



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0004918
(43) 공개일자 2008년01월10일

(51) Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01) H04B 7/04 (2006.01)
H04B 7/005 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0063848

(22) 출원일자 2006년07월07일

심사청구일자 2006년07월07일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자

여소영

경기 성남시 수정구 신흥2동 청구아파트 103-1208

백명선

서울 금천구 독산2동 1067-5

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

리엔목특허법인

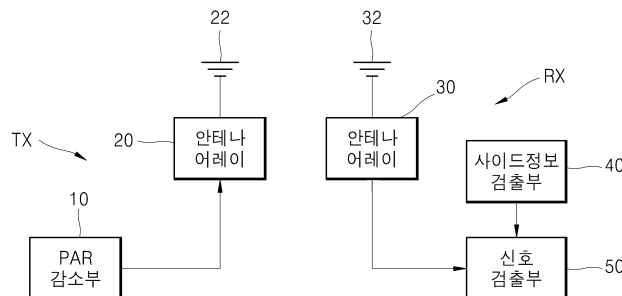
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 다중안테나를 사용하는 직교 주파수분할 다중변조시스템에서의 최대전력대 평균전력비 감소방법

(57) 요약

OFDM 시스템에서의 다중 송수신장치의 PAR 감소 방법이 개시된다. 안테나 어레이는 복수의 안테나로 구성된 복수의 안테나단으로 구성되며, 역고속 프리에 변환된 소정 포맷의 데이터신호를 수신한다. PAR 감소부는 다수의 위상 변환 벡터를 곱하여 각각을 역고속 프리에 변환 후에 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송하거나 주파수축에서 다수의 블록으로 분할된 전송 신호 벡터를 역고속 프리에 변환 후의 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송한다. 사이드 정보 검출부는 다중 수신 안테나에 의해 검출된 사이드 정보를 이용하여 신호를 검출한다. 본 발명에 따르면, 부반송파들의 중첩으로 인한 높은 PAR를 개선하기 위해 다중안테나 시스템에 적합한 PAR 감소 방법을 제안하여 안정적으로 신호를 검출할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

유영환

서울 송파구 가락동 140 가락쌍용아파트 101-1501

송형규

경기 성남시 분당구 서현동 한양아파트 320-303

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10557

부처명 서울특별시

연구사업명 기술기반 구축사업

연구과제명 차세대 PMP 콘텐츠 산업 클러스터 사업

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2006년 12월 01일 ~ 2007년 11월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서 전송신호의 PAR을 감소하는 방법으로서,

M 개의 전송안테나 중 i 번째 안테나의 OFDM 심벌의 각 부반송파들을 V 개의 벡터들 중 하나의 구성요소들과 곱하여, V 개의 다른 OFDM 심벌들의 집합을 생성하는 단계,

위의 과정 후에, 모든 새로운 OFDM 심벌들은 IFFT를 통해 시간축으로 변환하고, M 개의 전송 심벌들에 대해 평균 낸 결과 중 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 를 선택 하는 단계를 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 는 다음 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소방법.

$$\tilde{v} = \underset{1 \leq v \leq V}{\operatorname{argmin}} \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max_{1 \leq n \leq K} |x_i^{(v)}(n)| \right]$$

여기서 $\tilde{v}$ 는 $\mathbf{x}^{(v)}$ 중에서 가장 낮은 PAR를 가지는 심벌의 인덱스임.

청구항 3

다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서 전송신호의 PAR을 감소하는 장치로서,

M 개의 전송안테나 중 i 번째 안테나의 OFDM 심벌의 각 부반송파들을 V 개의 벡터들 중 하나의 구성요소들과 곱하여, V 개의 다른 OFDM 심벌들의 집합을 생성하는 수단,

위의 과정 후에, 모든 새로운 OFDM 심벌들은 IFFT를 통해 시간축으로 변환하고, M 개의 전송 심벌들에 대해 평균 낸 결과 중 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 를 선택 하는 수단을 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 는 다음 조건을 만족하는 것을 특징으로 하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소장치.

$$\tilde{v} = \underset{1 \leq v \leq V}{\operatorname{argmin}} \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max_{1 \leq n \leq K} |x_i^{(v)}(n)| \right]$$

여기서 $\tilde{v}$ 는 $\mathbf{x}^{(v)}$ 중에서 가장 낮은 PAR를 가지는 심벌의 인덱스임.

청구항 5

OFDM 신호를 생성하여 전송하는 송신단과, 전송된 신호를 수신하는 수신단으로 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에 있어서,

상기 송신단은

M 개의 전송안테나 중 i 번째 안테나의 OFDM 심벌의 각 부반송파들을 V 개의 벡터들 중 하나의 구성요소들과 곱하여, V 개의 다른 OFDM 심벌들의 집합을 생성하는 수단과; 생성된 심벌 집합중에서 새로운 OFDM 심벌들은 IFFT를 통해 시간축으로 변환하고, M 개의 전송 심벌들에 대해 평균 낸 결과 중 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$

를 선택하는 수단을 포함하되, 상기 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 는 $\tilde{\mathbf{v}} = \underset{1 \leq v \leq V}{\operatorname{argmin}} \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max_{1 \leq n \leq K} |x_i^{(v)}(n)| \right]$

(여기서 $\tilde{\mathbf{v}}$ 는 $\mathbf{x}^{(v)}$ 중에서 가장 낮은 PAR를 가지는 심벌의 인덱스임)을 만족하는 PAR 감소부를 포함하고,

상기 수신단은,

상기 송신단에서 전송된 신호로부터 상기 $\tilde{\mathbf{v}}$ 를 검출하는 사이드정보 검출수단을 포함하는 신호검출부를 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템.

청구항 6

다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서 전송신호의 PAR을 감소하는 방법으로서,

주파수축에서 다수의 클러스터로 분할된 전송 신호 벡터를 역고속 푸리에 변환(FFT)하는 단계,

IFFT 변환 후에 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 생성된 신호에서 모든 M개의 전송안테나의 평균 PAR가 가장 낮은 가중치요소를 선택하는 단계를 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 선택된 가장 낮은 가중치요소를 $b^{(g)}$ 라 할 때, 모든 전송안테나로부터 평균 PAR가 가장 낮은 MIMO-OFDM 심볼을 위한 최적의 가중치요소는 다음과 같이 주어지는 것을 특징으로 하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소방법.

$$\{b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(G)}\} = \underset{1 \leq i \leq M}{\operatorname{argmin}} \left(\max_{1 \leq k \leq K} \left| \sum_{g=1}^G b^{(g)} \mathbf{x}_i^{(g)}(k) \right| \right)$$

여기서 $\operatorname{argmin}(\cdot)$ 은 전체적인 최소값을 나타내는 인자임.

청구항 8

다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에서 전송신호의 PAR을 감소하는 장치로서,

주파수축에서 다수의 클러스터로 분할된 전송 신호 벡터를 역고속 푸리에 변환(FFT)하는 수단,

IFFT 변환 후에 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 생성된 신호에서 모든 M개의 전송안테나의 평균 PAR가 가장 낮은 가중치요소를 선택하는 수단을 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 선택된 가장 낮은 가중치요소를 $b^{(g)}$ 라 할 때, 모든 전송안테나로부터 평균 PAR가 가장 낮은 MIMO-OFDM 심볼을 위한 최적의 가중치요소는 다음과 같이 주어지는 것을 특징으로 하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템용 PAR 감소장치.

$$\{b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(G)}\} = \underset{1 \leq i \leq M}{\operatorname{argmin}} \left(\max_{1 \leq k \leq K} \left| \sum_{g=1}^G b^{(g)} \mathbf{x}_i^{(g)}(k) \right| \right)$$

여기서 $\operatorname{argmin}(\cdot)$ 은 전체적인 최소값을 나타내는 인자임.

청구항 10

OFDM 신호를 생성하여 전송하는 송신단과, 전송된 신호를 수신하는 수신단으로 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에 있어서,

상기 송신단은

주파수축에서 다수의 클러스터로 분할된 전송 신호 벡터를 역고속 푸리에 변환(IFFT)하는 수단과; IFFT 변환 후에 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 생성된 신호에서 모든 M개의 전송안테나의 평균 PAR가 가장 낮은 가

중치요소 $b^{(g)}$ 를 $\{b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(G)}\} = \operatorname{argmin} \left(\max_{1 \leq i \leq M} \max_{1 \leq k \leq K} \left| \sum_{g=1}^G b^{(g)} \mathbf{x}_i^{(g)}(k) \right| \right)$ (여기서 $\operatorname{argmin}(\cdot)$ 은 전체적인 최소값을 나타내는 인자임)의 식에 의해 결정하는 PAR 감소부를 포함하고,

상기 수신단은

상기 송신단에서 전송된 신호로부터 사이드정보를 검출하는 수단을 포함하는 신호검출부를 포함하는, 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <19> 본 발명은 다중안테나를 사용하는 직교 주파수분할 다중변조(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) 방식을 사용하는 시스템에서 최대전력대 평균전력비(Peak to average Power Ratio: PAR)를 감소하는 방법에 관한 것이다.
- <20> OFDM 방식에서는 반송파들의 중첩으로 인한 최대전력의 증가로 높은 PAR이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 역고속 푸리에 변환 수행시 동일 위상의 확률적인 가산으로 인해 시간 축에서 최대전력(peak power)이 발생하기 때문이다. 이렇게 생성된 높은 전력은 반송파의 수가 증가함에 따라 증가하여 RF 파워 증폭기의 허용한계를 넘어서 신호의 비선형적 왜곡을 일으키는 주된 요인이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 여러 가지 기술들이 제안되었으며, 그 중 대표적인 방법으로 사용되는 두 가지 스크램블링 방식이 개발되었다.
- <21> SLM(Selected Mapping) 방식은 다수의 위상 변환 벡터를 곱하여 각각을 IFFT(inverse fast fourier transform)한 후에 가장 작은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송하는 방식이다. PTS(Partial transmit sequence) 방식은 주파수축에서 다수의 블록으로 분할된 전송 신호 벡터를 IFFT한 후의 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 가장 작은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송한다.
- <22> 그러나 다중안테나 시스템에서의 이들 두 가지 PAR 감소 기법은 매우 복잡할 뿐만 아니라 사이드 정보의 검출률이 낮다는 문제점을 가지고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <23> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 다중안테나 시스템에서의 스크램블링 방식 중 구현의 용이성을 고려한 방식인 SLM 또는 PTS 방식을 이용하여 다중안테나 시스템에서 적합한 PAR 감소 방법 및 감소장치, 그리고 이들 방법과 장치를 채용한 다중안테나 시스템을 제공하는 데 있다.

발명의 구성 및 작용

- <24> 본 발명에 따른 PAR 감소방법과 장치는, 복수의 안테나로 구성된 복수의 안테나단으로 구성되는 디지털 멀티미디어 방송 시스템에 채용된다. 본 발명에 따른 PAR 감소 방법은, 다수의 위상 변환 벡터를 곱하여 각각을 IFFT한 후에 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송하는 방식과, 주파수축에서 다수의 블록으로 분할된 전송 신호 벡터를 IFFT한 후의 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송하는 방식을 포함한다.

- <25> 본 발명은, OFDM 심벌의 스크램블링 기법을 이용하여 가장 작은 PAR를 갖는 신호열을 선택함으로써 PAR 효과를 감소시켜 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템의 성능을 개선시키고, 안정적인 신호전송과 함께 시스템의 용량을 증대할 수 있다.
- <26> 이하에서, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 다중 송수신장치를 적용하는 OFDM 시스템에서 PAR 감소방법의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.
- <27> 도 1은 본 발명에 따른 PAR 감소방법이 적용되는 다중 송수신장치를 사용하는 OFDM 시스템에서 송수신단의 구성을 도시한 블록도이며, 도 2는 상기 OFDM 시스템에서의 수행과정을 도시한 흐름도이다.
- <28> 도 1을 참조하면, OFDM 시스템의 다중 송수신장치에서 좌측은 송신단(TX), 우측은 수신단(RX)을 나타낸다. 송신단과 수신단은 각각 PAR 감소부(10), 송신단 안테나 어레이(20) 및 수신단 안테나 어레이(30), 사이드정보(side information) 검출부(40), 사이드정보를 이용한 신호검출부(50)를 구비한다. 여기서, 본 발명에 따른 PAR 감소부(10)는 기존방식보다 단순화된 SLM 또는 PTS 방식을 이용하여 다중안테나 시스템에 적합한 PAR 감소방법을 수행한다.
- <29> 도 1과 같은 시스템의 전체적인 기능을 도 2를 참조하여 설명하면, 송신단(TX)은 복수의 안테나(22)로 구성된 안테나 어레이(20)를 통해 역고속 푸리에 변환(IFFT)된 데이터신호(본 발명에 의해 생성된 가장 작은 PAR을 갖는 신호)를 송신한다. 이 때, 송신단(TX)은 데이터신호를 전송 안테나 수에 맞게 나누어 안테나 어레이(20)에 구비된 각각의 안테나(22)를 통해 전송한다. 수신단(RX)은 안테나 어레이(30)에 구비된 각각의 안테나(32)를 통해 신호를 수신한다. 그리고 수신된 신호로부터 사이드정보 검출부(40)를 이용하여 신호를 검출한다(50). 이에 의해 OFDM 시스템에서 다중전송안테나를 사용하여 효율적으로 PAR 성능을 감소시키면서 안정적으로 신호를 전송하고 검출할 수 있다.
- <30> 본 발명이 적용되는 다중 송수신장치가 동작하는 다중 전송 채널 환경에서는 OFDM 심벌을 스크램블링하고 가장 작은 PAR를 갖는 신호열을 선택한다. 이하, 구체적인 기술적 사항에 대해서 설명한다.

- <31> M 전송 안테나와 N 수신 안테나를 사용하는 K 부반송파의 OFDM 시스템을 고려한다. 만약 i 번째 전송 안테나의 데이터 형태로서 주파수축 계수 $X_i(k)$ 를 나타낸다면, $x_i(n)$ 은 i 번째 전송 안테나 데이터 형태의 IFFT 결과이다. 그 관계는 다음과 같이 유도된다.

수학식 1

<32>
$$x_i(n) = \text{IFFT}[X_i(k)]$$

- <33> 여기서 n 은 OFDM 심벌의 시간 축 계수 $(0, 1, \dots, K-1)$ 이다. i 번째 전송 안테나의 데이터 벡터 $\mathbf{X}_i$ 는 다음의 수학식으로 표현된다.

수학식 2

<34>
$$\mathbf{x}_i = [x_i(0), x_i(1), \dots, x_i(n), \dots, x_i(K-1)]^T$$

- <35> OFDM 신호는 각 부반송파에서 독립적으로 변조되기 때문에, 결합된 OFDM 신호는 어떤 경우에 대해서는 큰 최대 전력을 가질 것이다. 그 최대전력은 부반송파의 수가 증가함에 따라서 증가된다. 최대전력은 일반적으로 PAR 관점에서 구해진다.

수학식 3

<36>
$$\text{PAR} = \frac{\max |x_i(n)|^2}{E[|x_i(n)|^2]}$$

<37> 여기서 $\max |x_i(n)|^2$ 는 최대 포락선전력(envelope power)을 나타내고, $E[|x_i(n)|^2]$ 은 평균전력을 나타낸다. 부반송파의 수가 K 일 때 최대 PAR는 K 이다.

<38> 부반송파의 개수 K 가 충분히 크다면 변조된 신호는 중심극한정리에 의하여 출력신호의 실수부와 허수부의 크기가 모두 가우스 분포를 가지며 OFDM 신호의 크기는 Rayleigh 분포를 가진다. 전력분포는 자유도가 2이고 평균이 0인 중심 chi-square 분포가 되어, 전력의 확률밀도 함수는 다음 식처럼 나타낼 수 있다.

수학식 4

<39>
$$F(z)=1-e^{-PAR_0 z}$$

<40> 여기서 PAR_0 는 특정 임계값이다.

<41> OFDM 샘플들이 서로 상관성이 없다고 한다면, 어떠한 특정한 임계값 PAR_0 를 초과하는 PAR에 대한 확률값은 다음과 같이 정의된다.

수학식 5

<42>
$$\Pr[PAR > PAR_0] = 1 - (1 - e^{-PAR_0})^K$$

<43> 일반적인 SLM 방식에서 V 개의 통계적으로 독립적인 OFDM 심벌들은 동일한 정보를 나타낸다고 가정한다. 선택적 매핑의 핵심은 동일한 정보를 나타내는 V 개의 신호들 중에서 원하는 성질에 부합하는 하나의 특정한 신호를 선택하기 위한 것이다. 부반송파로 정보의 매핑 후에, 각 OFDM 심벌은 V 개의 벡터들 $\mathbf{P}^{(v)} = [P^{(v)}(0), \dots, P^{(v)}(K-1)]^T$ 와 곱해진다. 그 결과로 생성된 $M \cdot V$ 개의 다른 OFDM 심벌들의 집합 $\mathbf{X}_i^{(v)}$ 는 다음과 같이 생성된다.

수학식 6

<44>
$$\mathbf{X}_i^{(v)} \equiv \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{P}^{(v)}, 1 \leq v \leq V_i$$

<45> 이렇게 생성된 모든 새로운 OFDM 심벌들은 IFFT로 시간축으로 변환되고 심벌들 중 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 가 선택된다.

<46> SLM을 효율적으로 이행하기 위해, $P^{(v)}(k)$ 의 구성요소는 $\{\pm 1, \pm j\}$ 로 이루어져 있다. 이 구성 요소들의 승법은 서로 교환되고 더해지고 빼지는 과정을 통해서 단순하게 이행된다.

<47> i 번째 전송 안테나에 대한 V 개의 독립적인 OFDM 심벌들 $\mathbf{X}_i^{(v)}$ 는 같은 정보를 나타낸다. 그리고 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 가 선택된다. 전송할 때에 가장 낮은 PAR를 가지는 심벌을 선택하여 전송하기 때문에 특정한 임계값 PAR_0 를 초과하는 PAR_{low} 에 대한 확률값은 다음과 같다.

수학식 7

$$<48> \Pr[\text{PAR}_{\text{low}} > \text{PAR}_0] = [1 - (1 - e^{-\text{PAR}_0})^K]^V$$

<49> 선택적 매핑의 핵심은 동일한 정보를 나타내는 V 개의 신호들 중에서 원하는 성질에 부합하는 하나의 특정한 신호를 선택하기 위한 것이다. i 번째 전송 안테나에 대한 V 개의 독립적인 OFDM 심벌들 $\mathbf{x}_i^{(v)}$ 중에서 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 가 다음 조건을 만족하면서 선택된다. 도 3에는 일반적인 SLM 기법의 기본적인 구조가 도시되어 있다.

<50> 다중안테나를 사용하는 OFDM 시스템에 있어서, 본 발명에 따른 단순화된 SLM 기반의 PAR 감소방법에 대해서 설명한다. 도 5에서 보는 것과 같이, 데이터소스로부터 직-병렬 변환된 신호에 다수의 위상 변환 벡터를 곱하여 각각을 역고속 푸리에 변환(IFFT) 후에 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송한다.

<51> M 개의 전송안테나 중 i 번째 안테나의 OFDM 심벌 $X_i(k)$ 의 각 부반송파들은 V 개의 벡터들 중 하나인 $\mathbf{P}^{(v)} = [\mathbf{P}^{(v)}(0), \dots, \mathbf{P}^{(v)}(K-1)]^T$ 의 구성요소들과 곱해진다. 그 결과로 V 개의 다른 OFDM 심벌들의 집합이 생성된다.

수학식 8

$$<52> \mathbf{x}^{(v)} = [\mathbf{x}_1^{(v)} \mathbf{x}_2^{(v)} \dots \mathbf{x}_M^{(v)}]$$

<53> 위의 과정 후에, 모든 새로운 OFDM 심벌들은 IFFT를 통해 시간축으로 변환되고, M 개의 전송 심벌들에 대해 평균 낸 결과 중 가장 낮은 PAR를 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 가 다음 조건을 만족하면서 선택된다. 전송된 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 는 $\mathbf{x}_i^{(v)}$ 와 같다.

수학식 9

$$<54> \tilde{v} = \underset{1 \leq v \leq V}{\operatorname{argmin}} \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max_{1 \leq n \leq K} |x_i^{(v)}(n)| \right]$$

<55> 여기서 $\tilde{v}$ 는 $\mathbf{x}^{(v)}$ 중에서 가장 낮은 PAR를 가지는 심벌의 인덱스이다.

<56> 모든 M 개의 전송 안테나에 대해서 전송할 때에 가장 낮은 평균 PAR를 가지는 심벌을 선택하여 전송하기 때문에 그 심벌의 인덱스도 같이 전송해 주어야 한다. 이때, 모든 M 개의 전송 안테나에 대해서 전송할 때에 가장 낮은 평균 PAR를 가지는 심벌을 선택하여 전송하기 때문에 특정한 임계값 PAR_0 을 초과하는 PAR_{low} 에 대한 확률 값은 다음과 같다.

수학식 10

$$<57> \Pr[\text{PAR}_{\text{low}} > \text{PAR}_0] = [1 - (1 - e^{-\text{PAR}_0})^{KM}]^V$$

<58> 한편, 위와 같은 과정에 의해 전송된 데이터를 수신하고 이를 복조하기 위해서, 수신기는 전송 안테나의 $\mathbf{P}^{(v)}$ 에 대한 정보를 알고 있어야 한다. 따라서 전송기는 사이드 정보 $\hat{\mathbf{v}}$ 를 전송해야만 한다. 사이드 정보 $\hat{\mathbf{v}}$ 를 전송하기 위해 요구되는 비트 수는 $\log_2 V$ 이지만, 단지 하나의 전송안테나에서만 전송된다. M개의 전송심벌들에 대해 평균을 낸 결과, 가장 낮은 PAR을 가진 심벌 $\tilde{\mathbf{x}}$ 가 선택되기 때문에, 전송기는 동일한 하나의 사이드 정보를 수신기로 전송하는 것이 가능하다. 그러므로 그에 따른 수신 다이버시티 효과가 나타나게 된다. 도 5에는 단순화된 SLM 기법의 기본적인 구조가 도시되어 있다.

<59> SLM 기법과 마찬가지로 일반적인 PTS 기법은 각 전송안테나에 각각 독립적으로 적용된다. 도 4에는 PTS방식의 기본적인 구조가 도시되어 있다. PTS 기법은 입력 데이터 블록을 여러 개의 서브블록으로 나누고, PAR를 감소시키기 위해 각 서브블록에 적절한 가중요소(weighting factor)를 곱해 준다. i번째 안테나에서의 입력 데이터를 G개의 서브블록으로 나누었을 때, 각 서브블록을 $\mathbf{X}_i^{(g)}$ 라 하면 나누어지지 않은 i번째 입력 데이터는 다음과 같다.

수학식 11

<60>
$$\mathbf{X}_i = \sum_{g=1}^G \mathbf{X}_i^{(g)}$$

<61> 여기서 G개의 서브블록은 서로 크기가 같고, 서브블록 분배방법은 인접분배 방법이라 가정한다. PTS 기법의 목적은 G개의 서브블록에 가중요소를 적절하게 곱하여 PAR을 감소하는 것이며, 가중요소를 곱한 서브블록은 다음과 같다.

수학식 12

<62>
$$\mathbf{X}_i' = \sum_{g=1}^G b^{(g)} \mathbf{X}_i^{(g)}$$

<63> 여기서 $\{b^{(g)}, g=1, 2, \dots, G\}$ 는 G개의 각 서브블록에 곱해지는 가중요소로 각 서브블록의 위상을 조절하여 PAR 값을 줄이는 역할을 한다. 이 값은 크기가 1인 복소수 값으로서, 시스템의 복잡도를 간단히 하기 위해 일반적으로 1, -1, j, -j의 복소수 값(즉 서브블록의 위상조절 크기는 90°)을 사용한다. 또 G개의 서브블록에서 첫 번째 서브블록을 제외하고 나머지 G-1개의 서브블록에만 가중요소를 적용한다. 따라서 G개의 서브블록에 대해 $\pm 1, \pm j$ 의 가중요소를 사용할 경우 위상조절이 가능한 경우는 총 4^{G-1} 가지가 된다. 수학식 12를 시간영역에서 표현하면 다음과 같다.

수학식 13

<64>
$$\hat{\mathbf{x}}_i = \sum_{g=1}^G b^{(g)} \mathbf{x}_i^{(g)}$$

<65> 여기서 벡터 $\mathbf{x}_i^{(g)}$ 는 부분 전송 시퀀스(partial transmit sequence)이며 $\mathbf{X}_i^{(g)}$ 의 IFFT이다. 또한 $\hat{\mathbf{x}}_i$ 는 가장 낮은 PAR을 갖는 신호열이고 이때의 가중요소가 $b^{(g)}$ 이다.

<66> 위와 같은 과정을 거친 후 가장 낮은 PAR을 갖는 신호열은 각 전송안테나를 통해 각각 독립적으로 전송된다. 이 때 PTS 기법의 결과로 덧붙여지는 사이드 정보 $X_{PTS} = (G-1)\log_2 W$ 비트이고 이 정보 역시 각 안테나를 통해 전

송된다. 여기서 W 는 $b^{(g)}$ 에 대한 위상각의 수이며 앞에서 말한 것과 같이 $b^{(g)} \in \{\pm 1, \pm j\} (W=4)$ 가 된다. 도 4에는 일반적인 PTS 기법의 기본적인 구조가 도시되어 있다.

<67> 본 발명의 다른 특징에 따른 단순화된 PTS 기반의 PAR 감소방법에 대해 설명한다. 이 방법은 도 6에서 보는 것과 같이, 주파수축에서 다수의 클러스터로 분할된 전송 신호 벡터를 역고속 푸리에 변환(IFFT) 후의 시간축 신호에 위상 변환 벡터를 곱하여 가장 적은 PAR 레벨을 생성하는 위상 변환 벡터로 수신 신호를 전송한다.

<68> 모든 M 개의 전송안테나의 평균 PAR가 가장 낮은 가중치요소가 선택되고 이때 선택된 가중치요소를 $b^{(g)}$ 라 한다. 모든 전송안테나로부터 평균 PAR가 가장 낮은 MIMO-OFDM 심볼을 위한 최적의 가중치요소는 다음과 같이 주어진다.

수학식 14

<69>
$$\{b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(G)}\} = \operatorname{argmin} \left(\max_{1 \leq i \leq M} \max_{1 \leq k \leq K} \left| \sum_{g=1}^G b^{(g)} x_i^{(g)}(k) \right| \right)$$

<70> 여기서 $\operatorname{argmin}(\cdot)$ 은 전체적인 최소값을 나타내는 인자이다. 단순화된 SLM 기법과 마찬가지로 전송기는 동일한 하나의 사이드 정보를 수신기로 전송하는 것이 가능하다. 그러므로 이 경우에도 그에 따른 수신 다이버시티 효과가 나타나게 된다. 도 6에는 단순화된 PTS 기법의 기본적인 구조가 도시되어 있다.

<71> 수신측에서, 데이터를 복원하기 위해서는 수신된 신호에 포함되어 있는 사이드 정보로부터 전송된 OFDM 신호의 발생을 알 수 있어야 한다.

<72> 단순화된 SLM 기반의 VBLAST(Vertical Bell Labs Layered Space-Time) 전송기법을 사용하는 OFDM 시스템에서, 하나의 전송 안테나는 사이드 정보 비트를 포함하여 전송하고 N 개의 수신안테나들은 같은 정보를 수신받는다. 또한 Combined STBC/VBLAST 전송기법에서 STBC(Space-Time Block Coding)가 수행되는 2개의 전송안테나는 사이드 정보 비트를 포함하여 전송하고 2개의 수신안테나들은 같은 정보를 수신 받는다. 다이버시티 차수를 D 라 하면 VBLAST의 경우는 $D=N$ 차의 수신 다이버시티의 효과를 얻을 수 있게 되고, Combined STBC/VBLAST의 경우는 $D=2 \times 2$ 차의 시공간 다이버시티의 효과를 얻을 수 있게 된다. 따라서 사이드 정보의 오류확률은 다음과 같다.

수학식 15

<73>
$$P_{f,SLM} \approx \log_2 V \cdot P_b$$

<74> 이때 P_b 는 다음과 같다.

수학식 16

<75>
$$P_b = \left[\frac{1}{2} (1 - \mu) \right]^D \cdot \sum_{\theta=0}^{D-1} \binom{D-1+\theta}{\theta} \left[\frac{1}{2} (1 + \mu) \right]^\theta$$

<76> 여기서 $\mu = [\gamma_0 / (1 + \gamma_0)]^{-1/2}$ 이고 D 는 다이버시티의 차수를 나타내며, γ_0 는 채널 당 평균 신호대 잡음비이다.

<77> $W=4$ 인 PTS 기반 VBLAST기반의 OFDM 시스템의 경우 사이드 정보 검출 오류 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

<78>
$$P_{f,PTS} \approx 1 - (1 - \log_2 W \cdot P_b)^{G-1}$$

<79> 만일 SLM과 PTS 두 경우에서 사이드 정보의 검출이 정확히 이루어지지 않았다면 그에 따른 조건부 BER은 대략 1/2이 된다. 위와 같은 사이드 정보 오류확률을 고려한 전체적인 BER 성능은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 18

$$P_{e,SLM} \approx P_e \cdot (1 - P_{f,SLM}) + \frac{1}{2} P_{f,SLM}$$

<80>

수학식 19

$$P_{e,PTS} \approx P_e \cdot (1 - P_{f,PTS}) + \frac{1}{G} \sum_{g=1}^{G-1} \left\{ G_e(G-g) + \frac{1}{2} g \right\} \cdot \binom{G-1}{g} P_s^g (1 - P_s)^{G-1-g}$$

<81>

<82> 여기서 P_e 는 사이드정보가 정확히 검출되었을 경우에 대한 MIMO-OFDM의 BER이다. 단순화된 PAR 제거기법의 경우 수학식 16과 수학식 17에서 볼 수 있듯이, 수신 다이버시티의 영향으로 인해 사이드정보검출 오류확률이 매우 낮으므로 전체적인 BER 성능은 대부분 P_e 에 의해 결정된다.

<83> 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로써 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

<84> 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위에 기재된 한도 내에 있게 된다.

발명의 효과

<85> 본 발명에 따른 OFDM 시스템에서의 PAR 감소 방법에 의하면, 서로 다른 여러 개의 스크램블링 신호열로 OFDM 심벌을 스크램블링하고 그 결과가 가장 작은 PAR를 갖는 신호열을 선택함으로써, 안테나 수의 증가에 따른 성능의 향상을 제공하여 안정적인 사이드 정보 검출과 함께 OFDM 시스템에서 다중안테나 시스템에 적합한 PAR 감소 성능을 제공할 수 있다.

<86> 도 7과 도 8은 다중안테나를 사용하는 OFDM시스템에서의 일반적인 SLM기법과 단순화된 SLM기법을 적용한 경우에 대한 PAR 성능을 보여준다. V의 수가 증가할수록 PAR 성능개선이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 단순화된 SLM기법의 경우, 전송 안테나가 증가함에 따라, V와 상관없이 PAR 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

<87> 도 9와 도 10은 다중안테나를 사용하는 OFDM시스템에서의 일반적인 PTS기법과 단순화된 PTS기법을 적용한 경우에 대한 PAR 성능을 보여준다. 동일한 서브캐리어를 갖는 역고속 프리에 변환에서 PTS가 SLM보다 PAR감소 성능이 더 뛰어난 것을 알 수 있다. 또한 G의 수가 증가할수록 PAR성능이 눈에 띄게 좋아지는 것을 볼 수 있으며, PTS의 경우와 마찬가지로 전송안테나가 증가함에 따라, G와 상관없이 PAR성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

<88> 도 11과 도 12는 일반적인 PAR감소 기법과 단순화된 PAR감소 기법의 사이드정보검출 오류확률을 보여준다. 단순화된 기법의 사이드 정보검출 오류확률의 경우 앞에서 언급한 수학적 접근과 모의실험을 통해 얻어진 결과가 거의 동일한 것을 확인할 수 있다. 또한 단순화된 PAR감소 기법의 경우 수신 다이버시티의 영향으로 일반적인 경우보다 사이드정보검출 오류확률이 매우 좋은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이러한 수신다이버시티의 크기는 앞에서 언급한 바와 같이 VBLAST전송기법을 사용하는 도 11과 도 12에서는 수신 안테나의 수만큼, Combined STBC/VBLAST전송기법을 사용하는 도 13과 도 14는 2×2인 4임을 알 수 있다. 또한 V와 G가 증가함에 따라 송수신 안테나의 수와 관계없이 성능의 감소가 있음을 확인할 수 있다.

<89> 도 15, 도 16, 도 17, 도 18은 사이드정보검출오류 확률을 고려한 전체적인 BER성능을 보여준다. SLM기법의 그래프인 도 15와 도 16의 경우 단순화된 SLM기법은 15dB이상에서 사이드정보가 완벽하게 검출된 그래프와 거의 동일한 성능을 나타내는 것을 보여준다. 또한 PTS 기법인 도 17와 도 18의 경우 단순화된 PTS기법은 일반화된 기법보다 더 좋은 성능을 나타내지만 사이드정보검출이 완벽하게 검출된 그래프와 비교하였을 때, 전체적인 BER 성능의 감소가 있음을 확인할 수 있다. 사이드정보 비트가 많이 요구되지 않는 V=4인 경우와 G=4인 경우는 단순화된 기법이 일반화된 기법에 비해 큰 성능의 증가를 보이지 못하지만 사이드정보 비트가 많이 요구되는 V=8인

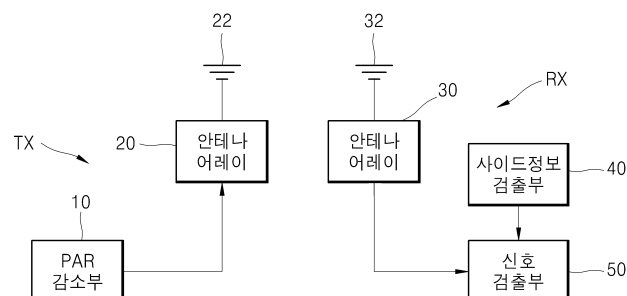
경우와 $G=5$ 인 경우는 단순화된 기법이 일반화된 기법에 비해 BER 10^{-3} 에서 2dB이상의 성능의 증가를 보임을 확인할 수 있다. 이러한 성능의 증가는 단순화된 기법의 다이버시티이득의 영향으로 인한 사이드정보의 보다 정확한 검출에 기인하는 것임을 알 수 있다.

도면의 간단한 설명

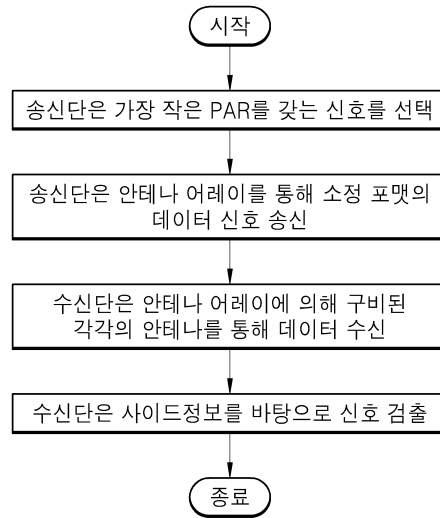
- <1> 도 1은 본 발명에 따른 다중 송수신장치를 사용하는 OFDM 시스템에서의 구성을 도시한 블록도,
- <2> 도 2는 본 발명에 따른 다중 송수신장치를 사용하는 OFDM 시스템에서 PAR 감소기법 수행과정을 도시한 흐름도,
- <3> 도 3은 PAR 감소를 위한 일반적인 SLM 기법을 도시한 도면,
- <4> 도 4는 PAR 감소를 위한 일반적인 PTS 기법을 도시한 도면,
- <5> 도 5는 PAR 감소를 위한 단순화된 SLM 기법을 도시한 도면,
- <6> 도 6은 PAR 감소를 위한 단순화된 PTS 기법을 도시한 도면,
- <7> 도 7은 단순화된 SLM ($V=2$) 기법의 결과를 보여주는 그래프,
- <8> 도 8은 단순화된 SLM ($V=4$) 기법의 결과를 보여주는 그래프,
- <9> 도 9는 단순화된 PTS ($G=2$) 기법의 결과를 보여주는 그래프,
- <10> 도 10은 단순화된 PTS ($G=4$) 기법의 결과를 보여주는 그래프,
- <11> 도 11은 다중수신시스템에서 SLM 기법의 사이드 정보 검출 오류확률의 그래프,
- <12> 도 12는 다중수신시스템에서 PTS 기법의 사이드정보 검출오류 확률의 그래프,
- <13> 도 13은 Combined STBC/VBLAST-OFDM 시스템에서 SLM 기법의 사이드정보 검출오류 확률의 그래프,
- <14> 도 14는 Combined STBC/VBLAST-OFDM 시스템에서 PTS 기법의 사이드정보 검출오류 확률의 그래프,
- <15> 도 15는 SLM 기법($V=4$)에서 사이드정보 오류검출 확률을 고려한 시스템의 전체적인 BER 성능 그래프,
- <16> 도 16는 SLM 기법($V=8$)에서 사이드정보 오류검출 확률을 고려한 시스템의 전체적인 BER 성능 그래프,
- <17> 도 17은 PTS 기법($G=4$)에서 사이드정보 오류검출 확률을 고려한 시스템의 전체적인 BER 성능 그래프,
- <18> 도 18은 PTS 기법($G=5$)에서 사이드정보 오류검출 확률을 고려한 시스템의 전체적인 BER 성능 그래프.

도면

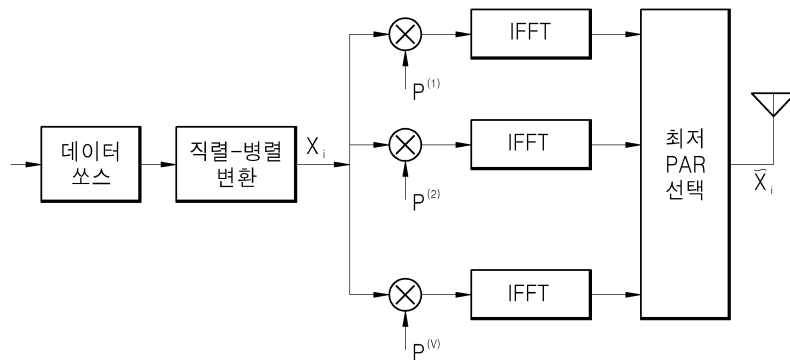
도면1



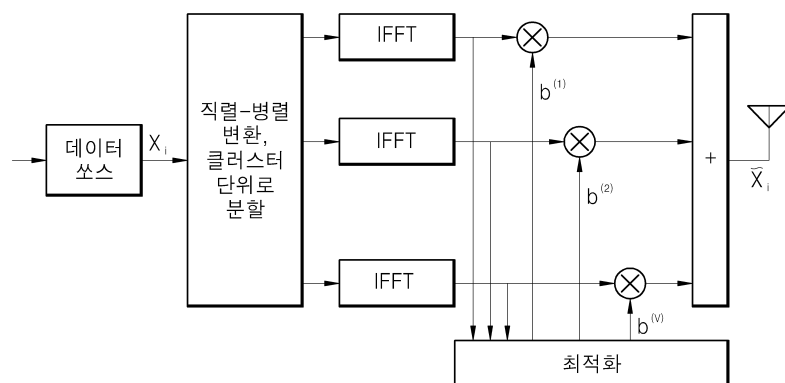
도면2



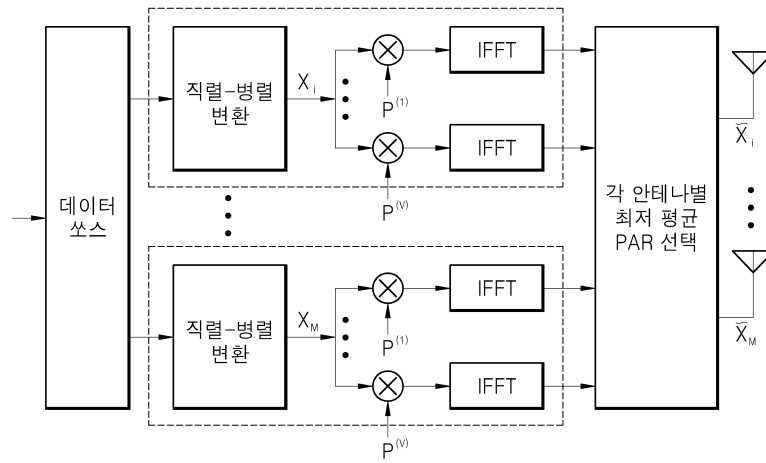
도면3



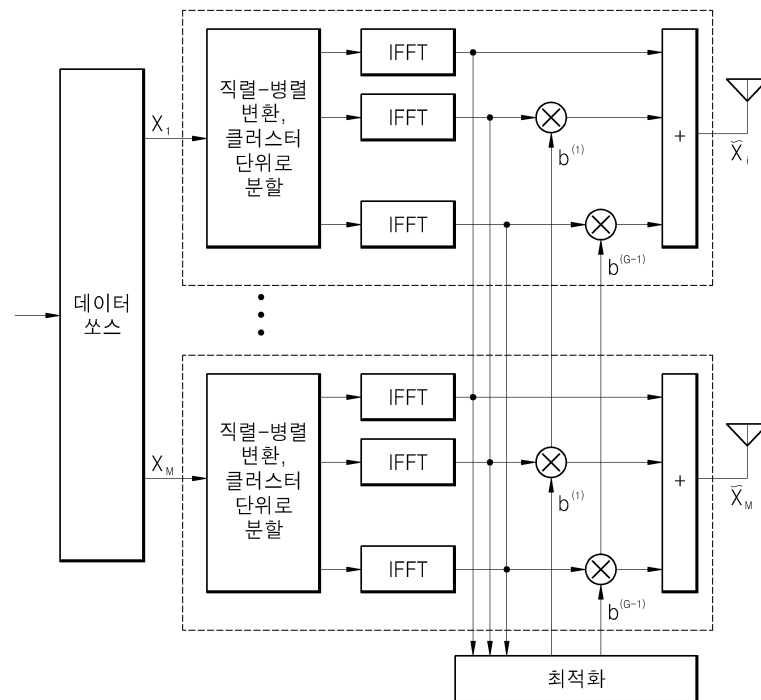
도면4



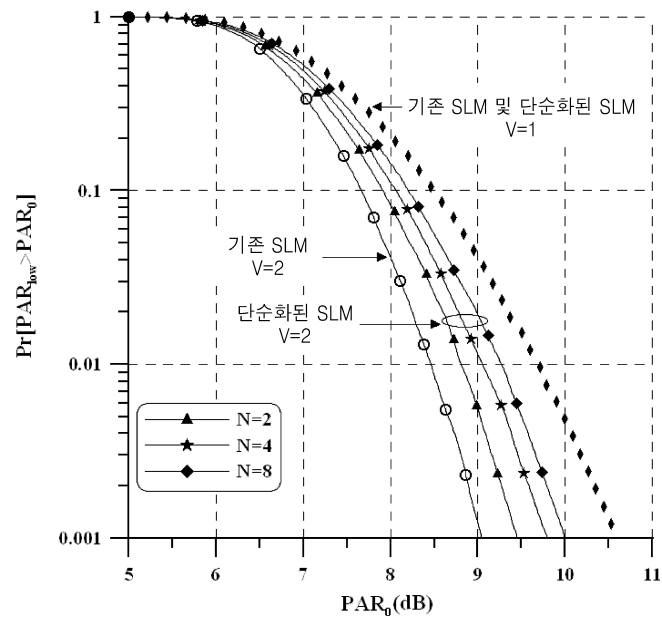
도면5



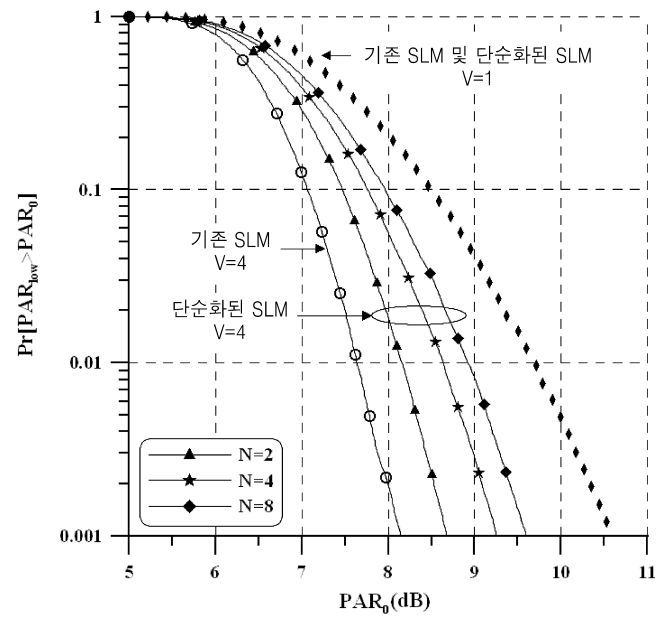
도면6



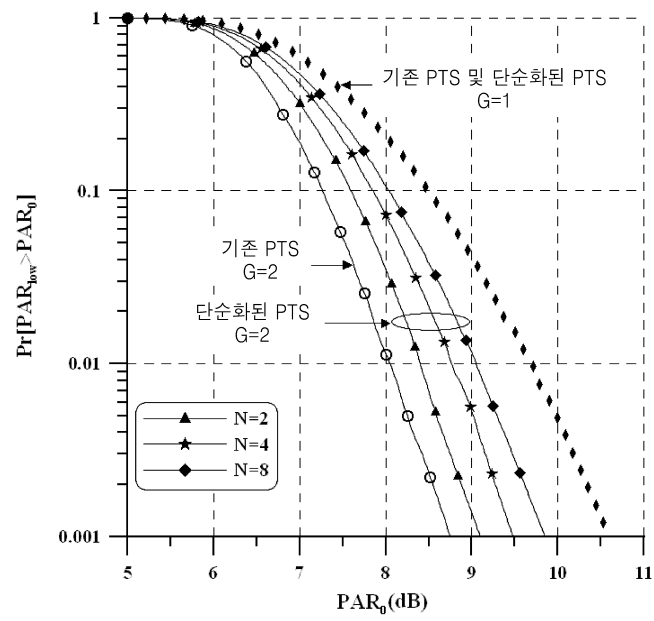
도면7



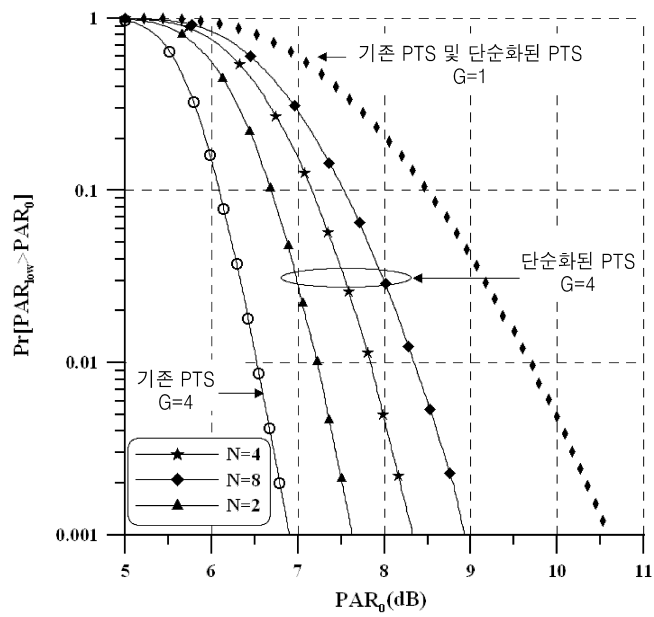
도면8



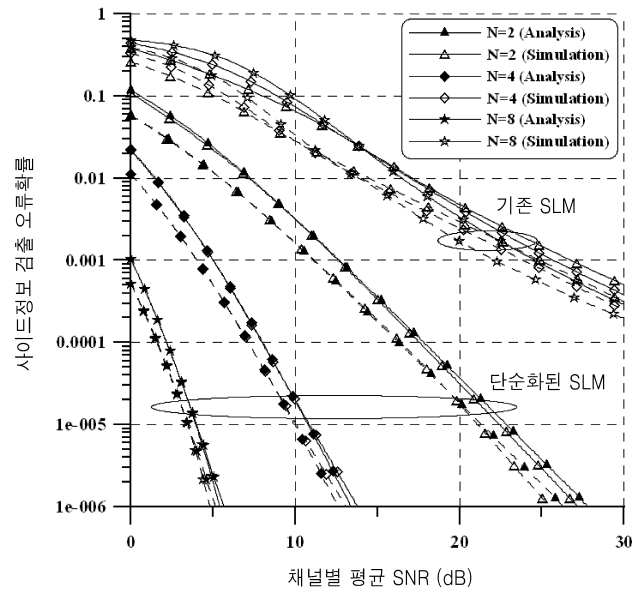
도면9



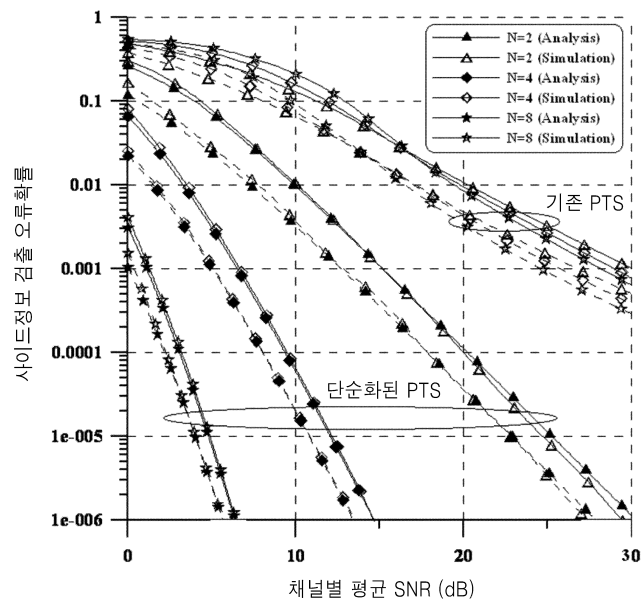
도면10



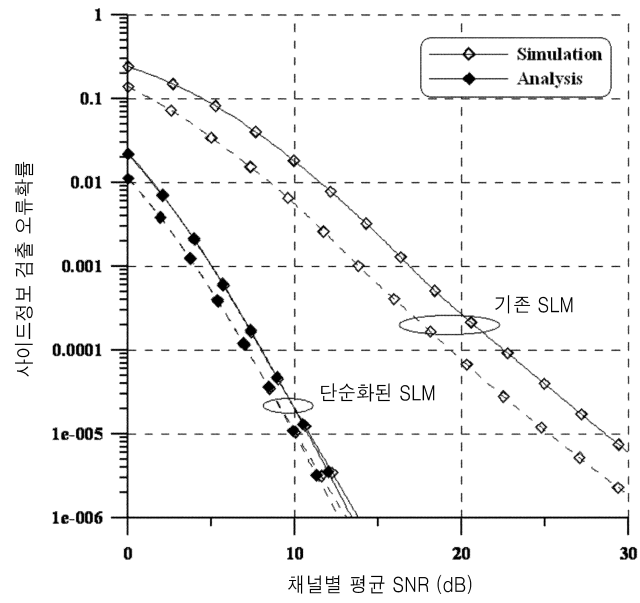
도면11



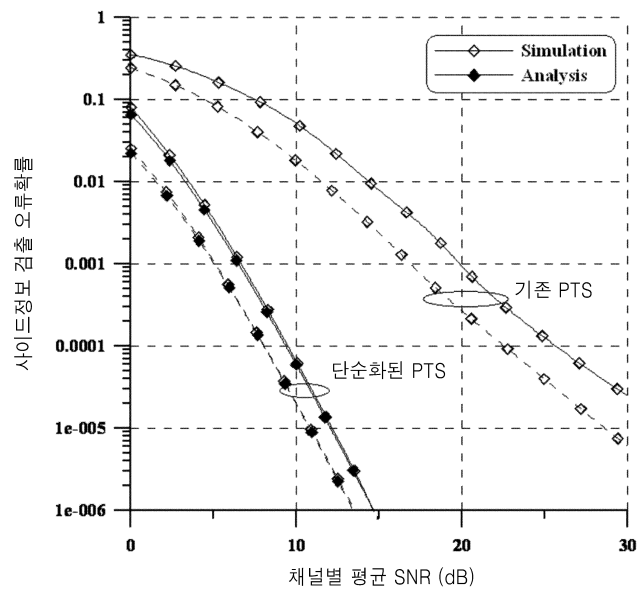
도면12



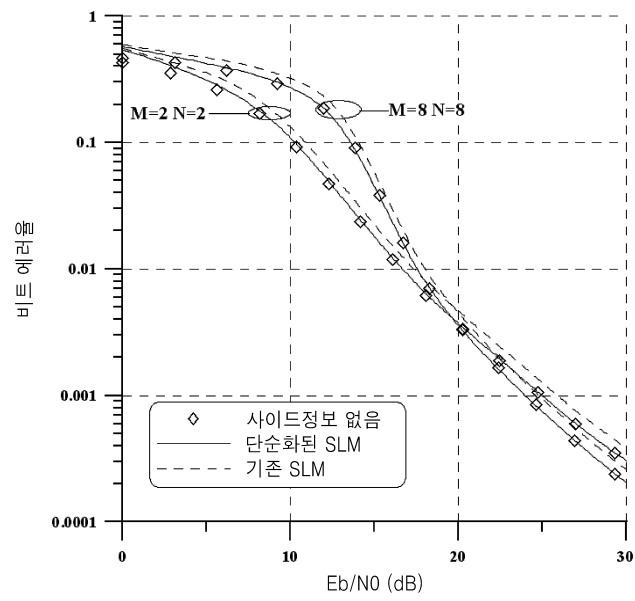
도면13



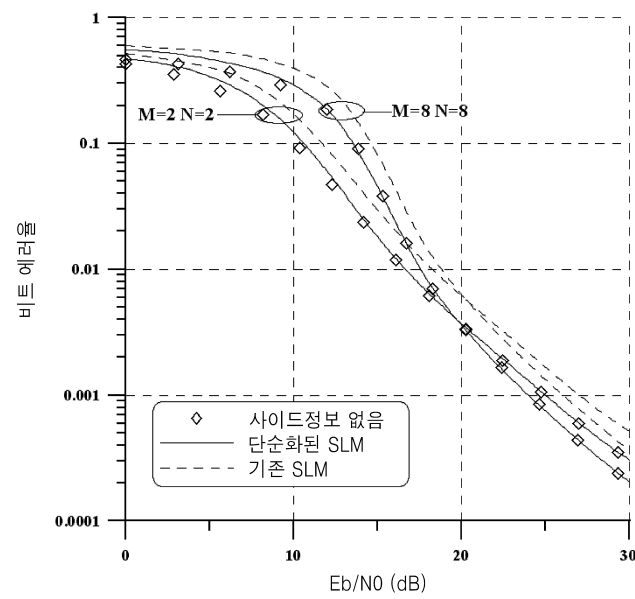
도면14



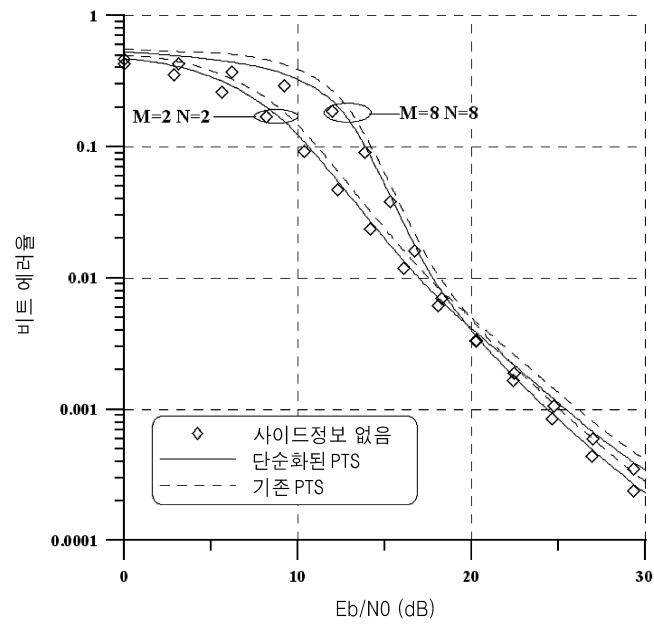
도면15



도면16



도면17



도면18

