

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제23권 제5호, 2018년 9월 (JBE Vol. 23, No. 5, September 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.5.693>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

범 형성을 적용한 2.4GHz 대역 중장거리 영상 전송 무선 기술

백 정 훈^{a)†}, 김 남 호^{b)}, 지 민 기^{b)}

Medium to Long Range Wireless Video Transmission Scheme in 2.4GHz Band with Beamforming

Junghoon Paik^{a)†}, Namho Kim^{b)}, and Minki Jee^{b)}

요 약

본 논문에서는 2.4GHz 대역의 무선 환경에서 수십 km 이상의 중장거리 통신이 가능하도록 다중 안테나를 활용한 범 형성(Beamforming) 방식 기반의 영상신호 전송 방식을 제안한다. 제안한 방식을 적용하여 3.6km 유타 전송거리에서 4X5dBi의 안테나 사용과 16dBm의 송신파워를 통해 -77dBm의 수신 전계 강도와 약 32Mbps의 데이터 전송속도가 달성됨을 확인한다. 또한, 20km 장거리 유타 전송에서도 4X5dBi 무지향성 안테나를 사용하여 10~12Mbps의 전송률이 달성됨을 확인한다.

Abstract

In this paper, we propose a wireless video transmission scheme, providing medium and long range communication in the 2.4GHz band with beamforming. With this scheme, it is shown that the transmission rate of 32Mbps and received signal power of -77dBm is achieved with 4 antennas of 5dBi and 16dBm transmit power at each antenna connection for the distance of 3.6km. The scheme also provides transmission distance of 20km for 10~12Mbps with the 4 omni-directional antennas of 5dBi.

Keyword : wireless video transmission, medium and long communication distance, beamforming, modulation and coding scheme

a) 동아방송예술대학교 방송기술계열(Department of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts)

b) (주)위즈노바(Wiznova)

† Corresponding Author : 백정훈(Junghoon Paik)

E-mail: jhpaik@daum.net

Tel: +82-31-670-6734

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>

Manuscript received August 3, 2018; Revised September 10, 2018;
Accepted September 10, 2018.

I. 서 론

중장거리용 실외 무선 통신을 어렵게 하는 요인으로는 전송 거리에 따른 신호의 감쇠, 무선 통신 채널상의 구조물로 인한 전파 전달의 다중 신호 경로에 의한 신호간 간섭, 그리고 채널상의 움직이는 물체로 인한 채널 특성의 동적

변화 등이 있다^[1].

이러한 통신 환경 하에서 중장거리 실외 무선 통신이 가능하기 위해서는 다중 신호 경로에 의한 신호간 간섭을 제어하기 위한 기술과 채널 특성의 동적 변화에도 불구하고 통신의 신뢰도를 높이기 위한 신호 수신 알고리듬의 개발, 그리고 거리에 따른 신호 감쇠를 만회하기 위한 범 형성 기술 등이 개발되어야 한다^{[2]-[3]}.

실외 중장거리 무선 통신을 위하여 현재 적용되고 있는 기술로는 WiFi, LTE(Long Term Evolution) 등의 셀룰러(cellular), ATSC(Advanced Television System Committee)나 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) 등의 디지털 지상파 방송 기술 등이 있다. WiFi는 육외 중장거리 사용에 있어서 다중 신호 경로로 인한 신호 간 간섭에 취약성이 존재하고, 가변 채널 환경에 대한 대응 기능이 제한적이어서 전송거리 및 속도의 성능 측면에서 한계성이 존재한다^{[4]-[6]}. 셀룰러 및 방송 기술은 기지국 설치 등 서비스 제공에 요구되는 인프라 구축 규모 등이 거대해지는 측면과 상향과 하향의 비대칭적인 서비스 제공방식으로 인하여 양 방향의 무선 통신 서비스에 적용하기에는 제한이 따른다^[7].

이러한 무선 기술의 현황과 무선 서비스에 대한 시장 수요가 동영상 기반으로 급속히 변화하고 있는 점을 주목하면 셀룰러 및 지상파 방송과 같이 대규모의 설비가 요구되지 않으면서도 WiFi 보다 전송거리가 증대되면서 대칭적인 양방향 통신이 가능한 중장거리 무선 영상통신 기술의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 이러한 기능을 제공하는 무선 영상통신 기술을 개발하기 위하여 2.4GHz 대역에서 네 개의 안테나

를 이용한 범 형성 기능을 특징으로 하는 영상전송 방식을 제안하고 무선모뎀을 제작하여 실험을 통해 해당 대역에서 달성을 수 있는 최대 전송률 및 전송거리를 제시한다.

본 논문의 구성은 II장에서 중장거리 무선 영상 전송 방식을 제시하고, III장에서는 실험을 통해 측정된 송수신 신호 형식을 나타낸다. IV장에서는 제안한 방식을 통해 달성되는 전송거리와 전송속도에 관한 성능을 제시하고 V장에서 결론을 기술한다.

II. 중장거리 무선 영상 전송 방식

1. 모델 구조

본 연구를 통해 제작된 2.4GHz 대역의 중장거리용 무선모뎀의 구조는 그림 1과 같다. 제작된 무선모뎀은 범 형성 제어 기능 및 2.4GHz 무선 신호의 송수신 기능에 대한 자체 규격을 수립하여 FPGA를 통해 구현한 것을 특징으로 한다.

무선모뎀은 이더넷(Ethernet)의 MAC(Medium Access Control) 계층과 물리(Physical) 계층의 기능을 구현하는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 보드와 범 형성 및 변조 기능을 수행하는 RF(Radio Frequency) 보드로 구성된다.

그림 1의 Ethernet PHY와 Ethernet MAC은 각각 이더넷의 물리계층과 MAC계층의 기능을 수행하며 Ethernet MAC은 Ethernet PHY에서 수신한 데이터를 메모리에 저장하고, 메모리에 저장된 데이터를 Ethernet PHY로 송신하는 기능을 수행한다. DMA(Direct Memory Access)는

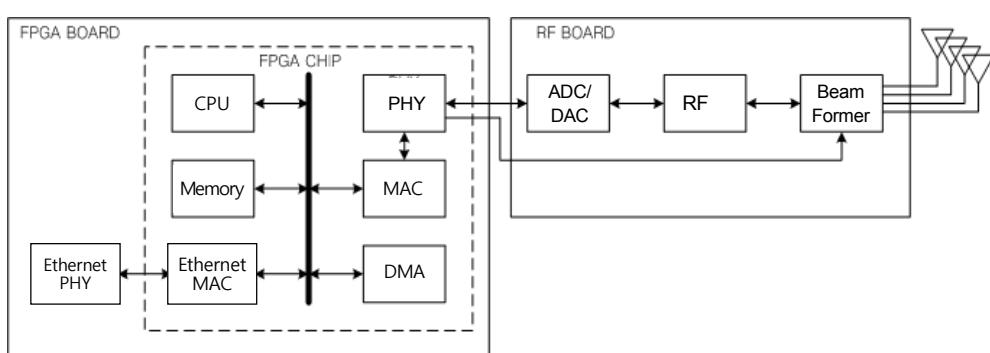


그림 1. 2.4GHz 무선모뎀 블록도
Fig. 1. Block Diagram of 2.4GHz Wireless Modem

Ethernet MAC으로부터 메모리로 데이터를 전달하거나 메모리에서 Ethernet MAC으로 데이터를 전달하는데 활용된다.

Beam Former는 급변하는 무선채널 환경 하에서 최적의 신호 방향을 찾아내어 주변의 간섭 영향을 최소화하는 동시에 상대방에 도달되는 신호의 크기를 최대화하여 전송거리를 증대하고 전송품질을 제고하는 기능을 수행한다.

그림 2는 네 개의 안테나를 활용하여 범 형성 기능을 구현한 2.4GHz대역 중장거리 무선모뎀을 나타낸다.



그림 2. 2.4GHz 무선모뎀
 Fig. 2. 2.4GHz Wireless Modem

1.1 송신부 구조

송신부의 구성은 그림 3과 같다. 송신할 MAC 계층 데이터는 Scrambler에서 난수화(Randomize)된 후 수신측에서의 오류 정정을 위하여 Convolutional encoder와 Interleaver를 거친다. Mapper는 입력 비트열을 부반송파 변조 방식에 따라 변조 신호 열로 변환한다. IFFT(Inverse Fast Fourier Transformer)는 다수개의 부반송파를 동시에 변조하며 CP insert는 다중 채널 응답으로 인한 심볼 간 간섭을 줄이기



그림 3. 모뎀 송신부 구조
 Fig. 3. Structure of Modem Transmit Part

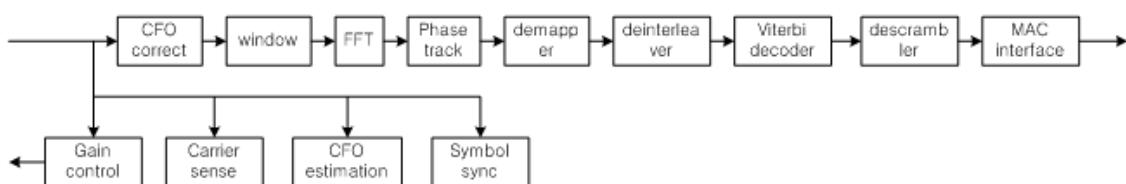


그림 4. 모뎀 수신부 구조
 Fig. 4. Structure of Modem Receive Part

위하여 각 심볼 앞에 cycle prefix를 추가한다.

1.2 수신부 구조

그림 4는 수신부 구조를 나타낸다. 수신 신호의 도착은 Carrier sense 블록에서 판단한다. 수신 신호가 도착하면 Gain control 블록은 신호의 크기를 회로에서 처리할 수 있는 크기 범위로 조절하는 자동 이득 조절을 수행된다. CFO (Carrier Frequency Offset) estimation 블록과 CFO correct 블록은 각각 송수신기 사이의 캐리어 주파수 오차를 추정하고 보정한다. Symbol sync 블록은 수신되는 심볼의 위치를 검출하고, Window 블록은 이를 기준으로 FFT(Fast Fourier Transformer)에 대한 입력 신호의 위치를 정한다. 다수개의 부반송파의 복조는 FFT를 이용하여 수행한다. Phase track 블록은 복조된 파일럿(pilot) 신호를 이용하여 송수신기 사이의 캐리어 위상 차이 및 샘플링 위상 오차를 추정하고 보정한다. Demapper는 각 부반송파의 복조 신호로부터 수신된 비트의 신뢰도를 계산하고, Deinterleaver는 계산된 신뢰도 값을 이용하여 본래의 비트 순서로 재배열한다. Viterbi decoder 블록은 비트 신뢰도 값을 이용하여 오류정정을 수행하고, Descrambler 블록은 송신기에서 난수화된 비트를 원래의 비트열로 변환하고 이것을 MAC계층으로 전달한다.

1.3. 범 형성

범 형성을 위한 구조는 그림 5와 같다. 네 개의 안테나는 무선 송수신 신호를 방사 또는 검출하기 위하여 사용되며, 각 안테나의 위상은 독립적으로 제어된다. 각 안테나 위상의 설정은 수신 신호로부터 위상에 관한 정보를 검출하고

결과를 송신부에 전달하여 결정한다.

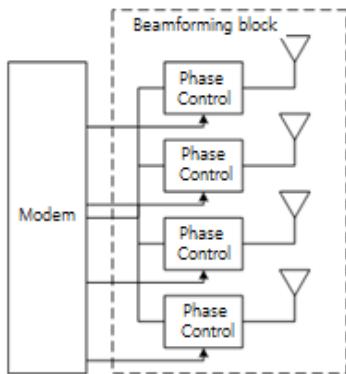


그림 5. 빔 형성 구조

Fig. 5. Structure of Beam-forming Part

두 모뎀 사이의 빔 형성 과정은 그림 6과 같다.

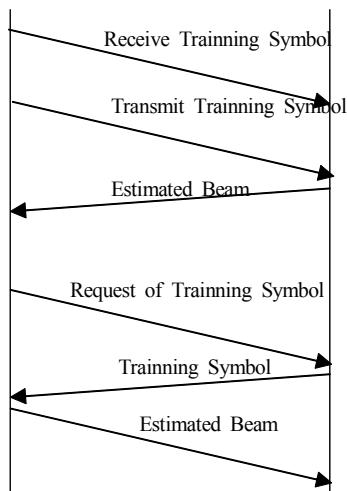


그림 6. 빔 형성 과정

Fig. 6. Beam-forming Process

한쪽의 모뎀이 수신 빔 훈련 심볼을 보내면 이를 수신한 모뎀은 수신 빔 훈련을 수행하고 그 결과를 이후의 신호 수신시 사용한다. 송신 빔 훈련 심볼을 수신한 모뎀은 가장 수신 특성이 우수한 빔을 판별하여 그 결과를 다음 패킷 송신시에 상대측 모뎀에게 알린다. 송신 또는 수신 훈련 심볼을 송신하는 모뎀은 상대측 모뎀에게 훈련 심볼의 송신을 요청할 수 있으며 이 요청을 수신한 모뎀은 다음 패킷 송신 시에 빔 훈련 심볼을 함께 송신한다. 빔 훈련 심볼을 수신한 모뎀은 우수한 빔을 판별하여 이를 상대측 모뎀에 알린다.

III. 송수신 신호

1. 송신 신호

그림 7은 송신기의 안테나 단자에서 측정한 송신 신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 캐리어 주파수는 2.412GHz이고 대역폭은 20MHz이다.

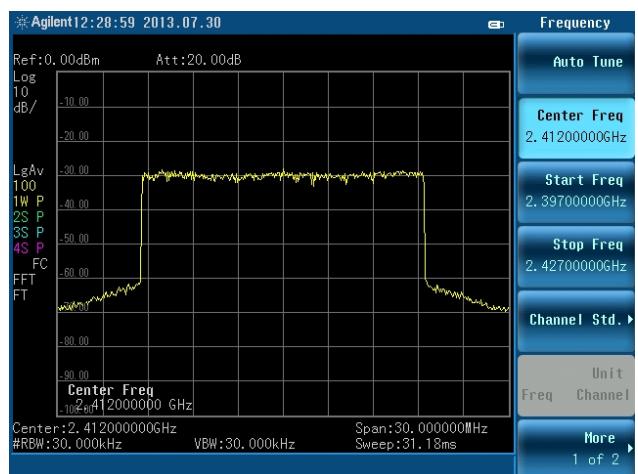


그림 7. 송신 신호 주파수 스펙트럼

Fig. 7. Frequency Spectrum of Transmit Signal

2. 수신신호

표 1은 수신 신호의 오류벡터크기(Error vector magnitude)를 수신부의 Phase track 블록의 출력 단에서 채널 추정 값과 현재 심볼의 신호를 파일로 출력하여 계산된 값을 나타낸다.

표 1. 수신신호의 오류벡터크기

Table 1. Error vector magnitude of receive signal

Modulation	EVM (dB)
QPSK	-20.08
16QAM	-22.6
64QAM	-23.08

그림 8은 64QAM 복조 신호의 주파수에 따른 오류벡터크기를 나타낸다.

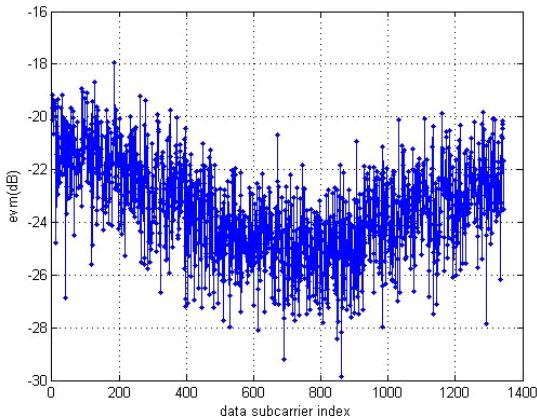


그림 8. 64QAM 복조신호의 EVM
 Fig. 8. EVM of 64QAM Demodulated Signal

그림 9는 64QAM 복조 신호의 성상도를 나타낸다.

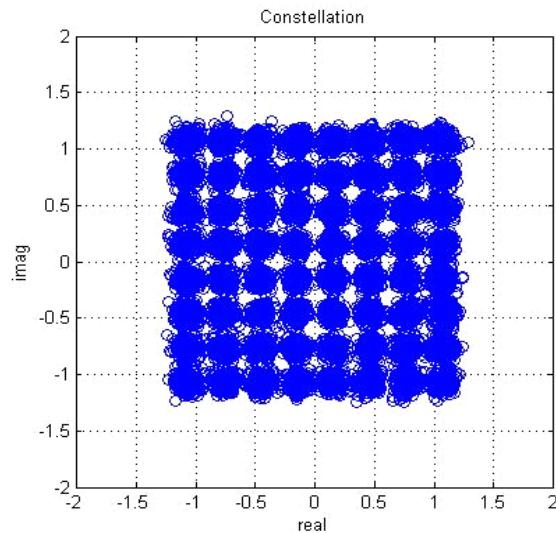


그림 9. 64QAM 복조신호의 성상도
 Fig. 9. Constellation of 64QAM Demodulated Signal

3. 범 형성

그림 10은 송신 안테나의 범을 변화 시키면서 관찰된 수신기에서의 기저 대역 신호의 크기를 보여준다. 신호A와 신호B는 각각 수신기의 기저대역 신호와 송신기의 기저 대역 신호를 나타내고 신호A와 신호B 사이의 신호는 송신기의 범 제어 신호를 의미한다. 범 훈련 신호에 앞서 송신되는 신호는 범 제어 신호 00h이고, 첫 번째 범 훈련 신호의 범

제어 신호는 0Ch이고, 두 번째 범 훈련 신호의 범 제어 신호는 18h 등이다. 범 제어 신호 20h의 경우 수신 신호의 크기가 매우 작은 반면에 범 제어 신호 00h에서 수신 신호가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 즉 송신 신호의 범 방향에 따라 수신신호의 크기가 변하는 것을 확인할 수 있다.

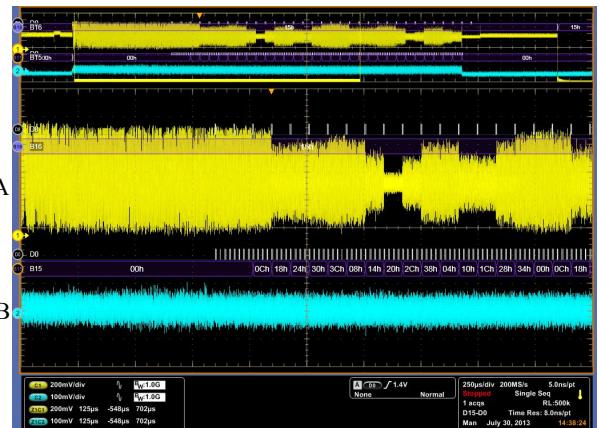


그림 10. 송신 범 형성
 Fig. 10. Transmit Beam Forming

수신기의 범 제어 신호를 변화 시키면서 관찰한 기저 대역에서의 수신 신호의 크기는 그림 11과 같다. 수신 신호와 송신 신호는 각각 신호A와 신호B로 표시되며 수신기의 범 제어 신호는 수신신호 상위에 겹쳐진 형태로 표시된다. 수신기는 네 개의 안테나를 사용하여 범 형성을 시도하고, 송신기는 하나의 안테나를 사용함으로서 범 형성을 사용하지 않는다. 수신기의 범 방향에 따라 수신된 신호의 크기가 변

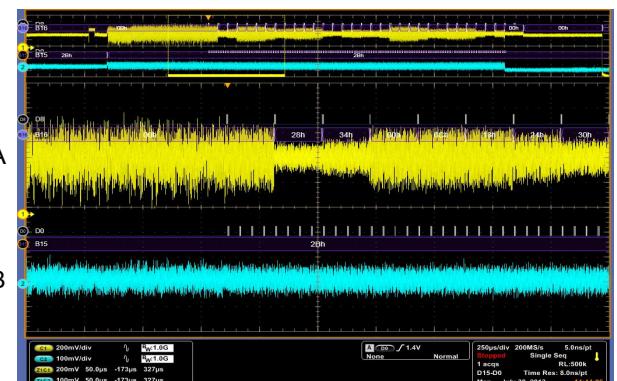


그림 11. 수신 범 형성
 Fig. 11. Receive Beam Forming

하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 전송속도 및 전송거리 성능

그림 12는 제안된 영상통신 방식의 실외 통신 거리 성능을 측정하기 위하여 팔당호에 설치한 3.6km 전송거리의 실험환경을 나타낸다. 네 개의 5dBi 안테나를 사용하고 송출파워는 각 안테나 단자에서 16dBm이다.



그림 12. 3.6km 실외 전송 시험
Fig. 12. 3.6km Outdoor Transmission Test

그림 13은 3.6km 전송거리에서 달성되는 전송속도를 나타낸다. 31.7Mbps 수준의 전송 속도가 큰 변동 없이 제공됨을 확인할 수 있다.

그림 14는 20km 장거리 시험환경을 나타낸다. 송수신 안테나 모두 4X5dBi 옴니(omni) 타입을 적용한다.

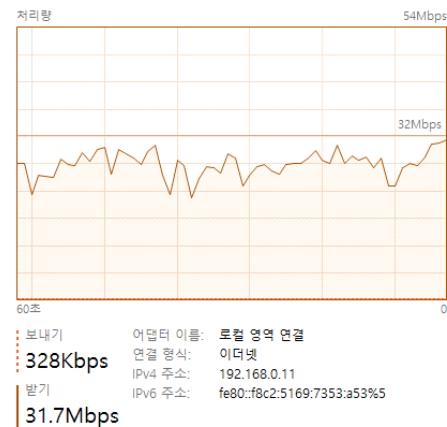


그림 13. 3.6km 전송거리에 대한 전송속도
Fig. 13. Transmission rate for transmit distance of 3.6km

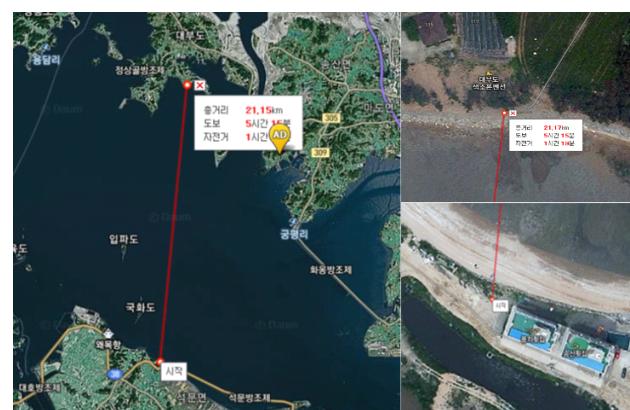


그림 14. 20km 실외 전송 시험
Fig. 14. 20km Outdoor Transmission Test

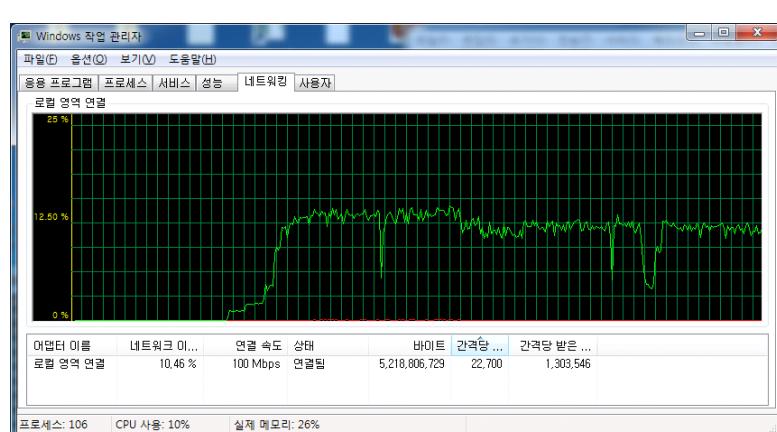


그림 15. 20km 전송거리에 대한 전송속도
Fig. 15. Transmission rate for transmit distance of 20km

그림 15는 20km 장거리 전송 시험 결과이다. 10~12 Mbps의 전송속도가 달성됨을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 전송거리에 따른 신호감쇄를 억제하기 위하여 다중 안테나를 활용한 범 형성 기술을 적용하여 2.4GHz 대역에서 중장거리 통신거리를 제공하면서 영상 데이터의 손실률을 저하시키는 무선 영상전송 방식을 제안하고 하드웨어를 개발하여 무선 전송 거리에 대한 성능을 검증하였다.

성능 검증을 통하여 제안된 방식은 3.6km 육외 전송거리에서 $4 \times 5\text{dBi}$ 의 안테나 사용과 16dBm의 송신파워를 통해 -77dBm의 수신 전계 강도와 약 32Mbps의 데이터 전송속도가 달성됨을 확인하였다. 또한, 20km 장거리 육외 전송에서도 $4 \times 5\text{dBi}$ 무지향성 안테나를 사용하여 10~12Mbps의 전송률이 달성됨을 확인하였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Myung Chul Park and Dong Seog Han, "Analysis of Spatial Modulation MIMO Reception Performance for UHDTV Broadcasting," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.20, No.6, pp.837-847, Nov. 2015.
- [2] Bong Gyun Jo and Dong Seog Han, "Performance Analysis and Design of MIMO Systems for Terrestrial Transmission of UHDTV," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.15, No.4, pp.547-554, Nov. 2010.
- [3] Woon Hyun Lee, Jeongchang Kim, Sung Ik Park, and Namho Hur, "Study on 2×2 MIMO Detection in ATSC 3.0 Systems," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol.22, No.6, pp.755-764, Dec. 2017.
- [4] Kenneth Wyatt, *Wi-Fi network interference, analysis, and optimization*, EDN NETWORK, Feb. 2015, <https://www.edn.com/electronics-blogs/the-emc-blog/4438663/Wi-Fi-network-interference--analysis--and-optimization>
- [5] Zhiyuan Weng, Philip V. Orlit, and Kyeong Jim Kim, "Classification of Wireless Interference on 2.4GHz Spectrum," *Proceedings of 2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC)*, Istanbul, Turkey, pp.786-791, April 2014.
- [6] Iwona Dolińska, Mariusz Jakubowski, and Antoni Masiukiewicz, "Interference comparison in Wi-Fi 2.4 GHz and 5 GHz bands", *2017 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, pp.106-112, July 2017.
- [7] Victor M. Dionisio and Cristiano Akamine, "Comparision of Terrestrial DTV Systems: ISDB-T and ATSC3.0," *Set International Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 3, Article 1, pp.8-14, 2017.

저 자 소 개

백 정 훈

- 2002년 9월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술계열 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2022-1487>
- 주관심분야 : 방송네트워크 기능 고도화 및 성능분석



김 남 호

- 2000년 7월 ~ 현재 : (주)위즈노바 차장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0727-5969>
- 주관심분야 : Hardware Design



저자소개



지민기

- 2011년 1월 ~ 현재 : (주)위즈노바 주임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-3237-0933>
- 주관심분야 : MAC(Media Access Control)