

USRP기반 채널 적응형 개인방송시스템 구현 및 검증

유신우¹ · 오혁준^{2*}

Implementation and Verification of Channel Adaptive Private Broadcasting System Based on USRP

Sinwoo Yoo¹ · Hyukjun Oh^{2*}

¹Graduate Student, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

^{2*}Professor, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

요약

본 연구에서는 ATSC 기반 무선통신시스템을 비면허대역에서 개인방송시스템으로 활용 가능성을 보였다. 혼/간섭 신호가 존재하는 비면허대역에서 양질의 서비스를 제공하기 위하여 CR 개념을 도입한 채널 적응형 시스템으로 설계하였으며, 페루프 능동위상배열안테나를 설계하여 연동함으로써 고신뢰성 통신이 가능함을 보였다. USRP기반으로 하는 오픈소스 신호처리 플랫폼인 GNU Radio를 사용하였고 이와 더불어 내부 FPGA에 추가적인 기능을 구현함으로써, 사용자가 원하는 ATSC 기반 개인방송 플랫폼을 쉽고 유연하게 설계하고 수정할 수 있도록 하였다. 또한, 실시간으로 송수신 간 채널의 상태 및 통신 파라미터 등의 정보를 전송하는 리턴 채널과 스펙트럼 검출을 구현하여 통신 주파수 자원을 효율적으로 관리 및 제어할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

This paper shows a small and low-powered wireless communication system based on the ATSC broadcasting system using the ISM frequency band that can be used as a PBS(Personal Broadcasting System). It is designed to demonstrate a channel-adaptive CR(Cognitive Radio) system to provide a better service quality in the unlicensed band where co-channel interference exists. And it achieved very reliable communications by a closed-loop active phased array antenna. This ATSC-based personal broadcasting platform can be modified easily with given flexibility by using GNU Radio as an open-source signal processing platform based on USRP and implementing additional functions in FPGA. In addition, the chosen communication frequency resource can be managed and controlled by the return channel that transmits the channel status and communication parameters between transmission and reception in real-time.

키워드 : 개인방송시스템, 능동위상배열안테나, 페루프시스템, ATSC, USRP

Keywords : Private broadcasting system, Active phase array, Closed loop system, ATSC, USRP

Received 1 April 2022, Revised 13 April 2022, Accepted 14 April 2022

* Corresponding Author Hyukjun Oh(E-mail:hj_oh@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5132)

Professor, Department of Electronics and Comm. Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.5.694>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 통신 기술의 발달로 다양한 분야와 산업에서 관련 서비스에 대한 요구 및 사용이 급증하고 있다. 이에 따라 각 분야에서는 사용자의 요구에 적합한 통신 시스템을 운용하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어를 설계 및 개발하게 된다. 그림1에서와 같이, 2019년 방송통신위원회 방송통계포털의 조사에 따르면 매년 영상 매체에 대한 소비가 늘고 있고, 개인 가구가 늘어남에 따라 기존의 텔레비전을 통해 시청하던 환경에서 스마트폰, 노트북, 태블릿과 같은 개인 장비를 통해 고화질의 영상을 보는 개인 사용자가 늘고 있다. 이렇게 스마트기기를 통해 영상을 보게 되면서, 일반 가정에서도 스마트기기를 텔레비전에 연동하여 원하는 영상을 큰 화면으로 볼 수 있게 제공되는 몇 가지 기술이 있는데, 표 1에서 볼 수 있듯, DLNA, WiDi, Miracast가 있다.

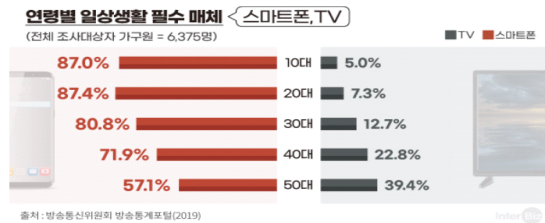


Fig. 1 Essential media for daily life by age, Comparison of smartphones and TVs

이러한 방법 중 많이 사용되는 방법으로는 최근 가정에서 많이 보급되어 있는 와이파이를 활용할 수 있는 방법인 Miracast를 사용한다. Miracast는 다른 기기의 화면을 받아 TV의 HDMI 단자로 전송하는 영상, 음성 무선 전송 기술이다. 이 기술은 특별한 앱 설치가 필요하지 않고, 유/무선 둘 다 사용할 수 있다는 점에서 많이 사용하지만, 단점으로 Miracast를 통한 미러링을 하는 동안 전화기 사용이 원활하지 않고, 스마트폰의 다른 기능을 사용하는데 불편한 점이 있으며 와이파이를 사용하기 위한 비면허대역에서 다른 무선기기의 혼/간섭 신호에 대한 취약점이 있다. 또한 일반 디지털 방송표준에 비교하여 4K와 같은 초고화질 영상의 전송을 위해 인증 받은 하드웨어 등의 고비용의 자원이 사전 준비되거나 부가되어야 하며, IP 통신 특성 상 Best-effort QoS에 제한된다는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 비면허대역에서 사용되는 무선 영상 전송 기술의 혼/

간섭 문제를 해결하고, 준비된 성능의 ATSC 튜너를 활용하여 초고화질의 영상을 안정적으로 전송하여 양질의 개인방송서비스를 제공하는 방법을 구축하고 시험하였다.

Table. 1 Types of technologies that wirelessly connect displays

	Pros	Cons
DLNA	동영상 시청이 안정적	사용환경 제한적
WiDi	한번 연결시 접속상태 유지	모바일 기기와 텔레비전이 인텔 WiDi와 호환되어야 함.
Miracast	고화질 전송	비 면허 대역에서 다른기기와의 혼/간섭 문제, 단일기기 한정

본 논문에서는 다양한 장비의 신호가 혼/간섭되어 사용되는 비면허대역에서 더욱 양질의 서비스를 제공하기 위해 사용자 간 채널 상태 및 다른 사용자들의 주파수 사용 현황 등을 파악할 수 있게 인지무선 기술에서의 스펙트럼 검출을 구현하였다. 이렇게 얻은 정보를 사용자간 실시간으로 주고 받을 수 있게 XML-RPC 프로토콜을 사용한 리턴채널을 설계한 후 통합하여, 채널 적응형 무선 통신 시스템을 구현함으로써 주파수 효율을 높일 수 있게 하였다. 이러한 시스템에 페루프 능동위상배열 빔포밍 안테나를 연동하여 비면허 대역에서의 통신 성능 향상을 확인함으로써, 기존의 방식보다 고신뢰성의 통신이 가능함을 보였다. 또한 4K와 같은 초고화질 영상의 시청을 위해 앞서 설계한 채널 적응형 통신 시스템의 영상 포맷은 한국의 디지털 방송 표준인 ATSC를 사용한다. 전체 시스템은 Xilinx社의 FPGA인 Spartan-6와 Analog Device社의 RF Transceiver 칩인 AD9361를 사용한 Software Defined Radio(이하 SDR) 장비인 USRP B205mini와 오픈소스 기반 신호처리 플랫폼인 GNU Radio를 사용하여 구현함으로써 개인 사용자가 비면허대역에서 혼간섭 신호에 대한 피해를 최소화 하면서 초고화질의 영상을 고신뢰성으로 시청할 수 있는 개인방송시스템을 제안한다.

II. 배경지식

USRP는 다양한 무선 통신 환경에 유연하게 대처할

수 있는데, 단일 하드웨어 플랫폼에서 사용자의 환경에 맞는 응용 소프트웨어를 사용하여 재구성하는 FPGA를 포함하는 무선 플랫폼이다. USRP를 사용하면, 기존의 하드웨어적으로 구성되어 있던 디지털 신호처리 및 RF 모듈 부분을 일부 소프트웨어적으로 구성할 수 있다 [1]. 즉 FPGA 비트 이미지를 포함한 소프트웨어 변경 및 업데이트를 통해 관련 모듈의 부분 변경이 가능하다. 이는 프로그램이 가능한 하드웨어 부분을 확장하고, 관련 소프트웨어 프로그램의 능력을 향상하여 전반적인 시스템의 유연성을 증가시킨다. 따라서 본 논문에서는 디지털 방송 표준인 ATSC와 인지무선에서의 스펙트럼 검출, 통신 시스템의 리턴채널과 같은 다양한 통신 기능을 B205mini USRP 플랫폼에 FPGA 재설계 및 SW를 구현하여 재구성이 가능하고 유연하게 운용할 수 있음을 보인다. 그림2는 본 연구에서 사용한 SDR 장비인 Ettus 社의 USRP B205mini이다.

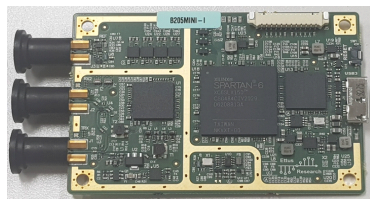


Fig. 2 USRP B205mini, Ettus SDR equipment

III. 본 론

3.1. 스펙트럼 검출 구현 및 리턴 채널 구현

3.1절에서는 개인방송시스템의 운용 환경인 비면허 주파수 대역에서의 혼/간섭 신호를 피하고, 다른 사용자의 주파수 사용 여부 및 채널의 상태 등을 파악하기 위한 스펙트럼 검출 기법을 제안한다. 이를 통해 얻은 정보를 사용자끼리 주고받을 수 있는 리턴채널을 설계한 후, 제안하는 시스템에 통합하여 채널 적응형 방송 시스템을 구현한다. 사전에 할당되어 있는 대역이지만 현재 사용하지 않는 주파수 대역을 찾기 위해, 본 구현에서는 여러 가능한 인지무선 기술 중 스펙트럼 검출을 사용한다. 스펙트럼 검출 방식 중 보통 정합필터 방식, 에너지 검출 방식, 신호형태 검출 방식을 사용하는데, 본 연구에서는 그림3과 같이 에너지 검출과 정합필터를 같이 사용하여 성능을 높인 Enhanced Energy Detection 방식

을 사용한다 [2].

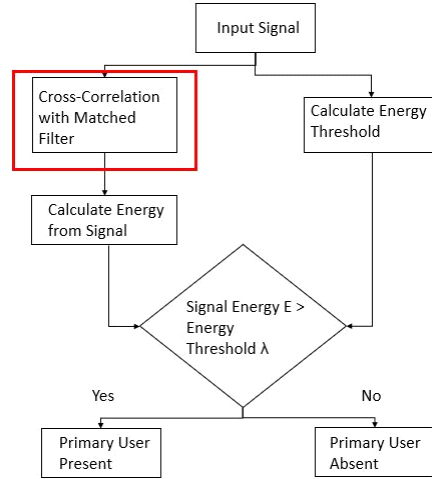
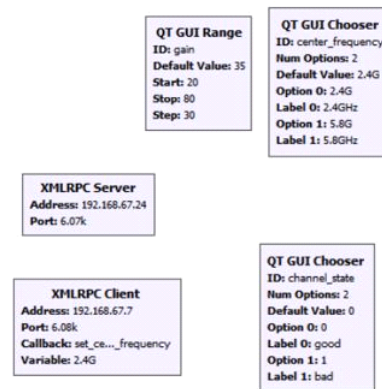


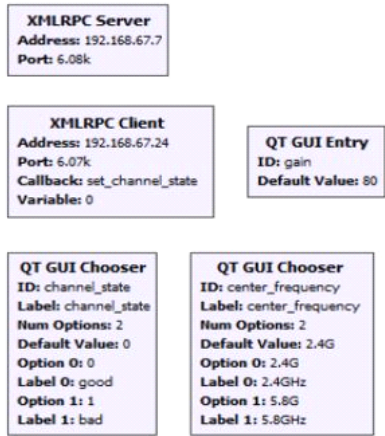
Fig. 3 Improved energy detection algorithm

이 방법은 기존의 에너지 검출 방식에 정합필터를 추가하여 성능을 높인 방법으로, 이때 사용된 정합필터는 추후 구현할 ATSC 송신부에서 사용하는 Root-Raised Cosine 필터를 수정하여 구현함으로써 복잡도를 줄일 수 있다. 이를 통해 구현한 시스템의 성능을 확인해보면, 기존의 스펙트럼 검출 방식은 -11.38dB이고 개선된 방식은 -8dB로 약 3dB 정도의 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다.

설계 목표인 채널 적응형 시스템의 구현을 위해서는 이렇게 얻은 채널의 사용 여부, 통신 성능, 사용 가능한 주파수 등의 정보를 송신부와 수신부에 전달할 리턴채널이 필요하다. 이는 현재 디지털 방송에서 사용하는 개념으로 그림4와 같은 구조로 구현하였다.



(a)



(b)

Fig. 4 Structure of Return Channel: (a) Transmitter, (b) Receiver

본 연구에서는 GNU Radio의 XML-RPC 프로토콜을 사용한 소켓 프로그래밍을 통해 필요한 정보를 주고받는 리턴 채널을 구현하였다. GNU Radio에서 각 블록과 외부 인터페이스 간의 통신에 사용되는 프로토콜인 XML-RPC는 Remote Procedure Call(RPC) 프로토콜의 일종으로 인코딩 형식에서는 XML을 사용하고 전송 방식은 HTTP 프로토콜을 사용한다 [3]. 주로 작은 데이터 형식이나 명령을 정의하는 용도로 사용하며, 기존 RPC 프로토콜에 비해 간결하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 리턴채널을 사용하여 사용자의 채널 사용 여부 및 채널 상태, 다른 무선기기의 혼/간섭 신호로 인해 변경할 채널 등과 같은 제어 정보를 주고 받는다. 그림5는 스펙트럼 검출을 통해 사용중인 사용자를 확인하고, 해당 정

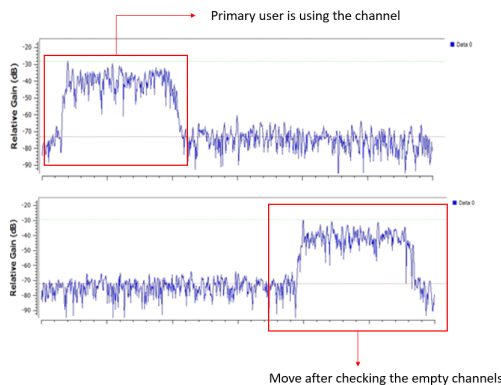


Fig. 5 Spectrum detection is used to identify and shift empty channel.

보를 리턴채널을 통해 사용자간 주고받은 후 비어있는 채널로 이동한 그림이다.

3.2. 빔포밍을 통한 통신 성능 개선

앞서 기존의 인지무선에서의 스펙트럼 검출 방식을 개선한 방식으로 신호대잡음비의 성능 개선 및 실시간으로 비어있는 채널을 확인한 후 리턴채널을 사용하여 해당 정보를 실시간으로 주고 받으며 채널을 변경할 수 있음을 보였다. 다음으로 USRP B205mini 내부의 FPGA를 사용하여 페루프 능동위상배열 안테나와 FPGA간의 SPI 인터페이스를 연동한 후 빔포밍을 통해 성능 향상을 확인함으로써 고신뢰성 통신이 가능함을 보인다. 그림6은 본 연구에서 사용한 페루프 능동배열 안테나로 총 아홉 방향으로 빔을 형성한다.

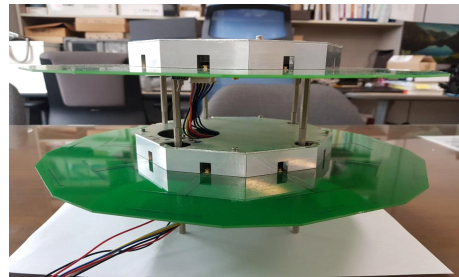


Fig. 6 Closed-loop Active phased Array Antenna

이때 앞서 구현한 리턴 채널을 사용해 채널의 정보 및 사용자의 채널 사용 여부, 신호대잡음비 등의 정보를 주고받고 만약 채널의 상태가 좋지 않거나 간섭 신호등으로 인해 통신의 신뢰성이 떨어지는 경우 해당 사용자의 방향으로 빔포밍을 할 수 있게 제어하여, 통신 성능을 높이고, 통달 거리를 늘릴 수 있음을 확인하였다. 그림7은 본 연구에서 사용된 빔포밍 안테나의 E-plane에서의 빔 패턴을 나타낸 그림이다.

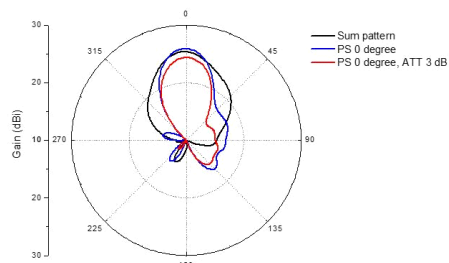


Fig. 7 2-D Beam Pattern in E-plane

해당 빔포밍 안테나는 3개의 채널에 3개의 포트가 이루어져 있고, 각 포트는 4비트의 감쇠기와 3비트의 위상 변위기로 이루어져 있다. 표 2는 안테나의 각 방향에서의 안테나 이득, 반전력 빔폭(Half Power Beam Width, HPBW), 사이드 로브 레벨 제거비(Side lobe level Rejection Ratio, SRR)을 측정된 표이다.

Table. 2 Measured value of Beamforming Antenna

	Gain(dBi)	HPBW(Deg)	SRR(dB)
Sum Pattern	25.3	56.7	-11
Phase Shifter 45o	25.9	38.8	-8.5
Phase Shifter 45o, Attenuator 3dB	24.3	42.7	-9.5

그림8은 해당 안테나의 총 아홉 방향의 빔 패턴을 측정된 그림이다. 이를 각각의 방향을 원하는 대로 바꿀 수 있게 레지스터 맵을 구성하고 그림9와 같이 USRP 내부의 FPGA SPI 인터페이스와 통합한 후 리턴채널을 통해 제어가 가능하게 함으로써, 실시간으로 통신 채널의 상태 및 사용자의 수신 상태를 고려하여 빔의 방향을 바꿀 수 있다.

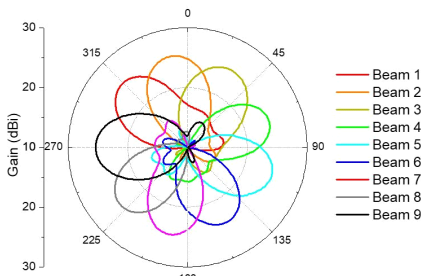


Fig. 8 2-D Beam Pattern in nine directions measured using a Beamforming Antenna

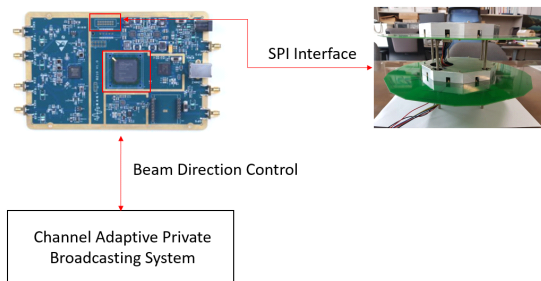


Fig. 9 Figure of integrating USRP B205mini with beamforming antenna.

3.3. ATSC의 송신부 설계 및 구현

다음으로 기존의 개인 무선 영상 전송 방식에서의 한계였던, 4K와 같은 초고화질 영상의 시청이 가능한 개인방송시스템을 위해 디지털 방송 표준인 ATSC를 구현한 후 앞서 설계한 채널 적응형 시스템과 통합한다. 그림10은 ATSC 송신부의 표준 다이어그램으로 오픈소스 신호처리 소프트웨어인 GNU Radio를 사용해 각각의 신호처리 블록을 구성하고, USRP B205mini를 사용해 보내고자 하는 영상을 무선 신호로 송신하는 송신부를 구현한다.

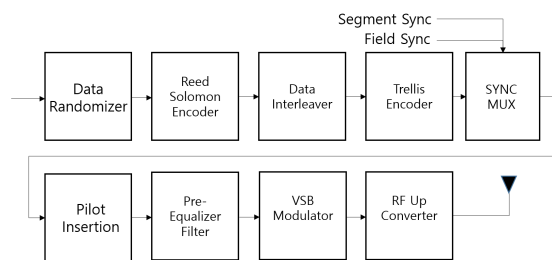


Fig. 10 ATSC Transmitter Standard

ATSC에서 사용되는 영상 포맷은 MPEG2-TS로 영상 데이터가 들어오면 먼저 ‘데이터 랜덤화기(Data Randomizer)’를 통해 입력으로 들어오는 디지털 TV 신호의 에너지를 한 채널의 대역폭인 6MHz 전체에 평탄하게 퍼지게 한다. 이는 데이터 값의 균등함을 깨뜨려 규칙적이고 같은 데이터 값이 존재하지 않게 함으로써 채널의 주파수 대역폭의 효율을 높이는 데 사용된다. 다음으로 순방향 오류 정정을 위해 사용된 블록코드로 ‘리드 솔로몬 인코더(Reed Solomon Encoder)’가 있다 [4]. ATSC에서 사용된 리드 솔로몬 코딩은 $t = 10(207,187)$ 코드로 리드 솔로몬 데이터 블록의 크기가 187바이트이고 오류정정을 위한 리드 솔로몬 체크 바이트인 20바이트가 더해져 207바이트를 의미한다. 따라서 데이터 세그먼트 당 총 207바이트의 리드 솔로몬 블록이 송신되어 전송 오류를 효율적으로 정정한다. 다음으로 ‘데이터 인터리버(Data Interleaver)’로 디지털 TV 방식에서의 인터리빙은 패킷과 같은 일정 길이 단위로 만들어진 데이터 묶음의 전송순서 배치를 일정한 원리에 따라 재배치하는 방법이다. 이를 통해 채널 상에서 발생할 수 있는 버스트 에러를 오류 정정이 가능한 작은 크기로 나누어 다른 시간대로 분산시켜준다. 다음으로 ‘트렐리스 인코더(Trellis Encoder)’를 사용하여 랜덤 에러에 강하게

한다. ATSC에서 사용된 트렐리스 인코더는 2/3 rate coder($R = 2/3$)인데, 이는 트렐리스 코딩을 수행할 때 8비트인 각 바이트를 4개로 쪼개 2비트씩 워드로 만들고 현재의 2비트 워드는 앞에 나온 2비트 워드들의 값과 비교하여 3비트 2진 코드가 만들어지기 때문이다. 즉 트렐리스 인코더로 입력되는 모든 2비트 워드들은 트렐리스 인코더의 출력에 각각 3비트 코드로 대체되어 나온다. 이때 $2^3 = 8$ 이므로 8개의 레벨 심벌로 전송된다. 이렇게 블록코드와 컨벌루션 코드를 사용하여 인코딩된 데이터에 수신부에서 반송파 복원과 같은 신호 수신을 위한 ‘파일럿 신호’를 삽입한다. 최종적으로 파일럿 신호까지 삽입한 신호를 필터링하기 위해 사용된 필터는 Root Raised-Cosine 필터로 이때 롤 오프 계수 값은 0.1152이다. 이는 나이퀴스트 정리에 따라 ATSC의 심벌 레이트인 10.76Msymbol/sec의 신호는 $10.76\text{MHz}/2 = 5.38\text{MHz}$ 이상의 대역폭을 갖는 신호를 사용해 전송할 수 있고 이때 앞서 설명한 롤 오프 계수의 값이 0.1152로 나이퀴스트 최소 대역폭인 5.38MHz에 11.5%의 여유 대역폭인 620kHz를 합하여 한 채널당 6MHz의 대역폭을 사용할 수 있다는 의미이다. 이렇게 필터링을 거친 신호를 Digital to Analog Conversion과 Up Conversion 과정을 통해 실제 무선 신호로 송신하게 된다. 그림11은 표준에 맞춰 GNU Radio를 사용하여 구현한 ATSC 송신부가 표준에 맞게 동작함을 확인한 그림이다 [5].

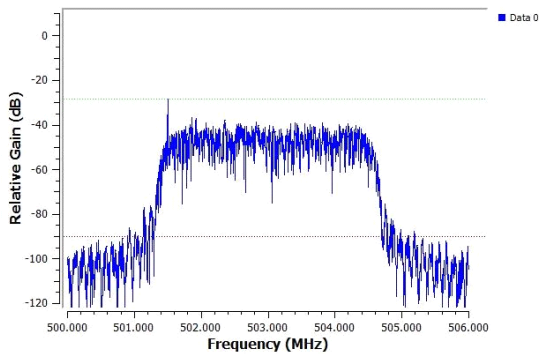


Fig. 11 ATSC transmitter waveform of GNU Radio

그림12는 GNU Radio를 통해 설계한 ATSC 송신부를 USRP를 사용해 실제 스펙트럼 계측기를 통해 신호를 확인한 파형이다. 이는 ATSC 표준과 같고 설계한 송신부가 제대로 동작함을 보여준다.

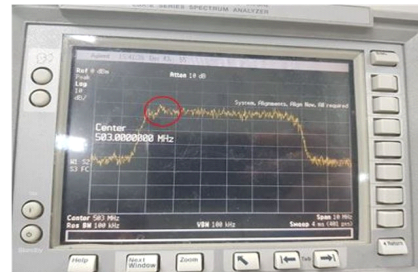


Fig. 12 Transmitter waveform of Spectrum Analyzer

3.4. ATSC의 수신부 설계 및 구현

다음으로 ATSC의 수신부를 구현한다. 수신부는 송신부와 다르게 정해진 표준이 아닌 가이드라인이 존재하는데, 앞서 GNU Radio를 통해 설계한 송신부와 같이 사용할 수신부의 가이드라인 [6]-[7]은 아래 그림과 같다 [8].

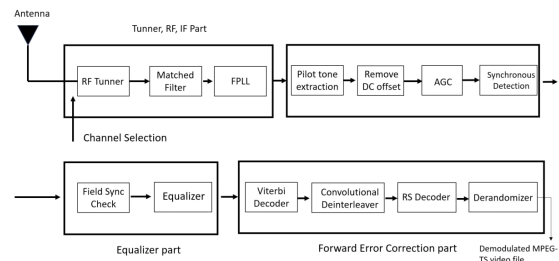


Fig. 13 Block diagram of ATSC receiver

ATSC 수신부는 송신부의 역순으로 진행되며, 수신부에서 중요한 기능을 하는 블록은 ‘등화기’와 ‘비터비 디코더’ 블록이다. 등화기는 송신부로부터 무선 채널을 거쳐 수신된 신호의 왜곡 등을 복구하기 위해 사용되며 본 연구에서 사용된 등화기의 설계 구조 및 알고리즘은 Feed forward transversal tapped filter 구조이고 실제 구현할 때는 ATSC A/53의 표준을 바탕으로 192개의 Tap으로 구성된 Feedback Filter와 64개의 Tap으로 구성된 Feed Forward filter로 구현하였다 [9]-[10]. 그림14는 기존의 방송 시스템과 제안하는 채널 적응형 방송 시스템의 성능을 비교한 그림이다.

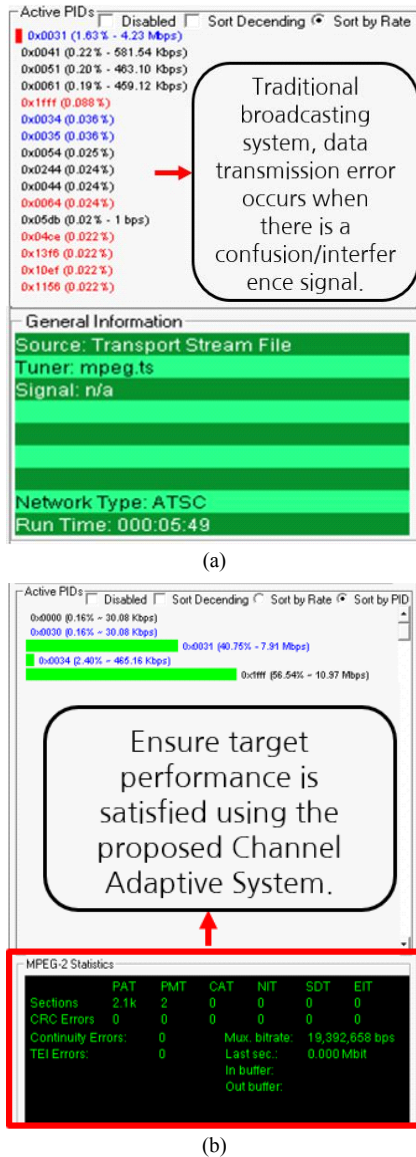


Fig. 14 System performance : (a) Traditional system, (b) Proposed Channel Adaptive system

그림14의 (a)에서 혼/간섭신호 대역 회피 동작 없이 데이터를 전송한 후, 그 결과를 전송했던 원본 영상 파일과 비교해 에러 비트가 발생함을 확인할 수 있다. 그림14의 (b)에서 혼/간섭 신호가 존재하는 대역을 회피하여 비어있는 대역으로 이동한 후 동일한 시험을 수행하여 에러 비트 없이 목표하는 ATSC 방송 표준인 19.39Mbps가 나온 것을 확인할 수 있다.

IV. 실험

실험 환경은 두 대의 USRP B205mini를 사용해 하나는 송신부 하나는 TV에 연결된 수신부로 구현하였고, 송신부에서 영상을 변조 후 전송하고 수신부에서 수신 후 복조하여 영상을 확인함으로써 설계한 개인방송시스템의 동작을 확인하였다.

그림15는 수신부에서 영상을 수신하고 정상도를 확인한 모습이다. 왼쪽 그림은 ATSC 8-VSB 방식에서의 표준 정상도이고, 오른쪽 그림은 수신부에서 GNU Radio를 사용해 영상을 복조하고 얻은 정상도이다. 8-VSB 방식은 총 8개의 심벌 레벨로 구성되므로 복소 평면에서 실수축에서 8개의 방향으로 이루어져 있고 본 연구에서는 표준과 같은 결과를 얻었음을 확인하였고 송신부에서 전송한 영상이 정상적으로 재생됨을 확인함으로써 구현한 시스템이 정상 동작함을 확인하였다.

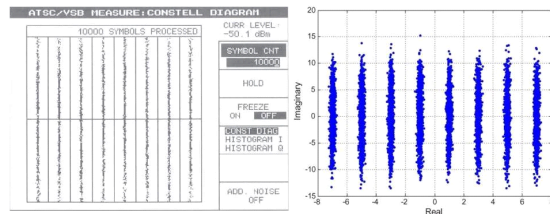


Fig. 15 ATSC standard constellation(left) and GNU Radio ATSC receiver(right)

그림16은 최종적으로 설계한 개인방송시스템을 사용하여, 비면허 주파수 대역에서 영상을 송수신한 후 수신부에서 정상도를 측정된 그림으로, 그림16의 (a)는 앞선 3.1절의 개선된 에너지 검출 방식 및 3.2절의 빔포밍을 사용하지 않고, 일반적인 상황에서의 정상도 및 이득을 나타내는 그림이다. 수신 이득은 19.3dB이고 정상도를 보면, 잡음 및 혼/간섭 신호에 의한 영향으로 간섭이 높아진 모습이며 그림16의 (b)는 본 논문에서 제안한 개선된 방식의 에너지 검출 및 빔포밍을 사용하여 혼/간섭 신호가 적은 채널로 이동 후 해당 방향으로 신호를 집중시켜 표2에서 얻은 빔포밍 안테나의 수신 이득인 25.9dB의 값을 얻었음을 확인한 모습이다. 이를 통해 기존 시스템보다 혼/간섭이 적은 신호의 정상도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

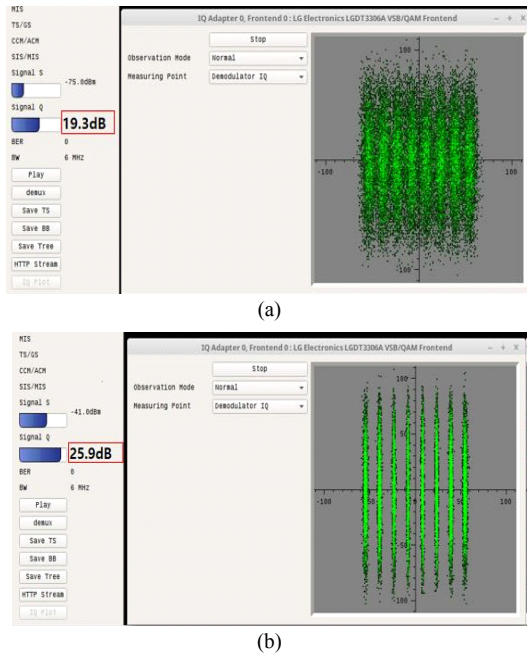


Fig. 16 (a) Constellation before use Beamforming, (b) After using Beamforming

V. 결 론

본 연구에서는 모바일 기기 등을 활용한 영상 시청 수요의 증가로 인한 기기 간 영상 전송 방법 중 IP 통신 기반의 비 면허 주파수 대역을 사용하는 기존 전송 표준의 한계인 다른 무선 기기들 간의 혼/간섭 신호 및 비효율적인 주파수 활용 문제를 해결하기 위해, 실시간으로 다른 사용자의 주파수 사용 여부 및 채널 상태 등을 파악할 수 있는 개선된 방식의 인지무선 기반 스펙트럼 검출 기법을 활용하였다. 이렇게 얻은 채널 정보를 사용자들끼리 통신하기 위한 XML-RPC 기반의 리턴채널과 통합하여 일련의 채널 적응형 통신 시스템을 구축하였다. 또한 페루프 능동위상배열안테나를 시스템의 운용 플랫폼인 USRP의 내부 FPGA를 수정 구현하여, 수신 감도가 떨어지는 사용자에게 실시간으로 빔포밍 기술을 적용, 사용자 간 간섭을 회피하여 높은 신뢰도의 통신 품질을 확보하였다. 끝으로 본 시스템은 기존의 개인영상전송시스템의 한계를 ATSC 등의 기 방송표준 자원으로 대체하여, 4K 등의 초고화질 영상을 다수의 사용

자에게, 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하면서도 안정적으로 전송하는 개인방송시스템으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science and ICT(No. 2021M1B3A3102357) and by the Research Grant of Kwangwoon University in 2019.

REFERENCES

- [1] Y. B. Ryu, H. Lee, J. Y. Kim, C. M. Park, Y. G. Ji, and H. J. Oh, "Implementation of Digital Broadcasting Modulation and Demodulation system using Software-Defined Radio," in *Conference of the Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, Jeju Island, South Korea, pp. 474-478, Jul. 2020.
- [2] U. Salama, P. L. Saker, A. Chakrabarty, "Enhanced Energy Detection using Matched Filter for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks," in *2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)*, Kitakyushu, Japan, pp. 185-190, 2018. DOI:10.1109/ICIEV.2018.8641079
- [3] A. Silberschatz, P. B. Galvin, and G. Gagne, *Operating System Concepts*, 9th ed John Wiley & Sons, 2013.
- [4] J. -T. Park, "Design of RS Encoder/Decoder using Modified Euclid algorithm," *Korea Institute of information and Communication Engineering*, vol. 8, no. 7, pp. 1506-1511, Nov. 2004.
- [5] ATSC Digital Television Standard Part2: *RF/Transmission System Characteristics*, Washington, D.C. 2011.
- [6] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Los Angeles, CA: Prentice-Hall, 2001.
- [7] K. C. Lee, *Digital television transmission technology*, 2nd ed. Seoul: Ro tech, 2017.
- [8] ATSC Recommended Practice: *Receiver Performance Guidelines*, Washington, D.C. 2004.
- [9] S. W. Yoo, Y. G. Ji, H. -W. Cho, C. H. Han, M. H. Seo, and H. J. Oh "Performance of Equalization in Narrowband

Multiple Transmission Communication Systems,” *Korea Institute of information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 5, pp. 623-629, May. 2020. DOI:<https://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.5.623>

- [10] Y. B. Ryu, J. Heo, J. H. Son, M. G. Choi, and H. J. Oh, “A Compensation Scheme of Frequency Selective IQ Mismatch for Radar Systems,” *Korea Institute of information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 4, pp. 565-571, Apr. 2021. DOI:<https://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.4.565>



유신우(Sinwoo Yoo)

2010년 3월: 광운대학교 전자통신공학과 공학석사
2020년 8월: 광운대학교 전자통신공학과 공학박사 수료

※관심분야: 빔포밍, 신호 처리, 인공지능



오혁준(Hyukjun Oh)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사
1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1999년 9월 ~ 2000년 12월: 미국 Stanford University 박사후과정
2001년 1월 ~ 2004년 8월: 미국 퀄컴 QCT 3GPP 사업부
2004년 3월 ~ 현재: 광운대학교 전자통신공학과 교수

※관심분야: 통신신호처리, VLSI 신호처리, 인공지능데이터신호처리