

논문 2007-44SC-3-7

부반사판 회전에 의한 함정용 위성 안테나의 위성 추적 방법

(A Satellite Tracking Method Using Rotation of Sub-Reflector for Naval Vessels Satellite Antenna System)

엄 광 식*, 박 명 관**

(Kwang Sik Eom and Myung Kwan Park)

요 약

본 논문에서는 해양 함정 환경에서 위성 신호를 수신하기 위한 위성 탐색 및 추적 방법을 제안한다. 빠른 시간 내에 위성을 탐색하기 위한 탐색 알고리즘은 위성 신호의 주엽 뿐만 아니라 부엽을 이용하는 방법을 제안하였으며, 안테나가 지향하고자 하는 목표 위성을 파도 등에 의한 외란에 상관없이 항상 추적하기 위한 방법으로 부반사판을 틸팅하여 고속으로 회전하여 위성 편차를 취득하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 주반사판과 부반사판으로 구성된 카세그레인 안테나를 기반으로 코니칼 스캐닝을 구현하여 고가의 자이로 센서 등의 모션센서 없이 오차 신호를 취득하여 추적 기능을 구현하였으며, 실험을 통해 그 효용성을 보였다.

Abstract

In this paper, satellite searching and tracking method for the satellite antenna in naval vessels system are proposed. For fast searching satellite, Wide Range Search(WRS) algorithm is proposed where the signal strength of side-lobe is utilized as well as that of main-lobe. Satellite tracking algorithm to stabilize satellite antenna is based on conical-scanning which is accomplished by the use of the sub-reflector located in front of the focus of the reflector. The sub-reflector rotates about a slightly tilted axis by means of a motor and shapes the antenna beam to utilize stabilization. To show the validity of the proposed method, an experimental example is represented.

Keywords : Satellite Antenna, Satellite Searching, Satellite Tracking

I. 서 론

위성 방송은 지역에 상관없이 동일한 방송을 동시에 전국적으로 서비스할 수 있는 장점 외에도, 이동성에 있어서 지상파 및 케이블 방송에 비해 우수한 특징을 지니고 있다. 최근 이러한 위성 방송의 다양한 콘텐츠의 제공과 더불어 레저 산업의 발달로 선박 등과 같은 이동체에서의 위성 방송 및 통신에 대한 요구가 늘어나고 있다. 이동체에서 위성 방송을 수신하기 위해서는

위성 안테나가 가지는 지향성 특징 때문에 위성 안테나를 실시간으로 제어하여 항상 위성을 추적할 수 있는 기능을 기구적 및 전자적으로 구현하여야 한다.

이동체에서의 위성을 이용한 통신 및 방송 송수신을 위한 위성 추적 알고리즘은 1960년대 이후 활발히 진행되었으며, 이 알고리즘은 크게 프로그램 추적(Open Loop)방식과 자기 추적(Closed Loop)방식으로 구분된다. 자기 추적 방식은 로빙(Lobing)방식과 모노펄스(Mono-Pulse)방식으로 구분될 수 있다^[3-4]. 프로그램 추적 방식은 위성의 궤도 예보 데이터, 표준 시각 신호, 안테나의 각도 데이터를 컴퓨터로 처리하여 안테나를 예측 궤도의 방향으로 제어하는 방식으로 데이터의 정확도에 의해 그 성능이 결정된다^[5]. 로빙 방식은 임의의 방법으로 안테나의 빔을 움직여서 비콘과의 도래 방향을 검출하여 방향을 제어하는 방식이고, 모노펄스방식

* 한라대학교 제어계측공학과
(Department of Control and Measurement Engineering, Halla University)

** 동양대학교 IT전자공학부
(DongYang University)

접수일자: 2006년8월10일, 수정완료일: 2007년4월20일

은 안테나의 빔을 고정시켜두고 단일 펄스의 전파에 따라 수시로 반위 오차를 검출하는 방식이다. 로빙 방식은 안테나의 빔을 미소각의 원추 형태로 회전시키며 자기 추미를 하는 원추형 스캐닝 방식(Conical Scanning), 안테나 축 주위의 4개 이상의 위치로 이산적으로 움직이며 상대적인 수신 신호 크기로 최대 수신 위치를 결정하는 빔 스위칭(Beam Switching)과 일정한 시간 간격으로 안테나를 미소 각도씩 스텝형태로 이동시키며 수신레벨의 변화를 비교하여 수신 레벨이 증가되는 방향으로 이동해가는 스텝 추적(Step Tracking)방식으로 개발되어 왔다. 이러한 추적 방법은 선박 등의 이동체와 같이 그 움직임이 빠른 경우 위성 신호가 순간적으로 낮아지기 때문에 그대로 적용되기는 어렵다. 1990년대부터 미국 및 유럽을 중심으로 상용화되는 선박용 위성 방송 수신 및 통신용 안테나는 로빙 추적 방식에 자이로센서 등의 모션 센서 등을 결합하여, 선박의 빠른 모션은 모션 센서를 이용하여 보상하고, 정확한 위치제어는 로빙 추적 방법을 사용하고 있다. 그러나, 속도 변화에 반응하는 자이로 센서는 온도 변화에 취약하고 초기 오프셋 설정의 어려움이 있는 단점이 있다.

본 논문에서는 선박과 같은 이동체에서 위성 방송을 수신하기 위한 안테나를 구현하기 위한 위성 추적 알고리즘을 제안한다. 안테나 주 반사판을 직접 구동하여 위성 신호의 최대점을 찾는 기존을 방식에서의 샘플링 시간을 단축시키기 위해서 안테나를 주반사판과 부반사판이 있는 카세그레인형 안테나로 구성하고, 부반사판을 틸팅시켜서 고속으로 회전시키므로써 고속의 코니칼 스캔을 구현한다. 따라서 자이로 센서와 같은 모션센서를 사용하지 않고도 고속의 코니칼 스캔 방법만으로 선박의 모션을 충분히 추종할 수 있는 장점이 있다. 이렇게 구현된 위성 추적 알고리즘을 실험을 통해 그 타당성을 검증한다.

II. 위성 추적 안테나 시스템

위성 추적을 위한 안테나는 전원이 인가된 후 바로 원하는 위성을 빨리 찾을 수 있는 위성 탐색 기능, 탐색된 위성이 목표 위성인지를 감지할 수 있는 위성 식별 기능, 지향된 목표위성을 외부에서 인가되는 외란에 상관없이 지향하도록 하는 위성 추적 기능이 구현되는 안테나이다. 이러한 기능을 구현하기 위해서 그림 1에 나타난 것과 같이 위성으로부터 송출되는 Ku-Band의 신호를 수신하기 위한 파라볼라형의 안테나와 수신된 신

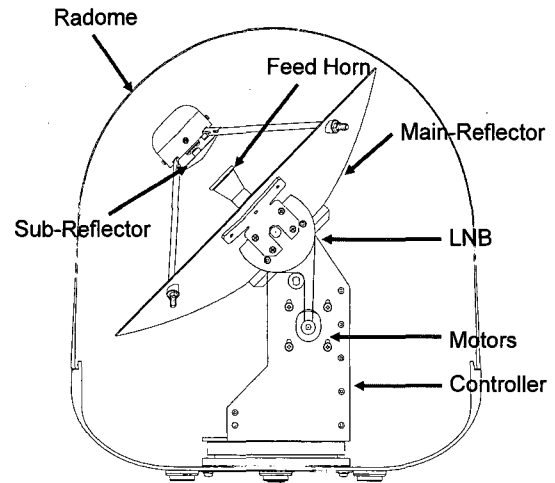


그림 1. 위성추적안테나 시스템의 구성
Fig. 1. Configuration of satellite tracking antenna.

호를 위성 방송 수신기의 입력 신호(IF)로 변환시켜주는 LNB, 안테나가 기구적으로 위성을 지향할 수 있도록 하는 모션을 구현하기 위한 기구부 및 액츄에이터 그리고 열악한 해양 환경으로부터 안테나를 보호하는 역할을 하는 레이돔으로 구성되어 있다.

이러한 기구적인 요소를 이용하여 목표로 하는 위성의 탐색 및 추적 기능이 구현되는 제어기는 안테나를 원하는 방향으로 구동시킬 수 있는 명령을 생성하는 핵심 부분으로 내부에 위성을 식별하는 위성 식별부, 서보 제어부를 포함하는 알고리즘이 구현되어 있다.

III. 위성 탐색 알고리즘

안테나에 전원이 최초로 인가된 경우, 안테나 제어를 위한 초기화 과정을 거친 후에 최대한 빠른 시간 내에 목표 위성을 지향하는 것이 위성 탐색 기능이다. 이를 위해서는 위성이 존재하는 방향과 존재하지 않는 방향을 구분하여야 하며, 위성 신호 세기를 감시하며 정해진 주파수에서의 신호를 측정하여 구현할 수 있다. 위성 신호를 탐지하기 위한 일반적인 방법은 그림2에서의 일정한 값의 위성 감지 값을 설정하고 이 값 이상의 위성 신호 레벨이 측정되는 경우 위성이 존재한다고 판단하는 방법이다. 이 경우 위성을 감지할 수 있는 영역이 매우 좁게 형성되어 위성을 탐색하는데 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

본 논문에서는 빠른 시간 내에 위성 신호가 존재하는 영역을 찾기 위해서 위성 신호의 주엽 뿐 아니라, 부엽을 감지하는 방법을 제안한다. 위성 탐색 동작 수행 시, 위성 신호 패턴의 부엽에 따른 위성 신호 레벨값을 기

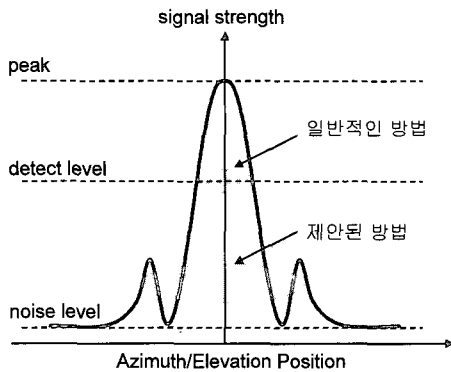


그림 2. 위성 탐색 영역 비교
Fig. 2. Comparison the satellite detect region.

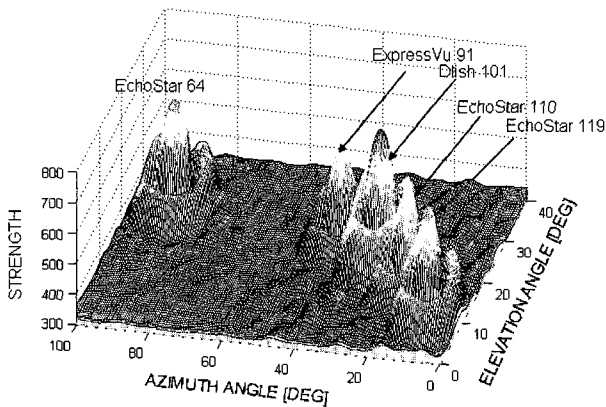


그림 3. 위성 신호 세기의 예
Fig. 3. An example of satellite signal strength.

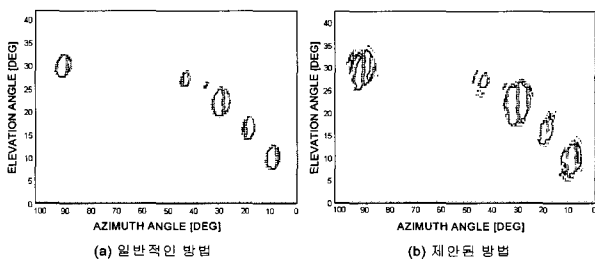


그림 4. 제안된 방법에 의한 위성 탐색 영역 비교 결과
Fig. 4. Comparison result of satellite detect region for the proposed method.

준으로 임계값을 설정하여 위성 신호를 탐색함으로써, 위성 추적 안테나의 반사판의 위성 탐색 동작에 있어, 보다 넓은 범위에서 위성 신호를 탐색하여 빠른 시간 내에 위성 신호를 탐색할 수 있다. 이를 위해서, 안테나의 절대 위치를 변경해가면서, 얻어지는 위성 신호 세기 값을 위치에 대해 미분하여 절대값을 취한 미분 절대값을 기준으로 임계값을 설정하여 절대적인 위성 신호 세기값이 아닌 위성 신호 레벨값의 위치에 따른 변화량을 측정한다. 제안된 방법에 의하면, 위성 신호의

부엽에서도 위치변화에 따른 신호 세기의 기울기는 비슷한 값을 가진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 위성 신호 주엽뿐아니라, 위성 신호 주변에 존재하는 부엽을 감지함으로써 넓은 범위에서 위성 신호가 감지되는 방향을 알 수 있다. 일반적인 방법과 제안된 방법에서의 위성 탐색 영역을 그림 2에 나타내었다.

제안된 광역 위성 탐색 알고리즘에 대한 효율성을 보이기 위해 미국 지역에서 Ku-Band로 송출되는 위성 방송 신호의 세기를 측정된 값을 이용하여 비교 실험을 실시하였다. 그림 3은 위성 신호의 세기를 안테나의 방위각과 양각을 변화시키면서 측정된 결과를 3차원으로 도시한 것으로 각 위치별로 존재하는 모든 위성 신호에서 주엽과 부엽이 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 위성 신호 환경에 대하여 특정 신호 세기 이상에서 위성을 탐색하는 일반적인 방법을 사용한 경우의 그림 4 (a)에 나타난 탐색 영역에 비하여, 그림 4의 (b)에 표시한 것과 같이 주엽뿐아니라 부엽을 사용하는 경우가 더욱 넓은 영역의 탐색 영역을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 실제로 주엽만을 사용하는 경우에 비해 약 2배 이상의 영역을 검색하는 효과를 가지기 때문에 위성 탐색 속도에 있어 크게 개선된 성능을 보일 수 있다.

IV. 위성 추적 알고리즘

1. 부반사판 회전을 이용한 코니칼 스캐닝 구현

자이로 센서 등의 모션 센서를 사용하지 않고 위성 추적을 구현하기 위해 안테나의 주반사판을 회전하는 코니칼 스캐닝 대신 주반사판은 고정 시킨 상태로 부반사판을 틸팅시킴으로 코니칼 스캐닝을 구현할 수 있다. 이를 위해 그림 5와 같이 안테나 주반사판, 부반사판, 피드혼으로 구성되는 카세그레인형의 안테나를 구성하고, 안테나의 중심축을 기준으로 부반사판을 틸팅시키

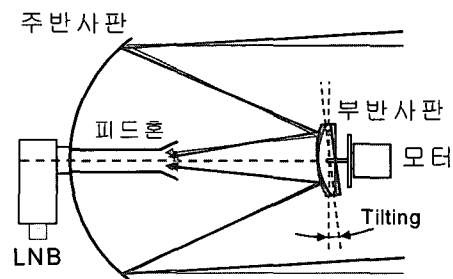


그림 5. 부반사판 회전을 이용한 코니칼스캐닝의 구조
Fig. 5. Structure of conical scanning using rotation of sub-reflector.

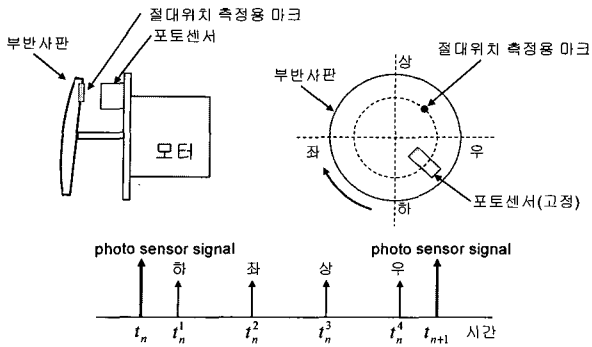


그림 6. 포토센서에 의한 틸팅 방향 취득
Fig. 6. Acquisition of tilting direction using photo sensor.

는 구조의 안테나를 구성한다.

이와 같은 구조에서는 부반사판의 각도가 안테나 축과 수직인 경우와 비교하여 틸팅된 각도에 따라 수신되는 빔의 각도가 달라짐을 알 수 있다. 이렇게 틸팅된 부반사판을 회전하여 틸팅 각을 360도 회전하므로써 안테나 축을 기준으로 원추형의 위치에서 연속적인 위성 신호를 수신하고, 이를 이용하여 코니칼 스캐닝을 구현한다. 이러한 방법에서는 주반사판 1회전과 부반사판의 1회전에 대한 효과가 동일하게 나타나며, 적은 크기의 부반사판을 빠르게 회전시킴으로써 고속의 코니칼 스캐닝을 구현할 수 있는 장점이 있다. 이때 코니칼 스캐닝 속도는 부반사판 회전을 위해 장착되는 모터의 회전 속도에 의해 정해지며, 일반적으로 3000RPM의 모터를 사용하는 경우 20msec의 코니칼 스캐닝이 구현된다.

부반사판의 틸팅에 따른 절대 위치를 측정하기 위해 그림 3과 같이 부반사판의 뒷면에 센서측정을 위한 마크를 하고, 포토센서등을 이용하여 회전에 따른 틸팅 위치를 감지할 수 있다. 포토센서로부터 감지되는 신호는 모터가 1회전할 때 마다 취득되며, 취득되는 시간을 4분할하여 안테나 지향의 상하좌우 위치에서의 지향 방향을 결정할 수 있다.

2. 위성 추적 알고리즘

안테나로부터 받은 위성 신호는 위성 신호 측정 센서에 의해 위성 신호 세기로 변환되며, 이때 안테나가 지향하는 방향을 기준으로 지향 방향을 감지하는 포토센서를 이용하여 상하좌우로 틸팅된 경우의 신호 세기를 취득할 수 있다. 좌우신호를 이용하여 방위각(Azimuth)에 대한 오차 신호와 상하 신호를 이용한 앙각(Elevation)에 대한 오차 신호를 생성한다. 이와 같은 편차 신호는 안테나가 위성 신호가 가장 센 위치에 있을 경우에는 좌우 또는 상하의 값이 거의 비슷하여 그

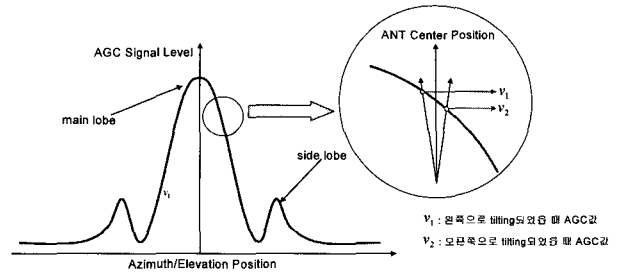


그림 7. 안테나 지향위치에 따른 위성신호세기
Fig. 7. Signal strength for antenna directional position.

편차가 0으로 나타나지만, 그림 4와 같이 좌우 또는 상하의 한쪽으로 치우치는 경우 그 신호 세기가 좌우 또는 상하의 값이 다르게 나타나게 된다.

포토 센서를 이용하여 취득되는 신호는 센서 신호가 감지된 시간으로부터 일정시간 간격으로 취득된 신호의 차이를 이용하여 다음 식과 같이 취득된다. 여기서, $v(t)$ 는 위성 세기 신호이다.

$$e_{AZ} = v(t_n^2) - v(t_n^4) \tag{1}$$

$$e_{EL} = v(t_n^1) - v(t_n^3) \tag{2}$$

이렇게 취득되는 방위각에 대한 편차 신호에 대한 실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 안테나를 위성이 위치한 위치에 지향토록한 후에 방위각 방향으로 움직이며, 방위각 오차가 생성되는 과정을 나타내는 것으로, 부반사판의 틸팅 위치가 좌와 우를 의미하는 t_i^2 와 t_i^4 위치에서의 위성 신호 세기와 이 값의 차이를 표시하였다.

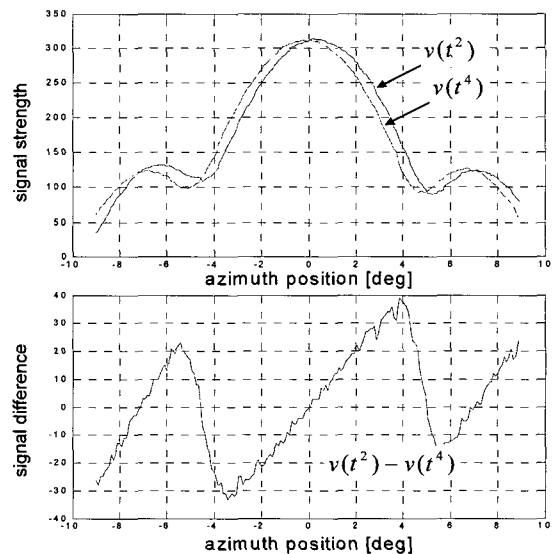


그림 8. 위성 오차 신호에 대한 실험 결과
Fig. 8. An example of difference signal.

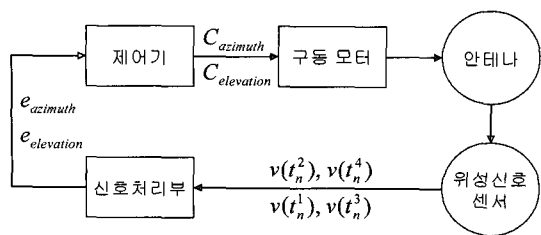


그림 9. 코니칼 스캐닝에 의한 위성 추적 방법
 Fig. 9. Block diagram of satellite tracking using conical scanning.

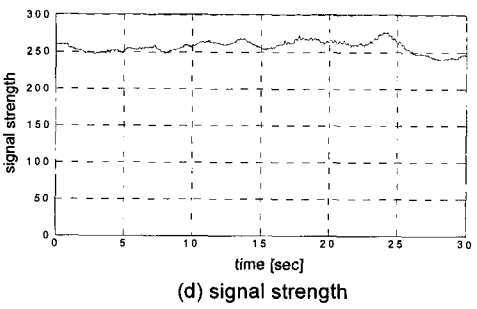
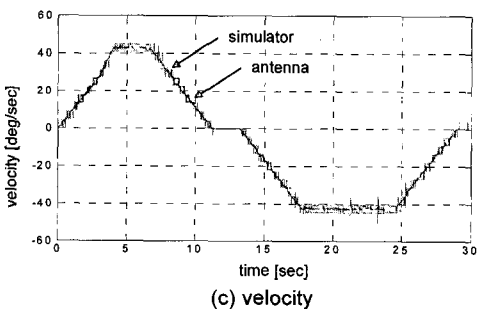
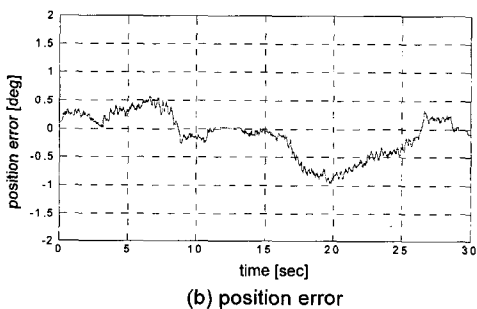
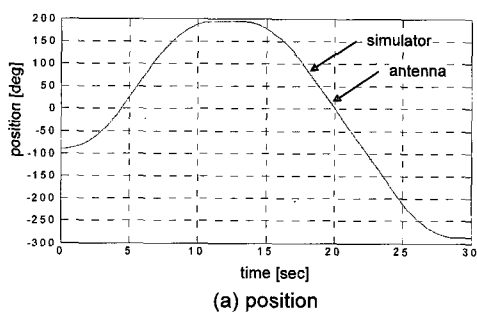


그림 10. 위성 추적 성능 실험 결과
 Fig. 10. Experimental Result of Satellite Tracking Performance.

중심축으로부터 위성 신호의 중심부분에서는 크기가 0 이고 좌우로 대칭되는 신호로 취득된 것을 볼 수 있으며, 이 신호를 이용하여 위성 추적을 위한 오차 신호로 사용할 수 있다.

이 두 방향에 대한 오차 신호를 입력으로 하는 제어기로부터 최적으로 위치를 결정하기 위한 모터 명령을 얻는다. 이때, 사용되는 제어기는 간단한 PI형의 제어기로 구성할 수 있다.

제안된 부반사판 회전에 의한 위성 추적 방법의 효율성을 보이기 위해 선박 환경에 대한 모의 실험기를 이용한 추적 성능 실험을 실시하였다. 위성 추적 실험은 KOREASAT 3호를 추적하고 있는 상태에서 방위각 모션으로 40 [deg/sec]의 회전 속도로 시뮬레이터를 동작시켰을 때의 안테나의 모션 상태 및 위성 신호 상태를 측정하였다. 그림 10의 (a)와 (c)에 시뮬레이터의 위치와 안테나의 위치 및 속도에 대한 실험 결과를 나타내었다. 자이로 센서 등의 모션 센서 없이 부반사판 회전에 의한 빔틸팅 정보만을 이용하여 추적한 경우에도 누적 오차 없는 추적 성능을 보였으며, 위치 오차에 대한 결과는 그림 10의 (b)에 나타낸 것처럼 1도 이내의 추적 오차를 나타내었다. 이러한 추적 오차에 의한 위성 신호의 변화를 그림 10의 (d)에 나타내었으며, 신호 세기의 값은 스펙트럼 분석기상에서 약 1dB이내의 감쇄를 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 선박과 같은 이동체에서 위성 방송을 수신할 수 있는 위성 안테나에 적용하기 위한 위성 탐색 및 추적 알고리즘과 제안하였다. 전원이 인가된 후에 빠른 위성 탐색을 위해 위성 신호의 부엽을 이용하는 방법을 제안하였으며, 안테나가 지향된 위성을 항상 추적하기 위한 방법으로 부반사판을 틸팅하여 고속으로 회전하여 위성 편차를 취득하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 주반사판과 부반사판으로 구성된 카세그레인 안테나를 기반으로 코니칼 스캐닝을 구현하여 고가의 자이로 센서 등의 모션센서 없이 오차 신호를 취득하여 추적 기능을 구현하였으며, 실험을 통해 그 효율성을 보였다.

참 고 문 헌

[1] 이기학 “전자파 및 안테나 공학” 청문각 2001.

- [2] 김현일, 김성수, 원문철, 류길상, “해상용 3축 위성 안테나의 시뮬레이션 기반 설계”, 기계공학회 학술대회 논문지, 749-754, 2005.
- [3] M. Melani, “A 17GHz fine pointing closed loop system for a satellite broadcasting antenna,” Int. Symp. on Space Tech. and Sci., Tokyo May, 1986.
- [4] G. Perrotta, “Accuracy limitaion of RF sensor fine pointing system in multibeam antenna,” Space Commun. and Broadcast., vol.3, pp 131-150, 1985.
- [5] 조도현, 조창호, 이상철, 박종우, 이종용, “위성 안테나 시스템에 대한 추적 알고리즘,” 대한전자공학회논문지, 제38권, TE편, 제1호, 73-78, 2001.
- [6] Mark Long, The World of SATELLITE TV(Ninth Edition for the Americas), Prentice Hall, 2002.
- [7] Mark E. Long, The Digital Satellite TV Handbook, Newnes Press, 1999.
- [8] Neil Sclater and Nicholas P. Chironis, Mechanism and Mechanical Devices, 1998.
- [9] Track Vision G4 Technical Manual, KVH Industries Inc., 2004.
- [10] Operation and Installation Manual for Seatel Model 1894, Seatel Inc., 2004.

 저 자 소 개

엄 광 식

1993년 한양대학교 전자공학과 학사
 1995년 한양대학교 기전공학과 석사
 2000년 한양대학교 전자공학과 박사
 현재 한라대학교 전임강사
 <주관심분야 : 위성통신안테나, 능동안테나, 제어 시스템>

박 명 관

1982년 광운대학교 응용전자공학 학사
 1984년 광운대학교 전자공학과 석사
 1997년 한양대학교 전자공학과 박사
 1984년~1991년 대우중공업 중앙연구소
 1991년~1995년 한국생산기술연구원 선임연구원
 1996년~현재 동양대학교 IT전자공학부 부교수.
 <주관심분야 : 지능제어, 센서융합, 제어응용시스템>