



(11) 공개번호 10-2012-0094370
(43) 공개일자 2012년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/005 (2006.01) *H04J 11/00* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2011-0013833
 (22) 출원일자 2011년02월16일
 심사청구일자 2011년02월16일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자
정원주
서울특별시 서초구 방배로 21, 강남 아파트 5동
405호 (방배동)

하영선
서울특별시 노원구 월계로55길 15, 302동 902호
(월계동, 사슴아파트)

(74) 대리인
나승택, 조영현

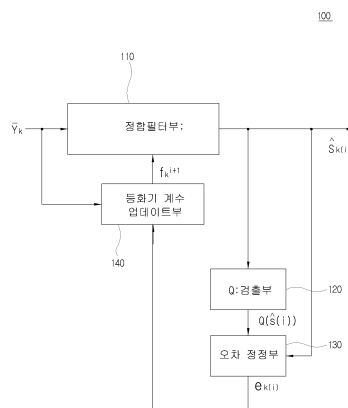
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 OFDM 통신시스템에서 위상잡음 제거를 위한 적응균등 등화기 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신시스템에서 위상잡음을 제거하기 위한 적응 균등 등화기 및 그 방법에 관한 것이다. 적응균등 등화기는 정합필터부, 등화기 계수 업데이트부, 검출부, 오차 정정부를 포함한다. 본 발명의 적응균등 등화기는 위상잡음인 CPE 및 ICI를 동시에 제거하여, OFDM 통신시스템의 성능 저하를 막고, 계산적 효율성을 증대시킨다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신시스템에서 위상잡음을 제거하기 위한 적응균등 등화기에 있어서,

수신신호와 등화기 계수를 컨볼루션(convolution)하여 추정 송신신호를 출력하는 정합필터부;

상기 추정 송신신호의 오차와 상기 수신신호를 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하고, 업데이트된 상기 등화기 계수를 상기 정합필터부로 제공하는 등화기 계수 업데이트부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 추정 송신신호에 대응하는 검출신호를 결정하는 검출부; 및

상기 추정 송신신호와 상기 검출신호를 이용하여 상기 오차를 구하고, 상기 오차를 상기 등화기 계수 업데이트부로 제공하는 오차 정정부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 등화기 계수 업데이트부는

상기 오차와, 상기 수신신호의 에르미트(Hermitian) 값 및, 스텝사이즈(Step size) 값을 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하되, 상기 스텝사이즈는 고정된 크기를 갖는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 수신신호를 받아서 채널을 추정하고, 상기 추정된 채널 상의 왜곡을 보상한 상기 수신신호를 상기 적응균등 등화기로 제공하는 채널등화기;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기.

청구항 5

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법에 있어서,

수신신호와 등화기 계수를 이용하여 추정 송신신호를 출력하는 정합필터링 단계;

상기 추정 송신신호에서 검출신호를 결정하는 검출 단계;

상기 추정 송신신호와 상기 검출신호에 대응하여 오차를 결정하는 오차 결정 단계; 및

상기 수신신호와 상기 오차를 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트하는 등화기 계수 업데이트 단계;를 포함하여 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 정합필터링 단계는

상기 OFDM 통신시스템의 Guard Interval(GI)단으로 수신된 신호에 Cyclic Prefix (CP)을 삽입하고, 상기 CP가 삽입된 신호를 심볼수로 나눈 나머지 값을 갖으며, 상기 OFDM 통신시스템의 채널 등화기를 통과한 상기 수신 신호와, 업데이트된 상기 등화기 계수를 컨볼루션(convolution)하여 상기 추정 송신신호를 출력하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 검출 단계는

상기 추정 송신신호를 맥시멈 라이크리후드(Maximum Likelihood; ML) 방식에 의해 상기 검출신호를 결정하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 오차 정정 단계는

상기 추정 송신신호에서 상기 검출신호를 차감한 상기 오차를 구하고, 상기 오차를 상기 등화기 계수 업데이트 단계로 제공하는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 등화기 계수 업데이트 단계는

상기 오차와 상기 수신신호의 에르미트(Hermitian) 값 및 스텝사이즈(Step size) 값을 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하되, 상기 스텝사이즈는 고정된 크기를 갖는 것을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 등화기 계수는 센터탭(Center Tap)이 1 크기의 초기값을 가지는 것;을 특징으로 하는 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법.

.

명세서

기술분야

본 발명은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신시스템의 적응균등 등화기에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하기 위한 적응균등 등화기 및 그 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 현재 무선통신 분야는 점차 대용량의 데이터를 전송하고자 하는 수요가 늘어나고 있기 때문에, 현재보다 더욱 빠르게 데이터를 전송하기 위한 많은 연구가 진행 중이다. 그리하여 향후 수년 내로 고속 데이터 전송에 유리한 OFDM 통신시스템이 자리 잡을 것으로 보인다. 실제로 4G 기술을 적용한 휴대폰이 출시될 예정이기도 하며, 이미 IEEE 802.16e, IEEE 802.20과 같은 모바일 멀티미디어 통신 표준이 확정되기도 하였다.
- [0003] 다만, 안정적인 OFDM 통신시스템을 유지하기 위해서는 몇 가지 중요한 문제를 해결하는 것이 중요한데, 그 중 하나로 동기화(Synchronization)문제를 예로 들 수 있다. 동기화 문제는 OFDM 통신시스템 프로세스의 여러 곳에서 발생하게 되는데, 예를 들어, 샘플링 주파수 오프셋, 데이터 심볼의 시간 오프셋, 캐리어 주파수 오프셋 그리고 위상잡음 등에서 모두 동기화 문제를 안고 있다. 여기서 위상잡음이란 오실레이터(Oscillator, 발진기)에서 의도하는 주파수를 정확히 생성해야 하는데 오실레이터 내부적으로 오차가 발생하여 시간축에서 전송신호의 진폭과 위상에 변화가 생기는 것을 말한다.
- [0004] 다시 말해, 위상잡음으로 인해 OFDM 통신시스템은 Common Phase Error(CPE)와 Inter-carrier Interference(ICI)가 발생하게 되는데, 이는 OFDM 통신시스템의 성능저하를 불러오게 된다. CPE는 모든 캐리어 주파수에 공통으로 발생하는 오차를 뜻하며, ICI는 OFDM 통신시스템의 특징인 캐리어 간의 직교성이 훼손되어 서로 간의 간섭이 발생하는 것을 의미한다. 이러한 위상잡음을 제거하기 위하여, 종래에 여러 가지 방법들이 제안되었으나, 이는 위상잡음으로 인해 발생하는 문제 중 하나인 CPE를 제거하기에는 효율적이나 ICI의 존재 때문에 충분한 해결책이 되지 못한다는 문제점을 안고 있다. 그리하여 직교기저확장을 기반으로 한 CPE와 ICI를 모두 보상해주는 방법이 등장하였다.
- [0005] 그러나, 기존의 기술에서는 시간 도메인에서 이루어지는 곱셈연산을 행렬식으로 표현하였고, 채널 추정과 위상잡음 제거를 동시에 간주하여 처리하므로, 위상잡음을 시간 도메인에서 정확히 파악하기 어려운 문제가 있다.
- [0006] 또한, 기존의 기술은 행렬로 표현된 위상잡음의 인자들을 직접 추정한 다음 위상잡음을 제거하는 과정을 거치므로, 이를 위해서는 역행렬을 만들어 곱해주기 때문에, 계산의 복잡도가 커지게 되는 단점이 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 목적은 OFDM 통신시스템에서 신호를 전송할 때 발생하는 위상잡음인 CPE와 ICI를 동시에 제거함으로써, 성능 저하를 막음과 동시에 계산적 효율을 향상시키는 적응균등 등화기 및 그의 위상잡음 제거 방법을 제공하는 것이다.
- [0008] 또, 본 발명의 다른 목적은 위상잡음 인자와 수신신호가 시간 도메인에서 곱셈 연산으로 결합 되는 것에 착안하여, 주파수 도메인에서 정합필터를 사용함으로써 위상잡음 추정 및 역행렬 연산 없이 바로 데이터 심볼을 예측하고 복잡도를 대폭 낮추어 효율성을 높이는 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기 및 그 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하기 위한 적응균등 등화기는, 수신신호와 등화기 계수를 컨볼루션(convolution)하여 추정 송신신호를 출력하는 정합필터부; 상기 추정 송신신호의 오차와 상기 수신신호를 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하고, 상기 업데이트된 상기 등화기 계수를 상기 정합필터부로 제공하는 등화기 계수 업데이트부;를 포함한다.
- [0010] 또한, 본 발명의 적응균등 등화기는 상기 추정 송신신호에 대응하는 검출신호를 결정하는 검출부; 및 상기 추정 송신신호와 상기 검출신호를 이용하여 상기 오차를 구하고, 상기 오차를 상기 등화기 계수 업데이트부로 제공하는 오차 결정부;를 더 포함한다. 이와 같은 본 발명의 적응균등 등화기는 위상잡음인 CPE와 ICI를 동시

에 제거하는 것을 가능하게 한다.

- [0011] 그리고, 상기 등화기 계수 업데이트부는 상기 오차와, 상기 수신신호의 에르미트(Hermitian)값 및, 스텝사이즈(Step size) 값을 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하되, 상기 스텝사이즈는 고정된 크기를 갖는다. 또한 본 발명의 적응균등 등화기는 상기 수신신호를 받아서 채널을 추정하고, 상기 추정된 채널 상의 왜곡을 보상한 상기 수신신호를 상기 적응균등 등화기로 제공하는 채널등화기;를 더 포함한다.
- [0012] 또한, 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서 위상잡음을 제거하는 방법은 수신신호와 등화기 계수를 이용하여 추정 송신신호를 출력하는 정합필터링 단계; 상기 추정 송신신호에서 검출신호를 결정하는 검출 단계; 상기 추정 송신신호와 상기 검출신호에 대응하여 오차를 정정하는 오차 정정 단계; 상기 수신신호와 상기 오차를 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트하는 등화기 계수 업데이트 단계를 포함한다.
- [0013] 여기에서, 상기 정합필터링 단계는 상기 OFDM 통신시스템의 Guard Interval(GI)단으로 수신된 신호에 Cyclic Prefix (CP)를 삽입하고, 상기 CP가 삽입된 신호를 심볼수로 나눈 나머지 값을 갖으며, 상기 OFDM 통신시스템의 채널 등화기를 통과한 상기 수신신호와, 업데이트된 상기 등화기 계수를 컨볼루션(convolution)하여 상기 추정 송신신호를 출력한다. 상기 검출 단계는 상기 추정 송신신호를 맥시멈 라이크리후드(Maximum Likelihood; ML) 방식에 의해 상기 검출신호를 결정한다.
- [0014] 그리고, 상기 오차 정정 단계는 상기 추정 송신신호에서 상기 검출신호를 차감하여 상기 오차를 구하고, 상기 오차를 상기 등화기 계수 업데이트부로 제공한다.
- [0015] 상기 등화기 계수 업데이트 단계는 상기 오차와 상기 수신신호의 에르미트(Hermitian)값 및 스텝사이즈(Step size) 값을 이용하여 상기 등화기 계수를 업데이트 하되, 상기 스텝사이즈는 고정된 크기를 갖고, 상기 등화기 계수는 센터탭(Center Tap)이 1 크기의 초기값을 갖는다.
- [0016] 이 방법에 의해, 채널 추정과 위상잡음 문제를 분리하여 해결하며, 역행렬을 필요로 하지 않으므로 계산 효율성을 높인다. 그리고, 위상잡음인 CPE와 ICI를 동시에 제거한다.

발명의 효과

- [0017] 상술한 바와 같이, 본 발명에 의한 정합필터부를 구비한 적응균등 등화기는 위상잡음이 완벽하게 제거되며 역행렬 계산이 필요하지 않기 때문에, 잡음 강화(Noise Enhancement)가 발생하지 않고 계산의 복잡도를 낮출 수 있다. 또한, 고속 데이터 전송을 위해 OFDM의 부반송파(Subcarrier)의 갯수가 늘어나더라도 복잡도가 선형으로 증가하므로, 기존 기술에 비해 계산과정에서 높은 효율성을 가진다.
- [0018] 또한, 본 발명은 OFDM 통신시스템에서 신호를 전송할 때 발생하는 위상잡음을 제거하고자 정합필터부를 구비한 적응균등 등화기를 사용함으로써, 위상잡음인 CPE와 ICI로 인한 성능저하를 막음과 동시에 그 과정에서 계산적 효율성을 향상시킬 수 있다.
- [0019] 따라서, 본 발명은 OFDM 통신시스템의 등화기를 채널 등화기와 적응균등 등화기로 구분하여 채널 추정과 위상잡음 문제를 분리하여 해결함으로써, 위상잡음을 더 효과적으로 제거할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서의 송수신 장치 구성도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기 구성도이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서의 위상잡음 제거 수순을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 발명의 실시예는 여러 가지 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 서술하는 실시예로 인해 한정되어지는 것으로 해석되어서는 안된다. 본 실시예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 구성 요소의 형상 등은 보다 명확한 설

명을 강조하기 위해서 과장되어진 것이다.

[0022] 이하 첨부된 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

[0023] 먼저, 본 발명에 따른 위상잡음 제거를 위한 개념을 설명하면 다음과 같다.

[0024] 즉, 본 발명은 OFDM 통신시스템에서 신호를 전송할 때 발생하는 위상잡음인 CPE와 ICI를 동시에 제거하는 것으로, 위상잡음이 없는 이상적인 경우를 설명하고, 이어서 위상잡음이 있는 경우 이를 제거하는 과정을 설명한다.

[0025] 우선 이상적인 경우로, 위상잡음이 없는 경우에는 순환 채널 성분이 상쇄되어 간단히 수신신호를 구할 수 있다.

[0026] 즉, 채널을 통과한 수신신호는 수학식 1과 같이 표현된다.

수학식 1

$$y_k = FC_k F^H s_k + w_k$$

$$C_k = F^H \Lambda_k F$$

$$y_k = FF^H \Lambda_k FF^H s_k + w_k$$

$$\therefore y_k = \Lambda_k s_k + w_k$$

[0031] 상기 수학식 1에서, 각각의 수식은 행렬표현으로, y_k 는 수신신호, C_k 는 순환 채널 성분, s_k 는 송신신호, w_k 는 열잡음(thermal noise)이며, F 는 DFT matrix, Λ_k 는 대각 행렬, 위첨자 H는 에르미트(Hermitian) 연산자이다.

[0032] 위 수학식 1과 같이, 위상잡음이 없는 이상적인 경우에는 순환 채널 성분이 상쇄되어 없어지고, 수신신호 y_k 를 송신신호 s_k 의 대각행렬 성분으로 간단히 구해진다.

[0033] 그러나, 위상잡음이 있는 경우에는 순환채널 성분이 문제된다.

수학식 2

$$p_k = [e^{j\phi_k(0)}, \dots, e^{j\phi_k(N-1)}]^T$$

$$\Phi_k = \text{diag}(p_k)$$

[0036] 수학식 2에서 p_k 는 위상잡음 벡터, $e^{j\phi_k(N-1)}$ 는 위상잡음 성분, 위첨자 t는 Transpose 연산자로 행과 열을 교환하는 것을 의미하며, Φ_k 는 p_k 를 대각인자로 갖는 대각행렬이다.

[0037] 위와 같은 위상잡음 성분 $e^{j\phi_k(N-1)}$ 이 채널을 통과하며 추가되는 경우, 수신신호 y_k 는 다음의 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$[0038] \quad y_k = F(p_k \circ (C_k F^H s_k)) + w_k$$

$$[0039] \quad y_k = F \Phi_k C_k F^H s_k + w_k$$

$$[0040] \quad \therefore y_k = F \Phi_k F^H \Lambda_k s_k + w_k$$

[0041] 수학식 3에서, $\circ$ 는 원소 간 곱셈을 의미하며, $F \Phi_k F^H$ 는 위상잡음인 ICI 성분이 된다. 즉, 더 이상 대각행렬 성분으로 간단히 표현되지 않고, 수학식 1과 비교해보면, 위상잡음인 ICI 성분 $F \Phi_k F^H$ 이 발생함을 알 수 있다.

[0042] 따라서, 본 발명은 ICI 성분을 제거하기 위하여 관계식 $F(a \circ b) = (Fa) \otimes_N (Fb)$ 을 이용한다. 여기에서, 함수 $\otimes_N$ 는 컨볼루션을 의미한다.

수학식 4

$$[0043] \quad y_k = F(p_k \circ (C_k F^H s_k)) + w_k$$

$$[0044] \quad y_k = (Fp_k) \otimes_N (\Lambda_k s_k) + w_k$$

$$[0045] \quad = q_k \otimes_N (\Lambda_k s_k) + w_k, \quad q_k \approx Fp_k$$

[0046] 수학식 4에서는 컨볼루션 함수를 이용하여 수신신호 y_k 를 위상잡음과 채널 성분으로 분리한다. 따라서, q_k 는 위상잡음의 주파수 도메인에서의 성분이므로, q_k 를 제거하면 된다.

[0047] 다시 말해, 위상잡음 벡터 $p_k = [e^{j\phi_k(0)}, \dots, e^{j\phi_k(N-1)}]^T$ 에서, $e^{j\phi_1} \times e^{-j\phi_1} = e^0 = 1$ 이므로, p_k 와 컨쥬게이트(conjugate)한 p_k^* 는 $p_k \circ p_k^* = [1, 1, \dots, 1]^T$ 가 된다.

[0048] 또한, 다음 수학식 5의 관계식을 이용한다.

수학식 5

$$F(p_k \circ p_k^*) = F[1, 1, \dots, 1]^T$$

$$(Fp_k) \otimes_N (Fp_k^*) = \delta(n)$$

[0051] 즉, 아무런 알고리즘 없이 p_k 벡터의 인자를 안다는 것은 불가능 하지만, 주파수 도메인에서 p_k 와 컨쥬게이트한 p_k^* 의 컨볼루션으로 델타함수(delta function)를 얻게 되며, 이것은 위상잡음 성분을 완벽하게 제거할 수 있다는 것을 보여준다.

[0052] 다시 말해, 위상잡음 제거는 수학식 1 내지 수학식 5에서 알 수 있듯이 주파수 도메인에서 송신 신호와의 순환 컨볼루션을 해제(de-convolution)하는 것으로, 정합필터부(110)를 사용함으로써 위상잡음을 완벽하게 분리한다. 이를 위해 시간 도메인의 곱셈연산은 주파수 도메인에서 컨볼루션과 동치라는 사실을 이용한다.

[0053] 또한, 위상잡음 인자의 일반항은 시간 도메인에서의 일반항으로, 인자 자신과 켈레복소 인자를 곱할 때 자연상수 e의 지수가 0이 되어 1의 값을 얻음을 알 수 있다. 이는 주파수 도메인에서 위상잡음 인자와 그것의 켈레복소의 컨볼루션 값이 크로네커 델타(Kronecker delta) 함수라는 것을 의미한다. 여기서 크로네커 델타함수는 $[1, 1, \dots, 1]$ 인 벡터를 DFT한 값을 말한다. 즉, 위상 잡음 벡터의 인자들을 알고 있다면, 그것의 정합필터를 만들어주고, 필터링(컨볼루션)을 함으로써 위상잡음을 완벽하게 제거할 수 있다.

[0054] 그러나, 현실적으로 일부의 파일럿 신호만으로 위상 잡음 벡터의 인자를 모두 추정하는 것은 어려운 일이다. 따라서, 본 발명에서는 위상 잡음 벡터의 인자를 추정하여 정합필터를 만들어내는 것이 아니라, 정합필터링이 계산과정에서 알아서 이루어져 위상잡음을 제거하도록 한다. 이는, 어떤 변수 x의 값을 직접 알고자 하지 않고 변수 x 자체를 소거하여 임의의 x에 상관없이 시스템을 유지할 수 있는 방식을 말한다.

[0055] 구체적으로 도1 내지 도3을 이용하여 본 발명의 일실시예에 따른 적응균등 등화기의 구성 및 작용을 상세히 설명한다.

[0056] 도 1은 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서의 송수신 장치 구성도이다.

[0057] 도1을 참조하면, OFDM 통신시스템에서 송수신장치(10)는 DFT 변환부(12), Cyclic Prefix (CP)부(14), 병/직렬 변환부(16)의 송신장치(11)와 직/병렬 변환부(20), Cyclic Prefix (CP)부(30), DFT 변환부(32), 채널 등화기(50), 적응균등 등화기(100)의 수신장치(20~100)로 구성된다. 송신장치(11)와 수신장치(20~100)는 채널(5)을 통해 상호 신호를 전송한다.

[0058] 여기에서, 적응균등등화기(100)는 도 2와 같이 수신신호를 정합필터부(110)에 통과시킴으로써 송신신호를 추정하고, 실제 송신신호와의 오차를 다시 반영하여 등화기 계수를 업데이트하며, 이와 함께 수신신호를 또다시 정합필터부(110)에 통과시키는 과정을 반복함으로써 위상잡음이 제거되도록 한다. 이를 위해 먼저 수신신호를 채널 등화기(50)에 통과시켜 채널의 영향을 상쇄시켜 수신신호의 정확도를 향상시킨 후, 위상잡음과 추정 송신신호의 순환 컨볼루션에 집중할 수 있도록 한다.

[0059] 즉, 수신신호는 위상 잡음과 채널을 통과한 송신신호의 순환 컨볼루션에 열 잡음(thermal noise)이 더해진 형태이다. 따라서, 본 발명은 채널이 거의 시불변에 가깝다고 가정하고, 채널 추정과 위상잡음 문제를 분리하여 위상잡음을 제거하도록 한다. 또한, 위상잡음은 시간 도메인에서는 정확히 파악하기 어렵다는 특성에 의해, 본 발명은 수신신호를 주파수 도메인에서 분석하였다. 따라서, 주파수 도메인에서는 곱셈연산이 컨볼루션 연산으로 바뀌게 되고 행렬식으로 표현하지 않을 수 있다.

[0060] 결국, 수신신호에서 위상잡음과 송신신호의 순환 컨볼루션에 집중하기 위하여 수신신호를 채널 등화기(50)인 Zero forcing Equalizer(ZF) 혹은 Minimum MSE Equalizer(MMSE)에 통과시켜서 채널에 의한 왜곡(distortion)을 없앤다.

[0061] 위와 같은 과정을 위해, 본 발명은 채널 등화기(50)를 통해 채널 왜곡 성분을 한다.

수학식 6

[0062]
$$y_k = q_k \otimes_N (\Lambda_k s_k) + w_k$$

[0063]
$$\bar{y}_k = q_k \otimes_N (\Lambda \Lambda_e s_k) + w_k \Lambda_e$$

[0064]
$$= q_k \otimes_N (G s_k) + w_k \Lambda_e$$

[0065] 수학식 6에서, Λ_e 는 채널 등화 행렬이고, $\bar{y}_k$ 는 채널 등화기(50)를 통과한 수신신호, G 는 단위행렬이 된다.

[0066] 그러므로, 채널 등화기(50)를 통과한 수신신호 $\bar{y}_k$ 는 채널에 의한 왜곡은 상쇄되고, 위상잡음 벡터 q_k 과 추정 송신 신호로 구성되므로, 위상잡음 문제 해결에만 집중할 수 있게 된다.

[0067] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 OFDM 통신시스템에서의 적응균등 등화기(100)의 상세한 구성을 도시한 블록도이고, 도 3은 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템에서의 위상잡음 제거 수순을 도시한 흐름도이다. 이하 도 2와 도 3을 참조하여 본 발명의 적응균등 등화기(100)의 동작을 상세히 설명한다.

[0068] 도 2를 참조하면, 본 발명에 의한 적응균등 등화기(100)는 정합필터부(110), 등화기 계수 업데이트부(140), 검출부(120) 및 오차 정정부(130)를 포함한다.

[0069] 여기에서, 정합필터부(110)는 수신신호 $\bar{y}_k$ 와 등화기 계수 f_k^i 를 주파수 도메인에서 컨볼루션(convolution)하여 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 를 출력한다.

[0070] 그리고, 검출부(120)는 정합필터링을 거친 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 에 대응하는 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 를 결정하며, 오차 정정부(130)는 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 와 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 를 이용하여 오차 $e_k(i)$ 를 구하고, 이 오차 $e_k(i)$ 를 등화기 계수 업데이트부(140)로 제공한다. 여기서, 오차는 추정 송신신호에서 검출

신호를 차감하여 구한다.

[0071] 등화기 계수 업데이트부(140)는 추정 송신신호의 오차 $e_k(i)$ 와 수신신호 $\bar{y}_k(i)^H$ 를 이용하여 등화기 계수 f_k^i 를 업데이트 하고, 업데이트된 등화기 계수 f_k^{i+1} 를 정합필터부(110)로 제공한다.

[0072] 따라서, 적응균등 등화기(100)는 아래의 수학적식 7에 의해 정합필터링을 처리한다. 즉 수학적식 7을 참조하면, 수신신호 $\bar{y}_k$ 와 수신신호의 에르미트(hermitian) $\bar{y}_k(i)^H$ 가 서로 곱해지는 것을 알 수 있는데, 이때 위상잡음 q_k 와 위상잡음의 에르미트 q_k^H 가 곱해지며, 이 과정이 정합필터링에 해당한다.

[0073] 도 3을 참조하면, 본 발명의 위상잡음 제거 방법은 정합필터링 단계(S210), 검출 단계(S220), 오차 정정 단계(S230) 그리고, 등화기 계수 업데이트 단계(S240)를 처리한다.

[0074] 정합필터링 단계(S210)는 수신신호 $\bar{y}_k$ 와, 등화기 계수 업데이트부(140)에서 받은 등화기 계수 f_k^i 를 컨볼루션(convolution)하여 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 를 출력한다. 검출 단계(S220)는 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 를 맥시멈 라이크리후드(Maximum Likelihood; ML) 방식에 의해 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 를 결정한다.

[0075] 오차 정정 단계(S230)는 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 와 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 를 이용하여 오차 $e_k(i)$ 를 구하고, 오차 $e_k(i)$ 를 상기 등화기 계수 업데이트부(140)로 제공한다. 등화기 계수 업데이트 단계(S240)는 오차 $e_k(i)$ 와 수신신호 $\bar{y}_k(i)^H$ 및 스텝사이즈(Step size) μ 값을 이용하여 상기 등화기 계수 f_k^i 를 업데이트 한다. 이때 업데이트 된 등화기 계수 f_k^{i+1} 는 다시 정합필터링 단계(S210)로 제공된다.

[0076] 따라서, 본 발명은 적응균등 등화기(100)에 의해 정합필터링 단계(S210)를 거침으로써, 위상잡음인 CPE와 ICI를 동시에 제거하게 되며, 수학적식 7을 이용하여 이를 상세히 설명한다.

수학적식 7

$$\hat{s}_k(i) = \sum_{m=0}^{N_f-1} \bar{y}_k(\text{mod}_N(i-m)) f_k^i(m)$$

[0077]

[0078] 수학적식 7에서, $\hat{s}_k(i)$ 는 추정 송신신호, $\bar{y}_k(\text{mod}_N(i-m))$ 는 Cyclic Prefix (CP)가 재활용된

수신신호로 채널 등화기(50)를 통과한 것을 뜻하며, $f_k^i(m)$ 는 등화기 계수가 된다.

[0079] 다시 말해, 상기 수신신호 $\bar{y}_k$ 는 Guard Interval(GI)단에서 수신신호에 CP를 삽입하고, 상기 CP가 삽입된 수신신호를 심볼수로 나눈 나머지 값을 갖는 것을 특징으로 하며, 채널 등화기(50)를 통과한 신호를 말한다.

[0080] 즉, 위 수학식 7은 적응균등 등화기(100)의 정합필터부(110)에 의해 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 를 출력하는 과정으로, 수신신호 $\bar{y}_k$ 와, 등화기 계수 업데이트부(140)에서 받은 등화기 계수 $f_k^i(m)$ 를 컨볼루션하여 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 를 출력하는 것을 보여준다. 다만, 등화기 계수의 초기값 $f_k^i(0)$ 은 초기의 수신신호 밖에 없으므로, 임의적으로 center tap만 1을 갖고 나머지는 0인 값을 갖는 벡터를 넣어준다.

[0081] 그리고, 검출부(120) 및 오차 정정부(130)에 대해 수학식 8 및 수학식 9를 이용하여 상세히 설명한다.

수학식 8

[0082]
$$e_k(i) = \hat{s}_k(i) - Q(\hat{s}_k(i))$$

[0083] 수학식 8에서, $e_k(i)$ 는 오차이며, $Q(\hat{s}_k(i))$ 는 검출부(120)에 의한 검출신호가 된다.

[0084] 검출부(120)는 맥시멈 라이크리후드(Maximum Likelihood; ML) 방식을 이용하여 검출신호를 결정한다. 즉, 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 의 값에 따라 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 가 결정된다.

[0085] 오차 정정부(130)는 추정 송신신호 $\hat{s}_k(i)$ 와 검출신호 $Q(\hat{s}_k(i))$ 의 차이인 오차 $e_k(i)$ 를 구하고, 이 오차값 $e_k(i)$ 를 등화기 계수 업데이트부(140)로 제공한다.

[0086] 등화기 계수 업데이트부(140)는 오차 정정부(130)에서 제공된 오차 $e_k(i)$, 수신신호의 에르미트 $\bar{y}_k(i)^H$ 및 스텝사이즈(Step size) μ 를 이용하여 등화기 계수를 업데이트 한다.

수학식 9

[0087]
$$f_k^{i+1} = f_k^i - \mu e_k(i) [\bar{y}_k(i) \dots \bar{y}_k(i - N_f + 1)]^H$$

[0088] 수학식 9에서, f_k^{i+1} 는 업데이트 후의 등화기 계수, f_k^i 는 업데이트 전의 등화기 계수, μ 는 스텝사

이즈를 나타내며, $[\bar{y}_k(i) \dots \bar{y}_k(i - N_f + 1)]^H$ 는 채널 등화기(50)를 지난 수신신호의 에르미트로 벡터 성분이 된다.

[0089] 여기에서, 스텝사이즈 μ 는 고정된 크기를 갖으며, 이값이 크면 한번에 에러를 보정하는 값이 커지지만 그만큼 최종 수렴위치가 부정확해지는 단점이 있으며, 값이 너무 작으면 최종 수렴위치는 정확하겠지만 에러를 보정하는 시간이 오래 걸리게 된다.

[0090] 즉, 등화기 계수 f_k^i 는 오차 값 $e_k(i)$ 을 반영하여 업데이트 하고, 업데이트된 등화기 계수 f_k^{i+1} 는 다시 수학적 식 7에 따라, 정합필터부(110)로 제공되어 수신신호 $\bar{y}_k$ 와 컨볼루션 한다.

[0091] 따라서, 이러한 과정(S210 ~ S240)을 반복함으로써 추정 송신신호가 수신신호 $\bar{y}_k$ 와 수신신호의 에르미트 $\bar{y}_k(i)^H$ 의 컨볼루션에 가까워지게 되며, 이는 곧 정합필터(Matched filter)를 뜻하게 된다. 이와 같이 정합필터부(110)를 이용한 적응균등 등화 과정의 반복에 의해 위상잡음은 스스로 제거된다.

[0092] 이상에서, 본 발명에 따른 OFDM 통신시스템의 적응균등 등화기(100)의 구성 및 작용을 상세한 설명과 도면에 따라 도시하였지만, 이는 실시예를 들어 설명한 것에 불과하며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변화 및 변경이 가능하다.

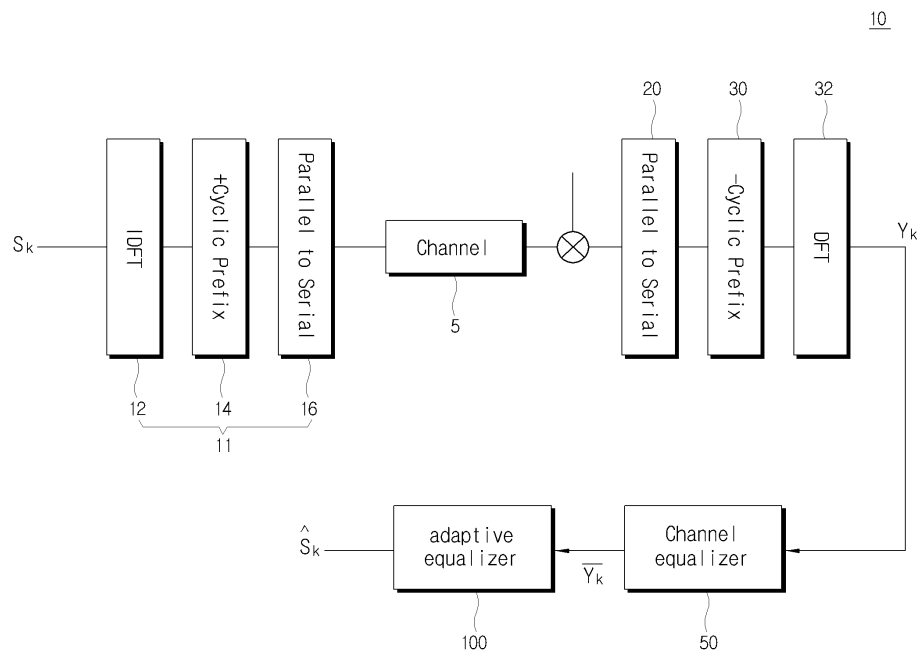
부호의 설명

[0093]

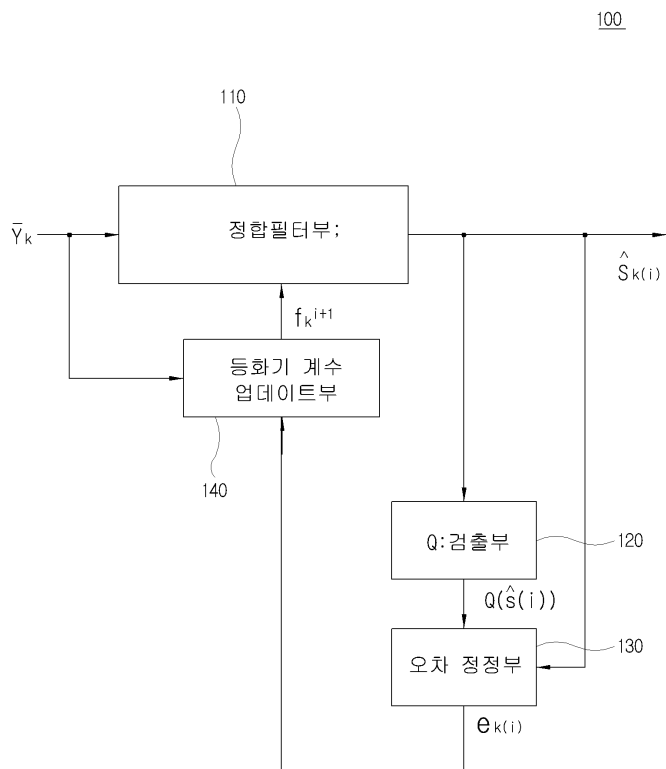
10 : 송수신 장치	50 : 채널 등화기
100 : 적응균등 등화기	110 : 정합필터부
120 : 검출부	130 : 오차 정정부
140 : 등화기 계수 업데이트부	

도면

도면1



도면2



도면3

