

技術論文

과학기술위성 2호 원격검침-명령 유닛 시험모델 설계 및 구현

오대수*, 유창완*, 남명룡*, 황동환**

Engineering Model Design and Implementation of
Telemetry-Command Unit for STSAT-2

Dae-Soo Oh*, Chang-Wan Ryu*, Myeong-Ryong Nam* and Dong-Hwan Hwang**

ABSTRACT

An Engineering Model(EM) of the Telemetry-Command Unit(TCU) for STSAT-2 was developed. The TCU of STSAT-2 has some improved features compared with that of STSAT-1. To reduce weight and size of TCU all logics are implemented in FPGA without CPU. EM I&T(Integration and Test) was successfully performed with no errors.

초 록

과학기술위성 2호 시스템 내의 각 전자 유닛(Unit)의 상태 정보를 원격검침(Telemetry)하고 원격명령(Telecommand) 내릴 수 있는 원격검침-명령 유닛(Telemetry-Command Unit, TCU)의 시험모델(Engineering Model, EM)의 개발을 완료하고 동작시험 결과를 제시하였다. TCU는 과학기술위성 1호와 다르게 CPU가 없이 FPGA 만으로 구현하여 소형화, 경량화 및 저 전력화를 실현하고 기술 집약화를 이루었다. 본 논문에서는 TCU의 개념 설계를 소개하고 구현결과를 제시한다.

Key Words : STSAT-2(과학기술위성 2호), Telecommand(원격명령), Telemetry(원격검침)

1. 서 론

과학기술위성 1호는 성공리에 발사되어 운용이 되고 있으며 현재 한국과학기술원 인공위성 연구센터(SaTReC, KAIST)에서는 과학기술위성 2호(STSAT-2)의 시험모델의 개발 및 시험(2004.7.1 ~ 8.23)을 마쳤다.

STSAT-2내에는 각 기능별로 여러 서브 유닛이 존재하는데 이러한 유닛들의 동작에 필요한 원격명령(Telecommand)을 내리고 상태정보를 원격수집(Telemetry)하는 것은 위성 운영에 있어서

아주 중요한 기능이며 이를 담당하는 유닛이 Telemetry-Command Unit(TCU)이다. 과학기술위성 1호의 경우 이러한 기능은 위성체 내의 네트워크를 담당했던 NC(Node Controller)의 기능에 포함이 되어 있었으나 과학기술위성 2호의 경우 NC와 같은 네트워크를 전담하여 관리하는 유닛이 없어지고 대신 각 유닛은 주 탑재 컴퓨터인 OBC(On-Board Computer)에 Point-To-Point 방식으로 직접 연결이 되는 구조로 변경함으로써 별도의 원격검침-명령 유닛(Telemetry-Command Unit, TCU)이 존재하게 되었다. TCU는 STSAT-2의 운용을 위해 총 120 point의 Bi-Level Telecommand 기능, 아날로그 정보를 수집하기 위한 총 112 points의 Analog Telemetry 기능, 디지털 상태 정보를 수집하기 위한 48 points의 Bi-Level Telemetry 기능을 수행하게 된다. 또한 지상국(Ground Station)에서 STSAT-2의 주 탑재

* 2005년 2월 24일 접수 ~ 2005년 3월 22일 심사완료

* 정희원, 한국과학기술원 인공위성연구센터
연락처자, E-mail : jjasu@satrec.kaist.ac.kr

대전시 유성구 구성동 373-1번지

** 충남대학교 전자공학과

컴퓨터인 OBC로 보내는 통신채널이 문제가 생길 경우를 대비하여 지상국에서 TCU를 통해서도 OBC로 데이터를 보낼 수 있는 긴급 통신채널(Emergency Communication Channel)을 제공한다. 이러한 TCU는 CPU 없이 FPGA를 이용하여 구현이 되며, OBC 또는 지상국으로부터 명령 데이터 패킷(Data Packet)을 받으면 유효한 패킷인지를 확인하고 유효한 경우 명령 패킷의 내용대로 Bi-Level Command 회로, Digital Telemetry 회로 및 Analog Telemetry 회로를 제어하는 역할을 한다. 이러한 일들을 별도의 CPU없이 FPGA만을 이용하여 처리하도록 함으로서 일반적으로 겪게 되는 군용급(Military) 이상의 CPU 구매에 대한 어려움이 없어지고 계속 바뀌는 CPU의 변화에 능동적으로 대처할 수 있다. 또한 CPU가 없으므로 ROM, RAM 등의 전자부품의 수를 획기적으로 줄여서 소형화, 경량화를 추구할 수 있으며 관련 기술이 FPGA 내의 로직으로 구현이 되어 기술 유출이 되지 않고 모듈화를 추구할 수 있다. 그리고 고속의 FPGA를 사용하므로 처리성능 측면에서도 아주 월등하다고 볼 수 있다. 이러한 TCU는 추후 비행모델인 FM(Flight Model)에서는 내방사선 특성이 우수한 Radiation Tolerant급 FPGA를 사용하여 우주 환경에 강인하도록 개발하고자 한다.

II. 원격검침-명령 유닛 시스템 구조

2.1 시스템 구조

과학기술위성 2호의 TCU는 위성체의 일반적인 유닛과는 다르게 위성전원이 들어오면 항상 전원이 인가되는 유닛이며 또한 이중화 구조로 설계되어 있어서 결함허용(Fault Tolerant)한 구조를 가진다. 즉 TCU는 주(Primary) TCU와 부(Secndary) TCU로 구성이 되어 어느 한쪽만으로도 원격명령(Telecommand)이나 원격검침(Telemetry)을 할 수 있는 2중 구조(Full Redundancy) 구조를 가진다. 이러한 TCU의 전원은 전원 공급장치인 PSU1(Powe Supply Unit1)으로부터 +5V, +12V, -12V 전원을 인가받아 사용하고 통신 채널로는 OBC(Primary, Secondary), MODEM1, MODEM2의 4개의 통신채널과 지상에서의 테스트를 위한 Umbilical Port용 1개의 통신 채널로 구성되며 이는 모두 FPGA에 구현되었다. FPGA 내의 통신로직은 각각 STSAT-2 프로토콜에 정의된 데이터 형태(Data Format)로 명령을 주고받으며 원격명령 및

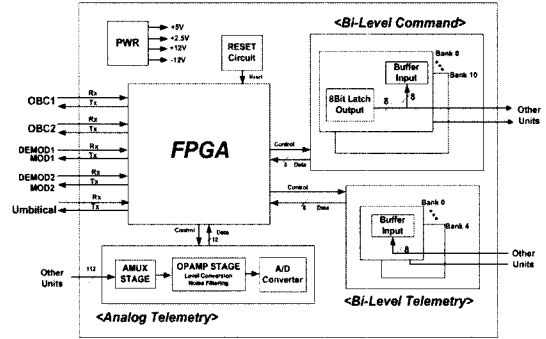


그림 1. TCU Block Diagram

원격검침 처리를 하게 된다. 이러한 TCU는 CPU가 없이 FPGA로 모든 로직을 처리하는 구조로 설계를 하여 하드웨어가 간단하여 신뢰도가 높으며 소형화, 경량화 및 저전력화를 이룰 수 있다. 시스템의 내부구조는 그림 1과 같으며 FPGA와 원격검침 회로부(Analog Telemetry 회로부, Bi-Level Telemetry 회로부)와 원격명령 회로부(Bi-Level Command 회로부)로 이루어져 있다.

A. Telemetry (원격검침)

원격검침은 위성체내의 각 유닛의 상태정보를 읽는(Sampling) 것을 말하며 아날로그 정보를 읽는 것을 Analog Telemetry라고 하며 디지털 상태(Digital Status)를 읽는 것을 Bi-Level Telemetry라고 한다. Analog Telemetry는 총 112 포트가 있으며 각 유닛으로부터 0V~5V 범위의 아날로그 값을 받아서 내부적으로 -10V~10V로 전압으로 변환시킨 후 노이즈 필터링을 거쳐서 A/D Converter의 입력으로 들어가게 된다(그림 2). A/D Converter에서는 12Bit의 해상도(resolution)로 유닛의 온도정보라든지 원하는 포인트의 전압 값 또는 각종 센서의 출력 값을 샘플링(Sampling)하게 된다. Bi-Level Telemetry는 각 유닛의 디지털 상태정보를 파악하여 각 상태가 ON인지 OFF인지(혹은 HIGH인지 LOW인지) 파악

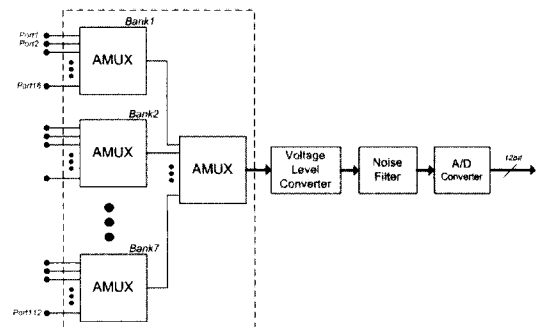


그림 2. Analog Telemetry Processing

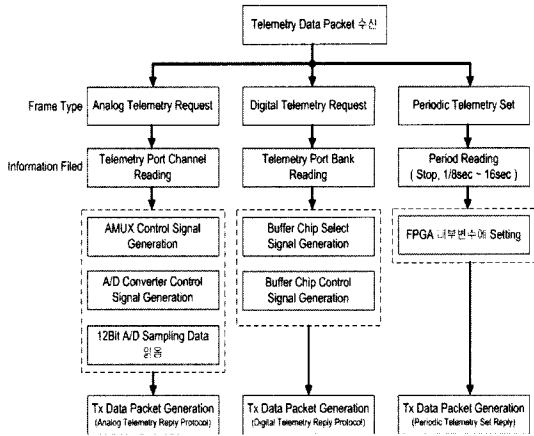


그림 3. Telemetry Processing Chart (FPGA)

하여 유닛의 상태가 어떤지를 알 수 있도록 한다. 이러한 원격검침은 OBC나 지상국의 요청 때마다 샘플링하여 검침정보를 보내주는 경우와 주기적으로 위성체 각 유닛의 정보를 샘플링하여 보내주는 기능을 한다.

TCU가 통신채널을 통해 Telemetry Data Packet을 수신하면 명령 데이터 포맷에 정의된 Frame Type 부분을 읽어서 Analog Telemetry Request 로직, Digital Telemetry Request 로직 및 Periodic Telemetry Set 로직으로 분기를 하게되고 각 로직에서는 수신한 데이터 포맷의 Information Filed에 정의된 프로토콜에 따라서 FPGA 외부의 해당 회로를 제어하는 콘트롤 신호를 만들어 내고 결과 데이터를 수집한 후 정의된 프로토콜에 맞게 작성하여(Tx Data Packet Generation) Telemetry를 요청했던 유닛으로 보내주게 된다. 주기적인 Telemetry를 요청하고 싶을 때에는 Periodic Telemetry Set 이라는 Frame Type으로 전송을 하여 Information Filed에 Telemetry 주기를 설정하여 주면 TCU는 해당 주기마다 모든 Telemetry를 읽어서 주기적으로 해당 유닛으로 보내주는 기능을 한다. 이러한 기능들은 FPGA내의 코드로 구현이 되어있다(그림 3).

B. Telecommand (원격명령)

원격명령은 위성체 각 유닛의 각종 동작에 필요한 Bi-Level 형태의 신호(Logic High : 5V, Logic Low : 0V)를 내보내는 역할을 한다. 유닛들의 전원 스위치를 담당하는 Power Distribution Unit(PDU)를 제어하여 각 유닛의 전원을 ON/OFF하는 기능 및 리셋(Reset) 명령, 그 외 유닛 자체의 동작에 필요한 Bi-Level 명령을 내리게 된다. 또한 TCU와 Ground가 분리되어 있는 유닛은 Opto-Coupler 인터페이스를 가지고 있다(그림 4). 또한 TCU

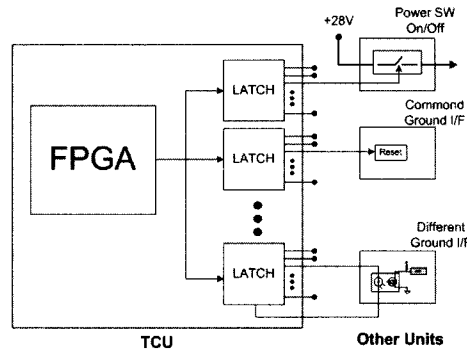


그림 4. Telecommand Block

Primary와 Secondary는 이중화 구조를 가지고 있으므로 만일의 경우 TCU의 Primary나 Secondary 중 어느 한 쪽이 문제가 발생하더라도 운영이 가능하며 또한 원격명령이 제대로 수행되었는지 확인할 수 있는 감시(Monitoring) 회로도 추가로 존재한다.

C. 기타 기능

TCU는 항상 전원이 켜져 있는 유닛이며 처음 위성체의 전원이 인가되고 TCU가 동작하게 되면 STSAT-2의 주 탑재 컴퓨터인 OBC의 전원을 자동으로 ON시키는 명령을 수행한다. 또한 OBC의 지상국과의 통신 채널에 문제가 발생했을 경우를 대비하여 TCU의 지상국과의 통신 채널로도 OBC 패킷을 주고 받을 수 있는 Backup용 통신 채널을 제공한다. 즉 TCU는 지상국으로부터 수신한 명령 데이터 패킷의 내용이 OBC 쪽의 내용이면 TCU의 OBC쪽 통신 채널로 패킷을 전달(Bypass)하는 기능을 가진다(그림 5).

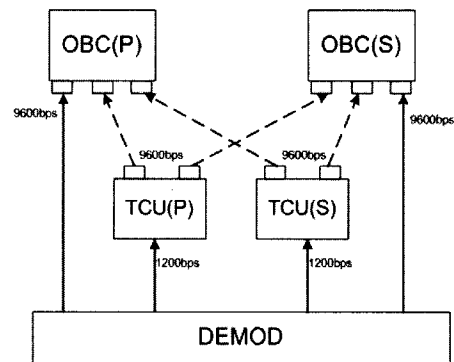


그림 5. Backup용 Uplink 채널 역할

D. FPGA

STSAT-2의 TCU는 총 5개(OBC Primary, OBC Secondary, MODEM1, MODEM2, Umbilical Port)

의 통신 채널로부터 들어오는 명령 데이터 패킷을 통신 프로토콜에 맞는지 분석하고 패킷에 이상이 없을 경우 Telecommand 회로 및 Telemetry 회로를 제어하여 적용한다. 그리고 적용된 결과를 다시 프로토콜에 정의된 통신 채널 쪽으로 보내 주는 역할을 수행한다. 이러한 기능들은 모두 FPGA로 구현이 되며 현재 단계(EM)에서는 개발의 용이를 위해 여러번 재 프로그래밍이 가능한 ISP(In-System Programming) 기능이 있는 Actel사의 Flash Type FPGA (ProASIC A500K130)를 사용한다. 추후 비행 모델(FM, Flight Model)에서는 Space용 FPGA인 내방사선 특성이 우수한 Actel사의 Radiation Tolerant급 FPGA(RT54SX72S)를 사용한다. 또한 우주환경에서 고에너지 입자에 의해 자주 발생하는 SEU(Single Event Upset) 현상으로 발생하는 데이터 비트의 의도하지 않은 변화에 강인하도록 FPGA 내부적으로 SEU Hardened Register Cell을 가지고 있는 FPGA를 사용한다. 이 Cell들은 TMR(Triple Module Redundancy) 구조를 가지고 있으며 동일한 Data를 3개의 Cell에 기록을 하여 만약 3개중 하나의 D flip-flop cell이 고 에너지 이온에 의해 데이터 비트의 반전이 생기게 되더라도 Voter Gate가 있어서 다시 올바른 데이터로 복구될 수 있는 다음과 같은 구조를 가진다.

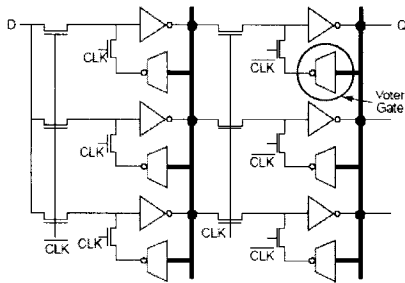


그림 6. TMR Structure

그리고 FM에서 사용할 FPGA는 230MHz Speed의 System Performance를 가지고 TID(Total Ionizing Dose) 특성이 최대 100krad 까지이므로 STSAT-2의 운용환경에 적합하다고 볼 수 있다.

III. 원격검침-명령 유닛 FPGA Code

3.1 구조

TCU는 동작에 필요한 명령을 받기 위해 총 5개의 UART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)가 구현이 되며 UART로 수신되는

Data는 FPGA 내부에 구현된 Dual Port Memory의 Rx Buffer에 저장된다. UART를 통해 송수신되는 데이터들은 SLIP(Serial Line Internet Protocol) 형식에 맞는 일련의 데이터 패킷(Data Packet) 형태로 처리되며 이 패킷들은 Checksum과 CRC 체크를 통해 패킷의 이상유무를 확인한다. (SLIP 프로토콜은 송신하는 바이트 열에 대해서 특수한 시작문자(0xC0)와 특수한 종료문자(0xC0) 및 이들을 변경할 특수문자(0xDB)를 이용하여 처리한다. 즉, 0xC0를 보내서 프레임의 시작을 알린 후 보낼 데이터에 해당하는 바이트가 0xC0이면 0xDB, 0xDC 두 바이트를 보내고 0xDB인 경우 0xDB, 0xDD 두 바이트를 보내며 그렇지 않을 경우 해당 바이트를 그대로 전송한다. 그리고 마지막에 0xC0를 보내서 하나의 프레임을 형성한다.) 명령 데이터 패킷구조와 내용에 이상이 없는 경우에는 FPGA로 구현한 Dual Port Memory 내부의 Rx 버퍼에 저장되며 이를 차례차례 읽어서 TCU 프로토콜에 의해 처리를 하고 해독한 명령에 따라 Telecommand Block이나 Digital Telemetry Block 및 Analog Telemetry Block으로 분기하여 각각 해당 회로를 컨트롤할 제어신호를 만들게 된다. 원격명령 및 원격검침을 적용한 후 처리 결과를 입력 받은 프로토콜에서 정의된 통신 채널 쪽으로 보내주기 위해 Protocol Processing Block에서는 처리된 결과의 Data Packet을 생성하게 되고 Tx Buffer에 기록하게 된다. Tx Buffer에 명령처리 결과를 쓰고 Checksum 정보까지 쓰고 난 후에는 UART Block에서 Tx Buffer를 읽어서 SLIP 형

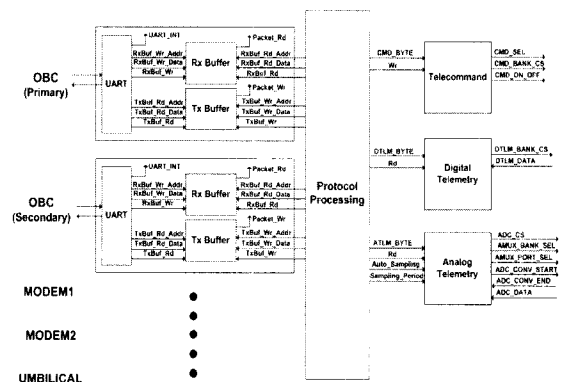


그림 7. TCU Code Block Diagram

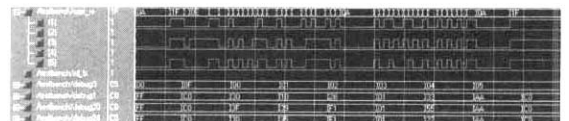


그림 8. TCU Code Simulation (UART 부분)

식에 맞게끔 데이터를 보내게 된다. 그림 7은 TCU의 통신블럭의 내부구조를 나타내고 있다.

그림 8은 통신 채널로부터 명령 Serial Data를 받아서 FPGA 내부에 구현되어 있는 UART에서 읽어서 프로토콜에 맞게 분석하는 모습을 나타낸다.

TCU의 VHDL Code 개발환경은 Actel사의 Program을 사용하였으며 디버깅 환경이 잘 되어 있고 Pre-Synthesis Simulation, Post-Synthesis Simulation 및 Post-Layout Simulation의 기능이 있다.

3.2 소프트웨어 및 운용

TCU를 테스트하기 위해서 그림 9와 같이 ST2 Manager라는 소프트웨어를 이용한다. ST2 Manager는 STSAT-2의 각 유닛의 테스트를 위해 만들어진 소프트웨어로서 PC에서 쉽게 TCU와의 통신채널 테스트, 원격검침 및 원격명령 테스트를 할 수 있다. 그리고 주기적으로 명령을 보내면서 테스트하는 기능 및 로그 기능 등이 있어서 벤치테스트(Bench Test)를 충분히 수행하였다.

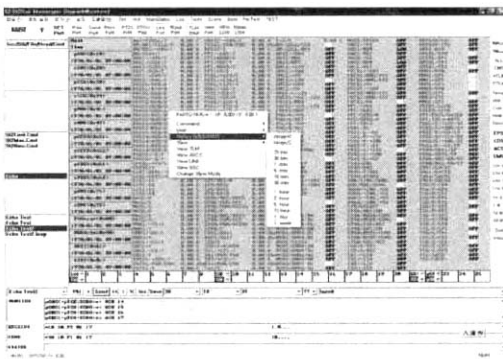


그림 9. ST2 Manager (TCU 테스트 환경)

3.3 EM I&T 결과

STSAT-2 I&T(Integration and Test)를 통하여 위

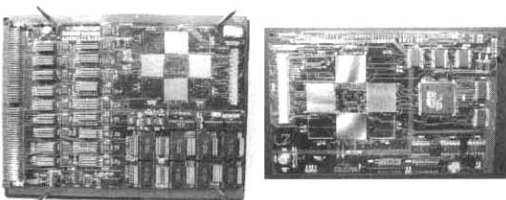


그림 10. TCU (좌: Main Board, 우: Daughter Board)

성체의 다른 유닛과 직접 연결하여 종합적인 테스트를 하였다. 직접 OBC 및 MODEM과 연결을 하여 위 성체의 다른 유닛에 필요한 명령을 주고 결과 값을 받으면서 테스트를 하였으며 시험 도중 발견된 TCU Code의 문제점 등은 수정하여 테스트를 성공적으로 완료하였다. TCU의 PCB는 EM 단계에서는 개발의 편의를 위해 총 2장으로 만들어 졌다. Main Board 외에 Daughter Board가 있어서 재 프로그래밍(Re-Programming)이 가능한 Flash Type의 FPGA를 이용하여 프로그래밍을 하였다. 그림 10은 실제 제작 및 테스트한 TCU의 사진이다.

IV. 결 론

과학기술위성 2호의 TCU의 EM이 개발 및 테스트가 완료되었다. TCU는 구조적으로 CPU가 없는 유닛으로 FPGA의 로직으로 모든 기능을 구현하였으며 이러한 구조는 과학기술위성에서 처음으로 시도되는 하드웨어 구조이다. FPGA로 구현하는 로직에는 UART, SLIP, Protocol Processing, Dual-Port RAM, Digital Telemetry, Analog Telemetry, Telecommand 및 기타 로직이 있다. 이러한 TCU는 CPU가 없는 구조를 채택함으로써 크기, 무게 및 전력소비를 현저히 줄일 수가 있었고 FPGA 관련 기술을 축적할 수 있었다.

EM 개발 시에는 재 프로그래밍이 가능한 ISP(In System Programming) 기능이 있는 Flash Type의 FPGA를 이용하여 FPGA 로직의 구현 및 테스트에 중심을 두었고 계속되는 테스트를 통해서 FPGA Code를 안정화시킨 후 FM에서는 우주용 FPGA인 Radiation Tolerant급 Actel FPGA를 사용하여 우주환경에 강인하도록 구현할 계획이다.

추후 PFM(Proto FM) 기간에는 실제 우주환경에 사용할 FPGA를 장착하여 열 시험, 진동 시험 및 방사선 시험 등을 수행할 예정이다.

후 기

본 연구논문은 과학기술부 과학기술위성2호 개발사업의 예산지원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) Changwan-Ryu, Myunggin-Choi, Daesoo Oh, Kyungin-Kang, Myeong-Ryoing Nam,

Junghun -Kum, "Design and Implementation of On -Board Computer for STSAT2", 한국우주과학회, 2004.

2) 박성우, 류상문, 박홍영, 오대수, 유관호, 최병재, 김병국 "과학기술위성1호 탑재 컴퓨터의 설계 및 구현", 한국항공우주학회지, vol. 31(4), pp 105-111, 2003.

3) 오대수, 박성수, 신구환, 박홍영, 유상문, 박

성우, 임종태, "Design and Implementation of Node Controller for STSAT1", 한국항공우주학회, 2003.

4) 김성현, 성단근, 김형명, 최순달, 네빌 빈 "저궤도 소형위성 우리별 1,2호의 원격명령 및 명령부", 한국우주과학회지 1996, pp. 334~338.

5) "KITSAT-1 Telemetry, Telecommand & OBC860 Systems", 인공위성연구센터, Oct. 1992.