계층별 전력 수준에 따른 3 계층 LDM-MIMO 시스템의 중간 계층 BER 성능 분석

권순영, 김호재, 배재휘*, 허남호*, 김형남©
부산대학교, 한국전자통신연구원*

hnkim@pusan.ac.kr©

Middle-Layer BER Performance Analysis of Three-Layer LDM-MIMO System according to Injection Level

Soon-Young Kwon, Ho Jae Kim, JaeHwui Bae*, Namho Hur*, Hyoung-Nam Kim©
Pusan National Univ., ETRI*

요 약

북미의 차세대 디지털 방송시스템 표준인 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 3.0 시스템의 핵심 기술인 계층 분할 다중화(Layered Division Multiplexing, LDM) 전송 방식은 단일 RF (Radio Frequency) 채널에서 다수의 서비스 플랫폼을 전송하는 방식이다. 또한, ATSC 3.0 시스템의 부가 선택지로 사용되는 2×2 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 전송 방식은 다수의 안테나를 사용하여 전송 용량을 증가시킨다. ATSC 3.0 시스템에는 2 계층 LDM 시스템이 물리계층 표준으로 채택되어 있지만, IoT (Internet of Things), 자율 주행 등과 같은 미래 기술 발전에 따라 추가적인 전송 용량 확보가 필요할 것으로 예상된다. 이에 본 논문은 제한된 주파수 자원에서 효율적인 전송 용량 확보를 위해 3 계층 LDM-MIMO 시스템에 대한 연구를 진행하며, 그 중 전력 수준과 파일럿 배치 및 채널 보간 방법에 의해 달라지는 중간 계층의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석한다. 모의실험 결과 3 계층 LDM-MIMO 시스템의 중간 계층 BER 성능은 파일럿 배치 및 채널 보간 방법에 따라 WH (Walsh-Hadamard)-Linear, NP (Null Pilot)-Linear, WH-DFT (Discrete Fourier Transform), NP-DFT 순서로 우수한 성능을 보였다. α_1이 상위 계층과 중간 계층의 전력 차이, α_2가 중간 계층과 하위 계층의 전력 차이라고 할 때, α_1, α_2가 각각 3dB, 2dB 인 경우 NP-DFT 의 신호가 복구되지 않았지만, α_1, α_2가 각각 2dB, 2dB 인 경우 NP-DFT 신호가 정상적으로 복구되는 것을 확인하였다.

Ⅰ. 서 론

최근 초고품질 서비스를 제공하는 디지털 방송에 대한 관심이 높아지면서, 지상파 8K-UHD (8K Ultra-High Definition) 방송에 대한 관심도 자연스럽게 높아지고 있다[1]. 우리나라와 북미에서는 이러한 흐름에 맞추어, 고정수신 UHD 방송과 이동수신 HD 방송이 동시에 서비스 가능한 북미의 차세대 지상파 방송 표준인 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 3.0 시스템을 제정하였다[2]. ATSC 3.0 시스템은 기존의 ATSC 1.0 시스템보다 최소 30% 더 높은 전송용량을 제공하며, 2 세대 디지털 방송 표준인 유럽의 DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial)보다 더 향상된 성능 및 효율적인 서비스 제공을 목표로 한다[2].

계층 분할 다중화 (Layered Division Multiplexing, LDM) 전송 방식은 여러 개의 방송 스트림을 하나의 RF (Radio Frequency) 채널에 보내기 위한 다중화 방식이며, ATSC 3.0 시스템의 물리계층 표준으로 채택되어 있다. LDM 은 시간 자원이나 주파수 자원을 나누어 사용하는 기존의 TDM (Time Division Multiplexing), FDM (Frequency Division Multiplexing)과는 달리 신호의 전력만을 나누어 사용하기 때문에 전송 효율이 높은 시스템이다[3]. ATSC 3.0 표준에는 2 계층 LDM 이 물리계층 표준으로 채택되어 있지만, IoT (Internet of Things), 자율 주행 등의 미래 기술 발전에 따라 추가적인 전송 용량 확보가 필요할 것으로 예상되며, 한정된 주파수 자원을 더욱 효율적으로 사용하기 위해서는 3 계층 이상의 다계층 LDM 시스템에 대한 연구가 필요하다[4].

또한 ATSC 3.0 시스템에는 부가 선택지로 다수의 안테나를 사용하는 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술이 채택되어 있다. 이러한 MIMO 시스템과 3 계층 LDM 시스템을 결합하여 3 계층 LDM-MIMO 시스템을 구축할 경우, 기존의 단일 시스템보다 더욱 향상된 전송 용량을 얻을 수 있다[6].

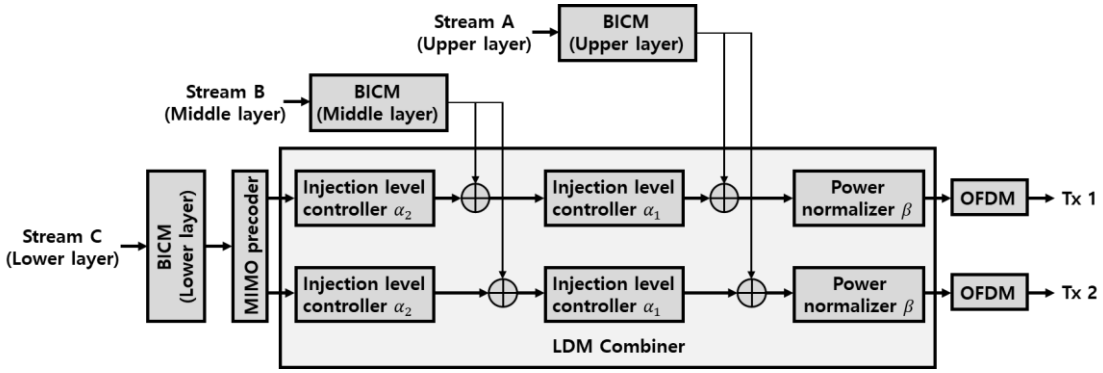

그림 1. 3 계층 LDM-MIMO 송신 시스템 블록도.

그러나 3 계층 LDM-MIMO 시스템을 구축할 경우 2 계층 LDM 시스템과 같은 전력을 더 많은 계층으로 분할하기 때문에, 계층별 전력 수준이 각 계층의 수신 성능에 더 큰 영향을 준다. 특히, 중간 계층의 경우 다른 계층보다 계층별 전력에 따른 수신 성능이 가장 민감하다. 본 논문은 3 계층 LDM-MIMO 시스템에 도플러 주파수가 존재하는 TU-6 채널을 적용한 후, 전력 수준과 파일럿 배치 및 채널 보간 방법에 따라 달라지는 중간 계층의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석한다.

Ⅱ. 3 계층 LDM-MIMO 시스템

2 개의 송신 안테나와 2 개의 수신 안테나를 사용하는 2×2 MIMO 시스템은, SISO (Single Input Single Output) 시스템보다 전송 용량이 크게 향상된 시스템이다. 그림 1 은 3 계층 LDM-MIMO 시스템의 송신 블록도를 나타낸다. 그림 1 의 injection level controller 는 각 계층의 전력 수준을 결정한다. 상위 계층(Upper Layer)의 전력이 중간 계층(Middle Layer)의 전력보다 α_1 dB 높게 결정되고, 중간 계층의 전력이 하위 계층의 전력보다 α_2 dB 높게 결정된다. 만들어진 LDM 신호의 전력은 power normalizer 에 의해 정규화되어 전송된다.

2×2 MIMO 시스템은 2 개의 신호 극을 서로 다르게 고정하여 전송하기 때문에 수신 안테나도 고정되어 있어야 전송 용량이 효율적으로 향상된다[5]. 상위 계층과 중간 계층은 전송 용량이 하위 계층에 비하여 낮으므로, 이동 수신 서비스를 목표로 한다. 이동 수신의 경우 파형의 극을 고정하기 어려우므로, 상위 계층과 중간 계층은 MISO 시스템을 적용한다. 하위 계층(Lower Layer)은 상위 계층과 중간 계층에 비해 전송 용량이 높으므로 고정 수신 서비스를 목표로 하며, MIMO 시스템을 적용할 수 있다.

SISO 시스템은 신호를 복구하기 위해 하나의 채널만 추정하면 되지만, 2×2 MIMO 시스템의 경우 4 개의 채널을 모두 추정해야 한다. 4 개의 채널을 모두 추정하기 위한 파일럿 배치는 WH (Walsh-Hadamard) 배치와 NP (Null Pilot) 배치가 있다[7]. 파일럿 위치의 채널을 추정한 후 데이터 위치의 채널을 추정해야 하며, 추정 방법으로는 선형(Linear) 보간 방법과 DFT (Discrete Fourier Transform) 보간 방법이 있다. 2 개의 파일럿 배치 방법과 2 개의 채널 보간 방법을 이용하면, 4 개의 파일럿 배치 방법과 채널 보간 방법의 조합이 결정된다.

Ⅲ. 모의실험

모의실험은 2 가지 전력 수준과 4 가지 파일럿 배치 방법 및 채널 보간 방법에 따른 중간 계층의 BER 성능을 분석하였다. 중간 계층은 이동 수신 서비스를 목표로 하기 때문에 도플러 주파수가 존재하는 TU-6 채널을 가정하였다. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호의 FFT 크기는 8K, 보호 구간의 길이는 FFT 크기의 1/16 로 설정하였다. 상위 계층의 코드율과 변조 차수는 2/15 와 4QAM (Quadrature Amplitude Modulation)으로 설정하였고, 중간 계층은 1/4 과 4QAM, 하위 계층은 2/3 와 64QAM 으로 설정하였다. 교차 편파 분리도는 6dB 를 사용하였고, 중심 주파수 600MHz, 수신기 속도를 100km/h 로 가정하여 최대 도플러 주파수를 55.5Hz 로 설정하였다.

그림 2 는 α_1, α_2가 각각 3dB, 2dB 인 경우의 모의실험 결과이다. 수신기의 이동속도가 100km/h 인 상황에서는 WH-Linear 의 요구 SNR (Signal to Noise Ratio)이 약 10.5 dB 로 성능이 가장 우수하였다. 그 다음으로 NP-Linear, WH-DFT, NP-DFT 순서로 성능이 우수하였다. 하지만 NP-DFT 의 경우 신호의 복구가 되지 않았다.

그림 3 은 NP-DFT 의 신호 복구를 가능하게 하기 위해서 중간 계층의 전력을 증가시킨 경우의 모의실험 결과이다. 중간 계층의 전력을 증가시키기 위해 α_1, α_2를 각각 2dB, 2dB 로 설정하였다. 중간 계층의 전력이 증가했기 때문에 전체적인 BER 성능이 약 2~3dB 향상되었고 NP-DFT 의 신호가 정상적으로 복구되는 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 제한된 주파수 자원에서 효율적인 전송 용량 확보를 위해 3 계층 LDM-MIMO 시스템을 구성할 경우, 전력 수준과 파일럿 배치 및 채널 보간 방법에 의해 달라지는 중간 계층의 BER 성능을 분석하였다. 파일럿 배치 및 채널 보간 방법에 따른 모의실험 결과 WH-Linear, NP-Linear, WH-DFT, NP-DFT 순서로 우수한 성능을 보였다. 전력 수준에 따른 모의실험 결과 α_1, α_2 가 각각 3dB, 2dB 인 경우, 중간 계층의 전력이 낮기 때문에 NP-DFT 의 신호가 복구되지 않았다. α_1, α_2를 각각 2dB, 2dB 로 설정하여 중간 계층의 전력을 높인 경우 WH-Linear, NP-Linear, WH-DFT, NP-DFT 모두 신호가 정상적으로 복구됨을 확인하였다.

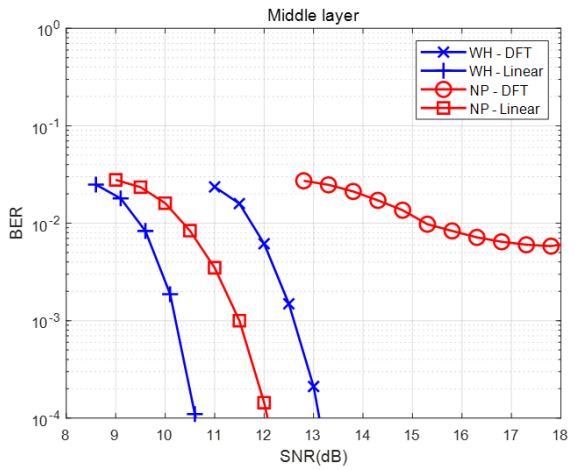

그림 3. 중간 계층의 BER 그래프. ($\alpha_1 = 3, \alpha_2 = 2$)

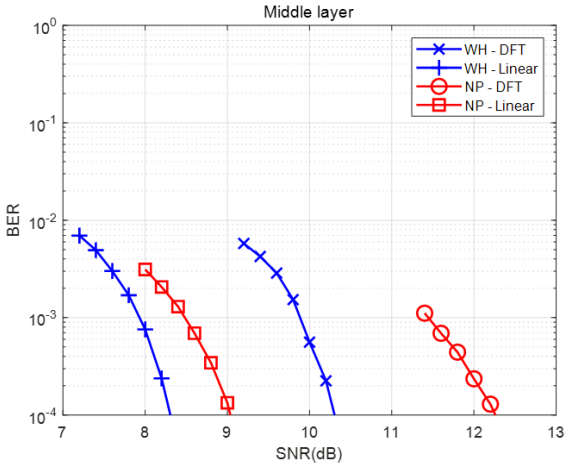

그림 3. 중간 계층의 BER 그래프. ($\alpha_1 = 2, \alpha_2 = 2$)

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행된 연구임 [2017-0-00081, 초고품질 UHD(UHQ) 전송기술 개발]

참 고 문 헌

[1] 권선형, 박성익, 이재영, 임보미, 김홍묵, “ATSC 3.0 물리계층 표준기술,” 방송과 미디어(한국방송 미디어 공학회), vol. 20, no.4, pp.17-27, 2015 년 10 월.

[2] ATSC Standard: Physical Layer Protocol (A/322), ATSC (Advanced Television Systems Committee, Jun. 2017.

[3] Y. Wu, B. Rong, K. Salesian, and G. Gagnon, “Cloud transmission: A new spectrum-reuse friendly digital terrestrial broadcasting transmission system”, IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 58, no.3, pp. 329-337, Sep. 2012.

[4] Soon-Young Kwon, Ho Jae Kim, Hyoung-Nam Kim, JaeHwui Bae, YoungSu Kim, Namho Hur, "Performance analysis on three-layered division multiplexing transmission," in Proc.International Conference on Electronics, Information and Communication (ICEIC) 2019, Auckland, New Zealand, Jan. 2019, pp. 1135-1138.

[5] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung G. Kang, “MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB,” John Wiley & Sons, 2010.

[6] 김호재, 권순영, 배재휘, 허남호, 김형남, “3 계층 LDM-MIMO 시스템의 파일럿 배치에 따른 채널 추정 성능 분석,” 2019 년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 제주, 2019 년 6 월, pp. 711-713.

[7] Takuya Shitomi , Eduardo Garro , Kenichi Murayama, and David Gomez-Barquero, “MIMO Scattered Pilot Performance and Optimization for ATSC 3.0,” IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 64, NO. 2, JUNE 2018.