



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0077079
(43) 공개일자 2020년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 25/02 (2006.01) H04L 27/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 25/0224 (2013.01)
H04L 25/022 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0166248
(22) 출원일자 2018년12월20일
심사청구일자 2018년12월20일

(71) 출원인
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
정의립
대전광역시 유성구 어은로 57, 101동 1802호(어은동, 한빛아파트)
이건호
대전광역시 유성구 동서대로 125(덕명동)
주소영
대전광역시 대덕구 한밭대로1033번길 15, 2동 702호(오정동, 신동아아파트)
(74) 대리인
이은철, 이우영

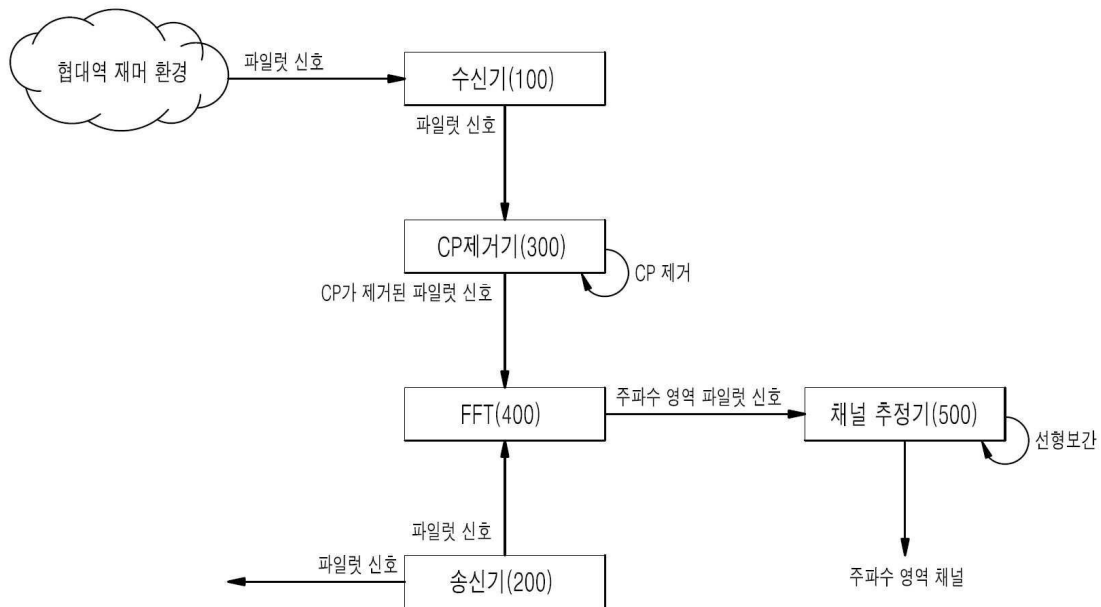
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템

(57) 요약

본 발명은 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템은, 협대역 재머 환경에서 파일럿 신호를 수신하는 수신기; 파일럿 신호를 송신하는 송신기; 수신한 파일럿 신호에서 CP를 제거하는 CP 제거기; CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($\hat{Y}(k)$)를 추출하고, 송신한 파일럿 신호로부터 주(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



S

과수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 FFT 및 두 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$, $X(k)$)로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널($\tilde{H}(k)$)을 추정하는 채널 추정기를 포함한다.

이에 본 발명에 따르면, 본 발명에 따르면, CP를 제거하여 추출한 주파수 영역 파일럿 신호로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널을 추정함으로써, 재머가 존재하는 환경에서도 시간영역 채널 추정 없이 곧바로 주파수 영역 채널 추정이 가능하고, 주파수 영역에서 추정된 채널을 이용하여 선형 보간 채널 추정을 통해 파일럿 사이의 각 데이터 블록들에서의 채널 특성을 찾을 수 있어, 파일럿 오버헤드를 줄이면서도 이동환경에서 채널 추정 성능 열화를 줄일 수 있다.

(52) CPC특허분류

H04L 25/0222 (2013.01)

H04L 27/265 (2013.01)

H04L 27/2678 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711076584
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D)
연구과제명	통신-센싱 융합 B5G 밀리미터파 응용 시스템 개발
기 여 율	1/1
주관기관	광운대학교 산학협력단/중앙대학교 산학협력단
연구기간	2018.07.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

협대역 재머 환경에서 파일럿 신호를 수신하는 수신기;

파일럿 신호를 송신하는 송신기;

수신한 파일럿 신호에서 CP를 제거하는 CP제거기;

CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 FFT; 및

두 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$, $X(k)$)로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널($\tilde{H}(k)$)을 추정하는 채널 추정기를

포함하는 것을 특징으로 하는 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 CP제거기는,

상기 수신기로부터 파일럿 신호에서 CP를 제거하되,

상기 파일럿 신호에서 파일럿의 길이(L_p)로부터 CP의 길이(L_c)를 제거하는 것을 특징으로 하는 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 FFT는,

CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 상기 송신기가 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 것을 특징으로 하는 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 FFT에 의해 추출된 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)가 기 설정된 값을 초과하는 경우, 주파수에 협대역 재머가 존재하는 것으로 판단하는 재머 감지기를

더 포함하는 것을 특징으로 하는 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템에 관한 것으로서, 파일럿으로 인해 발생하는 파일럿 오버헤드를 감소시키면서 협대역 간섭신호에 대응할 수 있는 새로운 SC-FDE 송수신 구조에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 다중경로 페이딩 환경에서 고속의 데이터를 전송하기 위해서는 수신기에서 채널 등화를 쉽게 수행할 수 있어야 한다. 이동통신 뿐만 아니라 군 전술통신 및 무인기와 지상국 간 통신에서도 채널 등화를 고려한 통신방식 설계가 이루어지고 있다.
- [0003] 이러한 점을 고려한 다양한 통신방식 중 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 SC-FDE(Single Carrier Frequency Domain Equalization)는 가장 널리 사용되고 있는 통신방식이다.
- [0004] OFDM은 송신신호와 채널 임펄스 응답의 순환 컨벌루션(convolution)이 되도록 하여 주파수 영역에서 간단한 등화기법으로 채널을 보상하는 방식이며 주파수를 분할하여 다중사용자 동시접속이 가능한 것이 장점이다.
- [0005] 이러한 장점으로 OFDM은 IEEE802.11 무선 LAN과 같은 광대역 무선 통신시스템 및 LTE 하향링크 전송 기술로 사용되고 있다. 그러나, OFDM은 높은 PAPR(Peak-to-average Ratio) 특성으로 인해 전력증폭기에 많은 부담을 주며 전력효율이 낮은 문제가 있다. 또한, 반송파 주파수 오프셋으로 인한 ICI (Inter Channel Interference)가 발생하는 문제도 있다.
- [0006] 이러한 문제를 해결할 수 있는 방식 중 하나가 SC-FDE(Single Carrier Frequency Domain Equalization)이다. SC-FDE는 OFDM과 비슷한 성능을 가지며 상대적으로 PAPR이 작고 다중 경로 페이딩 환경에서 역시 주파수 영역 등화가 가능하여 간단하게 채널왜곡을 보상할 수 있는 장점이 있다. 셀룰러 폰은 높은 전력효율이 중요하기 때문에 SC-FDE가 LTE 상향링크에 사용되고 있으며, 배터리로 동작하는 군 전술 무전기 및 군 드론 통신 등에도 적용이 되고 있다.
- [0007] 종래의 SC-FDE(Single Carrier Frequency Domain Equalization) 구조는 협대역 재머(jammer)가 존재할 때 시간영역 채널 추정이 어려워 수신기의 성능이 저하되는 단점이 있다. 또한, 매 SC-FDE마다 채널추정을 위한 파일럿을 전송함에 따라 스펙트럼 효율이 저하되는 문제도 있다.
- [0008] 이에 본 출원인은 진술한 문제를 해결하기 위해 재머가 존재하는 환경에서도 시간영역 채널 추정 없이 곧바로 주파수 영역 채널 추정이 가능하고, 주파수 영역에서 추정된 채널을 이용하여 선형 보간 채널 추정을 통해 파일럿 사이의 각 데이터 블록들에서의 채널 특성을 찾을 수 있어, 파일럿 오버헤드를 줄이면서도 이동환경에서 채널 추정 성능 열화를 줄일 수 있는 본 발명을 착안하게 되었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2015-0091370호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명의 목적은, 파일럿을 위한 CP를 삽입함으로써, 재머가 존재하는 환경에서도 시간영역 채널 추정 없이 곧바로 주파수 영역 채널 추정이 가능하고, 주파수 영역에서 추정된 채널을 이용하여 선형 보간 채널 추정을 통해 파일럿 사이의 각 데이터 블록들에서의 채널 특성을 찾을 수 있어, 파일럿 오버헤드를 줄이면서도 이동환경에서 채널 추정 성능 열화를 줄이는데 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템은, 협대역 재머 환경에서 파일럿 신호를 수신하는 수신기; 파일럿 신호를 송신하는 송신기; 수신한 파일럿 신호에서 CP를 제거하는 CP제거기; CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 FFT; 및 두 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$, $X(k)$)로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널($\hat{H}(k)$)을 추정하는 채널 추정기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0012] CP제거기는, 수신기로부터 파일럿 신호에서 CP를 제거하되, 파일럿 신호에서 수신신호로부터 CP의 길이(L_c)를 제거하는 것을 특징으로 한다.

[0013] FFT는, CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 상기 송신기가 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 것을 특징으로 한다.

[0014] FFT에 의해 추출된 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)가 기 설정된 값을 초과하는 경우, 주파수에 협대역 재머가 존재하는 것으로 판단하는 재머 감지기를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따르면, CP를 제거하여 추출한 주파수 영역 파일럿 신호로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널을 추정함으로써, 재머가 존재하는 환경에서도 시간영역 채널 추정 없이 곧바로 주파수 영역 채널 추정이 가능하고, 주파수 영역에서 추정된 채널을 이용하여 선형 보간 채널 추정을 통해 파일럿 사이의 각 데이터 블록들에서의 채널 특성을 찾을 수 있어, 파일럿 오버헤드를 줄이면서도 이동환경에서 채널 추정 성능 열화를 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 본 명세서에서 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시 예를 예시하는 것이며, 후술하는 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니된다.

도 1은 종래의 SC-FDE 전송 구조와 수신과정을 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 구조를 도시한 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템을 도시한 블록도.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 재머 감지기를 도시한 블록도.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 모의실험 환경을 도시한 블록도.

도 6은 도 5에 도시된 환경을 토대로 주파수 영역에서 이상적인 채널과 협대역 재머가 존재할 때 추정된 채널을 도시한 도면.

도 7은 2개의 파일럿 사이에 3개의 데이터 블록이 존재하는 경우 각 주파수에서 채널 추정값을 도시한 도면.

도 8은 이동속도가 100[km/h] 일 때의 페이딩 환경에서 협대역 재머의 유무 및 데이터 블록의 수 M 에 따른 BER(Bit Error Ratio) 성능을 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부된 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를 나타낸다.

[0018] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나 보다 분명해 질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0019] 도 1은 종래의 SC-FDE 전송 구조와 수신과정을 도시한 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 하나의 SC-FDE 블록은 CP(Cyclic Prefix), 파일럿, 데이터로 구성된다. SC-FDE는 단일반송파 전송 구조로 OFDM과 달리 송신기에

IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 과정이 존재하지 않는다.

[0020] 이때, CP의 길이는 L_c 이며 데이터의 마지막 L_c 개 심볼이다. 파일럿과 데이터의 길이는 각각 L_p , L_d 이다. 파일럿과 데이터 길이의 합은 $N(L_p + L_d)$ 이다. N 은 수신기에서의 FFT(Fast Fourier Transform) 크기이다. 수신기에서는 파일럿을 이용하여 먼저 시간영역 채널추정을 수행한다. 추정된 시간영역 채널의 임펄스 응답은 주파수 영역 채널 추정 및 등화에 사용한다. 채널을 통과하여 수신된 수신신호를 $y(n), n=0, \dots, N-1$ 이라고 하고 채널의 임펄스 응답을 $h(n)$, 송신 파일럿 신호를 $s(n)$ 이라고 하면 다음의 [수학식 1]과 같이 쓸 수 있다.

[0021] [수학식 1]

[0022]
$$y(n) = \mathbf{s}^T(n)\mathbf{h} + z(n)$$

[0023] 여기서, \mathbf{h} 는 채널 임펄스 응답 벡터이며 ($\mathbf{h} = [h(0), h(1), \dots, h(L_h)]^T$), L_h 는 채널 임펄스 응답의 길이를 의미한다. $z(n)$ 는 가우시안 잡음을 나타내고 $\mathbf{s}(n)$ 는 송신 파일럿 벡터로 $\mathbf{s}(n) = [s(n), s(n-1), \dots, s(n-L_h-1)]^T$ 이다. 주파수 영역 등화를 위해서는 주파수 영역 채널이 필요하나 이를 위해 먼저 시간영역 채널 추정을 수행한다. 시간영역 채널의 FFT를 통해 주파수 영역 채널을 찾을 수 있다. 시간영역 채널 추정은 최소자승 기법을 통해 수행한다.

[0024] [수학식 2]

[0025]
$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{S}^H \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^H \mathbf{y}$$

[0026] [수학식 2]에서 $\mathbf{S} = [\mathbf{s}(0), \mathbf{s}(1), \dots, \mathbf{s}(L_p-1)]^T$ 이고 $\mathbf{y} = [y(0), y(1), \dots, y(L_p-1)]^T$ 이다. 추정된 시간영역 채널 $\hat{\mathbf{h}}$ 의 N 포인트 FFT를 통해 주파수 영역 채널 $\tilde{H}(k), k=0, \dots, N-1$ 를 얻는다. 채널을 보상하는 등화는 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio) 영역에서 성능을 향상하기 위해 MMSE(Minimum Mean Square Error) 등화를 수행한다. 등화 수식은 다음과 같다.

[0027]
$$\tilde{X}(k) = \frac{\tilde{H}^*(k)}{|\tilde{H}(k)|^2 + \sigma_z^2} Y(k), k=0, \dots, N-1$$

[0028] 여기서, σ_z^2 은 잡음의 분산, $Y(k)$ 는 주파수 영역 수신신호이다. 등화가 수행된 $\tilde{X}(k)$ 는 IFFT를 통해 시간영역 신호로 변환된다.

[0029] 협대역 재밍 환경에서 전술한 종래의 방식은 아래와 같은 문제점이 있다.

[0030] 군 작전 중에는 통신에 사용되고 있는 주파수가 적에게 노출될 수 있고, 적은 악의적인 목적으로 해당 주파수에 전파공격, 즉 재머 공격을 가할 수 있다.

[0031] SC-FDE 통신이 재머 공격을 받을 경우, 시간영역 신호의 낮은 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 때문에 시간영역 채널 추정이 제대로 수행될 수 없고 이에 따라 등화도 역시 제대로 수행될 수 없어 통신이 어려워진다.

[0032] 또한, 보편적인 SC-FDE 전송 구조에서는 이동환경에서 채널추정을 위해 매 SC-FDE 블록마다 파일럿을 삽입하며, 이 때문에 파일럿 오버헤드가 큰 문제도 있다. 파일럿 오버헤드는 다음의 [수학식 3]과 같이 표현된다.

[0033] [수학식 3]

[0034]
$$\text{pilot overhead} = \frac{L_p}{L_p + L_d}$$

[0035] 긴 파일럿이 사용되면 채널 추정 성능은 향상되겠지만 파일럿 오버헤드가 증가한다. 파일럿 오버헤드는 SC-FDE 전송 스펙트럼 효율을 감소시키므로 파일럿 오버헤드를 줄이면서도 채널 추정성능을 높일 수 있는 방법이 요구된다.

- [0036] 따라서, 이하 설명하는 본 발명의 일 실시예에서는, 파일럿을 때 SC-FDE 블록에서 전송하는 대신 가끔 전송하고, 파일럿과 파일럿 전송 사이에 여러개의 SC-FDE 데이터 블록을 전송함으로써, 파일럿 오버헤드를 감소시킬 수 있는 새로운 SC-FDE 구조를 제시하고 이에 따른 수신기에서의 채널추정 방안을 제안하고자 한다.
- [0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 구조를 도시한 도면이다.
- [0038] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 구조는 파일럿을 기 설정된 시간마다 전송하여 재머가 있을 때에도 시간영역 채널 추정 없이 주파수 영역 채널 추정이 가능하도록 파일럿과 대응하는 CP(Cyclic Prefix)를 포함하여 구성된다.
- [0039] 이때, 파일럿의 길이는 L_p 라고 하고 CP의 길이는 L_c 라고 한다. 이로 인해 데이터 블록 뿐만아니라 채널 추정에서도 FFT를 통한 주파수 영역 채널 추정을 가능하게 한다. 데이터 블록은 길이 L_c 의 CP와 길이 N 의 데이터로 이루어진다.
- [0040] 데이터 블록에는 파일럿이 포함되지 않으므로 본 발명의 일 실시예에 따른 구조는 파일럿 전송 비율이 기존 구조 보다 훨씬 낮다. 하지만 파일럿을 가끔 전송하면 이동환경에서 시변 채널을 정확하게 추정하는데 문제가 생길 수 있다.
- [0041] 따라서, 본 발명의 일 실시예에서는 이 문제를 선형 보간법으로 해결하며, 각 파일럿에서 채널추정을 수행하고 파일럿과 파일럿 사이의 채널은 선형보간법을 이용하여 추정한다. 선형 보간법이 완벽한 보간법이 아니므로 고속 무선 환경에서 추정성능이 저하될 수 있지만 시뮬레이션 결과에 따르면 100 km/h 이상의 이동속도에서도 채널추정 성능의 저하가 없다는 것을 확인하였다.
- [0042] 도 3을 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템(S)은, 협대역 재머 환경에서 파일럿 신호를 수신하는 수신기(100)와, 파일럿 신호를 송신하는 송신기(200)와, 수신한 파일럿 신호에서 CP를 제거하는 CP제거기(300)와, CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출하는 FFT(400), 및 두 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$, $X(k)$)로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널($\tilde{H}(k)$)을 추정하는 채널 추정기(500)를 포함하여 구성된다.
- [0043] 구체적으로, 수신기(100)가 협대역 재머 환경에서 수신한 신호는 [수학식 4]와 같이 표현할 수 있고, 여기서 $I(n)$ 은 협대역 재머를 나타낸다.
- [0044] [수학식 4]
- [0045]
$$y(n) = s^T(n)k + I(n) + z(n)$$
- [0046] CP제거기(300)는 수신기(100)로부터 파일럿 신호에서 CP를 제거하되, CP와 파일럿이 포함된 파일럿 신호로부터 CP의 길이(L_c)를 제거한다.
- [0047] FFT(400)는 CP가 제거된 파일럿 신호에서 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$)를 추출하고, 송신기(200)가 송신한 파일럿 신호로부터 주파수 영역 파일럿 신호($X(k)$)를 추출한다.
- [0048] 이때, 추출한 주파수 영역 파일럿 신호는 각각 아래의 수학과 같이 표현할 수 있다.
- [0049]
$$Y(k) = FFT\{y(L_c), y(L_c + 1), \dots, y(L_c + L_p - 1)\}$$
- [0050]
$$X(k) = FFT\{x(L_c), y(L_c + 1), \dots, y(L_c + L_p - 1)\}$$
- [0051] 그리고, 채널 추정기(500)가 두 주파수 영역 파일럿 신호($Y(k)$, $X(k)$)로부터 선형보간을 통해 각각 주파수 영역 채널을 추정하며, 주파수 영역 채널 추정값($\tilde{H}(k)$)은 아래의 수학과 같이 표현할 수 있다.
- [0052]
$$\tilde{H}(k) = Y(k)/X(k), k = 0, \dots, N - 1$$

- [0053] 구체적으로, 채널 추정기(500)는 파일럿 사이의 데이터 블록에서 채널을 추정하기 위해 선형보간을 이용하여 채널을 추정하는데, 이때, 두 파일럿 사이의 무선채널은 시간에 따라 선형으로 변한다고 가정한다.
- [0054] 두 개의 파일럿 사이에 M개의 데이터 블록이 있다고 상정하고, 데이터의 앞쪽 파일럿을 0번째 블록이라고 하고 뒤쪽 파일럿을 M+1번째 블록이라고 상정한다.
- [0055] m번째 ($1 \leq m \leq M$) 데이터 블록의 ($k+1$) 번째 주파수 영역 채널 특성을 $\tilde{H}_m(k)$ ($0 \leq k \leq N-1$) 라고 표현한다. 첫 번째 파일럿과 두 번째 파일럿에서 의 채널 추정 값은 각각 $\tilde{H}_0(k)$ 와 $\tilde{H}_{M+1}(k)$ 라고 표현한다. m번째 데이터 블록의 채널은 다음과 같이 선형보간법으로 구하면 아래의 [수학식 5]와 같이 도출된다.
- [0056] [수학식 5]
- $$\tilde{H}_m(k) = \left(\left| \tilde{H}_0(k) \right| + \frac{m \left(\left| \tilde{H}_{M+1}(k) \right| - \left| \tilde{H}_0(k) \right| \right)}{M+1} \right) \exp \left\{ j \left(\angle \tilde{H}_0(k) + \frac{m \left(\angle \tilde{H}_{M+1}(k) - \angle \tilde{H}_0(k) \right)}{M+1} \right) \right\}$$
- [0057]
- [0058] 이때, 파일럿 오버헤드는 [수학식 6]과 같다.
- [0059] [수학식 6]
- $$\text{pilot overhead} = \frac{L_p}{L_p + MN}$$
- [0060]
- [0061] 전술한 바와 같은 본 발명의 일 실시예에 따르면 종래의 SC-FDE 구조보다 파일럿 오버헤드를 1/M로 줄일 수 있다.
- [0062] 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템(S)은, 협대역 재머의 존재여부를 감지하는 재머 감지기(600)를 더 포함하여 구성된다.
- [0063] 도 4를 참조하면, 재머 감지기(600)는 FFT(400)에 의해 추출된 주파수 영역 파일럿 신호($\mathcal{Y}(k)$)가 기 설정된 값을 초과하는 경우, 주파수에 협대역 재머가 존재하는 것으로 판단한다.
- [0064] 또한, 재머 감지기(600)는 채널 추정기(500)에 의해 추정된 주파수 영역 채널 추정값($\tilde{H}(k)$)이 기 설정된 값을 초과하는 경우, 주파수에 협대역 재머가 존재하는 것으로 판단한다.
- [0065] 특정 주파수에 협대역 재머가 존재하는 경우 해당 주파수에서 채널 추정 값은 기 설정된 값보다 큰 값이 관찰되게 되는데, 이는 해당 주파수의 $\mathcal{Y}(k)$ 에서 큰 값이 관찰될 것이기 때문이다. 이 경우 해당 $\tilde{H}(k)$ 도 큰 값이 나타나게 된다.
- [0066] 이때, 등화를 수행하기 위해 수신신호를 추정된 채널로 나누면 재머가 존재하는 주파수의 신호는 자연스럽게 크기가 줄어든다.
- [0067] 일반적으로 재머가 위치한 주파수를 알면 그 위치를 0으로 만드는 것이 가장 좋은 방법인데 본 발명의 일 실시예에 따른 구조는 등화 과정에서 자연스럽게 0으로 만드는 널링효과가 발생한다.
- [0068] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 구조에 의하면, 재머의 주파수를 추정할 필요 없이 등화의 과정에서 재머의 영향이 줄어들게 되며, 이에 따라 재머의 존재유무를 따로 추정할 필요가 없게 된다.
- [0069] 한편, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템의 모의실험 환경을 도시한 블록도이다.
- [0070] 먼저, 송신기는 이진 데이터를 생성하고 에러 정정을 위해 FEC(forward error correction) 인코딩을 수행한다.
- [0071] 이어서, 무선 채널 환경에서 발생하기 쉬운 군집에러를 방지하기 위해 데이터의 순서를 일정단위로 재배열 시키는 인터리빙(Interleaving)을 수행한다.

[0072] 뒤이어, QPSK 변조를 수행하고 블록 간에 발생하는 간섭을 방지하고 주파수 영역 등화를 수행하기 위해 CP와 파일럿을 삽입하여 송신한다.

[0073] 이때, 송신된 신호는 채널을 통과하여 수신되는데, 협대역 재머가 존재할 경우 송신신호에 협대역 재머가 더해져 수신된다.

[0074] 이어서, 수신기가 주파수 영역 채널 추정 및 등화를 수행하기 위해 수신신호의 두 개의 파일럿을 FFT 하여 주파수 영역 채널을 구한다.

[0075] 그리고, 채널 등화를 수행한다. 이에 따라 채널 보상된 신호는 IFFT가 수행되고 Soft decision, 디인터리빙, 및 FEC 디코딩을 순차적으로 진행하여 데이터를 복원한다.

[0076] [표 1]

CP length	32
Pilot length L_p , FFT size N	512
Channel code	LDPC, R=1/2
Number of jammer	1
JSR	0 dB

[0077]

[0078] 상기 [표 1]은 모의실험에 사용한 자세한 파라미터를 나타낸다. 여기서 CP 길이는 심볼($L_c=32$), 파일럿 길이 및 FFT 크기는 512($L_p = N = 512$)이다. 채널코드는 코드율이 1/2인 LDPC(Low-density Parity-check) 코드를 사용하였다. 협대역 재머가 존재하는 환경을 위해 1개의 협대역 재머를 고려하였으며 JSR(Jammer to Signal Ratio)은 0 dB로 고정하였다.

[0079] 도 6은 도 5에 도시된 환경을 토대로 주파수 영역에서 이상적인 채널과 협대역 재머가 존재할 때 추정된 채널을 도시한 도면이다.

[0080] 파란 점선은 추정된 채널을 나타내고 빨간 실선은 이상적인 채널을 나타낸다. 재머의 위치 및 크기를 포함하여 이상적인 채널과 추정 채널이 거의 일치함을 확인할 수 있다.

[0081] 도 7은 M=3 인 경우 추정된 채널, 즉 2개의 파일럿 사이에 3개의 데이터 블록이 존재하는 경우 각 주파수에서 채널 추정값을 보인다. 512 개의 FFT 포인트 중 편의를 위해 협대역 재머가 존재하는 주파수 범위만을 보이고 있다.

[0082] 선형 보간법을 통해 두 파일럿의 채널 추정값을 이용하여 등간격으로 등분하여 데이터 블록의 채널을 추정하고 있음을 확인할 수 있다.

[0083] 도 8은 이동속도가 100[km/h] 일 때의 페이딩 환경에서 협대역 재머의 유무 및 데이터 블록의 수 M 에 따른 BER(Bit Error Ratio) 성능을 보인다. 협대역 재머가 존재할 때 기존의 SC-FDE 구조의 성능도 같이 나타내었다.

[0084] 페이딩 채널 모델은 7-path Rayleigh 모델이며 각 다중경로 별 전력은 [0.73, 0.031, 0.034, 0.051, 0.061, 0.042, 0.051] 이고, 다중 경로 지연은 [0, 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 8.0, 9.6] μs 이다.

[0085] 모의실험 결과에 따르면 협대역 재머가 존재할 때 기존의 SC-FDE 구조의 성능이 크게 저하되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안하는 SC-FDE 구조는 협대역 재머가 존재할 때 기존의 구조보다 성능이 월등하게 향상됨을 보인다. 협대역 재머가 존재하지 않을 때보다 약 2 dB 정도 성능이 떨어지지만, 기존 구조는 거의 통신할 수 없음을 고려하면 상대적으로 우수한 성능을 보인다.

[0086] 이와 같은 모의실험 결과는 제안된 SC-FDE 구조가 협대역 재머가 존재하는 경우에도 통신을 가능하게 할 뿐만 아니라 파일럿 오버헤드를 줄여 통신 신뢰성과 주파수 효율을 모두 높일 수 있음을 보인다.

[0087] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 시간영역 채널 추정 없이 주파수 채널 추정을 수행하고 선형 보간법을 이용함으로써 협대역 재머 또는 간섭 신호가 존재하는 환경에서 기존 구조보다 우수한 성능을 보였으며 파일럿 오버헤드 역시 기존 방식보다 줄일 수 있음을 확인하였다. 따라서, 제안하는 SC-FDE 구조는 군사 통신 시스템이나 무인 항공기와 같은 안전이 중요시되는 시스템에 적용할 수 있다.

[0088] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의

지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

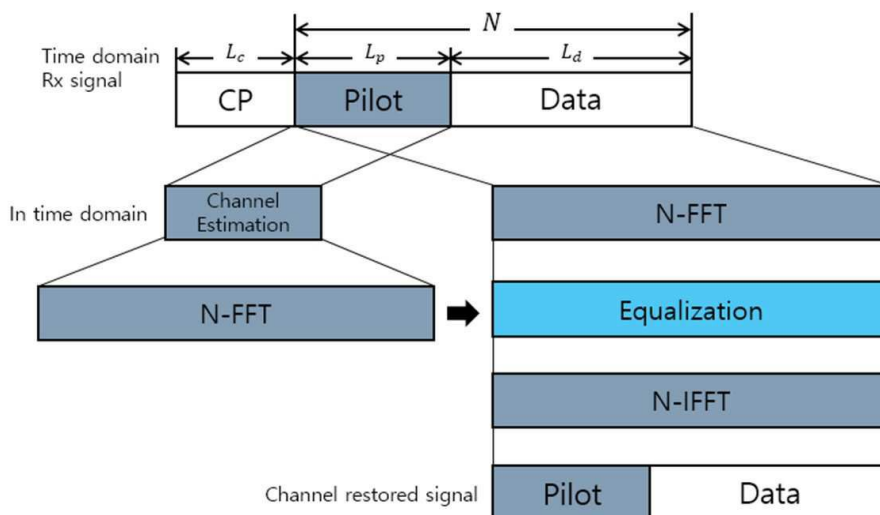
부호의 설명

[0089] S: 협대역 간섭신호 대응 및 파일럿 오버헤드 감소를 위한 SC-FDE 송수신 시스템

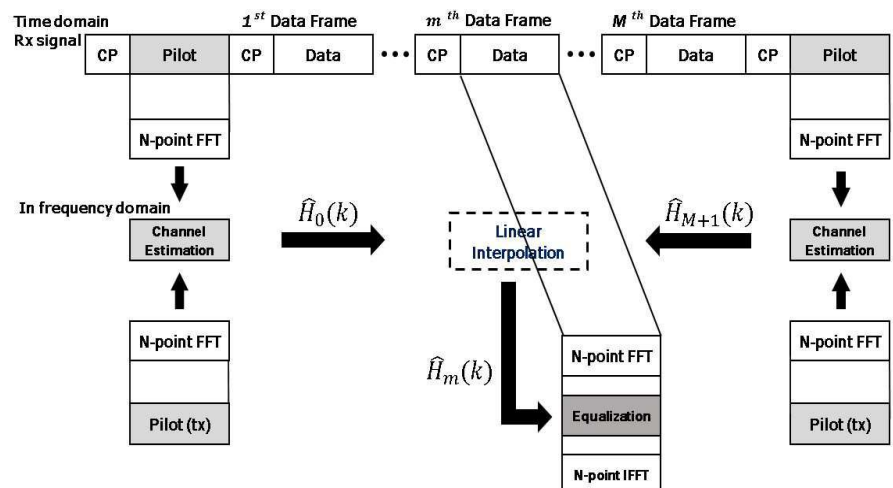
- 100: 수신기
- 200: 송신기
- 300: CP제거기
- 400: FFT
- 500: 채널 추정기
- 600: 재머 감지기

도면

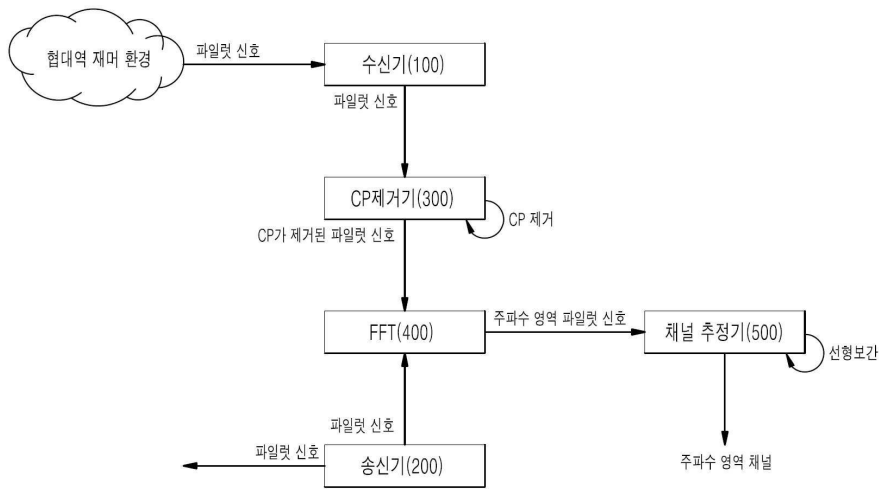
도면1



도면2

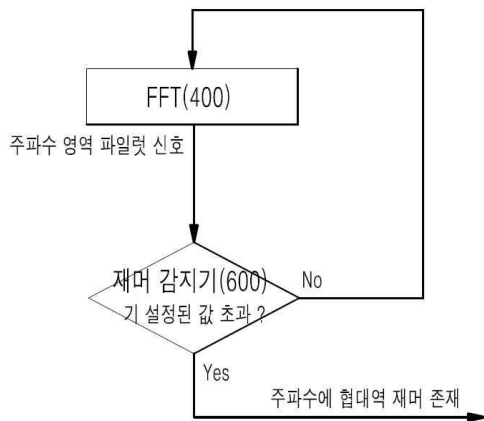


도면3



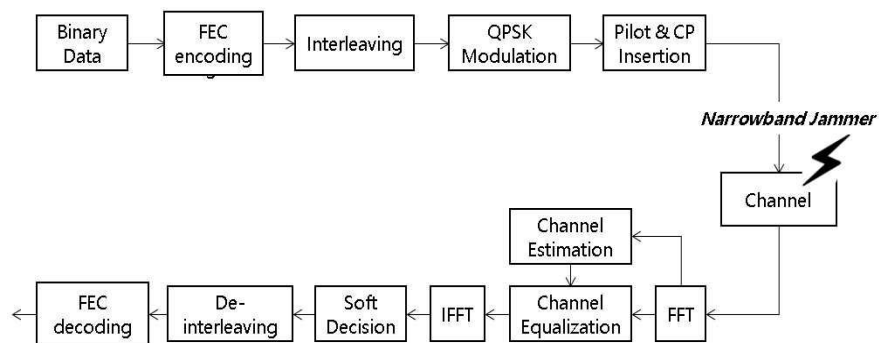
S

도면4

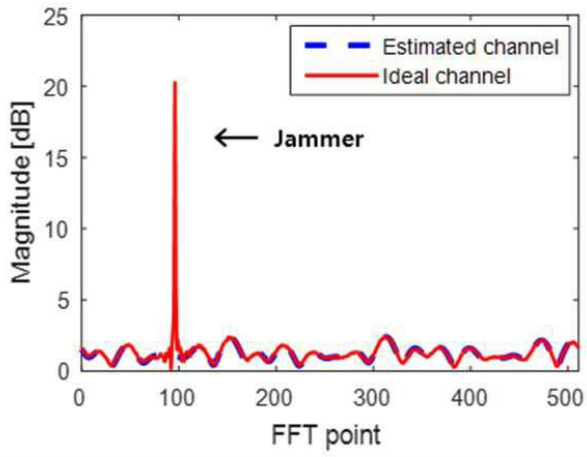


S

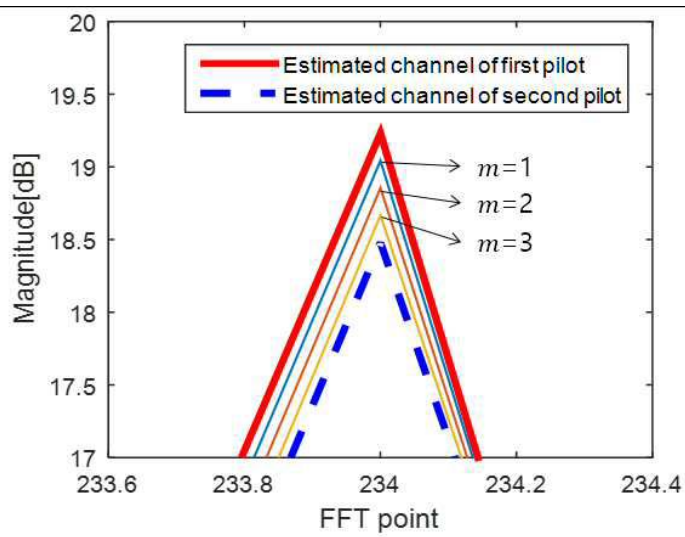
도면5



도면6



도면7



도면8

