소프트웨어 정의 라디오를 이용한 디지털 방송 송수신 시스템 구현

류영빈, 이 현, 김재윤, 박창민, **지영근, *오혁준
광운대학교, **한화 시스템, *광운대학교
rnfnrl1234@naver.com

Implementation of Digital Broadcasting Modulation / Demodulation system using Software-Defined Radio

Yeongbin Ryu, Hyun Lee, Jaeyoon Kim, Changmin Park, **Younggun Ji, *Hyukjun Oh
Kwangwoon University, **Hanwha Systems, *Kwangwoon University

요 약

본 논문에서는 Xilinx 社의 Spartan-6 FPGA 와 Analog Devices 社의 Transceiver 칩인 AD9361 을 이용한 소프트웨어 정의 라디오 장비인 Universal Software Radio Peripheral(USRP) B210 를 이용하여 디지털 방송 표준인 ATSC 의 실시간 영상 송수신 시스템을 신호 처리 소프트웨어인 그누 라디오로 구현하였다. ATSC 에서 사용하는 MPEG 트랜스포트 스트림 영상 신호가 송신부에서 소프트웨어로 디지털 신호 처리되고 Digital-to-Analog Conversion(DAC) 과정을 거쳐 영상 신호가 송출된다. 본 논문은 디지털 방송 수신부에서 핵심 기능을 하는 등화기 알고리즘을 소프트웨어를 통해 구현하여 신호의 왜곡을 보상하는 방법을 제안한다. 수신부에서는 신호를 수신하여 튜너, 매치 필터, 위상 고정 루프, 등화기, 비터비 복호 알고리즘 등의 과정을 거쳐 수신한 후 영상을 확인하였다.

1. 서론

본 논문에서는 북미와 한국의 지상파 방송 표준인 ATSC(Advanced Television System Committee)에서 지상파 서비스를 위한 8-VSB 방식의 송수신 시스템을 기존의 아날로그 하드웨어로 처리하는 것이 아닌 소프트웨어 정의 라디오(software defined radio, SDR)기반인 소프트웨어로 처리하여 구현한다. 기존의 방송 셋톱박스들의 경우 하드웨어 칩으로 최적화 되어있어 채널 변경 및 무선 표준 등이 제한되는 한계가 있다. SDR 은 다양한 무선 통신 환경에 유연하게 대처하기 위해 사용자가 원하는 응용 소프트웨어로 재구성이 가능한 개방형 신호처리 기술이다. SDR 의 구조적 장점으로는 하드웨어적으로 구성되어 있던 라디오 주파수 (radio frequency, RF) 모듈 부분을 소프트웨어적으로 구성 시키고 이를 소프트웨어를 업그레이드함으로써, RF 모듈 부분을 변경할 수 있다는 것이다. 또한 SDR 수신기에서 안테나에 연결되어 수신되는 신호를 아날로그-디지털 변환 (analog-to-digital converter, ADC)을 통해 디지털화하여, 하드웨어 의존성을 낮춤으로써 시스템의 유연성을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

이번 연구에서 사용되는 SDR 장비인 Ettus Research 社의 USRP B210 은 Xilinx 社의 FPGA 칩인 Spartan-6 와 Analog Devices 社의 AD9361 RF Agile Transceiver 칩을 사용한다. USRP B210 는 주파수 범위가 70MHz-6GHz 이고 실시간 대역폭을 최대 56MHz 를 지원한다.

본 논문에서는 SDR 의 응용분야인 영상처리에서 디지털 방송 표준인 ATSC 의 영상 신호를 송신 및 수신하고 통신 시스템의

알고리즘을 C++, 파이선, XML 로 작성하여 각 기능 블록을 검증한다. 실시간 송수신 시스템 구현을 위해 그누 라디오로 각 시스템의 블록을 설계한다. [1]

그누 라디오(Gnu Radio)는 무선 통신 시스템을 연구하고, 제작하기 위한 신호 처리 소프트웨어이다. 그누 라디오 프로젝트에서 개발된 SDR 장비가 Universal Software Radio Peripheral(USRP) 이다. 또한 그누 라디오는 다른 소프트웨어 기반 무선 시스템과 같이 재구성이 가능한 게 핵심 기능이고 하나의 범용 무선장치를 구입하여 강력한 신호처리 소프트웨어로 처리하게 해준다. [2]

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 그누 라디오를 사용하여 MPEG-TS 영상 파일을 ATSC 8-VSB 로 변조한 후 USRP 에 연결된 안테나로 송신하여 텔레비전을 통해 영상 수신을 확인한다. 3 절에서는 두 대의 USRP 를 사용하여 2 절에서 확인한 송신 시스템을 수신부 USRP 를 통해 수신하여 영상을 확인함으로써 검증한다. 이때 송신부에서 다양한 파라미터를 변경하고 수신부에서 실시간으로 변경된 값을 확인하며 SDR 의 유연성을 확인한다. 4 절에서는 본 논문의 결론과 함께 향후 연구 방향을 제시한다.

2. SDR 을 활용한 디지털 방송 송신 시스템 구현

본 절에서는 지상파 방송 표준인 ATSC 8-VSB 송신 시스템의 설계에 대해 간략하게 설명하고 그누 라디오로 설계된 신호를 USRP 로 송출하여 실제 텔레비전을 통해 보내고자 하는 영상을 확인한다.

그림 1 은 ATSC 송신부의 표준이다. [3]

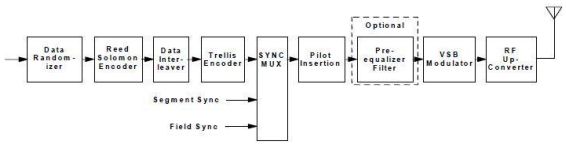

그림 1. ATSC 8-VSB Functional Diagram

위의 표준에서는 MPEG-TS 영상 파일을 위와 같은 과정을 거쳐 최종적으로 RF 신호로 송신된다.

각 단계를 요약하여 설명하면 다음과 같다. [4]

- 데이터 랜더마이저(Data Randomizer)는 데이터 값의 스펙트럼이 평탄하고 균등한 특성을 가지게 한다. 이러한 랜덤한 신호의 특성은 수신기의 recovery loop 특성을 향상시킨다.
- 리드 솔로몬 인코더(Reed-Solomon Encoder)는 순방향 오류 제어(FEC: Forward Error Correction)를 위해 사용되며, 이때 20 개의 리드 솔로몬 패리티 바이트가 각 패킷의 187 바이트에 추가되어 총 207 바이트의 데이터로 전송 오류를 정정한다.
- 데이터 인터리버(Data Interleaver)는 1/6 데이터 필드 인터리빙을 수행하는데, 이는 데이터의 물리적인 위치를 분산시켜 버스트 오류(burst error)를 시간적으로 흩어지게 하여 영상 신호의 오류가 발생할 확률을 낮춘다.
- 트렐리스 인코더(Trellis Encoder) 과정은 데이터율 을 높여서 입력신호의 redundancy 를 증가시키는 데 사용된다.
- 파일럿 신호 삽입(Pilot Insertion)은 평균 데이터 신호 전력 레벨의 11.3dB 낮은 파일럿 신호를 VSB 신호의 억압 반송파 주파수 위치에 넣는다. 이 신호를 넣음으로써 수신측에서 신호를 수신하기 쉽게 해준다.
- 8-VSB 변조기(VSB Modulator)는 44MHz 와 10.76/4MHz 의 오프셋을 더한 공칭 주파수인 46.69MHz 의 필터링 된 VSB 중간 주파수(IF) 신호를 공급하여 주파수를 8 개의 진폭 레벨로 변조하게 한다.

그림 2 는 그림 1 에서의 표준을 바탕으로 설계한 그누 라디오 ATSC 송신부 블록 다이어그램이다.

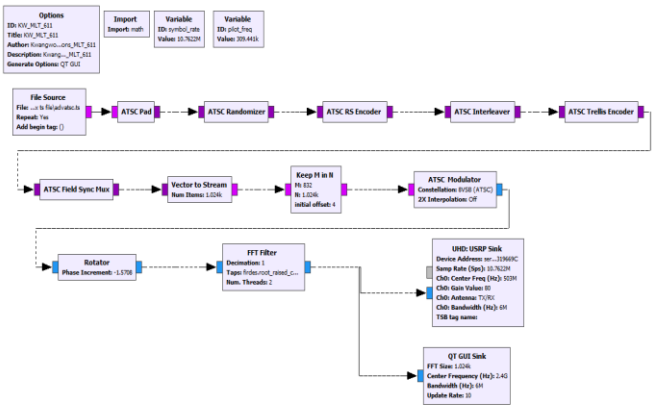

그림 2. Gnu Radio ATSC Transmitter Diagram

그림 3 의 왼쪽은 완성된 그누 라디오 ATSC 송신부의 파형이고 오른쪽은 USRP 를 통해 송출되는 RF 신호를 스펙트럼 계측기 장비를 통해 관측한 그림이다.

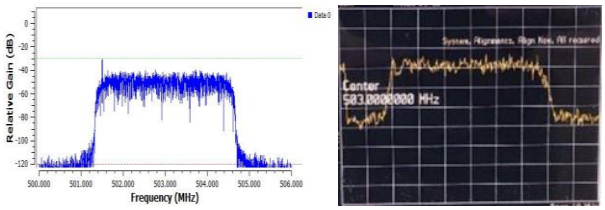

그림 3. Gnu Radio ATSC 송신부 파형(왼쪽)과 스펙트럼 계측기를 통해 확인한 Gnu Radio ATSC 송신부 RF 신호의 파형(오른쪽)

위의 스펙트럼 계측기를 통해 확인할 수 있듯이 ATSC 8-VSB 의 파형이 성공적으로 측정되었음을 확인하였다.

그림 4 는 사용자가 원하는 영상을 MPEG-TS 로 인코딩한 후 그누 라디오로 신호처리를 하여 USRP 로 송출하여 실제 텔레비전에서 수신되었음을 확인하는 그림이다.

그림 4. USRP 를 통해 송출된 영상 신호가 텔레비전에서 수신된 모습

다음절에서는 2 절에서 확인한 ATSC 송신부 영상 신호를 USRP 를 통해 수신하는 수신부를 그누 라디오를 통해 설계하고 파형과 영상을 확인한다.

3. SDR 을 활용한 등화기 알고리즘 과 디지털 방송 수신부 구현

3 절에서는 그누 라디오를 사용하여 수신부의 핵심 기능을 하는 등화기 알고리즘 및 ATSC 8-VSB 수신부를 설계하고 USRP 를 통해 수신부를 구성하여 2 절에서 설계한 송신 시스템을 검증한다.

그림 5 은 ATSC 8-VSB 의 수신부 가이드라인[5]이고 그림 6 은 SDR 과 그누 라디오에서 설계할 환경에 맞게 수정한 그림이다.

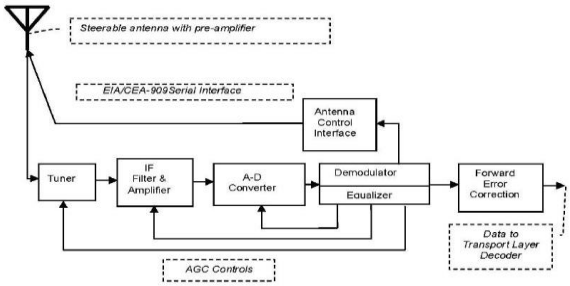

그림 5. ATSC 8-VSB 수신부 가이드라인

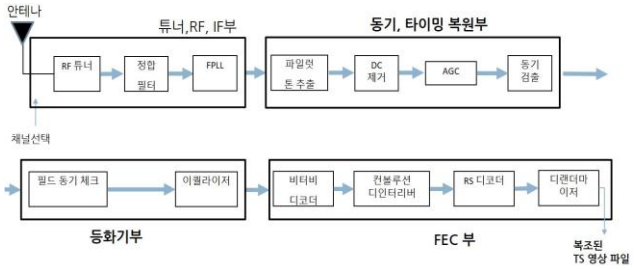

그림 6. SDR 과 그누 라디오 환경에 맞게 수정한 ATSC 8-VSB 수신부

위의 2 절에서 송신부 USRP 의 안테나를 통해 송출된 영상 신호가 수신부 USRP 의 안테나를 통해 수신되면 그림 6 에서의 과정을 통해 영상의 RF 신호를 확인하고 동기를 맞춘 뒤 등화기부에서 위상과 오류를 보상해주고 다음단의 복조 과정을 거친 후 최종 MPEG-TS 영상을 복조 하여 확인한다.

본 절에서는 수신부의 핵심 기능을 하는 등화기 알고리즘 대한 설명을 한다. [6]

- LMS 알고리즘은 왜곡을 최소화하기 위해 디지털 필터를 사용하여 오류 신호를 tapped filter 의 각 출력과 cross-correlation 하는 방식이다. 이때 필터의 스텝 크기가 크면 평균 자승 오차(MSE)가 증가하고, 스텝 크기가 작으면 MSE 는 작지만 등화기의 수렴 속도가 느려 져서 스텝 크기와 MSE 는 동시에 높은 성능 조건을 만족할 수 없다. 따라서 이는 적절히 고려해야할 대상이다.
- 등화기(Equalizer) 과정으로 무선으로 수신된 신호는 먼 거리를 오는 동안 잡음이 유입되고 신호가 왜곡된다. 등화기는 이러한 선형성 왜곡을 제거하고 수신기에서 최적의 복조를 하도록 신호를 만들어준다. 8VSB 수신기에서 사용한 등화는 feedforward transversal tapped filter 구조를 사용하여 구현하였다. 본 절에서 구현한 등화기는 ATSC A/53 표준문서에 나와있는 192 개의 Tap 으로 구성된 Feedback Filter 와 64 개의 Tap 으로 구성된 Feed Forward Filter 이다.

위에서 설명한 등화기 알고리즘 및 ATSC 8-VSB 수신부를 그누 라디오 소프트웨어로 구현하였고, 그림 7 은 그림 6 을 참고하여 그누 라디오로 설계한 ATSC 8-VSB 수신부의 다이어그램이다.

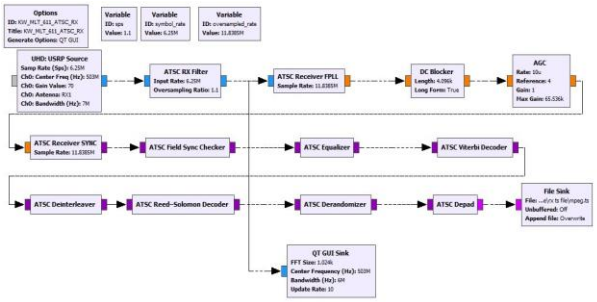

그림 7. 그누 라디오로 설계한 ATSC 8-VSB 수신부

다음은 두대의 USRP 를 사용하여 송신부와 수신부의 환경을 설정하고 송신부 USRP 에서 MPEG-TS 영상을 송신하면 수신부 USRP 에서 수신하여 파형과 복조 된 영상을 확인하여 설계한 송수신 시스템을 검증한다.

최종적으로 수신한 파형의 모습은 그림 8 와 같다.

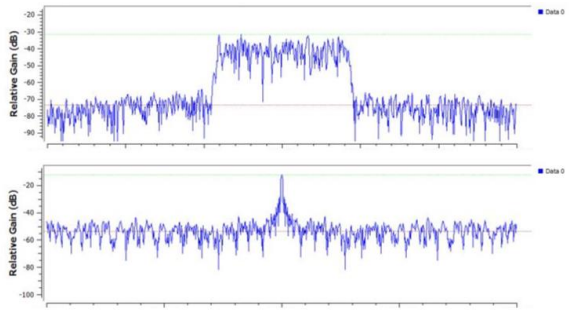

그림 8. 수신부 USRP 에서 수신한 파형

본 절에서는 단순히 신호를 수신하는게 아닌 송신부에서 채널 변경, 신호 세기 등의 값을 변경하였을 때 수신부에서 실시간으로 변하는 파형을 확인하였다.

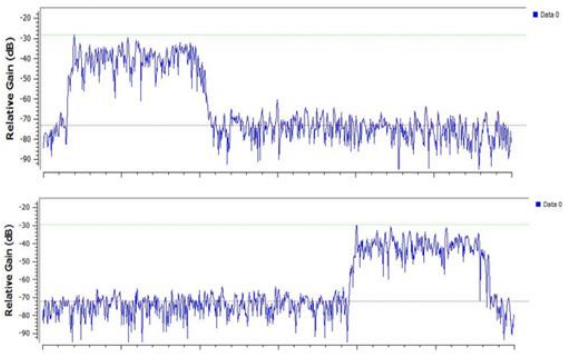

그림 9. 송신부 USRP 에서 채널을 변경한 신호를 실시간으로 수신부 USRP 에서 수신한 모습

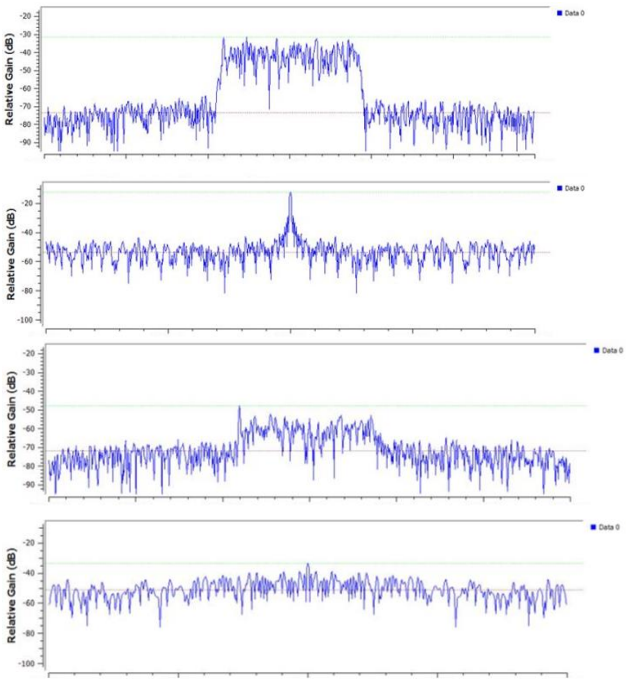

그림 10. 송신부 USRP 에서 신호의 세기를 변경한 신호를 실시간으로 수신부 USRP 에서 수신한 모습

그림 9 는 송신부 채널의 주파수를 ATSC 디지털 방송의 한 채널의 대역폭인 6MHz 만큼 변경하였을 때 수신부에서 실시간으로 신호의 파형이 이동함을 확인한 모습이다. 또한 그림 10 에서 신호의 세기를 변경하였을 때 파형의 크기가 커지고(위쪽), 작아짐(아래쪽)을 확인하였다.

다음으로 이렇게 수신된 영상 신호를 그누 라디오를 통해 설계한 ATSC 8-VSB 수신부를 통해 복조 한 후 영상을 확인하여 그림 11 과 같이 성공적으로 수신되었음을 확인하였다.

그림 11. 송신부 USRP(왼쪽)와 수신부 USRP(오른쪽)

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문을 통해 SDR 기술의 유연성과 사용자에 따른 서비스의 실시간성을 디지털 방송 표준 영상을 송수신 함으로서

확인하였다. 이는 사업자 입장에서는 기존의 시스템과의 상호 운용과 제품의 개발기간을 단축시키는 효과를 얻을 수 있으며, 사용자는 각자에게 맞는 서비스를 선택적으로 공급받고, 시스템을 실시간으로 수정하거나 업그레이드를 할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 SDR 기술의 성능 개선을 통해 실용성을 높일 수 있도록 하는 연구가 필요하다

감사의 글

이 논문은 2019 년도 한화시스템의 “멀티패스 페이딩 극복을 위한 협대역 채널등화기 알고리즘 연구”에 의해 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

[1] 김영주. “RTL-SDR 을 이용한 스테레오 주파수 변조 방송의 실시간 수신기 구현” 한국방송미디어공학회 방송공학회논문지 (2019.5), 485-494

[2] https://www.gnuradio.org/docs/

[3] ATSC Digital Television Standard – Part 2: RF/Transmission System Characteristics

[4] 이기창.“디지털 텔레비전 전송기술”, 861-863

[5] ATSC Recommended Practice: Receiver Performance Guidelines

[6] 이제경, 김정곤 “DTV 방송 시스템 환경에서 동일 채널 중계기를 위한 다중 레벨 상관 LMS 기법” 방송공학회논문지 2010년 제15권 제1호