

MIMO Spatial Multiplexing에서 안테나별 송신신호의 PAPR 감소 기법

*배재휘, 이광순, 안충현

*한국전자통신연구원

*jhbae@etri.re.kr

PAPR Reduction in MIMO Spatial Multiplexing for transmission antennas

*JaeHwui Bae, GwangSoon Lee, ChungHyun Ahn

*Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

최근 무선전송에서 SISO(single input single output) 시스템의 전송률이 샤논 한계(Shannon limit)에 근접함에 따라, 이것을 극복하여 더 높은 데이터 전송률을 얻기 위해 MIMO(multiple input multiple output) 시스템에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 현재 진행 중인 DVB-NGH 시스템 표준화에도 전송률 개선을 위해 MIMO SM(Spatial Multiplexing) 기술에 대해 고려하고 있으며, 방송 시스템 내 송수신 안테나들 간 상관(correlation)이 발생하는 경우에 성능 개선을 위해 Precoding과 MIMO SM을 결합한 2x2 구조의 MIMO SM 방법이 제안되었다. 이 방법은 두 개의 송신안테나에 모두 16QAM 신호가 전송되는 경우와 두 송신안테나에 각각 16QAM, QPSK 신호가 전송되는 경우를 포함하고 있다. 이때 고출력 증폭기(high power amplifier) 전단에서 두 송신 안테나에 서로 다른 변조가 적용되는 경우에 PAPR(peak-to-average power ratio)이 달라서 고출력 증폭기 출력단의 송신전력 차이로 인해 각 신호의 방송권역(coverage)이 같지 않은 문제가 발생한다.

본 논문은 이러한 문제를 극복하기 위해 2x2 MIMO SM 방식에서 송신 안테나별로 신호의 변조방식이 서로 다른 경우에 송신신호의 PAPR을 같게 하여 증폭기 출력단에서 각 송신신호의 전력이 동일하게 할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 수신기의 복잡도를 증가시키지 않으면서 두 송신 신호의 방송권역을 동일하게 한다.

1. 서론

무선 통신 환경에서, MIMO 시스템은 다수의 송수신 안테나들을 사용하여 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있어 최근 큰 관심을 얻고 있다. 특히 V-BLAST(Vertical Bell-labs Layered Space-Time)라고 불리는 공간다중화(spatial multiplexing) 기법은 각 송신 안테나를 통하여 독립적인 신호 스트림들을 동시 전송함으로써 스펙트럼 효율이 높아진다는 큰 장점을 갖는다[1].

그러나 MIMO SM 방법을 이동 방송 시스템에 적용할 경우 몇 가지 문제점이 발생하는데, 방송 시스템 내 송수신 안테나들 간 상관이 발생하는 채널 환경일 경우 기존의 SM 방법은 성능 열화가 발생한다. 이와 같이 상관이 큰 채널 환경일 경우 기존의 MIMO SM은 성능 열화가 발생하게 된다. 이러한 성능열화를 개선하기 위해 Precoding MIMO SM 방법을 적용할 수 있다. Precoding MIMO SM은 송신 신호간에 미리 특정한 관련을 만들어 송신하여 수신성능을 개선함으로써 상관된 페이딩(correlated fading) 채널 환경에서 MIMO SM의 성능을 개선할 수 있다. 이와 같은 Precoding MIMO SM 방법의 대표적인 예는 DVB-NGH 표준화에 제안된 2x2 구조의 Precoding SM방식이 있다[2-4]. DVB-NGH에 제안된 Precoding SM에는 두 송신안테나에서 전송하는 신호의 변조방식이 동일한 16QAM+16QAM 모드와 변조방식이 서로 다른 QPSK+16QAM 모드가 있다[5].

두 송신안테나에서 전송하는 신호가 동일한 변조 방식을 적용하

는 경우에는 각 안테나별 송신신호는 PAPR이 동일한 값을 가지게 되며 두 신호의 송신전력이 동일하면 증폭기를 통과한 이후에 두 안테나의 송신신호는 동일한 수신범위를 가지게 된다. 반면에 두 송신안테나에서 전송하는 신호가 서로 다른 변조방식을 적용하는 경우에는 각 안테나별 송신신호는 서로 다른 PAPR 값을 가지게 된다. 따라서 두 송신신호의 전력이 동일하다 하더라도 두 신호에 대한 증폭기의 동작범위는 다르기 때문에, 증폭기를 통과한 이후에 두 안테나의 송신신호의 전력은 달라지게 되며 송신기의 출력신호의 수신범위는 서로 다르게 된다.

따라서 본 논문에서는 2x2 MIMO SM에서 두 송신 안테나에서 전송하는 신호의 변조방식이 서로 다른 경우에, 두 송신 신호의 PAPR을 동일하게 하는 방법을 제안한다. 제 2 장에서는 MIMO SM 기술 소개 및 기존의 MIMO SM 신호 송신 방법에 대해 소개한다. 제 3 장에서는 MIMO SM에서 PAPR을 동일하게 하여 두 송신신호의 수신신위(coverage)가 같게 하는 방법을 제안한다. 제 4 장에서는 실험을 통하여 제안한 방법의 성능을 분석한 결과를 제시하고, 제 5 장에서 결론 및 향후 연구방향에 대해 언급한다.

2. MIMO Spatial Multiplexing 기술

가. MIMO SM 기술 소개

MIMO SM은 무선 전송에서 다수의 송수신 안테나들을 사용함으

로써 SISO(single input single output) 시스템에 비해 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있는 장점이 있다[3]. 그러나 기존의 MIMO SM 방법은 송수신 안테나간 상관성이 발생하는 채널 환경에서 성능 열화가 발생한다. 이러한 성능 열화의 원인으로서는 기존의 다중 송수신 안테나들을 사용하는 공간다중화 기법은 이동 통신 시스템 내 송수신 안테나 간 채널 값들이 독립적이라는 가정으로 설계되었기 때문이다. 그러나 방송 시스템은 기존의 이동 통신 시스템과 달리 송수신 안테나들 간 상관 값들이 발생할 확률이 높아진다. 따라서 위에서 설명한 바와 같이 이러한 채널에서는 기존의 MIMO SM 방법은 성능 열화가 발생하게 된다.

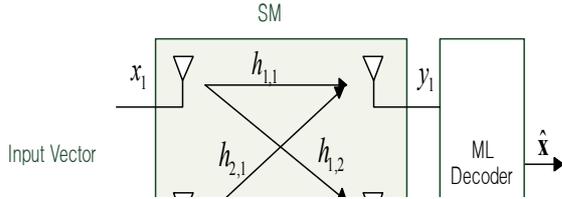


그림 1. 기존의 MIMO SM 구조

이러한 성능열화를 개선하기 위한 방법으로 상관된 페이딩 채널 환경을 위한 다음과 같은 Precoding MIMO SM 방법이 적용될 수 있다. 특히 2x2 구조의 MIMO 방법의 대표적인 일례는 DVB-NGH 표준화에 제안된 Precoding MIMO SM 방법이 있다[5][6].

DVB-NGH 표준화에 제안된 Precoding MIMO SM의 구조는 그림 2와 같이 나타난다.

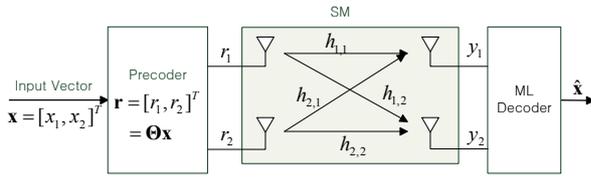


그림 2. DVB-NGH에 제안된 Precoding MIMO SM 구조

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}} \begin{bmatrix} 1 & a \\ a & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a = \begin{cases} \left(\frac{\sqrt{2}+3+\sqrt{5}}{\sqrt{2}+3-\sqrt{5}} \right), & \text{QPSK+16QAM 변조} \\ \left(\frac{\sqrt{2}+4}{\sqrt{2}+2} \right), & \text{16QAM+16QAM 변조} \end{cases} \quad (2)$$

그림 2의 Precoding SM은 입력 신호 벡터 $x = [x_1, x_2]^T$ 내 두 송신 신호는 Precoder를 통과하여 부호화된 이후에 전송된다. 이 때 두 송신 안테나의 송신 전력은 일정한 $E\{\|x\|^2 = 1\}$ 값을 가지며, 두 송신 신호는 동일한 송신전력을 가진다.

Precoding SM에는 두 송신안테나에서 전송하는 신호의 변조방식이 동일한 16QAM+16QAM 모드와 변조방식이 서로 다른 QPSK+16QAM 모드가 있다.

나. 기존의 MIMO SM에서 신호 송신 방법

2x2 MIMO 시스템에 있어서, 기존의 각 송신 안테나 별로 시간에 따라 송신되는 신호는 다음 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} t = t_1 & : (ant1, ant2) = (x_1, x_2) = (r_1, r_2) \\ t = t_2 & : (ant1, ant2) = (x_3, x_4) = (r_3, r_4) \\ t = t_3 & : (ant1, ant2) = (x_5, x_6) = (r_5, r_6) \\ t = t_4 & : (ant1, ant2) = (x_7, x_8) = (r_7, r_8) \\ & \dots \\ t = t_n & : (ant1, ant2) = (x_{2n}, x_{2n+1}) = (r_{2n}, r_{2n+1}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 두 송신 안테나 1과 안테나 2의 송신신호인 x_1, x_2 의 전력

은 동일한 값을 가지지만 서로 다른 변조 방식을 가진다. 따라서 이 두 신호의 PAPR 값은 서로 다르게 된다.

이와 같이 MIMO SM 방법의 신호 송신방법은 그림 2와 같이 나타난다. 여기서 송신되는 신호인 r_1, r_2 는 x_1, x_2 에 Precoding 과정을 적용하여 얻어진다. x_1, x_2 는 서로 동일한 송신전력을 가지고 서로 다른 변조를 적용하기 때문에 Precoding된 신호인 r_1, r_2 도 송신전력은 동일하지만 변조방식 차이에 의해 서로 다른 PAPR 값을 가지게 된다. 따라서 증폭기 출력신호는 서로 다른 송신전력을 가지므로, 두 신호의 송신범위는 달라지게 된다.

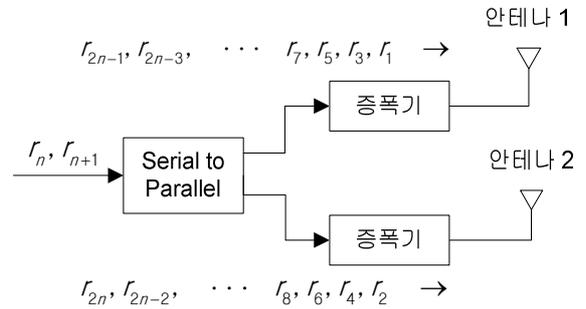


그림 3. 기존의 MIMO SM 신호 송신 방법

두 송신안테나에서 전송하는 신호가 동일한 변조 방식을 적용하는 경우에는 각 안테나별 송신신호는 PAPR이 동일한 값을 가지게 되며 두 신호의 송신전력이 동일하면 증폭기를 통과한 이후에 두 안테나의 송신신호는 동일한 수신범위를 가지게 된다.

반면에 두 송신안테나에서 전송하는 신호가 서로 다른 변조방식을 적용하는 경우에는 각 안테나별 송신신호는 서로 다른 PAPR 값을 가지게 된다. 따라서 두 송신신호의 전력이 동일하다 하더라도 두 신호에 대한 증폭기의 동작범위는 다르기 때문에, 증폭기를 통과한 이후에 두 안테나의 송신신호의 전력은 달라지게 되며 송신기의 출력신호의 송신범위는 서로 다르게 된다.

따라서 Precoding SM방식과 같이 2x2 MIMO SM에서 두 송신 안테나에서 전송하는 신호의 변조방식이 서로 다른 경우에는 두 송신 신호의 PAPR을 동일하게 하는 방법이 요구된다.

3. 제안한 MIMO SM에서 송신신호 PAPR 감소 방법

MIMO SM 방식에서 송신 안테나간에 송신하는 신호의 변조방식이 서로 다르면 증폭기에 입력되는 신호의 전력이 동일하더라도, 각 신호의 PAPR 값이 달라서 증폭기 출력신호의 전력은 서로 다르게 되므로, 각 안테나별 송신신호의 수신범위는 달라지게 된다. 본 논문에서는

송신
송신

각 안테나의 송신신호의 PAPR 값을 동일하게 하여 증폭기 출력신호의 송신전력이 동일한 값을 가질 수 있도록 하는 방법을 제안한다. MIMO SM 방식에서 송신 안테나간에 송신하는 신호의 변조방식이 서로 다르면 증폭기에 입력되는 신호의 전력이 동일하더라도, 각 신호의 PAPR 값이 달라서 증폭기 출력신호의 전력은 서로 다르게 되므로, 각 송신신호의 송신범위는 달라지게 된다. DVB-NGH 표준화에 제안된 MIMO SM 방법은 제 2 장에서 보인 그림 2.와 같이 2x2 구조를 가진다. 이와 같이 2x2 구조의 MIMO 시스템을 적용하는 경우에 대해 설명하면 다음과 같다. 송신신호 x_1, x_2 에는 그림 4.와 같이 서로 동일한 송신전력이 적용되며, Precoding 과정을 통해서 r_1, r_2 가 만들어진 다. 이렇게 만들어진 r_1, r_2 는 serial to parallel 변환을 통해 순차전송 신호를 병렬전송 신호로 변환하고 증폭기를 통해 증폭된 후에 송신 안테나를 통해서 전송하게 된다.

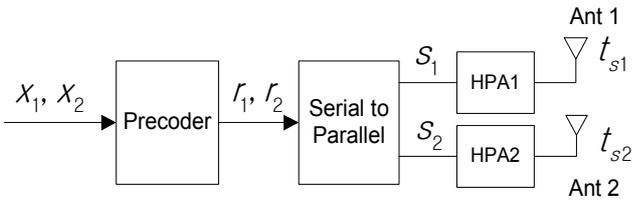


그림 4. MIMO SM에서 송신기 구조

여기서 송신신호 x_1, x_2 의 16QAM+QPSK 또는 64QAM+QPSK 와 같은 서로 다른 변조를 가질 수 있다. 이 경우에 송신신호 r_1, r_2 는 동일한 송신전력을 가지기 때문에 Precoding된 신호인 r_1, r_2 의 전력도 서로 같게 된다. 그러나 두 송신신호 x_1, x_2 의 변조방식이 서로 다르기 때문에 PAPR 값은 서로 다르게 된다. 따라서 증폭기에 입력되는 신호 r_1, r_2 의 PAPR도 서로 다른 값을 가지게 되며, 이 두 신호에 대해 동일한 특성의 증폭기를 통해 왜곡없이 얻을 수 있는 출력신호의 신호크기는 서로 다르게 되며, 이것에 의해 두 신호의 증폭기 출력단에서 송신전력은 서로 다른 값을 가지게 된다. 이 송신신호의 불균형에 의해 각 송신신호의 수신범위가 달라지게 된다. 이러한 문제점은 증폭기에 입력되는 신호인 r_1, r_2 의 PAPR 값을 동일하게 만들면 해결할 수 있다.

이 문제는 다음과 같이 각 안테나별로 연결된 증폭기에 입력되는 신호의 순서를 상호간에 교체하여 입력하는 방법으로 해결할 수 있다. 설명을 위해 여기서는 2x2 MIMO SM의 경우에 대해 안테나 1에는 16QAM, 안테나 2에는 QPSK 변조된 신호를 전송하는 경우에 대해 설명한다. 이 MIMO SM에서 r_n 과 r_{n+1} 은 Precoding을 통해 16QAM 과 QPSK 변조 신호를 조합해서 만들어지며, r_n 과 r_{n+1} 에는 16QAM 과 QPSK 성분의 크기는 서로 다른 값을 가지게 되므로, 이 r_n 과 r_{n+1} 는 서로 다른 PAPR 값을 가지게 된다.

안테나 1과 안테나 2의 출력신호가 증폭되기 이전에 증폭기에 입력되는 신호에 대하여, 각 안테나의 증폭기에 Precoder 출력신호를 서로 교체하여 입력한다. 이렇게 하여 매 단위시간마다 두 송신 안테나에 연결된 증폭기에는 Precoder 출력인 r_n 과 r_{n+1} 이 서로 번갈아 입력됨으로써 증폭기에 입력되는 신호는 서로 다른 변조신호가 교체되면서 입력되게 된다. 이 과정을 통해 두 증폭기에 입력되는 신호의 평균적인 PAPR은 동일한 값을 가지게 된다. 따라서 두 송신 안테나 1과 안테나 2에서 송신되는 신호는 동일한 특성을 가지는 증폭기를 통해 동일한 증폭도를 얻을 수 있게 되며, 증폭기 출력신호의 전력은 동일한 값을

가지게 된다. 따라서 각 안테나별 송신신호의 수신범위는 동일한 크기를 가지게 된다.

$$\begin{aligned}
 t = t_1 & : (ant1, ant2) = (x_1, x_2) = (r_1, r_2) \\
 t = t_2 & : (ant1, ant2) = (x_4, x_3) = (r_4, r_3) \\
 t = t_3 & : (ant1, ant2) = (x_5, x_6) = (r_5, r_6) \\
 t = t_4 & : (ant1, ant2) = (x_8, x_7) = (r_8, r_7) \\
 & \dots \\
 t = t_{n-1} & : (ant1, ant2) = (x_{2n-3}, x_{2n-2}) = (r_{2n-3}, r_{2n-2}) \\
 t = t_n & : (ant1, ant2) = (x_{2n}, x_{2n-1}) = (r_{2n}, r_{2n-1})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

4. 실험 및 결과

이 장에서는 실험을 통하여 제안한 PAPR 감소 방법의 성능 분석을 수행하였고, 그 결과를 제시한다.

가. 실험조건

제안한 PAPR 감소 기법의 성능분석을 위해 그림 5.와 같은 시뮬레이션 모델을 구현하였다. 대상 시스템은 DVB-NGH 표준화에서 고려하는 유럽형 디지털 TV 시스템인 DVB-T2 시스템을 적용하였다. 2x2 Precoding MIMO SM에서 적용한 변조 방식은 2개의 송신 안테나에 대하여 각각 16QAM 및 QPSK 변조를 적용하였다. 그리고 PAPR 계산에 적용한 16QAM 및 QPSK 변조된 OFDM 서브 캐리어의 개수는 100,000개를 적용하였다.

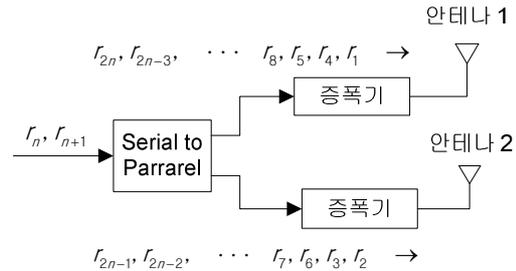


그림 5. 제안한 MIMO SM에서 송신신호 PAPR 감소 방법

나. 결과분석

기존의 MIMO SM 신호 전송방법을 적용한 경우에 2개의 송신 안테나에서 얻어진 평균전력 및 PAPR 값은 다음 표 1.과 같다. 이 경우에 PAPR 차이는 1.8457×10^{-1} 이 된다.

표 2. 기존 MIMO SM의 송신 방법의 PAPR 분석

	평균전력	최대전력	PAPR
송신 안테나 1	2.0796×10^{-4}	7.5966×10^{-4}	3.6529
송신 안테나 2	2.0848×10^{-4}	8.0003×10^{-4}	3.8375

제안한 MIMO SM 신호 전송방법을 적용한 경우에 2개의 송신 안테나에서 얻어진 평균전력 및 PAPR 값은 다음 표 2.와 같다. 이 경우에 PAPR 차이는 6.4625×10^{-2} 가 된다.

따라서 기존 방법과 제안한 방법 사이의 PAPR 비는 $1.8457 \times 10^{-1} / 6.4625 \times 10^{-2} \approx 2.9$ 배 정도의 차이가 존재하게

된다. 이 결과로부터 제안한 방법은 기존 방법에 비해 약 3배 정도의 PAPR 개선 효과가 있는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 DVB-NGH 표준화에 제안된 2x2 Precoding MIMO SM 방법에 대하여, 각 송신안테나별로 서로 다른 변조가 적용된 경우에 PAPR을 같게 하여 두 송신안테나의 송신신호가 동일한 방송권역을 가지게 하는 방법과 성능 분석 결과를 제시하였다. 제안한 PAPR 방법은 송신기의 고출력 증폭기에 입력되는 입력신호의 순서를 바꾸어 주고 수신기에서 역과정을 수행하는 과정만 추가되므로 추가적인 복잡도 증가가 없이 PAPR을 감소할 수 있다는 것을 확인하였다. 향후에는 2개 이상의 송신안테나에 서로 다른 변조가 적용된 경우에 PAPR 감소 및 각 안테나 송신신호의 방송권을 동일하게 하는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

6. 참고 문헌

- [1] International Broadcasting Convention IBC2006 conference paper "A dual polarisation MIMO broadcast TV system" J.D. Mitchell, P.N.Moss and M.J.Thorp. Sep. 2006
- [2] ETSI EN 302 755 v1.1.1, Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), Sep. 2009.
- [3] Peter Moss, "2-by-2 MIMO fixed reception channel model for dual-polar terrestrial transmission," BBC Research White Paper WHP161, Mar. 2008.
- [4] DVB TM-H NGH, "Call for Technologies(CfT)", V1.0, DVB TM-NGH 019r6/TM 4270r2, Nov. 2009.
- [5] DVB TM-NGH076 v1.0, LG response to NGH call for technology, Mar. 2010.
- [6] DVB TM-NGH102, 4-dimensional constellation-rotation modulation method, Mar. 2010.