



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0057317
(43) 공개일자 2009년06월04일

(51) Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-7007926

(22) 출원일자 2009년04월17일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2009년04월17일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/078875

국제출원일자 2007년09월19일

(87) 국제공개번호 WO 2008/036727

국제공개일자 2008년03월27일

(30) 우선권주장

60/826,158 2006년09월19일 미국(US)

60/875,270 2006년12월15일 미국(US)

(71) 출원인

에이저 시스템즈 링크

미합중국 펜실베이니아 18109 알렌타운 노스이스트
아메리칸 파크웨이 1110

(72) 발명자

발리가, 자얀트

오스트레일리아, 호퍼스 크로싱, 메디나 드라이브
31

그랜트, 알렉산더, 제이.

오스트레일리아, 5095, 노스 애텔라이트, 웰링턴
스퀘어 33

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

장훈

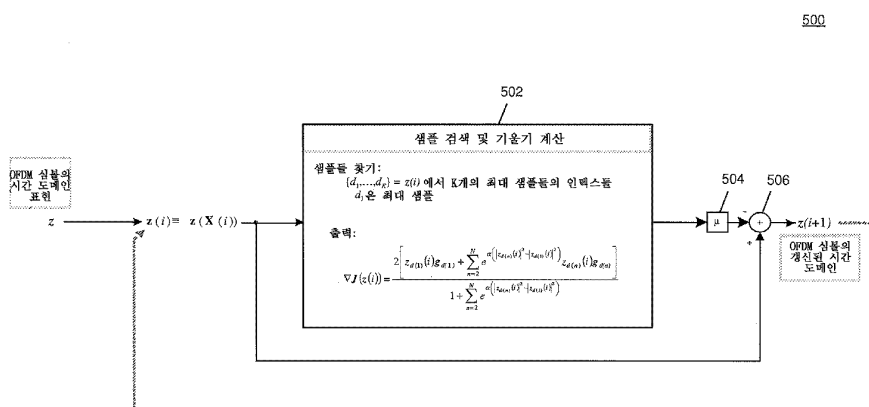
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 기울기 하강 방식을 이용하여 다중 반송파 변조된 신호들에 대한 피크대 평균 전력비 감소 심볼들 계산 방법

(57) 요약

일 실시예에서, 본 발명은 직교 주파수 분할 멀티플렉싱된(OFDM) 심볼과 같은 다중 반송파 변조된 심볼의 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키기 위한 방법이다. 이 방법은 먼저, 데이터 심볼들의 세트를 다중 반송파 변조된 심볼로 변환한다. 그 후에 이 방법은 PAPR 감소 톤들을 위한 심볼들의 세트를 생성하기 위하여 기울기 하강 알고리즘 및 다중 반송파 변조된 심볼을 이용한다. 데이터 심볼들 및 PAPR 감소 심볼들은 그 후에 갱신된 다중 반송파 변조된 심볼을 생성하기 위해 변환된다. PAPR 감소 심볼들은 종료 상태가 발생할 때까지 반복적으로 갱신된다(예를 들면, 다중 반송파 변조된 심볼에 대해 수용 가능한 PAPR이 달성된다). 다른 실시예에서, 방법은 갱신된 다중 반송파 변조된 심볼을 직접 생성하기 위해 제 1 단계에서 생성된 다중 반송파 변조된 심볼과 기울기 하강 알고리즘을 이용하며, 데이터 심볼들 및 PAPR 감소 심볼들을 변환하기 위한 필요성이 후속 반복들 동안 제거된다.

대표도



(72) 발명자

카인드, 아드리엘, 폴

오스트레일리아, 2113, 뉴 사우스 웨일스, 맥쿼리
파크, 로얄 플레이스 1, 유닛 7

우드워드, 그레이, 케네스

오스트레일리아, 2122, 뉴 사우스 웨일스, 에핑,
프랜시스 스트리트 36

특허청구의 범위

청구항 1

전송기의 다중 반송파 변조된 신호의 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키기 위한 컴퓨터 구현된 방법에 있어서:

(a) (i) 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 초기 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 초기 PAPR-감소 톤들을 갖는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성하는 단계; 및

(b) (i) 상기 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 상기 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 최종 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 최종 PAPR-감소 톤들을 갖는 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위해 기울기 하강 알고리즘(gradient-descent algorithm)을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하는 단계로서, 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮은, 상기 적용 단계를 포함하는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 다중 반송파 변조된 신호, 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호, 및 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호는 직교 주파수 분할 멀티플렉싱된(OFDM) 신호들인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 초기 PAPR-감소 심볼들의 각각은 영인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 기울기 하강 알고리즘은:

(b1) 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에서 하나 이상의 최대 샘플들을 결정하는 단계;

(b2) 상기 다중 반송파 변조된 신호의 진폭에 기초하는 비용 함수의 기울기에 상기 하나 이상의 최대 샘플들을 적용하는 단계; 및

(b3) 상기 비용 함수의 기울기에 기초하여 상기 다중 반송파 변조된 신호를 갱신하는 단계를 포함하는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 단계(b1) 내지 상기 단계(b3)는 지정된 종료 상태가 발생할 때까지 1회 이상 반복되는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 지정된 종료 상태는 상기 갱신된 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR이 지정된 PAPR 문턱 레벨보다 작을 때 발생하는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 비용 함수 J 는 다중 반송파 변조된 신호 z 의 피크 전력에 근접하고,

$$J = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n|^2) \right)$$

에 의해 주어지고,

α 는 스칼라 상수이고;

z_n 은 상기 다중 반송파 변조된 신호 z 의 n 번째 요소이고;

N 은 상기 다중 반송파 변조된 신호 z 에서의 샘플들의 수인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 기울기 하강 알고리즘은:

$$\mathbf{X}(i+1) = \mathbf{X}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{X}(i))$$

이고,

i 는 상기 기울기 하강 알고리즘의 반복 횟수이고;

$\mathbf{X}(i+1)$ 은 하나 이상의 갱신된 PAPR 감소 심볼들이고;

$\mathbf{X}(i)$ 는 이전 반복 동안 생성된 하나 이상의 PAPR 감소 심볼들이고;

μ 는 단계 크기이고;

$J(\mathbf{X}(i))$ 는 비용 함수이고;

$\nabla J(\mathbf{X}(i))$ 는 상기 비용 함수 $J(\mathbf{X})$ 의 기울기인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 비용 함수 $J(\mathbf{X}(i))$ 의 상기 기울기 $\nabla J(\mathbf{X}(i))$ 는:

$$\nabla J(\mathbf{X}) = \frac{2 \left[z_{d(1)} \mathbf{f}_{d(1)}^\dagger + \sum_{n=2}^K e^{\alpha (|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)} z_{d(n)} \mathbf{f}_{d(n)}^\dagger \right]}{1 + \sum_{n=2}^K e^{\alpha (|z_{d(n)}|^2 - |z_{d(1)}|^2)}}$$

이고,

$|z_n(\mathbf{X}(i))|$ 는 상기 다중 반송파 변조된 신호 $z(\mathbf{X}(i))$ 의 n 번째 요소의 절대값이고;

$d(1)$ 은 $|z_n(\mathbf{X}(i))|$ 의 최대 샘플이고;

$d(n)$ 은 $|z_n(\mathbf{X}(i))|$ 의 n 번째 최대 샘플이고;

K 는 N 보다 작거나 같은 정수이고;

Q 는 역 고속 푸리에 변환(IFFT)의 $N \times N$ 매트릭스이고, 여기서 N 은 상기 IFFT의 컬럼 길이와 로우 길이 둘다이고;

$\hat{\mathbf{Q}}$ 는 Q의 NxM 서브 매트릭스이고;

M은 상기 하나 이상의 PAPR 감소 톤들의 수이고;

$\mathbf{f}_n = [f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,M}]$ 은 상기 매트릭스 $\hat{\mathbf{Q}}$ 의 n번째 로우이고;

$\dagger$ 은 에르미트 전치(Hermitian transpose)를 표시하는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 K는 상기 다중 반송과 변조된 신호에서의 샘플들의 수에 대응하고, 그 크기들은 지정된 문턱값보다 큰, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 기울기 하강 알고리즘은:

$$\mathbf{z}(i+1) = \mathbf{z}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{z}(i)) \text{ 이고;}$$

i는 상기 기울기 하강 알고리즘의 반복 횟수이고;

$\mathbf{z}(i)$ 는 i 번째 반복 동안의 다중 반송과 변조된 신호이고;

$\mathbf{z}(i+1)$ 은 i+1번째 반복 동안의 갱신된 다중 반송과 변조된 신호이고;

μ 는 단계 크기이고;

$J(\mathbf{z}(i))$ 는 비용 함수이고;

$\nabla J(\mathbf{z}(i))$ 는 상기 비용 함수의 기울기인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 비용 함수의 기울기는:

$$\nabla J(\mathbf{z}(i)) = \frac{2 \left[\mathbf{z}_{d(1)}(i) \mathbf{g}_{d(1)} + \sum_{n=2}^N e^{\alpha \left(|\mathbf{z}_{d(n)}(i)|^2 - |\mathbf{z}_{d(1)}(i)|^2 \right)} \mathbf{z}_{d(n)}(i) \mathbf{g}_{d(n)} \right]}{1 + \sum_{n=2}^N e^{\alpha \left(|\mathbf{z}_{d(n)}(i)|^2 - |\mathbf{z}_{d(1)}(i)|^2 \right)}}$$

이고,

$|\mathbf{z}_n(\mathbf{X}(i))|$ 는 상기 다중 반송과 변조된 신호 $\mathbf{z}(\mathbf{X}(i))$ 의 n번째 요소의 절대값이고;

$d(1)$ 은 $|\mathbf{z}_n(\mathbf{X}(i))|$ 의 최대 샘플이고;

$d(n)$ 은 $|\mathbf{z}_n(\mathbf{X}(i))|$ 의 n번째 최대 샘플이고;

K는 N보다 작거나 같은 정수이고;

Q는 역 고속 푸리에 변환(IFFT)의 NxN 매트릭스이고, 여기서 N은 상기 IFFT의 컬럼 길이와 로우 길이 둘다이고;

$\hat{\mathbf{Q}}$ 는 Q의 NxM 서브 매트릭스이고;

M은 상기 하나 이상의 PAPR 감소 톤들의 수이고;

$\mathbf{G} = [\mathbf{g}_1, \dots, \mathbf{g}_N] = \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{Q}}^\dagger$ 이고;

† 은 에르미트 전치를 표시하는, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 K는 상기 다중 반송파 변조된 신호에서의 샘플들의 수에 대응하고, 그 크기들은 지정된 문턱값보다 큰, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 하나 이상의 PAPR 감소 톤들의 각각은 상기 전송기에 적용된 데이터를 갖지 않은 상기 전송기에 의해 사전에 예약되지 않은 프리 톤 또는 PAPR 감소를 위해 상기 전송기에 의해 사전에 예약된 예약 톤인, 피크대 평균 전력비 감소를 위한 컴퓨터 구현된 방법.

청구항 15

전송기의 다중 반송파 변조된 신호의 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키는 장치에 있어서:

(i) 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 초기 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 초기 PAPR-감소 톤들을 갖는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성하도록 구성된 IFFT 처리기; 및

(i) 상기 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 상기 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 최종 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 최종 PAPR-감소 톤들을 갖는 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위한 기울기 하강 알고리즘을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하도록 구성된 PAPR 감소 심볼 생성기로서, 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮은, 상기 PAPR 감소 심볼 생성기를 포함하는, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 다중 반송파 변조된 신호, 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호, 및 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호는 직교 주파수 분할 멀티플렉싱(OFDM) 신호들인, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 PAPR 감소 심볼 생성기는:

(b1) 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에서 하나 이상의 최대 샘플들을 결정하고;

(b2) 상기 다중 반송파 변조된 신호의 진폭에 기초하는 비용 함수의 기울기에 상기 하나 이상의 최대 샘플들을 적용하고;

(b3) 상기 비용 함수의 기울기에 기초하여 상기 다중 반송파 변조된 신호를 갱신하도록 상기 기울기 하강 알고리즘을 구현하도록 구성되는, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 비용 함수 J 는 다중 반송파 변조된 신호 z 의 피크 전력에 근접하고,

$$J = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n|^2) \right)$$

에 의해 주어지고,

α 는 스칼라 상수이고;

z_n 은 상기 다중 반송파 변조된 신호 z 의 n 번째 요소이고;

N 은 상기 다중 반송파 변조된 신호 z 에서의 샘플들의 수인, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 기울기 하강 알고리즘은:

$$\mathbf{X}(i+1) = \mathbf{X}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{X}(i))$$

이고,

i 는 상기 기울기 하강 알고리즘의 반복 횟수이고;

$\mathbf{X}(i+1)$ 은 하나 이상의 갱신된 PAPR 감소 심볼들이고;

$\mathbf{X}(i)$ 는 이전 반복 동안 생성된 하나 이상의 PAPR 감소 심볼들이고;

μ 는 단계 크기이고;

$J(\mathbf{X}(i))$ 는 비용 함수이고;

$\nabla J(\mathbf{X}(i))$ 는 상기 비용 함수 $J(\mathbf{X})$ 의 기울기인, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 기울기 하강 알고리즘은:

$$\mathbf{z}(i+1) = \mathbf{z}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{z}(i))$$

이고,

i 는 상기 기울기 하강 알고리즘의 반복 횟수이고;

$\mathbf{z}(i)$ 는 i 번째 반복 동안의 다중 반송파 변조된 신호이고;

$\mathbf{z}(i+1)$ 은 $i+1$ 번째 반복 동안의 갱신된 다중 반송파 변조된 신호이고;

μ 는 단계 크기이고;

$J(\mathbf{z}(i))$ 는 비용 함수이고;

$\nabla J(\mathbf{z}(i))$ 는 상기 비용 함수의 기울기인, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

청구항 21

전송기의 다중 반송파 변조된 신호의 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키는 장치에 있어서:

(a) (i) 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 초기 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 초기 PAPR-감소 톤들을 갖는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성하는 수단; 및

(b) (i) 상기 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 상기 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 최종 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 최종 PAPR-감소 톤들을 갖는 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위한 기술기 하강 알고리즘을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하는 수단으로서, 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮은, 상기 적용 수단을 포함하는, 피크대 평균 전력비 감소 장치.

명세서

기술분야

- <1> 본 출원은 대리인 관리 번호 Woodward 8로서 2006년 12월 15일자 출원된 US 가출원 제60/875,270호 및 대리인 관리 번호 Baliga 1-1-4-5로서 2006년 9월 19일자 출원된 US 가출원 제60/826,158호의 출원 일자들의 이득을 주장하며, 두 가출원의 개시내용들은 본 명세서에 참조로 통합되었다.
- <2> 본 출원의 요지는 대리인 관리 번호 Woodward 8로서 이 출원과 동일한 날짜에 출원된 US 특허 출원 제 xx/xxx,xxx호에 관련되며, 이 개시내용들은 본 명세서에 참조로 통합되었다.
- <3> 본 발명은 신호 처리에 관한 것이며, 특히 신호 전송 및 수신에 이용된 직교 주파수 분할 멀티플렉싱(OFDM: orthogonal frequency division multiplexing)과 같은 다중 반송파 변조 기술들에 관한 것이다.

배경기술

- <4> 직교 주파수 분할 멀티플렉싱(OFDM)과 같은 다중 반송파 변조 기술들은 근거리 네트워크들, 고정 및 이동 수도권 거리 네트워크들, 및 셀룰러 폰 시스템들과 같은 유선 및 무선 통신 시스템들에서 이용된다. 일반적으로, 다중 반송파 변조된 심볼들은 주파수 스펙트럼을 더 작은 주파수 부반송파들(또한 톤들로도 알려짐)로 분할하고 하나 이상의 데이터 신호들의 부분들로 부반송파들을 변조함으로써 생성된다. 하나 이상의 데이터 신호들은 하나 이상의 소스들(예를 들면, 이용자들)로부터 얻어질 수 있고, 각각의 다중 반송파 변조된 심볼은 하나 이상의 소스로부터 데이터를 전송할 수 있다.
- <5> 도 1은 종래 기술은 OFDM 전송기(100)의 한 구현의 간단화된 블록도를 도시한다. 전송기(100)는, 업스트림 처리로부터 디지털 데이터의 직렬 비트스트림을 수신하는 데이터 심볼 매퍼(102)를 구비한다. 직렬 비트스트림은 비트들의 그룹들로 분할되고, 각각의 그룹은 데이터 심볼들의 직렬 스트림을 생성하기 위해 하나 이상의 데이터 심볼들로 맵핑된다. 맵핑은 직교 위상 편이 변조(QPSK: quadrature phase-shift-keying) 및 직교 진폭 변조(QAM: quadrature amplitude modulation)와 같은 하나 이상의 적당한 기술들을 이용하여 수행될 수 있다.
- <6> 직렬 대 병렬(S/P) 변환기(104)는 데이터 심볼 매퍼(102)로부터 수신된 데이터 심볼들의 직렬 스트림을 데이터 심볼들의 D개의 병렬 스트림들로 변환한다. 부반송파 매퍼(106)는 D개의 병렬 데이터 심볼 스트림들을 N개의 부반송파 주파수들(즉, 톤들)에 할당하며, 여기서 N개의 부반송파 주파수들은 서로 직각으로 배열된다. 특히, 각각의 병렬 데이터 심볼 스트림은 부반송파 매퍼(106)의 개별 출력에 할당되고, 여기서 각각의 출력은 N개의 부반송파들 중 상이한 부반송파에 대응한다. 설명을 쉽게 하기 위하여, 이 구현은 데이터 심볼 스트림들의 개수 D가 부반송파들의 개수 N과 동일하다고 가정함에 유념한다. 다른 구현들에 따라, 데이터 심볼들의 개수 D 및 파일럿 심볼들의 개수 P는 N개의 부반송파들에 할당될 수 있고, 여기서 미사용(즉, 프리) 부반송파들의 개수 U가 있을 수 있어서, $N=D+P+U$ 가 된다. 이후, 부반송파 매퍼(106)의 N개의 출력들(예를 들면, $Z=Z_1, \dots, Z_N$)은 역 고속 푸리에 변환(IFFT) 처리기(108)에 제공된다. IFFT 처리기(108)는 부반송파 매퍼(106)로부터 N개의 출력들의 각 세트를, N개의 시간 도메인 복소수들(예를 들면, $z=z_1, \dots, z_N$)을 포함 하나의 OFDM 심볼로 변환하고, 여기서 세트의 각 출력은 D개의 데이터 심볼들 중 상이한 심볼에 대응한다.
- <7> 이후, 각각의 OFDM 심볼은 변환할 준비를 한다. 먼저, C개의 복소수들을 포함하는 사이클릭 프리픽스는 사이클릭 프리픽스 삽입기(CPI: cyclic-prefix inserter)(110)에 의해 각각의 OFDM 심볼로 삽입된다. 이 프리픽스는 수신기가 다중 경로 반사들로부터 유발된 신호 에코들을 극복할 수 있게 한다. 다음에, N개의 시간 도메인 복소수들의 각 세트 및 C개의 사이클릭 프리픽스 복소수들의 각각의 대응하는 세트는 병렬 대 직렬(P/S) 변환기(112)에 의해 병렬 포맷에서 직렬 포맷으로 변환된다. P/S 변환기(112)의 출력은 디지털 대 아날로그 변환, 무선 주파수 변조, 증폭, 또는 OFDM 심볼들을 전송할 준비를 하는데 적당한 다른 처리를 이용하여 더 처리될 수 있다.

<8> IFFT 처리 동안, 데이터 심볼들은 대응하는 부반송파들을 변조하도록 적용되고, 변조된 부반송파들은 함께, 흔히 건설적으로 합산되어 다수의 높은 및 낮은 진폭 피크들을 가진 OFDM 심볼을 생성한다. 전송된 데이터의 가변 특성으로 인해, 이들 피크들의 높이는 통상적으로 각각의 OFDM 심볼 내에서 그리고, 한 OFDM 심볼에서 다음 OFDM 심볼로 가변할 것이다. 또한, 이들 피크들의 일부는 OFDM 심볼의 평균 진폭 레벨에 비해 비교적 크게 될 수 있어서, 비교적 큰 피크대 평균 전력비(PAPR: peak-to-average power ratio)를 유발한다. OFDM 심볼에 대한 PAPR은 하기의 [수학식 1]에 도시된 바와 같이 표현될 수 있다:

수학식 1

$$PAPR = \frac{\max_{n=1}^N |z_n|^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |z_n|^2}$$

<9>

<10> [수학식 1]에서, z_n 은 OFDM 심볼 z 의 n 번째 샘플이고, 분자의 $\max$ 함수는 $n=1, \dots, N$ 에 대해 $|z_n|^2$ 의 최대값을 결정한다.

<11> 비교적 큰 PAPR을 갖는 OFDM 심볼은 전력 증폭 동안 왜곡될 수 있다. OFDM 심볼의 하나 이상의 비교적 큰 샘플들은 증폭기의 출력을 그의 최대 출력 레벨쪽으로 구동하도록 시도할 수 있다. 최대 출력 레벨에 도달하기 전에, 증폭기의 입력 대 출력 관계는 비선형이 될 수 있어서 OFDM 심볼의 비선형 왜곡을 유발한다. 증폭기의 최대 출력 레벨에 도달할 때, 증폭기는 샘플을 클리핑하여, 출력 신호의 다른 비선형 왜곡을 유발한다. 비선형 왜곡은 신호의 품질에 영향을 미치며, 결과적으로 수신기는 전송된 데이터를 회복하는데 어려움들을 겪을 수 있다.

<12> 증폭기에 의한 비선형 왜곡의 영향들을 감소시키거나 비선형 왜곡을 함께 제거하기 위한 다수의 상이한 방법들이 이용되었다. 하나의 그러한 방법에서, 전송기는 더 높은 전력 레벨들을 출력할 수 있는 더 큰 증폭기를 이용한다. 통상적으로, 더 큰 증폭기는 피크 신호 이벤트들 동안에도 증폭기가 선형 동작 영역에 남아 있도록 보장하기 위해 상당한 백오프로 동작된다(즉, 증폭기는 더 낮은 평균 전력에서 동작될 수 있다). 그러나, 그러한 방식으로 더 큰 증폭기를 이용하는 것은 비효율적이다.

<13> 다른 그러한 방법에서, 전송기는 원하는 출력 레벨을 달성하기 위해 증폭을 단계들로 수행한다. 이 방법에서, 각 단계는 증폭 단계 및 필터링 단계를 포함한다. 증폭 단계는 각 OFDM 심볼의 더 큰 샘플들의 비교적 작은 클리핑을 유발한다. 필터링 단계는 선행 증폭 단계에서 발생한 왜곡량을 감소시키기 위하여 각각의 OFDM 심볼을 평탄하게 출력한다. 이러한 연속 클리핑 및 필터링 처리는 원하는 증폭 레벨이 달성될 때까지 반복된다. 이러한 방식으로 신호를 증폭함으로써, 왜곡량은 증가의 단일 단계 증폭기의 것보다 감소될 수 있다.

<14> 또 다른 그러한 방식에서, 다수의 의사-랜덤 스크램블링 시퀀스들은 주파수 도메인(예를 들면 출력 부반송파 맵퍼(106))에서 OFDM 신호에 적용되고, IFFT 처리 후에 최저의 PAPR을 유발하는 스크램블링 시퀀스가 선택된다. 선택된 스크램블링 시퀀스가 수신기에 의해 알려지지 않았기 때문에, 스크램블링 시퀀스는 다른 채널 상으로 수신기에 전송될 수 있거나, 시퀀스는 수신기에 의해 '맹목적으로(blindly)' 검출될 수 있다. 후자의 경우, 수신기는 모든 가능한 시퀀스들을 테스트하고 가장 가능성 있는 시퀀스를 고른다.

<15> 톤 예약(TR: tone reservation) 방법들로서 알려진 또 다른 방법들은 각각의 OFDM 심볼에 대한 PAPR을 감소시키도록 시도한다. 그러한 방법들에서, 다수의 주파수 부반송파들(즉, 톤들)은 OFDM 심볼들의 PAPR들을 감소시키기 위한 분명한 목적을 가진 비데이터 심볼들을 전송하도록 예약된다.

<16> 도 2는 PAPR을 감소시키기 위해 TR 방식을 이용하는 종래 기술의 전송기(200)의 일 실시예의 단순화된 블록도를 도시한다. 전송기(200)는, D 개의 병렬 데이터 심볼들의 세트들을 생성하기 위해 전송기(100)의 증가의 요소들의 동작들과 유사한 동작들을 수행하는 데이터 심볼 맵퍼(202) 및 S/P 변환기(204)를 구비한다. 부반송파 맵퍼(206)는 M 개의 부반송파들에는 데이터 심볼이 할당되지 않게, D 개의 데이터 심볼들의 각 세트를 N 개의 부반송파들의 세트에 맵핑한다. M 개의 부반송파들은 PAPR 감소 심볼들을 전송하기 위해 사전에 예약된다. 특정 실시예들에서, N 개의 부반송파들의 각 세트에는 D 개의 데이터 심볼들과 P 개의 파일럿 심볼들이 할당될 수 있으며, 여기서 예약된 부반송파들의 개수 M 과 미사용(즉, 프리) 부반송파들의 개수 U 가 있어서, $N=D+M+U+P$ 가 됨을 유념한다. 부반송파 맵퍼(206)로부터 N 개의 출력들(예를 들면, $Z=Z_1, \dots, Z_N$)은 IFFT 처리기(208)에 제공되며,

IFFT 처리기(208)는 각 세트를, N개의 시간 도메인 복소수들(예를 들면, $z=z_1, \dots, z_N$)을 포함하는 OFDM 심볼 z 로 변환하기 위한 IFFT 처리기(108)와 유사한 동작들을 수행한다.

<17> PAPR 감소 심볼 생성기(210)는 각각의 OFDM 심볼 z 를 수신하고, 각 심볼의 PAPR을 OFDM 심볼에 대한 PAPR 감소의 수용 가능한 레벨을 표현하는 지정된 PAPR 문턱값과 비교한다. OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값보다 적다면, OFDM 심볼 z 는 OFDM 심볼 $\hat{z}$ (즉, $z=\hat{z}$)으로서 PAPR 감소 심볼 생성기(210)로부터 출력된다. OFDM 심볼의 PAPR이 PAPR 문턱값을 초과한다면, PAPR 감소 심볼 생성기(210)는 다수의 방식들(하기에 더욱 상세히 논의됨) 중 임의의 하나를 이용하여 M개의 PAPR 감소 심볼들의 세트를 생성하고, 그 세트를 부반송파 맵퍼(206)에 제공한다. 다른 구현들에서, PAPR 감소 심볼 생성기(210)는 항상, 각 OFDM 심볼에 대해 M개의 PAPR 감소 심볼들의 세트를 생성할 수 있음을 유념한다. 그러한 구현들에서, OFDM 심볼 z 의 PAPR과 지정된 PAPR 문턱값 사이의 비교는 생략될 수 있다.

<18> 부반송파 맵퍼(206)는 M개의 PAPR 감소 부반송파들에 M개의 PAPR 감소 심볼들이 세트를 할당하고, N개의 복소수들(예를 들면, $Z=Z_1, \dots, Z_N$)을 출력하며, M개의 PAPR 감소 심볼들과 D개의 데이터 심볼들을 포함한다. N개의 복소수들은 그 후에 OFDM 심볼 z 의 PAPR 감소된 버전을 생성하기 위해 IFFT 처리기(208)에 의해 수행되며, 이것은 PAPR 감소 심볼 생성기(210)에 제공된다. 이 처리는 PAPR 감소된 OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값보다 작을 때까지 반복되고, 일단 이 조건이 발생하면, PAPR- 감소된 OFDM 심볼 z 는 OFDM 심볼 $\hat{z}$ (즉, $z=\hat{z}$)으로서 PAPR 감소 심볼 생성기(210)로부터 출력된다. 각 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 은 그 후에 사이클릭 프리픽스 삽입기(212) 및 P/S 변환기(214)를 이용하여 전송할 준비를 하며, 사이클릭 프리픽스 삽입기(212) 및 P/S 변환기(214)는 전송기(100)의 등가의 요소들의 동작들과 유사한 동작들 및 OFDM 심볼들이 전송할 준비를 하는데 적당한 임의의 다른 처리를 수행한다.

<19> PAPR 감소 심볼들을 예약된 톤들에 할당함으로써, 시간 도메인 OFDM 심볼들의 피크값들은 개별 데이터 심볼들에 영향을 미치지 않고 감소될 수 있다. OFDM 전송기의 설계자는 예약된 톤들에 할당하기 위한 PAPR 감소 심볼들을 선택하는데 큰 등급의 자유를 가지며, PAPR들을 충분하게 감소시키는 심볼들을 선택하기 위해 다양한 방법들이 이용되었다. PAPR 감소 심볼들을 선택하기 위한 하나의 그러한 방식은 반복적인 조합적 검색들을 수행하는 것을 포함한다. 조합적 방식의 예로서, 전송기가 16비트 직교 진폭 변조(16-QAM)를 이용하여 데이터를 변조하고, PAPR 감소 심볼들을 위한 8개의 톤들을 예약한다고 가정한다. 전송기는 각 OFDM 심볼의 예약된 톤들 상에 배치하기 위하여 PAPR 감소 심볼들의 16^8 의 상이한 조합들을 고려할 것이고, 최저의 PAPR을 생성하는 심볼들의 조합을 선택할 것이다.

발명의 상세한 설명

<20> 일 실시예에서, 본 발명은 전송기의 다중 반송파 변조된 신호의 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키기 위한 컴퓨터 구현된 방법이다. 이 방법은 (i) 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 초기 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 초기 PAPR-감소 톤들을 갖는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성한다. 이 방법은 그 후에, (i) 상기 하나 이상의 데이터 심볼들에 대응하는 상기 하나 이상의 데이터 변조된 톤들과, (ii) 하나 이상의 최종 PAPR-감소 심볼들에 대응하는 하나 이상의 최종 PAPR-감소 톤들을 갖는 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위해 기울기 하강 알고리즘을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하며, 상기 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮다.

<21> 다른 실시예에서, 본 발명은, 상술된 방법을 수행하는 장치이다. 이 장치는 역 고속 푸리에 변환(FFT) 처리기 및 PAPR 감소 심볼 생성기를 포함한다. FFT 처리기는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성하도록 구성되고, PAPR 감소 심볼 생성기는 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위해 기울기 하강 알고리즘을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하도록 구성되며, 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮다.

<22> 또 다른 실시예에서, 본 발명은, 상술된 방법을 수행하는 장치이다. 이 장치는 초기 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위한 수단과, 최종 다중 반송파 변조된 신호를 생성하기 위해 기울기 하강 알고리즘을 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호에 적용하기 위한 수단을 포함하고, 최종 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR은 상기 초기 다중 반송파 변조된 신호의 PAPR보다 낮다.

<23> 본 발명의 다른 양태들, 특징들 및 이점들은 다음의 발명의 상세한 설명, 첨부된 청구항들 및 첨부 도면들로부터 더욱 완전히 명백해질 것이며, 도면에서 동일한 참조부호들은 유사하거나 동일한 요소들을 식별한다.

실시예

<29> 본 명세서에서 "일 실시예" 또는 "실시예"에 대한 참조는 실시예와 관련하여 기술된 특징, 구조 또는 특성이 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함될 수 있음을 의미한다. 명세서의 다양한 장소들에 있는 "일 실시예에서"의 구문 표현들은 동일한 실시예에 모두 관련될 필요가 없거나, 개별적인 또는 대안적인 실시예들이 다른 실시예들과 서로 배타적일 필요도 없다. 용어 "구현(implementation)"에 대해서도 동일하게 적용된다.

<30> 배경기술에 기재된 바와 같이, 예약된 톤들(즉, PAPR 감소 심볼들을 전송하기 위해 사전에 예약됨) 상에 배치될 피크대 평균 전력비(PAPR) 감소 심볼들을 결정하기 위해 다수의 상이한 기술들이 개발되었다. 이들 방법들은 피크값들(즉, [수학식 1]의 분자)을 감소시키고, 그에 따라 다중 반송과 변조된 심볼들의 전체 PAPR들을 감소시키는 효과의 정도들을 가변하는 것을 달성한다. 조합적 검색들을 수행하는 기술들과 같은 일부 기술들은 유사 최적의 PAPR 심볼들을 선택할 수 있다; 그러나, 이들 기술들은 흔히 비교적 다수의 계산들을 수반한다. 다른 기술들은, 성능의 레벨들을 종종 저하시키는 학습 방식들(heuristic approaches)을 이용하여 PAPR 감소 심볼들을 선택한다. 조합적 검색들을 수행하거나 시도 및 에러 방식들(trial-and-error approaches)을 이용함으로써 PAPR 감소 톤들에 할당하기 위한 심볼들을 선택하는 대신에, 유사 최적의 PAPR 감소 심볼들은 반복적인 기율기 하강 알고리즘을 이용하여 직접 계산될 수 있다. 또한, 반복적인 기율기 하강 알고리즘은 PAPR 감소 심볼들을 계산하는데 이용될 수 있으며, PAPR 감소 심볼들은 최대 피크만을 감소시키는 것과 달리, 다중 반송과 변조된 심볼의 하나 이상의 샘플들을 감소시킨다.

<31> 도 3은 PAPR을 감소시키기 위해 기율기 하강 알고리즘을 이용하는 본 발명의 일 실시예에 따른 OFDM 전송기(300)의 간단화된 블록도를 도시한다. 전송기(300)는 데이터 심볼 매퍼(302), 직렬 대 병렬 변환기(304), 부반송과 매퍼(306), 및 IFFT 처리기(308)를 구비하고, 이들은 도 2의 전송기(200)의 등가의 요소들의 동작들과 유사한 동작들을 수행하여 부반송과 매퍼(306)의 N개의 출력들(예를 들면, D개의 데이터 심볼들 및 M개의 영값 PAPR 감소 심볼들에 대응)의 각 세트에 대한 초기 OFDM 심볼 z 를 생성하며, 각각의 초기 OFDM 심볼 z 는 N개의 시간 도메인 복소수들(예를 들면, $z=z_1, \dots, z_N$)을 포함한다.

<32> PAPR 감소 심볼 생성기(310)는 초기 OFDM 심볼 z 를 수신하고, 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR을 OFDM 심볼에 대한 수용 가능한 PAPR 감소 레벨을 표현하는 지정된 PAPR 문턱값과 비교한다. 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값보다 적다면, 초기 OFDM 심볼 z 는 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ (즉, $z=\hat{z}$)로서 PAPR 감소 심볼 생성기(310)로부터 출력된다. 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값을 초과한다면, PAPR 감소 심볼 생성기(310)는 최대 M개의 영이 아닌 PAPR 감소 심볼들(하기에 더 상세히 기술됨)을 갖는 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 을 생성하기 위해 반복적인 기율기 하강 알고리즘을 구현한다. 다른 실시예들에 따라, PAPR 감소 심볼 생성기(310)는 항상, 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 을 생성하기 위해 반복적인 기율기 하강 알고리즘을 구현할 수 있음을 유념한다. 그러한 실시예들에서, 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR과 지정된 PAPR 문턱값 사이의 비교는 생략될 수 있다. 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 은 그 후에, 사이클릭 프리픽스 삽입기(312) 및 병렬 대 직렬 변환기(P/S) 변환기(314)를 이용하여 전송할 준비를 하며, 이들은 도 2의 전송기(200)의 등가의 요소들의 동작들과 유사한 동작들을 수행한다. 전송기(200)와 유사하게, 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 은 디지털 대 아날로그 변환, 무선 주파수 변조, 증폭, 또는 OFDM 심볼들을 전송하기 위한 준비를 하는데 적당한 다른 처리를 이용하여 더 처리될 수 있다.

<33> PAPR 감소 심볼 생성기(310)에 의해 이용될 수 있는 하나의 기율기 하강 알고리즘은 하기의 [수학식 2]에 의해 표현된다:

수학식 2

<34>
$$\mathbf{X}(i+1) = \mathbf{X}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{X}(i))$$

<35> [수학식 2]에 따라, PAPR 감소 심볼들의 갱신된 세트 $\mathbf{X}(i+1)$ 는 PAPR 감소 심볼들의 이전 세트 $\mathbf{X}(i)$, 단계 크기 μ 및 비용 함수 $J(\mathbf{X}(i))$ 의 기율기 $\nabla J(\mathbf{X}(i))$ 에 기초하여 PAPR 감소 심볼 생성기(310)의 각 반복 i 동안

계산된다.

- <36> 이 경우에, 기울기 하강 알고리즘은 [수학식 1]의 분자(즉, 최대 크기를 가진 시간 도메인 OFDM 심볼의 샘플들의 제곱)를 최소화하도록 시도한다. 기울기가 취해질 수 있는 비용 함수 $J(\mathbf{X}(i))$ 를 생성하기 위하여, [수학식 1]의 분자는 [수학식 3]에 도시된 분자에 근사하는 함수로 표현된다:

수학식 3

<37>
$$J(\mathbf{X}(i)) = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(\mathbf{X}(i))|^2) \right) \approx \max_{n=1}^N |z_n(\mathbf{X}(i))|^2$$

- <38> 여기서 α 는 1보다 크거나 같은 스칼라 상수이고, $z(\mathbf{X}(i))$ 는 i 번째 반복 동안 시간 도메인 OFDM 심볼이고, N 은 시간 도메인 OFDM 심볼 $z(\mathbf{X}(i))$ 에서의 샘플들의 수이고, $z_n(\mathbf{X}(i))$ 은 시간 도메인 OFDM 심볼 $z(\mathbf{X}(i))$ 의 n 번째 샘플이다. 시간 도메인 OFDM 심볼 $z(\mathbf{X}(i))$ 는 하기의 [수학식 4]에 도시된 바와 같은 주파수 도메인 PAPR 감소 심볼들의 세트 $\mathbf{X}(i)$ 의 함수로 표현될 수 있다:

수학식 4

<39>
$$\mathbf{z}(\mathbf{X}(i)) = \mathbf{z} + \hat{\mathbf{Q}}\mathbf{X}(i)$$

- <40> 이 수학식에서, $\mathbf{z}$ 는 초기의 OFDM 심볼이고, $\hat{\mathbf{Q}}$ 는 PAPR 감소 톤들에 대응하는 $N \times N$ IFFT 매트릭스 $\mathbf{Q}$ 의 $N \times M$ 서브 매트릭스이고, M 은 PAPR 감소를 위해 이용된 톤들의 수이다.

- <41> [수학식 3]의 비용 함수 $J(\mathbf{X}(i))$ 의 기울기 $\nabla_j(J(i))$ 의 발견은 하기와 같은 [수학식 5]를 산출한다:

수학식 5

<42>
$$\nabla_j(J(i)) = \frac{\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(\mathbf{X}(i))|^2) [2z_n(\mathbf{X}(i))f_{n,j}^*]}{\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(\mathbf{X}(i))|^2)}$$

- <43> 여기서 j 는 기울기 벡터의 j 번째 요소를 의미하고 $\mathbf{f}_n = [f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,M}]$ 은 매트릭스 $\hat{\mathbf{Q}}$ 의 n 번째 로우이다. 또한, [수학식 5]의 기울기는, 모든 용어들 익셉트 $f_{n,j}^*$ 는 j 와 무관함을 유념하고 $f_{n,j}^*$ 를 $\mathbf{f}_n^\dagger$ 과 대체함으로써 [수학식 6]에 도시된 벡터 형태로 기록될 수 있으며, 여기서 † 은 에르미트 전치를 표시한다.

수학식 6

<44>
$$\nabla J(\mathbf{X}(i)) = \frac{\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(\mathbf{X}(i))|^2) [2z_n(\mathbf{X}(i))\mathbf{f}_n^\dagger]}{\sum_{n=1}^N \exp(\alpha |z_n(\mathbf{X}(i))|^2)}$$

- <45> 실제의 구현들에서, 익스포넨셜들은 계산하기가 비교적 어려울 수가 있어서, 시스템의 증대된 복잡성을 유발한다. 이러한 복잡성을 감소시키기 위하여, [수학식 6]은 [수학식 7]에 도시된 공통항으로서 분자 및 분모 둘다의 지수들로부터 최대 크기(즉, $z_{d(1)}$)로 샘플을 제거함으로써 수정될 수 있다:

수학식 7

$$\nabla J(\mathbf{X}(i)) = \frac{2 \left[z_{d(1)}(i) \mathbf{f}_{d(1)}^\dagger + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)} z_{d(n)}(i) \mathbf{f}_{d(n)}^\dagger \right]}{1 + \sum_{n=2}^N e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}}$$

<46>

<47>

여기서 $d(1)$ 은 $|z_n|$ 의 최대값이고, $d(n)$ 은 $|z_n|$ 의 n 번째 최대값이다. 결과적으로, 분자 및 분모 둘다의 지수

$\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)$ 는 음의 값들을 가질 것이다. 결과적으로, 분자 및 분모의 익스포넨셜들

$e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}$ 은 $[0, 1]$ 의 간격 내에 있을 것이고, 따라서, 이들은 비교적 작은 룩업 테이블(LUT)에 저장될 수 있다.

<48>

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 PAPR 감소 심볼 생성기(400)의 간단화된 블록도를 도시하며, PAPR 감소 심볼 생성기(400)는 도 3의 전송기(300)의 PAPR 감소 심볼 생성기(310)를 구현하는데 이용될 수 있다. PAPR 감소 심볼 생성기(400)는 가산기(402) 및 곱셈기(404)를 구비하며, 이들은 함께, 각 반복 i 동안 갱신된 시간 도메인 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 를 생성하도록 [수학식 4]를 수행한다. PAPR 감소 심볼 생성기(400)는 전송기(300)의 IFFT 처리기(308)로부터 초기 OFDM 심볼 z 를 수신하고, 제 1 반복 i 동안 PAPR 감소 심볼 생성기(400)는 M 개의 주파수 도메인 PAPR 감소 심볼들(즉, $X(i)=X_1(i), \dots, X_M(i)$)의 세트의 각 심볼을 영으로 초기화할 수 있다. 대안적인 실시예들에 따라, 세트의 각 PAPR 감소 심볼은 어떤 다른 값으로 초기화될 수 있다. PAPR 감소 심볼들의 초기화된 세트 $X(i)$ 는 곱셈기(404)에 제공되고, 여기서 세트는 $N \times M$ 서브 매트릭스 $\hat{\mathbf{Q}}$ 을 곱하여 PAPR 감소 톤들의 시간 도메인 표현을 생성한다. 시간 도메인 PAPR 감소 톤들 및 초기 OFDM 심볼 z 는 그 후에 가산기(402)에 의해 함께 합산되어 갱신된 시간 도메인 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 를 생성한다. 시간 도메인 PAPR 감소 톤들을 초기 OFDM 심볼 z 에 가산함으로써 D 개의 데이터 심볼들의 세트는 일회만 IFFT 변환됨을 유념한다.

<49>

기울기 계산기(406)는 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 를 수신하고, 최대 크기를 가진 샘플 $z_{d(1)}$ 을 검색하고, 샘플 $z_{d(1)}$ 을 이용하여 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 의 PAPR을 계산한다. 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 의 PAPR이 PAPR 문턱값보다 적다면, 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 는 최종 OFDM 심볼 $\hat{\mathbf{z}}$ (즉, $\mathbf{z}(X(i)) = \hat{\mathbf{z}}$)로서 PAPR 감소 심볼 생성기(400)로부터 출력된다. 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 의 PAPR이 PAPR 문턱값을 초과한다면, 기울기 계산기(406), 곱셈기(408), 및 가산기(410)는 [수학식 2]의 갱신을 수행하기 위해 함께 동작한다. 먼저, 기울기 계산기(406)

는 [수학식 7]과, [수학식 7]의 분자 및 분모에 있는 익스포넨셜들 $e^{\alpha(|z_{d(n)}(i)|^2 - |z_{d(1)}(i)|^2)}$ 의 값들을 저장하는

LUT를 이용하여 기울기 $\nabla J(\mathbf{X}(i))$ 를 생성한다. 그렇게 함으로써, 기울기 생성기(406)는 [수학식 7]에 도시된

분자 및 분모 둘다의 합산들로부터 최대 크기들을 가진 샘플 $z_{d(1)}$ 을 감산한다. 곱셈기(408)는 기울기 $\nabla J(\mathbf{X}(i))$

에 단계 크기 μ 를 곱하고, 가산기(410)는 PAPR 감소 심볼들의 갱신된 세트 $X(i+1)$ 를 생성하기 위해 PAPR 감소 심볼들의 이전 세트 $X(i)$ 로부터 이 곱을 감산한다. 다른 실시예들에 따라, 기울기 계산기(406), 곱셈기(408), 및 가산기(410)는 항상, PAPR 감소 심볼들의 갱신된 세트 $X(i+1)$ 를 생성하기 위해 [수학식 2]의 갱신을 수행할 수 있음을 유념한다. 이러한 실시예들에서, 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 의 PAPR과 지정된 PAPR 문턱값 사이의 비교는 생략될 수 있다.

<50>

PAPR 감소 심볼들의 갱신된 세트 $X(i+1)$ 는 그 후에 곱셈기(404)에 제공되고, 이 처리는 지정된 종료 상태가 발생할 때까지 반복될 수 있다. 예를 들면, 갱신 루프는 수용 가능한 PAPR이 달성된 후에, 갱신들의 지정된 수가 수행된 후에, 또는 다른 적당한 종료 상태가 발생한 후에 종료될 수 있다. 종료 상태가 발생하면, 현재 갱신된 OFDM 심볼 $z(X(i))$ 이 최종 OFDM $\hat{\mathbf{z}}$ (즉, $\mathbf{z}(X(i)) = \hat{\mathbf{z}}$)로서 PAPR 감소 심볼 생성기(400)로부터 출력되고, 최종 OFDM 심볼 $\hat{\mathbf{z}}$ 은 도 3의 사이클릭 프리픽스 삽입기(312)에 제공된다.

<51> 본 발명의 다양한 실시예들에 따라, 기울기 계산기(406)에 의해 수행된 기울기 계산의 복잡성은 [수학식 7]의 분자 및 분모의 합산들의 수를 감소시킴으로서 감소될 수 있다. 특히, 모든 N개의 시간 도메인 샘플들을 이용하여 분자 및 분모의 계산 대신에, 기울기 계산기(406)는 N개보다 적은 K개의 샘플들의 수를 검색할 수 있고, 여기서 이용된 샘플들은 최대 크기(즉, $d_1, \dots, d_K$)를 가진 K개의 샘플들이 될 수 있고, K개의 샘플들만을 이용하여 [수학식 7]의 합산들을 수행할 수 있다. 샘플들의 크기가 하나의 반복에서 다음 반복으로 변할 수 있으므로, 갱신 알고리즘에서 이용된 K개의 샘플들의 위치는 하나의 반복에서 다음 반복으로 변할 수 있다. 또한, 이들 합산들에 이용된 K개의 샘플들의 수는 더 큰 PAPR 감소에 대한 더 낮은 계산 복잡성과 같은 밸런싱 인자들에 기초하여 선택될 수 있다.

<52> 일 실시예에서, 기울기 계산기(406)는 각 반복에 대한 최대 크기를 가진 샘플을 검색할 수 있고, 반복에 대한 최대 크기를 가진 샘플에 기초하여 PAPR 감소 심볼들의 갱신된 세트 $X(i+1)$ 를 생성할 수 있다. 이 실시예에서, 갱신 [수학식 2]가 간단화되고 하기와 같이 [수학식 8]에 도시된 바와 같이 기재될 수 있다:

수학식 8

<53>
$$\mathbf{X}(i+1) = \mathbf{X}(i) - 2\mu \mathbf{z}(i)_{p(i)} \mathbf{f}_{p(i)}^\dagger$$

<54> 여기서 $p(i)$ 는 i번째 반복 동안 최대 크기를 가진 샘플 z_n 의 인덱스이다. 이 실시예에서, PAPR 감소 심볼들이 갱신됨에 따라, 최대 크기를 가진 샘플 $\mathbf{z}(i)_{p(i)}$ 가 감소되어, 하나 이상의 다른 샘플들의 크기가 더 커지게 됨을 유념한다. 또한, 최대 크기를 가진 샘플 $\mathbf{z}(i)_{p(i)}$ 가 감소됨에 따라, 하나 이상의 다른 샘플들의 크기가 증가될 수 있어서, PAPR을 수용 가능한 레벨 이상으로 증가시킨다. 결과적으로, 수용 가능한 PAPR을 달성하기 위하여 다수의 샘플들을 이용하는 실시예에 비해, 더 큰 수의 반복들이 수행되어야 할 수 있다.

<55> 최대 크기를 가진 K개의 샘플들을 검색함으로써, 예를 들면, 모든 N개의 샘플들을 분류함으로써 결정될 수 있으므로, 계산적으로 막대할 수 있다. 본 발명의 대안적인 실시예들은 기울기 계산기(406)가 문턱값에 기초하여 샘플들을 선택하는 것을 생각할 수 있다. 그러한 실시예들에서, 기울기 계산기(406)는 그 크기가 문턱값 이상인 샘플들의 수에 기초하여 [수학식 7]에 이용된 K개의 샘플들의 수를 선택할 수 있다. 크기들이 문턱값 이상인 샘플들의 수가 하나의 반복에서 다음 반복으로 변할 수 있으므로, K개의 샘플들의 수도 또한 하나의 반복에서 다음 반복으로 변할 수 있다.

<56> 도 4의 실시예에 따라, 갱신된 PAPR 감소 심볼들의 세트 $X(i+1)$ 가 생성된 후에, 세트는 시간 도메인으로 변환되고, 수용 가능한 PAPR이 달성되는지를 결정하기 위하여, 초기 시간 도메인 OFDM 심볼 z 에 합산된다. 따라서, IFFT 처리(즉, 곱셈기 404)는 OFDM 심볼의 PAPR 상에 갱신된 PAPR 감소 심볼들의 세트 $X(i+1)$ 를 갖는 효과를 결정하기 위하여 각 반복동안 이용된다. 본 발명의 다른 실시예들에 따라, 기울기 하강 알고리즘은 시간 도메인에서 갱신된 시간 도메인 OFDM 심볼을 전적으로 생성할 수 있고, 그에 의해 각 반복동안 IFFT 변환을 수행할 필요성을 제거한다.

<57> 시간 도메인에서 갱신된 시간 도메인 OFDM 심볼을 전적으로 생성하기 위해 PAPR 감소 심볼 생성기(310)에 의해 이용될 수 있는 기울기 하강 알고리즘은 하기와 같이 [수학식 9]에 의해 표현된다:

수학식 9

<58>
$$\mathbf{z}(i+1) = \mathbf{z}(i) - \mu \nabla J(\mathbf{z}(i))$$

<59> [수학식 7]을 수정함으로써 기울기 $\nabla J(\mathbf{z}(i))$ 는 하기와 같이 [수학식 10]에 도시된 대로 생성될 수 있다:

수학식 10

<60>
$$\nabla J(\mathbf{z}(i)) = \frac{2 \left[\mathbf{z}_{d(1)}(i) \mathbf{g}_{d(1)} + \sum_{n=2}^N e^{\alpha \left(\|\mathbf{z}_{d(n)}(i)\|^2 - \|\mathbf{z}_{d(1)}(i)\|^2 \right)} \mathbf{z}_{d(n)}(i) \mathbf{g}_{d(n)} \right]}{1 + \sum_{n=2}^N e^{\alpha \left(\|\mathbf{z}_{d(n)}(i)\|^2 - \|\mathbf{z}_{d(1)}(i)\|^2 \right)}}$$

<61> 여기서 $\mathbf{G} = [\mathbf{g}_1, \dots, \mathbf{g}_N] = \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{Q}}^\dagger$, 이것은 예약된 톤들에 관해 $\mathbf{f}_n^\dagger$ 벡터들의 이산 푸리에 변환(DFT)에 효과적이다.

<62> 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 PAPR 감소 심볼 생성기(500)의 간단화된 개략도를 도시하며, 이것은 도 3의 전송기(300)의 PAPR 감소 심볼 생성기(310)를 구현하기 위해 이용될 수 있다. 기울기 계산기(502)는 초기 시간 도메인 OFDM 심볼 z 를 수신하고, 최대 크기를 가진 초기 OFDM 심볼 z 의 샘플 $z_d(1)$ 을 검색하고, 식별된 샘플 $z_d(1)$ 을 이용하여 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR을 계산한다. 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR은 지정된 PAPR 문턱값에 비교되고, 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값보다 적다면, 초기 OFDM 심볼 z 는 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ (즉, $z = \hat{z}$)로서 PAPR 감소 심볼 생성기(500)로부터 출력된다. 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR이 PAPR 문턱값을 초과한다면, 기울기 계산기(502), 곱셈기(504), 및 가산기(506)는 갱신 [수학식 9]를 수행하기 위해 함께 동작한다. 특히, 기울기 계산기(502)는 [수학식 10]을 이용하여 기울기 $\nabla J(z(i))$ 를 계산하고, 곱셈기(504)는 기울기 $\nabla J(z(i))$ 에 지정된 단계 크기 μ 를 곱하고, 가산기(506)는 [수학식 9]에 도시된 바와 같이, 갱신된 OFDM 심볼 $z(i+1)$ 을 생성하기 위해 초기 OFDM 심볼 z 로부터 이 곱을 차감한다. 다른 실시예들에 따라, 기울기 계산기(502), 곱셈기(504) 및 가산기(506)는 항상, 갱신된 OFDM 심볼 $z(i+1)$ 을 생성하기 위해 [수학식 9]의 갱신을 수행할 수 있음을 유념한다. 그러한 실시예들에서, 초기 OFDM 심볼 z 의 PAPR과 지정된 PAPR 문턱값 사이의 비교는 생략될 수 있다.

<63> 갱신된 OFDM 심볼 $z(i+1)$ 은 기울기 계산기(502)의 입력으로 다시 공급되고, 이 처리는 지정된 종료 상태가 발생할 때까지 반복된다. 예를 들면, 갱신 루프는 수용 가능한 PAPR이 달성된 후에, 갱신들의 지정된 수가 수행된 후에, 또는 다른 적당한 종료 상태가 발생한 후에 종료될 수 있다. 종료 상태가 발생하면, 현재 갱신된 OFDM 심볼 $z(i)$ 가 최종 OFDM $\hat{z}$ (즉, $z(i) = \hat{z}$)로서 PAPR 감소 심볼 생성기(500)로부터 출력되고, 최종 OFDM 심볼 $\hat{z}$ 은 도 3의 사이클릭 프리픽스 삽입기(312)에 제공된다.

<64> 도 4의 PAPR 감소 심볼 생성기(400)에 대해 이전에 기술된 대안적인 실시예들과 유사하게, PAPR 감소 심볼 생성기(500)의 대안적인 실시예들은 기울기 계산기(502)는 N 보다 적은 K 개의 샘플들의 수를 검색하고, 여기서 이용된 샘플들은 최대 크기(즉, $d_1, \dots, d_K$)를 가진 K 개의 샘플들인 것이 바람직하고, K 개의 샘플들만을 이용하여 [수학식 10]의 합산들을 수행할 수 있음을 생각할 수 있다. 최대 크기를 가진 샘플을 선택하는 일 실시예에 따라, [수학식 9]의 기울기 계산은 OFDM 심볼이 다음과 같이 [수학식 11]을 이용하여 갱신되도록 간단화될 수 있다:

수학식 11

<65>
$$z(i+1) = z(i) - 2\mu \nabla J(z(i))_{p(i)} g_{p(i)}$$

<66> 여기서 $p(i)$ 는 i 번째 반복 동안 최대 크기를 가진 샘플 z_n 의 인덱스이다. 또한, 대안적인 실시예들은 상술된 PAPR 감소 심볼 생성기(400)의 비교 가능한 대안적인 실시예들과 유사한 방식으로 문턱값에 기초하여 K 개의 샘플들을 선택하는 것을 생각할 수 있다.

<67> 본 발명의 특징을 설명하기 위하여 기술되고 도시된 부분들의 세부사항들, 자료들 및 구성들의 다양한 변경들은 다음의 청구항들에 표현된 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 본 기술분야의 통상의 기술자들에 의해 이루어질 수 있음을 알게 될 것이다. 예를 들면, 도 4의 PAPR 감소 심볼 생성기(400)는 PAPR 감소 심볼들의 각각의 갱신된 세트 $X(i+1)$ 가 도 3의 부반송파 맵퍼(306)에 제공되도록 수정될 수 있다. 그 후에, 각 반복동안, IFFT(308)은 M 개의 PAPR 감소 심볼들 및 D 개의 데이터 심볼들을 포함하여, 부반송파 맵퍼(306)로부터의 N 개의 출력들의 각 세트를 OFDM 심볼 z 로 변환하고, 기울기 계산기(406)에 직접 OFDM 심볼 z 를 제공할 수 있으며, 이 경우, 곱셈기(404) 및 가산기(402)는 생략될 수 있다. 다른 예로서, 기울기 계산기들(406, 502)에 의해 계산된 기울기들은 [수학식 7] 및 [수학식 10]의 변형들을 이용하여 수행될 수 있으며, 이 변형은 본 기술분야의 통상의 기술자들에 의해 이루어질 수 있다(예를 들면, [수학식 7]을 이용하는 대신 LUT 없이 [수학식 6]을 이용함).

<68> 상술된 다양한 기울기 하강 방식들은 프리 톤들, 예약된 톤들, 또는 프리 및 예약된 톤들 둘다를 위한 PAPR 감소 신호들을 생성하는데 이용될 수 있다. 또한, 상술된 다양한 기울기 하강 방식들은 대리인 문서번호 Woodward 8로서 본 출원과 동일한 날짜에 출원된 US 특허 출원 제10/xxx,xxx에 의해 개시된 OFDM 신호들의 왜곡을 감소시키기 위한 PAPR 감소 기술들을 동적으로 선택하기 위한 방법들과 함께 이용될 수 있다.

- <69> 청구항들에서 이용된 바와 같이, 용어 "예약된 톤들(reserved tones)"는 PAPR 감소를 위해 사전에 예약된 톤들을 의미한다. 파일럿 톤들을 포함한 모든 다른 톤들은 예약되지 않는다.
- <70> 청구항들에서 이용된 바와 같이, 용어 "기울기 하강 알고리즘(gradient-descent algorithm)"은, 다중 반송과 변조된(예를 들면 OFDM) 신호의 진폭의 미분 가능한 함수를 규정하고, 그 후에 최적의 값을 찾기 위해 비용 함수의 미분계수(예를 들면 기울기)에 기초하여 반복하는 것을 포함하는 알고리즘을 의미한다.
- <71> 본 발명이 OFDM 변조 기술들과의 이용에 관해 기술되었지만, 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 본 발명은 또한, 디지털 가입자 회선(DSL) 기술들, 코딩된 OFDM 기술들, 또는 임의의 다른 적당한 다중 반송과 변조 기술과 같은 다른 다중 반송과 변조 기술들로 확장될 수 있다.
- <72> 본 발명은 단일 집적 회로(ASIC 또는 FPGA와 같은), 다중칩 모듈, 단일 카드, 또는 다중 카드 회로 팩과 같은 가능한 구현을 포함한 회로 기반 처리들로서 구현될 수 있다. 본 기술분야의 통상의 기술자에게 명백한 바와 같이, 회로 요소들의 다양한 기능들은 또한 소프트웨어 프로그램의 처리 블록들로서 구현될 수 있다. 그러한 소프트웨어는 예를 들면 디지털 신호 처리기, 마이크로 컨트롤러, 또는 범용 컴퓨터에서 이용될 수 있다.
- <73> 본 발명은 방법들 및 이들 방법들을 실시하기 위한 장치들의 형태로 구현될 수 있다. 본 발명은 또한, 자기 기록 매체들, 광 기록 매체들, 고상 메모리, 플로피 디스켓들, CD-ROM들, 하드 드라이브들 또는 임의의 다른 기계 판독 가능한 저장 매체와 같은 유형 매체들로 구현된 프로그램 코드의 형태로 구현될 수 있으며, 여기서, 프로그램 코드가 컴퓨터와 같은 기계에 로드되고 그에 의해 실행될 때, 기계는 본 발명을 실시하기 위한 장치가 된다. 본 발명은 프로그램 코드의 형태로 또한 구현될 수 있는데, 예를 들면, 저장 매체에 저장되거나, 기계에 로딩되고 및/또는 그에 의해 실행되거나, 또는 전기 배선 또는 케이블을 통해, 광 섬유들을 통해, 또는 전자기 라디에이션을 통해서와 같이 어떤 전송 매체 또는 반송파를 통해 전송되던지 간에, 프로그램 코드가 컴퓨터와 같은 기계에 로드되고 그에 의해 실행될 때, 기계는 본 발명을 실시하기 위한 장치가 된다. 범용 처리기 상에서 구현될 때, 프로그램 코드 세그먼트들은 처리기와 조합하여, 특정 논리 회로들과 유사하게 동작하는 고유한 디바이스를 제공한다. 본 발명은 또한, 매체를 통해 전기적 또는 광학적으로 전송되고, 자기 기록 매체 등의 자체 변동들이 저장되고, 본 발명의 방법 및/또는 장치를 이용하여 생성되는 신호값들의 비트스트림 또는 다른 시퀀스의 형태로 구현될 수 있다.
- <74> 청구항들에서의 도면 번호들 및/또는 도면 참조 라벨들의 이용은 청구항들의 해석을 용이하게 하기 위하여 청구된 요지의 하나 이상의 실시예들을 식별하기 위함이다. 그러한 이용은 이들 청구항들의 범위를 대응하는 도면들에 도시된 실시예들로 반드시 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.
- <75> 본원 명세서에 기재된 예시적 방법들의 단계들은 반드시 기재된 순서대로 수행될 필요는 없고, 그러한 방법들의 단계들의 순서는 단지 예시적인 것으로 이해해야 함을 알아야 한다. 마찬가지로, 부가의 단계들이 그러한 방법들에 포함될 수 있고, 특정한 단계들이 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 방법들에서 생략되거나 조합될 수 있다.
- <76> 다음의 방법 청구항들의 요소들이 존재한다면, 청구항 인용들이 그들 요소들 중 일부 또는 전부를 구현하기 위한 특정한 시퀀스를 내포하지 않는 한, 이 요소들은 대응하는 라벨들을 가진 특정한 시퀀스에서 인용되지만, 그들 요소들은 특정 시퀀스에서 구현되도록 제한될 필요는 없다.

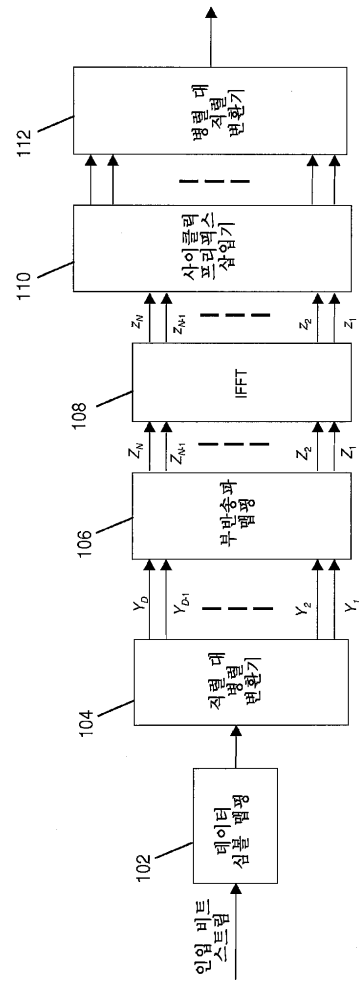
도면의 간단한 설명

- <24> 도 1은 종래 기술의 OFDM 전송기의 일 구현의 간단화된 블록도.
- <25> 도 2는 피크대 평균 전력비(PAPR)를 감소시키기 위한 톤 예약 방식을 이용하는 종래 기술의 OFDM 전송기의 일 실시예의 간단화된 블록도.
- <26> 도 3은 PAPR을 감소시키기 위해 기울기 하강 알고리즘을 이용하는 본 발명의 일 실시예에 따른 OFDM 전송기의 간단화된 블록도.
- <27> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 PAPR 감소 심볼 생성기로서, 도 3의 전송기의 PAPR 감소 심볼 생성기를 구현하는데 이용될 수 있는, 상기 PAPR 감소 심볼 생성기의 간단화된 블록도.
- <28> 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 PAPR 감소 심볼 생성기로서, 도 3의 전송기의 PAPR 감소 심볼 생성기를 구현하는데 이용될 수 있는, 상기 PAPR 감소 심볼 생성기의 간단화된 블록도.

도면

도면1

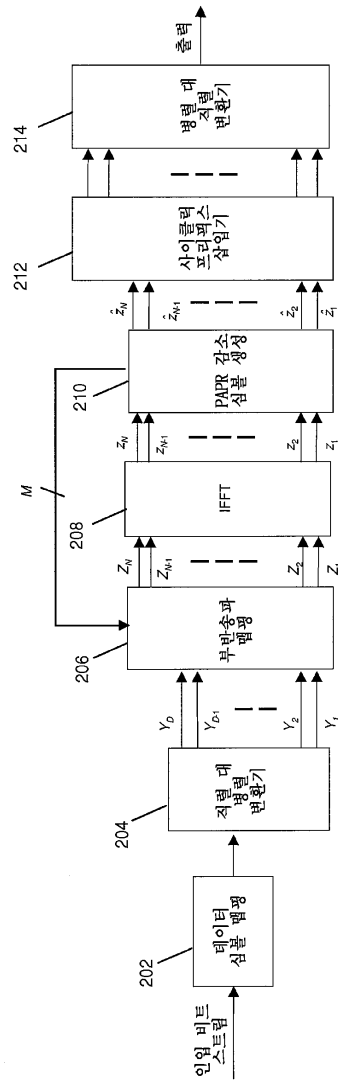
100



(종래 기술)

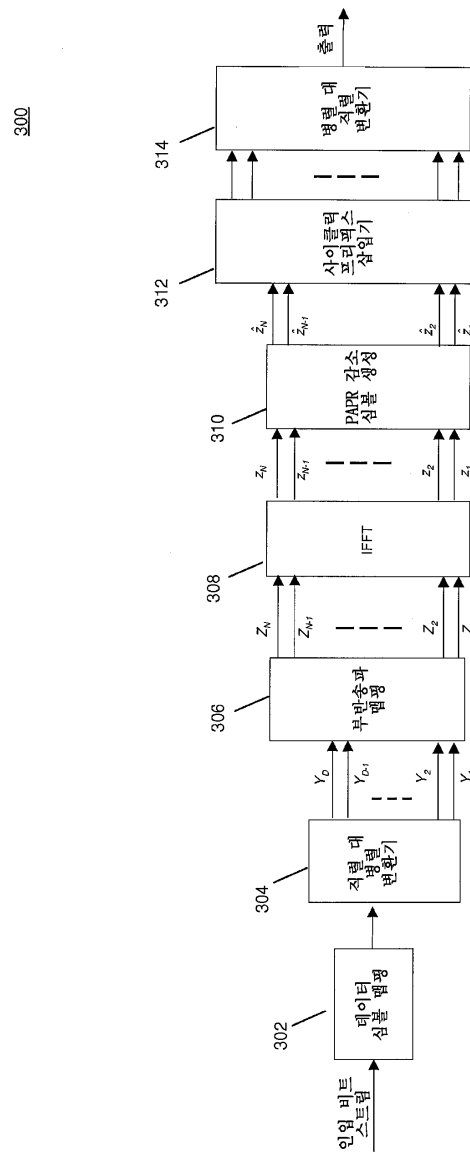
도면2

200



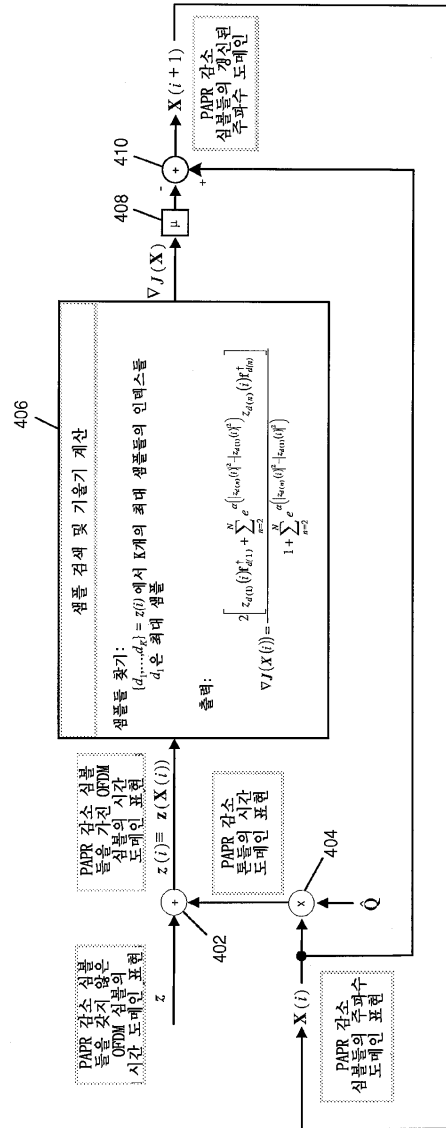
(종래 기술)

도면3



도면4

400



도면5

500

