⊙ 速報研究論文

선박용 위성 안테나용 트랙킹 알고리즘

고운용* · 황승욱** · 진강규**

A Tracking Algorithm for Shipboard Satellite Antenna Systems

W-Y Koh* · S-W Hwang** and G-G Jin**

Key words : Shipboard satellite antenna(선박용 위성 안테나), Searching(서칭), Tracking(트랙킹), Gradient-based formula(구배에 기초한 식)

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, a new tracking algorithm is proposed. 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 data.

1. 서 론

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.

이와 같은 해사 관련 서비스를 항해 중인 선박에서 이용하기 위해서는 위성 안테나 시스템의 하드웨어와 설정된 위성을 지향하도록 안테나를 안정

* 한국 해양대학교 대학원 제어계측공학과
** 한국해양대학교 기계 · 정보공학부

화하고 선박이 이동할 때 위성 [illegible]래킹하는 소프트웨어 개발이 필요하다. 선행 연구에서 저자들은 선박운동에도 불구하고 안테나 Pedestal을 [illegible]상 수평으로 유지하는 안정화 문제를 다루었다[5-7]. 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 상태제어기를 설계하였다.

일단 안테나가 안정화되면 다음은 연속적으로 안테나를 이동시켜서 최대 수신 레벨이 되는 지점을 찾는 트랙킹 과정이 필요하다. 현재 사용되고 있는 방식으로는 코니칼(Conical), 멀티 혼(Multi-horn), 스텝(Step) 트랙킹등[8-10]이 있다. 코니칼 트랙킹은 안테나 수신단을 원추 형태로 회전시켜 위성 방향이 회전의 중심 축에 있을 때는 신호세기가 일정하지만 그렇지 못한 경우에는 신호세기가 달라지는 점을 이용한 것이다. 이 방식은 수신단 부분을 회전시키는 기계 구조가 필요하므로 파라볼라 안테나 구조상 앞부분이 무거워지므로 대형 안테나에만 적용된다. 멀티 혼 트랙킹은 코니칼 방식을 개선하여 기계구조를 없앤 것으로 여러 개의 혼(LNB)을 대칭적으로 배치하여 신호세기를 판정하는 방식인데, 통상 4개의 수신단이 필요하다. 스텝 트랙킹은 일정시간 간격으로 안테나를 미소 각도로 상하좌우로 이동시켜 신호세기를 판정하여 최대 레벨을 찾는 방식으로서, 구현이 간단하고 부가적인 기계구조가 요구되지 않아 많이 채택되고 있으며 특히 소형 안테나는 대부분 이 방식을 채택하고 있다.

그러나 기존의 스텝 트랙킹은 방위각과 앙각에 대해 서로 독립적으로 방향을 결정함으로써 수신점을 놓치는 경우가 발생하며, 한 스텝씩만 움직이게 되므로 최대점을 찾는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 스텝 트랙킹 방식의 단점을 개선할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 개선된 알고리즘은 구배(Gradient)[4]에 기초한 것으로서 적절한 탐색 패턴을 통해 방위각과 앙각을 변경하면서 계측된 위성 세기 신호를 이용하여 최적의 지향각을 탐색하게 된다. 제안한 방법의 우수성을 검정하기 위하여 실측된 위성 신호를 이용하여 시뮬레이션을 실시한다.

2. 선박용 위성 안테나 시스템의 구조

[illegible]행된 연구를 통해 설계된 선박용 위성 안테나 시스템[illegible]크게 Stabilized antenna pedestal, pedestal control unit, Antenna control unit로 구성되며, Fig.1은 이를 보여주고 있다.

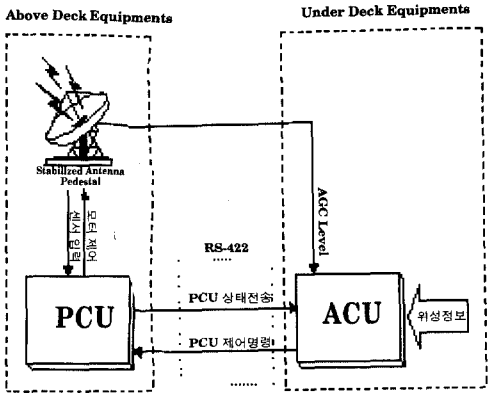


Fig. 1 Shipboard satellite antenna system.

2.1 Stabilized antenna pedestal(SAP)

SAP는 상갑판에 설치되는 디쉬(Dish)와 구동부를 포함한 기계구조로서, 3축 구조로 설계되고, 각 축의 중앙에 엑츄에이터를 장착시켜 축 단위로 제어가 가능하도록 하였다. 롤링과 피칭 축에 설치된 엑츄에이터는 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, 트랙킹 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 계측

하고 실시간으로 제어하여 Pedestal을 수평으로 유지시키는 역할을 해준다. 트랙킹 기능은 ACU로부터 통신을 통해 입력받은 위성 신호의 세기를 이용하여, 선박이 이동하더라도 Pedestal이 항상 위성을 지향하도록 해준다.

PCU를 구성하는 하드웨어는 센서, 엑츄에이터 구동, 직렬통신에 관계된 것으로 나뉜다. 센서부는 각도와 각속도 센서의 출력을 디지탈 신호로 변환하는 A/D 변환기, 출력되는 신호의 레벨 조정 및 소프트웨어적으로 데이터 포맷을 읽어들이는 부분들로 구성된다. 엑츄에이터 구동부는 제어기가 센서로부터의 측정치를 받아서 해당 엑츄에이터를 구동하는 기능을 갖는다. 직렬 통신부는 ACU로부터 안테나의 방위각과 앙각, 트랙킹 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 AGC(Auto gain control)측정을 통한 트랙킹 보조 기능, 자이로 인터페이스기능, PCU와의 직렬 통신부분으로 구성된다.

3. 트랙킹 알고리즘

앞서 언급하였듯이 트랙킹(Tracking)은 선박이 이동하더라도 안테나가 항상 위성을 지향하도록 해주는 기능을 말한다(Fig. 2 참조). 다시 말하면 Pedestal이 수평으로 유지된 상태에서 위성 지향각(즉, 방위각과 앙각)을 조절하여 안테나가 위성을 지향하도록 하는 것으로서 이를 위해 위성 신호의 세기를 이용하게 된다.

위성 신호는 안테나 케이블을 통해 ACU로 전해지고, ACU에서는 신호의 세기를 AGC 회로를 통해 얻어낸다. AGC 회로로부터 얻어진 위성 신호의 세기는 ACU와 PCU를 연결하는 RS-422 케이블을 통해 PCU에 전달하게 된다.

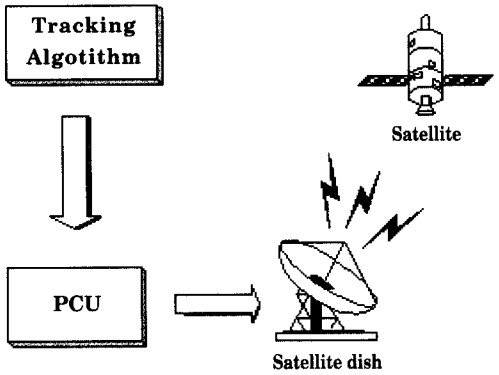


Fig. 2 Tracking system

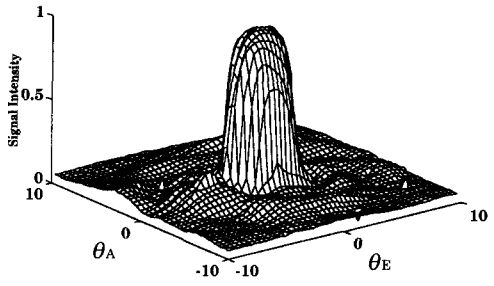
3.1 위성 신호의 세기 분포

Fig. 3은 방위각(θ_A)과 앙각(θ_E)의 변화에 따른 ACU로부터 통신을 통해 실제 위성으로부터 받은 신호세기(Signal intensity)를 그린 것이다. 최대점을 중심으로 방위각과 앙각을 0.2°씩 증감해 가면서 계측한 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. 실제 환경에서는 여러 환경요인으로부터 잡음이 혼입될 수 있다.

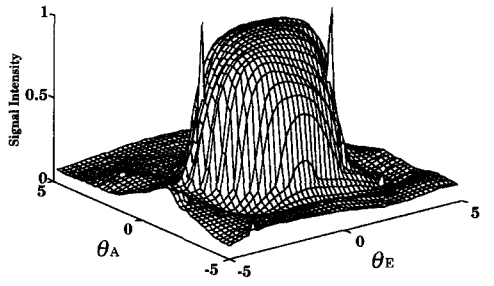
이러한 특성 때문에 수신가능 지역에서는 이득이 크지만, 그 외의 지역에서는 거의 신호가 잡히지 않는다. 따라서 먼저 서칭을 통해 수신가능 지역을 탐색해 들어간 후, 트랙킹 과정을 통해 최고 수신점을 찾도록 지향각을 변경시키는 작업이 필요하다.

3.2 서칭

위성 신호는 대체로 목표 위성 위치의 ±2° 범위 내에서만 수신되고 이 범위를 벗어나면 수신이 불가능하다. 따라서 전원이 ON될 때 안테나가 위성을 추적해가기 위해서는 광범위한 영역에서 ±2° 이내의 수신 영역을 찾는 서칭(Searching)이 필요하다. 일정한 패턴을 따라 동작이 진행되는 동안에



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



(a) $-5^\circ \le \theta_A, \theta_E \le 5^\circ$

Fig. 3 Signal intensity

안테나에서 수신되는 신호는 계속적으로 CPU에 의해 체크되며, 일정한 레벨 이상 되는 점에서 동작을 멈추고 트랙킹 동작으로 진행된다.

이를 위해 본 논문에서는 코니칼(Conical) 동작과 비슷하면서 프로그램 구현이 간단한 피라미달 스캐닝 방식을 채택하였다. Fig. 4는 피라미달 스캐닝 과정을 보여준다.

그림에서 보듯이 중심으로부터 일정한 비율의

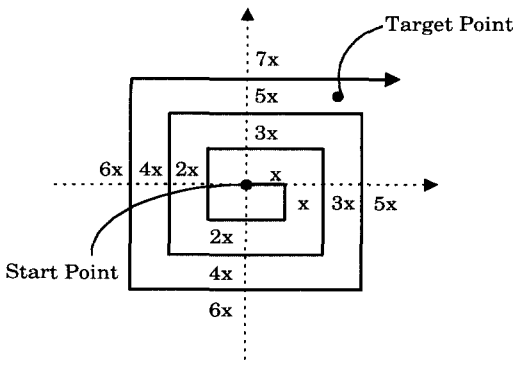


Fig. 4 Pyramidal scanning

사각형을 그리면서 위성 신호의 입력이 있을 때까지 스캐닝 과정을 거쳐 신호 영역을 찾게 된다.

3.3 트랙킹

트랙킹은 서칭을 통해 수신 신호세기가 일정한 레벨 이상일 때, 선박의 항행에 따라 발생되는 방위각과 앙각의 오차를 보정하는 과정으로서, 일정한 시간 간격으로 안테나를 미소 각도로 이동시켜서 신호세기의 변화를 판정하여 최대 레벨이 되는 지점을 찾는다. 현재 사용되고 있는 방식으로는 코니칼, 멀티 혼, 스텝 트랙킹이 있으며, 부가적인 기계구조가 요구되지 않는 스텝 트랙킹이 보편적으로 채택되고 있다.

가. 스텝 트랙킹 알고리즘

스텝 트랙킹은 지향각을 미소하게 움직여 위성 신호의 최고점을 찾아가는 방식이다. 이 방법은 현재의 수신 레벨을 일시 기억하고 있다가, 좌우(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

Fig. 5 Step tracking algorithm

위각) 또는 상하(앙각) 방향으로 한 스텝씩 번갈아 가며 변화시켜서 수신된 두 신호 레벨과 비교하여 제일 큰 쪽으로 진행하여 나가게 된다. Fig. 5는 스텝 트랙킹의 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.

나. 제안된 트랙킹 알고리즘

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

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

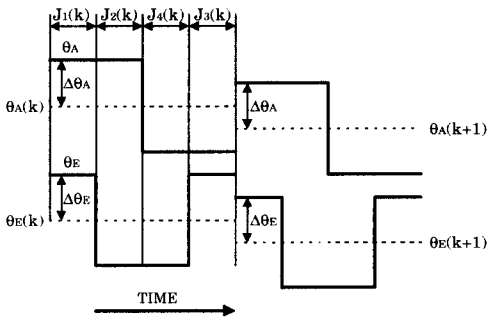
$$\theta_E(k+1)=\theta_E(k)+\alpha_E(J_1(k)+J_3(k)-J_2(k)-J_4(k)) \quad (1b)$$

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 계측되는 신호의 세기이고, α_A와 α_E는 트랙킹 성능에 영향을 미치는 계수로서 적절히 선택된다. 이는 등반(Hill-climbing)법[11]과 유사하며 현재점의 구배 근사값으로 목적함수의 차를 계산하여 다음 방위각과 앙각을 결정하게 된다.

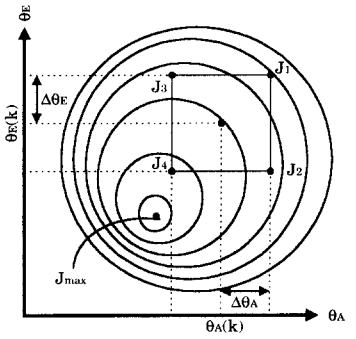
Fig. 7은 제안된 알고리즘을 보여주고 있다.

4. 결과 및 검토

제안된 방법의 유효성을 검정하기 위하여 실측 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 데이터 취득을 위해 한신전자산업(주)의 HANSAT를 이용하였다. 비교 목적으로 스텝 트랙킹의 결과를 동시에 얻었다. 각 증분치는 $\Delta\theta_A=\Delta\theta_E=0.2$이고, 시뮬레이션을 위해 $\alpha_A=\alpha_E=0.4$를 사용하였다.



(a) Time chart of azimuth and elevation changes



(b) Contour of signal intensity

Fig. 6 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

Fig. 7 Proposed tracking algorithm

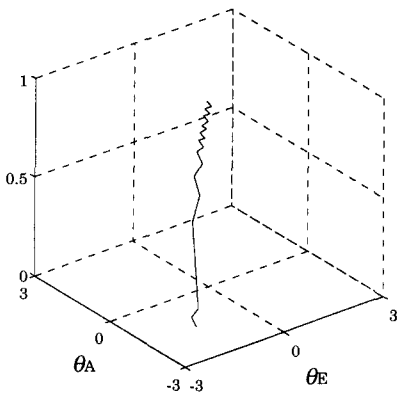


Fig. 8 Step tracking ($\theta_A(0)=\theta_E(0)= -2.5^\circ$)

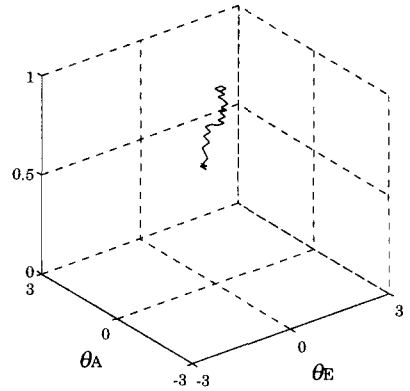


Fig. 10 Step tracking ($\theta_A(0)=\theta_E(0)= -2.0^\circ$)

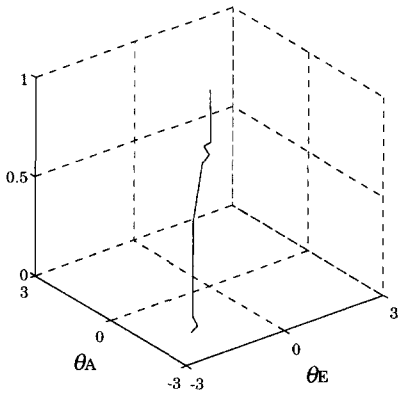


Fig. 9 Tracking using the proposed algorithm ($\theta_A(0)=\theta_E(0)= -2.5^\circ$)

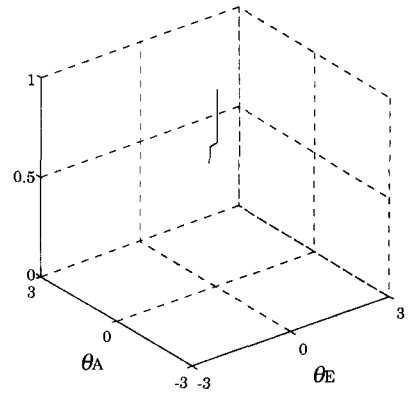


Fig. 11 Tracking using the proposed algorithm ($\theta_A(0)=\theta_E(0)= -2.0^\circ$)

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

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

5. 결 론

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

이 논문은 2001년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

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] E. K. P. Chong and S. H. Zak, An Introduction to Optimization, John Wiley & Sons, Inc., 1996
[5] Sea Tel Inc., SEATEL Inmarsat-B Stabilized Antenna Manual, Sea Tel Inc., 1995
[6] 고운용, 황승욱, 진강규, "선박용 위성안테나 Pedestal의 안정화 제어," '98 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 188~191, 1998
[7] 김민정, 고운용, 황승욱, 진강규, "선박용 위성안테나 Pedestal의 안정화 제어," '98 산업 기술 연구소 논문집, pp. 11~20, 1998
[8] 최조천, 최병하, "선박용 위성방송수신 추적안테나 시스템에 관한 연구", 목표해양대학교 논문집, pp.109~125, 1996
[9] 김동혁, 최조천, 안동순, "이동체에서의 추적안테나 시스템 개발에 관한 연구", 목표해양대학교 정보산업연구지, pp.55~64, 1998
[10] 박상원, 신지훈, 최병제, 김영호, "이동형 DBS 수신 안테나 최적 회전각 연구", '98 한국자동제어학술회의 논문집, pp.1735~1738
[11] 진강규, 유전알고리즘과 그 응용, 교우사, 2000

저 자 소 개

고운용(高韻鏞)
1973년 6월생. 1996년 한국해양대학교 제어계측공학과(공학사). 1998년 동 대학원 석사(제어계측공학). 1998년~현재 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정.

황승욱(黃勝郁)
1958년 12월생. 1984년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1986년 고려대학교 전자공학과(석사). 1992년 고려대학교 전자공학과(박사). 1986년~1992년 한국전자통신연구소 책임연구원. 현재 한국해양대학교 기계·정보공학부 부교수.

진강규(陳康奎)
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.