



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년06월13일
(11) 등록번호 10-2543692
(24) 등록일자 2023년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/69 (2013.01) H04B 10/524 (2013.01)
H04B 10/54 (2013.01) H04B 14/02 (2006.01)
H04L 27/36 (2006.01) H04L 27/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 10/691 (2013.01)
H04B 10/524 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0189244
(22) 출원일자 2021년12월28일
심사청구일자 2021년12월28일
(56) 선행기술조사문헌
JP2015154204 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
한상국
서울특별시 서초구 서초중앙로 220, 108동 3001호(반포동, 반포 래미안아이파크)
최재영
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)
현영진
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 제3공학관 232호(신촌동)
(74) 대리인
민영준

전체 청구항 수 : 총 17 항

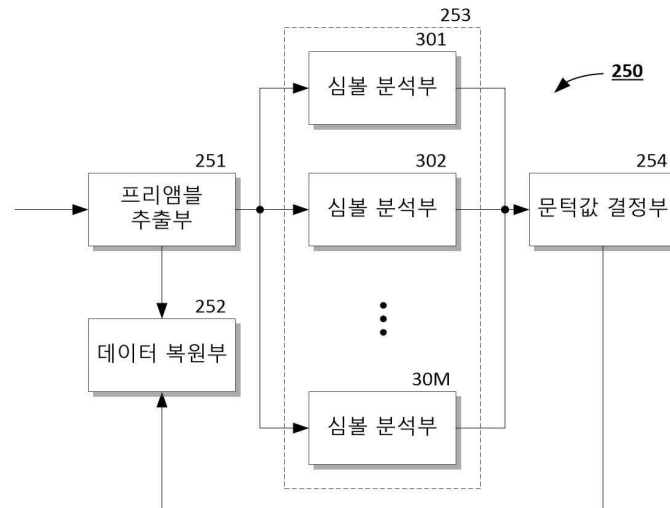
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 PAM 신호 기반 무선 광 수신 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 이전 수신된 수신 광 신호의 각 프레임에 포함된 프리앰블을 기반으로 시변하는 대기 채널에 따른 각 심볼별 전압값을 예측하여 실시간으로 가변되는 최적의 문턱값을 결정하고, 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판별하므로 무선 광 통신에서 PAM 변조와 같은 고차 변조 기법을 적용하여도 정확하게 데이터를 복원할 수 있는 무선 광 수신 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H04B 10/54 (2013.01)
H04B 10/6932 (2013.01)
H04B 14/023 (2013.01)
H04L 27/361 (2013.01)
H04L 27/38 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR102082581 B1
 KR1020140076844 A
 논문 1
 Mehmet SÖnmez, "Artificial neural network-based threshold detection for OOK-VLC Systems," Optics Communications, Volume 460, (2020)
 Shengli Ding et al., "Adaptive threshold decision for on-off keying transmission systems in atmospheric turbulence," Opt. Express 25, 24425-24436 (2017)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126194
과제번호	2019-0-00685-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신방송연구개발사업
연구과제명	무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31
공지예외적용 : 있음	

명세서

청구범위

청구항 1

광 송신 장치가 송신 데이터를 기지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 각 레벨에 대한 적어도 하나의 심볼이 기지정된 패턴으로 포함된 프리앰블을 기지정된 주기로 삽입하여 생성되는 프레임에 기지정된 광 변조 방식에 따라 광 변조하여 대기 채널을 통해 무선으로 전송한 광 신호 수신하는 광 수신 장치에 있어서,

상기 광 신호를 검출하여 전기적 신호인 검출 신호를 생성하는 광 검출부;

상기 검출 신호를 디지털 변환하여 상태 신호를 출력하는 샘플링부; 및

이전 결정된 문턱값에 따라 인가되는 상기 상태 신호의 값에 대응하는 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 이전 구분된 다수의 프레임의 프리앰블 각각에 포함된 레벨별 심볼에 대응하는 상태 신호값을 나타내는 심볼 상태를 획득하고, 획득된 심볼 상태 중 동일 레벨의 심볼에 대한 다수의 심볼 상태를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대해 예측되는 심볼 상태를 미리 추정하며, 각 레벨별로 추정된 심볼 상태를 기반으로 현재 프레임에서 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 미리 결정하는 수신 신호 처리부를 포함하는 무선 광 수신 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 수신 신호 처리부는

이전 다수의 프레임 각각의 프리앰블에 대응하는 상태 신호에서 각 레벨의 심볼 각각에 대응하는 상태 신호를 상기 심볼 상태로 추출하여 획득된 다수의 상태 신호 중 동일한 레벨의 심볼에 대응하는 상태 신호를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태를 미리 추정하는 채널 정보 분석부;

추정된 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태 중 서로 인접한 레벨에 대한 심볼 상태 사이의 값으로 현재 프레임의 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 적응적으로 미리 결정하는 문턱값 결정부;

미리 결정된 문턱값을 기준으로 인가되는 상기 상태 신호의 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 검출된 프리앰블에서 상기 심볼 상태를 추출하는 프리앰블 추출부; 및

프레임으로 구분된 상기 상태 신호에서 프리앰블에 해당하는 구간을 제외한 나머지 상태 신호에 대해 이전 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판정하고, 판정된 심볼을 상기 변조 방식에 대응하는 복조 방식으로 복조하여 상기 송신 데이터를 복원하는 데이터 복원부를 포함하는 무선 광 수신 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 채널 정보 분석부는

각각 현재 프레임의 프리앰블에서 획득된 각 레벨의 심볼 상태 중 대응하는 레벨의 심볼 상태를 인가받고, 이전 기지정된 개수의 프레임 동안 인가되어 누적 저장된 다수의 심볼 상태에 대응하는 가중치를 가중합하여 현재 프레임에서 대응하는 레벨의 심볼의 상태를 미리 추정한 추정 심볼 상태를 획득하며, 현재 프레임에서 획득되는 심볼 상태와 추정 심볼 상태 사이의 오차에 따라 상기 가중치를 업데이트하는 다수의 심볼 추정부를 포함하는 무선 광 수신 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 다수의 심볼 추정부 각각은

현재 프레임의 프리앰블에서 획득된 각 레벨의 심볼 상태 중 대응하는 레벨의 심볼 상태를 인가받아 기지정된 개수의 프레임 길이에 대응하는 시간 동안 저장하는 지연부;

이전 기지정된 개수의 프레임동안 누적 저장된 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 가중하여 다수의 가중 심볼 상태를 획득하는 가중치 가중부;

상기 다수의 가중 심볼 상태를 가산하여 현재 프레임의 대응하는 레벨의 심볼 상태를 미리 추정하여 상기 추정 심볼 상태를 획득하는 가산부;

현재 프레임에서 획득된 심볼 상태와 상기 추정 심볼 상태 사이의 차로 오차를 계산하는 오차 계산부; 및

상기 오차가 점차 감소되도록 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 기지정된 방식으로 업데이트하는 가중치 업데이트부를 포함하는 무선 광 수신 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 가중치 업데이트부는

이전 L개의 프레임 각각에서 추출된 제m 레벨의 심볼에 대한 L개의 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$)를 심볼 벡터($\vec{M}_k^T = [m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}]$)라 하고, 상기 L개의 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$)에 대응하는 L개의 가중치(w_1, w_2, \dots, w_L)를 가중치 벡터($\vec{H}_k^T = [w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{L,k}]$)라 하면, 오차(ϵ_k)에 따라 상기 가중치 벡터(\vec{H}_k^T)를 수학적

$$\vec{H}_{k+1} = \vec{H}_k + \mu \cdot (-\nabla_k)$$

여기서 μ 는 수렴 속도 파라미터이고, ∇_k 는 심볼 상태 벡터(\vec{M}_k^T)의 MSE(mean square error)에 대한

기울기로서, $\nabla_k = -2 \cdot \epsilon_k \cdot \vec{M}_k$ 이다.

에 따라 업데이트하는 무선 광 수신 장치.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 광 신호는

M-PAM 기법에 따라 변조되고, 광 세기 변조 기법에 따라 광 변조된 신호인 무선 광 수신 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 문턱값 결정부는

각 프리앰블에 동일 레벨에 대한 심볼이 다수개로 포함된 경우, 각 레벨의 다수의 심볼에 대한 심볼 상태(m_n)에 대한 평균값(m_{n_level})과 분산(σ_{n_level})을 획득하고, 인접한 레벨의 심볼 상태(m_n, m_{n-1}) 각각에 대해 획득된 평균값($m_{n_level}, m_{n-1_level}$)과 분산($\sigma_{n_level}, \sigma_{n-1_level}$)을 이용하여 수학적

$$Y_{n-1} = \frac{m_{n_level}\sigma_{n-1_level} + m_{n-1_level}\sigma_{n_level}}{\sigma_{n_level}\sigma_{n-1_level}}$$

에 따라 문턱값(Y_{n-1})을 결정하는 무선 광 수신 장치.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 문턱값 결정부는

M-PAM 기법에 따른 M개 레벨의 심볼을 구분하기 위한 M-1개의 문턱값 중 적어도 하나의 문턱값은 미리 지정된 고정값으로 결정하는 무선 광 수신 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 무선 광 수신 장치는

상기 광 송신 장치로부터 대기 채널을 통해 전송된 광 신호를 수신하여 증폭하는 광 증폭기; 및

증폭된 광 신호를 기지정된 대역폭으로 대역 통과 필터링하여 상기 광 검출부로 출력하는 광 대역 통과 필터를 더 포함하는 무선 광 수신 장치.

청구항 10

광 송신 장치가 송신 데이터를 기지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 각 레벨에 대한 적어도 하나의 심볼이 기지정된 패턴으로 포함된 프리앰블을 기지정된 주기로 삽입하여 생성되는 프레임에 기지정된 광 변조 방식에 따라 광 변조하여 대기 채널을 통해 무선으로 전송한 광 신호를 수신하는 광 수신 장치에서 수행되는 광 수신 방법에 있어서,

상기 광 신호를 검출하여 전기적 신호인 검출 신호를 생성하는 단계;

상기 검출 신호를 디지털 변환하여 상태 신호를 출력하는 단계; 및

이전 결정된 문턱값에 따라 인가되는 상기 상태 신호의 값에 대응하는 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 이전 구분된 다수의 프레임의 프리앰블 각각에 포함된 레벨별 심볼에 대응하는 상태 신호값을 나타내는 심볼 상태를 획득하고, 획득된 심볼 상태 중 동일 레벨의 심볼에 대한 다수의 심볼 상태를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대해 예측되는 심볼 상태를 미리 추정하며, 각 레벨별로 추정된 심볼 상태를 기반으로 미리 현재 프레임에서 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 결정하는 단계를 포함하는 무선 광 수신 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 문턱값을 적응적으로 결정하는 단계는

이전 다수의 프레임 각각의 프리앰블에 대응하는 상태 신호에서 각 레벨의 심볼 각각에 대응하는 상태 신호를 상기 심볼 상태로 추출하여 획득된 다수의 상태 신호 중 동일한 레벨의 심볼에 대응하는 상태 신호를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태를 미리 추정하여 추정 심볼 상태를 획득하는 단계;

추정된 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태 중 서로 인접한 레벨에 대한 심볼 상태 사이의 값으로 현재 프레임의 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 미리 결정하는 단계;

미리 결정된 문턱값을 기준으로 인가되는 상기 상태 신호의 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 검출된 프리앰블에서 상기 심볼 상태를 추출하는 단계; 및

프레임으로 구분된 상기 상태 신호에서 프리앰블에 해당하는 구간을 제외한 나머지 상태 신호에 대해 이전 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판정하고, 판정된 심볼을 상기 변조 방식에 대응하는 복조 방식으로 복조하여 상기 송신 데이터를 복원하는 단계를 포함하는 무선 광 수신 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 추정 심볼 상태를 획득하는 단계는

현재 프레임의 프리앰블에서 획득된 각 레벨의 심볼 상태 중 대응하는 레벨의 심볼 상태를 인가받아 기지정된 개수의 프레임 길이에 대응하는 시간 동안 저장하는 단계;

이전 기지정된 개수의 프레임동안 누적 저장된 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 가중하여 다수의 가중 심볼 상태를 획득하는 단계;

상기 다수의 가중 심볼 상태를 가산하여 현재 프레임의 대응하는 레벨의 심볼 상태를 미리 추정하여 상기 추정 심볼 상태를 획득하는 단계;

현재 프레임에서 획득된 심볼 상태와 상기 추정 심볼 상태 사이의 차로 오차를 계산하는 단계; 및

상기 오차가 점차 감소되도록 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 기지정된 방식으로 업데이트하는 단계를 포함하는 무선 광 수신 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 업데이트하는 단계는

이전 L개의 프레임 각각에서 추출된 제m 레벨의 심볼에 대한 L개의 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$)를 심볼 벡터($\vec{M}_k^T = [m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}]$)라 하고, 상기 L개의 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$)에 대응하는 L개의 가중치(w_1, w_2, \dots, w_L)를 가중치 벡터($\vec{H}_k^T = [w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{L,k}]$)라 하면, 오차(ϵ_k)에 따라 상기 가중치 벡터(\vec{H}_k^T)를 수학적식

$$\vec{H}_{k+1} = \vec{H}_k + \mu \cdot (-\nabla_k)$$

여기서 μ 는 수렴 속도 파라미터이고, ∇_k 는 심볼 상태 벡터(\vec{M}_k^T)의 MSE(mean square error)에 대한 기울기로서, $\nabla_k = -2 \cdot \epsilon_k \cdot \vec{M}_k$ 이다.

에 따라 업데이트하는 무선 광 수신 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 광 신호는

M-PAM 기법에 따라 변조되고, 광 세기 변조 기법에 따라 광 변조된 신호인 무선 광 수신 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 문턱값을 미리 결정하는 단계는

각 프리앰블에 동일 레벨에 대한 심볼이 다수개로 포함된 경우, 각 레벨의 다수의 심볼에 대한 심볼 상태(m_n)에 대한 평균값(m_{n_level})과 분산(σ_{n_level})을 획득하고, 인접한 레벨의 심볼 상태(m_n, m_{n-1}) 각각에 대해 획득된 평균값($m_{n_level}, m_{n-1_level}$)과 분산($\sigma_{n_level}, \sigma_{n-1_level}$)을 이용하여 수학적식

$$\gamma_{n-1} = \frac{m_{n_level}\sigma_{n-1_level} + m_{n-1_level}\sigma_{n_level}}{\sigma_{n_level}\sigma_{n-1_level}}$$

에 따라 문턱값(γ_{n-1})을 결정하는 무선 광 수신 방법.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 문턱값을 미리 결정하는 단계는

M-PAM 기법에 따른 M개 레벨의 심볼을 구분하기 위한 M-1개의 문턱값 중 적어도 하나의 문턱값은 미리 지정된 고정값으로 결정하는 무선 광 수신 방법.

청구항 17

제10항에 있어서, 상기 무선 광 수신 방법은

상기 검출 신호를 생성하는 단계 이전,

상기 광 송신 장치로부터 대기 채널을 통해 전송된 광 신호를 수신하여 증폭하는 단계; 및

증폭된 광 신호를 기지정된 대역폭으로 대역 통과 필터링하는 단계를 더 포함하는 무선 광 수신 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 광 수신 장치 및 방법에 관한 것으로, PAM 신호 기반 무선 광 수신 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 광통신(Free space optical communication, 이하 FSO)은 대기를 매체로 광신호가 전달되므로, RF(Radio Frequency) 기반 통신에 대비하여 넓은 대역폭, 좁은 발산 각도, 높은 보안성, 적은 파워 요구량의 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 FSO 기술을 이용해 비행체와 지상 간 레이저를 이용해 통신망을 만들고자 하는 시도가 활발하게 진행되고 있다.

[0003] 기존 FSO에서는 세기 변조/직접 검출(Intensity Modulation/Direct Detection: IM/DD) 기법이 주로 이용되고 있으며, IM/DD 기반 무선 광통신에서 변조 기법으로는 주로 OOK(On-Off Keying)을 많이 이용되고 있다. 그러나 무선 광통신에서 채널인 대기는 광을 흡수 및 산란시켜 감쇄시킬 뿐만 아니라, 난기류(Turbulence) 등으로 인해 전송되는 광 신호의 세기가 랜덤하게 변화하는 신틸레이션(scintillation)등을 유발할 수 있다. 이와 같은 대기 채널의 특성으로 인해, 시간에 따른 대기 채널의 채널 정보를 알아야만 광신호 수신 시에 최적화된 검파를 진행할 수 있다.

[0004] 기존의 광 수신 장치는 광 증폭기의 증폭 포화 특성을 이용하여 채널 열화를 물리적으로 완화하고, 이와 함께 수신단에서 시간에 따른 채널 정보의 분포도 정보를 바탕으로 최적의 성능을 보이는 고정된 문턱값을 미리 설정하여 검파를 수행하는 방식을 주로 이용하였다. 그러나 광 증폭기를 사용함으로써 발생하는 광 증폭기 잡음(Amplified spontaneous emission beat noise)에 의해 열화가 발생하고, 채널 정보의 분포도 정보 또한 수신단에서 정확히 알 수가 없으며, 무선 광통신 채널의 시변성으로 인해 분포도가 가변되므로 최적화된 고정 문턱값을 설정하기 어렵다는 한계가 있다. 이러한 문턱값 설정 문제는 무선 광 통신에서 OOK 변조보다 높은 변조 차수를 갖는 PAM 기법 등을 적용하지 못하게 하는 요인이 되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2211484호 (2021.01.28 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 시변되는 대기 채널의 상태에 따라 심볼을 식별하기 위한 문턱값을 적응적으로 실시간 가변하여 수신된 광신호를 정확하게 검출할 수 있는 무선 광 수신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0007] 본 발명의 다른 목적은 이전 수신된 수신 광 신호의 각 프레임에 포함된 프리앰블을 기반으로 시변하는 대기 채널의 현재 상태에서 각 레벨의 심볼에 대한 전압값을 예측하여 최적의 문턱값을 결정함으로써 무선 광 통신에서 PAM 변조와 같은 고차 변조 기법을 적용할 수 있도록 하는 무선 광 수신 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 수신 장치는 광 송신 장치가 송신 데이터를 기 지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 각 레벨에 대한 적어도 하나의 심볼이 기지정된 패턴으로 포함된 프리앰블을 기지정된 주기로 삽입하여 생성되는 프레임을 기지정된 광 변조 방식에 따라 광 변조하여 대기 채널을 통해 무선으로 전송한 광 신호 수신하는 광 수신 장치에 있어서, 상기 광 신호를 검출하여 전기적 신호인 검출 신호를 생성하는 광 검출부; 상기 검출 신호를 디지털 변환하여 상태 신호를 출력하는 샘플링부; 및 이전 결정된 문턱값에 따라 인가되는 상기 상태 신호의 값에 대응하는 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 이전 구분된 다수의 프레임의 프리앰블 각각에 포함된 레벨별 심볼에 대응하는 상태 신호값을 나타내는 심볼 상태를 획득하고, 획득된 심볼 상태 중 동일 레벨의 심볼에 대한 다수의 심볼 상태를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대해 예측되는 심볼 상태를 미

리 추정하며, 각 레벨별로 추정된 심볼 상태를 기반으로 현재 프레임에서 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 미리 결정하는 수신 신호 처리부를 포함한다.

[0009] 상기 수신 신호 처리부는 이전 다수의 프레임 각각의 프리앰블에 대응하는 상태 신호에서 각 레벨의 심볼 각각에 대응하는 상태 신호를 상기 심볼 상태로 추출하여 획득된 다수의 상태 신호 중 동일한 레벨의 심볼에 대응하는 상태 신호를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태를 미리 추정하는 채널 정보 분석부; 추정된 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태 중 서로 인접한 레벨에 대한 심볼 상태 사이의 값으로 현재 프레임의 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 적응적으로 미리 결정하는 문턱값 결정부; 미리 결정된 문턱값을 기준으로 인가되는 상기 상태 신호의 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 검출된 프리앰블에서 상기 심볼 상태를 추출하는 프리앰블 추출부; 및 프레임으로 구분된 상기 상태 신호에서 프리앰블에 해당하는 구간을 제외한 나머지 상태 신호에 대해 이전 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판정하고, 판정된 심볼을 상기 변조 방식에 대응하는 복조 방식으로 복조하여 상기 송신 데이터를 복원하는 데이터 복원부를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 채널 정보 분석부는 각각 현재 프레임의 프리앰블에서 획득된 각 레벨의 심볼 상태 중 대응하는 레벨의 심볼 상태를 인가받고, 이전 기지정된 개수의 프레임 동안 인가되어 누적 저장된 다수의 심볼 상태에 대응하는 가중치를 가중합하여 현재 프레임에서 대응하는 레벨의 심볼의 상태를 미리 추정한 추정 심볼 상태를 획득하며, 현재 프레임에서 획득되는 심볼 상태와 추정 심볼 상태 사이의 오차에 따라 상기 가중치를 업데이트하는 다수의 심볼 추정부를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 다수의 심볼 추정부 각각은 현재 프레임의 프리앰블에서 획득된 각 레벨의 심볼 상태 중 대응하는 레벨의 심볼 상태를 인가받아 기지정된 개수의 프레임 길이에 대응하는 시간 동안 저장하는 지연부; 이전 기지정된 개수의 프레임동안 누적 저장된 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 가중하여 다수의 가중 심볼 상태를 획득하는 가중치 가중부; 상기 다수의 가중 심볼 상태를 가산하여 현재 프레임의 대응하는 레벨의 심볼 상태를 미리 추정하여 상기 추정 심볼 상태를 획득하는 가산부; 현재 프레임에서 획득된 심볼 상태와 상기 추정 심볼 상태 사이의 차로 오차를 계산하는 오차 계산부; 및 상기 오차가 점차 감소되도록 다수의 심볼 상태 각각에 대응하는 가중치를 기지정된 방식으로 업데이트하는 가중치 업데이트부를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 광 신호는 M-PAM 기법에 따라 변조되고, 광 세기 변조 기법에 따라 광 변조될 수 있다.

[0013] 상기 문턱값 결정부는 M-PAM 기법에 따른 M개 레벨의 심볼을 구분하기 위한 M-1개의 문턱값 중 적어도 하나의 문턱값은 미리 지정된 고정값으로 결정할 수 있다.

[0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 광 수신 방법은 광 송신 장치가 송신 데이터를 기지정된 변조 방식에 따라 심볼로 변환하고, 각 레벨에 대한 적어도 하나의 심볼이 기지정된 패턴으로 포함된 프리앰블을 기지정된 주기로 삽입하여 생성되는 프레임을 기지정된 광 변조 방식에 따라 광 변조하여 대기 채널을 통해 무선으로 전송한 광 신호 수신하는 광 수신 장치에서 수행되는 광 수신 방법에 있어서, 상기 광 신호를 검출하여 전기적 신호인 검출 신호를 생성하는 단계; 상기 검출 신호를 디지털 변환하여 상태 신호를 출력하는 단계; 및 이전 결정된 문턱값에 따라 인가되는 상기 상태 신호의 값에 대응하는 심볼을 판정하고, 판정된 심볼의 패턴을 기반으로 상기 상태 신호에서 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하며, 이전 구분된 다수의 프레임의 프리앰블 각각에 포함된 레벨별 심볼에 대응하는 상태 신호값을 나타내는 심볼 상태를 획득하고, 획득된 심볼 상태 중 동일 레벨의 심볼에 대한 다수의 심볼 상태를 가중합하여 현재 프레임에서 각 레벨의 심볼에 대해 예측되는 심볼 상태를 미리 추정하며, 각 레벨별로 추정된 심볼 상태를 기반으로 미리 현재 프레임에서 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 결정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0015] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 무선 광 수신 장치 및 방법은 이전 수신된 수신 광 신호의 각 프레임에 포함된 프리앰블을 기반으로 시변하는 대기 채널에 따른 각 심볼별 전압값을 예측하여 실시간으로 가변되는 최적의 문턱값을 결정하고, 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판별하므로 무선 광 통신에서 PAM 변조와 같은 고차 변조 기법을 적용하여도 정확하게 데이터를 복원할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 2는 도 1의 송신 신호 처리부에서 수행되는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 수신 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 4는 도 3의 수신 신호 처리부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 5는 도 4의 수신 신호 처리부에서 수행되는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 도 4의 문턱값 결정부에서 결정되는 문턱값을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 도 4의 심볼 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 8은 도 6의 심볼 추정부의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 송신 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0018] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0019] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 송신 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 2는 도 1의 송신 신호 처리부에서 수행되는 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 무선 광 송신 장치(100)는 송신 신호 처리부(110) 및 광 변조부(120)를 포함할 수 있다. 송신 신호 처리부(110)는 전송하고자 송신 데이터를 인가받아 미리 지정된 방식에 따라 인가된 송신 데이터를 심볼로 변환한다. 이때, 송신 신호 처리부(110)는 인가된 송신 데이터를 기지정된 길이의 프레임 단위로 심볼로 변환하고, 각 프레임에 미리 지정된 프리앰블을 삽입한다.
- [0022] 송신 신호 처리부(110)는 데이터 변환부(111)와 프리앰블 삽입부(112)를 포함할 수 있다. 데이터 변환부(111)는 송신 데이터를 인가받고, 인가된 송신 데이터를 기지정된 길이에 따른 프레임 단위로 구분하여 심볼로 변환한다. 여기서 송신 데이터는 데이터 스트림 형태로 인가될 수 있으며, 데이터 변환부(111)는 데이터 스트림을 기지정된 길이로 구분하여 프레임 단위로 심볼 맵핑하여 심볼로 변환할 수 있다.
- [0023] 데이터 변환부(111)는 알려진 다양한 변조 방식에 따라 송신 데이터를 심볼로 변환할 수 있으며, 여기서는 일 예로 도 2에 도시된 바와 같이 4-PAM(4 Pulse Amplitude Modulation) 변조 기법에 따라 심볼 맵핑하여 데이터 변환하는 것으로 가정하여 설명한다. 즉 데이터 변환부(111)는 프레임 단위로 송신 데이터를 4-PAM에서 설정될 수 있는 4개의 심볼(0, 1, 2, 3)로 맵핑하여 변환을 수행할 수 있다. 다만 데이터 변환부(111)는 8-PAM 방식 또는 OOK(On/Off Keying) 방식 등에 따라 송신 데이터를 심볼로 변환할 수도 있다.
- [0024] 프리앰블 삽입부(112)는 각 프레임의 전단에 데이터 변환부(111)에서 이용하는 심볼 맵핑 방식, 즉 데이터 변환 방식에 대응하는 프리앰블을 생성하여 삽입한다. 본 실시예에서 프리앰블은 광 송신 장치(100)에서 전송된 광 신호가 채널 상태가 광 수신 장치(200)에 수신된 경우, 광 수신 장치(200)가 시변하는 대기 채널의 채널 정보를 판별하여 각 심볼의 레벨을 판별할 수 있도록 하기 위한 참조 정보로 이용되는 심볼 집합이다. 따라서 프리앰블은 심볼 맵핑 방식에 의해 지정될 수 있는 모든 레벨의 심볼이 포함되는 것이 바람직하다. 뿐만 아니라, 각 레벨에서 하나의 심볼만이 전송되는 경우, 노이즈 등에 의해 광 수신 장치(200)에서 해당 심볼의 레벨이 정확하게 추출되지 않을 수 있으므로, 프리앰블에는 각 레벨 별로 기지정된 개수의 심볼이 포함되도록 구성될 수 있다.
- [0025] 여기서는 데이터 변환부(111)가 4 PAM 변조 기법에 따라 심볼 맵핑하는 것으로 가정하였으며, 이에 프리앰블 삽

입부(112)는 4개의 심볼(0, 1, 2, 3)이 기지정된 개수씩 포함된 프리앰블을 생성하여 각 프레임에 삽입할 수 있다. 그리고 광 수신 장치(200)가 프리앰블에 포함된 심볼로부터 심볼 레벨을 판별할 수 있도록 4개의 심볼(0, 1, 2, 3)은 기지정된 패턴에 따라 순차적으로 포함될 수 있다.

[0026] 이때 각 프레임의 길이는 시변하는 대기 채널의 변화에 즉각적으로 대응할 수 있도록 대기 채널의 변화보다 짧은 길이가 되도록 설정되어야 한다. 일반적으로 시변 대기 채널의 컷오프 주파수(cut-off frequency)가 1kHz이다. 따라서 프레임 길이는 1ms 보다 짧은 시간 주기를 갖도록 설정될 수 있으며, 이는 고속으로 대용량 데이터를 전송하는 FSO 통신에서 상대적으로 매우 긴 시간 주기로서, 프리앰블이 각 프레임에 삽입되더라도 삽입된 프리앰블은 통신 용량에 대비하여 매우 미미한 크기이다. 즉 프리앰블이 삽입되더라도 데이터 전송 속도에 거의 차이가 발생하지 않는다.

[0027] 또한 송신 신호 처리부(110)는 도 2에 도시된 바와 같이, 의사 랜덤 비트 시퀀스(Pseudo-random bit sequence: 이하 PRBS) 생성부(미도시)를 더 포함할 수 있다. PRBS 생성부는 데이터 변환부(111)가 인가된 송신 데이터에 대해 정상적으로 심볼 맵핑을 수행할 수 있는지 여부를 자체 테스트(self-test)하기 위해 기지정된 비트 수를 갖는 임의의 난수를 생성한다. PRBS 생성부는 송신 신호 처리부(110)를 테스트하기 위한 구성으로 생략될 수 있다.

[0028] 한편, 광 변조부(120)는 송신 신호 처리부(110)에서 프레임 단위로 획득된 심볼에 따라 광 세기를 갖는 광을 생성하여 출력한다. 상기한 바와 같이, 본 실시예에서는 IM/DD 변조 방식에 따라 광 변조를 수행하므로, 광 변조부(120)는 송신 신호 처리부(110)에서 인가되는 프레임별 심볼에 따라 광의 세기를 조절함으로써, 세기 변조(Intensity Modulation: IM)된 광을 출력한다. 광 변조부(120)는 광원으로서 광의 세기를 조절하여 출력할 수 있는 각종 소자로 구현될 수 있으며, 일 예로 레이저 다이오드(Laser diode)로 구현될 수 있다.

[0029] 그리고 광 변조부(120)에서 출력된 광은 송신 광 신호로서 시변하는 대기 채널을 통해 광 수신 장치(200)로 전달된다.

[0030] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 수신 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 4는 도 3의 수신 신호 처리부의 상세 구성의 일 예를 나타내며, 도 5는 도 4의 수신 신호 처리부에서 수행되는 동작을 설명하기 위한 도면이다. 그리고 도 6은 도 4의 문턱값 결정부에서 결정되는 문턱값을 설명하기 위한 도면이다.

[0031] 도 3을 참조하면, 본 실시예에 따른 무선 광 수신 장치(200)는 광 증폭부(210), 광 필터부(220), 광 검출부(230), 샘플링부(240) 및 수신 신호 처리부(250)를 포함할 수 있다.

[0032] 광 증폭부(210)는 광 송신 장치(100)에서 대기 채널을 통해 수신된 광 신호를 증폭하여 시변하는 대기 채널에 의한 페이딩을 일정 수준 완화하여 출력한다. 광 증폭부(210)는 일 예로 어둡 첨가 광 증폭기(Erbium Doped Fiber Amplifier: 이하 EDFA)로 구현될 수 있다. 광 필터부(220)는 광 증폭부(210)에서 증폭된 광 신호를 인가받아 기지정된 대역폭으로 필터링을 수행하여 광 신호에 포함된 노이즈를 제거한다. 광 필터부(220)는 일 예로 광 대역 통과 필터(optical bandpass filter: OBPF)로 구현될 수 있다. 광 검출부(230)는 광 필터부(220)에서 대역 통과 필터링된 광 신호를 인가받아 광전 변환하여, 인가된 광 신호의 광 세기에 대응하는 검출 신호를 출력한다. 광 검출부(230)는 일 예로 포토 다이오드(Photo Diode: PD) 등으로 구현될 수 있다.

[0033] 샘플링부(240)는 광 검출부(230)에서 출력되는 아날로그 신호인 검출 신호를 샘플링하여 디지털 신호로 변환하여 상태 신호를 출력한다. 샘플링부(240)는 일 예로 DPO(Digital Phosphor Oscilloscope)으로 구현될 수 있다.

[0034] 수신 신호 처리부(250)는 샘플링부(240)에서 디지털 신호로 변환된 상태 신호를 인가받고, 적응적으로 조절되어 미리 결정된 문턱값에 따라 상태 신호의 심볼을 판정하며, 판정된 심볼에 따라 프리앰블을 검출하여 프레임을 구분하고 구분된 프레임 내의 심볼들로부터 광 송신 장치(100)가 전송한 송신 데이터를 복원한다. 즉 식별된 심볼을 변조 기법에 대응하는 복조 기법에 따라 디맵핑(de-mapping)하여 송신 데이터를 복원한다.

[0035] 이때 문턱값은 이전 인가된 상태 신호의 다수 프레임 각각으로부터 추출된 프리앰블에서 각 심볼의 레벨에 대응하는 상태 신호의 값을 나타내는 심볼 상태를 기반으로 결정된다.

[0036] 구체적으로 현재 프레임의 상태 신호에서 심볼을 판정하기 위한 문턱값은 이전 기지정된 개수(여기서는 일 예로 L개)의 프레임의 프리앰블 각각에 포함된 다수의 심볼에 대한 심볼 상태를 기반으로 현재 대기 채널 상태에 따른 각 레벨의 심볼에 대응하는 심볼 상태를 예측하여 결정된다. 여기서 심볼 상태는 상태 신호 전압값을 의미한다.

- [0037] 상태 신호는 각 레벨의 심볼이 대기 채널을 통과하는 동안 변형된 신호로서, 대기 채널의 상태가 반영된 신호로 볼 수 있다. 따라서 수신 신호 처리부(250)는 대기 채널 상태 변화로 나타나는 각 레벨의 심볼에 대한 상태 신호의 변화를 추이를 기반으로 이후 각 레벨별 심볼에 대한 심볼 상태를 추정하고, 추정된 심볼 상태에 따라 이후 프레임의 심볼 레벨을 판별하기 위한 적어도 하나의 문턱값을 결정한다. 문턱값이 시간적으로 변화하는 대기 채널 상태에 적응적으로 가변되어 결정되므로, 수신 신호 처리부(250)는 정확하게 심볼을 판별하여 송신 데이터를 복원할 수 있다.
- [0038] 이때, 수신 신호 처리부(250)가 현재 프레임에서 추출된 프리앰블에 포함된 심볼 상태를 이용하여 문턱값을 결정하지 않고, 이전 다수 프레임의 프리앰블에서 획득된 심볼 상태를 이용하여 문턱값을 결정하는 것은 고속으로 전송되는 데이터에 대해 실시간으로 처리할 수 있도록 문턱값을 미리 결정하기 위해서이다. 또한 다수의 프레임에서 추출된 프리앰블의 심볼을 이용하는 것은 변화 추이가 반영되도록 하여 특정 프레임에 노이즈 등에 의한 오차가 포함될 지라도 신뢰성 있는 문턱값을 획득할 수 있도록 하기 위함이다.
- [0039] 즉 본 실시예에서 수신 신호 처리부(250)는 이전 수신된 기지정된 개수의 프레임에서 추출된 프리앰블의 심볼들을 기반으로 시변하는 현재 대기 채널에서의 심볼의 상태를 예측하고, 예측된 심볼 상태를 기반으로 현재 수신된 프레임의 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 결정함으로써, 실시간으로 신뢰성 있는 문턱값을 획득하여 정확하게 심볼을 판정하고 데이터를 복원할 수 있도록 한다.
- [0040] 도 4를 참조하면, 수신 신호 처리부(250)는 프리앰블 추출부(251), 데이터 복원부(252), 채널 정보 분석부(253) 및 문턱값 결정부(254)를 포함할 수 있다. 프리앰블 추출부(251)는 샘플링부(240)에서 인가되는 상태 신호에서 프리앰블을 추출하여 프레임을 구분한다. 상기한 바와 같이 프리앰블은 다수의 심볼이 미리 지정된 패턴으로 구성되므로, 프리앰블 추출부(251)는 상태 신호의 패턴으로부터 용이하게 프리앰블을 추출할 수 있으며, 이때, 프리앰블 추출부(251)는 문턱값 결정부(254)에서 이전 결정된 문턱값을 이용하여 상태 신호에 포함된 심볼을 판별하고, 판별된 심볼의 패턴을 분석하여 프리앰블을 추출할 수 있다. 프리앰블 추출부(251)는 추출된 프리앰블에 해당하는 상태 신호에서 각 레벨의 심볼을 구분하여 심볼 상태로서 채널 정보 분석부(253)로 전달한다.
- [0041] 데이터 복원부(252)는 프리앰블 추출부(251)와 마찬가지로 문턱값 결정부(254)에 의해 미리 결정된 적어도 하나의 문턱값에 따라 상태 신호에서 현재 프레임의 프리앰블을 제외한 나머지 심볼을 판정하고, 판정된 심볼을 디맵핑하여 광 송신 장치(100)에서 송신된 송신 데이터를 복원한다.
- [0042] 채널 정보 분석부(253)는 광 송신 장치(100)에서 이전 전송된 광 신호가 대기 채널을 통해 수신되는 과정에서 페이딩에 의해 각 레벨의 심볼에 발생된 상태 변화를 기반으로 현재 대기 채널에 따른 심볼 상태를 예측한다.
- [0043] 본 실시예에서 채널 정보 분석부(253)는 프리앰블 추출부(251)에서 프리앰블의 각 심볼의 레벨에 따라 구분된 상태 신호인 심볼 상태를 인가받고, 심볼 상태 변화 추이가 반영되도록 현재 인가된 심볼 상태뿐만 아니라 이전 인가된 다수 프레임의 심볼 상태를 기반으로 다음 심볼 상태를 예측한다.
- [0044] 다시 말해, 채널 정보 분석부(253)는 이전 기지정된 개수(여기서는 일 예로 L개)의 프레임의 프리앰블에 포함된 각 레벨별 심볼에 대한 심볼 상태를 누적 가중합하여 현재 대기 채널의 상태를 예측한다.
- [0045] 채널 정보 분석부(253)는 광 송신 장치(100)에서 적용된 변조 기법에 따라 서로 다른 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태를 추정하기 위한 다수의 심볼 추정부(301 ~ 30M)를 포함한다. 여기서는 광 송신 장치(100)가 4-PAM 변조를 수행하는 것으로 가정하였으므로, 채널 정보 분석부(253)는 4개($M = 4$)의 심볼 추정부(301 ~ 304)를 포함할 수 있다.
- [0046] 그리고 다수의 심볼 추정부(301 ~ 30M)는 각각 4 레벨(0, 1, 2, 3)의 심볼 중 대응하는 레벨의 심볼의 상태 변화로부터 현재 프레임의 대응하는 레벨의 심볼 상태를 예측한다. 예로서 제1 심볼 추정부(301)는 이전 L개의 프레임에서 제1 레벨(0) 심볼의 상태 변화에 따라 현재 프레임의 제1 레벨(0) 심볼의 상태를 추정하고, 제2 심볼 추정부(302)는 이전 L개의 프레임에서 제2 레벨(1) 심볼의 상태 변화에 따라 현재 프레임의 제2 레벨(1) 심볼의 상태를 추정한다. 각 레벨에 대한 심볼 상태 변화는 대기 채널 상태에 따라 나타나므로, 결과적으로 채널 정보 분석부(253)는 이전 대기 채널 상태 변화로부터 현재 대기 채널 상태 변화를 예측하여 각 레벨별 심볼의 상태를 추정하는 것으로 볼 수 있다.
- [0047] 여기서 다수의 심볼 추정부(301 ~ 30M) 각각은 적응적 선형 예측(Adaptive Linear Predictor: ALP) 필터 형태로 구현될 수 있다.
- [0048] 문턱값 결정부(254)는 채널 정보 분석부(253)에서 추정된 각 레벨별 심볼 상태에 따라 현재 프레임에서 심볼을

판정하기 위한 적어도 하나의 문턱값을 기지정된 방식으로 결정한다. 여기서 문턱값 결정부(254)는 추정된 각 레벨별 심볼 상태 중 서로 인접한 레벨의 심볼 상태 사이의 값으로 문턱값이 결정될 수 있다. 문턱값은 간단하게 서로 인접한 레벨의 심볼 상태 사이의 중간값으로 결정될 수도 있으나, 신뢰도를 향상시키기 위해 프리앰블에 각 레벨별로 다수의 심볼이 포함된 경우, 각 레벨의 심볼 상태의 평균값과 분산값을 반영하여 문턱값을 결정할 수도 있다. 또한 문턱값 결정부(254)는 이전 각 레벨별 심볼 상태의 분산을 고려하여 문턱값을 조절할 수도 있다.

[0049] 상기한 바와 같이, 기존의 광 수신 장치는 OOK 변조된 광 신호를 수신하였으며, 이에 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이 미리 고정된 하나의 문턱값을 설정하여 심볼을 판정하였다. 즉 시변하는 대기 채널에 의한 심볼 상태 변화를 고려하지 않고 문턱값이 설정되어 각 레벨의 심볼을 판정하기 위한 마진이 크게 요구되었으며, 이로 인해 4-PAM과 같은 고차 변조를 적용하기 어려웠다. 그에 반해 본 실시예에서 문턱값 결정부(254)는 도 6의 (c)에 도시된 바와 같이, 대기 채널에 의한 심볼 상태 변화를 미리 예측하여 적응적으로 문턱값을 가변하여 설정하고, 가변되는 문턱값에 따라 이후 프레임에 대한 심볼을 판별함으로써, 정확하게 심볼을 판정할 수 있을 뿐만 아니라 마진을 줄일 수 있어 고차 변조를 적용할 수 있다. 다만 경우에 따라서 문턱값 결정부(254)는 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 하나의 문턱값은 고정값으로 설정하고, 나머지 문턱값은 적응적으로 가변하여 설정할 수도 있다.

[0050] 도 7은 도 4의 심볼 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 8은 도 6의 심볼 추정부의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 도 7에서는 도 4의 다수의 심볼 분석부(301 ~ 30M) 중 제 m 심볼 분석부(30m)의 상세 구성만을 도시하였으나, 모든 심볼 분석부(301 ~ 30M)는 동일한 구성을 갖는다. 다만 다수의 심볼 분석부(301 ~ 30M) 각각은 프리앰블 추출부(251)에서 추출된 프리앰블의 다수의 심볼 중 대응하는 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태를 인가받는다. 즉 심볼 분석부(30m)는 프리앰블 추출부(251)가 각 프레임에서 추출한 프리앰블에 M-PAM 변조 방식에 따라 포함된 M개의 심볼 중 m 번째 심볼에 대한 심볼 상태를 나타내는 상태 신호를 인가받는다.

[0052] 도 7 및 도 8을 참조하면, 심볼 분석부(30m)는 지연부(310), 가중치 가중부(320), 가산부(330), 오차 계산부(340) 및 가중치 업데이트부(350)를 포함할 수 있다.

[0053] 지연부(310)는 직렬로 연결된 L개의 지연기(311 ~ 31L)를 포함한다. L개의 지연기 중 제1 지연기(311)는 프리앰블 추출부(251)에서 현재 인가되는 k번째 프레임의 m번째 심볼에 대한 심볼 상태(m_k)를 인가받아, 프레임 주기 동안 지연하여 출력하고, 제2 내지 제L 지연기(312 ~ 31L)는 각각 이전단의 지연기(311 ~ 31(L-1))에서 프레임 주기만큼 지연되어 출력되는 심볼 상태(m_{k-1} , m_{k-2} , ..., m_{k-L})를 인가받아 다시 프레임 주기만큼 지연하여 출력한다. 즉 지연부(310)는 현재 k번째 프레임 이전 L개의 프레임 각각에서 m번째 심볼에 대한 심볼 상태(m_{k-1} , m_{k-2} , ..., m_{k-L})를 저장하는 것으로 볼 수 있다.

[0054] 가중치 가중부(320)는 지연부(310)에 저장된 이전 L개 프레임에 대한 L개의 m번째 심볼 상태(m_{k-1} , m_{k-2} , ..., m_{k-L})를 인가받고, 인가된 L개의 m번째 심볼(m_{k-1} , m_{k-2} , ..., m_{k-L}) 각각에 대응하는 가중치(W_1 , W_2 , ..., W_L)를 가중하여 가중 심볼을 출력한다. 가중치 가중부(320)는 지연부(310)의 L개의 지연기(311 ~ 31L) 각각에 대응하는 L개의 가중부(321 ~ 32L)를 포함한다. L개의 가중부(321 ~ 32L) 각각은 L개의 지연기(311 ~ 31L) 중 대응하는 지연기에서 출력되는 m번째 심볼 상태(m_{k-1} , m_{k-2} , ..., m_{k-L})를 인가받고, 가중치 업데이트부(350)로부터 L개의 가중치(W_1 , W_2 , ..., W_L) 중 대응하는 가중치를 인가받아 가중하여 가중 심볼 상태를 출력한다.

[0055] 가산부(330)는 가중치 가중부(320)의 L개의 가중부(321 ~ 32L)에서 출력되는 L개의 가중 심볼 상태를 가산하여, 현재 대기 상태에 따른 k 번째 프레임의 m번째 심볼 상태에 대한 추정 전압값을 갖는 추정 심볼 상태(m_k')를 획득한다. 여기서 추정 심볼 상태(m_k')는 이전 인가된 L개의 프레임으로부터 획득되므로, 현재 k번째 프레임이 인가되기 이전에 획득되어, k번째 프레임의 심볼을 판정하기 위한 문턱값을 결정하기 위해 이용된다.

[0056] 오차 계산부(340)는 현재 k번째 프레임에서 추출된 심볼 상태(m_k)와 이전 L개의 프레임으로부터 추정된 추정 심볼 상태(m_k') 사이의 차를 계산하여 추정 오차(ε_k)로 출력한다.

[0057] 그리고 가중치 업데이트부(350)는 오차 계산부(340)에서 계산된 추정 오차(ε_k)가 최소화되도록 가중치 가중부

(320)의 L개의 가중부(321 ~ 32L)에 인가되는 L개의 가중치(W_1, W_2, \dots, W_L)를 각각 업데이트하고, 업데이트된 L개의 가중치(W_1, W_2, \dots, W_L)를 L개의 가중부(321 ~ 32L) 중 대응하는 가중부로 전달한다.

[0058] 지연부(310)에서 출력되는 L개의 m번째 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$)를 심볼 벡터($\vec{M}_k^T = [m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}]$)라 하고, 가중치 업데이트부(350)에서 인가되는 L개의 가중치(W_1, W_2, \dots, W_L)를 가중치 벡터($\vec{H}_k^T = [w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{L,k}]$)라 할 때, 추정 심볼 상태(m_k')는 수학식 1과 같이 심볼 벡터(\vec{M}_k^T)와 가중치 벡터(\vec{H}_k^T) 사이의 내적으로 계산된다.

수학식 1

$$m'_k = \vec{H}_k^T \cdot \vec{M}_k$$

그리고 추정 오차(ϵ_k)는 수학식 2에 따라 계산될 수 있다.

수학식 2

$$\epsilon_k = m_k - m'_k = m_k - \vec{H}_k^T \cdot \vec{M}_k$$

한편 가중치 업데이트부(350)는 추정 오차(ϵ_k)가 최소화되도록 가중치 벡터(\vec{H}_k^T)를 수학식 3에 따라 업데이트할 수 있다.

수학식 3

$$\vec{H}_{k+1} = \vec{H}_k + \mu \cdot (-\nabla_k)$$

여기서 μ 는 수렴 속도 파라미터이고, ∇_k 는 심볼 상태 벡터(\vec{M}_k^T)의 MSE(mean square error)에 대한 기울기(gradient)이다.

수학식 3에서 MSE 기울기는 최소 평균 제곱 알고리즘에 따라 수학식 4로 대체되어 계산될 수 있다.

수학식 4

$$\nabla_k = -2 \cdot \epsilon_k \cdot \vec{M}_k$$

수학식 3에 나타난 바와 같이, 가중치 업데이트부(350)는 현재 가중치 벡터(\vec{H}_k^T)에 따른 추정 심볼 상태(m_k')와 실제 심볼 상태(m_k) 사이의 차이로 계산되는 추정 오차(ϵ_k)가 최소가 되도록 다음 프레임을 위한 가중치 벡터(\vec{H}_{k+1})를 계속적으로 업데이트함으로써, 심볼 분석부(30m)가 시변하는 대기 채널에서도 정확하게 추정 심볼(m_k')을 추정할 수 있도록 한다.

그리고 M개의 심볼 분석부(301 ~ 30M) 각각이 도 8의 하단에 점선으로 표시된 바와 같이, 대응하는 각 레벨의 추정 심볼 상태($1_k' \sim M_k'$)를 추정하면, 문턱값 결정부(254)는 추정된 각 레벨의 추정 심볼 상태($1_k' \sim M_k'$) 사이의 값으로 문턱값을 결정할 수 있다. 이때 프리앰블에 각 레벨의 심볼이 하나씩 포함된 경우에는 인접한 레

벨의 심볼 상태 사이의 중간값으로 문턱값을 결정할 수 있다. 그러나 프리앰블에 각 레벨에 대한 심볼이 다수개로 포함된 경우, 각 레벨의 다수의 심볼에 대한 심볼 상태(m_n)에 대한 평균값(m_{n_level})과 분산(σ_{n_level})을 획득하고, 인접한 레벨의 심볼 상태(m_n, m_{n-1}) 각각에 대해 획득된 평균값($m_{n_level}, m_{n-1_level}$)과 분산($\sigma_{n_level}, \sigma_{n-1_level}$)을 이용하여 수학적 식 5에 따라 문턱값(γ_{n-1})을 결정할 수 있다.

수학적 식 5

$$\gamma_{n-1} = \frac{m_{n_level}\sigma_{n-1_level} + m_{n-1_level}\sigma_{n_level}}{\sigma_{n_level}\sigma_{n-1_level}}$$

[0069]

[0070] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 광 송신 방법을 나타낸다.

[0071] 도 1 내지 도 8을 참조하며, 도 9의 무선 광 송신 방법을 설명하면, 우선 이전 기지정된 개수(L개)의 프레임 각각에서 추출된 프리앰블에 포함된 각 레벨별 심볼 상태($m_{k-1}, m_{k-2}, \dots, m_{k-L}$) 각각에 대응하는 가중치(w_1, w_2, \dots, w_L)를 가중합하여 다음 프레임(m_k)에서 대응하는 레벨의 심볼 상태를 나타내는 추정 심볼 상태(m_k')를 추정한다(S11).

[0072] 그리고 추정된 레벨별 추정 심볼 상태(m_k')를 기반으로 적어도 하나의 문턱값을 결정한다(S12). 여기서 문턱값은 레벨별 추정 심볼 상태(m_k') 중 인접한 레벨별 추정 심볼 상태(m_k') 사이의 중간값으로 결정될 수 있다. 다만 각 프리앰블에 동일한 레벨의 심볼이 다수개로 포함된 경우, 각 레벨의 심볼에 대한 심볼 상태의 평균값과 분산값을 기반으로 수학적 식 5에 따라 문턱값이 결정될 수 있다.

[0073] 이와 함께 이후 추정 심볼 상태(m_{k+1}')를 정확하게 추정할 수 있도록 가중치(w_1, w_2, \dots, w_L)를 업데이트한다(S13). 구체적으로 가중치(w_1, w_2, \dots, w_L)는 현재 획득된 대응하는 심볼 상태(m_k)와 추정된 추정 심볼 상태(m_k') 사이의 오차인 추정 오차(ε_k)가 최소화되도록 수학적 식 3에 따라 업데이트될 수 있다.

[0074] 한편 광 송신 장치(100)로부터 대기 채널을 통해 무선으로 광 신호를 전송되면, 대기 채널에 의한 페이딩을 완화하기 위해 전송된 광 신호를 증폭하여 출력한다(S14). 이때 광 신호는 광 송신 장치(100)가 송신 데이터를 기지정된 길이의 다수의 프레임으로 구분하여, 각 프레임의 데이터를 M-PAM 기법 등과 같은 미리 지정된 변조 방식에 따라 심볼 맵핑하여 심볼로 변환하고, 각 레벨별로 적어도 하나의 심볼이 기지정된 패턴으로 포함된 프리앰블을 각 프레임에 삽입한 후 광 변조하여 생성된 신호이다.

[0075] 그리고 증폭된 광 신호에 대해 광 대역 통과 필터(OBPF) 등으로 필터링을 수행한다(S15). 이후 광을 포토 다이오드 등을 이용하여 필터링된 광을 검출하여 검출 신호를 생성한다(S16). 검출 신호가 생성되면, DPO 등을 이용하여 검출 신호를 샘플링하여 디지털 신호인 상태 신호를 획득한다(S17).

[0076] 상태 신호가 획득되면, 미리 결정된 문턱값에 따라 현재 인가되는 상태 신호의 심볼을 식별하고, 식별된 심볼의 패턴을 분석하여, 상태 신호로부터 현재 프레임을 구분하며, 구분된 현재 프레임에서 프리앰블을 추출한다(S18). 여기서 추출된 프리앰블에 포함된 각 레벨에 따른 심볼 상태(m_k)는 다음 추정 심볼 상태(m_{k+1}')를 예측하기 위해 이용된다.

[0077] 그리고 현재 인가되는 상태 신호에서 추출된 프리앰블을 제외한 나머지 상태 신호의 심볼 상태로부터 미리 결정된 문턱값에 따라 심볼을 판별하고, 판별된 심볼을 기지정된 복조 방식으로 디맵핑하여 송신 데이터를 복원한다(S19).

[0078] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분

리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0079] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

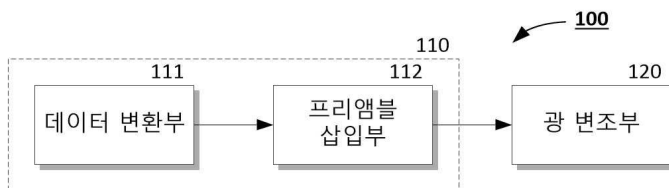
[0080] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

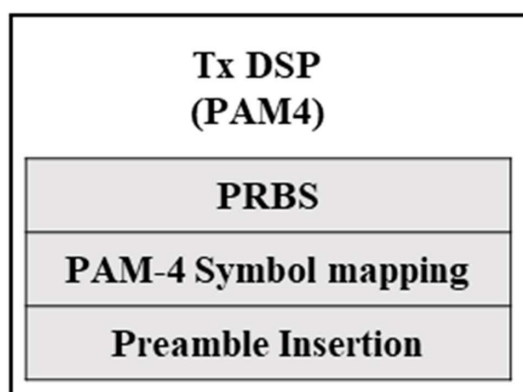
[0081]	200: 광 수신 장치	210: 광 증폭부
	220: 광 필터부	230: 광 검출부
	240: 샘플링부	250: 수신 신호 처리부
	251: 프리앰블 추출부	252: 데이터 복원부
	253: 채널 정보 분석부	254: 문턱값 결정부
	301 ~ 30M: 심볼 추정부	310: 지연부
	320: 가중치 가중부	330: 가산부
	340: 오차 계산부	350: 가중치 업데이트부

도면

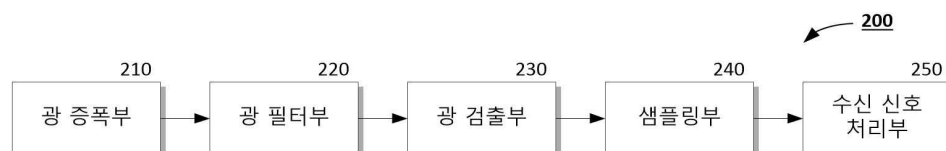
도면1



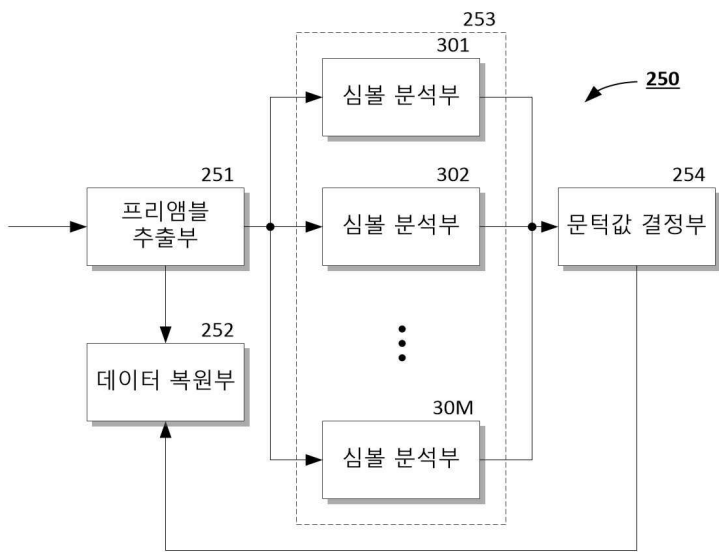
도면2



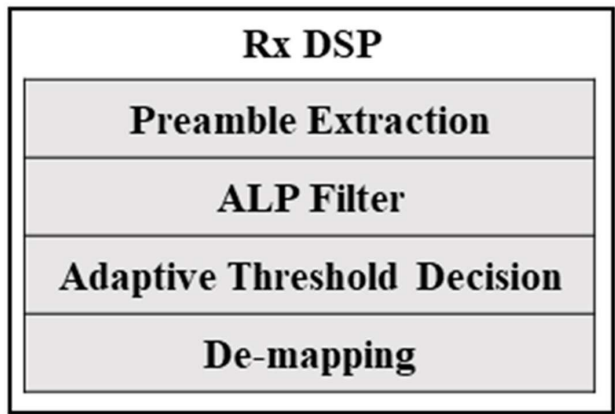
도면3



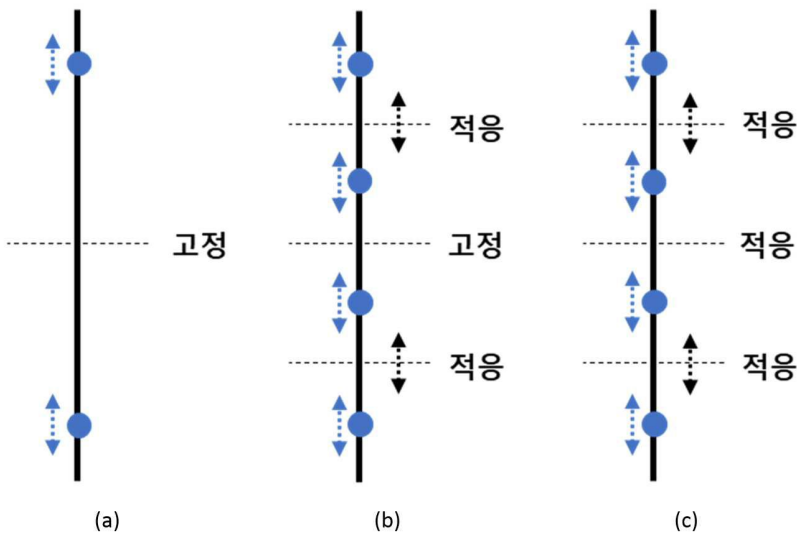
도면4



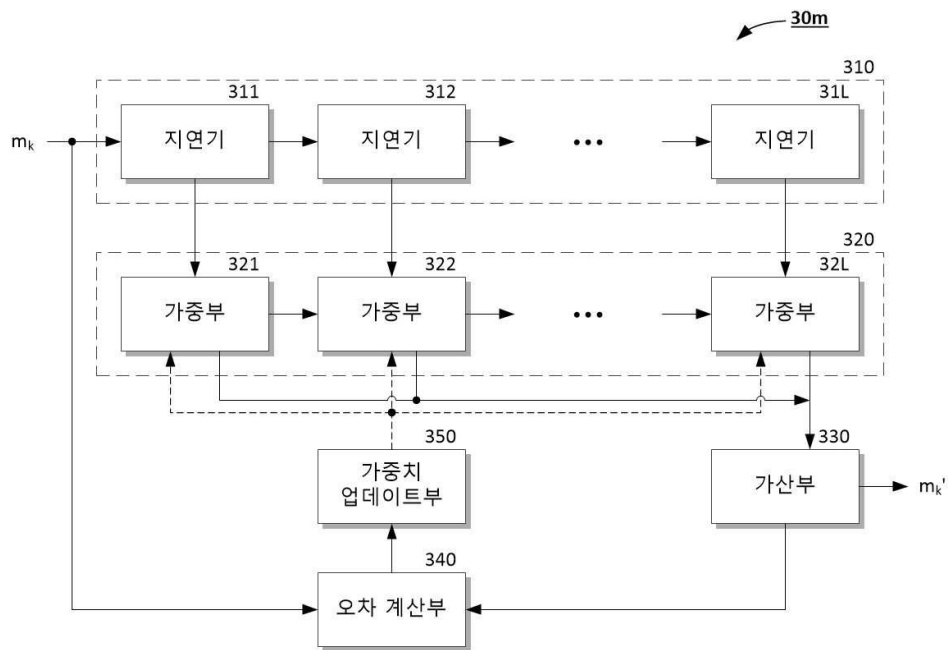
도면5



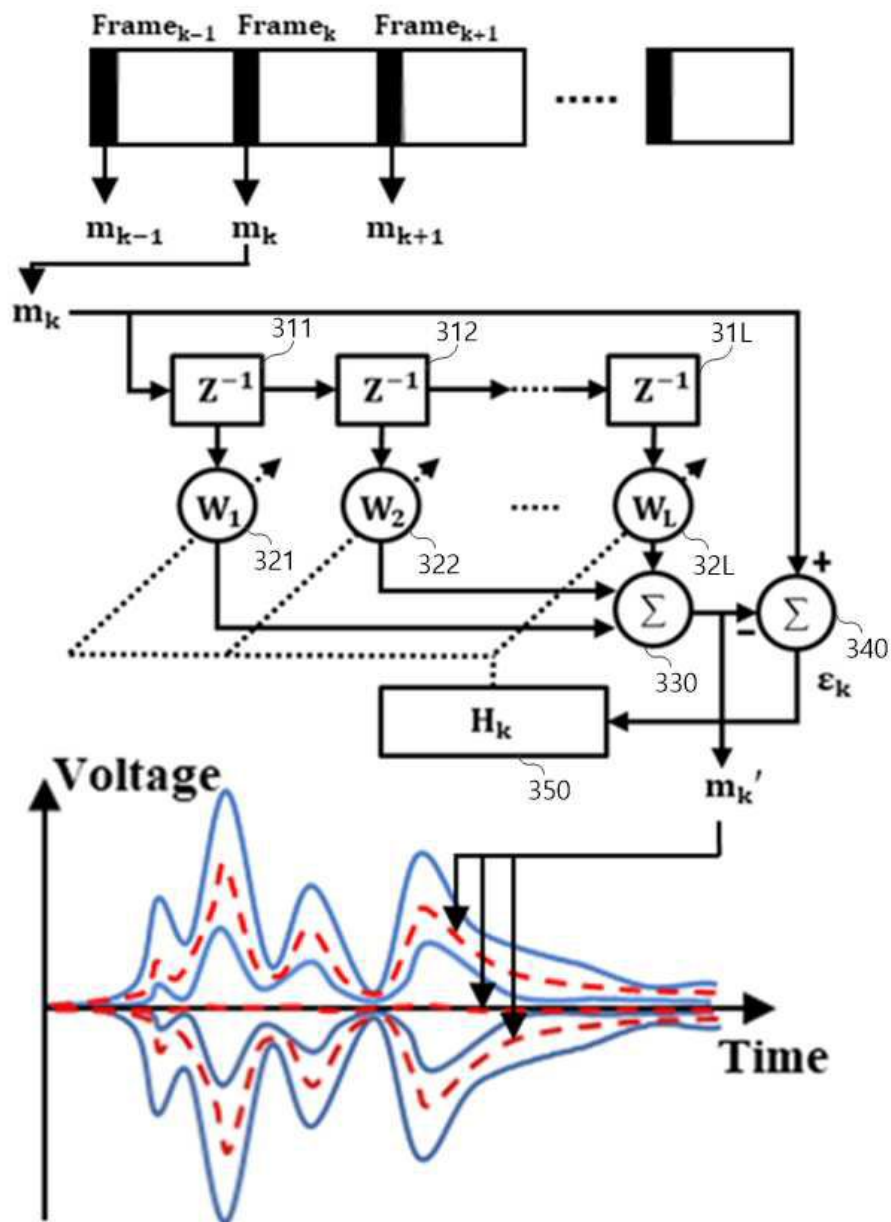
도면6



도면7



도면8



도면9

