



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0127480

(43) 공개일자 2015년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04L 25/03 (2006.01) H04L 27/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0054392

(22) 출원일자 2014년05월07일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

한국전자통신연구원

대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)

(72) 발명자

백명선

대전광역시 유성구 가정로 270, 한국전자통신연구원기숙사 1-204

이훈희

대전광역시 유성구 가정로 270, 한국전자통신연구원기숙사 1-213

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태평양

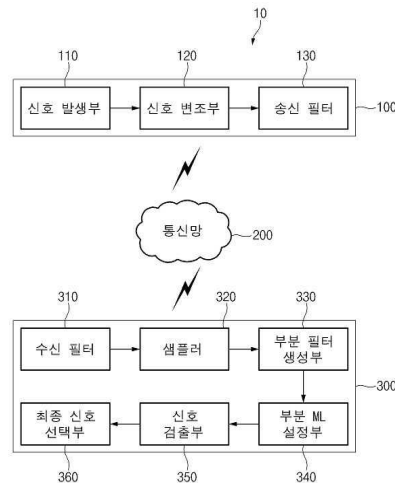
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 수신기는, 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고 상기 선택된 신호 크기에 대한 필터 계수를 추출하여 해당 필터 계수에 대한 QR 분해를 수행하는 부분 필터 생성부; 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정하고, 상기 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 부분 ML 설정부; 상기 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 상기 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼을 검출하는 신호 검출부; 및 상기 검출된 후보 심볼 중에서 상기 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정하는 최종 신호 선택부;를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

임형수

대전광역시 유성구 엑스포로 448

허남호

대전광역시 유성구 은구비남로 34, 열매마을아파트
801-1001

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 13-912-02-001

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국방송통신전파진흥원

연구사업명 방송통신원천기술개발사업

연구과제명 주파수 공유형 지상파 방송 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2013.04.01 ~ 2017.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고, 상기 선택된 신호 크기에 대한 필터 계수를 추출하여 상기 필터 계수에 대한 QR 분해를 수행하는 부분 필터 생성부;

검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정하고, 상기 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 부분 ML 설정부;

상기 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 상기 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼을 검출하는 신호 검출부; 및

상기 검출된 후보 심볼 중에서 상기 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정하는 최종 신호 선택부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 2

제1항에 있어서,

신호 검출 시스템에 포함된 송신기로부터 전송되는 신호를 수신하는 수신 필터; 및

상기 수신된 신호를 미리 설정된 심볼 전송 속도로 샘플링하는 샘플러;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수신기와 상기 송신기는,

AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널을 통해 연결되는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 샘플러의 출력은,

상기 송신기에 포함된 송신 필터와 상기 수신 필터의 계수와 상기 수신 필터를 통해 수신되는 신호에 대응된 송신 심볼의 곱에 잡음이 더해진 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 부분 필터 생성부는,

L개의 길이를 갖는 샘플링된 신호를 상기 미리 설정된 부분에 대응되는 M개로 분할하여, 상기 M개의 신호를 L/M 번의 절차를 통해 부분 검출을 수행하며,

여기서, 상기 L과 M은 자연수이고, L/M은 0이 아닌 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 부분 ML 설정부는,

ML(Maximum Likelihood) 기법을 통해 상기 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 신호 검출부는,

DFE(Decision Feedback Equalization) 기법을 통해 상기 나머지 심볼을 검출하는 것을 특징으로 하는 수신기.

청구항 8

부분 필터 생성부를 통해, 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고, 상기 선택된 신호에 대한 필터 계수를 추출하여 해당 필터 계수에 대한 QR 분해를 수행하는 단계;

부분 ML 설정부를 통해, 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정하는 단계;

상기 부분 ML 설정부를 통해, 상기 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 단계;

신호 검출부를 통해, 상기 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 상기 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼을 검출하는 단계; 및

최종 신호 선택부를 통해, 상기 검출된 후보 심볼 중에서 상기 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

수신 필터를 통해, 신호 검출 시스템에 포함된 송신기로부터 전송되는 신호를 수신하는 단계;

샘플러를 통해, 상기 수신된 신호를 미리 설정된 심볼 전송 속도로 샘플링하여 상기 샘플링된 신호를 획득하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 수신기와 상기 송신기는,

AWGN 채널 또는 MMSE 방법을 통해 연결되는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 샘플러의 출력은,

상기 송신기에 포함된 송신 필터와 상기 수신 필터의 계수와 상기 수신 필터를 통해 수신되는 신호에 대응된 송신 심볼의 곱에 잡음이 더해진 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 부분만큼 부분 검출을 수행하는 단계는,

L개의 길이를 갖는 샘플링된 신호를 상기 미리 설정된 부분에 대응되는 M개로 분할하여 상기 M개의 신호를 L/M 번의 절차를 통해 부분 검출을 수행하는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 단계는,

ML 기법을 통해 상기 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 나머지 심볼을 검출하는 단계는,

DFE 기법을 통해 상기 나머지 심볼을 검출하는 것을 특징으로 하는 송신기를 통한 신호 검출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 특히 Faster-Than-Nyquist 송신 기술을 통한 통신 시스템에서 신호를 검출하는 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 통신 시스템은 신호를 검출하는 단계에서 심볼 간의 간섭(inter-symbol-interference: ISI)이 발생하지 않도록 신호를 송수신한다.

[0003] 또한, 해당 통신 시스템에 비해 더 빠르게 신호를 전송하는 Faster-Than-Nyquist(FTN) 전송 방법은 심볼 간의 간섭이 필연적으로 발생한다.

[0004] 이러한 FTN 전송 방법은 필연적으로 심볼 간의 간섭을 발생시키지만 비트 오류율(bit error rate: BER)의 손실 없이 심볼 전송 속도를 일정하게 높일 수 있으며, 심볼 전송 속도를 높이기 위해서는 매우 복잡도가 높은 송수신기를 필요로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2008-0109201호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 FTN 전송 방식을 통해 전송된 신호를 부분 ML을 적용하여 신호를 검출하는 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 시스템 및 그 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 수신기는, 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고, 상기 선택된 신호 크기에 대한 필터 계수를 추출하여 해당 필터 계수에 대한 QR 분해를 수행하는 부분 필터 생성부; 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정하고, 상기 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 부분 ML 설정부; 상기 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 상기 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼을 검출하는 신호 검출부; 및 상기 검출된 후보 심볼 중에서 상기 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정하는 최종 신호 선택부를 포함한다.

[0008] 본 발명과 관련된 일 예로서, 신호 검출 시스템에 포함된 송신기로부터 전송되는 신호를 수신하는 수신 필터; 및 상기 수신된 신호를 미리 설정된 심볼 전송 속도로 샘플링하는 샘플러를 더 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 수신기와 상기 송신기는, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널을 통해 연결될 수 있다.

[0010] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 샘플러의 출력은, 상기 송신기에 포함된 송신 필터와 상기 수신 필터의 계수

와 상기 수신 필터를 통해 수신되는 신호에 대응된 송신 심볼의 곱에 잡음이 더해질 수 있다.

- [0011] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 부분 필터 생성부는, L 개의 길이를 갖는 샘플링된 신호를 상기 미리 설정된 부분에 대응되는 M 개로 분할하여, 상기 M 개의 신호를 L/M 번의 절차를 통해 부분 검출을 수행하며, 여기서, 상기 L 과 M 은 자연수이고, L/M 은 0이 아닐 수 있다.
- [0012] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 부분 ML 설정부는, ML(Maximum Likelihood) 기법을 통해 상기 후보 ML 심볼 조합을 생성할 수 있다.
- [0013] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 신호 검출부는, DFE(Decision Feedback Equalization) 기법을 통해 상기 나머지 심볼을 검출할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 실시예에 따른 송신기를 통한 신호 검출 방법은, 부분 필터 생성부를 통해, 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고 상기 선택된 신호에 대한 필터 계수를 추출하여 해당 필터 계수에 대한 QR 분해를 수행하는 단계; 부분 ML 설정부를 통해, 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정하는 단계; 상기 부분 ML 설정부를 통해, 상기 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 단계; 신호 검출부를 통해, 상기 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 상기 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼을 검출하는 단계; 및 최종 신호 선택부를 통해, 상기 검출된 후보 심볼 중에서 상기 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정하는 단계;를 포함한다.
- [0015] 본 발명과 관련된 일 예로서, 수신 필터를 통해, 신호 검출 시스템에 포함된 송신기로부터 전송되는 신호를 수신하는 단계; 및 샘플러를 통해, 상기 수신된 신호를 미리 설정된 심볼 전송 속도로 샘플링하여 상기 샘플링된 신호를 획득하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 부분만큼 부분 검출을 수행하는 단계는, L 개의 길이를 갖는 샘플링된 신호를 상기 미리 설정된 부분에 대응되는 M 개로 분할하여 상기 M 개의 신호를 L/M 번의 절차를 통해 부분 검출을 수행할 수 있다.
- [0017] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 후보 ML 심볼 조합을 생성하는 단계는, ML 기법을 통해 상기 후보 ML 심볼 조합을 생성할 수 있다.
- [0018] 본 발명과 관련된 일 예로서, 상기 나머지 심볼을 검출하는 단계는, DFE 기법을 통해 상기 나머지 심볼을 검출할 수 있다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명의 실시예에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 시스템 및 그 방법은, FTN 전송 방식을 통해 전송된 신호를 부분 ML을 적용하여 신호를 검출함으로써, 쉽고 간단하게 전송 신호를 검출할 수 있고, 수신되는 신호를 순차적으로 검출할 수 있어 신호의 검출 지연 시간을 줄일 수 있으며, 크기가 과도하게 큰 행렬 연산을 피할 수 있어 메모리의 사용을 크게 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 신호 검출 시스템의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 타깃 신호가 세 번째 신호인 경우의 신호 모델링을 나타낸 도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 신호 검출부에 의해 검출된 심볼을 나타낸 도이다.
- 도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 방법을 나타낸 흐름도이다.
- 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적 용어는 본 발명에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 발명에서 사용되는 기술적인 용어가 본 발명의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에

는 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에서 사용되는 일반적인 용어는 사전에 정의되어 있는 바에 따라 또는 전후 문맥상에 따라 해석되어야 하며, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.

[0022] 또한, 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서 "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 발명에 기재된 여러 구성 요소들 또는 여러 단계를 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0023] 또한, 본 발명에서 사용되는 제 1, 제 2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성 요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제 1 구성 요소는 제 2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성 요소도 제 1 구성 요소로 명명될 수 있다.

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0025] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 신호 검출 시스템(또는 통신 시스템)(10)의 구성도이다.

[0027] 도 1에 도시된 바와 같이, 신호 검출 시스템(10)은 송신기(100), 통신망(200) 및 수신기(300)로 구성된다. 도 1에 도시된 신호 검출 시스템(10)의 구성 요소 모두가 필수 구성 요소인 것은 아니며, 도 1에 도시된 구성 요소보다 많은 구성 요소에 의해 신호 검출 시스템(10)이 구현될 수도 있고, 그보다 적은 구성 요소에 의해서도 신호 검출 시스템(10)이 구현될 수도 있다.

[0028] 송신기(100)는 통신망(200)을 통해 FTN(Faster-Than-Nyquist)을 근거로 한 송신 신호를 수신기(300)에 전송한다. 이후, 수신기(300)는 송신기(100)로부터 전송되는 신호를 FTN이 적용된 값만큼 샘플링한 후, 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 크기만큼 신호를 선택하고, 선택된 신호에 대한 필터계수를 추출하여 해당 필터 계수에 대해 QR 분해를 수행한다. 이후, 수신기(300)는 결정된 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성하고, 생성된 후보 ML 심볼을 근거로 샘플링된 신호 중에서 나머지 심볼을 검출한다. 이후, 수신기(300)는 미리 설정된 간략화된 ML 검사를 수행하여 검출된 복수의 후보 심볼 중에서 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정한다. 또한, 수신기(300)는 전체 샘플링된 신호 중에서 다음 부분에 대응되는 미리 설정된 부분만큼 부분 검출을 수행하는 단계를 반복적으로 수행하여, 전체 샘플링된 신호에 대해서 가장 근접한 후보 심볼을 각각 최종 검출된 신호로 선정한다.

[0029] 도 1에 도시된 바와 같이, 송신기(100)는 신호 발생부(110), 신호 변조부(120) 및 송신 필터(130)로 구성된다. 도 1에 도시된 송신기(100)의 구성 요소 모두가 필수 구성 요소인 것은 아니며, 도 1에 도시된 구성 요소보다 많은 구성 요소에 의해 송신기(100)가 구현될 수도 있고, 그보다 적은 구성 요소에 의해서도 송신기(100)가 구현될 수도 있다.

[0030] 신호 발생부(110)는 신호(또는 디지털 신호)를 발생시킨다(또는 생성한다).

[0031] 또한, 신호 발생부(110)는 발생된(또는 생성된) 신호를 신호 변조부(120)에 전달(또는 전송)한다.

[0032] 신호 변조부(120)는 신호 발생부(110)에서 발생된 신호를 미리 설정된 특정 심볼로 변조한다. 여기서, 변조 방법은 PSK(Phase Shift Keying: 위상 편이 방식) 방식, QAM(Quadrature Amplitude Modulation: 직교 진폭 변조) 방식 등을 포함할 수 있다.

[0033] 또한, 신호 변조부(120)는 변조된 신호(예를 들어 $a(t)$)를 송신 필터(130)에 전달한다.

[0034] 송신 필터(130)는 Faster-Than-Nyquist(이하 FTN 이라 함) 기반의 필터이다.

[0035] 또한, 송신 필터(130)는 신호 변조부(120)를 통해 변조된 신호를 미리 설정된 심볼 전송속도(예를 들어 τT)로 변조한다. 여기서, τ 는 샘플링 시간 조절 함수(factor)이며, 0보다 크고 1보다 작은 값 중 어느 하나의 값으로 선택(또는 설정)된다.

[0036] 또한, 송신 필터(120)는 선형 변조된 신호(또는 송신 신호)(예를 들어 $s(t)$)를 통신망(또는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널)(200)을 통해 수신기(300)에 전송한다.

[0037] 또한, 송신 필터(120)에서 전송되는 신호($s(t)$)는 다음의 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$s(t) = \sum_k a_k g(t - k\tau T)$$

[0038]

[0039] 여기서, a_k 는 전송되는 k 번째 심볼을 나타내고, $g(t)$ 는 송신필터를 나타내고, τ 는 샘플링 시간 조절 함수를 나타낸다.

[0040] 송신단(또는 송신기(100))에서 $0 < \tau < 1$ 인 조건이 설정되면, 전송 필터들(예를 들어 송신 필터와 수신 필터) 사이에 중첩이 일어나게 되고 결과적으로 심볼 간의 간섭(ISI)이 발생한다. 이때, τ 값이 작아질수록 중첩되는 심볼의 수가 늘어나게 되며, 이로 인해 큰 심볼 간의 간섭이 발생한다. 그러나 작은 τ 값은 신호의 송신 주기를 빠르게 하므로 전송률을 향상시킨다. 이론적으로, $\tau=0.5$ 는 전송률을 2배 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

[0041] 도 1에 도시된 바와 같이, 수신기(300)는 수신 필터(310), 샘플러(320), 부분 필터 생성부(330), 부분 ML 설정부(340), 신호 검출부(350) 및 최종 신호 선택부(360)로 구성된다. 도 1에 도시된 수신기(300)의 구성 요소 모두가 필수 구성 요소인 것은 아니며, 도 1에 도시된 구성 요소보다 많은 구성 요소에 의해 수신기(300)가 구현될 수도 있고, 그보다 적은 구성 요소에 의해서도 수신기(300)가 구현될 수도 있다.

[0042] 수신 필터(310)는 송신기(100)에서 통신망(또는 AWGN 채널)(200)을 통해 전송되는 신호(또는 송신 신호)를 수신한다. 여기서, FTN 환경에서 수신된 신호는 타깃 심볼의 앞뒤 심볼 간섭을 포함한다. 따라서, 이러한 간섭이 존재하는 FTN 환경에서 신호를 검출하기 위해서 다음의 과정을 수행한다.

[0043] 또한, 수신 필터(310)는 수신신호(예를 들어 $r(t)$)의 잡음을 필터링하여 잡음의 영향을 최소화시키거나 송신 필터의 정합을 위해 구비된다.

[0044] 또한, 수신 필터(310)는 필터링된 신호(예를 들어 $y(t)$)를 샘플러(320)에 전달한다.

[0045] 샘플러(320)는 수신 필터(310)에서 필터링된 신호를 미리 설정된 심볼 전송속도(예를 들어 τT)의 역수(예를 들어 $1/\tau T$)로 샘플링한다.

[0046] 또한, 샘플러(320)에서 샘플링된 신호($y(n\tau T)$)는 다음의 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$y(n\tau T) = \sum_k a_k x((n-k)\tau T) + w(n\tau T)$$

[0047]

[0048] 여기서, $x(t)=g(t)*g^*(-t)$ 이다. 또한, $w(t)$ 는 잡음(또는 노이즈)이며, 평균이 0이고 자기상관 함수가

$R_{ww}(u) = \frac{N_0}{2} x(u)$ 인 가우시안 랜덤프로세스이다. 이때, 자기상관 함수 $R_{ww}(u)$ 로부터 알 수 있듯이, $0 < \tau < 1$ 인 조건에서는 샘플들 간에 상관 관계(correlation)가 존재한다. 따라서, 해당 간섭을 제거해야 전송된 신호를 효과적으로 검출할 수 있다.

[0049] 또한, 송신 신호의 길이가 L 심볼인 경우, 송신 심볼($\mathbf{A}$)은 다음의 [수학식 3]과 같이 L 개의 원소를 갖는 벡터

열로 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$A = [a_1 a_2 \cdots a_L]$$

[0050]

[0051]

이와 같이 전송된 신호를 검출하는 경우, 필터들(예를 들어 송신 필터(130), 수신 필터(310)) 사이의 간섭에 의해 도 2와 같이 검출해야 하는 타깃 신호의 앞뒤 신호가 간섭으로 존재한다. 여기서, 도 2는 세 번째 전송 신호를 검출하는 경우의 간섭 신호를 나타낸다. 즉, 도 2와 같은 간섭 신호의 수는 L 의 크기에 따라 일정하게 정해지며, L 의 크기가 감소하면 필터들 사이의 간격이 좁아지게 되어 간섭 신호의 수가 증가한다. 또한, 특정 심볼 검출 시, 검출될 신호의 이전 심볼의 수를 N 이라 하면, 도 2의 경우, 세 번째 검출 신호의 검출 시 $N=2$ 가 된다. 또한, 세 번째 검출 신호의 검출 이후 심볼의 간섭 수 역시 이전 심볼과 동일한 2개이다. 즉, 검출될 심볼의 앞의 두 신호와 뒤의 두 신호가 간섭으로 작용한다. 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 이전 심볼과 이후 심볼은 동일한 위치에서 간섭으로 작용하며, 따라서 동일한 필터 계수가 적용된다.

[0052]

또한, 샘플러(320)는 간섭 신호가 N 인 경우를 모델링하면 [수학식 4]와 같다.

수학식 4

$$y_T = [x_1 x_2 \cdots x_N x_T x_{T+N} \cdots x_2 x_1] \begin{bmatrix} a_{T-N} \\ a_{T-N+1} \\ \vdots \\ a_{T-1} \\ a_T \\ a_{T+1} \\ \vdots \\ a_{T+N-1} \\ a_{T+N} \end{bmatrix}$$

[0053]

[0054]

여기서, x_n 은 n 번째 간섭 신호에 적용되는 필터의 계수를 나타내고, x_T 는 검출될 타깃 신호에 적용되는 필터의 계수를 나타낸다.

[0055]

또한, [수학식 4]와 같은 모델링은 신호 전체 모델링에 적용될 수 있다. 즉, $N=2$ 이고 $L=8$ 인 경우의 샘플러(320)를 통한 신호 모델링은 다음의 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$Y = XA + W$$

[0056]

$$= \begin{bmatrix} x_T & x_2 & x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & x_T & x_2 & x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & x_T & x_2 & x_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & x_2 & x_T & x_2 & x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_1 & x_2 & x_T & x_2 & x_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & x_T & x_2 & x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & x_T & x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & x_2 & x_T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \\ w_7 \\ w_8 \end{bmatrix}$$

여기서, $\mathbf{Y}$ 는 샘플러(320)의 출력이고, $\mathbf{X}$ 는 필터(송신필터와 수신필터)의 계수이고, $\mathbf{A}$ 는 송신 심볼이고, $\mathbf{W}$ 는 잡음을 나타낸다.

또한, 샘플러(320)는 샘플링된 신호($y(n^T T)$)를 부분 필터 생성부(330)에 전달한다.

부분 필터 생성부(330)는 미리 설정된 부분(예를 들어 $M \times M$, M 은 자연수)만큼 필터 계수를 추출한다.

즉, 본 발명에서는 한 번의 검출 절차에서 검출되는 신호를 M 개로 분할하여 검출한다. 이러한 절차를 거치게 되면, L 개의 길이를 갖는 신호를 한 번에 검출하는 것이 아니라, M 개의 신호를 L/M 번의 절차를 통해(또는 반복 수행하여) 검출한다. 여기서, M 과 L 은 자연수이고, L/M 은 0이 아니다.

또한, 부분 필터 생성부(330)에 의한 부분 추출은 다음의 [수학식 6]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\mathbf{X}^{(1)} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,M} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M,1} & X_{M,2} & \cdots & X_{M,M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1,1}^{(1)} & X_{1,2}^{(1)} & \cdots & X_{1,M}^{(1)} \\ X_{2,1}^{(1)} & X_{2,2}^{(1)} & \cdots & X_{2,M}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M,1}^{(1)} & X_{M,2}^{(1)} & \cdots & X_{M,M}^{(1)} \end{bmatrix}$$

$$= \mathbf{Q}^{(1)} \mathbf{R}^{(1)} = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & \cdots & Q_{1,M} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & \cdots & Q_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{M,1} & Q_{M,2} & \cdots & Q_{M,M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{1,1}^{(1)} & r_{1,2}^{(1)} & \cdots & r_{1,M}^{(1)} \\ 0 & r_{2,2}^{(1)} & \cdots & r_{2,M}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_{M,M}^{(1)} \end{bmatrix}$$

여기서, (1)은 라운드(예를 들어 첫 번째 라운드)를 나타내고, $\mathbf{R}$ 은 상 삼각 행렬(upper triangular matrix)을 나타내고, $\mathbf{Q}$ 는 $\mathbf{Q}^T \mathbf{Q} = \mathbf{I}_{M \times M}$ 를 만족하는 정규 직교 행렬(orthonormal matrix)을 나타낸다. 이때, [수학식 6]에서 검출에 사용되는 필터의 계수 행렬의 원소들인 X 의 인덱스는 1,1 부터 M,M 으로 일반화하여 나타낸다.

또한, 부분 필터 생성부(330)는 부분 검출을 위해 다음의 [수학식 7]과 같은 M 의 길이를 갖는 첫 수신 신호를 근거리 신호를 검출한다.

수학식 7

$$Y^{(1)} = [y_1 y_2 \cdots y_M]^T = [y_1^{(1)} y_2^{(1)} \cdots y_M^{(1)}]^T$$

또한, 부분 필터 생성부(330)는 [수학식 7]에 나타낸 $M \times M$ 크기의 필터 계수와 M 길이의 수신 신호를 근거로 샘플러(320)에서 샘플링된 신호에서 Q 성분이 제거된 $M \times 1$ 벡터를 다음의 [수학식 8]과 같이 산출한다(또는 구한다).

수학식 8

$$\begin{aligned} Z^{(1)} &= Q^{(1)*} Y^{(1)} = R^{(1)} A^{(1)} + \eta^{(1)} \\ &= \begin{bmatrix} r_{1,1}^{(1)} & r_{1,2}^{(1)} & \cdots & r_{1,M}^{(1)} \\ 0 & r_{2,2}^{(1)} & \cdots & r_{2,M}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_{M,M}^{(1)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1^{(1)} \\ a_2^{(1)} \\ \vdots \\ a_M^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1^{(1)} \\ \eta_2^{(1)} \\ \vdots \\ \eta_M^{(1)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서, $*$ 는 켤레제이션(conjugation)과 트랜스포즈(transpose) 연산 (또는 Hermitian 변환)을 나타내고,

$$Z = [Z_1 Z_2 \cdots Z_M]^T \text{ 이고, } \eta = Q^* w \text{ 이다.}$$

또한, 부분 필터 생성부(330)는 산출된 Q 성분이 제거된 $M \times 1$ 벡터를 부분 ML 설정부(340)에 전달한다.

부분 ML 설정부(340)는 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정(또는 설정/선택)한다.

또한, 부분 ML 설정부(340)는 검출을 수행하기에 앞서서 신호 검출에 활용될 V 의 길이를 갖는 ML(Maximum Likelihood) 신호 조합을 설정한다. 이때, 부분 ML 설정부(340)는 다음의 [수학식 9]로 표시되는 설정된 V 값에 따라 검출에 활용될 후보 신호를 구성하는 단계를 수행한다.

수학식 9

$$\Psi^{(V)}(C) = \tilde{a}$$

여기서, $\Psi^{(V)}(C)$ 는 C-PSK 또는 C-QAM 송수신 환경에서 V 의 길이를 갖는 ML 후보 심볼을 출력하는 함수를 나타내고, C 는 신호 변조에 적용되는 변조 알파벳 크기(modulation alphabet size)를 나타낸다. 또한, $\Psi^{(V)}(C)$ 의 출력은 $C^V = S$ 가지의 심볼 조합이다.

예를 들어, BPSK 변조를 사용하고 V 가 4인 경우, $\Psi^{(V)}(C)$ 는 $\Psi^{(4)}(2)$ 와 같이 나타낼 수 있으며, 출력값은 다음의 [수학식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \Psi^{(4)}(2) &= \tilde{\mathbf{a}} = [\tilde{a}(1) \tilde{a}(2) \cdots \tilde{a}(16)] \\ &= \begin{bmatrix} \tilde{a}_{M-3}(1) & \tilde{a}_{M-3}(2) & \cdots & \tilde{a}_{M-3}(16) \\ \tilde{a}_{M-2}(1) & \tilde{a}_{M-2}(2) & \cdots & \tilde{a}_{M-2}(16) \\ \tilde{a}_{M-1}(1) & \tilde{a}_{M-1}(2) & \cdots & \tilde{a}_{M-1}(16) \\ \tilde{a}_M(1) & \tilde{a}_M(2) & \cdots & \tilde{a}_M(16) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & \cdots & 1 \\ -1 & -1 & \cdots & 1 \\ -1 & -1 & \cdots & 1 \\ -1 & -1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0077]

[0078]

이와 같이, 부분 ML 설정부(340)는 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성한다.

[0079]

즉, 부분 ML 설정부(340)는 [수학식 10]에 나타낸 바와 같이 길이가 4(예를 들어 V=4)인 BPSK 변조의 모든 조합(또는 후보 ML 심볼 조합)을 생성한다. 따라서, 부분 ML 설정부(340)는 2^4 인 16(S=16) 가지의 심볼 조합을 출력한다.

[0080]

이와 같이, 부분 ML 설정부(340)는 ML 기법을 통해 후보 ML 심볼 조합을 생성한다.

[0081]

신호 검출부(350)는 부분 ML 설정부(340)를 통해 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 샘플링된 신호(또는 전체 수신된 신호/전체 심볼)의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼(또는 나머지 후보 심볼/심볼 조합)을 검출한다.

[0082]

즉, 신호 검출부(350)는 행렬 $\tilde{\mathbf{a}}$ 의 각 열인 $\tilde{a}(s)$ 를 신호 검출에 사용한다.

[0083]

또한, 신호 검출부(350)는 M×M 크기의 필터 계수를 근거로 M개의 신호를 검출한다. 이때, V의 길이를 갖는 후보 심볼 조합을 설정하였으므로, 후보 심볼 조합 설정 이후의 신호 검출부(350)에 의한 신호 검출 단계에서는, 나머지 M-V개의 신호를 검출한다.

[0084]

또한, 신호 검출부(350)는 나머지 심볼 검출을 위해서 감산형 간섭제거(Interference Cancellation) 기법(또는 Decision Feedback Equalization: DFE)을 사용한다.

[0085]

신호 검출부(350)를 통해 최종적으로 검출될 심볼들의 결과는 다음의 도 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0086]

도 3에 도시된 바와 같이, 감산형 간섭제거 기법에서는 가장 처음으로 검출되는 신호가 다음으로 검출되는 신호부터 마지막으로 검출되는 신호까지 전체적으로 영향을 미치므로, 첫 번째로 검출되는 신호가 정확하게 검출되는 것이 매우 중요하다. 따라서, 본 발명은 부분 ML 설정부(340)를 통해 결정된 후보 심볼 조합($\tilde{\mathbf{a}}$)을 근거로 총 $C^V = S$ 가지의 후보 심볼 조합을 미리 설정한다. 이로 인해, 본 발명은 처음으로 검출되는 심볼 조합을 총 S가지 고려하게 되므로, 검출 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

[0087]

또한, 각 단계별로 총 검출될 심볼 조합의 길이가 M이고, 처음 검출 심볼을 $\tilde{\mathbf{a}}$ 라 할 때, V의 값은 M보다 작거나 같아야한다.

[0088]

여기서, V가 M과 같은 경우, 모든 부분 검출 신호를 ML 후보 심볼 조합으로 생성함을 의미한다. 즉, V=M인 경우, 감산형 검출을 수행할 필요 없이 M 개의 길이를 갖는 모든 ML 후보 심볼 조합을 근거로 신호를 검출한다.

[0089]

또한, V의 길이를 갖는 S가지의 후보 심볼 조합을 근거로 검출되는 나머지 M-V개의 신호는 다음의 [수학식 11]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned} \hat{a}_{M-V}^{(1)}(1) &= \zeta \left[Z_{M-V}^{(1)} - \left(\sum_{i=M-V-1}^M r_{M-V,i}^{(1)} \cdot \hat{a}_i^{(1)}(1) \right) r_{m,m}^{(1)} \right] \cdots \hat{a}_1^{(1)}(1) = \zeta \left[Z_1^{(1)} - \left(\sum_{i=2}^M r_{1,i}^{(1)} \cdot \hat{a}_i^{(1)}(1) \right) r_{1,1}^{(1)} \right] \\ &\vdots \\ \hat{a}_{M-V}^{(1)}(S) &= \zeta \left[Z_{M-V}^{(1)} - \left(\sum_{i=M-V-1}^M r_{M-V,i}^{(1)} \cdot \hat{a}_i^{(1)}(S) \right) r_{m,m}^{(1)} \right] \cdots \hat{a}_1^{(1)}(S) = \zeta \left[Z_1^{(1)} - \left(\sum_{i=2}^M r_{1,i}^{(1)} \cdot \hat{a}_i^{(1)}(S) \right) r_{1,1}^{(1)} \right] \end{aligned}$$

이와 같이, 신호 검출부(350)는 DFE 기법을 통해 나머지 심볼을 검출한다.

최종 신호 선택부(360)는 신호 검출부(350)를 통해 검출된 S개의 후보열 가운데 1개의 신호열을 최종 검출된 신호로 선정(또는 선택/결정)한다.

즉, 최종 신호 선택부(360)는 미리 설정된 간략화된 ML 검사를 수행하여 신호 검출부(350)를 통해 검출된 복수의 후보 심볼 중에서 샘플러(320)에서 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정한다.

이와 같은, 최종 신호 선택부(360)에 의한 최종 검출된 신호의 선정 절차는 다음의 [수학식 12]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$\hat{a}^{(1)} = \arg \min_{\hat{a}^{(1)}(s)} \| Y^{(1)} - X^{(1)} \cdot \hat{a}^{(1)}(s) \|$$

최종 신호 선택부(360)에 의해 구해진 [수학식 12]에 나타난 $\hat{a}^{(1)}$ 이 최종적으로 검출된 신호가 된다.

이와 같이, 부분 필터 생성부(330), 부분 ML 설정부(340), 신호 검출부(350) 및 최종 신호 선택부(360)는 샘플러(320)에 의해 샘플링된 신호(또는 총 L 심볼을 갖는 샘플링된 신호) 중에서 미리 설정된 부분(예를 들어 $M \times M$, M은 자연수)에 대한 최종 신호를 검출한다.

이후, 부분 필터 생성부(330), 부분 ML 설정부(340), 신호 검출부(350) 및 최종 신호 선택부(360)는 샘플러(320)에 의해 샘플링된 신호(또는 총 L 심볼을 갖는 샘플링된 신호) 중에서 다음의 M개 신호를 검출하고, 검출된 신호에 대해서 부분 ML을 설정한 후, 신호 검출 및 최종 신호 선정 과정 등을 반복 수행한다.

즉, 두 번째 단계에서는 다음의 M개 신호를 검출한다. 또한, 두 번째 신호 검출을 수행하기 위해서, 다음의 [수학식 13]과 같은 두 번째 M개의 수신 신호를 사용한다.

수학식 13

$$Y^{(2)} = [y_{M+1} y_{M+2} \cdots y_{2M}]^T = [y_1^{(2)} y_2^{(2)} \cdots y_M^{(2)}]^T$$

또한, [수학식 13]의 신호를 통해 송신 신호를 검출하기 위해서, 다음의 [수학식 14]와 같은 두 번째 $M \times M$ 크기의 필터 계수를 추출한다.

수학식 14

$$\mathbf{X}^{(2)} = \begin{bmatrix} X_{M+1,M+1} & X_{M+1,M+2} & \cdots & X_{M+1,2M} \\ X_{M+2,M+1} & X_{M+2,M+2} & \cdots & X_{M+2,2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{2M,M+1} & X_{2M,M+2} & \cdots & X_{2M,2M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1,1}^{(2)} & X_{1,2}^{(2)} & \cdots & X_{1,M}^{(2)} \\ X_{2,1}^{(2)} & X_{2,2}^{(2)} & \cdots & X_{2,M}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M,1}^{(2)} & X_{M,2}^{(2)} & \cdots & X_{M,M}^{(2)} \end{bmatrix}$$

[수학식 7]에서와 같이, 샘플러(320)의 출력 신호 $\mathbf{Y}^{(2)}$ 에는 이전 신호 즉, 첫 번째로 송출된 신호가 간섭으로 포함된 상태이다. 따라서, 두 번째 M개의 신호를 검출하기 위해서는 이전에 검출되었던 신호를 제거해야 한다.

따라서, 부분 필터 생성부(330)에 의한 이전 신호에 포함된 사전 간섭제거 절차는 다음의 [수학식 15]로 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$\mathbf{Y}^{(2)'} = \mathbf{Y}^{(2)} - \beta^{(1)}$$

여기서, $\mathbf{Y}^{(2)'}$ 는 2 번째 라운드 즉 두 번째 검출된 M개의 신호($\mathbf{Y}^{(2)}$)에서 1 번째 라운드 즉 첫 번째 검출된 신호($\beta^{(1)}$, 잡음에 대응됨)를 제거한 신호이다.

또한, 첫 번째 검출된 신호($\beta^{(1)}$)는 다음의 [수학식 16]으로 나타낼 수 있다.

수학식 16

$$\beta^{(1)} = \begin{bmatrix} X_{M+1,1} & X_{M+1,2} & \cdots & X_{M+1,M} \\ X_{M+2,1} & X_{M+2,2} & \cdots & X_{M+2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{2M,1} & X_{2M,2} & \cdots & X_{2M,M} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{a}_1^{(1)} \\ \hat{a}_2^{(1)} \\ \vdots \\ \hat{a}_M^{(1)} \end{bmatrix}$$

이후, 신호 검출부(350)는 간섭이 제거된 신호($\mathbf{Y}^{(2)'}$)를 근거로 샘플링된 신호(또는 전체 수신된 신호/전체 심볼)의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼(또는 나머지 후보 심볼/심볼 조합)을 검출한다.

또한, 최종 신호 선택부(360)는 신호 검출부(350)를 통해 검출된 복수의 후보 심볼 중에서 샘플러(320)에서 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정한다.

이와 같이, 수신기(300)에 포함된 각각의 구성 요소(310, 320, 330, 340, 350, 360)의 동작에 의해, 사전 간섭 제거 및 검출 과정 등이 최종 L/M 단계까지 반복 수행되어 결과적으로 총 L개의 전송 신호를 검출할 수 있다.

또한, 본 발명에 따른 수신기(300)에 의한 신호 검출은, 수신되는 신호를 순차적으로 검출할 수 있어 신호의 검

출 지연 시간을 줄일 수 있으며, 크기가 과도하게 큰 행렬 연산을 피할 수 있어 메모리의 사용을 크게 줄일 수 있다.

[0113] 또한, 필터 계수의 행렬은 [수학식 5]에서와 같이, 일정 값이 반복되는 패턴으로 나타나므로, $M \times M$ 크기의 부분 필터 계수는 매 신호 검출 단계에서 동일한 값을 갖는다. 따라서, 필터 계수 추출 및 QR 분해 등의 연산은 검출 절차 초기에 한 번만 수행하여 연산 시간을 절감할 수 있다.

[0114] 또한, 본 발명에 따른 신호 검출 시스템(10)에 포함된 통신망(200)은 AWGN 채널 환경에서의 잡음의 영향을 줄이기 위해 사용하며, 부분 필터 생성부(330)는 AWGN 채널 이외에도 MMSE(Minimum Mean Square Error) 등화(Equalization) 기법도 적용할 수 있다. 해당 MMSE 방법은 앞서 설명된 필터 행렬($\underline{\mathbf{X}}$) 대신 노이즈의 공분산(covariance) 값($\underline{\mathbf{X}}$)을 사용하며, 다음의 [수학식 17]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$\underline{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \sigma_w^2 \mathbf{I}_M \end{bmatrix}$$

[0115]

[0116] 여기서, σ_w^2 는 노이즈의 공분산을 나타내며, $\mathbf{I}_M$ 은 $M \times M$ 의 대각 행렬을 나타낸다.

[0117] 이와 같은, 노이즈의 공분산(covariance) 값($\underline{\mathbf{X}}$)을 근거로 본 발명에 따른 신호 검출을 수행할 수 있다.

[0118] 즉, MMSE 방법이 적용된 본 발명에 따른 신호 검출 절차에서, 부분 필터 생성부(330)는 우선 필터의 처음 $M \times M$ 부분을 다음의 [수학식 18]과 같이 추출한다.

수학식 18

$$\mathbf{X}^{(1)} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,M} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M,1} & X_{M,2} & \cdots & X_{M,M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1,1}^{(1)} & X_{1,2}^{(1)} & \cdots & X_{1,M}^{(1)} \\ X_{2,1}^{(1)} & X_{2,2}^{(1)} & \cdots & X_{2,M}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{M,1}^{(1)} & X_{M,2}^{(1)} & \cdots & X_{M,M}^{(1)} \end{bmatrix}$$

[0119]

[0120] 이후, 부분 필터 생성부(330)는 [수학식 18]과 같이 추출한 부분 채널 필터에 노이즈 공분산을 적용하여 다음의 [수학식 19]와 같이 MMSE가 적용된 부분 필터를 생성한다.

수학식 19

$$\underline{\mathbf{X}}^{(1)} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}^{(1)} \\ \sigma_w^2 \mathbf{I}_M \end{bmatrix}$$

[0121]

이후, 부분 필터 생성부(330)는 [수학식 19]와 같이 생성된 MMSE가 적용된 부분 필터에 QR 분해를 수행하여 다음의 [수학식 20]과 같이 Q와 R 행렬로 분해한다.

수학식 20

$$\underline{X}^{(1)} = \underline{Q}^{(1)} \underline{R}^{(1)}$$

여기서, [수학식 20]에 기재된 Q와 R은 [수학식 19]에 따라 각각 $2M \times 2M$ 과 $2M \times M$ 크기를 갖는다.

[수학식 21]은 $2M \times 2M$ 크기를 갖는 Q 행렬을 나타내며 다음과 같다.

수학식 21

$$\underline{Q}^{(1)} = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & \cdots & Q_{1,M} & \cdots & Q_{1,2M} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & \cdots & Q_{2,M} & \cdots & Q_{2,2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Q_{M,1} & Q_{M,2} & \cdots & Q_{M,M} & \cdots & Q_{M,2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Q_{2M,1} & Q_{2M,2} & \cdots & Q_{2M,M} & \cdots & Q_{2M,2M} \end{bmatrix}$$

Q 행렬을 $M \times M$ 부분만 추출하는 절차가 필요하다. [수학식 21]에 포함된 일부인 $M \times M$ 부분을 $\Theta^{(1)}$ 라 하면, $\Theta^{(1)}$ 는 다음의 [수학식 22]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 22

$$\Theta^{(1)} = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & \cdots & Q_{1,M} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & \cdots & Q_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{M,1} & Q_{M,2} & \cdots & Q_{M,M} \end{bmatrix}$$

이후, 부분 필터 생성부(330)는 부분 검출을 위해서 M의 길이를 갖는 첫 번째 신호($\mathbf{y}^{(1)}$)를 근거로 다음의 [수학식 23]과 같이 Q 성분이 제거된 $M \times 1$ 벡터를 구한다.

수학식 23

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}^{(1)} &= \mathbf{\Theta}^{(1)*} \mathbf{Y}^{(1)} = \mathbf{R}^{(1)} \mathbf{A}^{(1)} + \boldsymbol{\eta}^{(1)} \\ &= \begin{bmatrix} r_{1,1}^{(1)} & r_{1,2}^{(1)} & \cdots & r_{1,M}^{(1)} \\ 0 & r_{2,2}^{(1)} & \cdots & r_{2,M}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_{M,M}^{(1)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1^{(1)} \\ a_2^{(1)} \\ \vdots \\ a_M^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1^{(1)} \\ \eta_2^{(1)} \\ \vdots \\ \eta_M^{(1)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0130]

[0131]

이후, 앞서 AWGN 채널 환경에서 설명된 부분 ML 설정부(340), 신호 검출부(350) 및 최종 신호 선택부(360)의 동작에 의해, 최종적인 신호를 검출한다.

[0132]

이와 같이, FTN 전송 방식을 통해 전송된 신호를 부분 ML을 적용하여 신호를 검출할 수 있다.

[0133]

이하에서는 본 발명에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 방법을 도 1 내지 도 5를 참조하여 상세히 설명한다.

[0134]

도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0135]

먼저, 신호 발생부(110)는 신호(또는 디지털 신호)를 발생시킨다(또는 생성한다)(S410).

[0136]

이후, 신호 변조부(120)는 신호 발생부(110)에서 발생된 신호를 미리 설정된 특정 심볼로 변조한다. 여기서, 변조 방법은 PSK 방식, QAM 방식 등을 포함할 수 있다(S420).

[0137]

이후, FTN 기반의 송신 필터(130)는 신호 변조부(120)를 통해 변조된 신호를 미리 설정된 심볼 전송속도(예를 들어, τT)로 선형 변조한다. 여기서, τ 는 샘플링 시간 조절 함수이며, 0보다 크고 1보다 작은 값 중 어느 하나의 값으로 선택(또는 설정)된다.

[0138]

또한, 송신 필터(130)는 선형 변조된 신호(또는 송신 신호)를 통신망(또는 AWGN 채널)(200)을 통해 수신기(300)에 전송한다.

[0139]

일 예로, [수학식 1]에 나타낸 바와 같이, 송신 필터(130)는 신호 변조부(120)를 통해 변조된 신호($a(t)$)를 미리 설정된 심볼 전송속도(예를 들어, τT)로 선형 변조하여 신호($s(t)$)를 획득한다. 이후, 송신 필터(130)는 선형 변조된 신호($s(t)$)를 통신망(또는 AWGN 채널)(200)을 통해 수신기(300)에 전송한다(S430).

[0140]

도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 부분 ML을 근거로 한 신호 검출 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0141]

먼저, 수신 필터(310)는 통신망(또는 AWGN 채널)(200)을 통해 송신기(100)로부터 전송되는 신호(또는 송신 신호)를 수신한다. 여기서, 통신망(200)은 AWGN 채널뿐만 아니라 MMSE 방법을 사용할 수도 있다.

[0142]

또한, 수신 필터(310)는 송신기(100)로부터 수신된 신호($r(t)$)를 필터링하여 잡음을 최소화한 신호($y(t)$)를 출력한다(S510).

[0143]

이후, 샘플러(320)는 디지털로 변환된 신호(또는 변환된 디지털 신호)를 미리 설정된 심볼 전송속도(예를 들어, τT)의 역수(예를 들어, $1/\tau T$)로 샘플링한다.

[0144]

일 예로, [수학식 2]에 나타낸 바와 같이, 샘플러(320)는 디지털로 변환된 신호($y(t)$)를 미리 설정된 심볼 전송속도의 역수(예를 들어, $1/\tau T$)로 샘플링하여, 샘플링된 신호($y(n\tau T)$)를 획득한다(S520).

[0145]

이후, 부분 필터 생성부(330)는 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 부분(예를 들어 $M \times M$, M 은 자연수)만큼 부분 검출을 수행한다.

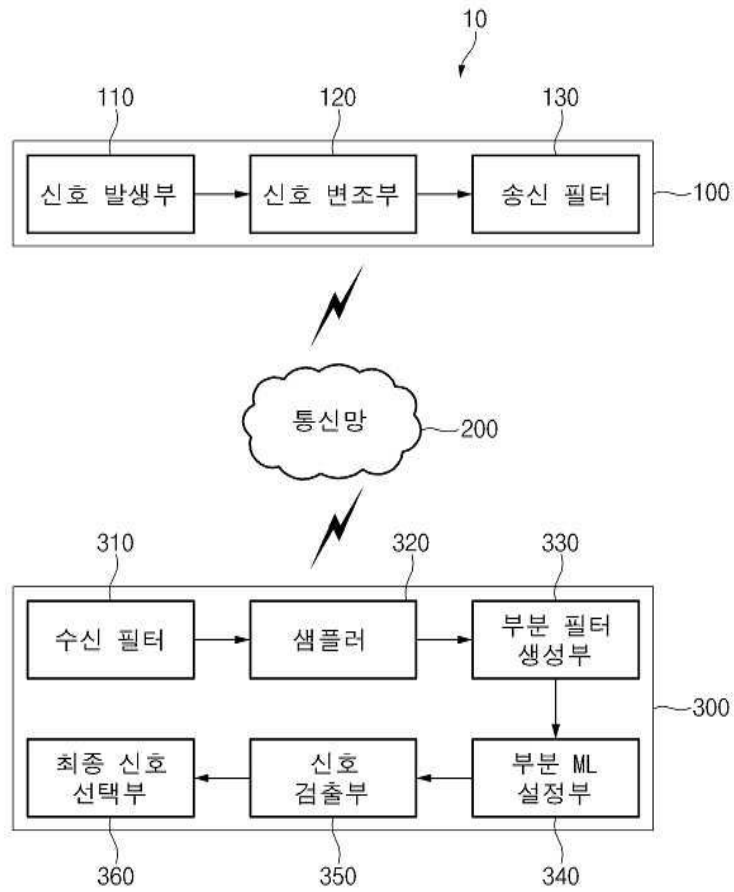
- [0146] 또한, 부분 필터 생성부(330)는 부분 검출된 부분에 대해 QR 분해를 수행한다.
- [0147] 일 예로, L개(예를 들어 100개)의 길이를 갖는 신호를 M개(예를 들어 10개)로 분할하여 신호를 검출할 때, 부분 필터 생성부(330)는 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 부분(예를 들어 $M \times M$, M은 자연수)만큼 부분 검출을 수행한다. 또한, [수학식 6]에 나타낸 바와 같이, 부분 필터 생성부(330)는 부분 검출된 부분에 대해 QR 분해를 수행한 후, 샘플링된 신호에서 Q 성분이 제거된 $M \times 1$ 벡터를 [수학식 8]과 같이 구한다(S530).
- [0148] 이후, 부분 ML 설정부(340)는 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 결정(또는 설정/선택)한다.
- [0149] 또한, 부분 ML 설정부(340)는 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 후보 ML 심볼 조합을 생성한다.
- [0150] 일 예로, 부분 ML 설정부(340)는 검출될 신호의 후보 심볼 조합의 길이(예를 들어 $V=4$) 및 검출된 신호의 후보 심볼의 수(예를 들어 2^4 인 16)를 결정한다. 또한, 부분 ML 설정부(340)는 결정된 후보 심볼 조합의 길이 및 수를 근거로 [수학식 10]에 나타낸 바와 같은 후보 ML 심볼 조합을 생성한다(S540).
- [0151] 이후, 신호 검출부(350)는 부분 ML 설정부(340)를 통해 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 샘플링된 신호의 미리 설정된 부분 중에서 나머지 심볼(또는 나머지 후보 심볼/심볼 조합)을 검출한다.
- [0152] 일 예로, 신호 검출부(350)는 부분 ML 설정부(340)를 통해 생성된 후보 ML 심볼 조합을 근거로 $M-V(=10-4=6)$ 에 대응되는 나머지 심볼을 검출한다(S550).
- [0153] 이후, 최종 신호 선택부(360)는 미리 설정된 간략화된 ML 검사를 수행하여 신호 검출부(350)를 통해 검출된 복수의 후보 심볼 중에서 샘플러(320)에서 샘플링된 신호에 가장 근접한 후보 심볼을 최종 검출된 신호로 선정(또는 선택/결정)한다.
- [0154] 일 예로, 최종 신호 선택부(360)는 신호 검출부(350)를 통해 검출된 S개의 후보열 가운데 1개의 신호열을 최종 검출된 신호로 선정한다(S560).
- [0155] 이후, 수신기(300)는 전체 샘플링된 신호 중에서 미리 설정된 다음 부분 만큼에 대한 부분 검출을 수행하는 단계(S530 단계)로 복귀한다.
- [0156] 일 예로, 앞선 단계들(S530 내지 S560 단계)에서 미리 설정된 부분($M \times M$)에 대한 최종 신호를 검출하였으므로, M개의 신호 단위로 L/M번의 절차를 통해(또는 반복 수행하여) 각각의 M개의 신호별 최종 신호를 검출한다.
- [0157] 본 발명의 실시예는 앞서 설명된 바와 같이, FTN 전송 방식을 통해 전송된 신호를 부분 ML을 적용하여 신호를 검출하여, 쉽고 간단하게 전송 신호를 검출할 수 있고, 수신되는 신호를 순차적으로 검출할 수 있어 신호의 검출 지연 시간을 줄일 수 있으며, 크기가 과도하게 큰 행렬 연산을 피할 수 있어 메모리의 사용을 크게 줄일 수 있다.
- [0158] 전술된 내용은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

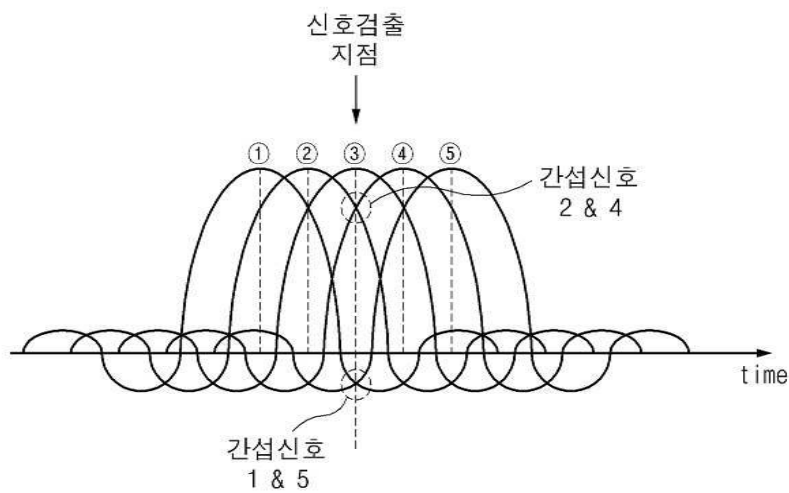
- [0159] 10: 신호 검출 시스템 100: 송신기
- 200: 통신망 300: 수신기
- 110: 신호 발생부 120: 신호 변조부
- 130: 송신 필터 310: 수신 필터
- 320: 샘플러 330: 부분 필터 생성부
- 340: 부분 ML 설정부 350: 신호 검출부
- 360: 최종 신호 선택부

도면

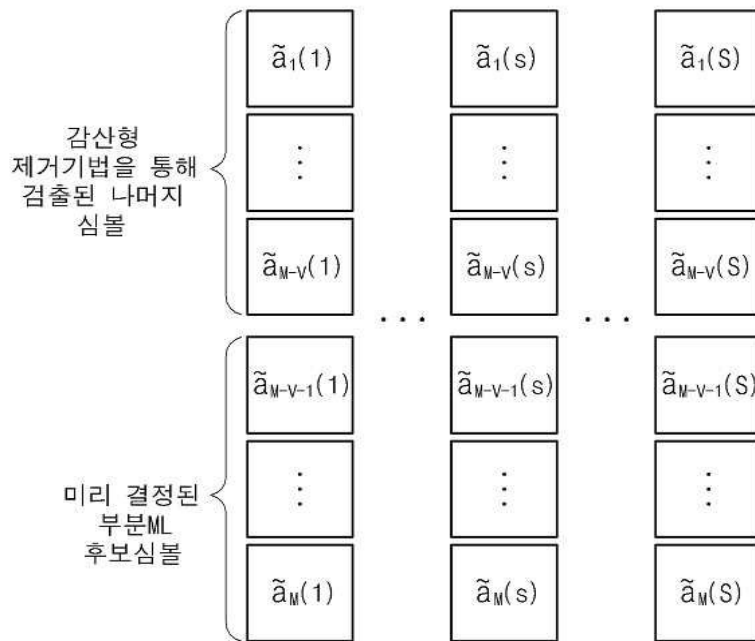
도면1



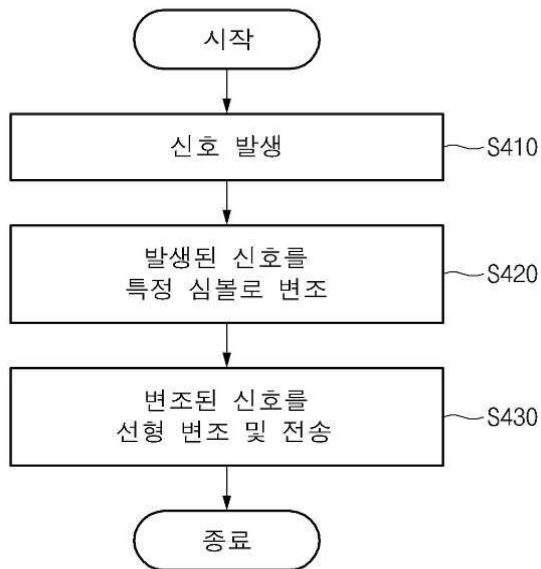
도면2



도면3



도면4



도면5

