

임베디드 리눅스를 이용한 이동체 추적 안테나 시스템에 관한 연구

A Study On the Tracking Antenna System for a Moving Vehicle by the Embedded Linux

김종권*, 우귀애*, 조겸래*, 이대우*, 장철순**

Jong-Kwon Kim*, Gui-Aee Woo**,
Kyeum-Rae Cho*, Dae-Woo Lee* and Chul-Soon Jang**

요 약

본 논문에서는 이동체간의 Data Link를 위해 임베디드 리눅스가 탑재된 임베디드 제어 시스템을 이용하였고 이동체를 추적하여 데이터 통신을 할 수 있는 안테나 시스템에 관하여 연구하였다. 안테나를 구동하기 위한 임베디드 제어 시스템은 SA-1110을 탑재한 마이크로프로세서를 기반으로 하였고, 이 임베디드 제어기가 두개의 스텝 모터를 구동하여 안테나의 방위각과 고도각을 제어한다. 그리고 GPS로부터 이동체의 위치정보를 수신 받아 이로부터 이동체간의 상대적인 위치와 방향을 산출하여 안테나가 대상 이동체를 지향할 수 있도록 하였다. 설계한 임베디드 제어기와 안테나 시스템의 검증을 위해, 아리랑 위성의 한반도상공 궤적정보를 바탕으로 추적 시험을 실시하여 그 성능을 분석하였다.

Abstract

In This paper the embedded linux based embedded control system was used and the tracking antenna system was studied for data link and communication between moving vehicles. A microprocessor based embedded controller is equipped with SA-1110 board and this embedded controller can control the azimuth and the elevation angle of the antenna. The relative position and attitude for pointing are calculated by using the GPS position signals from the moving vehicle. To verify the performance of the designed embedded antenna system, the orbit information of the Arirang satellite(from KARI) is used.

Key words : tracking antenna, embedded system, embedded linux, device driver.

I. 서 론

위성이나 이동중인 이동체로부터 Data를 수신하거나 DBS위성과 같이 방송용 위성으로부터 위성방

송을 수신할 때 안테나는 이동체로부터 수신되는 전파수신강도(AGC Level)를 이용하여 이동체의 위치를 연속적으로 추적하고 지향한다. 선박이나 차량, 항공기와 같은 이동체에 설치된 안테나는 이동체의 이동방향과 자세에 따른 방위각과 고도각이 연속적

* 부산대학교 항공우주공학과(Department of Aerospace Engineering, Pusan National University)

** (주)신동디지텍 (Shin-Dong Digitech. Co. Ltd.)

· 논문번호 : 2004-1-7

· 접수일자 : 2004년 3월 9일

으로 변화된다. 따라서 안테나가 지속적으로 이동체로부터 Data를 수신하기 위해 이동체를 연속적으로 지향할 수 있어야 한다. 그 방법으로 몇 가지 추적방법이 있는데 이때 사용하는 방법은 십자탐색, 피라미드 탐색, Step Tracking 방법 등이 있다. 그러나 이러한 탐색방법은 안테나의 구동초기에 추적 대상 이동체의 초기위치를 결정하기 위해 전 영역에 걸쳐 일차적인 탐색이 이루어져야하고 AGC의 강도가 강한 곳을 찾아 안테나를 이동한 후 AGC의 강도를 따라 추적을 하면서 대상체를 지향하게 된다[1, 2]. 이러한 기능의 안테나용 임베디드 제어기 개발에 있어서 다양한 신규 요구와 Life cycle 단축에 따른, 융통성 있고 신속한 제품개발의 필요성에 따라 개방형 제어기가 대두되고 있다. 임베디드 리눅스는 개발자가 제어 시스템에 맞는 부분만을 컴파일하여 커널을 재구성할 수 있어, 작은 메모리 공간에서도 제어 시스템에 리눅스를 포팅 할 수 있다. 이로 인하여 임베디드 시스템에서 리눅스가 개방형 제어기로 많이 이용되고 있다. 임베디드 Linux를 기반으로 하는 제어기를 적용할 경우 개방형시스템으로 제어시스템 개발비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 개방형 시스템의 특성인 커널의 공개로 인해 성능향상과 유지 보수에 있어서의 장점을 취할 수 있을 것이다.

지난 90년대부터 일반에 널리 알려지고 활용되기 시작한 GPS 위치 정보는 그 정밀도가 우수하여 GIS, 교통정보, 위치추적, 군사적으로 무기유도 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 지상에서 비행체나 UAV, 항해중인 선박과의 Data Link를 위하여 안테나 시스템을 활용할 때 지향 대상체의 위치정보를 이용하면 더욱 효율적으로 지향할 수 있게 된다[3]. 따라서 GPS를 이용하여 대상체의 위치 정보를 받아 이를 비교하여 상대 위치를 계산하면 이동체와 대상체간의 상대 방위와 상대고도를 알아낼 수 있다. 이로부터 서로간의 위치를 파악하여 안테나가 대상체를 지향하도록 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 임베디드 리눅스가 탑재된 임베디드 제어 시스템을 이용하여 이동체를 추적하여 데이터 통신을 할 수 있는 안테나 시스템에 관하여 연구하였다. 안테나를 구동하기 위한 임베디드 제어 시스템은 SA-1110을 탑재한 마이크로프로세서를 기

반으로 하였다[4, 5, 6]. 설계한 임베디드 제어기와 안테나 시스템의 검증을 위해, 상용 위성 추적 안테나에서 제시하는 성능특성을 본 임베디드 제어시스템에서도 만족하는가를 알아보았다. 이를 위해 아리랑 위성의 한반도 상공 궤적 정보를 바탕으로 추적 실험을 통하여 그 성능을 분석하였다.

II. 안테나 시스템

2-1 안테나 시스템의 구조

안테나 시스템은 일반적으로 ACU(Antenna Control Unit), PCU(Pedestal Control Unit), SAP(Stabilized Antenna Pedestal)의 3부분으로 구성되는데 ACU는 대상 이동체의 위치를 계산하여 SAP의 방위각(Azimuth)과 고도각(Elevation) 제어 명령을 PCU에 전달하여 SAP를 제어한다. 그림 1에 안테나 시스템의 구조를 나타내었다. SAP는 안테나의 방위각과 고도각을 직접 제어하여 이동체를 지향하는 기계적인 부분이고, PCU는 ACU로부터 받은 방위각과 고도각 값을 이용하여 SAP를 제어한다.

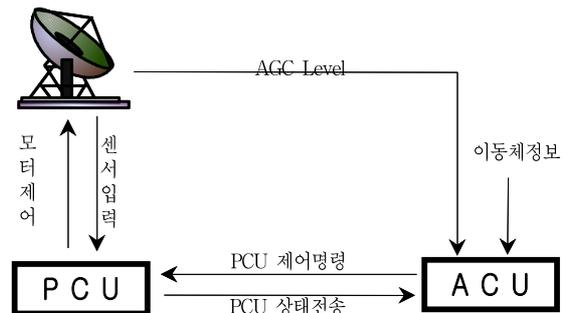


그림 1. 안테나 시스템의 구조

Fig. 1. The structure of the antenna system.

2-2 안테나의 추적 방법

본 논문에서는 이동체를 추적하기 위해서 이동체의 위치정보와 안테나의 위치정보, 즉 GPS 정보를 이용하여 두 이동체간의 상대 위치를 산출하여 안테나를 구동하여 이동체를 지향하도록 하였다. 이를 위해 마이크로컴퓨터가 탑재된 임베디드 컴퓨터를 활용하여 안테나 시스템을 구성하였다.

2-3 안테나의 포인팅 각

안테나와 이동체의 상대적 포인팅을 위한 기하학을 그림 2에 나타내었다. 이동체의 좌표는 위도 φ (중심각 TOA, T는 이동체의 직하점)와 기준 자오선에 대한 경도 λ 를 가진다. 또한 고려하는 한 점 P의 좌표는 위도 l (중심각 POB)과 기준 자오선(M)에 대한 경도 ψ 를 가진다. 그림을 명확히 하기 위하여 이동체와 점 P사이(중심각 AOB)의 경도 차이는 L 로 표시하였다. 중심각 BOT는 ζ 값을 갖고 중심각 POT(지구 중심에서 보는 이동체와 점 P사이의 각)는 ϕ 가 된다. 이동체에서 점 P까지의 거리를 R이라 하고, 이동체에서 지구 중심까지의 거리를 r, 그리고 지구의 반지름을 R_E 라고 하면, 이로부터 고도각은 식(1)과 같고, 방위각은 식 (2)와 같다.

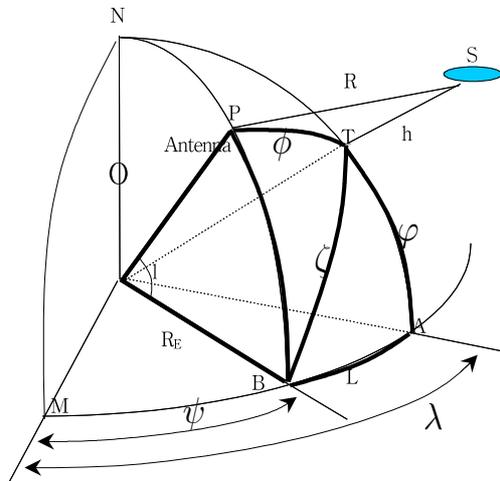


그림 2. 안테나의 포인팅 기하학
Fig. 2. The pointing geometry of the antenna.

$$E = \sin^{-1} \left(\frac{\cos \phi - \left(\frac{R_E}{r} \right)}{\frac{R}{r}} \right) \quad (1)$$

$$a = \sin^{-1} \left(\frac{\sin L \cos \varphi}{\sin \phi} \right) \quad (2)$$

2-4 안테나 시스템의 구성 및 추적 알고리즘

실험에 사용한 안테나 시스템은 SeaTel의 1898 모델을 사용하였으며 이는 2축 추적 및 안정화 기능

을 갖고 있다. 그림 3은 실험에 사용된 2축 안테나의 형상을 보여준다. 구체적인 사양은 아래 표 1과 같다. 안테나를 구동하기 위한 제어 및 Data 처리를 위한 컴퓨터로 선택된 마이크로컴퓨터는 Hybus社에서 제작한 Hyper104 보드로 영국 ARM社의 32비트 마이크로프로세서SA-1110(206Mhz) 모델을 장착하고, 16MB의 Flash, 32MB의 SDRAM을 장착하였다. 그리고 이 시스템을 위한 OS는 시스템은 임베디드 리눅스를 기반 OS로 하여 구성하였다. 회전각 센서로는 포텐셔미터를 사용하였고 포텐셔미터 출력값을 12bit A/D 변환하여 사용하였다. 또한 회전 레이트 센서로는 Systron Donner Inertial Division의 HZ1-90-100A MEMS 레이트 센서를 사용하였다. 이 센서의 성능 Range는 ± 900 /sec로써 안테나의 모션안정화(± 250 /sec 이내)와 모션 응답(± 120 /sec 이내)을 위한 변화율 범위를 감안할 때 충분한 Range를 가지고 있다.



그림 3. 안테나 시스템 (SeaTel 1898)
Fig. 3. Antenna System. (SeaTel 1898)

표1. 안테나 시스템 사양 (SeaTel 1898)
Table 1. Specification of Antenna System. (SeaTel898)

Gain		12.2 Ghz (34.4 dB)
방위각	Turn Rate	12°/sec
	Turn Range	680°
Full Elevation Range		10°~80°

2-5 추적 알고리즘

본 논문에서는 이동체를 추적하기 위해서 이동체의 위치정보와 안테나의 위치정보, 즉 GPS 정보를 이용하여 두 이동체간의 상대 위치를 산출하여 안테나를 구동하여 이동체를 지향하도록 하였다. 이를 위해 마이크로컴퓨터가 탑재된 임베디드 제어기를 활용하여 안테나 시스템을 구성하였다. 전체적인 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 이동체 추적을 위한 안테나 구동 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다.

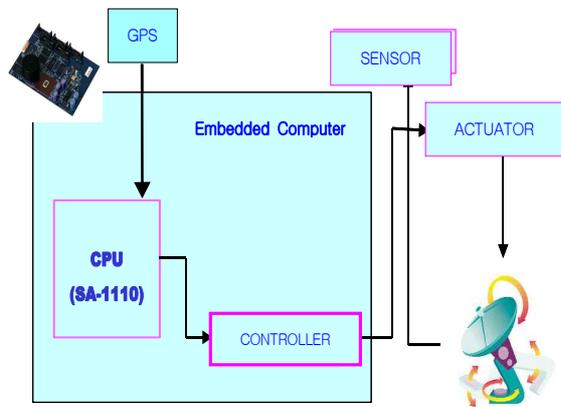


그림 4. 임베디드 리눅스를 탑재한 전체 시스템의 구조
Fig. 4. The structure of the whole system equipped with embedded linux.

2-6 디바이스 드라이버(Device Driver) 제작

본 논문에서는 실험을 위하여 두 개의 디바이스 드라이버가 필요하였다. 안테나 시스템을 구동하기 위해서 GPS 위치정보를 직렬 통신 신호로 바꾸어 주는 디바이스 드라이버와 스텝 모터를 구동해주는

디바이스 드라이버를 각각 작성하였다.

2-6-1 GPS 신호용 직렬통신 디바이스 드라이버

GPS로부터 획득되어지는 정보는 RS-232를 통해 직렬통신으로 이루어지므로 직렬 통신 포트를 제어하기 위한 부분과 GPS로부터 얻어지는 정보를 해석하여 필요한 정보만을 획득하여 분리해내는 부분을 설계해 주었다.

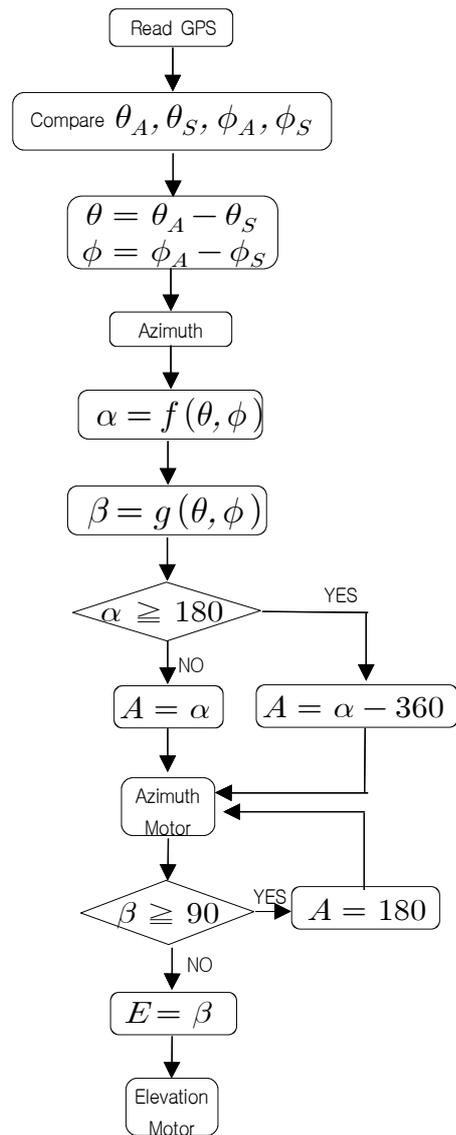


그림 5. 이동체 추적 알고리즘의 흐름도
Fig. 5. The flowchart of tracking algorithm for moving vehicle.

2-6-2 스텝 모터 구동용 디바이스 드라이버

안테나 구동용 스텝모터를 구동하고 제어하기 위해서는 스텝모터를 어떤 방식으로 제어할 것인지를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 요구되어지는 안테나의 속응성 제어를 위하여 모터의 속도를 제어하는 부분과 지향방향을 판단하여 어느 방향으로 회전할 것인지를 결정하는 방향제어부분과 GPS에서 획득한 정보로부터 계산되어진 값만큼 움직이는 부분들을 고려하여 디바이스 드라이버를 설계하였다. 특히 속도제어부분에 있어서는 필요이상의 고속으로 회전하는 경우 모터가 탈조하는 현상을 방지하기 위하여 적절한 속도를 테스트하여 적합한 속도를 설정할 수 있는 인터페이스도 구축 해 주었다. 그림 6에 스텝 모터 디바이스 드라이버의 구조를 나타내었다. 설계되어진 디바이스 드라이버의 시험한 결과를 그림 7에 나타내었다.

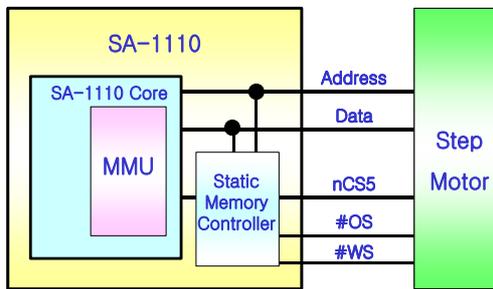


그림 6. 스텝 모터 디바이스 드라이버의 구조
Fig. 6. The structure of step motor device driver.

```
[root@hyper104 /root]$./install
init module, major number : 0
data_motor_open Request for
27 IRQ Success MOTOR detected

***** MOTOR menu *****
* 1. MOTOR Forward *
* 2. MOTOR Reverse *
* 3. MOTOR Speed Up *
* 4. MOTOR Speed Down *
* 5. MOTOR STOP *
* 6. *
* 7. *
* 8. *
* 9. TEST THE SYSTEM *
* 0. Exit Program *
*****
select the command number : 9
print the result of a 9
NO GPS SIGNAL
(t_a:36.375000t_s:53.452999
p_a:127.355003p_s:144.259995)
(pos:29.270685,alpha:29.270685,
phi:0.362007loop:2)NO GPS SIGNAL
```

그림 7. 임베디드 시스템상의 디바이스 드라이버 시험화면
Fig. 7. A test scene of device driver on the embedded system.

III. 추적 안테나 모의실험 및 결과

본 논문에서는 임베디드 시스템을 이용하여 이동체간의 Data Link를 위한 2축 안테나 시스템개발을 목표로 하였고 이를 위해서 아리랑 위성의 궤도정보를 바탕으로 그 성능을 시험하고 알아보고자 하였다.

3-1 실험 방법

임베디드 시스템은 임베디드 리눅스를 기본 OS로 하여 안테나를 구동시키기 위한 S/W를 탑재시켜 임베디드 컴퓨터에서 계산된 안테나의 이동값을 스텝모터로 전송하여 원하는 방향으로 안테나를 이동시킨다. 위성의 연속적인 이동좌표를 따라 임베디드 컴퓨터에서 실시간으로 계산하여 모터를 구동하도

록 한다. 임베디드 컴퓨터에서 계산된 안테나 이 동 값을 측정하였다. 그리고 안테나의 정확한 이동치 확인을 위하여 안테나의 회전에 따라 회전 측정 센서를 이용하여 이동치를 측정하였다. 센서를 이용하여 얻은 값과 실제 입력 값을 비교하여 안테나가 지향하여야 할 방향을 지시하는지 확인하여 비교한다. 이 때 입력되는 값은 이동체의 위도와 경도 값으로써 여기서는 실험을 위한 값으로써 아리랑 위성의 궤도 정보를 입력하여 그 출력 값을 입력 값과 비교 하였다.

3-2 실험 결과

상용 위성 추적 안테나에서 제시하는 성능특성을 본 임베디드 제어시스템에서도 만족하는가를 확인 하기 위하여 본 실험을 실시하였다. 임베디드 리눅스 기반의 제어 및 인터페이스 시스템을 설계하고, 임베디드 제어기와 안테나 시스템에 적용 시켜 위성 추적 시스템을 구현하였다. 안테나를 구동하기 위해 구성된 임베디드 컨트롤러를 시험하기 위해 우선 기준이 되는 추적 경로를 설정하고 이를 컨트롤러를 이용하여 안테나를 구동하여 성능을 시험하였다. 기준이 되는 추적 경로는 아리랑 위성의 궤적을 이용 하였다. 그림 8은 기준이 되는 아리랑 위성의 위도, 경도 값을 이용하여 얻은 궤적이다. 그림 9와 10은 각각 아리랑 위성의 위도와 경도의 변화를 나타낸 것이다.

그림 11과 13은 각각 임베디드 컨트롤러에 의한 추적을 보이고 있다. 그림 12와 14는 각각 그림 11과 13을 초기 30초간 확대하여 나타낸 것이다. 10초 근 방에서 약간의 오차가 발생하나 전체적으로 만족할 만한 추적성능을 나타냄을 알 수 있었다. 전체적으로 임베디드 안테나 시스템의 성능은 원 모델 (SeaTel 1898)의 응답 성능($\pm 120/\text{sec}$) 1.5배 이상의 성능을 보였으므로 사용자 모니터링 인터페이스 등의 태스크를 추가하더라도 만족할 만한 추적 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 임베디드 시스템을 설계하고 설계 되어진 임베디드 시스템을 이동체간의 Data Link를 위한 안테나 시스템에 적용하여 시스템의 추적 성능을 시험하고자 하였다. 임베디드 리눅스의 장점은 소스가 공개되어 있고, 구성하고자 하는 시스템의 특성과 환경에 따라 유연성 있게 구성할 수 있는 것이 큰 장점이다. 이러한 특성을 이용하여 본 논문에서는 임베디드 리눅스를 이용하여 임베디드 시스템을 설계하고, 설계된 임베디드 시스템을 이용하여 안테나를 구동하는 실험을 하였다. 실험 결과로부터 설계되어진 임베디드 시스템은 만족할 만한 성능을 보여 주었다. 임베디드 제어기에 의해 구동된 안테나는 계산상의 약간의 오차와 스텝 모터의 동작 시에 발생하는 오차에 의해 약간의 오차를 보이지만 만족할 만한 추종성능을 가지고 이동체의 위치를 추적할 수 있음을 확인하였다. 구현한 임베디드 안테나 추적 시스템의 성능은 요구되는 응답 성능 ($\pm 120/\text{sec}$) 이상의 성능을 보였으나 이는 안정화 제어루프, 사용자 모니터링 인터페이스 등의 부담이 없는 상태이므로 완전한 성능 비교라고 볼 수는 없고, 추후 부가 알고리즘과 인터페이스를 탑재하여 그 성능을 비교 검토하여야 할 것이다. 그러나 임베디드 OS의 특성상 위와 같은 태스크가 추가 되어도 멀티 태스크를 효율적으로 관리 할 수 있으므로 성능 요구조건을 만족 시킬 수 있는 통합적인 제어 시스템 구성이 가능할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 임베디드 제어기와 하드웨어의 설계와 시험을 위해 실험실용 안테나 시스템을 제작하여 구동하였으나 차후 계속 수행되어질 연구에서는 3축 구동 시스템을 위한 시스템을 설계하여 시험하고, 안테나 안정화 시스템(Antenna Stabilized System)을 위한 안정화 알고리즘과 상태 모니터링 인터페이스를 임베디드 시스템에 이식하여 이동체를 안정적이고 효과적으로 추적 지향할 수 있도록 계속 연구가 진행될 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 한국산업기술재단이 지원하는 "지역전략산업 석박사 인력양성사업"의 지원으

로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 박상원, 신지훈, 최병제, 김영호, “이동형 DBS 수신안테나의 최적 회전각 연구”, Proceedings of the 13th KACC, 10월, 1998.

[2] 이충호, 이성진, 박상원, 최병제, 성순용, 김영호, “이동형 DBS 추적시스템을 위한 신호 탐색방법”, Proceedings of the 14th KACC, 10월, 1999.

[3] 김재진, 김종권, 조결래, 이대우, 장철순, “이동체의 Data Link를 위한 2축 안테나 시스템에 관한 연구”, 한국항공우주학회 추계학술발표회, 11월, 2003.

[4] S.V. Subba Rao, B. Subramanyam, R. Nandakumar, "Programme Mode of Antenna Position Control using Microcomputer", IE(I) Journal - ET, Vol65, 11, 1984.

[5] <http://kesl.org>

[6] Michael Barr, "Programming Embedded Systems in C and C++", O' Reilly, 1999.

[7] Craig Hollabaugh, "Embedded Linux Hardware, Software, and Interfacing", Addison Wesley, 2002.

[8] 박재호, "IT Expert, 임베디드 리눅스" 한빛미디어, 2003.

[9] N. Hirakoso, S. Matunaga, Y. Ohkami, "Experiment of Antenna Pointing Control for Satellite Communications Tracking Systems on Vehicles", 日本機械學會論文集(C編), 68 卷 667号, March, 2002.

[10] 조창호, 이상호, 권태용, 이철, "Antenna control system using step tracking algorithm with H_{∞} controller", Inter national journal of control, automation, and systems, Vol 1, No.1, March, 2003.

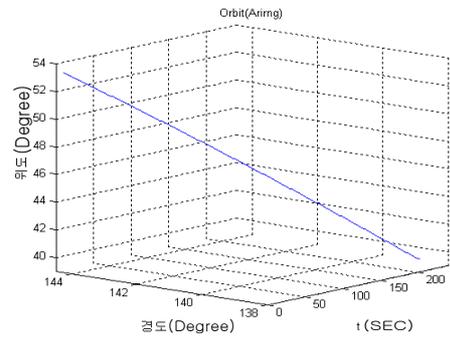


그림 8. 아리랑 위성의 궤적

Fig. 8. The trajectory of the Arirang satellite.

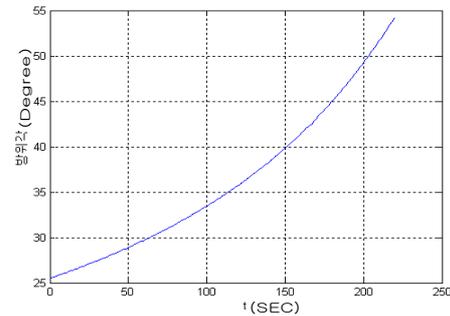


그림 9. 기준방위각 궤적

Fig. 9. The trajectory of nominal azimuth angle.

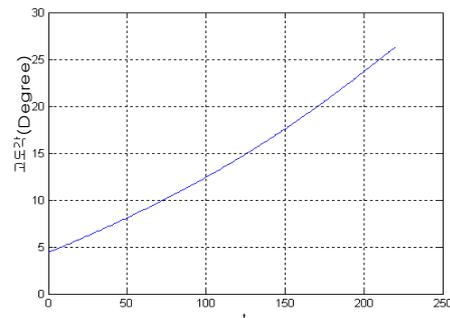


그림 10. 기준고도각 궤적

Fig. 10. The trajectory of nominal elevation angle.

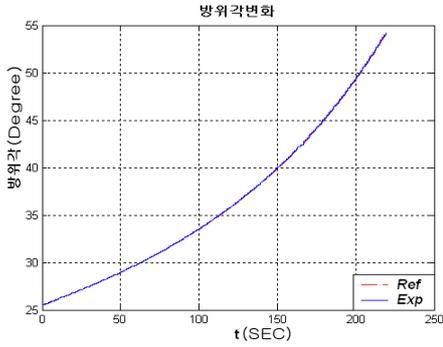


그림 11. 추적 안테나의 방위각 응답
Fig. 11. The azimuth angle response of the tracking antenna.

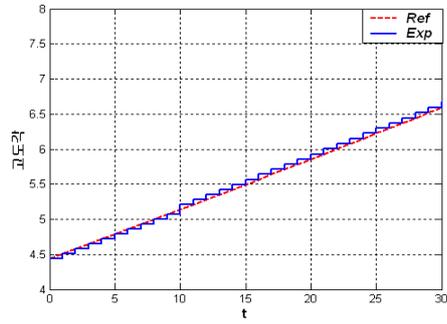


그림 14. 확대한 추적 안테나의 고도각 응답
Fig. 14. The magnified elevation angle response of the tracking antenna.

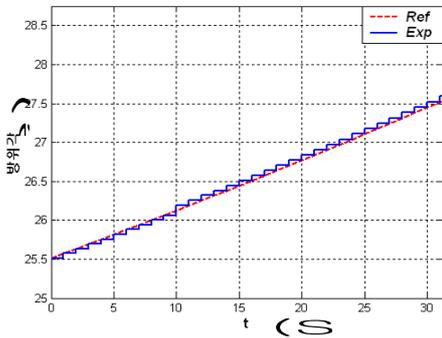


그림 12. 확대한 추적 안테나의 방위각 응답
Fig. 12. The magnified azimuth angle response of the tracking antenna.

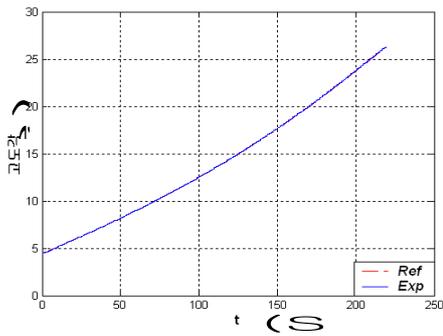


그림 13. 추적 안테나의 고도각 응답
Fig. 13. The elevation angle response of the tracking antenna.

김 종 권(金鍾權)



1994년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학사)
1996년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학석사)
2001년 3월~현재 : 부산대학교
항공우주공학과 박사과정

관심분야: 임베디드 시스템, RTOS, DSP, HILS.

우 귀 애(禹貴愛)



1996년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학사)
1998년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학석사)
1999년 3월~현재 : 부산대학교
항공우주공학과 박사과정

관심분야: 동역학 모델링, 지능시스템, 제어이론, HILS.

조 겸 래(趙謙來)



1977년 2월 : 부산대학교
기계공학과(공학사)
1979년 2월 : 부산대학교
기계공학과(공학석사)
1980년 조지아 공과대학
기계공학과(공학석사)
1986년 텍사스 주립대학(오스틴)
항공우주공학과(공학박사)

1986년 4월~현재 : 부산대학교 항공우주공학과 교수
관심분야: 인공위성 시스템, 궤도해석, 임무해석

이 대 우(李大雨)



1993년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학사)
1997년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학석사)
2001년 8월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학박사)
2003년 3월 현재 : 부산대학교

항공우주공학과 조교수

관심분야: 인공위성 시스템, 재진입 유도제어, 비행제어.

장 철 순(張哲淳)



1994년 2월 : 한국해양대학교
기관학과(공학사)
1994년7월~현재 : (주)신동디지텍
대표이사
관심분야: 이동체 통신 시스템,
위성통신 시스템, 항해 통신 시스템