의 RF 신호 세기를 전송 받는다. 한편, 테스트 포트는 테스트 프로그램의 다운 로드, 메모리 덤프, 테스트 프로그램의 실행 기능을 수행한다.

2.3 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 PCU에 전달하는 역할을 담당한다. ACU는 시스템의 초기화, 사용자 인터페이스, RF 신호의 AGC측정을 통한 트래킹 보조 기능, 자이로 인터페이스기능, PCU와의 직렬 통신부분으로 구성된다.

3. 트래킹 알고리즘

앞서 언급하였듯이 트래킹(Tracking)은 선박이 이동하더라도 안테나가 항상 위성을 지향하도록 해주는 기능을 말한다(그림2 참조). 다시 말하면 Pedestal이 수평으로 유지된 상태에서 위성 지향각(즉, 방위각과 양각)을 조절하여 안테나가 위성을 지향하도록 하는 것으로서 이를 위해 위성 신호의 세기를 이용하게 된다.

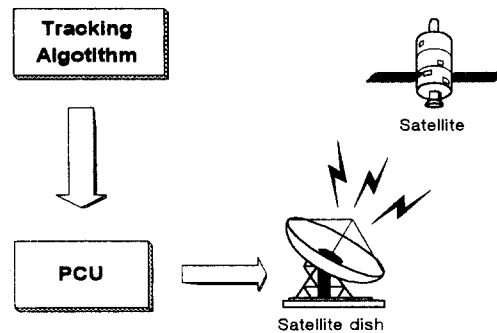


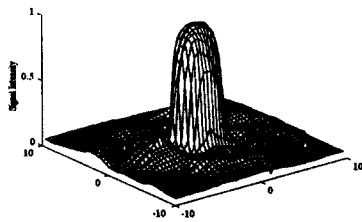
그림 2 트래킹 시스템

위성 신호는 안테나 케이블을 통해 ACU로 전해지고, ACU에서는 신호의 세기를 AGC

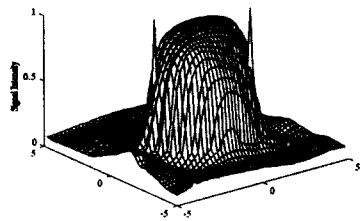
(Auto Gain Control) 회로를 통해 얻어낸다. AGC 회로로부터 얻어진 위성 신호의 세기는 ACU와 PCU를 연결하는 RS-422 케이블을 통해 PCU에 전달하게 된다.

3.1 위성 신호의 세기 분포

그림 3은 방위각과 양각에 변화에 따른 ACU로부터 통신을 통해 실제 위성으로부터 받은 신호의 세기(Signal Intensity)를 그린 것이다. 이 신호에는 파라볼라 안테나의 특성이 그대로 나타나고 있다. 최대값을 갖는 지향점을 중심으로 세기가 지수함수 형태로 감소하는 그래프로 나타난다. 여러 환경요인으로부터 이 신호에는 잡음이 혼탁될 수 있다.



(a) $-10^\circ \leq \theta_A, \theta_E \leq 10^\circ$



(b) $-5^\circ \leq \theta_A, \theta_E \leq 5^\circ$

그림 3 위성 신호의 세기 분포

이러한 특성 때문에 수신가능 지역에서는 이득이 크지만, 그 외의 지역에서는 거의 신호가 잡히지 않는다. 따라서 먼저 서칭을 통해 수신가능 지역을 탐색해 들어간 후, 트래킹 과정을 통

해 최고 수신점을 찾도록 지향각을 변경시키는 작업이 필요하다.

3.2 서칭 (Searching)

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

이를 위해 본 논문에서는 코니칼(Conical) 동작과 비슷하면서 프로그램 구현이 간단한 피라미달 스캐닝 방식을 채택하였다. 그림 4는 피라미달 스캐닝 과정을 보여준다. 그림에서 보듯이 중심으로부터 일정한 비율의 사각형을 그리면서 위성 신호의 입력이 있을 때까지 스캐닝 과정을 거쳐 신호 영역을 찾게 된다.

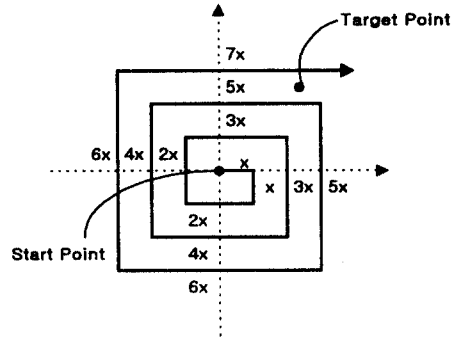


그림 4 피라미달 스캐닝

3.3 트래킹

트래킹은 $\pm 2^\circ$ 범위 이내에서 적용되며, 주로 선박의 항행에 따라 선박에서 보는 위성의 방향의 변화에 의해서 발생되는 방위각과 양각의 오차를 보정한다. 일정한 시간 간격으로 안테나 각도를 미소 각도로 이동시켜서 수신 레벨의 변화를 판정하여 최대 수신 레벨이 되는 지점을 찾는다.

가. 기존의 트래킹 알고리즘

기존의 트래킹 알고리즘은 스텝 트래킹이라 불리는 방식으로 지향각을 미소하게 움직여 위

성 신호의 최고점을 찾아가는 방식이다. 이 방법은 현재의 수신 레벨을 일시 기억하고 있다가, 좌우(방위각) 또는 상하(앙각) 방향으로 한 스텝씩 번갈아 가며 변화시켜서 수신된 두 신호 레벨과 비교하여 제일 큰 쪽으로 진행하여 나가게 된다. 그림 5는 스텝 트래킹의 동작원리를 보여주고 있다. 이 방식은 방위각과 앙각에 대해 독립적으로 한번씩 번갈아 가며 진행되기 때문에, 앙각의 경우는 첨자를 E로 수정해서 사용하면 된다.

이 알고리즘은 단순해서 구현하기가 쉽지만, 방위각과 앙각에 대해 서로 독립적으로(실제 신호는 두 각의 함수) 방향을 결정을 함으로써 수신점을 놓치는 경우가 발생하며, 한 스텝씩만 움직이게 되므로 최대점을 찾는데 많은 시간이 소요된다.

```

Procedure StepTrackingAlgorithm

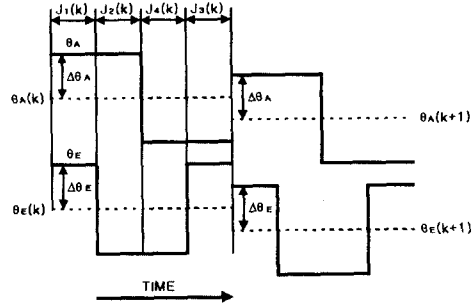
Set k= 0 and initialize  $\theta_A(k)$ ;
Measure
 $J_1(k) = J_1(\theta_A(k))$ ,
 $J_2(k) = J_2(\theta_A(k) + \Delta\theta_A)$ ,
 $J_3(k) = J_3(\theta_A(k) - \Delta\theta_A)$  and find
 $J_{max} = \max\{J_1(k), J_2(k), J_3(k)\}$ ;
While < termination conditions are not met >
  If  $J_{max} = J_1(k)$ 
    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 5 스텝 트래킹 알고리즘

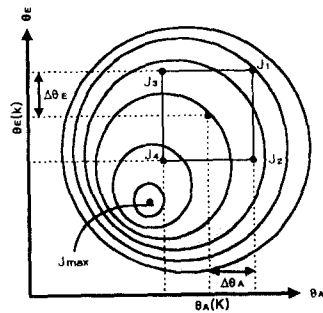
$$\theta_A(k+1) = \theta_A(k) + \alpha_A (J_1(k) + J_2(k) - J_3(k) - J_4(k)) \quad (1)$$

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

여기서 $\theta_A(k)$ 와 $\theta_E(k)$ 는 각각 k번째의 방위각과 앙각이고, $J_1(k), J_2(k), J_3(k)$ 와 $J_4(k)$ 는 각 지점에서의 측정되는 신호의 세기이고, α_A 와 α_E 는 트래킹 성능에 영향을 미치는 계수로서 적절히 선택된다.



(a) 앙각과 방위각의 변경 패턴(타임 차트)



(b) 신호 세기의 등고선
그림 22 신호 계측 전략

그림 7은 제안된 알고리즘을 보여주고 있다.

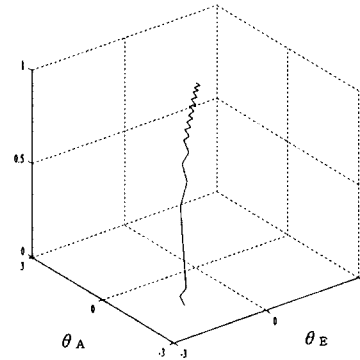
나. 제안된 트래킹 알고리즘

스텝 트래킹의 단점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 그림 6(a)와 같은 방식으로 방위각과 앙각을 변경하면서 그림 6(b)와 같이 네 점의 신호를 측정하여 다음과 같이 지향각을 결정한다. 이 때 사용된 알고리즘은 식 (1)과 같다.

```

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 7 제안한 트래킹 알고리즘



($\theta_A(0) = \theta_E(0) = -2.5^\circ$)

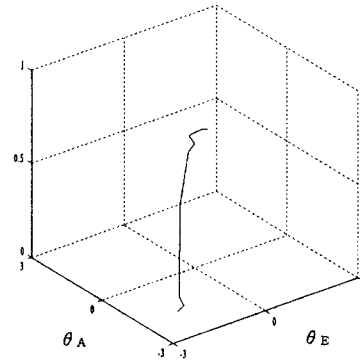
그림 8 스텝 트래킹

4. 결과 및 검토

제안된 방법의 유효성을 검증하기 위하여 실측 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 비교 목적으로 스텝 트래킹의 결과를 동시에 얻었다. 시뮬레이션을 위하여 각 증분치로는 $\Delta\theta_A = \Delta\theta_E = 0.2$ 을 사용하였고, 제안된 알고리즘을 위해 $\alpha_A = \alpha_E = 0.4$ 를 사용하였다.

그림 8과 9는 초기치 $\theta_A(0) = -2.5^\circ$, $\theta_E(0) = -2.5^\circ$ 에서 시작했을 경우의 트래킹 성능을 보여주고 있다. 제안된 방법을 통해 초기 및 정상에서의 성능을 동시에 개선할 수 있었다. 스텝 트래킹은 16번의 시도 끝에 정상 부근에 도달했으나, 제안된 방식은 8번의 시도 끝에 도달하였다. 그림에서도 알 수 있듯이 스텝 트래킹은 정상에 도달해서도 계속적으로 지그재그로 탐색하고, 제안된 방식은 정상에 도달하면 거의 동작을 멈춘다. 또한 제안된 방식은 경우에 따라 여러 스텝을 이동할 수 있기 때문에 수렴속도도 빠르고, 잡음으로 위치가 바뀌더라도 대처할 수 있다.

그림 10과 11은 초기치 $\theta_A(0) = -2.0^\circ$, $\theta_E(0) = -2.0^\circ$ 에서 시작했을 경우의 트래킹 성능을 보여주고 있다. 스텝 트래킹은 10번의 시도 끝에 정상에 도달했고, 제안된 방식은 4번의 시도 끝에 도달하였다. 이 경우도 위의 결과와 유사하며 제안된 방법의 우수성을 확인할 수 있다.

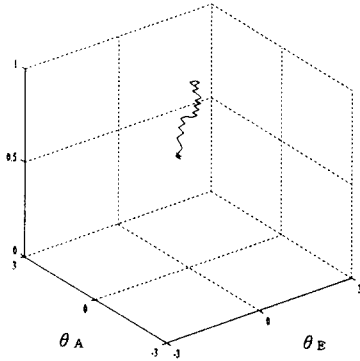


($\theta_A(0) = \theta_E(0) = -2.5^\circ$)

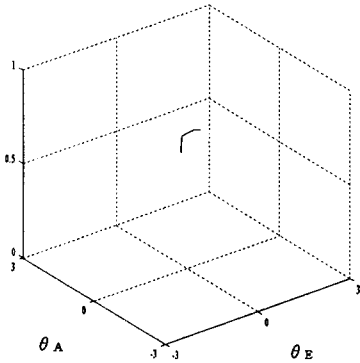
그림 9 제안된 방법의 트래킹

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] B. Potter and A. Bradshaw, "Design of Linear Multivariable Continuous-time Tracking Systems," Int. J. Systems Sci., Vol. 5, No. 12, pp. 1155-1164, 1974.
- [5] Sea Tel Inc., SEATEL Inmarsat-B Stabilized Antenna Manual, Sea Tel Inc., 1995
- [6] 고운용, 황승욱, 진강규, "선박용 위성안테나 Pedestal의 안정화 제어," '98 한국자동제어 학술회의 논문집, pp. 188-191, 1998
- [7] 김민정, 고운용, 황승욱, 진강규, "선박용 위성안테나 Pedestal의 안정화 제어," '98 산업 기술 연구소 논문집, pp. 11-20, 1998



($\theta_A(0) = \theta_E(0) = -2.0^\circ$)
 그림 9 스텝 트래킹



($\theta_A(0) = \theta_E(0) = -2.0^\circ$)
 그림 10 제안된 방법의 트래킹

5. 결론

본 연구에서는 기존의 스텝 트래킹 알고리즘의 단점을 극복하고 성능을 개선하는 트래킹 알고리즘을 제안하였다. 개선된 알고리즘은 구배를 기반으로 적절한 패턴을 통해 방위각과 양각을 변경하면서 계측된 신호를 이용하여 새로운 위치를 탐색하게 된다. 실측된 위성 신호를 이용하여 시뮬레이션을 실시한 결과 기존의 방법보다 트래킹 성능을 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.