

위성 통신용 리턴 링크 복조기의 성능 개선에 관한 연구

왕도휘*, 오덕길* 정회원

A Study about Performance Improvement of Return Link Demodulator for Satellite Communication

Do-Huy Wang*, Deock-Gil oh* Regular Members

요 약

본 논문은 복잡한 신호처리 기능을 포함하는 리턴 링크 복조 알고리즘이 낮은 SNR에서도 안정적으로 동작하도록 하기 위해 하드웨어에 적합하도록 설계하여 HDL로 구현하는 것을 목적으로 한다. 모의실험 결과 Uncoded BER 10^{-3} 지점에서의 E_s/N_0 가 이상적인 QPSK 신호 대비 0.5dB 이내로의 성능개선을 이룬 것을 확인할 수 있다. 또한 이에 대한 Fixed-Point Simulation 및 HDL 구현 성능이 모의실험 대비 차이가 없음을 확인할 수 있다.

Key Words : DVB-RCS, VSAT, Demodulator

ABSTRACT

This paper presents return link demodulation algorithm designed for hardware implementation using HDL that include complex signal processing work reliably even in low SNR. Simulation results show that performance of E_s/N_0 has improved within 0.5dB at the point of uncoded BER 10^{-3} compared to the ideal QPSK signal. In addition, fixed-point simulation and HDL implementation performance compared to the simulation we can see that there is no difference.

I. 서 론

위성 기반 광대역 접속 기술은 2000년에 출판된 DVB-RCS(Digital Video Broadcasting-Return Channel Satellite system)[1]를 중심으로 새로운 서비스 적용에 맞게 기술이 확대되고 있다. 기존의 VSAT(Very Small Aperture Terminal) 시스템은 미국의 제조업체 고유의 규격이 대다수였지만, DVB-RCS는 유럽을 중심으로 시스템의 interoperability를 강조한 open standard로 전세계 VSAT 시장의 60% 이상을 차지할 정도로 자리매김을 하였다. 특히 DVB-RCS 규격은 사용자의 추가적인 어플리케이션 선택과 파라미터의 폭넓은 선택 영역으로 인한 전송 특성에 맞는 시스템 구성이 가능하므로 최적의 환경을 위한 서비스 제공자 및 사용자에게 트래픽 통계와 어플리케이션 적용이 가능함을 보여준다. 그림 1은 DVB-RCS 기반 위성통신 시스템 구성도로 하나의 중심국과 다수의 단말로 구성된 성형망 구조를 갖는다.



그림 1. DVB-RCS 기반 위성통신 시스템 구성도

인터넷의 보편적 서비스에 대한 요구사항 증대로 인한 지역/계층 간의 정보화 격차 및 양극화 해소를 통한 삶의 질 향상 요구와 더불어, 한반도 지역 특성상 장기간에 걸친 강우에 따른 민감한 신호 감쇠 영향을 극복하기 위해서는 낮은 SNR에서도 안정적으로 동작하는 단말에 대한 요구가 증가하고 있다.

* 본 연구는 방송통신위원회의 지원으로 수행하였음.

*한국전자통신연구원 위성방송융합연구팀(dhwang@etri.re.kr, dhoh@etri.re.kr)

접수일자 : 2012년 5월 15일, 수정완료일자 : 2012년 5월 31일, 최종 게재 확정일자 : 2012년 6월 19일

본 논문은 복잡한 신호처리 기능을 포함하는 리턴 링크 복조 알고리즘이 낮은 SNR에서도 안정적으로 동작하도록 하기 위해 하드웨어에 적합하도록 설계하여 HDL로 구현하는 것을 목적으로 한다.

II. 리턴 링크 복조기

본 장에서는 리턴 링크 복조기(Return Link Demodulator : RLD)의 구성과 기능에 대하여 기술한다.

리턴 링크 복조기 모듈은 그림 2와 같이 IF 모듈에서 주파수 하향변환 및 Analog to Digital(ADC) 변환되어 입력되는 신호를 baseband 신호로 Digital Down-Conversion 하고 이를 각각의 channel 수신 데이터로 구분하는 channelizing, matched filtering, 그리고 해당 Burst(Control Burst(CSC/ACQ/SYNC), Traffic Burst(TRF))에 대한 복조 기능을 수행한다. 최종 복조된 결과 LLR(Log-Likelihood Ratio) 값 및 Signal Power, SNR, Frequency Offset, 그리고 Time Delay 등을 추정하여 기준 값과의 오차를 측정하고 그 측정값들을 Decoder로 전달한다.

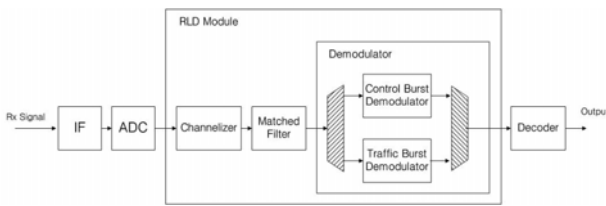


그림 2. RLD 모듈 구성도

1. Channelizer 블록

WIM(Wideband Rx IF Module)에서 RLD로 입력되는 Low IF 신호는 그림 3과 같이 입력 심볼 속도에 따라 각각 1~8개의 채널로 구성되어 있다.

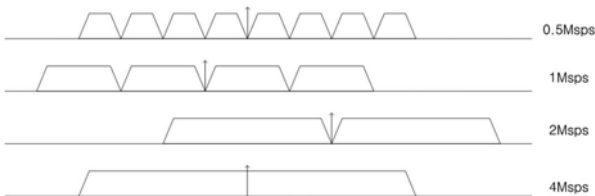


그림 3. Channelizer 입력 Signal Spectrum

그림 4와 같이 입력되는 수신 신호에 Center Frequency를 곱하고 Half Band Filter를 거쳐 Baseband 신호를 얻고, 이를 각각의 Channel에 대해 또다시 Down conversion 및 Half Band Filter를 거치게 함으로써 각 Channel로 입력되는 수신 신호를 구분할 수 있다. 이렇게 Channelized된 신호는 다음의 신호처리 과정을 위해 일정 길이만큼 Buffer에 저장 된다.

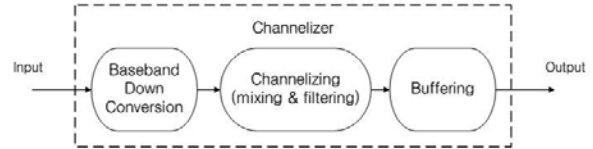


그림 4. Channelizer 구성도

2. Demodulation 블록

Control Burst(CSC/ACQ/SYNC)의 복조 과정 중 가장 먼저 수행되는 것이 그림 5의 Synchronization 기능이다. 이는 Matched Filter 출력 신호와 Control Burst에 사용된 Preamble 간의 Correlation을 구하고 그 값이 최대가 되는 Sample Time을 확인함으로써 해당 Burst의 Timing Offset(Timing Delay)을 통해 수신 신호에서 Burst의 시작점을 찾기 위한 데이터 처리 과정이다. Correlation은 수신 신호 R(n)의 Angle 패턴과 Preamble의 Angle 패턴을 비교하여 두 패턴의 Difference를 계산하고 이에 대한 누적 값을 비교하므로 그 값이 최소가 되는 위치를 통해 얻을 수 있다 [2][3].

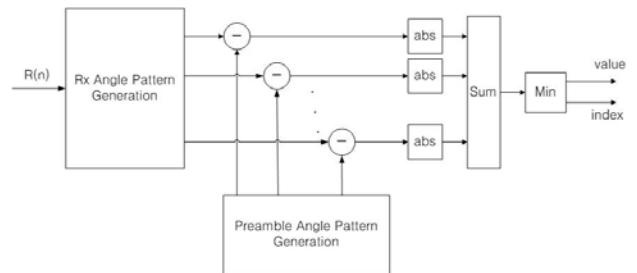


그림 5. Synchronization

앞서 구한 Sync-Timing에서부터 Data를 현재 Burst의 Sample 길이만큼 읽고 각 Sample 단위의 Data에 대해 절대값을 구한다. 이를 4-Sample 주기의 Tone과 곱한 뒤 누적하고, Burst 길이만큼 누적된 신호의 Angle을 구함으로써 그림 6과 같이 Symbol Timing Error 'μ' 값을 산출하여 이를 통해 수신 신호의 타이밍 에러를 보정한다.

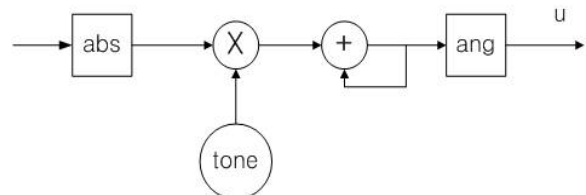


그림 6. Timing Error Calculation

STR Output Buffer로부터 수신 신호 S(n)의 Preamble 영역 Sample과 Preamble를 De-Patterning하고, 이를 256 Size FFT를 취한다. FFT 결과 값에서 가장 큰(Peak) 값이 위치한 Position Index를 확인하고 이를 그림 7과 같이 대략적인 (Coarse) Frequency Offset 값으로 출력한다. 또한 Preamble

의 앞/뒤 평균값 간격의 Angle 변화량을 확인함으로써 그림 8과 같이 미세(Fine) Frequency Offset를 추정할 수 있다. 이와 같은 과정을 통해 얻어진 Frequency Offset 값을 이용하여 Tone 신호를 생성하고 이를 수신 신호와 곱함으로써 Frequency Recovery 기능을 수행한다.

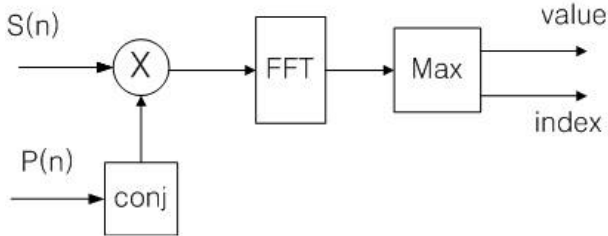


그림 7. Coarse Frequency Recovery

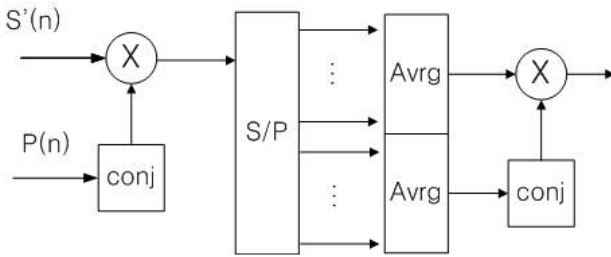


그림 8. Fine Frequency Recovery

앞서 Frequency Offset Compensation된 Data $S''(n)$ 을 입력으로 받아 이들 중 Preamble 영역 Data의 평균값을 구함으로써 Phase Offset 값을 구하고, 이를 수신신호와 Conjugation Multiply를 통해 보정하여 그림 9와 같이 Phase Recovery 과정을 수행한다.

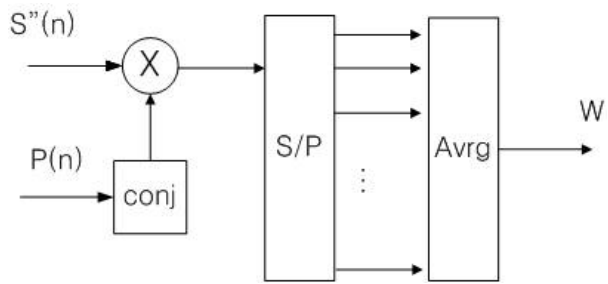


그림 9. Phase Recovery

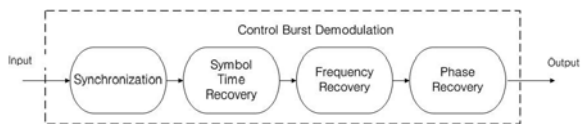


그림 10. Control Burst Demodulation 구성도

Traffic Burst(TRF)의 복조 과정은 위의 Control Burst와 데이터 처리 방법이 동일한데, 다만 그림 10과의 차이는 그림 11과 같이 Symbol Timing Recovery와 Synchronization 과정의 순서만 바뀐다. 따라서 모든 동작은 Symbol 단위로

이루어지고, Frequency Offset 추정이 단 한번으로 진행된다.

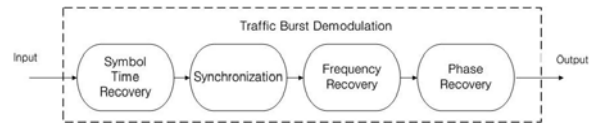


그림 11. Traffic Burst Demodulation 구성도

Ⅲ. 성능평가

다음은 본 논문에서 제안한 복잡한 신호처리 기능을 포함하는 알고리즘이 낮은 SNR 영역에서도 안정적으로 동작하도록 하기 위해 하드웨어에 적합하도록 설계하여 HDL로 구현한 결과이다. 성능 평가를 위해 표 1과 같은 파라미터를 적용하여 모의실험을 진행하였다. SNR 10dB에서의 Control Burst(CSC)와 SNR 6dB에서의 Traffic Burst(TRF) 복조 결과를 각각 그림 12와 그림 13에 나타내었다.

표 1. 주요 파라미터

Item	Value
Symbol Rate	1.024 Msps
Code Rate	Turbo 1/2
Burst Type	CSC / TRF-1ATM
Preamble	256 / 48 symbol
Information	112 / 424 bits
Burst Length	375 / 461 us
Noise	AWGN

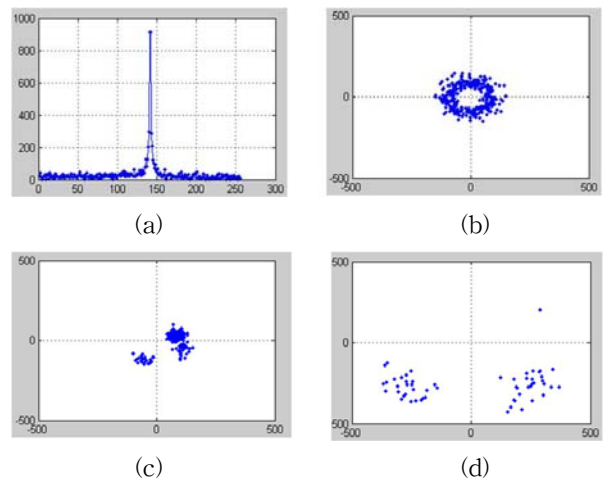


그림 12. Control Burst 복조 결과

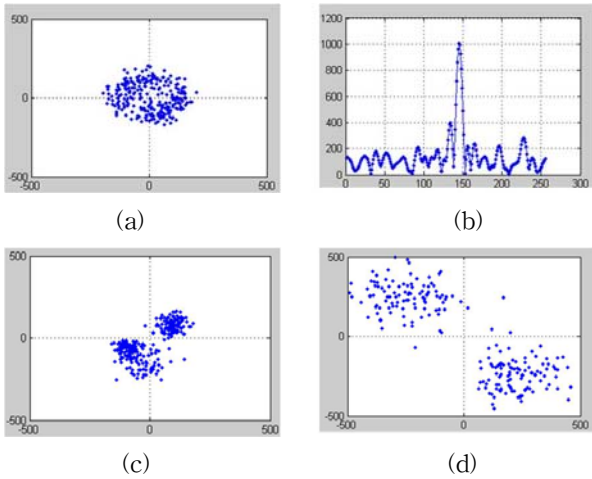


그림 13. Traffic Burst 복조 결과

성능 평가를 위한 모의실험 수행 절차는 그림 14와 같다. VSAT 단말을 통해 고정 패턴의 데이터를 송신하고, Noise Generator를 이용하여 해당 버스트 타입에 따른 SNR(Signal to Noise Ratio)별 데이터를 Dump 받아 BER을 계산한다.

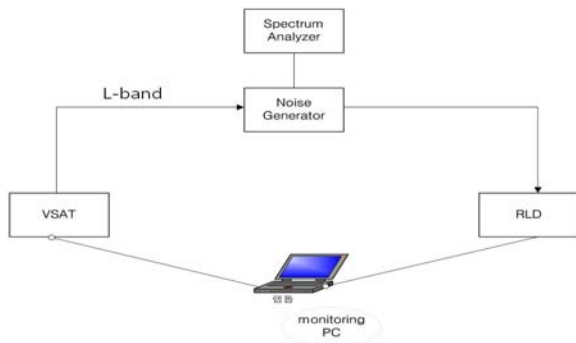


그림 14. 복조기 성능 검증

모의실험 결과 그림 15와 같이 Uncoded BER 10^{-3} 지점에서의 E_s/N_0 가 이상적인 QPSK 신호 대비 0.5dB 이내로의 성능개선을 이룬 것을 확인할 수 있다. 또한 이에 대한 Fixed-Point Simulation 및 이를 HDL로 구현한 성능이 모의실험 대비 차이가 없음을 확인할 수 있다.

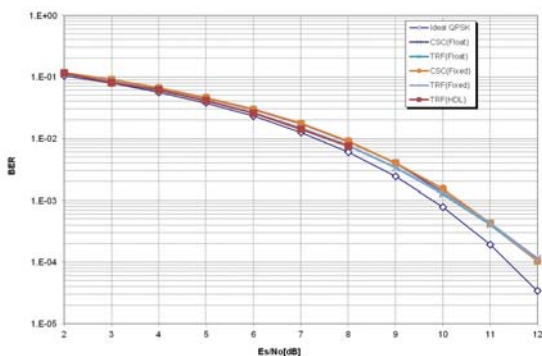


그림 15. QPSK Uncoded BER

그림 16은 이러한 모의실험 결과로 제작된 RLD 사진이다.



그림 16. RLD Board

IV. 결론

본 논문은 위성 통신용 리턴 링크 복조기의 성능 개선 결과에 대하여 기술하였다. 이러한 고성능 리턴 링크 복조기 알고리즘을 적용한 통신 중계기의 응용성 테스트베드 실험을 통해 공공 서비스 및 방송 서비스에 효율적인 활용 기술을 확보할 수 있다. 더욱이 향후 초고속 인터넷 등의 차세대 VSAT 서비스 제공시 위성 링크 가용도 증가로 Ka 대역의 활용도가 높아짐에 따라 초광대역 멀티미디어 서비스가 가능할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] ETSI EN 301 790 v1.5.1, Digital Video Broadcasting(DVB); Interaction channel for satellite distribution systems, May, 2009.
- [2] Norihiro Kojima , Nounir Arious, Siad Belkouch, "Proposition of a Phase Difference Detector for the Correlation Receiver", IEEE 10th International Conference on Signal Processing(ICSP), 2010 .
- [3] S. Nagaraj, S. Khan, C. Schlegel, M. V. Burnashev, "Differential Preamble Detection in Packet-Based Wireless Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 8, No. 2, Feb. 2009.
- [4] Umberto Mengali, Aldo N. D'andrea, "Synchronization Techniques for Digital Receivers", Plenum Press, 1997.
- [5] Heinrich Meyr, Marc Moeneclaey, Stefan A. Fechtel, "Digital Communication Receivers", John Wiley & Sons, 1998.

저자

왕 도 휘(Do-Huy Wang)

정회원



- 2007년 2월 : 건국대학교
전자공학과 학사
- 2009년 2월 : 건국대학교 대학원
정보통신공학과 석사
- 2010년 ~현재 : 한국전자통신연구원
연구원

<관심분야> : 위성방송 및 통신 시스템

오 덜 길(Deock-Gil Oh)

정회원



- 1984년 2월 : 서울대학교 대학원
전자공학과 석사
- 1996년 2월 : 서울대학교 대학원
전자공학과 박사
- 1982년 ~현재 : 한국전자통신연구원
위성방송융합연구팀 팀장

<관심분야> : 위성방송 및 통신 시스템