



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0118758
(43) 공개일자 2009년11월18일

(51) Int. Cl.

H04J 13/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0044737

(22) 출원일자 2008년05월14일

심사청구일자 2008년05월14일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자

여소영

경기도 성남시 수정구 신흥2동 청구아파트
103-1208

백명선

서울특별시 금천구 독산2동 1067-5

송형규

경기도 성남시 분당구 서현동 한양아파트 320-303

(74) 대리인

리엔목특허법인

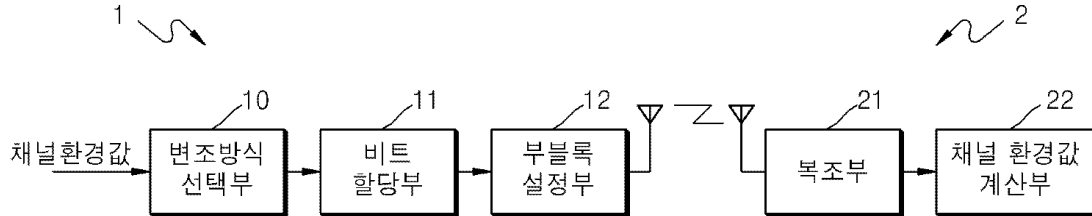
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 다중 반송파 송신기 및 그 방법

(57) 요약

다중 반송파 송신기 및 그 방법이 개시된다. 본 발명의 다중 반송파 송신기는 피드백 채널을 통해 수신한 채널 환경값을 이용하여 변조 방식을 결정하는 전송 방식 결정부, 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당하는 비트 할당부 및 인접 부반송파들을 지정된 크기의 부블록으로 묶어서 변조하여 전송하는 부블록 설정부를 포함함을 특징으로 한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

피드백 채널을 통해 수신한 채널 환경값을 이용하여 변조 방식을 결정하는 전송 방식 결정부;

상기 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당하는 비트 할당부; 및

인접 부반송파들을 지정된 크기의 부블록으로 묶어서 변조하여 전송하는 부블록 설정부를 포함함을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전송 방식 결정부는 상기 채널 환경값을 기반으로 하는 변조 방식과 에러율을 기반으로 하는 변조 방식 중 하나를 선택하는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수신 채널 환경값은 신호대 잡음비(SNR)임을 특징으로 하는 다중 반송파 수신기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 SNR을 기반으로 하는 변조 방식은 SNR의 범위를 복수로 나누고, 나뉘진 범위별로 서로 다른 전송 모드를 할당함으로써 상기 수신한 SNR에 대응하는 전송 모드를 결정하는 것을 다중 반송파 송신기.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 수신한 SNR이 어느 한 전송 모드에 해당할 확률을 그 전송 모드에 해당하는 처리량에 가중하고, 전체 전송 모드에 대해 합함으로써 할당될 비트가 결정됨을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 부블록 전송부는 상기 SNR을 기반으로 하는 변조 방식에서 상기 부블록에 대한 전송 모드를 결정하기 위해, 해당 부블록의 채널 환경값을 해당 부블록에 속하는 부반송파들의 채널 환경값들중 최대값, 평균값 및 최소값중 하나로 선택하는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 에러율을 기반으로 하는 변조 방식은 최대 전송 모드에 해당하는 비트 수를 모든 부반송파에 할당하고 상기 수신한 SNR을 이용하여 상기 모든 부반송파에 대해 구한 평균 비트에러율(BER)이 기준 BER보다 작거나 같을 때까지 상기 부반송파에 할당하는 비트 수를 감소시킴으로써 상기 부반송파들에 할당될 비트 수를 결정하는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 부반송파에 할당되는 비트 수를 감소시키는 것은 각 부반송파에 대한 BER을 내림차순으로 정렬한 다음 상위 N개까지의 부반송파에 대해 할당되는 비트 수를 감소시키는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신기.

청구항 9

피드백 채널을 통해 수신한 채널 환경값을 이용하여 변조 방식을 결정하는 단계;

상기 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당하는 단계; 및

인접 부반송파들을 지정된 크기의 부블록으로 묶어서 변조하여 전송하는 단계를 포함함을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 변조 방식은 상기 채널 환경값을 기반으로 하는 변조 방식 또는 에러율을 기반으로 하는 변조 방식인 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 채널 환경값은 SNR임을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 SNR을 기반으로 하는 변조 방식은 SNR의 범위를 복수로 나누고, 나뉘진 범위별로 서로 다른 전송 모드를 매칭함으로써 상기 수신한 SNR에 대응하는 전송 모드를 결정하는 것을 다중 반송파 송신 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 SNR을 기반으로 하는 변조 방식에서 상기 부블록에 대한 전송 모드를 결정하기 위해, 해당 부블록의 채널 환경값은 해당 부블록에 속하는 부반송파들의 채널 환경값들중 최대값, 평균값 및 최소값중 하나로 선택되는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 에러율을 기반으로 하는 변조 방식은

모든 부반송파에 최대 전송 모드를 적용하여 최대 비트 수를 할당하여 제1평균 BER을 계산하고, 최대 SNR을 갖는 부반송파에 최소 비트를 할당하여 제2평균 BER을 계산하는 단계;

상기 제1평균 BER이 기준 PER보다 작지 않거나 상기 제2평균 BER이 크지 않다면, 상기 모든 부반송파에 대해 제3평균 BER을 구하는 단계; 및

상기 제3BER이 상기 기준 BER보다 크지 않다면, 현재 할당된 비트 수를 유지하는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제1평균 BER이 상기 기준 BER보다 작으면, 모든 부반송파에 최대 비트 수를 할당하는 것을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

제3BER이 상기 기준 BER보다 크다면, 각 부반송파에 대한 BER을 내림차순으로 정렬하는 단계;

정렬된 BER 중 상위 N(단, N은 1보다 큰 자연수)개에 해당하는 부반송파들에 할당되는 비트 수를 감소하는 단계;

상기 모든 반송파에 대해 제3평균 BER을 구하는 단계; 및

상기 정렬하는 단계 내지 상기 제3평균 BER을 구하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함함을 특징으로 하는 다중 반송파 송신 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 다중 반송파 송신기 및 그 방법에 관한 것으로, 특히 다중 반송파 디지털 통신에서 채널 환경을 고려하여 적응적으로 변조 방식을 결정하는 다중 반송파 송신기 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

- <2> 다중 반송파 시스템, 특히 직교분할다중화(Orthogonal Division Multiplexing, OFDM) 시스템에서 변조 방식은 하나의 변조 기법에 시스템에 적용되어 채널 상태에 대해 유동적이지 않고, 이로 인해 처리량(throughput)이 감소되고, 오버헤드 부담이 크며 복잡도가 커진다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <3> 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 다중 반송파 시스템에서 채널 환경을 인지하여 채널 환경에 따라 적응적인 변조 기법을 채용하여 채널 용량을 증가시키는 다중 반송파 송신기 및 그 방법을 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

- <4> 상기 과제를 이루기 위한 본 발명의 다중 반송파 송신기는 피드백 채널을 통해 수신한 채널 환경값을 이용하여 변조 방식을 결정하는 전송 방식 결정부; 상기 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당하는 비트 할당부; 및 인접 부반송파들을 지정된 크기의 부블록으로 묶어서 변조하여 전송하는 부블록 설정부를 포함함을 특징으로 한다.
- <5> 상기 과제를 이루기 위한 본 발명의 다중 반송파 송신 방법은 피드백 채널을 통해 수신한 채널 환경값을 이용하여 변조 방식을 결정하는 단계; 상기 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당하는 단계; 및 인접 부반송파들을 지정된 크기의 부블록으로 묶어서 변조하여 전송하는 단계를 포함함을 특징으로 한다.

효 과

- <6> 본 발명에 따른 OFDM 시스템에서의 적응형 변복조 기법에 의하면, 채널 환경에 따라 부반송파에 다른 변조 방식을 선택하고 부블록을 설정함으로써, 적은 복잡도와 오버헤드를 가지며 시스템의 채널 용량 증대를 제공할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <7> 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세하게 설명하기로 한다.
- <8> 도 1은 본 발명에 따른 적응형 변복조 방법을 채용한 다중 반송파 시스템에 대한 블록도이다.
- <9> 도시된 다중 반송파 시스템은 송신기(1)와 수신기(2)를 구비한다. 송신기(1)는 변조방식 선택부(10), 비트 할당부(11) 및 부블록 설정부(12)를 포함한다. 수신기(2)는 복조부(21) 및 채널 환경값 계산부(22)를 포함한다.
- <10> 변조방식 선택부(10)는 수신기(2)로부터 피드백 채널을 통해 수신된 채널 환경값을 기반으로 하여 부반송파에 할당될 비트 수를 결정하는 변조 방식 또는 에러율을 기반으로 하여 부반송파에 할당될 비트 수를 결정하는 변조 방식을 선택한다.

- <11> 두 방식 중 하나를 선택하는 기준은 시스템의 복잡도와 성능을 고려하여 초기에 사용자에게 의해 결정된다. 예를 들어, 적은 복잡도를 가지며 채널에 대해 유동적으로 변조 방식을 할당할 경우 SNR 기반 변조 방식을 선택하고, 상대적으로 높은 신뢰성을 제공하기 위한 변조 방식을 적용할 경우 에러율 기반 변조 방식을 선택하며 채널 환경값을 이용해 비트를 할당한다.
- <12> 비트 할당부(11)는 선택된 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트 수를 할당한다. 부블록 설정부(12)는 인접한 부반송파를 부블록으로 묶어 변조 방식을 결정한다.
- <13> 복조부(21)는 송신기(1)에서 전송된 신호를 송신기(1)에서 선택된 변조 방식에 대응하는 복조 방식에 따라 복조하고, 채널 환경값 계산부(22)는 복조된 신호를 이용하여 채널 환경값, 본 실시예에서는 신호대 잡음비를 계산한다.
- <14> 송신기(1)에서 송신되는 신호는 시간영역에서 $x(n)$, 주파수 영역에서 $X(k)$ 로 표현되며 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)에 의해 다음 식과 같이 표현된다.

수학식 1

<15>
$$X(k) = \text{FFT}[x(n)]$$

- <16> 여기서, n 은 OFDM 심볼의 시간축 계수이고, k 는 부반송파를 나타낸다.
- <17> 송신기(1)로부터 다중 경로 채널을 통과한 후 수신기(2)에서 수신된 주파수 영역의 OFDM 심볼 $Y(k)$ 은 다음 식과 같이 표현된다.

수학식 2

<18>
$$Y(k) = \alpha(k)X(k) + N(k)$$

- <19> 여기서, $\alpha(k)$ 는 k 번째 부반송파의 채널 이득을 나타내며, $N(k)$ 는 k 번째 부반송파에 더해지는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.
- <20> 채널 환경값 계산부(22)에서 계산되는 신호대 잡음비는 수신신호의 크기와 잡음의 크기 비를 나타내며 일반적으로 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 3

<21>
$$\xi(k) [\text{dB}] = 10 \log_{10} \frac{|Y(k)|^2}{|\Delta N(k)|^2}$$

- <22> 여기서, $\Delta N(k)$ 는 k 번째 부반송파에서 잡음의 크기를 나타내며, 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 4

<23>
$$\Delta N(k) = Y(k) - \alpha(k) \cdot X(k)$$

- <24> 수학식 3에서 구한 신호대 잡음비는 피드백 채널을 통해 송신기(1)로 전송된다.
- <25> 송신기(1)는 수신한 신호대 잡음비를 이용하여 변조방식을 결정한 다음 데이터를 변조하여 송신한다. 도 2는 본 발명에 따른 다중 반송파 송신 방법에 대한 흐름도를 도시한 것이다.
- <26> 먼저, 송신기(1)의 변조방식 선택부(10)는 신호대 잡음비를 이용하는 기법(이하 SNR 기법이라 함)과 비트에러율(Bit Error Rate, BER)을 이용하는 기법(이하 에러율 기법이라 함)중 하나를 선택한다(21단계). 비트 할당부(11)는 변조방식 선택부(10)에서 선택된 변조 방식에 따라 각 부반송파에 비트들을 할당한다(22단계). 부블록 설정부(12)는 사용자가 정한 블록 크기를 갖도록 부반송파를 묶어서 변조하여 송신한다(23단계). 전체 S개의 부반송파에 대해, q개의 크기를 갖는 R개의 블록으로 부블록을 설정한다면, $R=S/q$ 로 설정될 것이다. 하나의 부블록에 포함되는 부반송파의 변조 방식과 할당되는 비트 수는 동일하다.

<27> 여기서, 변조 방식에 따른 비트 할당부(11)의 동작을 상세히 설명하면 다음과 같다.

<28> 먼저, SNR 기반 기법은 부반송파 채널 상태에 따라 전송 모드와 해당 부반송파들에 할당되는 비트 수를 결정함으로써 시스템의 채널 용량을 최대화하는 것을 말한다.

<29> 먼저, SNR 기반 기법에서 SNR에 따라 선택되는 전송 모드는 다음과 같이 결정될 수 있다.

수학식 5

$$\text{Mode} = \begin{cases} \text{No Tx,} & \text{if } \xi < l_1 \\ \text{BPSK,} & \text{if } l_1 \leq \xi < l_2 \\ \text{QPSK,} & \text{if } l_2 \leq \xi < l_3 \\ \text{16QAM} & \text{if } l_3 \leq \xi < l_4 \\ \text{64QAM,} & \text{otherwise} \end{cases}$$

<30>

<31> 수학식 5에 따르면, 전송 모드는 신호대 잡음비에 따라 신호를 송신하지 않는 가장 낮은 모드 레벨의 No Tx 모드부터 가장 높은 모드 레벨의 64QAM(Quadratic Amplitude Modulation)까지 다양한 변조 기법이 있다. ξ 는 무선 채널 환경에서 신호대 잡음비로 나타내지는 채널 환경에 대한 추정값이며, l_1 부터 l_4 값은 각기 다른 변조 모드 사이의 임계값을 나타낸다. 이 선택된 전송 모드는 다음 데이터 전송시 적용되며, 현재 채널 상태에 따라 결정된다.

<32> 채널 상태가 정확히 추정되면 이상적인 레벨 전환기법을 적용할 수 있다. 따라서 채널 상태 추정시 에러가 없다고 가정할 경우, 적절한 변조방식을 적용한다는 것은 임계값을 어떻게 선택하느냐에 따라 결정된다. 따라서 임계값 설정에 따라 할당될 비트 수를 선택하기 위해 본 실시예에서는 신호대 잡음비를 고려한다.

<33> 수학식 5에 따른 신호대 잡음비 ξ 의 확률밀도 분포는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$f_{\xi}(\xi) = \frac{1}{\xi} e^{-\frac{\xi}{\bar{\xi}}}$$

<34>

<35> 여기서 $\bar{\xi}$ 는 평균 SNR을 나타낸다.

<36> 모드 선택 확률 P_{mode} 는 k번째 부반송파에서 I개의 가능 비트 수 집합 중 i번째 모드의 선택 확률을 나타내며, 채널 환경 측정값 ξ 에 따라 결정된다. 모드 선택 확률 P_{mode} 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 7

$$\begin{aligned} P_{\text{mode}} &= \Pr[l_i \leq \xi < l_{i+1}] \\ &= \int_{l_i}^{l_{i+1}} f_{\xi}(\xi) d\xi \\ &= F_{\xi}(l_{i+1}) - F_{\xi}(l_i) \end{aligned}$$

<37>

<38> 여기서, l_i 는 모드 전환 레벨을 나타내며, $f_{\xi}(\xi)$ 는 SNR의 확률밀도함수를 나타낸다. $F_{\xi}(l_i)$ 는 적률밀도함수로서 다음 식과 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$F_C(l_i) = \int_{l_i}^{\infty} f(x) dx$$

<39>

<40> 이 모드 선택 확률을 이용하여 평균 처리량 B를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 9

$$B = \sum_{k=0}^{K-1} b_k \int_{l_i}^{l_{i+1}} f_{-i}(x) dx \\ = \sum_{k=0}^{K-1} b_k P_{mode}$$

<41>

<42> 여기서 b_k 는 각 모드에 대한 처리량을 나타낸다.

<43> 수학식 9에 따르면, 평균 처리량은 각 적용 가능한 모드에 해당하는 처리량에 모드 선택 확률을 곱한 가중합(weighted sum)으로 나타낼 수 있다.

<44> 그러나 상술한 방식의 경우, 각 부반송파에 대해 수신 SNR을 계산하며, 피드백 채널을 통해 피드백 정보로 전송해야 하므로, 부반송파의 크기에 따라 계산량과 오버헤드가 증가하는 단점을 가진다.

<45> 따라서 피드백 오버헤드를 줄이기 위해서 본 실시예에서는 인접한 부반송파들을 부블록으로 묶어 변조 방식을 결정한다(23단계). 이 경우 부블록의 크기가 채널의 코히런스 대역폭(coherence bandwidth)보다 작다면 피드백 오버헤드의 감소뿐만 아니라 각 부반송파에 대해 적응형 변조 기법을 수행하는 방식과 유사한 성능을 가져온다.

<46> 각 부블록에 있어서 모드 결정을 위해 선택되는 수신 SNR의 기준은 다음 식과 같이 세 가지 중 하나로 결정될 수 있다.

수학식 10

$$\xi_b = \begin{cases} \text{Case 1) max } \xi_b(k) \\ \text{Case 2) mean } \xi_b(k) \\ \text{Case 3) min } \xi_b(k) \end{cases}$$

<47>

<48> 여기서, $\xi_b(k)$ 는 b번째 부블록의 k번째 부반송파의 SNR을 나타내며, ξ_b 는 b번째 부블록의 기준 SNR을 나타낸다.

<49> 수학식 10과 같이 각 부블록에 대한 기준 SNR이 결정되면, 기준 SNR에 대해 부블록 전체의 변조 방식 및 그에 대응하여 비트 수가 결정된다. 즉 SNR 기반 방식에서는 부블록에 모두 동일한 변조 방식이 적용된다.

<50> 다음으로, 에러율 기반 기법에 적용되는 변조 방식을 결정하는 방법을 살펴보기로 한다. 에러율 기반의 변조 기법은 에러율에 의하여 변조 방식과 비트 수를 할당하는 기법으로, 가장 높은 비트 레벨을 모든 부반송파에 할당하고 BER 제한 조건을 만족할 때까지 가장 큰 BER을 갖는 부반송파의 비트 수를 점차적으로 줄여가는 방식이다. 에러율 기반 방식에서는 부블록에 동일하거나 동일하지 않은 변조 방식이 적용될 수 있다. 이는 에러율을 계산하여 각 부반송파에서의 변조 방식을 낮추기 때문이다.

<51> 먼저, 각 변조 방식에 따른 BER을 구한다.

<52> BPSK(Binary Phase Shift Keying)의 비트 에러율은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 11

<53>

$$P_{2,k}(\zeta(k)) = Q(\sqrt{2\zeta(k)})$$

<54>

여기서 $Q(\cdot)$ 는 다음 식의 Q-함수를 의미한다.

수학식 12

<55>

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

<56>

또한, M-QAM의 심볼 에러율과 비트 에러율은 각각 다음 수학식으로 나타낼 수 있다.

수학식 13

<57>

$$\begin{aligned} \tilde{P}_{M,k}(\zeta(k)) &= 1 - (1 - P_{\sqrt{M}})^2 \\ &= 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q\left(\sqrt{\frac{3\zeta(k)}{M-1}}\right) \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q\left(\sqrt{\frac{3\zeta(k)}{M-1}}\right)\right) \end{aligned}$$

<58>

여기서, $M=2^i$ 로 i 는 비트 수를 나타낸다.

수학식 14

<59>

$$P_{M,k}(\zeta(k)) = \frac{\tilde{P}_{M,k}(\zeta(k))}{\log_2 M}$$

<60>

수학식 11과 14를 이용하여 각 모드에 따른 BER을 계산하고, 점진적 알고리즘(incremental algorithm)에 따라 전송 방식과 부반송파에 할당될 비트 수를 결정할 수 있다.

<61>

도 3은 변조방식 선택부(10), 비트 할당부(11) 및 부블록 설정부(12)에 의해 수행되는 점진적 알고리즘에 대한 흐름도를 도시한 것이다.

<62>

먼저, 모든 부반송파에 최대 모드 레벨을 적용하여 최대 비트 수를 할당한 다음 제1평균 BER을 계산하고, 최대 SNR을 갖는 부반송파에 최소 비트를 할당하여 제2평균 BER을 계산한다(30단계).

<63>

제1평균 BER이 목표 BER(P_T)보다 작으면(31단계), 모든 부반송파에 최대 모드 레벨을 적용한다(32단계).

<64>

제2평균 BER이 P_T 보다 크면(33단계), 채널환경이 열악하다고 판단하여 비트를 할당하지 않고 종료한다(34단계).

<65>

제1평균 BER이 P_T 보다 크거나 같거나, 혹은 제2평균 BER이 P_T 보다 작거나 같으면, 모든 부반송파에 대해 최대 모드 레벨을 적용하여 제3평균 BER을 계산한다(35단계).

<66>

제3평균 BER이 P_T 보다 작거나 같다면(36단계), 이전 단계에서 결정된 상태로 부반송파의 모드 레벨을 적용한 다음 종료한다.

<67>

36단계에서 제3평균 BER이 P_T 보다 크면, 각 부반송파의 BER인 $P_e(x)$ 를 다음 식과 같이 내림차순으로 정렬한다(37단계).

수학식 15

<68>

$$[P_e(x_0), P_e(x_1) \dots P_e(x_{N-1})] = \text{sort}_{x \leq N} [P_e(x)]$$

<69>

여기서, $\text{sort}[]$ 는 $P_e(x_0) \geq P_e(x_1) \geq \dots \geq P_e(x_{N-1})$ 와 같이 내림차순으로 BER을 정렬하는

함수이고, N은 모드 레벨이 동시에 고려되는 부반송파의 수로, 사용자에 의해 정해진다.

<70> 다음으로, 수학적 식 15에서 고려된 상위 N개의 부반송파들에 대해 동시에 모드 레벨을 낮추고(38단계), 제3평균 BER을 다시 계산하여(39단계) 제3평균 BER이 P_T 와 같거나 작아질 때까지 36단계 내지 39단계를 반복한다.

<71> 본 실시예에서는 SNR 기반의 적응형 변조 방식의 성능 분석을 위해 총 64개의 부반송파를 가지는 OFDM 시스템을 가정하였다. 사용가능한 총 모드 레벨은 5가지로 No Tx, BPSK, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM 및 64QAM이고, 각 모드 레벨에 할당되는 비트는 0,1,2,4,6 비트로 가정하였다. 수신기(2)에서 채널 추정은 완벽하여 실제 신호가 겪은 채널과의 채널 상태 정보(Channel State Information)에 대한 오류가 없다고 가정하였다. 또한 수신기(2)에서의 피드백 정보는 오차없이 송신기(1)에 전달된다. 적응형 변복조를 위해 실험에 사용된 모드 레벨의 예는 다음 표와 같다.

표 1

	No Tx	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM
Case 1	$\zeta(k) < 0$	$0 \leq \zeta(k) < 10$	$10 \leq \zeta(k) < 20$	$20 \leq \zeta(k) < 25$	$\zeta(k) \geq 25$
Case 2	$\zeta(k) < 0$	$0 \leq \zeta(k) < 10$	$10 \leq \zeta(k) < 15$	$15 \leq \zeta(k) < 20$	$\zeta(k) \geq 20$
Case 3	$\zeta(k) < 0$	$0 \leq \zeta(k) < 5$	$5 \leq \zeta(k) < 10$	$10 \leq \zeta(k) < 15$	$\zeta(k) \geq 15$

<72> 도 4 내지 도 9는 표에서 Case 1, Case 2 및 Case 3의 모드 레벨에 따른 OFDM 시스템의 성능 이득을 각각 도시한 것이다.

<74> 도 4 및 도 5는 SNR 기반 적응형 변조 방식을 적용한 시스템에 있어서 모드 레벨 종류에 따른 BER 성능과 처리량 성능을 각각 도시한 것으로, 비교를 위해 64QAM 변조 방식에 의한 결과를 같이 도시하였다.

<75> Case 1의 경우, 도 4를 참조하면 SNR이 증가함에 따라 64QAM 변조 방식보다 향상된 BER 성능을 보이고, 도 5를 참조하면 64QAM 변조 방식과 같은 6비트/부반송파의 전송률에 근접함을 알 수 있다. 가장 좋은 성능을 보이는 Case 3의 경우 도 5를 참조하면 4비트/부반송파의 전송률을 갖는다. 이와 같이 적응형 변조 방식을 적용한 시스템에서도 모드 레벨에 따라 BER 성능과 처리량 성능 사이에 트레이드오프(trade-off)가 존재함을 확인할 수 있다.

<76> 도 6 및 도 7은 각각 Case 2 및 Case 3 모드 레벨을 설정할 때, SNR의 증가에 따라 각 비트 수 ($M_n=0,1,2,4,6$)가 선택될 확률을 도시한 것이다. 도시된 바에 따르면, 채널 상태가 양호해질수록 높은 비트 수가 선정될 확률이 높아짐을 알 수 있다.

<77> 부블록 SNR 기반 적응형 변조 방식을 적용한 OFDM 시스템의 성능 이득은 도 8에 도시된 바와 같다. 실험환경은 도 4 내지 도 7과 동일하고, 모드 레벨을 Case 2로 설정했다. 또한 각 부블록에 있어서 모드 레벨 결정을 위해 선택되는 수신 SNR은 Case 3의 최소 SNR을 기준으로 한다.

<78> 도 8에 도시된 바에 따르면, 부블록의 개수가 많아질수록 부블록의 대역이 채널의 코히런스 대역보다 작아지게 되어, 보다 정확한 예측이 가능하게 됨으로써 성능이 향상됨을 알 수 있다. 도 9는 8개의 부블록이 설정됐을 경우 SNR이 증가함에 따라 각 모드가 선택될 확률을 도시한 것이다. 도시된 바에 따르면, 채널 상태가 양호해질수록 높은 비트 수가 선정될 확률이 높아짐을 알 수 있다.

<79> 다음 표는 에러율 기반 적응형 변조 방식을 적용한 시스템에서 반복 수행 수를 종래의 에러율 기반 변조 방식과 비교하여 나타낸 것이다.

표 2

	에러율 기반 기법(A)	본 발명의 에러율 기반 기법(B)
N=4	133	34
N=2	145	73
반복 수행 수	K	K/N

<81> 표에 따르면, 종래의 에러율 기반 기법에서 비트 할당을 위한 알고리즘의 반복 수행회수가 K라면, 본 발명의 에

러울 기반 기법에서는 K/N회로 감소되어 부하가 감소되고, 비용이 절감된다.

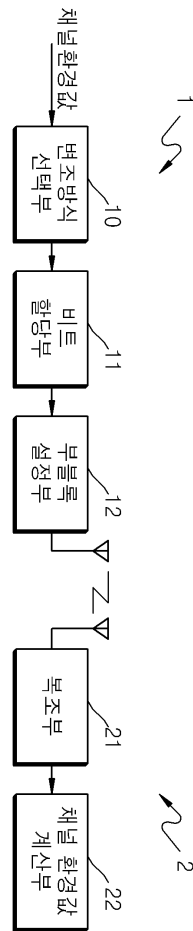
- <82> 에러율 기반 적응형 변조 방식의 성능 분석을 위해 총 128개의 부반송파를 갖는 OFDM 시스템을 가정하였고, 사용가능한 전송 레벨 역시 총 5가지로서 0,1,2,4,6 bps로 가정하였다.
- <83> 도 10 및 도 11은 에러율 기반의 적응형 변조 방식에서 SNR에 대한 BER과 처리량을 각각 도시한 것이다. 실험에서 고려된 목표 BER은 5×10^{-2} 이다. 비교를 위해 종래의 에러율 기반 적응형 변조 방식과 본 발명에 따른 에러율 기반 적응형 변조 방식을 비교하여 도시하였다. 도시된 바에 따르면, N이 증가함에 따라 BER 성능은 좋아지는 반면, 처리량은 저하됨을 알 수 있다. 이는 제안한 알고리즘에 있어서, 소수의 부반송파의 변조 레벨이 낮춰짐으로써 BER 제한 조건을 만족할 수 있음에도 불구하고, N개의 부반송파가 동시에 변조 레벨이 낮춰짐으로써 불가피하게 처리량 성능이 저하된다. 반면 N이 작아질수록 BER이 기존의 에러율 기반 성능과 유사하게 됨을 알 수 있다. 따라서 에러율 기반 적응형 변조 시스템에서도 N에 따라 BER 성능과 처리량 성능 사이의 트레이드 오프가 존재함을 확인할 수 있다.
- <84> 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 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.
- <85> 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 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.

도면의 간단한 설명

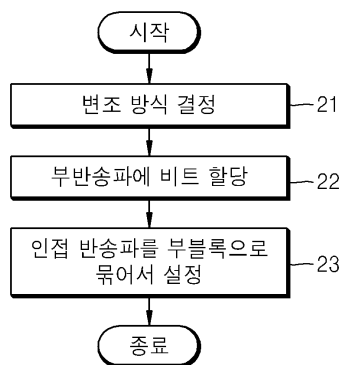
- <86> 도 1은 본 발명에 따른 적응형 변복조 방법을 채용한 다중 반송파 시스템에 대한 블록도이다.
- <87> 도 2는 본 발명에 따른 다중 반송파 송신 방법에 대한 흐름도를 도시한 것이다.
- <88> 도 3은 점진적 알고리즘에 대한 흐름도를 도시한 것이다.
- <89> 도 4 및 도 5는 SNR 기반 적응형 변조 방식을 적용한 시스템에 있어서 모드 레벨 종류에 따른 BER 성능과 처리량 성능을 각각 도시한 것이다.
- <90> 도 6 및 도 7은 각각 Case 2 및 Case 3 모드 레벨을 설정할 때, SNR의 증가에 따라 각 비트 수가 선택될 확률을 도시한 것이다.
- <91> 도 8은 부블록 SNR 기반 적응형 변조 방식을 적용한 OFDM 시스템의 성능 이득을 도시한 것이다.
- <92> 도 9는 8개의 부블록이 설정됐을 경우 SNR이 증가함에 따라 각 모드가 선택될 확률을 도시한 것이다.
- <93> 도 10 및 도 11은 에러율 기반의 적응형 변조 방식에서 SNR에 대한 BER과 처리량을 각각 도시한 것이다.

도면

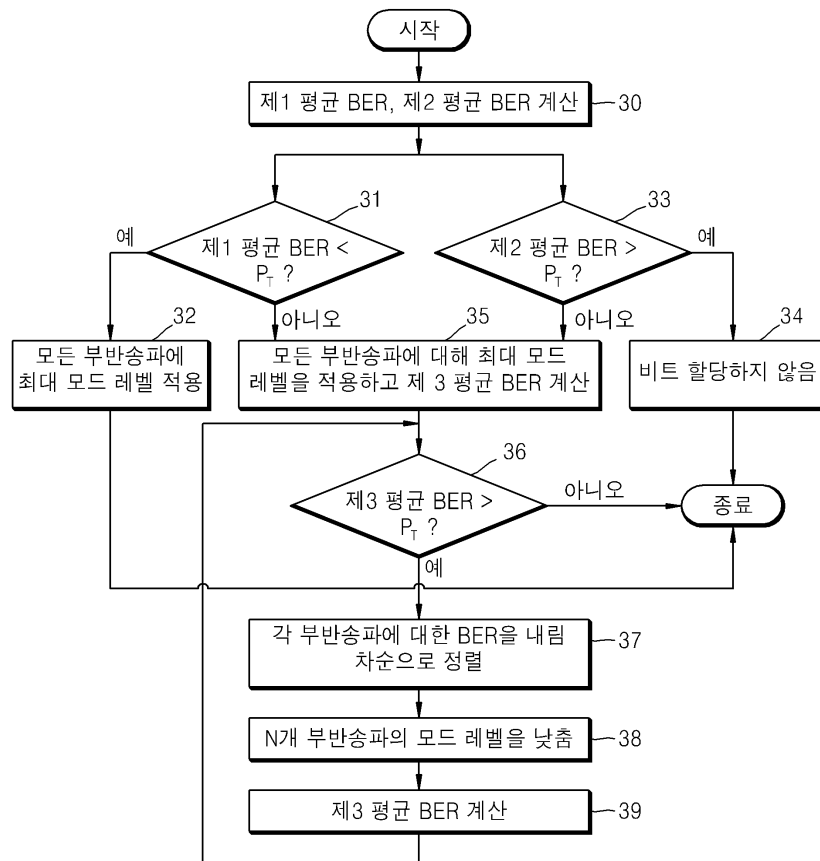
도면1



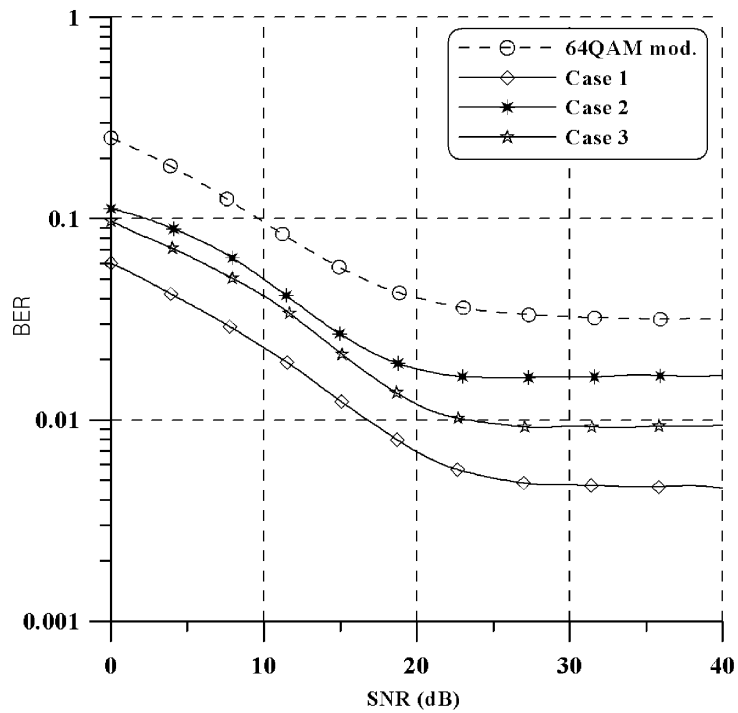
도면2



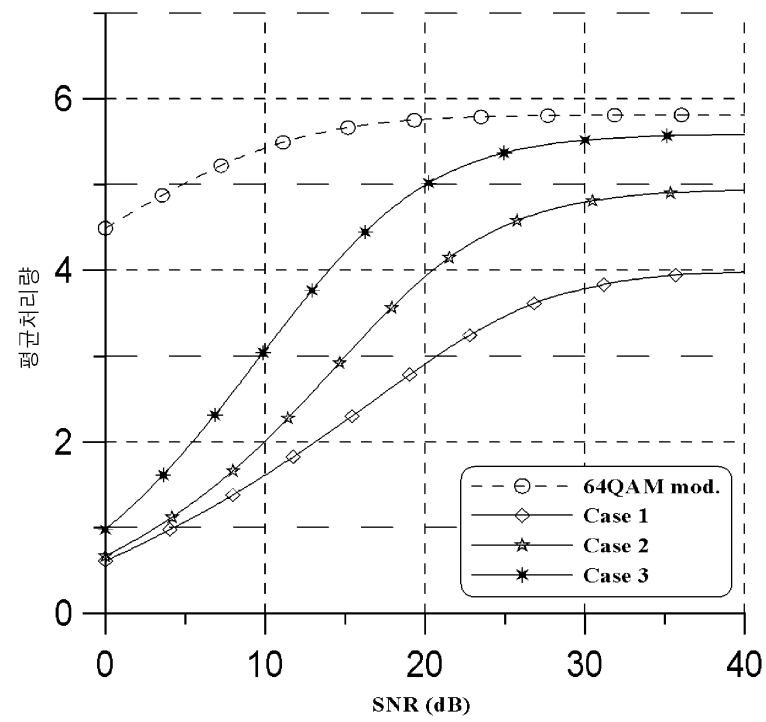
도면3



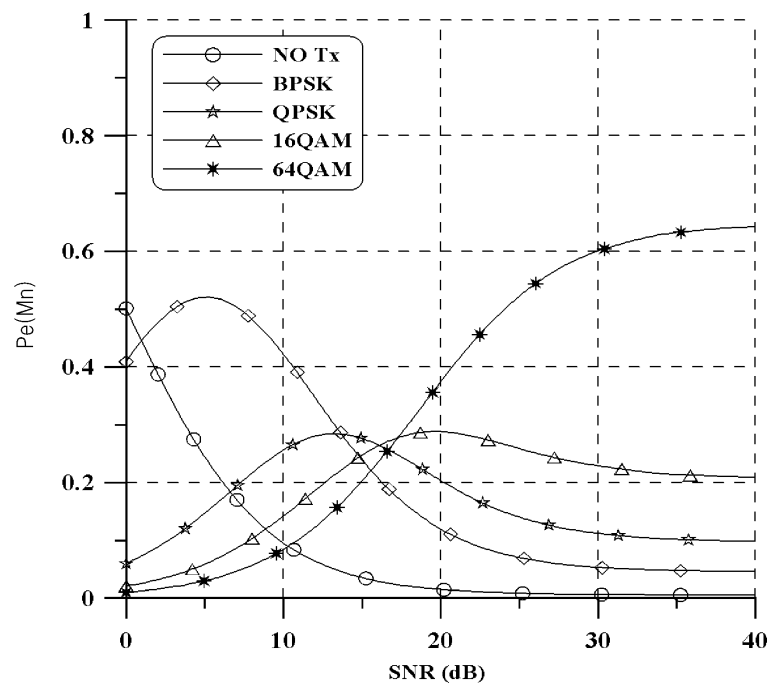
도면4



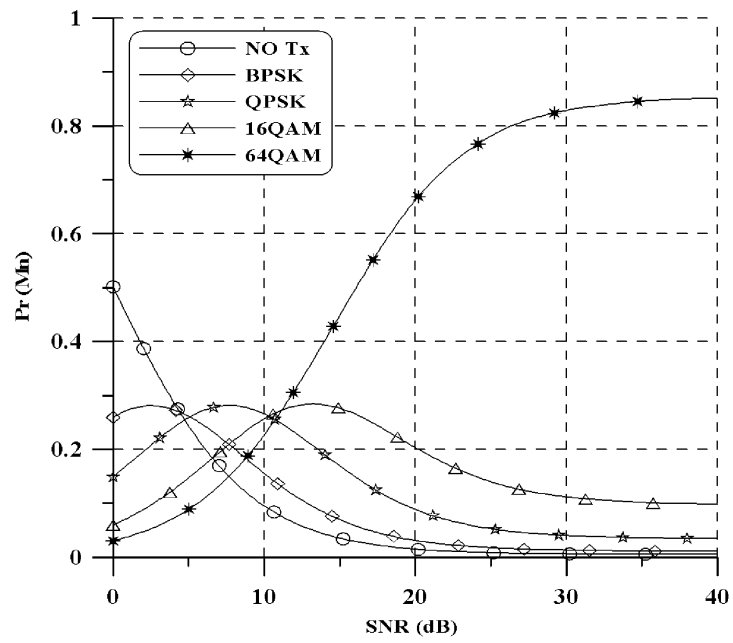
도면5



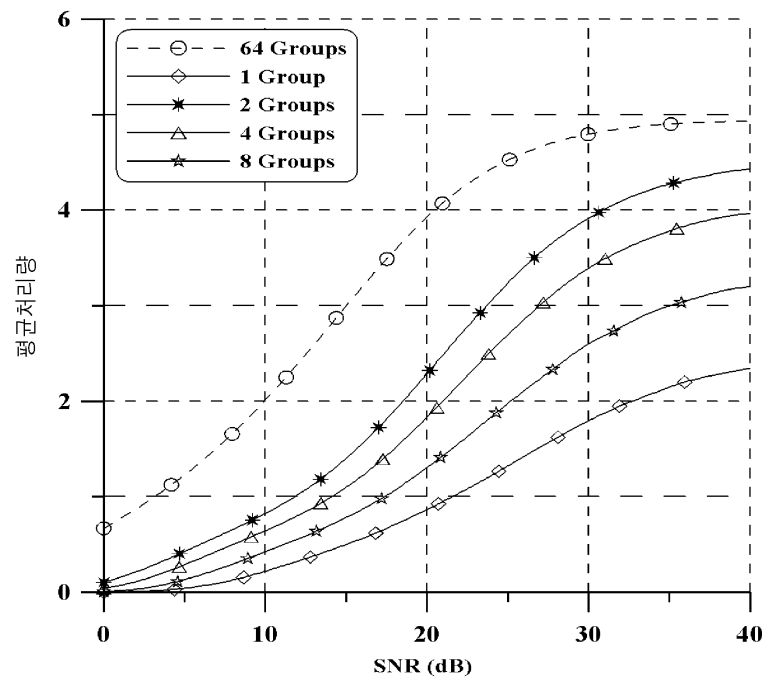
도면6



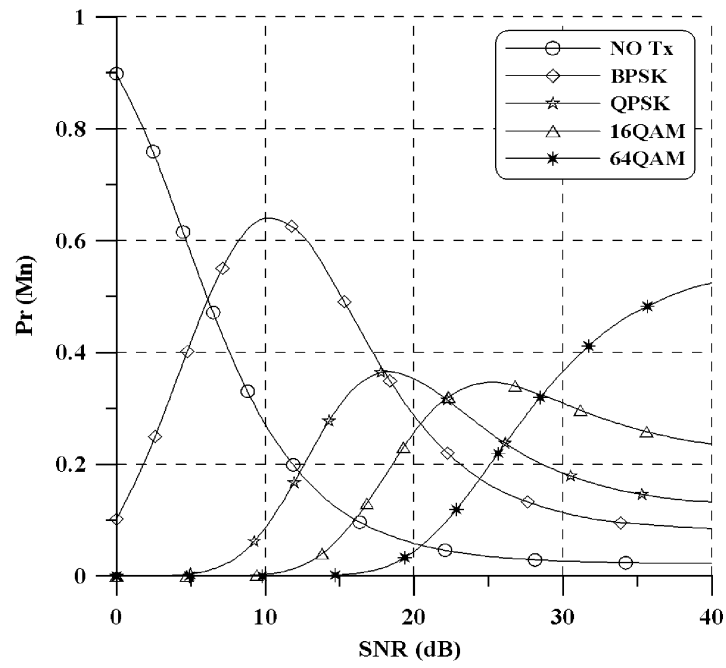
도면7



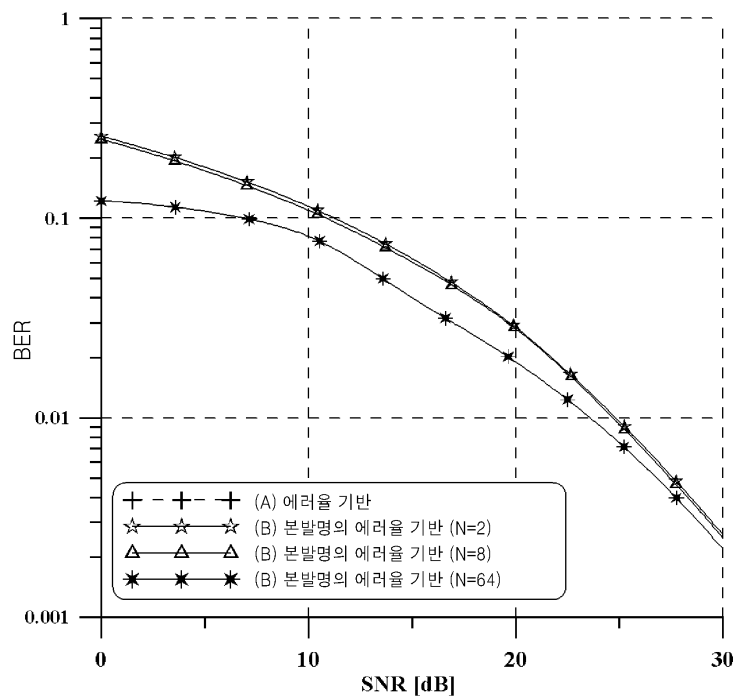
도면8



도면9



도면10



도면11

