

과학기술위성2호 관제를 위한 Ground station Baseband Controller(GBC) 개발

論文
54D-8-2

Ground station Baseband Controller(GBC) Development of STSAT-2

吳大秀* · 吳承翰* · 朴虹映* · 金慶熙* · 車元浩* · 林哲佑*
(Dae-Soo Oh · Seung-Han Oh · Hong-Young Park · Kyung-Hee Kim · Won-Ho Cha · Chul-Woo Lim)

Abstract - STSAT-2 is first satellite which is scheduled to launch by first Korea launcher. Ground station Baseband Controller(GBC) for operating STSAT-2 is now developing. GBC control data flow path between satellite operation computers and ground station antennas and count number of received data packets among demodulated audio signals from three antennas and also set data flow path to good-receiving antenna automatically. In GBC two uplink FSK modulators(1.2kbps, 9.6kbps) and six downlink FSK demodulators(9.6kbps, 38.4kbps) are embedded. STSAT-2 GBC hardware is more simpler than STSAT-1 GBC by using FPGA in which all digital logic implemented. Now test and debugging of GBC hardware and Software(FPGA Code and GBC Manager Program) is well progressing in SaTReC, KAIST. This paper introduce GBC structure, functions and test results.

Key Words : STSAT-2, Ground-station, Satellite

1. 장 Introduction

1.1 절 과학기술위성2호 GBC의 구조

과학기술위성 2호(STSAT-2)는 전남 고흥군에 준공중인 국내 발사체에서 발사 예정인 인공위성이며 발사 후에 지상에서 위성을 관제하기 위한 Ground station Baseband Controller(GBC)의 개발 및 시험이 진행되고 있다. 과학기술위성 2호는 지상국과의 통신을 위해 S-band Uplink/Downlink 채널 및 X-band Downlink 채널을 가지고 있으며 위성체 내에는 FSK MODEM을 통하여 주 탑재컴퓨터(On-Board Computer, OBC) 및 원격검침-명령유닛(Telemetry-Command Unit, TCU)으로 데이터를 전달하게 된다. GBC는 이러한 과학기술위성 2호를 운용하기 위하여 지상국에 있는 위성제어용 컴퓨터(OBC Manager, ACS Manager, TCU Manager)에서의 명령 신호들을 받아서 자체 내의 Modulator를 통해 Audio 신호를 만든 후 원하는 관제 안테나로 보내는 역할을 하며 또한 각 안테나에서 수신한 위성의 Audio 신호를 받아서 GBC 내의 Demodulator를 거쳐 원하는 위성제어 컴퓨터로 연결시켜주는 역할을 한다.(그림 1) 또한 각 안테나에서 수신하는 데이터 중 데이터 패킷 손실율이 가장 적은 데이터를 자동으로 파악하여 각 위성제어

컴퓨터로 보내주는 기능을 함으로서 위성운영의 효율성을 높인다. 이러한 GBC는 GBC Manager 컴퓨터 및 OBC Manager 컴퓨터와 UART(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)로 연결이 되며 GBC 프로토콜로 정의된 명령을 받아 처리하게 된다.

이러한 기능을 하는 GBC는 내부적으로 Power단, Controller단, Digital/Analog Mux단, Modulator단(1.2kbps, 9.6kbps), Demodulator단(9.6kbps, 38.4kbps) 및 Analog Tuner 단 등으로 구성이 되며 Analog 회로 부분을 제외한 모든 부분이 FPGA Logic으로 구현되어있다. (그림 2)

기존의 우리별 시리즈의 위성을 운용하기 위한 GBC는 각 기능별로 별도의 PCB(Printed Circuit Board)가 슬롯형식으로 삽입해서 사용하는 방식(슬롯방식)인데 반해 이번 과학기술위성 2호용 GBC는 하나의 PCB보드로 구현을 하였다.

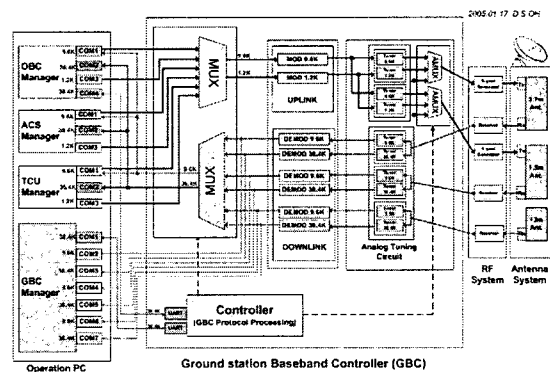


그림 1. GBC Block Diagram (Data Flow)
Fig. 1 GBC Block Diagram (Data Flow)

† 교신저자, 正會員 : 韓國科學技術院 人工衛星 研究所 研究員
E-mail : jjasu@satrec.kaist.ac.kr

* 正會員 : 韓國科學技術院 人工衛星 研究所 研究員
接受日字 : 2005年 5月 24日
最終完了 : 2005年 7月 11日

또한 Scrambler, Descrambler, Data Sampling, FIR, MUX, UART, Clock Divider 등 아날로그 부분을 제외한 모든 디지털 회로 부분을 FPGA로 구현을 하여 회로가 간단해지고 크기가 작아졌다.

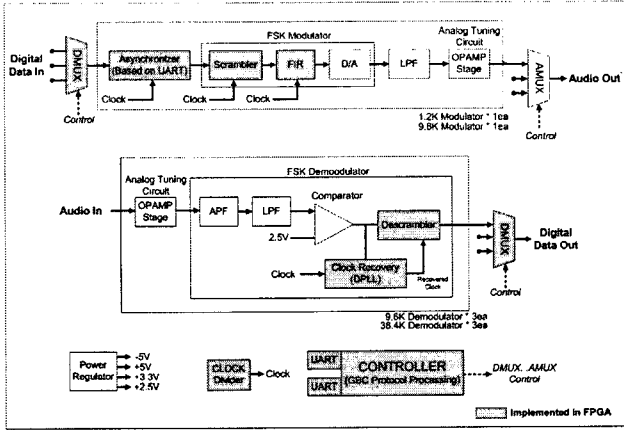


그림 2. GBC Block Diagram (Function Block)
Fig. 2 GBC Block Diagram (Function Block)

2. 장 GBC

2.1 절 Uplink Channel

지상에서 위성에 명령 데이터를 보내기 위한 Uplink Channel(그림 2의 윗 부분)을 보면 먼저 Digital MUX단(DMUX)에서는 GBC Manager S/W에서 선택한 위성제어용 컴퓨터의 명령 데이터를 받게 된다. Asynchronizer에서는 입력받은 데이터 신호가 Modulator의 입력 신호로 들어가기 위해 GBC 내부에 사용되는 Clock과 frequency와 phase offset이 정확히 일치하도록 조정해주는 역할을 한다. Scrambler 단에서는 아래의 그림 3의 등가회로와 같은 $X + X^{12} + X^{17}$ 다항식이 FPGA에 구현되어있다.

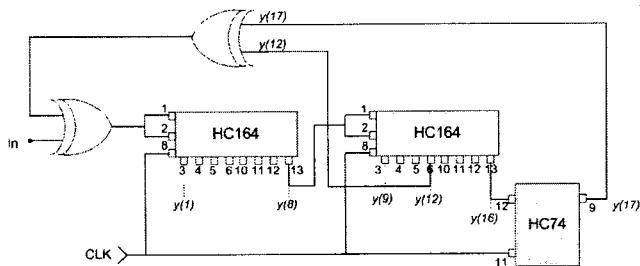


그림 3. Scrambler 등가 회로
Fig. 3 Scrambler Circuit

Boolean 대수식

스크램블된 데이터는 tap수가 32인 4배의 Over Sampling FIR filter로 FPGA에 구현이 되었고 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 최종적으로 아날로그 신호를 만들기 위해서 32비트의 FIR 출력에 coefficient 저항을 각각 달아서 summing을 하면 current로 표현이 되고 Current to Voltage Converter에

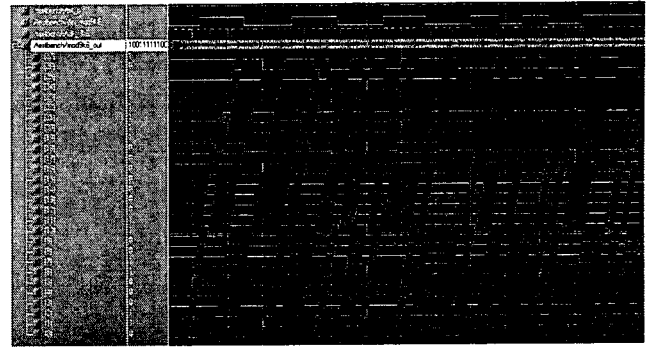


그림 4. Scrambled Data + FIR Filter 출력
Fig. 4 Scrambled Data + FIR Filter Output

서 최종 Analog 신호로 출력이 되며 LPF(Low Pass Filter)를 거친 후 OPAMP로 구성된 Analog Tuning Circuit을 통해 안테나의 Signal Generator와 특성을 맞추기 위해 Gain 조정 및 신호의 반전/비반전 제어를 한 후 AMUX단(Analog MUX)을 통하여 원하는 안테나로 출력이 된다.

Uplink Channel의 GBC Modulator를 검증하기 위하여 표준모뎀(G3RUH)과 연결을 하여 Loop Back 테스트를 하였다. 그림 5의 파형에서 보면 테스트용 디지털 입력 신호(Ch1)가 GBC내의 Modulator를 거쳐 audio 신호(Ch2)로 변조되는 것을 확인할 수 있으며 다시 표준모뎀(Demodulator)을 거친 디지털 신호 출력(Ch3)은 원래의 테스트용 디지털 입력 신호(Ch1)와 동일한 것을 확인할 수 있다.

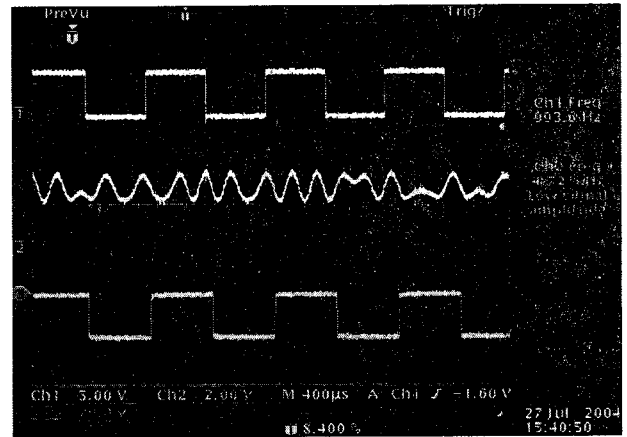


그림 5. Uplink Channel용 GBC Modulator 시험
Ch1. GBC Modulator 입력 신호
Ch2. GBC Modulator 출력 신호
Ch3. 표준모뎀 출력 신호
Fig. 5 GBC Modulator Test for Uplink Channel

2.2 절 Downlink Channel

위성에서 내려오는 RF신호는 안테나 단(3.7m, 1.5m, 13m)의 각 Receiver를 통한 후 baseband로 GBC에 전달이 되며(그림 2의 가운데 부분) OPAMP로 이루어진 Analog Tuning Circuit단에서는 각 안테나의 특성에 맞게 Gain 조정 및 신호의 반전/비반전 제어를 한다. APF(All Pass Filter)단에서 버퍼를 위한 Voltage Follower를 거치고 되며 OPAMP가 fail

날 경우를 대비한 Current Limit 저항이 구성되어 있다. LPF 단에서는 최대의 S/N을 갖기 위해 3 order Low Pass Filter(-3dB at 6kHz)로 구현하였으며 Comparator단에서는 average signal voltage인 2.5V의 threshold voltage 이상의 신호만 넘겨주는 역할을 한다. Descrambler단에서는 원래의 Bit stream을 얻기위한 $X + X^{12} + X^{17}$ 다항식으로 구현되어 있고 (Boolean 대수식 $x(n) = y(n) \oplus y(n-12) \oplus y(n-17)$) Clock Recovery를 통해 DPLL(Digital Phase Lock Loop)을 구현하고 있다.

Downlink Channel에 구현된 demodulator를 검증하기 위해 표준모뎀(G3RUH)과 Loop Back 테스트를 하였으며 시험결과는 그림 6과 같다. 표준모뎀(Modulator)에 입력한 디지털 신호(Ch1)가 Audio로 출력(Ch2)되고 이를 GBC의 Demodulator가 복조한 신호(Ch3)는 원래의 입력 신호(Ch1)와 일치하는 것을 알 수 있다.

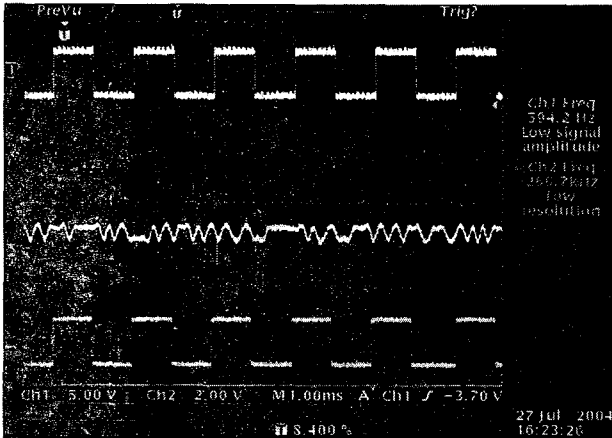


그림 6. Downlink Channel용 GBC Demodulator 시험
 Ch1. 표준모뎀 입력신호
 Ch2. 표준모뎀 출력 신호 (GBC Demodulator 입력신호)
 Ch3. GBC Demodulator 출력 신호

Fig. 6 GBC Demodulator Test for Downlink Channel

2.3. 절 Receiving Data Packet Monitoring

각 안테나(3.7m, 1.5m, 13m)에서 수신한 RF신호는 안테나 단을 거치면서 baseband audio 신호로 변환되고 GBC 내의 각각의 Demodulator를 거친 후 디지털 데이터로 복조된다. 그러나 여러 환경적인 영향으로 인해 각 수신채널의 성능이 달라질 수 있으므로 항상 데이터 패킷 수신율이 좋은 쪽의 데이터를 위성 Operation PC로 넘겨줘야 한다. 지상국 운영자가 GBC Manager Program을 이용하여 원하는 안테나 쪽의 데이터를 받을 수가 있으며 그림 7과 같이 GBC가 자동적으로 수신 Path를 정하게 하는 기능이 있다. 자동 수신모드에서는 각각의 Demodulator 출력 데이터를 과학기술위성 2호 프로토콜의 형식과 비교한 후 데이터가 깨지지 않은 패킷의 수를 세어서(Packet Count) 단위시간당 올바른 패킷의 수

가 많은 쪽의 Demodulator 출력 데이터를 Operation 컴퓨터로 전달하는 기능을 한다.

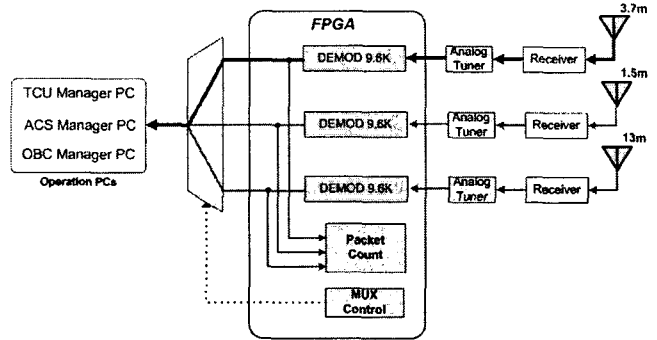


그림 7. 자동수신모드 (9.6kbps의 예)
 Fig. 7 Auto Data Receiving Mode (9.6kbps example)

2.4. 절 GBC Operating S/W (GBC Manager Program)

지상국의 GBC를 제어하기 위한 Operating S/W로 GBC Manager Program이 개발되었다.(그림 8) 위성 제어를 위한 여러 대의 위성 제어용 컴퓨터(OBC Manager PC, ACS Manager PC, TCU Manager PC)에서의 명령이 원하는 Baud Rate로원하는 지상국의 안테나 출력으로 이어질 수 있도록 Data Flow Path를 설정하고 또한 안테나에서 수신한 데이터가 원하는 위성 제어용 컴퓨터에서 받을 수 있게끔 경로 설정을 하면 정해진 프로토콜에 의해 UART를 통해 GBC에 명령을 보내게 된다.(RS-232 방식) 이러한 기능 이외에 자동수신모드를 설정하는 기능, 보내고 받는 audio 신호의 반전/비반전 설정 기능, 디버깅을 위한 원하는 채널의 EYE Pattern을 선택하는 기능 등이 있다.

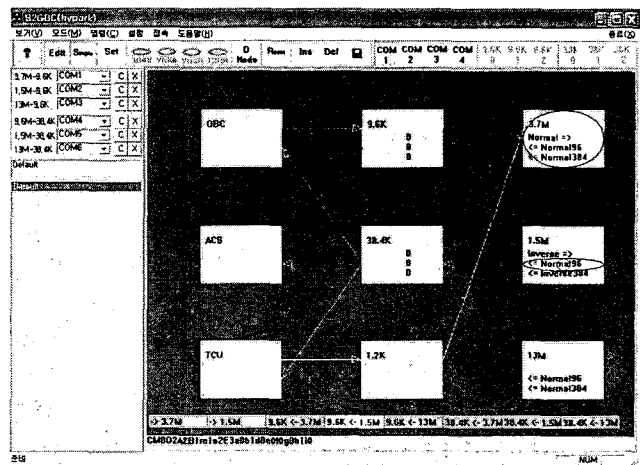


그림 8. GBC Manager Program
 Fig. 8 GBC Manager Program

2.5. BER 시험 결과

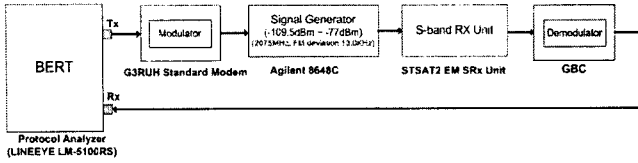


그림 9. BER 시험 환경

Fig. 9 BER Test Environment

입력 신호의 S/N 변화에 따른 BER 측정을 위해 BERT를 이용하였으며 측정을 위한 테스트용 데이터가 다시 수신될 수 있게 loop back 환경을 구축하였다.(그림 9) 먼저 BERT에서 출력하는 디지털 데이터가 표준모뎀의 FSK Modulator (9.6kbps)를 거쳐서 Audio 신호로 변환된 후 Signal Generator에서 출력과워를 가변시키면서 RF 출력이 나오게 된다. 수신단에서는 과학기술위성 2호용으로 개발된 S-Band RX Unit을 거치게 되고 GBC의 Demodulator에서 데이터가 복조된 후 BERT에 수신되면서 BER 측정을 하였다. 측정된 시험 데이터 및 BER 특성은 아래와 같다.(그림 10)

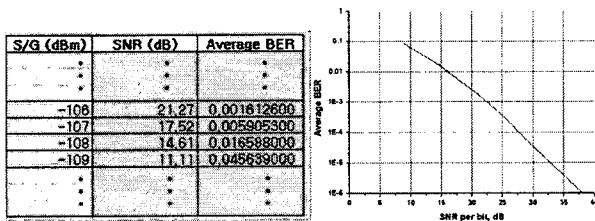


그림 10. BER 측정 데이터

Fig. 10 BER Test Result

3. 장 결론

과학기술위성2호를 관제하기 위한 지상국의 GBC는 과학기술위성1호의 GBC에 비해 하드웨어 구조가 간단해졌으며 각 안테나에서 수신하는 데이터 패킷의 상태를 모니터링하여 수신율이 좋은 쪽의 안테나로부터 자동으로 수신하는 기능이 추가되었다. 현재는 Engineering Model을 제작 및 시험 중에 있으며 시험이 문제없이 진행되고 있다.

감사의 글

본 논문연구는 과학기술부 과학기술위성2호 개발 사업의 예산지원을 받아 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] 오대수, 오치욱, 박홍영, 박성수, 정성인, 김경희, 이현우, 강경인,곽성우, 임종태, "과학기술위성1호 GSC(Ground Station Controller) 개발", 우주과학회, 2003년 가을학술대회
- [2] Frerking, M.E., "Digital Signal Processing in Communication Systems", New York: Van Nostrand Reinhold 1994
- [3] Miller, J, "9600 Baud Packet Radio Modem Design", Proceedings of Seventh ARRL Amateur Radio Computer Networking Conference, 1984