



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0075268
(43) 공개일자 2025년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) H04L 25/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2695 (2021.01)
H04L 25/0305 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0162543
(22) 출원일자 2023년11월21일
심사청구일자 2023년11월21일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
박대영
인천광역시 연수구 송도문화로84번길 24, 208동 3104호 (송도동, 송도에듀포레푸르지오)
강원석
서울특별시 양천구 목동동로 130, 1407동 203호 (신정동, 목동신시가지아파트14단지)
김민식
경기도 수원시 영통구 동수원로 448, 105동 402호 (매탄동, 현대아파트)
(74) 대리인
양정보

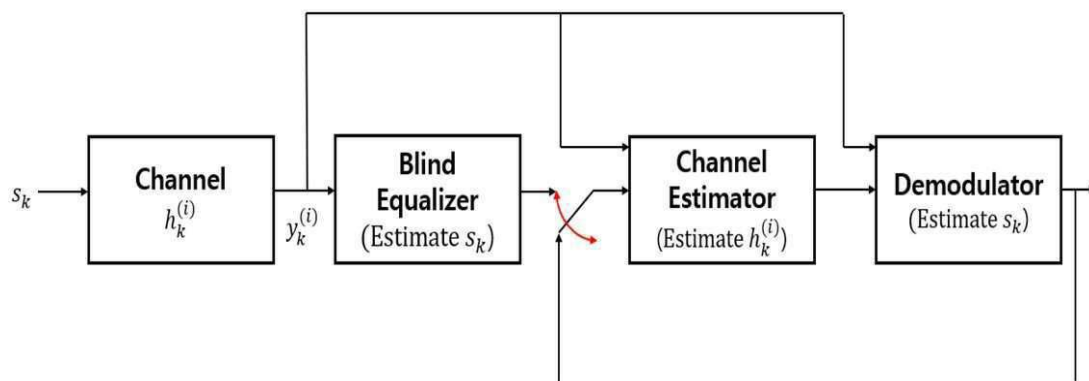
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 기법

(57) 요약

블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 기법이 개시된다. 일 실시예에 따른 채널 추정 및 신호 검출 시스템에 의해 수행되는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법은, 근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 단계를 포함하고, 상기 추정하는 단계는, 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 블라인드 등화 문제를 복수 개의 하위 문제로 구분하고, 구분된 복수 개의 하위 문제에 대해 근위 교대 최적화 방법을 기반으로 채널 추정 및 신호 검출을 반복적으로 실행하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711174241
과제번호	2022R1H1A2092541
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	대규모 연결을 위한 사물인터넷 시스템 최적화 연구
기 여 율	9/10
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2022.09.01 ~ 2023.08.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711179347
과제번호	00155915
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	인공지능융합혁신인재양성
연구과제명	인공지능융합혁신인재양성(인하대학교)
기 여 율	1/10
과제수행기관명	인하대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

채널 추정 및 신호 검출 시스템에 의해 수행되는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법에 있어서,

근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 단계

를 포함하고,

상기 추정하는 단계는,

수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 블라인드 등화 문제를 복수 개의 하위 문제로 구분하고, 구분된 복수 개의 하위 문제에 대해 근위 교대 최적화 방법을 기반으로 채널 추정 및 신호 검출을 반복적으로 실행하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

고정된 송신 신호에 대해 채널 임펄스 응답을 탐색하는 채널 추정 과정과, 고정된 채널 임펄스 응답에 대해 송신 신호를 탐색하는 신호 검출 과정을 오차가 수렴할 때까지 반복적으로 실행하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

상기 채널 추정 과정에서, 송신 신호를 알고 있다고 가정하면, 송신 신호가 파일럿 신호가 되어, 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 사용한 채널 추정 문제로 구성하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

상기 근위 정규화 항에서 채널 추정을 위한 근위 정규화 파라미터의 값을 조절하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

상기 채널 검출 과정에서, 채널 임펄스 응답이 주어지면, 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 사용한 신호 검출 문제로 구성하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

상기 구성된 근위 정규화 항을 사용한 신호 검출 문제에 대해 성상도에서 표현되는 점을 투영하는 투영 연산자를 통해 목적 함수를 최소화하는 해를 찾는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 추정하는 단계는,

상기 근위 정규화 항에서 신호 검출을 위한 근위 정규화 파라미터의 값을 조절하는 단계

를 포함하는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법.

청구항 8

채널 추정 및 신호 검출 시스템에 있어서,

근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 추정부

를 포함하고,

상기 추정부는,

수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 블라인드 등화 문제를 복수 개의 하위 문제로 구분하고, 구분된 복수 개의 하위 문제에 대해 근위 교대 최적화 방법을 기반으로 채널 추정 및 신호 검출을 반복적으로 실행하는

것을 특징으로 하는 채널 추정 및 신호 검출 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 블라인드 등화 기술은 현대 통신 분야의 중추적인 연구 주제로 각광을 받고 있다. 이 기술은 다양한 통신 시스템에서 신호 전송의 정확도를 보장하는 핵심 역할을 담당하며, 특히 현대의 데이터 통신 환경에서 중요성이 커지고 있다. 디지털 신호의 전송 중 대역 제한된 채널을 통과할 때 발생하는 문제로는 심볼 간 간섭(ISI) 등이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 전통적인 등화 및 반송파 복구 알고리즘은 알려진 데이터 시퀀스에 의존하며, 일정한 채널에서 긴 데이터 패킷을 전송할 때는 유리하다. 그러나, 변동성이 큰 채널, 짧은 데이터 패킷 전송 환경, 모바일 시스템 등에서는 이러한 전통적인 알고리즘의 효율성이 크게 저하된다. 특히, 낮은 신호 대 잡음비(SNR) 환경에서는 이러한 문제가 더욱 부각된다.

[0004] 블라인드 등화 기술은 이러한 문제의 해결책으로 등장하였다. 기본적으로 송신된 신호의 통계적 특성을 활용하여 훈련 신호 없이 송신 신호를 복원하는 방법을 제공한다. 이 접근 방식의 장점은 추가적인 대역폭이나 채널 추정을 위한 과일렛 심볼 없이 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 그렇지만, 기존의 블라인드 등화 알고리즘은 수렴을 위해 많은 전송 심볼이 필요한 문제를 가지고 있으며, 짧은 패킷 통신에서는 이를 제약으로 느낄 수 있

다.

[0005] 블라인드 등화의 주요 과정은 표본화, 등화 필터 생성, 복조의 세 단계로 구성되며, 그 중에서도 표본화 단계에서는 심볼 간격 등화기와 부분 간격 등화기라는 두 가지 주요한 등화기 분류를 사용한다. 이러한 방법들이 효과적인 등화를 가능하게 하지만, 일부 알고리즘, 예를 들면 constant modulus algorithm (CMA)은 수렴에 많은 송신 심볼이 필요하다는 한계를 가지고 있다. 초고신뢰 및 저지연 통신(xURLLC)의 요구가 늘어나면서, 짧은 패킷 통신의 중요성이 더욱 부각되고 있지만, 현존하는 알고리즘들은 패킷 크기가 충분히 크지 않을 때의 성능 저하 문제에 직면하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 채널 추정 및 신호 검출 시스템에 의해 수행되는 블라인드 등화를 위한 결합 채널 추정 및 신호 검출 방법은, 근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 단계를 포함하고, 상기 추정하는 단계는, 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 블라인드 등화 문제를 복수 개의 하위 문제로 구분하고, 구분된 복수 개의 하위 문제에 대해 근위 교대 최적화 방법을 기반으로 채널 추정 및 신호 검출을 반복적으로 실행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 추정하는 단계는, 고정된 송신 신호에 대해 채널 임펄스 응답을 탐색하는 채널 추정 과정과, 고정된 채널 임펄스 응답에 대해 송신 신호를 탐색하는 신호 검출 과정을 오차가 수렴할 때까지 반복적으로 실행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 추정하는 단계는, 상기 채널 추정 과정에서, 송신 신호를 알고 있다고 가정하면, 송신 신호가 파일럿 신호가 되어, 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 사용한 채널 추정 문제로 구성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 추정하는 단계는, 상기 근위 정규화 항에서 채널 추정을 위한 근위 정규화 파라미터의 값을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 추정하는 단계는, 상기 채널 검출 과정에서, 채널 임펄스 응답이 주어지면, 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 사용한 신호 검출 문제로 구성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 추정하는 단계는, 상기 구성된 근위 정규화 항을 사용한 신호 검출 문제에 대해 성상도에서 표현되는 점을 투영하는 투영 연산자를 통해 목적 함수를 최소화하는 해를 찾는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 추정하는 단계는, 상기 근위 정규화 항에서 신호 검출을 위한 근위 정규화 파라미터의 값을 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 채널 추정 및 신호 검출 시스템은, 근위 교대 최적화(proximal alternating optimization; PAO) 방법에 기초하여 블라인드 등화를 위한 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 추정부를 포함하고, 상기 추정부는, 수신 신호를 이용하여 송신 신호와 채널 임펄스 응답을 추정하는 블라인드 등화 문제를 복수 개의 하위 문제로 구분하고, 구분된 복수 개의 하위 문제에 대해 근위 교대 최적화 방법을 기반으로 채널 추정 및 신호 검출을 반복적으로 실행할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 잔여 간섭(residual interference)을 최소화하기 위한 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 통해 두 개의 하위 문제로 분해하고, 분해한 두 개의 하위 문제를 해결하기 위해 근위 정규화 파라미터를 조절함으로써 최적의

BER 성능을 달성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 일 실시예에 있어서, 부분 간격 등화기에서 사용하는 과표본화 기법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 일 실시예에 있어서, 반복적인 채널 추정과 복조 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 일 실시예에 있어서, 신호 검출을 위한 근위 정규화 파라미터에 따른 비트 오류율을 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 일 실시예에 있어서, 채널 추정을 위한 근위 정규화 파라미터에 따른 비트 오류율을 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 일 실시예에 있어서, SNR에 따른 비트 오류율을 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 일 실시예에 있어서, 심볼의 수에 따른 비트 오류율을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0023] 도 1은 일 실시예에 있어서, 부분 간격 등화기에서 사용하는 과표본화 기법을 설명하기 위한 도면이다.

[0024] 다중 경로 채널에 L개의 경로가 있을 때, 해당 채널로부터의 수신 신호를 수학식 1과 같이 나타낸다.

[0025] 수학식 1:

$$y(t) = \sum_{m=0}^{P-1} h(t - mT - t_0) s_m + n(t)$$

[0027] 이때, P는 송신 심볼의 수, T는 심볼의 주기, t_0 는 시간 지연, $h(t)$ 는 채널 임펄스 응답, s_m 은 m번째 송신 심볼이며, $n(t)$ 는 σ^2 을 분산으로 하는 가산 백색 가우시안 잡음이다.

[0028] 일반적인 블라인드 등화 통신 시스템에서는 한 심볼 구간 동안의 과표본화를 통해 성능향상을 기대하며, 도 1은 부분 간격 등화기에서 사용하는 과표본화 기법을 나타낸 것이다. 부분 간격 등화를 위해, 심볼의 주기인 T보다 L배 과표본화한 1번째 표본은 수학식 2와 같이 나타낸다.

[0029] 수학식 2:

$$y\left(l\frac{T}{L}\right) = \sum_{m=0}^{P-1} h\left(l\frac{T}{L} - mT - t_0\right) s_m + n\left(l\frac{T}{L}\right)$$

[0031] $L>1$ 일 때, 과표본화된 표본들을 L개의 부분 수열로 나타내면, 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0032] 수학식 3:

$$y_k^{(i)} = \sum_{m=0}^{P-1} h_{k-m}^{(i)} s_m + n_k^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, L$$

[0034] 여기서, $m = kL + i$, $y_k^{(i)} = y(kT + i\Delta)$, $h_k^{(i)} = h(kT + i\Delta - t_0)$, $n_k^{(i)} = n(kT + i\Delta)$ 이다.

[0035] 채널 임펄스 응답의 길이가 K+1이라고 하고, $k<0$ 와 $k>K$ 일 때, $h_k^{(i)} = 0$ 이라고 하면 수신 신호는 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0036] 수학적식 4:

$$y_k^{(i)} = \sum_{m=0}^K h_m^{(i)} s_{k-m} + n_k^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, L$$

[0037]

[0038] 여기서, $k = 0, 1, \dots, P + K - 1$ 이다.

[0039] 블라인드 등화(수학적식 5)는 알고 있는 수신 신호 $y_k^{(i)}$ 로 송신 신호 s_m 와 채널 임펄스 응답 $h(t)$ 을 추정하는 기술이다.

[0040] 수학적식 5:

$$(P1) \min_{s_m \in S, h_m^{(i)}} \sum_{i=1}^L \sum_{k=0}^{P+K-1} \left| y_k^{(i)} - \sum_{m=0}^K h_m^{(i)} s_{k-m} \right|^2$$

[0041]

[0042] 하지만, (P1)은 비볼록성 문제여서 문제를 푸는 것이 쉽지 않다.

[0043] 따라서 근위 교대 최적화(PAO) 방법을 사용하여 블라인드 등화 문제를 해결할 수 있다. 먼저, 고정된 s_m 에 대해 $h_m^{(i)}$ 을 최적화한다. 그런 다음 고정된 $h_m^{(i)}$ 에 대해 s_m 를 최적화한다. 이 과정을 수렴할 때까지 반복한다. 도 2는 반복적인 채널 추정과 복조 과정을 나타낸 도면이다.

[0044] 첫째로 채널 추정 과정은 다음과 같다. s_m 이 주어진다고 가정하면, s_m 는 파일럿 신호가 된다. 수학적식 5에서 근위 정규화 항을 추가한 채널 추정 문제는 수학적식 6과 같이 나타낼 수 있다.

[0045] 수학적식 6:

$$\mathbf{H}_{n+1} = \underset{\mathbf{H}}{\operatorname{argmin}} \|\bar{\mathbf{Y}} - \bar{\mathbf{S}}\mathbf{H}\|_F^2 + \eta_h \|\mathbf{H} - \mathbf{H}_n\|_F^2$$

[0046]

[0047] 여기서, 각 행렬은

[0048] 수학적식 7:

$$\bar{\mathbf{Y}} = [\mathbf{y}^{(1)} \ \mathbf{y}^{(2)} \ \dots \ \mathbf{y}^{(L)}] \in \mathcal{C}^{(P+K) \times L}$$

[0049]

[0050] 수학적식 8:

$$\mathbf{y}^{(i)} = [y_0^{(i)} \ y_1^{(i)} \ \dots \ y_{P+K}^{(i)}]^T \in \mathcal{C}^{(P+K) \times 1}$$

[0051]

[0052] 수학적식 9:

$$\bar{\mathbf{S}} = \begin{bmatrix} s_0 & \square & \square \\ \vdots & \diagdown & \square \\ \vdots & \diagdown & s_0 \\ s_{P-1} & \diagdown & \vdots \\ \square & \diagdown & \vdots \\ \square & \square & s_{P-1} \end{bmatrix} \in \mathcal{C}^{(P+K) \times (K+1)}$$

[0053]

[0054] 수학적식 10:

$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}^{(1)} \ \mathbf{h}^{(2)} \ \dots \ \mathbf{h}^{(L)}] \in \mathcal{C}^{(K+1) \times L}$$

[0055]

[0056] 수학식 11:

[0057]
$$\mathbf{h}^{(i)} = [h_0^{(i)} \ h_1^{(i)} \ \dots \ h_K^{(i)}]^T \in \mathcal{C}^{(K+1) \times 1}$$

[0058] 로 나타낸다. $\eta_h \geq 0$ 은 채널 추정의 근위 정규화 파라미터이며, $\eta_h \|\mathbf{H} - \mathbf{H}_n\|_F^2$ 항은 수렴 조건을 완화하거나 수렴 속도를 향상시킨다.

[0059] 수학식 6은 닫힌 형태의 해인 수학식 12가 된다.

[0060] 수학식 12:

[0061]
$$\mathbf{H}_{n+1} = (\bar{\mathbf{S}}^H \bar{\mathbf{S}} + \eta_h \mathbf{I})^{-1} (\bar{\mathbf{S}}^H \bar{\mathbf{Y}} + \eta_h \mathbf{H}_n)$$

[0062] 둘째로, $h_m^{(i)}$ 이 주어지면 수학식 5는 심볼 검파 문제와 동일하다. 또한, 근위 정규화를 추가한 심볼 검파 문제는 수학식 13과 같은 문제가 된다.

[0063] 수학식 13:

[0064] (P4)
$$\mathbf{s}_{n+1} = \arg \min_{\{\mathbf{s} | \mathbf{s}_m \in \mathbb{S}\}} \|\bar{\mathbf{y}} - \bar{\mathbf{H}}\mathbf{s}\|^2 + \eta_s \|\mathbf{s} - \mathbf{s}_n\|^2$$

[0065] 수학식 14:

[0066]
$$\bar{\mathbf{y}} = [\mathbf{y}^{(1)T} \ \mathbf{y}^{(2)T} \ \dots \ \mathbf{y}^{(L)T}] \in \mathcal{C}^{L(P+K) \times 1}$$

[0067] 수학식 15:

[0068]
$$\mathbf{y}^{(i)} = [y_0^{(i)} \ y_1^{(i)} \ \dots \ y_{P+K}^{(i)}]^T \in \mathcal{C}^{(P+K) \times 1}$$

[0069] 수학식 16:

[0070]
$$\bar{\mathbf{H}} = [\bar{\mathbf{H}}^{(1)T} \ \bar{\mathbf{H}}^{(2)T} \ \dots \ \bar{\mathbf{H}}^{(L)T}] \in \mathcal{C}^{L(P+K) \times P}$$

[0071] 수학식 17:

[0072]
$$\bar{\mathbf{H}}^{(i)} = \begin{bmatrix} h_0^{(i)} & & & & \\ \vdots & \ddots & & & \\ h_K^{(i)} & \ddots & h_0^{(i)} & & \\ & \ddots & \vdots & \ddots & \\ \square & \square & h_K^{(i)} & \ddots & h_0^{(i)} \\ \square & \square & \square & \ddots & \vdots \\ \square & \square & \square & \square & h_K^{(i)} \end{bmatrix} \in \mathcal{C}^{(P+K) \times P}$$

[0073] 수학식 19:

[0074]
$$\mathbf{s} = [s_0 \ s_1 \ \dots \ s_{P-1}]^T \in \mathcal{C}^{P \times 1}$$

[0075] 로 각 행렬을 구성한다.

[0076] $\mathbb{S}$ 는 성상도에서 표현되는 점들의 집합이며, $\eta_s \geq 0$ 는 심볼 검파에서의 근위 정규화 파라미터, $\eta_s \|\mathbf{s} - \mathbf{s}_n\|^2$ 항은 수렴 조건을 완화하거나 수렴 속도를 향상시킨다.

[0077] 수학식 13은 성상도 제약 조건 $\mathbf{s} \in \mathbb{S}^P$ 로 인해 NP-hard 문제가 된다. 일반적으로 비볼록성은 투영 연산자로 목적 함수를 최소화하는 해를 찾은 후 해결할 수 있다. 수학식 13의 해는 수학식 20을 통해 해를 갖게 된다.

[0078] 수학식 20:

$$[0079] \quad \mathbf{s}_{n+1} = \Pi_{\mathbb{S}^P} \left((\bar{\mathbf{H}}^H \bar{\mathbf{H}} + \eta_s \mathbf{I})^{-1} (\bar{\mathbf{H}}^H \bar{\mathbf{y}} + \eta_s \mathbf{s}_n) \right)$$

[0080] 여기서, $\Pi_{\mathbb{S}}(\mathbf{s})$ 는 $\mathbf{s}$ 의 각 원소를 성상도 점으로 투영하는 연산자이다. 제안하는 채널 추정 및 신호 검출 시스템의 전체 과정은 표 1과 같다.

[0081] 표 1:

Algorithm 1 Iterative Channel Estimation and Symbol Detection algorithm based on Proximal Alternating Optimization

- 1: Input: $\mathbf{y}^{(l)}, \forall l$
 - 2: Initialize $\mathbf{s}_0$ and $\mathbf{H}_0$ with CMA
 - 3: Repeat until convergence
 - 4: $\mathbf{H}_{n+1} \leftarrow (\bar{\mathbf{S}}_n^H \bar{\mathbf{S}}_n + \eta_h \mathbf{I})^{-1} (\bar{\mathbf{S}}_n^H \bar{\mathbf{Y}} + \eta_h \mathbf{H}_n)$
 - 5: $\mathbf{s}_{n+1} \leftarrow \Pi_{\mathbb{S}^P} \left((\bar{\mathbf{H}}_{n+1}^H \bar{\mathbf{H}}_{n+1} + \eta_s \mathbf{I})^{-1} (\bar{\mathbf{H}}_{n+1}^H \bar{\mathbf{y}} + \eta_s \mathbf{s}_n) \right)$
 - 6: End
-

[0082]

[0083] $\mathbf{s}_m$ 의 시작 값으로는 CMA 등화 결과를 활용할 수 있으며, 필요에 따라 임의의 값으로 설정할 수도 있다. 초기 값을 지정한 후, 수학식 6과 수학식 13에 해당하는 채널 추정 및 복조 작업을 교대로 실행하며, 오차가 수렴될 때까지 이 과정을 계속한다.

[0084] 도 3 내지 도 6은 일 실시예에 있어서, 블라인드 등화를 위한 고유한 공동 채널 추정 및 신호 검출 방법의 기술적 효과를 설명하기 위한 도면이다.

[0085] 실시예에 따르면, 블라인드 등화를 위한 고유한 공동 채널 추정 및 신호 검출 기법을 제안하였다. 잔여 간섭(residual interference)을 최소화하기 위한 블라인드 등화 문제를 근위 정규화 항을 통해 두 개의 하위 문제로 분해하고, 분해된 문제를 해결하기 위해, η_s 와 η_h 를 포함하는 두 개의 근사 정규화 파라미터를 조절하여 최적의 BER 성능을 달성할 수 있다. 또한, 본 발명은 기존의 방법들에 비해 모든 패킷 크기에 있어서 더 낮은 BER 을 보여주며, 특히 짧은 패킷 통신에서 큰 성능 향상을 보인다.

[0086] 성능 비교를 위해 다음과 같은 시나리오를 고려한다. CMA는 블라인드 등화를 위한 기존의 잘 알려진 알고리즘이며, A0는 잔여 ISI를 줄이기 위한 교대 최적화 알고리즘이다. Perfect CSI는 복조 성능의 향상을 위해 실제 채널의 정보를 알고 있다는 가정에 따라 등화를 진행하는 방식이다.

[0087] 도 3을 참고하면, SNR 4 dB일때, 심볼의 개수 $P=128$ 에서의 η_s 에 따른 BER 성능을 보여주는 그래프이다. 다중 경로 채널의 채널 임펄스 응답의 길이 $K+1=5$ 로 설정하였으며, 수신 안테나의 개수는 $L=4$ 라고 가정했다. 초기 블라인드 등화 과정에서는 $N=10$ 선형 탭이 있는 CMA를 사용했다. η_s 가 0에 가까울 때, MIMO detection 문제로 전환된다. 이 상황에서, $\mathbf{H}$ 는 일반적으로 풀랭크가 되며, $\mathbf{s}$ 의 추정치는 $\mathbf{s} = \text{demod}(\mathbf{H}^T \mathbf{y})$ 와 유사한 값을 갖는다.

이는 η_s 값이 0 에 가까울수록 실제 채널의 정보를 더 정확하게 반영하게 되어, 더 정확한 신호 추정이 가능해지기 때문이다. 반면에, η_s 가 기 설정된 기준값보다 크면, 현재 심볼 추정치는 이전 심볼치와 점점 유사해진다. 이는 초기 CMA값에 가까워지는 경향을 보인다. 특히, η_s 가 기 설정된 값(예를 들면, 0.3)을 초과하면, PAO의 BER 성능이 AO보다 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 최적의 BER 성능을 위해 후속 시뮬레이션에서 $\eta_s=0.1$ 을 선택했다.

[0088] 도 4를 참고하면, SNR 4 dB일때, 심볼의 개수 $P=128$ 에서의 η_h 에 따른 BER 성능을 보여주는 그래프이다. η_h 가 0에 가까울수록, H의 추정치는 S^+Y 와 유사한 값을 갖는다. 반면에, 만약 η_h 가 증가하면 현재 채널 추정치 H_{n+1} 는 이전 채널 추정치 H_n 에 점점 가까워진다. 이는 η_h 이 크면 페널티가 증가하여, 채널 추정치가 이전 추정치와 차이를 최소화하기 때문이다. 또한, η_h 에 관계없이 PAO가 AO보다 항상 더 우수한 BER 성능을 보여준다. 이는 PAO 알고리즘이 AO보다 더 효과적으로 채널의 변동성과 노이즈에 대해 더 효과적으로 대응하기 때문이다.

[0089] 도 5를 참고하면, SNR에 따른 BER 성능을 나타낸다. 전체적인 성능은 CMA, AO, PAO 순서로 좋은 것을 확인할 수 있다. 심볼의 개수 P 값이 작을 때 AO와 PAO의 성능 차이가 더 커진다. 이러한 결과는 PAO 알고리즘이 짧은 패킷에서 더 높은 성능을 보이는 것을 의미한다. 특히, BER이 10^{-2} 일 때, PAO의 SNR 이득이 2 dB로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

[0090] 도 6을 참고하면, SNR 6 dB에서 심볼의 개수에 따른 BER 성능을 나타낸다. 심볼의 개수가 증가함에 따라서 AO와 PAO의 BER 성능이 모두 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 심볼의 개수가 많아질수록 더 많은 정보를 활용하여 오류를 보정할 수 있기 때문이다. 더불어, PAO의 BER 성능이 AO에 비해 항상 우수한 것을 확인할 수 있다. 이는 PAO 알고리즘이 AO보다 더 효과적으로 채널의 변동성과 노이즈를 처리하며, 더 정확한 채널 추정을 가능하게 한다는 것을 의미한다. 특히, 심볼의 개수가 $P=500$ 일 때, PAO의 성능은 완벽한 채널 정보를 활용한 Demodulation과 거의 동일한 수준임을 확인할 수 있다.

[0091] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0092] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0093] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등

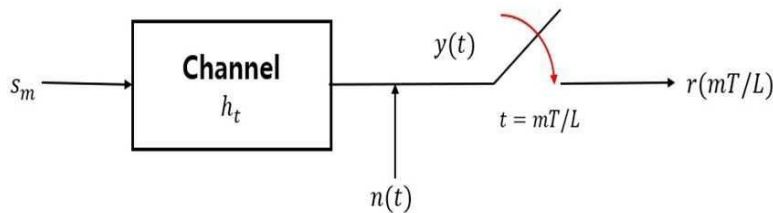
을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0094] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

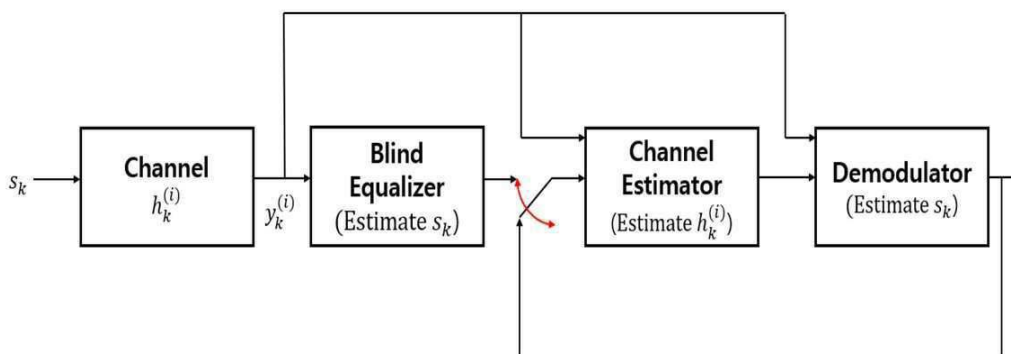
[0095] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

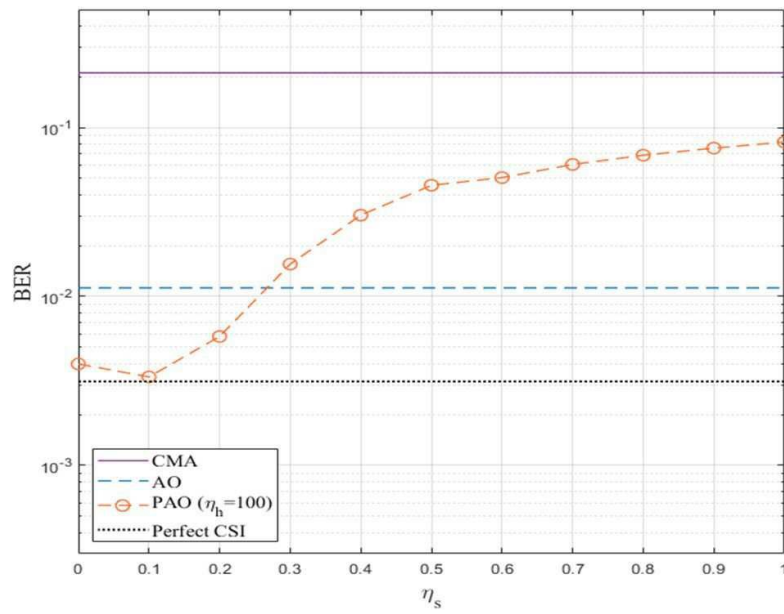
도면1



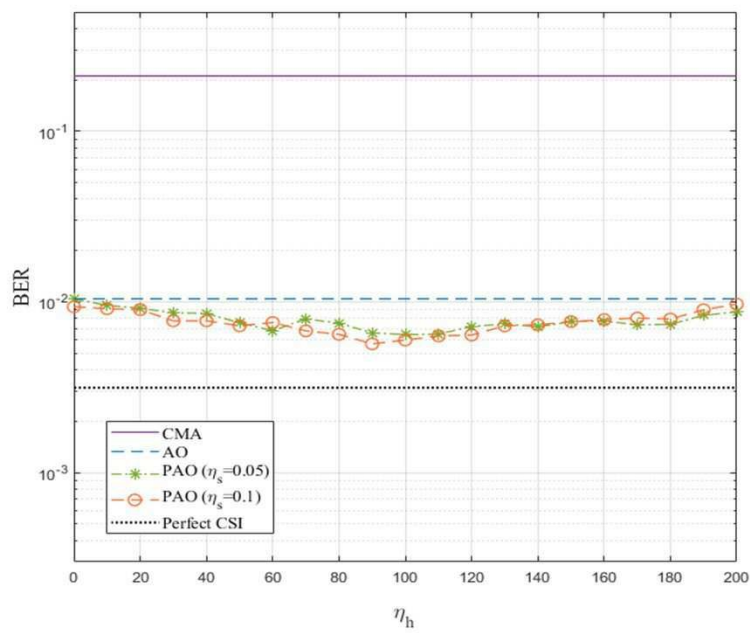
도면2



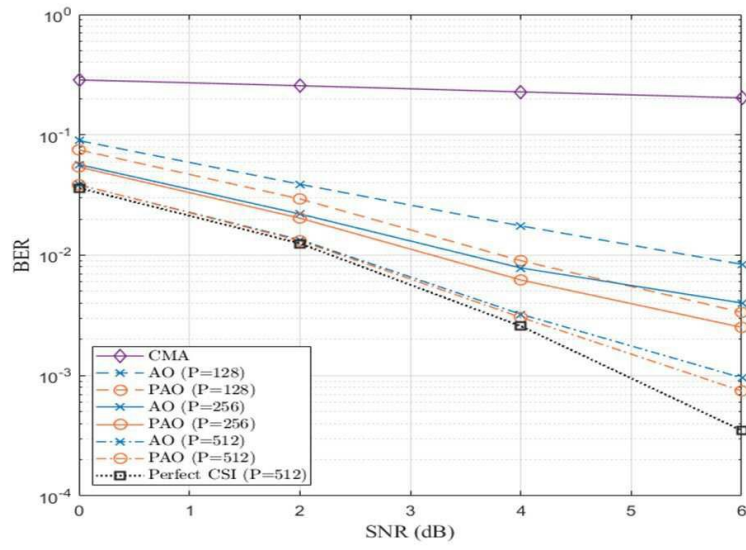
도면3



도면4



도면5



도면6

