

論文 2002-39TE-1-9

위성 안테나 시스템의 STEP 추적에 관한 연구

(A study on the step tracking of satellite antenna system)

曹 燾 鉉 *

(Do-Hyeon Cho)

요 약

한반도 지역 내에서 KOREASAT의 수신성능 향상을 목적으로 하는 추적 시스템을 구현하였다. 위치 정보 센서 없이 스캔 모드를 이용하여 위성이 수신 가능한 지역으로 안테나를 이동시켰고, Step 추적 알고리즘을 이용하여 수신 신호의 최대 레벨 점으로 이동하는 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템의 추적 성능을 위성을 직접 수신하는 실험 실험을 통하여 검증하였다. 또한, 본 시스템의 추적 속도와 기계적 구조에 적합한 최적의 Step 크기도 반복 실험을 통하여 결정하였다.

Abstract

In this thesis, we realized tracking system for the purpose of receiving performance improvement of KOREASAT's signal in Korea peninsula. Using Scan-mode antenna point out receivable area without position information sensor and using step-track algorithm reach to peak level. Furthermore, the performance of the completed system was verified by physical experiments that directly receives satellite signal. And decided the optimal size of steps for tracking speed and structure of the system by reiterative approach experiments.

I. 서 론

최근에는 자동차, 비행기와 선박 등의 이동 시스템에 장착된 위성안테나와 위성간의 원활한 통신을 위해서, 이동체 용 위성수신 장치의 필요성이 커지고 있다^{1) 2)}. 이동용 위성수신 장치는 수신기의 이동, 방향전환, 여러 가지 외란의 영향 등에 대하여, 안테나가 위성을 정확하게 지향하도록 하여 양호한 수신 상태를 유지해야

한다. 따라서, 고정된 위성 수신장치와는 달리, 위성을 추적하기 위한 보다 정교한 제어기술이 요구된다.

위성통신을 위한 추적 알고리즘은 1960년대 이후 많은 연구가 있었다. 알고리즘은 자기 추적(closed loop) 방식과 프로그램 추적(open loop) 방식으로 구분되며, 자기 추적 방식은 로빙(lobing) 방식과 모노펄스(monopulse) 방식으로 분류할 수 있다³⁻⁴⁾. 프로그램 추적 방식은 위성의 궤도 예보 데이터, 표준시각 신호, 안테나의 디지털 각도 데이터를 컴퓨터로 처리하여 안테나를 예측궤도의 방향으로 제어하는 방식이기 때문에 데이터의 정확도가 추적 성능을 좌우한다⁵⁾. 로빙 방식은 임의의 방법으로 안테나의 빔을 움직여서 비콘파의 도래 방향을 검출하여 방향을 제어하는 방식이고, 모노펄스 방식은 안테나의 빔을 고정시켜 두고 단일 펄스의

* 正會員, 薺田大學 電子系列

(Dep. of Electronic Eng. Hyejeon College)

※ 이 논문은 2002년도 해전대학의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

接受日字:2001年8月27日, 수정완료일:2002年2月21日

전파에 따라 수시로 방위 오차를 검출하기 때문에 모노펄스라는 명칭이 유래되었다. 로빙 방식은 안테나의 빔을 미소각의 원추형태로 회전시키며 자기 추미를 하는 원추형 스캐닝 방식(conical scanning), 안테나 축 주위의 정해진 4개 이상의 위치로 이산적으로 움직이며 상대적인 수신 신호 레벨로 결정하는 빔 스위칭 방식(beam switching)^[2]과 일정한 시간 간격으로 안테나를 미소 각도씩 Step 형태로 이동시키며 수신 레벨의 변화를 비교하여 수신 레벨이 증가되는 방향으로 이동해 가는 Step 추적 방식(step tracking)^[6]으로 개발되어 왔다.

Step 추적 방법은 구현하기가 용이하고 경제적으로 현재 많이 사용되고 있다. 그러나 최대 수신 방향을 알지 못하므로, 한 단계의 이동이 최고점을 지나칠 수 있는 불확실성을 가지며, 기본적으로 위치 정보 센서(GPS, flux gate)에 의하여 위성이 관측 가능한 상태에 있어야 하는 것을 전제로 한다^[7-8]. 그러나 우리 나라의 여건은 위치 센서 없이 위성 신호를 포착하여, Step 추적을 수행하는 위성 안테나 시스템이 더 실용적이다^[9].

본 논문은 추적대상 위성을 한반도 지역을 대상으로 하는 KOREASAT로 설정하여, 위성 수신안테나의 Step 추적 방식의 위치제어 알고리즘을 개발하였다. Step 추적 위치제어 알고리즘은 목표 위성의 수신 전파의 전계강도의 정보만을 사용하는 것을 전제로 하였고, Flux Gate나 GPS등의 부가적인 위치 센서는 사용하지 않았다. 먼저 안테나 포지셔너를 스캔모드(scan mode)를 통해 위성 수신 가능 지역으로 안테나를 회전시킨 후, 다음으로 Step 추적알고리즘을 적용한 추적모드(tracking mode)를 통하여 최대 수신 레벨로 안테나를 회전시키도록 시스템을 설계하였다. 안테나 포지셔너의 수신 신호 레벨의 검출은, Set-Top Box안에 내장된 튜너의 AGC(auto-gain control)신호를 이용하였으며, 최종적으로 구현된 시스템의 성능을 실제의 KOREASAT의 신호를 수신하는 실험을 통하여 검증하였다.

II. 위성 송수신 시스템과 추적 알고리즘

KOREASAT 3호는, KOREASAT 1호가 발사사고로 인하여 예정보다 수명이 단축 될 것으로 예상되어 현재의 서비스를 중단 없이 제공하기 위하여 발사되었다. 3호 위성은 특히 위성을 통한 초고속망의 구현 및

Ku-band 중계기의 초과 수요에 대처하고 4호의 수요 창출을 위해 Ka-band 중계기도 함께 탑재되고, 동남아 지역의 수요발생을 대비하여 가변 빔으로 서비스할 수 있는 안테나도 탑재되어 국내 뿐 아니라 아시아지역까지 서비스가 가능하다. KOREASAT의 안테나는 통신·방송 복합위성 안테나 시스템으로 구성되어 있으며, 방송용의 빔폭은 세계무선통신주관회의에서 결정한 크기에 따르고 있다. 빔의 패턴은 $1.2^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 의 타원형이고, 빔의 중심은 동경 127.5° , 북위 36° 로서 전북 무주 근처가 된다. 수신 가능한 유효복사 출력의 중앙 타원 내에서는 43[cm]보다 작은 안테나로 수신이 가능하게 되어 있다. KOREASAT 3호의 제원은 표 1과 같다^[1, 9].

표 1. KOREASAT3의 명세
Table 1. Specification of KOREASAT 3.

구분	통신용		방송용
	Ku-band	Ka-band	
중계기수	24	3	6
빔 커버리지	$1.2^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 타원형		
대역폭(MHz)	36	200	27
EIRP(dBw)	50.5/54.7	55.0	59.4
G/T(dB/K)	13.6	9.4	15

KOREASAT 3호를 송수신하기 위해서는 파라볼라 안테나와 수신된 12[GHz]대의 신호를 1[GHz]의 중간 주파수 대역으로 변환 시켜주는 LNB(low noise block down converter), 변환된 중간 주파수 대역의 신호를 영상, 음성처리를 하여 실제 수신자의 모니터에 영상, 음성 신호를 출력해 주는 Set-Top Box등이 필요하다. 또한, 정확한 송수신을 위한 위성을 자동으로 추적할 수 있는 추적 시스템의 구성은 안테나를 구동할 수 있는 액츄에이터(actuator)와 추적 알고리즘이 내장된 ACU(antenna controller unit)가 필요하다. ACU는 AGC전압을 측정하여 위성 추적 및 정밀 추적을 보조하는 기능을 한다^[10-11].

한반도에서 위성방송을 송수신하기 위한 지역별 안테나의 지향 각도는 방위각과 양각으로 표현되는 3차원 구 좌표계(spherical coordinate)를 이용하여 그림 1과 같이 표현된다^[7, 12].

여기서, E 와 P 는 각각 지구국과 위성을 뜻하며, Δs 은 지구국과 지상의 위성 경도 점과의 차이이고, R_E 과 d 는 각각 지구 적도 반경(6378.1km)과 위성-지구간

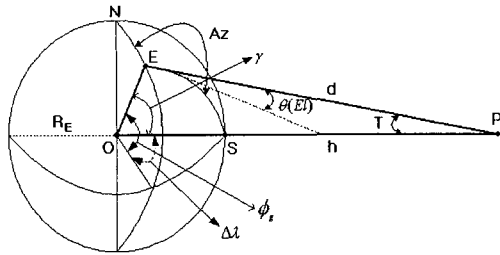


그림 1. 구 좌표계에 의한 위성과 지구국과의 관계
Fig. 1. Relation of between satellite and earth-station by spherical coordinate.

거리이며, S와 h는 위성의 지상 직하점과 위성고도 (35786.1Km)를 나타낸다. $\theta(El)$, Az, ϕ_g , T는 각각 지구국에서의 양각, 지구국의 위도와 방위각, 위성 천정각이며, γ 는 $\angle EOS$ 이다.

위성까지의 거리 d와 θ 는 그림 1로 부터 각각 식 (1)과 식(2)로 얻어진다^[12].

$$d = \sqrt{h^2 + 2R_E(R_E + h)(1 - \cos \phi_g \cos \Delta\lambda)} \quad (1)$$

$$\theta(El) = \cos^{-1} \left((R_E + h) \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \phi_g \cos^2 \Delta\lambda}{h^2 + 2R_E(R_E + h)(1 - \cos \phi_g \cos \Delta\lambda)}} \right) \quad (2)$$

또한, 방위각 Az 식(3)과 같다.

$$Az = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \Delta\lambda}{\sqrt{1 - \cos^2 \phi_g \cos^2 \Delta\lambda}} \right) \quad (3)$$

식(1)~(3)에 의한 한반도 모든 지역은 그림 2의 사각형 범위 안에서 수신 가능하게 된다.

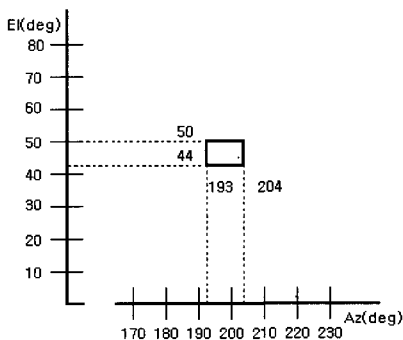


그림 2. KOREASAT의 추적 영역
Fig. 2. Tracking area of KOREASAT.

위성 송수신 안테나는 방위각 기준은 위치 정보 센서를 사용하지 않기 위하여 스캔영역을 0~355로 하고, 양각은 기준점을 수평면으로 42~51°를 정하여, 이

영역에서만 스캔을 수행하게 한다.

본 연구에서는, 실제 시스템에 적용될 추적모드의 추적 방법으로 Step 추적 알고리즘을 적용하였다. Step 추적이란 안테나를 일정한 방향으로 1-Step 회전하여 수신레벨이 증가했으면 다시 같은 방향으로 진행을 반복하고, 감소한 경우에는 역 방향으로 회전하여 수신레벨이 최대인 점을 추적해 가는 방식으로 하드웨어 구성이 용이하고 경제적이며 제어 알고리즘도 비교적 간단한 것이 장점이다.

Step 추적 알고리즘은 전파의 수신 전계강도의 정보만을 사용하므로 공간에 떠 있는 위성을 추적하려면 상, 하, 좌, 우로 적절한 회전 방향의 순서를 정하여, 위성의 공간에 대하여 고르게 추적을 수행하여야 한다. 즉, 먼저 입력된 수신 전파 레벨을 일시 기억하고, 미소각의 회전 후, 입력된 수신레벨과 비교하여 증가되는 방향으로 다음의 회전 방향을 판단하는 알고리즘의 구성이 기본적으로 필요하며, 알고리즘의 구현의 적절성에 따라 시스템의 추적 성능이 결정되므로 최적의 알고리즘을 구하기 위한 노력이 요구된다. 또한, Step 추적 방법은 안테나가 위성 수신 가능한 지역을 포인팅하여야 하는 전제 조건을 가진다. 그렇기 위해서는 위성의 위치를 알고, 위치 정보 센서를 이용하여, 현재 위치를 파악한 후 안테나를 위성 수신이 가능한 지역으로 움직인 다음에 추적을 수행하여야 한다. 그러나 추적 영역을 미리 설정하고 그 영역을 스캔모드로 추적하여 목표위성의 신호를 수신할 수 있도록 알고리즘을 설계하면, 부가적인 장비 없이 Step 추적 알고리즘의 적용이 가능하다. 추적은 그림 3과 같이 이루어진다.

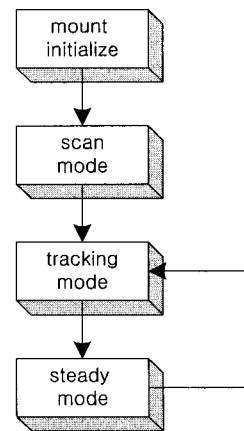


그림 3. 추적 시스템의 블록선도
Fig. 3. Block diagram of tracking system.

마운트의 초기 설정은 시스템을 시동시키면 마운트를 기준으로 하여 양각이 추적 영역의 하단인 42°로 움직이고 방위각의 초기 위치인 0° 위치로 이동시켜 스캔 모드를 준비하는 단계이다. 스캔 모드는 마운트의 초기 설정이 끝난 후, 안테나가 위성 신호를 포착하는 동작을 말한다.

위성의 탐지 영역인 양각은 42~51°, 방위각은 0° 부터 마운트의 구동 한계인 355°의 범위를 그림 4와 같이 스캔하도록 설계하였다.

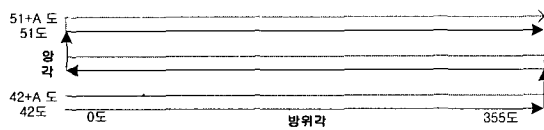


그림 4. 스캔 모드
Fig. 4. Scan mode.

스캔 간격은 위성 수신안테나의 반치폭($\theta_{3dB} = 2.95^\circ$)를 고려하여 설정하였다. 스캐닝이 진행되는 동안 안테나로 입력되는 수신레벨은 계속 프로세서에 입력되어 체크되며, 일정한 레벨 이상이 되는 점에서 동작을 멈추고 Step 추적 모드를 수행하게 된다. 1단계 스캔 후 위성 신호를 포착하지 못했을 경우, 안테나를 다시 초기화시킨다. 그리고 그림 4의 점선과 같이 양각축을 A(1°)만큼 UP하여 다시 스캔 동작을 시작한다. Step 추적 모드에서는 step 추적에 의하여 수신레벨이 증가되는 방향으로 안테나를 1-Step 이동시켜 수신레벨이 큰 쪽으로 포인팅을 수행한다. Step 추적에 의해 원활한 수신이 가능한 정도의 수신레벨에 도달하면, Step 추적을 멈추고 구동 중지 모드 단계를 수행한다. 구동 중지 모드는 원하는 정도의 수신 레벨에 도달했을 때 기계적인 무리를 주지 않기 위해서 모터 구동을 중지하는 모드이다. 안테나의 움직임이 중지된 상태에서도 프로세서는 계속해서 수신레벨을 입력받는다. 입력된 수신레벨이 외란이나 위성의 예기치 않은 움직임으로 어느 정도 이하 값(3.5[V])으로 감소할 경우에 다시 추적 모드가 수행된다. 그림 6은 스캔모드의 흐름선도이다. 스캔 모드의 스캔 간격은 4.5°로 안테나의 반치폭(2.95°)고려하였기 때문에 신호 포착이 가능하다. 포착된 후에는 Step 추적 모드로 전환이 된다. 흐름선도에서, Q값은 계속 입력받는 AGC 전압이고, K(V)는 추적 모드로 전환하기 위한 기준 전압이다. 실제 실험에서는 K(V)= 3[V] 이다. 추적 모드에 적용된 Step 추

적 알고리즘은 그림 5와 같이 우, 상, 좌, 하의 순서로 알고리즘을 구현하였다.

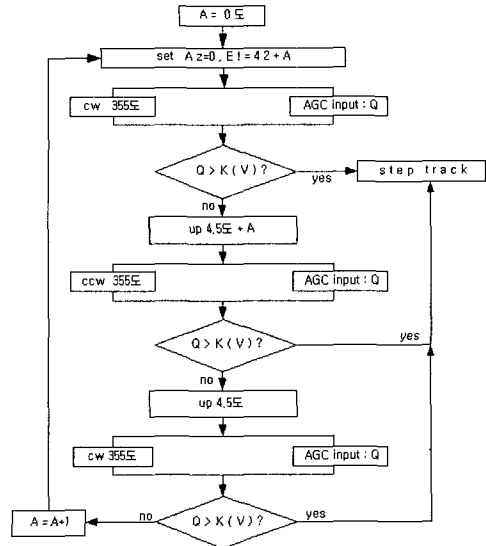


그림 5. 스캔 모드의 흐름 선도
Fig. 5. Flow chart of scan mode.

III. 실물 실험

실제 위성을 추적하기 위한 장치는 그림 6과 같이 구성하였다.

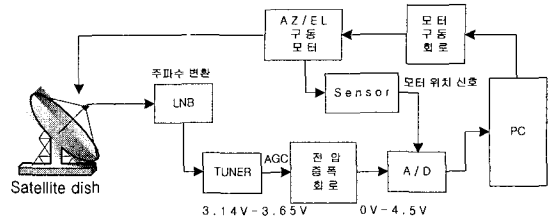


그림 6. 실험 구성의 블록 선도
Fig. 6. Block diagram of Experiment configuration.

실험에 사용된 DBS튜너는 Set-Top Box안에 내장된 SHARP사의 BS2F7G0054를 이용하였다. DBS튜너는 안테나에서 입력받은 신호들 중에 원하는 주파수의 신호만을 출력시켜주며, 수신 신호의 감도에 비례하는 AGC(Auto Gain Control)값을 출력하는 기능을 가지고 있다. 이 AGC값을 수신 신호 레벨의 기준으로 하였으며, 출력된 AGC전압 변동 3.14~3.65[V]를 0~4.5[V]가 되도록 변환하였고, 잡음 제거 및 측정 값 안정을 위해 저역 통과 필터와 전압 평활 회로를 추가하였다.

방위각과 양각을 결정하는 Az/EI 모터의 구동 전압은 20V로 하였으며, 이때 방위각의 구동 속도는 10[°/sec]이고, 양각의 구동 속도는 5[°/sec]이다. 실험을 위한 실물 구성은 사진 1과 같다.

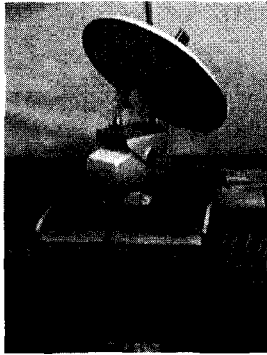


그림. 실험 장치
Fig. Experimental device.

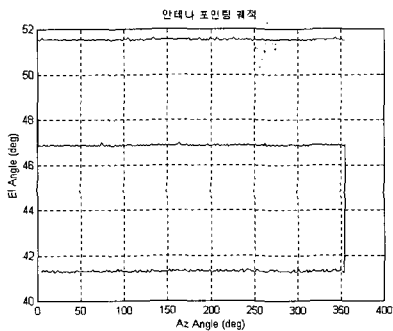


그림 7. 스캔 모드의 안테나 포인팅
Fig. 7. Antenna Pointing of scan mode.

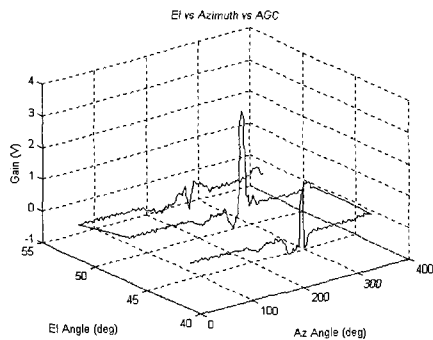


그림 8. 스캔 모드에서의 양각과 방위각에 대한 AGC 전압 곡선
Fig. 8. AGC voltage for azimuth and elevation of scan mode.

스캔 모드의 수행에서 추적영역을 한번 스캔한 결과

는 그림 7과 같다. 시스템의 추적 속도 향상을 위해 스캔 모드의 Step 크기는 1°로 하였다. 그림 8은 방위각의 변화에 따른 AGC 전압의 변화이다. 이 것을 참조하여 추적 모드로 전환하기 위한 AGC 전압을 교정하였다. 실제 실험에서 3[V]이상이 되면 추적모드로 전환하도록 프로그램을 구현하였다. 그림 9를 보면 위성 신호는 방위각 210~220° 정도에서 포착되는 것을 알 수 있다.

실제 스캔 모드와 추적 모드가 결합된 추적 시스템의 실험은 Step 간격을 0.1°와 0.3° 대하여 실시하였다. 스캔 모드에서 변환된 AGC 전압이 3[V]에 도달하면 추적 모드로 전환하였고, 추적 모드에서는 AGC 전압이 4[V]이상이 되면 Step 추적을 중단하고, 그 사이의 측정 데이터를 처리하였다.

그림 9는 Step 간격을 0.1° 했을 때의 결과이다.

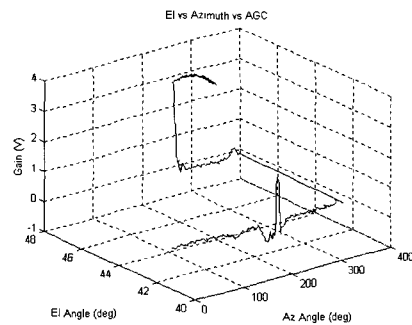


그림 9. [step=0.1°], 양각과 방위각에 대한 AGC 전압
Fig. 9. [step=0.1°], AGC voltage for elevation and azimuth.

Step 추적 동안 걸린 시간은 평균 38.3[sec]이고, 마운트의 진동이 있었다. 마운트의 진동으로 인하여 수신 신호레벨의 변화가 있었으며, 3[V] 이상에서는 선명한

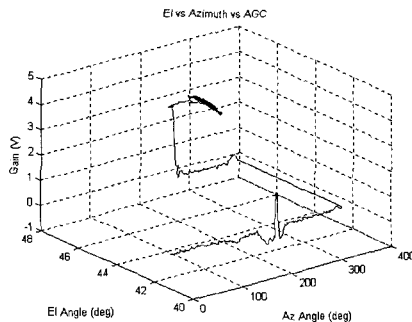


그림 10. [step=0.3°], 양각과 방위각에 대한 AGC 전압
Fig. 10. [step=0.3°], AGC voltage for elevation and azimuth.

화질과 음질을 수신할 수 있었다.

그림 10은 Step 간격이 0.3° 일 때의 결과이다. 4[V] 도달시간이 13.3[sec]로 간격 0.1° 보다 빠른 추적 성능을 보였으며, 진동도 무시할 수 있을 정도로 감소하였다.

결론적으로, Step사이즈가 커지면 그 만큼 1-Step에 따른 수신 레벨의 변화가 크기 때문에, 최대점 부근에 도달하였을 경우에 추적 오차에 민감하게 반응하게 된다.

IV. 결 론

본 연구에서는, 한반도 지역에서 KOREASAT의 신호를 수신하는데 있어 수신성능을 향상시킨 저비용의 위성 추적 안테나 시스템을 구현하였다. 위치 정보 센서나 송수신 안테나에 대한 고비용의 물리적인 개선 없이 일반적인 파라볼라 안테나를 이용하였고, 스캔 모드와 Step 추적 알고리즘을 적용하여, 안테나가 위성의 정확한 위치를 추적하도록 하였다. 수신 신호 레벨을 튜너의 AGC 전압을 이용하여 측정하였고, 이 AGC 전압이 수신레벨의 크기 검출에 적합하다는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 장상구, 박정우, 김성중, “무궁화 3호 위성 현황 및 탑재체 성능분석”, 위성통신과 우주산업, pp. 34~45, 1999.
- [2] G.Maral, and M.Bousquet, Satellite Communication System 3/e, John Wiley & Sons Ltd, 1998.
- [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 limitation of RF sensor fine pointing systems in multibeam antennas,” Space Commun. and Broadcast., vol 3, pp. 131~150, 1985.
- [5] R. M. Dressler and D. Tabak, “Satellite tracking by combined optimal estimation and control techniques,” IEEE Trans., AC-16, pp. 833~840, 1971.
- [6] N. N. TOM, “Autotracking of communication satellites by the step-track technique,” IEE Conference Proceeding on Earth station Technology, pp. 121~126, 1970.
- [7] Sea Tal Inc, SEATEL Immarsat-B Stabilized Antenna Manual, Sea Tal Inc, 1995.
- [8] Antenna Technologys Beams Radiate in Many Directions, Microwaves & RF, V. 37 N.5, 1998.
- [9] 조도현, 조창호, 이상철, 박종우, 이종용, “위성 안테나 시스템에 대한 추적 알고리즘”, 대한전자공학회논문지, 제38권, TE편, 제1호, 73~78쪽, 2001
- [10] G. J. Hawkins, D. J. Edwards and J. P. McGeehan, “Tracking systems for satellite communications,” IEE Proc., vol. 135, Part F, pp. 393~407, 1988.
- [11] P. B. Kennington, D. J. Edwards and J. P. McGeehan, “Receivers for an Electronic beam-squint tracking system,” IEE Proc., vol 136, Part I, 1988.
- [12] W. L. Morgan and G. D. Gordon, Communications Satellite Handbook, Jon Wiley & Sons, 1989.

저 자 소 개

曹燾鉉(正會員) 第37卷 TE編 第5號 參照