

중소형 망원경 제어 시스템 MS-TCS 개발
DEVELOPMENT OF A TELESCOPE CONTROL SYSTEM, MS-TCS

한인우, 남옥원

천문대

HAN, INWOO, NAM, UK-WON

Korea Astronomy Observatory

(Received November 16, 1998; Accepted December 4, 1998)

ABSTRACT

In this paper we describe MS-TCS, the telescope control system which was developed in Korea Astronomy Observatory. MS-TCS can control an equatorial type telescope equipped with stepping motors and incremental type optical encoders. MS-TCS consists of (1) POINT_TEL which is the program running in a PC and (2) TCS-196 which is the electronics board to control the telescope. The communication between the PC and TCS-196 is done through RS-232 or RS-422 serial line. MS-TCS can control the secondary mirror and dome. It also provide network function using TCP/IP for remote control of the telescope. MS-TCS is suitable for controlling medium to small size telescope for research and education.

I. 서론

전자와 컴퓨터 관련 기술이 발전함에 따라 망원경 제어 기술도 빠르게 발전하고 있다. 원격 관측, 능동 광학 등의 첨단 관측기술도 발전된 망원경 제어기술 없이는 불가능한 것이라고 할 수 있다. 첨단 관측의 반대 쪽 - 아마추어용 망원경을 보아도 망원경 제어기술의 발전 상황을 쉽게 확인할 수 있다. 현재 시판되는 중급 정도의 아마추어용 망원경에서 컴퓨터를 이용한 제어는 기본 사양이 되었으며, 관측을 돕기 위한 다양한 기능의 S/W가 추가되고 있다. 원격 관측 까지 지원하는 고성능의 망원경 제어 시스템도 비교적 저렴한 가격으로 공급되기 시작하고 있다. 이러한 발전 추세에 비하여 지금까지 망원경 제어 관련 국내 연구는 그리 활발한 편이 아니었다. 이는 국내에 있는 대부분의 교육·연구용 망원경이 외국에서 도입되었으며, 도입 당시 설치된 제어 시스템을 변경 없이 사용하여도 관측 프로그램 진행에 별로 지장이 없었기 때문일 것이다. 최근 들어서는 보현산천문대의 1.8 m 망원경을 도입 운용하며 망원경 운용에 대한 경험이 축적되었고 관측 데이터의 질과 관측 효율에 대한 관심이 높아짐에 따라, 망원경 제어에 대한 연구가 시작되었다.

본 연구에서는 천문대에서 개발한 중소형 망원경 제어 시스템, MS-TCS (Medium to Small

size Telescope Control System)에 대하여 소개하기로 한다. 여기서 중소형 망원경이라 함은 아주 고성능이 요구되지 않는 직경 30 cm에서 1 m 정도의 교육 및 연구용 망원경을 의미한다. MS-TCS는 천문대에서 수행한 “초고속 통신망을 이용한 원격관측 시스템 개발” 과제 (한인우 등 1997, 1998)에서 개발된 망원경 제어 시스템을 좀더 범용성 있게 확장 개조한 것이다. 본문에서 자세히 논의되겠지만 MS-TCS의 사양은 중소형 망원경 제어에 필수적으로 요구된다고 생각되는 기능을 최대한 포함하였으며, 시스템 구성에 소요되는 비용을 낮추기 위하여 많은 노력을 하였다.

본 연구는 대다수의 독자를 천문학 전공자로 상정하고 전자부와 프로그램에 대한 자세한 기술적 논의는 생략하기로 한다. MS-TCS에 대한 좀더 세부 기술적 사항은 별도로 준비중인 천문대 기술보고서와 “MS-TCS 사용자 설명서”를 참조하기 바란다.

II. 시스템 설계

이 장에서는 중소형 망원경 제어에 일반적으로 요구되는 제어 조건을 살펴보기로 한다. 망원경 제어는 가대 형태에 따라 매우 달라진다. 본 연구에서는 중소형 망원경에 일반적으로 많이 이용되는 적도의식 가대 제어에 대하여 논의하기로 한다. 적도의식 망원경 제어의 핵심은 적경축, 적위축을 원하는 위치, 혹은 속도로 정밀하게 회전시키는 것이라 할 수 있다. 그외에 부정 제어와 수동조작키 지원 그리고 돔 제어 등이 있다. 자동 관측을 위하여 기상측정 장치 지원이 요긴한 기능이지만 본 연구에는 포함하지 않았다.

1. 적경축, 적위축 제어

망원경 회전에 사용되는 모터에는 DC 서보 모터, AC 싱크로로스 모터와 스테핑 모터 등이 있다 (Trueblood et al., 1997). 이중 스테핑 모터는 다른 모터보다 비교적 제어 시스템이 간단 하면서 정밀 제어가 가능하고, 가격이 저렴하기 때문에 많은 중소형 망원경에 이용되고 있다. 본 연구에서도 스테핑 모터를 이용하는 망원경 제어 시스템을 개발하기로 하였다.

스테핑 모터는 모터에 출력되는 펄스에 따라 일정한 각도로 모터가 회전한다. 따라서 스테핑 모터 제어기에서 모터에 출력된 펄스 수와 기계부의 기어 감속비만 알면 망원경의 회전 각도를 알 수 있다. 즉 open loop 제어가 가능하다. 그러나 기어 유격 등 모터 동력 전달 장치의 불완전성으로 인한 오차는 불가피하므로, 정밀 구동을 하려면 각 축에 별도의 회전 각도 측정기를 장치할 필요가 있다. 회전 각도 측정에는 정밀도가 높고 가격이 싸기 때문에 증가형 광학 엔코더 (incremental type optical encoder)가 널리 사용되고 있다.

다음으로 각 회전축에는 망원경의 안전을 위하여 회전이 허용되는 각도 범위를 제한하여야 한다. 회전 각도 제한은 시계 방향과 반시계 회전 방향에 리미트 스위치를 부착하면 된다. 또한 회전 각도 측정에 증가형 엔코더를 사용하면 회전 각도 원점을 정하기 위하여 HOME 스위치가 필요하다. 따라서 각 축 당 CW, CCW, HOME 스위치용의 DIGITAL INPUT 3 비트가 요구된다.

적경, 적위축 제어에서 다음으로 고려해야될 것은 스테핑 모터 구동 펄스와 엔코더 계수 회로

의 카운터 크기 - 비트 수를 결정하는 것이다. 망원경 제어의 분해능이 1 arcsec라 하면 360도 회전에 1,296,000의 카운트 값이 필요하다. 시중에서 쉽게 구할 수 있는 16 비트 카운터는 최대 65,536 카운트 값만 셀 수 있으므로, 정밀한 망원경 제어에 16 비트 카운터는 사용하기가 곤란하다. 더 정밀한 구동을 위하여 망원경 분해능을 0.1 arcsec로 잡고, 적경축 회전 범위를 동서 270도 (합계 540도)로 설정하면 최소 19,440,000 카운트 값이 필요하기 때문에 최대 16,777,216 까지 셀 수 있는 24 비트 카운터도 사용할 수 없다. 따라서 정밀 망원경 구동에는 32 비트 카운터를 사용하는 것이 안전하다.

2. 부경 제어

부경 조정은 초점 조정과 광축 조정으로 나누어 생각할 수 있다. 대부분의 중소형 망원경에서 광축 조정은 수동으로 이루어지므로 본 연구에서는 초점 조정만 고려하기로 한다. 초점 조정을 위하여 부경을 움직이는 데는 정밀한 위치 제어가 필요하지 않으므로, 일반적으로 중소형 망원경에서는 간단한 소형 DC 모터를 이용한다. 제어 측면에서 볼 때 부경 이동은 CW, CCW, STOP의 3 가지 상태가 있으므로 최소한 DIGITAL OUTPUT 2 비트가 요구된다. 또한 이동 방향 양 쪽에 부착하는 리미트 스위치를 위하여 DIGITAL INPUT 2 비트가 추가로 요구된다.

3. 수동조작키

수동 모드로 관측하거나, 망원경 초기 새팅과 점검을 위하여 수동조작키는 필수적으로 요구된다. 수동조작키에 의한 망원경 제어는 수동조작키에 있는 버튼 상태를 점검하여 적절한 작업을 수행하는 것이다. 수동 조작키에는 우선 동, 서, 남, 북의 네 개의 방향 버튼과, SLEW (빠른 이동), SET (중간 속도), GUIDE (미세 조정)의 세 개의 속도 버튼이 필요하다. 다음으로 초점 조정을 위한 부경 이동을 수동조작키로 하기 위하여 FOCUS (부경 선택) 버튼이 필요하다. 즉 FOCUS 버튼을 누른 상태에서 동 (서) 버튼을 누르면 부경이 안 (밖)으로 이동하도록 제어기 프로그램을 짤 수 있다. 그 외에 비상시 망원경을 정지 시키기 위한 비상정지 버튼 등이 요긴하다.

제어기에서 수동 조작키 상태를 감지하는 것은 여러 가지 방식이 있겠지만, H/W 인터페이스와 프로그램 개발의 용이성을 고려하여 수동 조작키의 각 버튼에 제어기의 DIGITAL INPUT 한 비트 씩을 배당하기로 하였다.

4. 돔 제어

자동 관측을 하려면 돔 제어가 필요하다. 돔 제어는 돔의 슬릿을 열고 닫고, 망원경 회전에 따라 돔을 회전시키는 것이다. 완전한 자동 관측을 하려면 돔 슬릿 열고 닫는 것도 자동화되어야 하지만, 본 연구에서는 관측 중 망원경 회전에 따라 돔을 연동하여 회전시키는 것만 고려하기로 한다. 경위도식 망원경은 망원경과 돔에 몇 개의 센서를 부착하여 간단히 망원경 방향에 따라 돔을 연동 회전시킬 수 있지만, 적도의식 망원경에는 이런 방식을 적용하기가 쉽지 않다.

따라서 돔 회전 모터에 증가형 엔코더를 부착하여 모터 회전 각도를 측정하여 rm 값을 이용하여 돔 위치를 계산하기로 하였다. (이 방법은 돔 모터 회전에 따라 정확히 모터가 회전하여야 하므로, 기어 백래쉬와 미끄러짐 등의 문제점이 발생할 수 있다.) 이 방법으로 돔 회전을 제어하기 위해서는 엔코더 이외에 돔 위치 원점에 필요한 HOME 스위치용으로 DIGITAL INPUT 한 비트와 모터 회전 방향 설정용으로 DIGITAL OUTPUT 두 비트가 필요하다. 지금까지의 논의를 종합하면, 증소형 망원경과 돔 제어에 필요한 최소한의 사양은 아래 표 1과 같이 정리할 수 있다.

III. 망원경 콘트롤러 TCS-196

3 장에서는 앞에서 설명한 제어 기능을 구현하기 위하여 본 연구에서 개발한 제어기 TCS-196에 대하여 설명하기로 한다. TCS-196은 PC와 연결되어 운용되는 제어기로 설계하였다. PC와 연결되는 제어기는 복잡한 천문 계산이나 제어 기능은 PC에서 수행하고, 제어기에서는 간단한 일만을 처리하여 제어기 개발이 용이하고, 관측자에게는 PC 프로그램을 통하여 다양한 기능을 제공할 수 있는 장점이 있다. 이동성을 고려하여 상용 망원경의 경우에는 독립 운용(stand alone) 모드로 작동하는 제어기도 많이 있지만, 저가의 노트북 PC가 널리 보급되는 추세로 볼 때 PC와 연결되는 제어기가 갖는 장점이 단점에 비하여 많을 것으로 생각하였다. PC와 TCS-196 사이의 통신은 RS-232 시리얼 포트를 이용하기로 하였으며, PC와 제어기 사이의 거리가 멀리 떨어진 경우를 고려하여 RS-422 규격도 지원하기로 하였다.

표 1. 증소형 망원경과 돔 제어를 위한 최소 요구 사양

구 분	요구 사양
적경축	스텝모터 제어, 인코더 DIGITAL INPUT 3 bit (CW, CCW, HOME 스위치)
적위축	위와 동일
부 경	DIGITAL OUTPUT 2 bit (모터 방향) DIGITAL INPUT 2 bit (CW, CCW 스위치)
수동조작키	DIGITAL INPUT 8 bit (방향, 속도 조정, 부경 선택 등)
돔	인코더 DIGITAL OUTPUT 2 bit (모터 방향) DIGITAL INPUT 1 bit (HOME 스위치)
계	스텝 모터 2 (적경, 적위) 인코더 3 (적경, 적위, 돔) DIGITAL OUTPUT 4 bit (부경 2, 돔 2) DIGITAL INPUT 17 bit (적경 3, 적위 3, 부경 2, 수동조작키 8, 돔 1)

TCS-196 제어기의 핵심 기능은 인텔사에서 공급하는 16 bit 마이크로컨트롤러인 80C196KC를 이용하여 구현하였다. 과거에는 자동 기기제어에 PLC (Programmable Logic Controller)가 많이 이용되었지만, 고성능의 마이크로컨트롤러 칩이 저가로 공급되고 있어 현재 자동기기 제어는 마이크로컨트롤러를 이용하는 추세로 바뀌고 있다. 80C196KC는 INTEL사에서 제공하는 마이크로컨트롤러 중에서도 가장 성능이 높은 기종 중의 하나로서 시리얼 통신, 다양한 인터럽트, 디지털 입출력, 카운터와, ADC (Analog to Digital Conveter), PWM (Pulse Width Modulation) 등의 다양한 기능을 제공하기 때문에 일반 기기 제어에 널리 이용되고 있다.

그림 1은 모터 제어를 위한 망원경 콘트롤러 TCS-196에 대한 구성도를 보여준다. 이 회로 구성은 천문대의 위탁 과제로 수행되었던 망원경 구동 전자부 세부 설계를 기초로 하였다 (유지윤 et al. 1996). TCS-196은 80C196KC CPU 중심으로 코드 메모리(ROM, read-only memory)와 데이터 메모리(RAM, random access memory)를 설치하였으며, 모터 구동을 위한 펄스 발생부, 리미트 스위치 제어 로직, 펄스 계수 및 엔코더 계수부 등으로 구성된다. TCS-196의 핵심 기능은 2 축의 스테핑 모터 제어인데, 이 회로 구성에서 펄스 발생 및 카운터부를 TTL 카운터로 구현하면 회로의 크기가 커지는 문제점이 있으므로 이 연구에서는 인텔 계열의 PIT(pulse interval timer) 8254를 사용하여 펄스 발생기 및 카운터로 활용하여 회로 크기를 축소시키고, 제작 경비도 줄였다.

제작된 TCS-196 회로는 모두 3장의 보드로 구성되어 있다. 첫번째 보드는 CPU 보드로서 80C196KC CPU와 ROM, RAM 그리고 펄스 발생부 회로가 들어있다. 두번째 보드는 카운터 보

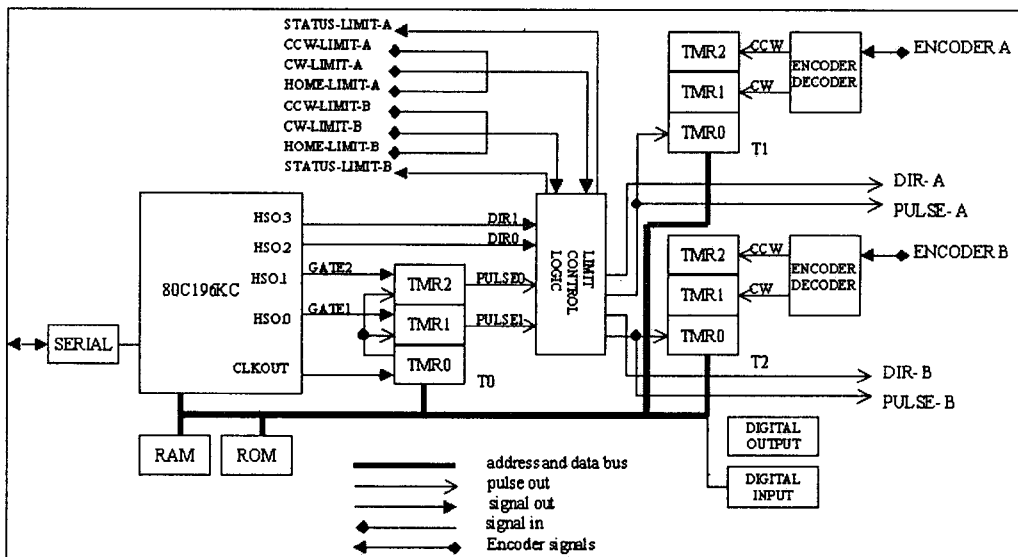


그림 1. 모터 제어를 위한 TCS-196 구성도

드로서 스텝 모터 펄스 카운터, 엔코더 카운터와 8 비트씩의 디지털 입출력 회로가 들어있다. 세번째 보드는 RS-232/422 통신 회로와 돔, 부경 관련 회로 등이 들어있으며, 기타 사용자가 추가하고자 하는 회로를 넣을 수 있는 여분의 공간이 남아있다. 표 2에 TCS-196의 하드웨어적 사양을 정리하였다.

1. 80C196KC CPU 회로 및 시리얼 통신 회로

80C196KC는 RALU(register arithmetic logic unit) 구조를 갖고 있다. 레지스터 수가 많기 때문에 범용 프로세서에 비해 제어 프로그램의 코딩 작업이 수월하다. 또한 칩 내부에 앞서 언급된 다양한 기능을 제공하기 때문에 시스템의 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다. 80C196KC는 64 k 바이트 메모리를 가질 수 있기 때문에 코드 메모리, 데이터 메모리 영역을 각각 32 k 바이트씩 할당하고, 데이터 메모리 영역 중 하위 4 k 바이트는 외부 인터페이스 영역으로 할당하였다. 또 80C196KC는 데이터 버스 동작 모드에 따라 8 비트, 16 비트, 또는 8비트/16 비트 겸용으로 사용할 수 있지만 시스템 간략화를 위해 8 비트 버스 동작 모드로 고정하여 설계하였다.

표 2. TCS-196 하드웨어 사양

적경축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스텝 모터 구동 <ul style="list-style-type: none"> - 펄스 출력 : 주파수 범위 1Hz - 10 MHz - 방향 신호 - 32 비트 펄스 카운터 ○ 엔코더 피드백 <ul style="list-style-type: none"> - 엔코더 형태 : A, A-, B, B- 상 사각파 출력 증가형 엔코더 - 분해능 4채배 회로 내장 - 32 비트 엔코더 카운터 ○ 리미트 스위치 신호 처리 <ul style="list-style-type: none"> - Home, CW 리미트, CCW 리미트 - 리미트 스위치 작동시 모터 강제 정지 (pulse 출력 차단)
적위축	축 A와 동일
디지털 입출력	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용자용 디지털 입력 8 비트 : 수동 조작키로 사용 ○ 사용자용 디지털 출력 8 비트 <ul style="list-style-type: none"> - 부경 모터 방향 2 비트, 돔 모터 방향 2 bit, 예비 4 비트 ○ 준 양방향 입출력 8 비트 : 입력으로 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 부경 리미트 스위치 2 비트, 돔 홈 스위치 1 비트, 예비 5 비트
예비 카운터	<ul style="list-style-type: none"> ○ 16 비트 증감 카운터 : 돔 엔코더 카운터로 사용 <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어 적으로 32 비트 카운터로 확장 가능
PWM 출력	3 채널 (0 - 255 단계)
ADC	8 채널 10 비트
RS-232/422 통신부	
전원	5V DC

80C196KC의 내부에 내장된 각종 입출력부를 비롯한 다양한 기능들의 제어는 내부의 sfr (special function register)을 통해서 이루어진다. 전체의 sfr 기능 중에서 모터 제어를 위해 시리얼 통신 포트와 고속 출력 장치(hso, high speed output)를 활용하였다. 고속 출력 장치는 마이크로프로세서 8096 계열에만 있는 독특한 기능인데 CPU의 소프트웨어 부담 없이 내부의 하드웨어적으로 일정 주기로 특정 신호를 발생시키거나 제어하는데 사용할 수 있는 기능이다. 특히 시스템 기동 후 혹은 리셋 후 고속출력장치 초기 값이 모두 0이기 때문에 타이머 IC 8254의 게이트 제어를 하는데 매우 유용하였다. 80C196KC에서는 고속 출력 장치가 4비트 있으며, 이들 중 2 비트는 IC 8254의 게이트 제어를 하는데 이용해서 모터 구동 및 정지 명령에 사용하였으며, 나머지 2 비트는 방향을 제어하는데 사용하였다.

80C196KC는 내부에 시리얼 통신을 위한 시리얼 포트가 있으며, 이에 IC MAX232를 연결하여 RS232 통신을 구현하였다. 시리얼 통신을 통한 인터럽트는 시리얼 인터럽트, 보내기 인터럽트, 받기 인터럽트 3 종류를 활용할 수 있으며, 이 연구에서는 받기 인터럽트를 이용하여 명령을 해독 (decode)하였다. RS-232 통신 규격은 신호 레벨이 $\pm 12V$ 인 전압 레벨이기 때문에 전송 선로 길이가 15 m로 제한된다.이보다 더 긴 전송 선로가 필요하다면 RS-422 규격을 사용하면 된다. 통신 속도는 19,200 baud에서 송수신이 이루어지도록 하였다.

2. 펄스 발생 회로

80C196KC는 20 MHz 클럭으로 동작되고 있으며, 이 클럭의 2분주 출력인 CLKOUT 단자를 펄스 발생회로의 기준 펄스로 활용하였다. 펄스 발생 회로는 IC 8254를 이용하였으며, 내부 3개의 16비트 카운터 모두를 모드 3으로 설정하여 분주기로 동작하도록 하였다. IC 8254의 첫 번째 카운터는 입력 10MHz를 10 분주하여 1MHz 기준 펄스를 출력하게 하였으며, 나머지 2개의 카운터는 첫 번째 카운터의 출력인 1MHz 기준 펄스를 입력받아서 모터 구동 펄스를 만들어 주는데 사용하였다. 따라서 이 회로는 모터 2 축에 대해 동시 구동이 가능하다.

3. 리미트 제어 회로

펄스 발생회로의 출력을 모터 드라이버로 전달하는 중간에 리미트 제어 회로를 설치하여 하드웨어적으로 안전한 제어 회로가 되도록 구성하였다. 리미트 입력회로는 포토 커플러(photo coupler) 회로를 이용하여 입력 신호 레벨 인터페이스가 용이하도록 설계하였다. 리미트 제어 회로의 동작은 (1) 모터가 CW (CCW) 방향으로 회전하고 있을 때, CW (CCW) 축 리미트 스위치가 동작하면 펄스 출력을 단아서 모터 회전을 즉시 정지시키고, (2) 회전 방향을 CCW (CW)로 바꾸면 펄스 출력을 열어서 모터 회전을 재개한다. 리미트 제어 회로는 gal (generic array logic) IC를 이용하여 구현하였다. 또 리미트가 걸렸을 때, 리미트 판단 출력 신호를 각 방향에 대해 1 비트씩 할당하여 내보내서 사용자가 릴레이 구동 혹은 리미트 표시기로 활용할 수 있도록 하였다.

4. 카운터 회로

2장에서 설명하였듯이 정밀한 망원경 제어를 위해서는 최소 24 비트 카운터가 필요하고, 좀 더 안전하게는 32 비트 카운터를 사용하는 것이 좋다. 시중에서 쉽게 구할 수 있는 카운터는 대개 16 비트이고, 24 비트 카운터가 시판되고 있지만 값이 상당히 비싼 편이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 펄스 발생 회로에서 사용한 8254를 이용하여 32 비트 카운터를 구현하기로 하였다.

8254에는 3개의 카운터가 내장되어 있는데, 각 카운터의 모드를 0으로 초기화하면 16 비트 감소 카운터로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 8254 카운터 값을 읽은 후, 그 값에 대해 1의 보수를 취하여 증가 카운터로 사용하였다. 8254 내부의 카운터 값을 읽는 방법으로써 read-back 방식을 취하였다. 이 방법의 장점은 8254의 동작 상태를 확인할 수 있다는 점이다. 8254에 내장된 3개의 카운터 중에서 하나는 모터 구동 펄스를 세는 데 사용하였으며, 나머지 2개를 활용하여 엔코더 카운터로 활용하였다. 따라서 적경, 적위축 모터 구동 펄스와 엔코더 펄스를 세기 위하여 2 개의 8254가 사용되었다.

8254의 16 비트 카운터를 소프트웨어 적으로 32 비트 카운터로 확장하는 방법은 80C196KC 내부에 저장된 코드에서 일정 시간 간격으로 8254 카운터 값 (16 비트) 을 읽고, 현재 읽은 16 비트 카운터 값과 전 단계에서 읽었던 16 비트 카운터 값 그리고 모터 방향을 비교하면 카운터에 overflow가 발생했는지를 판별하는 것이다. 즉 모터 방향이 플러스일 때, 현재 16 비트 카운터 값이 이전에 읽은 16 비트 카운터 값보다 작으면, 카운터에 overflow가 발생한 것을 알 수 있고, 따라서 현재의 32 비트 카운터 값은 현재 읽은 16 비트 카운터 값에 65,536을 더해 주는 방식으로 계산할 수 있다. 이렇게 하면 프로그램에 부담이 증가하지만, 2 축 스테핑 모터 제어에는 아무런 문제가 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

엔코더 출력 펄스 값을 세려면 우선 증가형 엔코더에서 출력되는 A, A-, B, B- 상 신호를 처리하는 전단계 회로가 필요한데, 이 회로는 OKI사의 IC인 MSM5210RS를 사용하여 구현하였다. 이 회로는 엔코더 출력 펄스의 분해능을 4배로 높이고, 엔코더 회전 방향에 따라 CW 채널과 CCW 채널로 펄스를 출력하도록 되어 있다. 양 채널의 펄스는 8254의 두 카운터에 각각 입력시켰으며, 이들 값을 읽은 다음 32 비트의 증감 카운터 값을 판독하도록 소프트웨어에서 구현하였다. 이러한 방식에서 32 비트 엔코더 값을 읽는 데는 약 200 μ s의 시간이 소요되었다.

5. 80C196KC 내장 프로그램

80C196KC의 RAM 또는 ROM에 저장되어 지금까지 설명한 기능을 수행하는 코드, STEP_2에 대하여 설명하기로 한다. 마이크로 프로세서 프로그램에서, 아주 빠른 프로그램 실행 속도가 요구될 경우에는 어셈블리 언어를 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 어셈블리 프로그램은 고급 언어 프로그램보다 매우 어렵고 개발 시간이 길어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 프로그램 실행 속도가 큰 문제가 되지 않기 때문에 C 언어를 이용하여 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서는 IAR system 사의 196계열 전용 C-컴파일러를 사용하였다.

STEP_2의 기본적인 기능은 PC와 시리얼 포트를 통하여 문자열을 주고 받는 것이다. STEP_2

는 PC에서 어떤 문자열이 도착하면 그 문자열을 미리 정해진 규약에 따라 해독하여 필요한 작업을 수행한다. 예를 들어 A축의 엔코더 카운트 값을 읽어서 되돌리라는 문자열이 PC에서 도착하면, STEP_2는 몇 단계 과정을 거쳐 엔코더 값을 읽고, 그 값을 미리 정해진 규약에 따라 문자열로 바꾸고, 시리얼 포트를 통하여 PC로 준비된 문자열을 보낸다. 구체적인 STEP_2의 기술적 설명은 생략하기로 한다.

STEP_2 개발 과정에서는 코드를 컴파일 및 링커시켜서 80C196KC의 RAM에 다운로드하여 사용하는 방식을 취하였다. 다운로드 후 실제 프로그램을 수행하여 오류가 발생되면 코드를 수정하여 다시 다운로드하는 과정을 반복하여 프로그램의 완성도를 높였다. 이런 과정에는 80C196KC의 ROM에 상주하는 모니터 코드가 필요하며, 모니터 코드에는 RAM용 프로그램 다운로드, RAM 버전에서 인터럽트 처리를 위한 이중 백터링, 프로그램 실행, RAM의 데이터 값 읽어오기와 수정 등과 같은 기능을 갖도록 개발하였다. 코드 오류 수정이 완료되면 매번 프로그램을 다운로드하는 불편을 없애기 위하여, 코드를 ROM 버전으로 수정하여 ROM에 영구적으로 기록하여 사용한다.

IV. 관측 프로그램 POINT_TEL

5 장에서는 PC에서 수행되는 관측 프로그램, POINT_TEL에 대하여 설명하기로 한다.

1. 운영 체제와 컴파일러 : WINDOWS 95/NT, Lab Windows/CVI

관측 프로그램을 개발할 때 우선 해야될 일은 운용체제를 결정하는 것이다. 제어 컴퓨터를 PC로 결정하였기 때문에 운용체제는 DOS, WINDOWS 95/NT 혹은 UNIX의 일종인 RINUX 등을 생각할 수 있다. 이 중에서 WINDOWS 95/NT는 아직 안정성에 문제가 있지만 광범위한 사용자를 확보하고 있고 각종 응용 프로그램과 전자 부품이 많이 보급되고 있으며, 안정성도 향후 개선될 것으로 생각하여 WINDOWS 95/NT를 운영 체제로 선택하였다. 다음으로 프로그램 개발 환경, 컴파일러를 결정하여야 한다. 프로그램 언어는 기기 제어에 널리 이용되는 C 언어를 선택하였으며, 컴파일러로는 National Instruments 사에서 제공하는 LabWindows/CVI를 선택하였다. LabWindows는 실험실이나 산업 현장에서 각종 기기 제어나 데이터 분석에 필요한 각종 기능을 광범위하게 지원하고 있으며, GUI (Graphical User Interface) 환경 개발이 매우 용이하다는 장점이 있다.

2. POINT_TEL에서 제공하는 기능

POINT_TEL에서 제공하는 주요 기능에 대하여 설명하기로 한다.

○ 마운트 모델 설정

이 기능은 망원경 설치 후 처음으로 POINT_TEL을 실행하거나 혹은 정기적으로 망원경의 마운트 모델을 설정하는 것이다. 이 기능은 망원경의 지향 정밀도 (pointing accuracy)를 높이기

위하여 망원경의 즉 극축 어긋남, 적경축과 적위축의 직각도 오차 등의 기계적, 광학적 오차를 S/W 에서 보정하기 위하여 필수적으로 요구된다 (한인우, 1996).

○ 망원경의 현재 상태 표시하기

망원경의 현재 상태 - 적경, 적위, 고도, 방위각, 시간각 (Hour Angle) 그리고 각종 리미트 스위치 상태 등을 표시해 준다.

○ 원하는 천체 찾기 및 트래킹

사용자가 어떤 천체의 좌표를 입력하면 망원경을 그 위치로 이동하고 추적을 시작한다. 좌표 입력은 키보드를 통하여 직접 입력하거나 FK5, YBSC (Yale Bright Star Catalogue), NGC 카타로그 혹은 사용자가 미리 준비한 USER_CATALOGUE에서 원하는 별을 선정할 수 있다.

○ 가이드 기능

망원경 위치를 미세 조정하는 가이드 방법은 (1) 수동조작키 이용, (2) 키보드를 통한 offset 값 입력, 그리고 (3) PC에 표시되는 가상 수동조작키를 이용하는 세가지 방법을 제공한다.

○ 네트워크 연결

관측의 효율을 높이고 원격 관측 모드를 지원하기 위하여 망원경 제어, CCD 제어 컴퓨터 등을 네트워크로 연결하는 것이 일반화되고 있다. POINT_TEL은 TCP/IP를 이용하여 다른 컴퓨터 (예를 들어 CCD 제어 컴퓨터) 와 필요한 정보를 주고 받거나 원격 관측 모드를 지원하는 기능을 갖추고 있다.

3. Source Code

앞에서 설명한 기능들을 구현하기 위하여 개발된 소스 코드에 대하여 개괄적으로 설명하기로 한다. POINT_TEL의 소스 코드는 기능에 따라 다음과 같이 별도의 파일로 분류되어 있다.

1) SER_SUB.C

이 파일에는 PC와 TCS-196 사이의 시리얼 통신에 이용되는 함수들이 들어 있다. 시리얼 통신은 LabWindows/CVI에서 제공하는 몇가지 함수를 이용하여 쉽게 구현할 수 있었다.

2) TCS_SUB.C

TCS_SUB.C 파일에는 TCS-196을 이용한 기기 제어 프로그램을 개발하는 데 필요한 함수들이 들어 있다. 이 함수들의 기능은 크게 (1) TCS-196의 모든 상태, 예를 들어 적경축의 엔코더 카운터 값, 리미트 스위치 상태 등을 모니터하거나 변경시키는 기능과 (2) 간단한 스테핑 모터 모션 제어 함수들, 예를 들어 일정한 속도로 모터 회전시키기, 주어진 스텝수 만큼 모터를 회전

하기 등이 들어있다.

3) CPABTSUB.C

망원경을 제어하기 위해서는 각종 위치천문 계산이 필요하다. 몇가지 예를 들면 천체의 겉보기 위치 계산, 항성시 계산, 고도 방위각 계산 등을 해야 한다. CPABTSUB.C에는 이런 위치천문 계산에 필요한 각종 함수가 들어있다. 이 코드는 원래 천문대에서 역서 편찬을 위하여 개발된 FORTRAN 코드를 C 언어로 변환한 것이다 (한인우 et al., 1996). CPABTSUB.C에는 태양과 달 그리고 행성의 위치를 계산하는 함수도 들어있다.

4) TEL_SUB.C

TEL_SUB.C에는 망원경 제어에 필요한 가장 기본적인 함수들이 들어있다. 몇가지 예를 들면 망원경 위치를 초기화 하기, 현재 망원경 좌표값 읽기, 망원경을 원하는 좌표로 이동하여 추적하기, 수동조작키 혹은 PC의 가상 수동조작키를 이용한 가이드링 등에 필요한 함수들이 들어있다.

5) SCAN_SUB.C

전천에서 적절한 별을 선택하여 관측하여 마운트 모델을 설정하는 데 필요한 함수가 들어있다. 예를 들면 마운트 모델 설정을 위한 별 선정, 선정된 별을 관측하기, 관측 결과를 분석하여 마운트 모델 설정하기 등에 필요한 함수들이 있다.

6) TCP_SUB.C

TCP/IP를 통하여 다른 컴퓨터와 교신하여 필요한 정보를 주고 받기 위한 함수들이 들어있다. 예를 들면 망원경 제어 PC를 네트워크에서 서버 혹은 CLIENT로 등록하기, 네트워크로 명령어 문자열을 주고 받기, 받은 명령어에 따라 적절한 작업을 수행하기 등에 필요한 함수들이 들어있다.

4. 메인 프로그램

메인 크로그램은 앞에서 설명한 파일들에 포함된 함수들을 이용하여 실제로 사용자에게 여러 가지 망원경 제어 기능을 제공한다. 모든 기능은 GUI를 통하여 실행된다. 메인 프로그램을 실행하면 그림 2와 같은 제어판이 모니터에 표시된다.

그림에 있는 주요 버튼의 기능은 다음과 같다.

○ 주요 버튼의 기능

- <파킹> : 망원경을 파킹 위치로 이동시킨다.
 <초기화> : 망원경을 초기 위치로 이동시키고, 망원경 좌표를 초기화시킨다.
 <수동키> : 수동조작키로 망원경을 움직인다.
 <network> : 다른 컴퓨터와 교신할 수 있도록 LAN을 열고, 원격 관측을 수행한다.
 <비상정지> : 망원경을 정지시킨다.
 <가이드> : 이 버튼을 누르면 그림 3과 같은 망원경 가이드 판이 나타나서 망원경을 원하는 위치로 미세 조정할 수 있다.
 <종료> : 프로그램을 종료한다.
 <SCAN> : 천천에서 적당한 별을 선정 관측하여 마운트 모델을 설정하는 데 이용.
 <시스템> : 시스템 관리자가 TCS-196 상태를 조사하는 데 이용된다.
 <TEST> : 시스템 관리자가 프로그램 개발 과정에서 디버깅하는 데 이용된다.

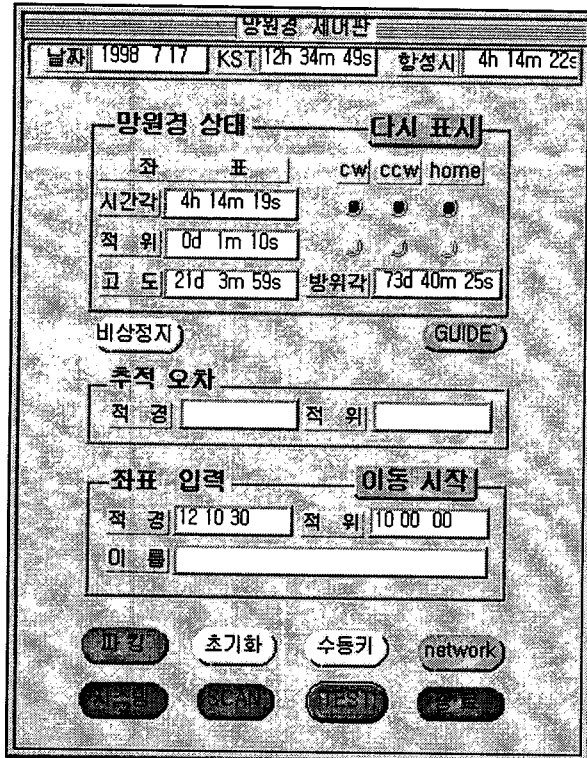


그림 2. 망원경 제어판

○ 망원경 상태 창

시간각, 적위, 고도, 방위각, 리미트 스위치 상태 등 망원경의 현재 상태를 보여준다. 추적 중에는 정해진 시간 간격 (SERVO_UPDATE_SEC 변수로 설정) 마다 새로운 상태를 보여준다. 평상시에는 <다시 표시> 버튼을 누르면 현재의 상태를 다시 표시해 준다.

○ 좌표 입력 창

적경, 적위 그리고 별 이름을 입력한 후 <이동시작> 버튼을 누르면 입력한 좌표로 망원경이 이동한 후 추적을 시작한다.

○ 추적오차 창

추적중 추적 오차를 정해진 시간 간격마다 보여준다.

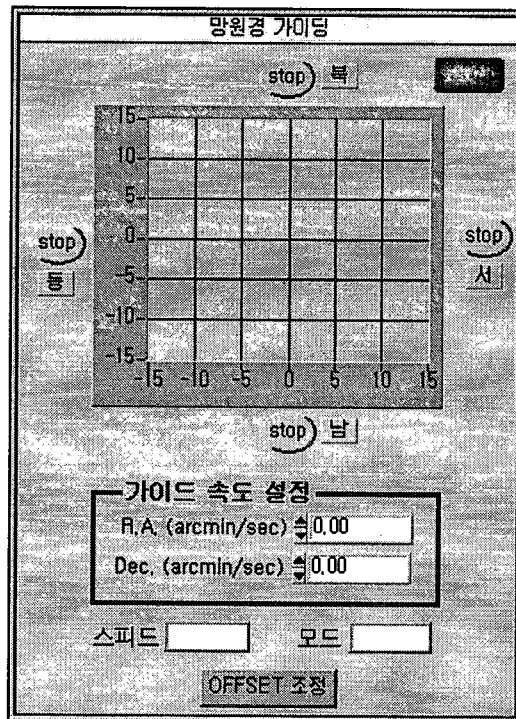


그림 3. 망원경 가이드 판

V. 결론 및 논의

지금까지 천문대에서 개발한 망원경 제어 시스템 MS-TCS의 개괄적인 사양 및 기능에 대하여 설명하였다. 기본적으로 MS-TCS는 스테핑 모터로 구동되는 적도의식 망원경 제어 기능을 갖고 있으며, 돔 제어와 네트워크를 통한 원격 관측 모드를 지원하는 등 다양한 기능을 제공한다. MS-TCS는 현재 천문대와 한국교원대의 30 - 40 cm 망원경에 적용되어 사용되고 있다. 지금까지 사용 결과 MS-TCS의 성능은 만족할 만한 것으로 판단된다. 향후 국내에서 새로 제조되는 망원경 뿐 아니라 기존의 망원경 성능 개선에도 MS-TCS가 널리 이용되길 희망한다.

참고 문헌

- 유지윤, 이광운, 장원식 1996, 망원경 구동 전자부 세부 설계 및 제작, 천문대 위탁연구보고서
한인우, 천무영, 박병곤, 장정균, 김승리, 1996, 1.8 m 망원경 마운트 모델, 천문대 기술보고서
No. 96-011-011
- 한인우, 박은광, 1996, 위치천문 계산 프로그램 모음집, 천문대 기술보고서 No. 96-012-012
- 한인우, 천무영, 박병곤, 육인수, 김승리, 성현철, 초고속통신망을 이용한 원격관측 시스템 개발
연구보고서, 1997, 1998.
- Intel Inc., 1993, 16-bit Embedded Controller Handbook
- Trueblood, M., Genet, R., 1997, Telescope Control, Willmann-Bell, Inc., 1997