

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제20권 제1호, 2015년 1월 (JBE Vol. 20, No. 1, January 2015)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2015.20.1.3>

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

DVB-NGH 시스템을 위한 향상된 편파 2x2 MIMO SM 기법 연구

서재현^{a)}, 김홍묵^{a)}, 한동석^{b)†}

Study on Improved Polarized 2x2 MIMO Spatial Multiplexing Method for DVB-NGH System

Jae Hyun Seo^{a)}, Heung Mook Kim^{a)}, and Dong Seog Han^{b)†}

요 약

지상과 디지털 방송시스템에서도 높은 전송율에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서는 무엇보다도 MIMO 기술 도입이 필요하다. 본 논문에서는 DVB-NGH 시스템에서 편파 2x2 MIMO SM을 적용할 경우 공간 채널 상관도가 높은 지상과 방송 채널에서의 성능을 개선하기 위한 전치 부호화 기법을 제안하였다. 또한, 제안한 전치 부호화 기법을 적용할 때, 2개의 안테나에 서로 다른 변조 차수를 가진 신호를 전송할 경우 서로 다른 전력을 이용하여 수신 성능을 향상시키는 기법을 제안하였다. 제안한 기법을 최적화하기 위해 전치 부호화를 위한 위상 회전값과 적합한 서로 다른 전력비를 구하였다. 도출된 파라미터를 지상과 방송환경에 적용하여 모의실험을 통해 기존 SM에 비해 성능이 향상됨을 보였다.

Abstract

Recently terrestrial digital broadcasting systems have experienced a growth with the demand of high data rate. In order to meet such demand, the MIMO technology has received a wide attention. This paper proposes a pre-coding method, which provides high space channel correlation for the improved performance over terrestrial broadcasting channels when the polarized 2x2 MIMO SM is adopted for DVB-NGH systems. When signals with two different modulation orders are transmitted through two antennas, a method that is based on non-uniform power is also proposed for improved reception performance. To optimize the proposed method, phase shifting values for the pre-coding method and appropriate unequal power ratio are obtained. These obtained parameters are applied to a terrestrial broadcasting system, and then the performance improvement over the conventional SM is shown through computer simulations.

Keyword : DVB-NGH, OFDM, MIMO, terrestrial, spatial multiplexing

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부(Broadcasting Systems Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute)

b) 경북대학교 전자공학부(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

† Corresponding Author : 한동석(Dong Seog Han)

E-mail: dshan@knu.ac.kr

Tel: +82-53-950-6609

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7769-0236>

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [14-000-02-002, 융합형 실감방송 서비스 및 전송 기술 개발]

· Manuscript received November 13, 2014 Revised January 9, 2015 Accepted January 9, 2015

1. 서론

현재 지상파 디지털 방송시스템에서 다채널 SDTV, HDTV 서비스 외에 3DTV 서비스를 제공하기 위한 노력을 하고 있다. 또한, 최근에는 UHD TV 서비스를 위한 요구가 증대되고 있어 보다 높은 전송율을 필요로 한다. 따라서, 주어진 대역폭 내에서 스펙트럼 효율을 높이기 위한 다양한 전송 기술들이 연구되고 있으며, 차세대 이동통신 시스템 분야에서도 MIMO(multiple input multiple output) 전송 기법을 주요 기술로 고려하고 있다^{[1][2]}. 그러나, LTE, WiMAX와 같이 양방향성을 제공하는 이동통신시스템과 달리 방송시스템의 경우 역방향 채널이 없으므로 송신기는 수신기로부터 채널 정보를 받을 수 없다^[3]. 또한, 넓은 방송 구역을 전송하는 지상파 방송의 특성으로 인해 대부분 LOS(line of sight)가 존재하는 채널로 높은 공간 채널 상관도를 가지는 단점이 있다.

유럽의 지상파 DTV 표준인 DVB-T(digital video broadcasting-terrestrial) 시스템에서 전송율을 높이기 위해 개발된 2세대 지상파 DTV 표준인 DVB-T2 시스템의 경우 다양한 기술들을 도입하였다. 기존의 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 시스템에서 스펙트럼 효율을 높이기 위해서는 변조 차수를 높이는 것이 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법이다. 또한, 동일한 보호구간(GI, guard interval) 길이를 가지면서 FFT 크기를 키우고, 파일럿(pilot) 등과 같은 혼련 신호의 비율을 줄이거나 높은 효율의 채널 부호화 기법을 적용하는 방법 등이 있다^[4]. DVB-T2 시스템에서는 변조차수를 최대 256QAM, FFT 크기를 최대 32K, 기존의 파일럿의 비중을 약 1%까지 줄였다. 또한, 채널 부호화 기법으로 기존의 돌림형 부호(convolutional code)와 리드 솔로몬(Reed Solomon)에서 LDPC(low density parity check)와 BCH(Bose Chaudhri Hocquenghem)를 적용하여 수신 성능 향상과 동시에 스펙트럼 효율을 개선할 수 있었다^[5]. 또 다른 접근으로 ATSC(advanced television systems committee) 시스템의 데이터율을 증가시키는 ADT(augmented data transmission) 시스템이 소개되었다. ADT 시스템은 계층 변조 기법, DTV 신호 제거 기법, 향상된 에러 정정 코드 등을 적용하여 수 Mbps의 추가적인 데이터 전송

용량을 제공할 수 있다. 또한, 이 시스템은 데이터율을 증가시키기 위해 추가적인 RF 스펙트럼이 요구되지 않고 기존 수신기와 역호환성을 보장한다^[6]. 그러나, ATSC-ADT 시스템의 필드테스트 결과와 같이 역호환성을 보장할 경우 전송용량 증대 측면에서 한계를 가지는 단점이 있다^[7].

일반적으로 주어진 대역폭 내에서 추가적으로 스펙트럼 효율을 높이기 위해서는 MIMO를 적용할 수 있으며, 특히 전송율을 높이기 위해서는 공간다중화(SM, spatial multiplexing) 기법을 사용하게 된다. DVB-T2 시스템이 개발된 이후에도 DVB-T2 시스템을 기반으로 MIMO 기법을 적용하고자 하는 연구는 계속되고 있다. 먼저, 2x2 MIMO를 적용하여 LOS 즉, 고정수신 환경에서 단일 안테나에 비해 전송효율을 높일 수 있는 기법과 편파 다양성을 이용한 채널 추정 기법들이 연구되었다^[8]. 또한, DVB-T2 시스템에 MIMO SM을 적용하여 이상적인 채널환경 하에서 SISO(single input single output)에 비해 우수한 성능을 나타낸 결과도 있었다^[9]. 최근에는 DVB-T2 시스템을 기반으로 MIMO 기법을 전송표준으로 채택한 DVB-NGH(digital video broadcasting-next generation handheld) 시스템에서는 2x2 MIMO를 적용하여 다이버시티 성능향상이 아닌 전송용량을 높이기 위한 SM 기법을 도입하였다^[10].

본 논문에서는 지상파 디지털 방송시스템의 채널 환경에 적합한 전송 기술 중 전송용량을 높이기 위한 기법에 관해 다루어 보고자 한다. 특히, MIMO 전송 기법을 최초로 표준으로 채택한 DVB-NGH 시스템에 적용하기 위한 향상된 SM 기법을 제안하고자 한다. 기존의 MIMO SM 기법에서 LOS가 존재하며 공간 채널 상관도가 높은 지상파 채널에서 성능 열화를 보여주는 단점을 극복하기 위해 전치 부호화를 통해 성능을 개선할 수 있음을 보였다. 또한, 편파 2x2 MIMO SM에서 2개의 안테나 간 서로 다른 변조 차수를 도입할 경우 서로 다른 전력을 적용하여 주어진 채널에서 성능을 개선할 수 있었다.

2장에서는 기존의 MIMO SM 기법과 DVB-NGH 시스템에서의 MIMO 기법, 제안된 향상된 MIMO SM 기법에 관해 설명한다. 3장에서는 모의실험 결과를 보여주고 4장에서 결론을 맺는다.

II. MIMO SM 기법

1. 기존의 MIMO SM 기법과 DVB-NGH 시스템

MIMO SM 기법은 송신안테나 사이에 정보를 가진 심볼 열을 나누어 전송함으로써 다중화 율을 높이는 방법이다. 그림 1에서는 일반적인 OFDM 시스템에서 2x2 MIMO SM의 블록도를 보여주고 있다. 2x2 MIMO SM은 2개의 채널 부호화된 신호를 서로 다른 안테나와 공간다중화를 통해 전송하게 된다. 예를 들면, QPSK로 변조된 심볼들이 2개의 안테나를 통해 전송하게 되면 2비트를 전송하는 동일한 샘플레이트를 가진 1개 안테나 대비 4비트를 전송 가능하게 되어 2배의 전송용량을 제공할 수 있다. 그러므로, 스펙트럼 효율을 서브캐리어당 할당된 비트수로 환산하여 6 bpc(bits per cell), 8 bpc, 10 bpc 등으로 정의할 수 있다. 6 bpc의 경우 QPSK와 16QAM, 8 bpc의 경우 16QAM과 16QAM, 10 bpc의 경우 16QAM과 64QAM으로 변조된 심

호 성상이 각각 2개의 안테나에 매핑이 됨을 알 수 있다.

DVB-NGH 시스템은 2세대 유럽 디지털 방송 표준인 DVB-T2를 기반으로 새로운 16/64k LDPC 코드, DVB-T2 블록 인터리버 개선, MIMO 기술 도입, 위성망과의 연계 등이 추가되었다. 개발 방향에서는 방송사 입장에서의 서비스 호환성과 수신 성능, 그리고 수신기와 네트워크 측면에서의 복잡도 및 전력 소모 등이 큰 이슈가 되었다. 이러한 DVB-NGH 시스템 규격은 기본 프로파일, MIMO 프로파일, 하이브리드 프로파일, 하이브리드 MIMO 프로파일 등 4개의 프로파일을 지원하고 있다. 특히, DVB-NGH 시스템의 특징으로 편파 2x2 MIMO 시스템에서 송신기와 수신기에서 다수의 전송 요소를 적용함으로써 다이버시티 이득과 전송용량 이득을 제공하기 위한 최적의 프로파일을 제공하고 있다^[11]. 또한, DVB-NGH 시스템은 물리계층에 긴 시간을 가진 시간영역 인터리버(TI, time interleaver), 시간과 주파수를 분할해서 전송(TFS, time frequency slicing), 편파 2x2 MIMO 기법을 결합하여 시간, 주파수 및 공간 영역에

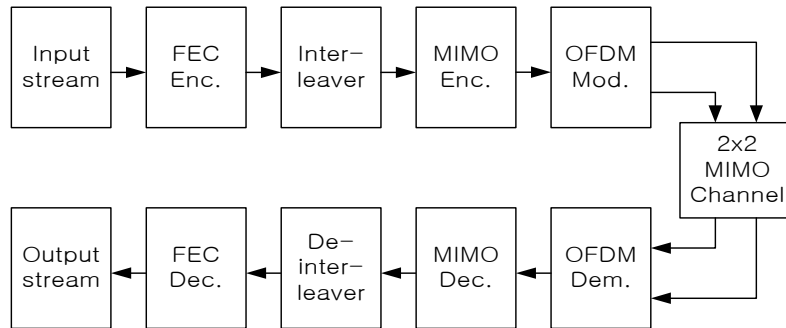


그림 1. OFDM 시스템을 위한 기존의 2x2 MIMO SM 블록도
 Fig. 1. Block diagram of conventional 2x2 MIMO SM for OFDM system

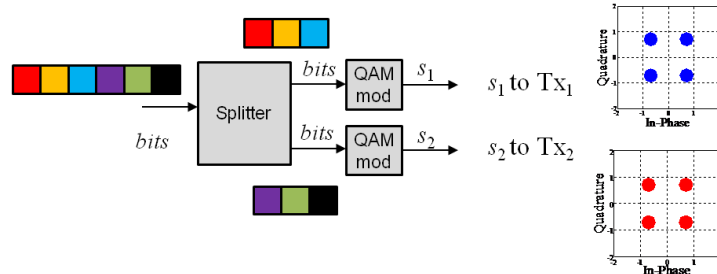


그림 2. DVB-NGH 시스템의 2x2 MIMO SM 기법
 Fig. 2. 2x2 MIMO SM method for DVB-NGH system

서 다이버시티를 제공하는 첫 번째 방송시스템이다^{[12][13]}. 여기서, 지상파 방송은 무선통신 분야에서 비교적 낮은 초단파(VHF, very high frequency) 또는 극초단파(UHF, ultra high frequency)의 주파수 대역을 사용하기 때문에 안테나 크기를 고려하여 이동통신 시스템과 같이 많은 송수신 안테나를 적용하기 어렵다. 따라서, 지상파 방송에서는 MIMO 기법을 적용할 때 2개의 송신 또는 수신 안테나로 이중편파(수직 편파와 수평 편파) 안테나를 적용하고 있다.

본 논문에서는 DVB-NGH 시스템이 전송용량을 증가시키기 위하여 기존의 Alamouti 부호를 사용하는 DVB-T2와 달리 새롭게 채택한 MIMO 기법에 대해 알아보기로 한다. MIMO 기법으로 DVB-NGH에서는 그림 2와 같은 기존의

이동통신 시스템에서 사용된 2x2 MIMO SM 기법을 기본 구조로 사용하고 있다.

방송 채널 환경은 기존의 이동통신 채널 환경과 달리 송수신간 LOS 신호가 존재하며, 따라서 채널 값은 리시안(Rician) 분포를 가지게 되며 특히, 이중편파 안테나를 사용할 경우 발생하는 채널 환경은 기존의 이동통신 채널 환경과 많은 차이가 발생하게 된다. 따라서 DVB-NGH 시스템에서는 이와 같은 새로운 방송 채널 환경을 고려하여 아래와 같은 기존의 SM 기법을 기반으로 한 새로운 eSM(enhanced SM) 기법을 사용한다.

그림 3에서 DVB-NGH 시스템의 2x2 MIMO eSM 기법은 기존의 그림 2의 2x2 MIMO SM 기법과 달리 변조된

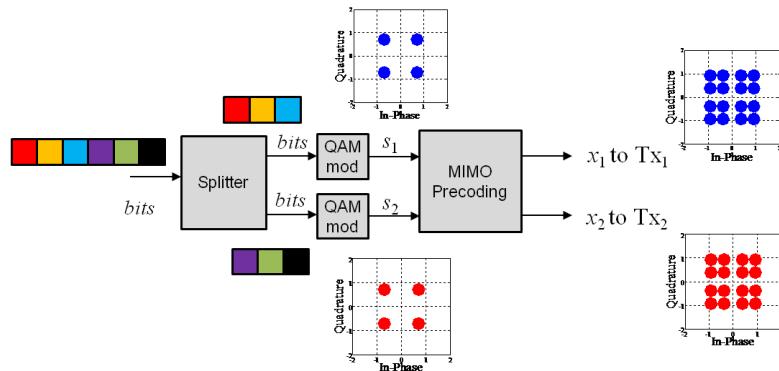


그림 3. DVB-NGH 시스템의 2x2 MIMO eSM 기법
Fig. 3. 2x2 MIMO eSM method for DVB-NGH system

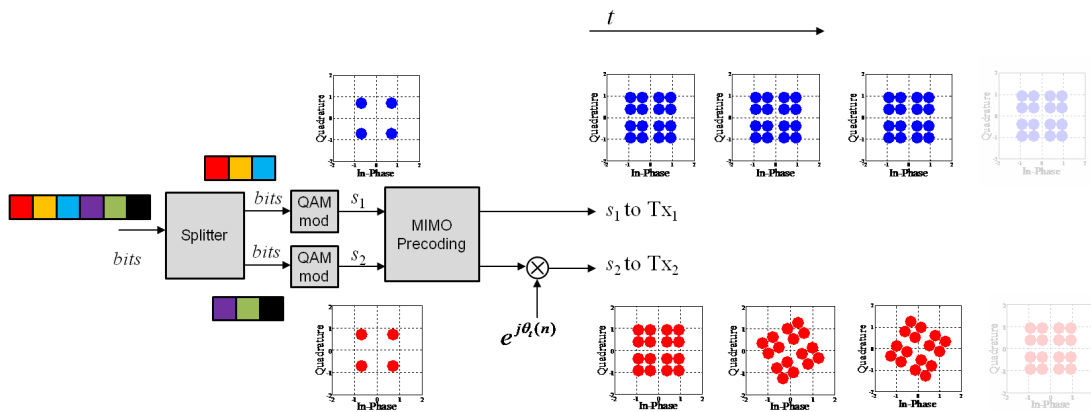


그림 4. DVB-NGH 시스템의 2x2 MIMO eSM-PH 기법
Fig. 4. 2x2 MIMO eSM-PH method for DVB-NGH system

신호를 바로 전송하지 않고 대신 전치부호화(precoding)를 이용하여 발생된 신호들을 대신 전송한다. 더불어 DVB-NGH에서는 그림 3의 새로운 eSM 기법에 대하여 채널 변화에 따른 시간 다이버시티 이득을 추가로 획득하기 위하여 아래와 같은 PH (Phase-Hopping) 기법을 추가로 사용한다.

그림 4에서 DVB-NGH 시스템의 2x2 MIMO eSM-PH 기법은 그림 3의 2x2 MIMO eSM 기법을 바탕으로 2번째 송신 안테나에 신호 전송 이전에 매 OFDM 심볼마다 선형적으로 증가하는 위상을 임의로 곱한 뒤 전송하게 된다. 이와 같은 PH 기법은 방송 신호의 LOS로 인한 시간에 따른 신호의 burst 현상을 상쇄하여 채널 복호 입장에서 시간적인 다이버시티 이득을 추가로 획득하는 장점을 갖는다^[13].

기존의 MIMO SM 기법을 적용하여 2개의 안테나에 각각 QPSK, 16QAM 신호를 전송한다고 가정하면 2x2 MIMO 채널의 상관도가 1일 경우 그림 5에서와 같이 송신 안테나 및 수신 안테나에서의 신호 성상을 보여준다. 송신 안테나 각각에서는 QPSK, 16QAM 신호 성상을 보여주지

만 수신 안테나의 경우 각각 QPSK 및 16QAM 신호가 중첩되어 총 64개의 성상이 존재하게 된다. 2개의 수신 안테나로부터 수신된 신호의 성상을 분리하기 위한 방법으로 Golden code를 적용하여 수신 성능을 향상시킬 수 있으나 시스템 복잡도가 높아지는 단점을 가진다^[14].

2. 제안된 MIMO SM 기법

본 논문에서 제안하는 MIMO SM 기법은 전치부호기를 적용하여 2개 안테나 각각에 변조된 신호에 위상을 회전시켜 수신 성능을 높이고자 하였다. 이러한 기법은 전치부호기를 통해 위상이 회전된 성상의 경우 수신 단에서의 성상 간 평균 거리를 크게 하기 위함이다. 또한, 2개의 송신안테나에 서로 다른 변조 차수를 가질 경우 비균등 전력을 적용하여 성능을 개선하고자 하였다. 서로 다른 변조 차수를 적용한 경우에 송신 단에서 전력 차이를 주고 수신 단에서의 서로 다른 성상이 결합된 성상 간 평균 거리를 크게 할 수 있다. 예를 들면, 2개의 송신안테나에서 고차 변조 신호가

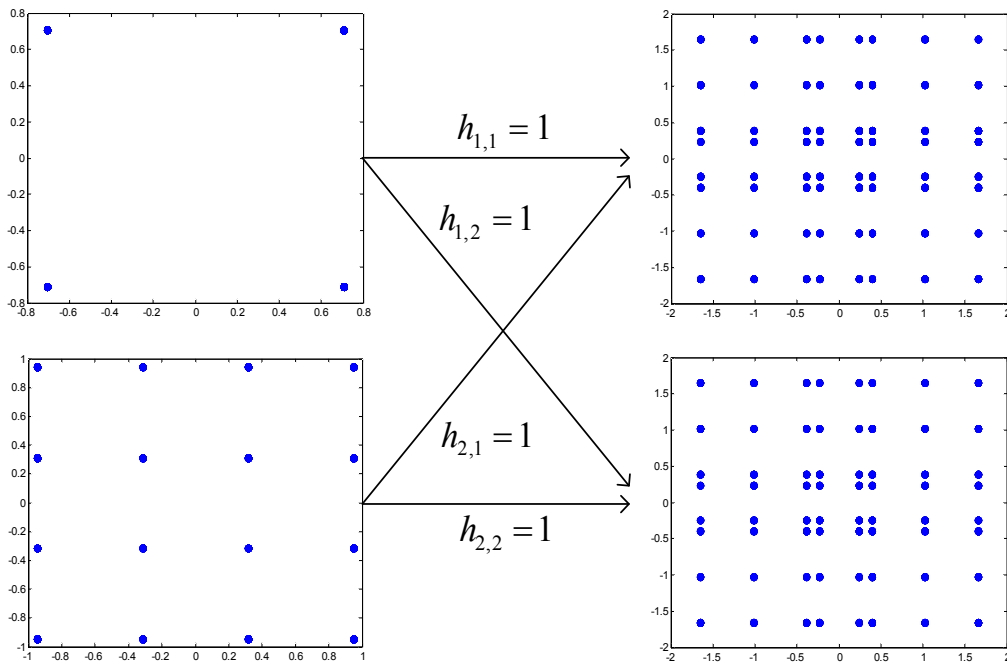


그림 5. 기존의 MIMO SM 시스템에서 채널 상관도 = 1일 때 송수신 안테나에서의 QPSK/16QAM 신호 성상
 Fig. 5. QPSK/16QAM signal constellations of transmitted and received antennas when channel correlation = 1

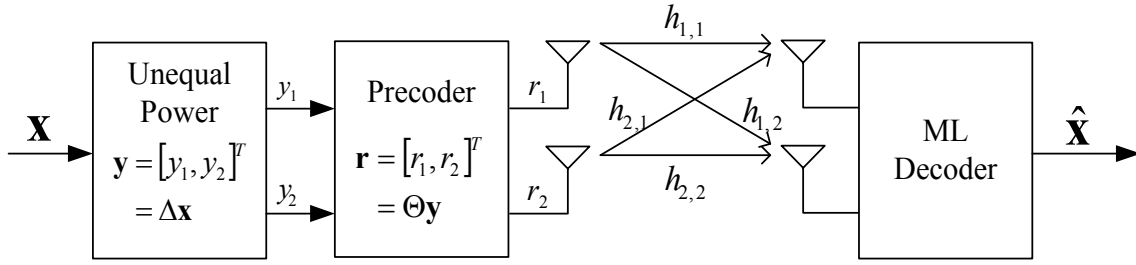


그림 6. 제안된 비균등 전력을 가진 전치부호화된 2x2 MIMO SM 송수신 블록도
 Fig. 6. Block diagram of unequal power-precoded 2x2 MIMO SM system

포함된 송신안테나 측의 전력을 저차 변조 신호가 포함된 송신안테나 측의 전력보다 크게 하여 수신 단에서의 성상 간 거리를 크게 함으로써 전체 수신 성능을 개선할 수 있다. 그림 6에서는 비균등 전력부와 전치부호기가 추가된 제안된 2x2 MIMO SM의 송수신 블록도를 나타내었다.

먼저, 비균등 전력부의 경우 입력 벡터 \mathbf{x} 는

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2]^T \quad (1)$$

로 표현할 수 있고, 출력 벡터 \mathbf{y} 는

$$\mathbf{y} = [y_1, y_2]^T = \Delta \mathbf{x} \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서, T 는 벡터의 transpose를 나타낸다. 이때, Δ 는 식 (3)과 같이 정의되며 2개의 송신안테나에 입력되는 전력비를 나타낸다. 즉, $\alpha = 1/2$ 일 경우 2개의 송신안테나에 동일한 전력으로 송출함을 의미한다.

$$\Delta = [\sqrt{\alpha}, \sqrt{1-\alpha}] \quad (3)$$

그리고, 전치부호기 출력 벡터 \mathbf{r} 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\mathbf{r} = [r_1, r_2]^T = \Theta \mathbf{y} \quad (4)$$

이때, Θ 는 식 (5)과 같이 정의되며 2개의 송신안테나 각각의 신호 위상을 회전시키게 된다.

$$\Theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (1)~(5)으로부터 송신 신호 r_1 와 r_2 는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{\alpha} x_1 \cos\theta + \sqrt{1-\alpha} x_2 \sin\theta \\ r_2 &= -\sqrt{\alpha} x_1 \sin\theta + \sqrt{1-\alpha} x_2 \cos\theta \end{aligned} \quad (6)$$

III. 모의실험 결과

첫 번째로, 전치부호기의 위상 회전 값과 비균등 전력의 최적 값을 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 하였다. 모의 실험 환경으로는 LOS 채널 환경으로 K 값이 무한대인 리시안(Ricean) 채널을 가정하였고, XPD(cross-polar discrimination) = 0 dB에서 전치부호기의 위상 값을 0도에서 90도 까지 변화시키면서, 평균 비부호(uncoded) BER 값을 구하였다. 이때, XPD는 동일하게 편파된 평균 수신 전력과 교차로 편파된 평균 수신 전력과의 비로 식 (7)과 같이 정의한다.

$$XPD = 10 \log_{10} \left| \frac{h_{1,1}}{h_{1,2}} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{h_{2,2}}{h_{2,1}} \right| \quad (dB) \quad (7)$$

또한, 본 실험에 적용한 이상적인 안테나 조건은 식 (8)과 같이 크기는 동일하게 1이며, 각각의 채널 위상값만 반영하였다.

$$\begin{aligned} h_{1,1} &= e^{j\theta_{1,1}} \\ h_{1,2} &= e^{j\theta_{1,2}} \\ h_{2,1} &= e^{j\theta_{2,1}} \\ h_{2,2} &= e^{j\theta_{2,2}} \end{aligned} \quad (8)$$

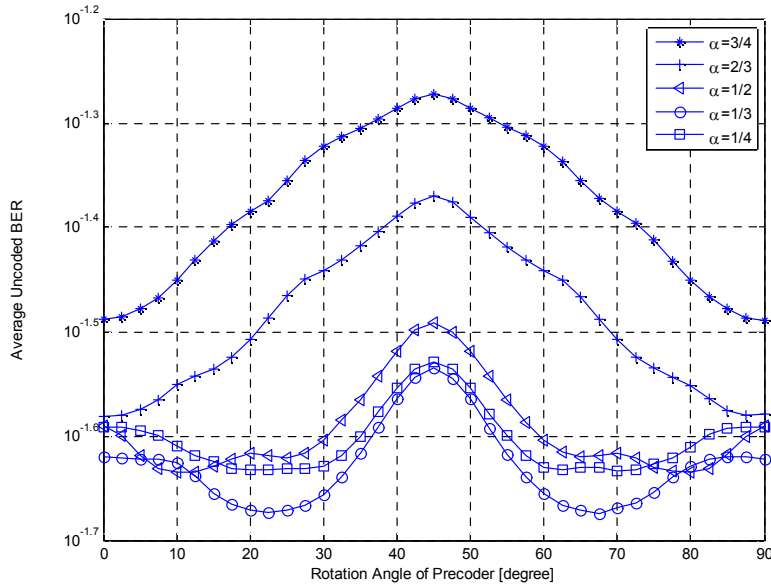


그림 7. 전치부호기의 위상 회전 값과 전력비에 따른 평균 비부호 비트오류율 성능 (SNR = 7 dB)
 Fig. 7. Performances of average uncoded BER according to rotation angles of precoder and power ratio when SNR = 7 dB

여기서, 4개의 경로에 해당하는 채널 위상값 $\theta_{1,1}, \theta_{1,2}, \theta_{2,1}, \theta_{2,2}$ 는 각각 랜덤한 값을 적용하였다. 비균등 전력을 나타내는 α 값도 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4일 경우 각각에 대한 결과를 얻었다. 특히, $\alpha = 1/3$ 인 경우 QPSK 대비 16QAM 신호의 전력이 2배일 경우를 나타낸다. 그림 7에서는 SNR = 7 dB일 경우 전치부호기의 위상 회전 값에 따른 평균 비부호(uncoded) BER을 비교하였다. 그 결과 $\alpha = 1/3$ 일 때, 전치부호기의 위상 회전 값이 20~30도 또는 60~70도 부근에서 낮은 평균 비부호(uncoded) BER 성능을 보였다. 그리고, 그림 8에서는 SNR = 10 dB일 경우 전치부호기의 위상 회전 값에 따른 평균 비부호(uncoded) BER을 비교하였다. 그 결과 $\alpha = 1/3$ 일 때, 전치부호기의 위상 회전 값이 30~60도 부근에서 낮은 평균 비부호(uncoded) BER 성능을 보였다. 또한, 서로 다른 SNR 값에서 전치부호기의 위상 회전 값이 0일 경우에도 비균등 전력을 나타내는 $\alpha = 1/3$ 일 때 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 2x2 MIMO SM에서 전치부호기를 적용하지 않을 경우에도 서로 다른 변조 차수를 가질 경우 최적의 비균등 전력을 이용하면 보다 향상된 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

두 번째로, 기존의 SM 기법과 제안된 전치부호화된(pre-coded) SM 및 비균등전력(unequal power, UP)-전치부호화된 SM 기법 사이에 수신 안테나에서의 성상 간 최소 거리를 구해보았다. 이 실험에서 채널의 위상 차이(θ_{diff})는 식 (9)와 같이 정의한다.

$$\theta_{diff} = \theta_{1,1} - \theta_{2,1} \text{ or } \theta_{1,2} - \theta_{2,2} \quad (9)$$

그림 9에서는 채널 위상 차이에 따른 성상 간 최소 거리를 나타낸다. 채널의 위상 차이를 0도에서 90도까지 변화시켰을 때 수신 안테나에서 64개 신호 성상 사이의 최소 거리를 구한 결과 평균적으로 비균등전력-전치부호화된 SM 기법이 가장 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 표 1에서는 각 방식별 평균 최소 거리를 구한 결과이다. SM 기법에 비해 전치부호화된 SM은 평균 최소 거리가 약 44% 증가하였으며, 비균등전력-전치부호화된 SM은 약 58% 증가하였다. 따라서, 비균등전력-전치부호화된 SM 기법이 수신 안테나에서의 성상간 평균 최소 거리가 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

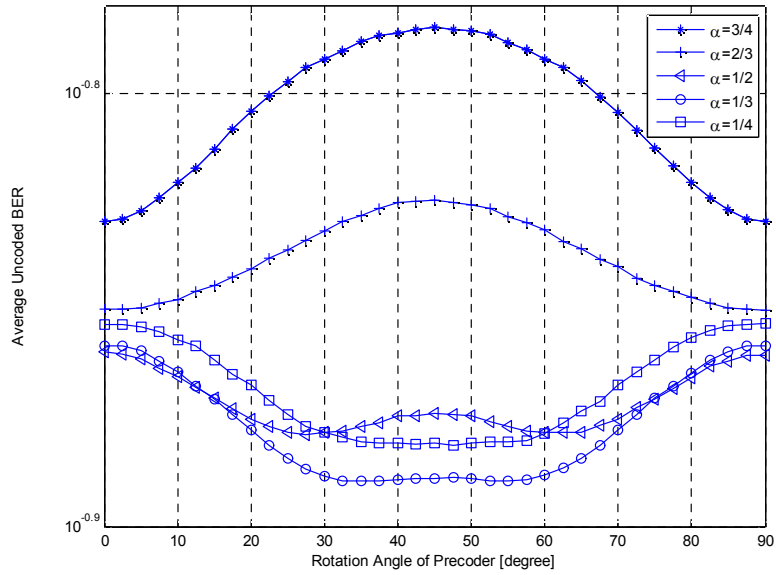


그림 8. 전치부호기의 위상 회전 값과 전력비에 따른 평균 비부호 비트오류율 성능 (SNR = 10 dB)
 Fig. 8. Performances of average uncoded BER according to rotation angles of precoder and power ratio when SNR = 10 dB

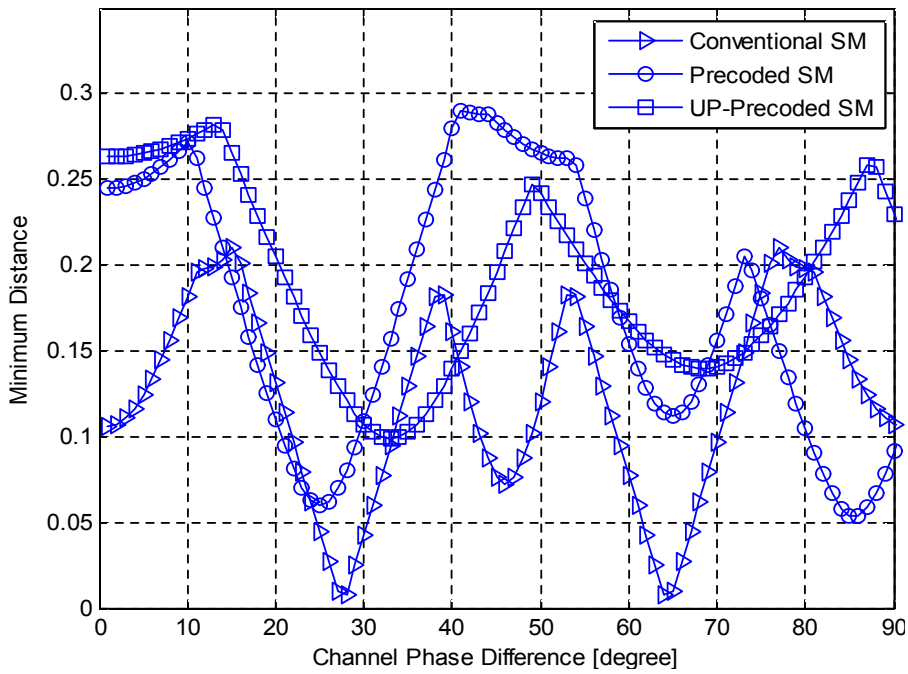


그림 9. 채널 위상 차이에 따른 성상 간 최소 거리
 Fig. 9. Minimum distances according to channel phase differences

표 1. SM 방식별 성상간 평균 최소 거리 비교

Table 1. Comparison between average minimum distance of constellation for each SM methods

SM method	Conventional SM	Precoded SM	UP-Precoded SM
Average minimum distance	0.1226	0.1747	0.1916

제안된 2x2 MIMO SM 기법을 적용하여 2개의 안테나에 각각 QPSK, 16QAM 신호를 전송한다고 가정하면 2x2 MIMO 채널의 상관도가 1일 경우 그림 10에서와 같이 송신 안테나 및 수신 안테나에서의 신호 성상을 보여준다. 송신 안테나 각각에서는 식 (6)에서의 r_1 와 r_2 신호로 표현되어 64개의 성상으로 나타나며, 수신 안테나 각각에서도 마찬가지로 64개의 성상으로 표현됨을 알 수 있다. 송신 안테나 각각의 성상에서는 서로 다른 64개의 성상을 보여주고 있으며, 수신 안테나 각각에서는 평균적으로 성상간 거리가 증가된 64개의 성상을 볼 수 있다.

위의 두 가지 실험 결과로부터 제안된 2x2 MIMO 전치 부호화된 SM 기법의 모의실험을 수행하였다. 모의실험 파

라미터는 표 2와 같다. 전송 파라미터는 DVB-T2를 기반으로 FFT 크기가 4K, 보호구간은 1/4, FEC는 LDPC 코드 (frame size = 16200 bits, code rate = 4/9, 2/3)를 적용하였다. 변조 레벨의 경우 동일한 2개의 송신안테나에 QPSK와 16QAM을 각각 적용하였다. 지상파 방송환경의 MIMO 채널 모델로는 Helsinki2 실외수신을 가정하였고, 채널 파라미터로 리시안 팩터(Ricean factor) $K = 1$, $XPD = 6$ dB, 도플러 주파수 = 33.3 Hz를 적용하였다^[9].

표 2. 모의실험 파라미터

Table 2. Simulation parameters

Term	Parameters
FFT size	4K
Guard Interval	1/4
FEC	LDPC (frame size = 16200 bits)
Code Rate	4/9, 2/3
Modulation	QPSK, 16QAM
Channel Model	Helsinki2 outdoor channel (Rice $K = 1$, $XPD = 6$ dB)
Doppler Frequency	33.3 Hz

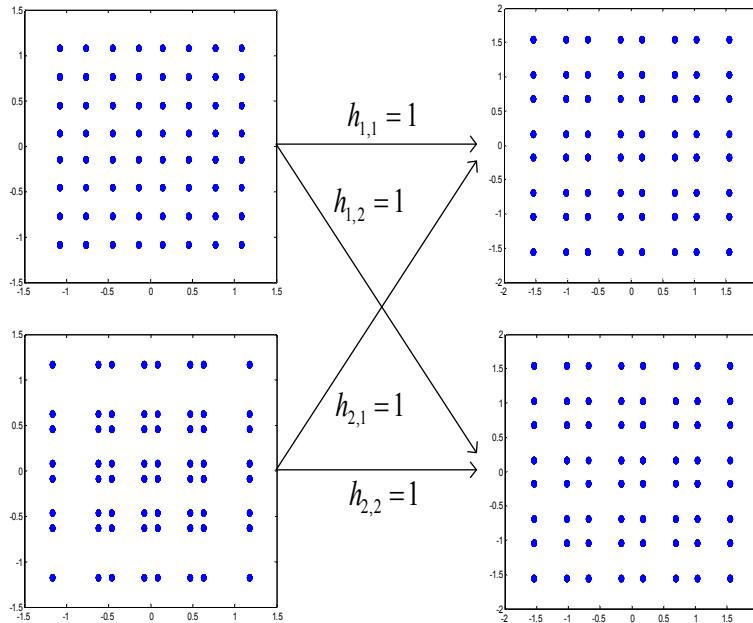


그림 10. 제안된 MIMO SM 시스템에서 채널 상관도 = 1일 때 송수신 안테나에서의 QPSK/16QAM 신호 성상

Fig. 10. QPSK/16QAM signal constellations from transmitted and received antennas when channel correlation = 1, $\theta = 30^\circ$ with pre-coder

표 3에서는 모의실험에 적용한 Helsinki2 실외수신의 채널 프로파일을 나타낸다. 8 개의 다중경로를 가지고 있으며, 상대적인 전력 크기는 2x2 MIMO 채널에서 $h_{1,1}$, $h_{2,2}$ 의 이득을 나타낸다^[15].

표 3. 실외수신 채널의 전력 및 지연시간 프로파일
Table 3. Power delay profile of outdoor channel

Number of tap	Delay[us]	Gain[dB]
1	0	-4.0
2	0.1094	-7.5
3	0.2188	-9.5
4	0.6094	-11
5	1.109	-15
6	2.109	-26
7	4.109	-30
8	8.109	-30

기존 SM 기법과 제안된 전치부호화된 SM 기법 및 비균등전력-전치부호화된 SM 기법의 평균 BER을 비교하였다. 이때, 전치부호기의 $\theta = 30^\circ$ 를 적용하였고, 비균등 전력의 경우 16QAM 신호가 QPSK 신호에 비해 2배 큰 전력

을 적용하였다($\alpha = 1/3$).

그림 11에서는 부호율이 4/9일 경우 기존의 SM, 제안된 전치부호화된 SM, 비균등전력-전치부호화된 SM의 평균 BER을 나타내었다. 기존의 SM 기법과 전치부호화된 SM 기법은 비슷한 성능을 보였으며, 전치부호화된 SM 기법이 약간 좋은 성능을 보였다. 그리고, 비균등 전력을 적용한 비균등전력-전치부호화된 SM 기법의 경우 기존의 SM 기법에 비해 10-4 기준에서 요구되는 SNR 값이 0.2 dB 낮음을 알 수 있다.

또한, 그림 12에서는 부호율이 2/3일 경우 기존의 SM, 제안된 전치부호화된 SM, 비균등전력-전치부호화된 SM의 평균 BER을 나타내었다. 기존의 SM 기법에 비해 전치부호화된 SM 기법과 비균등 전력을 적용한 비균등전력-전치부호화된 SM 기법에 비해 10-4 기준에서 요구되는 SNR 값이 각각 0.1 dB, 0.4 dB 낮음을 알 수 있다.

본 장에서 보여준 모의실험 환경은 DVB-T2 시스템에서 FFT 크기가 4K, 보호구간 1/4, 변조레벨이 QPSK, 16QAM 을 적용하였다. 예를 들면, FFT 크기가 32K, 보호구간 1/32, 변조레벨이 64QAM, 256QAM 등에 대해 제안한

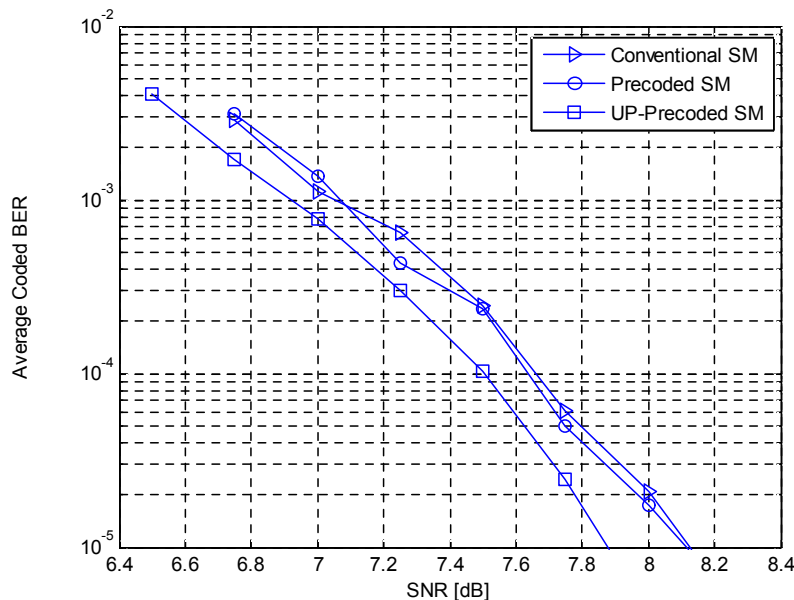


그림 11. 기존 SM, 전치부호화된 SM, 비균등전력-전치부호화된 SM의 평균 비트오류율 성능 (code rate = 4/9)
Fig. 11. Performances of average coded BER for conventional SM, precoded SM and UP-precoded SM (code rate = 4/9)

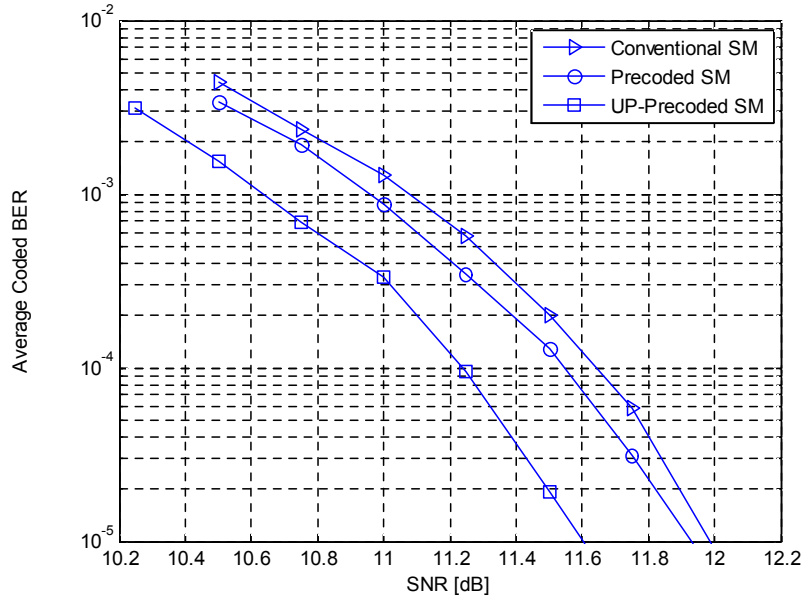


그림 12. 기존 SM, 전치부호화된 SM, 비균등전력-전치부호화된 SM의 평균 비트오류율 성능 (code rate = 2/3)

Fig. 12. Performances of average coded BER for conventional SM, precoded SM and UP-precoded SM (code rate = 2/3)

MIMO SM 기법을 적용했을 때에도 유사한 성능 향상이 기대된다. 단, 2개의 안테나에 동일한 변조레벨을 적용한다면 전치부호화에 의한 약간의 성능 향상이 기대되지만 비균등 전력에 의한 성능 향상은 기대할 수 없게 된다.

넘을 수 있는 다중안테나 시스템이 요구될 것으로 전망되며, 수직/수평 편파 안테나 간의 인터리빙, 정확한 채널 추정 기법 등 성능 향상을 위한 연구개발이 지속되어야 할 것이다.

IV. 결론

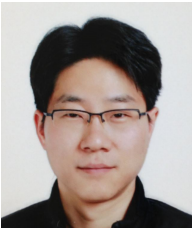
본 논문에서는 지상파 디지털 방송에서 MIMO를 적용할 때 전송용량을 높이기 위한 SM 기법에 관해서 다루었다. 특히, 2x2 MIMO SM에서 2개 송신안테나에 서로 다른 차수의 변조 신호를 전송할 때 성능을 미리 회전시키고 각각 다른 전력을 적용하여 수신 성능을 높이는 방법을 제안하였다. 제안된 SM 기법의 경우 QPSK와 16QAM을 적용할 때 30도의 위상을 미리 회전시키고, QPSK 대비 16QAM 신호의 전력을 2배로 하였을 때 모의실험 결과 기존의 SM 기법에 비해 요구되는 SNR이 0.2 ~ 0.4 dB 개선됨을 알 수 있었다. 향후 UHDTV와 같은 대용량의 방송콘텐츠를 전송하기 위해서는 단일안테나 시스템의 전송용량 한계를

참고 문헌 (References)

- [1] S. Ryu, S. K. Park, D. Oh, G. Sihm, K. Han, and S. Hwang, "Research activities on next-generation mobile communications and services in Korea," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 9, pp. 122-131, Sep. 2005.
- [2] E. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. Marzetta, "Massive MIMO for next generation wireless systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 186-195, Feb. 2014.
- [3] J. Paulraj, D. A. Gore, R. U. Nabar, and H. B'oleskei, "An overview of MIMO communications: A key to gigabit wireless," *Proc. IEEE*, vol. 92, no. 2, pp. 198-218, Feb. 2004.
- [4] L. Vangelista, N. Benvenuto, S. Tomasin, C. Nokes, J. Stott, A. Filippi, M. Vlot, V. Mignone, and A. Morello, "Key technologies for next-generation terrestrial digital television standard DVB-T2," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 10, pp. 146-153, Oct. 2009.
- [5] "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", ETSI EN 302 755, v1.2.1, Oct. 2010.

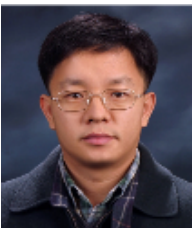
- [6] S. I. Park, H. Lim, H. M. Kim, Y. Wu, and W. Oh, "Augmented Data Transmission for the ATSC Terrestrial DTV System," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 58, no. 2, pp. 261-268, June 2012.
- [7] S. I. Park, H. M. Kim, and N. H. Hur, "Field test results of the augmented data transmission for the ATSC terrestrial DTV system," *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, pp. 1-4, June 2012.
- [8] Carlos Gomez-Calero, Luis Cuellar Navarrete, Leandro de Haro, Ramon Martinez, "A 2x2 MIMO DVB-T2 System: Design, New Channel Estimation Scheme and Measurements With Polarization Diversity", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 56, no. 2, pp. 184-192, June 2010.
- [9] In-Woong Kang, Ki-Hwan Suh, Tae-Jin Jung, Hyoungsoo Lim, Hyun-Chool Shin, Hyoung-Nam Kim, "Performance of the DVB-T2 system with MIMO Spatial Multiplexing", *IEEE 2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, Dec. 2011.
- [10] Digital Video Broadcasting, Next Generation Broadcasting System to Handheld, Physical Layer Specification (DVB-NGH), DVB Doc. A160, Nov. 2012.
- [11] D. G'omez-Barquero, C. Douillard, P. Moss, and V. Mignone, "DVB-NGH: The Next Generation of Digital Broadcast Services to Handheld Devices", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 60, no. 2, pp. 246-257, June 2014.
- [12] D. Goz'alvez, D. G'omez-Barquero, D. Vargas, and N. Cardona, "Combined Time, Frequency and Space Diversity in DVB-NGH", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 59, no. 4, pp. 674-684, Dec. 2013.
- [13] D. Vargas, D. Goz'alvez, D. G'omez-Barquero, and N. Cardona, "MIMO for DVB-NGH, the next generation mobile TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 7, pp. 130 - 137, July 2013.
- [14] J.-C. Belfiore, G. Rekaya, E. Viterbo, "The golden code: a 2x2 full-rate space-time code with nonvanishing dterminants," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 51, pp. 1432-1436, 2005.
- [15] DVB TM-H NGH, "Configuration for Multi-Path MIMO Channel Simulations in NGH", v1.0, DVB TM-NGH641r8/ TM-H1190, Feb. 2011.

저 자 소 개



서 재 현

- 1999년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 2001년 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 지상파방송연구실 선임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-4727-5581>
- 주관심분야: 디지털 방송시스템, 디지털 통신 신호처리



김 흥 목

- 1993년 : 포항공대 전자전기공학과 공학사
- 1995년 : 포항공대 전자전기공학과 공학석사
- 2013년 : KAIST 정보통신공학과 공학박사
- 1993년 ~ 2001년 : POSCO 기술연구소 연구원
- 2002년 ~ 2003년 : ㈜맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 지상파방송연구실 실장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-4756-7912>
- 주관심분야: RF 신호처리, 디지털 방송/통신 신호처리

저 자 소 개



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1989년 : KAIST 전기및전자공학과 공학석사
- 1993년 : KAIST 전기및전자공학과 공학박사
- 1987년 10월 ~ 1996년 8월 : 삼성전자 기술총괄신호처리연구소 선임연구원
- 1996년 8월 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 교수
- 2006년 7월 ~ 2008년 7월 : 정보통신연구진흥원 디지털 TV/방송사업단 단장
- 2011년 ~ 현재 : 경북대학교 IT·자동차융합연구센터장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-7769-0236>
- 주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통시스템