



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0083726
(43) 공개일자 2018년07월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) H04L 25/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2649 (2013.01)
H04L 25/0256 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0006352
(22) 출원일자 2017년01월13일
심사청구일자 2017년01월13일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
양현중
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김영준
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

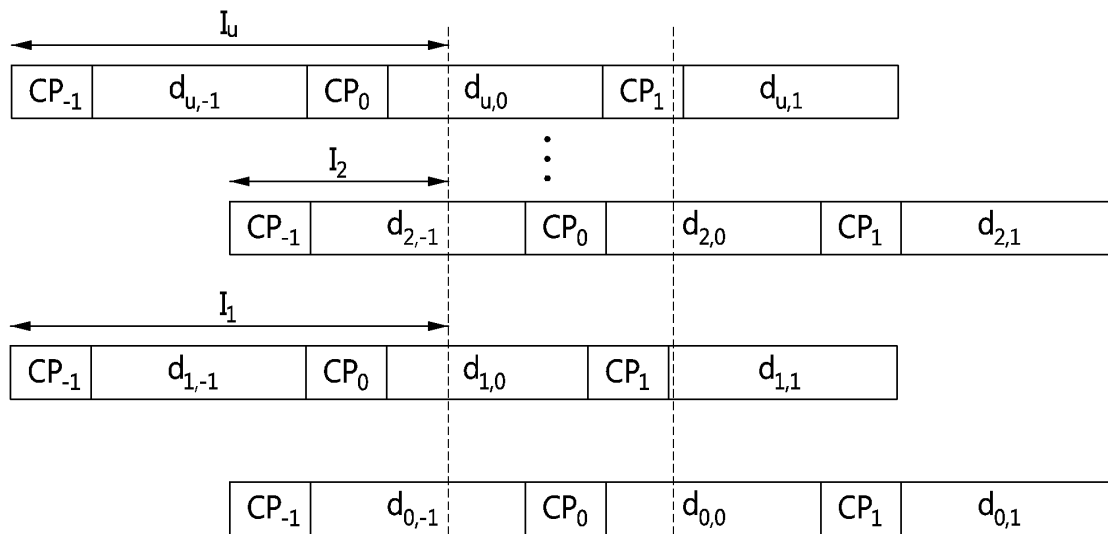
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 GFDM을 이용하는 비동기 통신 방법 및 장치

(57) 요약

일실시예에서, 기지국을 위한 비동기 통신 방법은 사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 단계, 및 최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여, 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 단계를 포함한다. 상기 비동기식 통신으로 송신된 신호는 일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하여 송신될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04L 27/2655 (2013.01)

H04L 27/2663 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711035442

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 방송통신산업기술개발

연구과제명 5G 실감형 서비스를 실현하기 위한 초저지연 네트워크 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2016.03.01 ~ 2017.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

기지국을 위한 비동기 통신 방법에 있어서,
 사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 단계; 및
 최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여, 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 단계
 를 포함하는, 비동기 통신 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 비동기식 통신으로 송신된 신호는 일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하여 송신되는,
 비동기 통신 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 검파하는 단계는,
 상기 수신된 신호의 자기상관; 및
 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관
 에 기초하여 연산되는 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 이용하여 상기 수신된 신호를 검파하는,
 비동기 통신 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 는 수학적식
$$\mathbf{W} = E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]^{-1}$$
에 의해 정의되고,

여기서 $E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 수신된 신호의 자기상관, $E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관을 나타내고, $\mathbf{d}_{\alpha,b}$ 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타내고, $\mathbf{y}_a$ 는 a 번째 사용자의 단말로부터 수신된 신호를 나타내는,

비동기 통신 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 $\mathbf{y}_a$ 는 수학적식
$$\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} = \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha} \mathbf{d}_{\alpha,0} + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{i}_u + \mathbf{n}$$
에 의해 정의되고,

여기서 $\tilde{\mathbf{H}}_\alpha$ 는 순환 매트릭스(circulant matrix)이고, $\mathbf{A}_\alpha$ 는 GFDM 변조 매트릭스고, i_u 는 u 번째 사용자에게 의한 간섭 신호를 나타내는,

비동기 통신 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 i_u 는 수학적
$$\mathbf{i}_u = \mathbf{S}_u \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C} \mathbf{A}_u) \mathbf{d}_u$$
에 의해 정의되고,

여기서 $\mathbf{S}_u$ 는 연속된 신호를 검파 시간에 따라 자르는 매트릭스이고, $\mathbf{H}_u$ 는 토플리츠 매트릭스(Toeplitz matrix)인,

비동기 통신 방법.

청구항 7

기지국을 위한 비동기 통신 방법을 실행하는 프로그램을 수록한 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 있어서, 상기 프로그램은:

사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 단계; 및

최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여, 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 단계

를 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

청구항 8

기록매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램에 있어서, 상기 컴퓨터 프로그램은:

사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 단계; 및

최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여, 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 단계

를 포함하는, 기록 매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램

청구항 9

기지국을 위한 비동기 통신 장치에 있어서,

사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 안테나; 및

상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기

를 포함하는, 비동기 통신 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 비동기식 통신으로 송신된 신호는 일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하여 송신되는,

비동기 통신 장치.

청구항 11

제9항에 있어서,
상기 최소평균제곱오차 수신기는,
상기 수신된 신호의 자기상관; 및
데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관
에 기초하여 연산되는 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 이용하여 상기 수신된 신호를 검파하는,
비동기 통신 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 는 수학적식
$$\mathbf{W} = E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]^{-1}$$
에 의해 정의되고,

여기서 $E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 수신된 신호의 자기상관, $E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관을 나타내고, $\mathbf{d}_{\alpha,b}$ 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타내고, $\mathbf{y}_{\alpha}$ 는 a번째 사용자의 단말로부터 수신된 신호를 나타내는,
비동기 통신 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 $\mathbf{y}_{\alpha}$ 는 수학적식
$$\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} = \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha} \mathbf{d}_{\alpha,0} + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{i}_u + \mathbf{n}$$
에 의해 정의되고,

여기서 $\tilde{\mathbf{H}}_{\alpha}$ 는 순환 매트릭스(circulant matrix)이고, $\mathbf{A}_{\alpha}$ 는 GFDM 변조 매트릭스고, $\mathbf{i}_u$ 는 u번째 사용자에게 의한 간섭 신호를 나타내는,
비동기 통신 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 $\mathbf{i}_u$ 는 수학적식
$$\mathbf{i}_u = \mathbf{S}_{l_u} \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C} \mathbf{A}_u) \mathbf{d}_u$$
에 의해 정의되고,

여기서 $\mathbf{S}_{l_u}$ 는 연속된 신호를 검파 시간에 따라 자르는 매트릭스이고, $\mathbf{H}_u$ 는 토플리츠 매트릭스(Toeplitz matrix)인,
비동기 통신 장치.

발명의 설명

기술 분야

일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하는 비동기 통신

방법 및 장치에 연관되며, 보다 구체적으로는 최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 수신된 신호를 검파하는 방법 및 장치에 연관된다.

배경 기술

- [0002] 5G 기술에서는 전송 속도 이외에도 다양한 측면에서 통신 성능 향상을 위한 방법이 모색되고 있다. 그 중에서 기지국과 사용자가 연결되는 데 걸리는 지연 시간을 감소시키는 방법 또한 중요하게 다뤄진다.
- [0003] 지연 시간이 발생하는 데에는 여러 가지 원인이 있으며, 거리가 멀어서 생기는 지연 시간의 경우 전자기파 자체의 속도에 의존하기 때문에 감소시키기 어렵지만, 동기를 맞추는 데 걸리는 지연 시간을 줄이는 것은 가능하다.
- [0004] 예를 들어, 기존의 직교 주파수 분할 다중 방식(Orthogonal frequency-division multiplexing; OFDM)을 이용하는 동기식 통신의 경우 동기를 맞추는 데 소요되는 시간 때문에 지연 시간을 줄이는 데 한계가 있다. 또한, 동기가 조금만 어긋나도 인접 주파수를 사용하는 사용자에게 의한 간섭에 의해 심각한 성능 저하가 발생할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0005] 일측에 따르면, 기지국을 위한 비동기 통신 방법은 사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 단계, 및 최소평균제곱오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 이용하여, 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 단계를 포함한다.
- [0006] 일실시예에서, 상기 비동기식 통신으로 송신된 신호는 일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하여 송신된다.
- [0007] 일실시예에서, 상기 검파하는 단계는, 상기 수신된 신호의 자기상관, 및 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관에 기초하여 연산되는 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 이용하여 상기 수신된 신호를 검파한다.
- [0008] 일실시예에서, 상기 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 는,

$$\mathbf{W} = E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]^{-1}$$

[0009] 수학식 에 의해 정의되고,

- [0010] 여기서 $E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 수신된 신호의 자기상관, $E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관을 나타내고, $\mathbf{d}_{a,b}$ 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타내고, $\mathbf{y}_a$ 는 a번째 사용자의 단말로부터 수신된 신호를 나타낸다.

- [0011] 일실시예에서, 상기 $\mathbf{y}_a$ 는 수학식
$$\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} = \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha} \mathbf{d}_{\alpha,0} + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{i}_u + \mathbf{n}$$
 에 의해 정의되고, 여기서 $\tilde{\mathbf{H}}_{\alpha}$ 는 순환 매트릭스(circulant matrix)이고, $\mathbf{A}_{\alpha}$ 는 GFDM 변조 매트릭스이고, $\mathbf{i}_u$ 는 u번째 사용자에게 의한 간섭 신호를 나타낸다.

- [0012] 일실시예에서, 상기 $\mathbf{i}_u$ 는 수학식
$$\mathbf{i}_u = \mathbf{S}_u \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C} \mathbf{A}_u) \mathbf{d}_u$$
 에 의해 정의되고, 여기서 $\mathbf{S}_u$ 는 연속된 신호를 검파 시간에 따라 자르는 매트릭스이고, $\mathbf{H}_u$ 는 토플리츠 매트릭스(Toeplitz matrix)이다.

- [0013] 다른 일측에 따르면, 기지국을 위한 비동기 통신 장치는, 사용자 단말에서 비동기식 통신으로 송신된 신호를 수신하는 안테나, 및 상기 수신된 신호의 동기 시간 차이에 기초하여 상기 수신된 신호를 검파하는 최소평균제곱

오차(Minimum Mean Square Error; MMSE) 수신기를 포함한다.

[0014] 일실시예에서, 상기 비동기식 통신으로 송신된 신호는 일반화된 주파수 분할 다중화(Generalized Frequency Division Multiplexing; GFDM)를 이용하여 송신된다.

[0015] 일실시예에서, 상기 최소평균제곱오차 수신기는, 상기 수신된 신호의 자기상관, 및 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관에 기초하여 연산되는 검파 매트릭스 $\mathbb{W}$ 를 이용하여 상기 수신된 신호를 검파한다.

[0016] 일실시예에서, 상기 검파 매트릭스 $\mathbb{W}$ 는,

[0017] 수학식 $\mathbf{W} = E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H] E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]^{-1}$ 에 의해 정의되고,

[0018] 여기서 $E[\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 수신된 신호의 자기상관, $E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_{\alpha}^H]$ 는 데이터 및 상기 수신된 신호 간의 상호상관을 나타내고, $\mathbf{d}_{a,b}$ 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타내고, $\mathbf{y}_a$ 는 a번째 사용자의 단말로부터 수신된 신호를 나타낸다.

[0019] 일실시예에서, 상기 $\mathbf{y}_a$ 는 수학식 $\hat{\mathbf{y}}_{\alpha} = \tilde{\mathbf{H}}_{\alpha} \mathbf{A}_{\alpha} \mathbf{d}_{\alpha,0} + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{i}_u + \mathbf{n}$ 에 의해 정의되고, 여기서 $\tilde{\mathbf{H}}_{\alpha}$ 는 순환 매트릭스(circulant matrix)이고, $\mathbf{A}_{\alpha}$ 는 GFDM 변조 매트릭스이고, $\mathbf{i}_u$ 는 u번째 사용자에 의한 간섭 신호를 나타낸다.

[0020] 일실시예에서, 상기 $\mathbf{i}_u$ 는 수학식 $\mathbf{i}_u = \mathbf{S}_{l_u} \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C} \mathbf{A}_u) \mathbf{d}_u$ 에 의해 정의되고, 여기서 $\mathbf{S}_{l_u}$ 는 연속된 신호를 검파 시간에 따라 자르는 매트릭스이고, $\mathbf{H}_u$ 는 토폴리츠 매트릭스(Toeplitz matrix)이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일실시예에 따른 비동기 통신 방법의 데이터 블록을 예시적으로 보여주는 도면이다.

도 2는 일실시예에 따른 GFDM 송신 구조의 일부를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 3은 일실시예에 따른 GFDM 송신 구조의 일부를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 4는 일실시예에 따른 비동기 통신 방법의 기존 기술과의 성능 비교를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 실시예들에 대한 특정한 구조적 또는 기능적 설명들은 단지 예시를 위한 목적으로 개시된 것으로서, 다양한 형태로 변경되어 실시될 수 있다. 따라서, 실시예들은 특정한 개시형태로 한정되는 것이 아니며, 본 명세서의 범위는 기술적 사상에 포함되는 변경, 균등물, 또는 대체물을 포함한다.

[0023] 제1 또는 제2 등의 용어를 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 이런 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 해석되어야 한다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0024] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0025] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 설명된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함으로써 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0027] 이하에서, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 그러나, 권리범위는 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0028] 도 1은 일실시예에 따른 비동기 통신 방법의 데이터 블록을 예시적으로 보여주는 도면이다.

[0029] 일실시예에서, 기존의 동기식 통신의 단점인 지연 시간이 길다는 점을 극복하기 위한 통신 방법이 제안된다. 일실시예에서, 동기를 맞추기 위하여 소요되는 지연 시간을 줄이기 위하여 비동기 통신을 사용하고, OOB(Out-of-band emission)가 낮은 GFDM 신호와 인접 주파수 대역으로부터의 간섭의 영향을 줄일 수 있는 MMSE 수신기를 사용할 수 있다.

[0030] 도 1을 참조하면, 비동기식 통신의 데이터 블록이 도시된다. 가로 축은 시간을 나타내고 세로 축은 주파수를 나타내며, 는 a 번째 사용자의 b 번째 데이터를 나타낸다. 일실시예에서, 각각의 데이터 블록들은 GFDM 을 이용하여 변조될 수 있다. GFDM 은 OFDM 에서 직교성을 제외시킨 일반화된 주파수 변조 방법이다. OFDM의 직교성과 동기화가 지연 시간 감소에 큰 장애가 되기 때문에, 비동기 통신 방식에서 GFDM을 이용하여 지연 시간 감소를 도모할 수 있다.

[0031] 일실시예에서, GFDM 변조 매트릭스는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$[0032] \mathbf{A} = (\mathbf{g}_{0,0}, \dots, \mathbf{g}_{K-1,0}, \mathbf{g}_{0,1}, \dots, \mathbf{g}_{K-1,M-1})$$

[0033] 여기서, g는 필터 함수로서 주파수 축에서 RC(Raised Cosine)을 순환 이동시킨 그래프이다. 일실시예에서, g는 다음의 수학적 식 2와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 2

$$[0034] \mathbf{g}_{k,m}[n] = g[(n - mK) \bmod N] e^{-j2\pi \frac{k}{K} n}, m \in M, k \in K$$

[0035] 여기서, M은 서브캐리어를 나타내고, K는 서브캐리어를 나타낸다. 또한, N은 샘플링 숫자를 나타낸다.

[0036] 전체 사용자의 집합을 U라고 할 때, 한 명의 사용자의 총 데이터는 다음의 수학적 식 3과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 3

$$[0037] \mathbf{d}_u = \begin{pmatrix} \mathbf{d}_{u,-1} \\ \mathbf{d}_{u,0} \\ \mathbf{d}_{u,1} \end{pmatrix} u \in U$$

[0038] 이 때, 한 명의 사용자가 전송하는 신호는 다음의 수학적 식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0039]

$$\mathbf{x}_u = (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C}\mathbf{A}_u)\mathbf{d}_u$$

[0040]

여기서, N_{CP} 가 CP(cyclic prefix)의 크기라 할 때, $\mathbf{C}$ 는 $(N+N_{CP}) \times N$ 크기의 CP를 만들어주는 매트릭스이고, $\otimes$ 는 크로네커 곱(Kronecker product)을 의미한다. 0번째 사용자를 검파할 때 검파의 대상이 되는 수신 신호는 다음의 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

[0041]

$$\hat{\mathbf{y}}_\alpha = \tilde{\mathbf{H}}_\alpha \mathbf{A}_\alpha \mathbf{d}_{\alpha,0} + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{i}_u + \mathbf{n}$$

[0042]

여기서, $\tilde{\mathbf{H}}_\alpha$ 는 순환 매트릭스(circulant matrix)이고, $\mathbf{A}_\alpha$ 는 GFDM 변조 매트릭스고, $\mathbf{i}_u$ 는 u 번째 사용자에 의한 간섭 신호를 나타낸다. $\tilde{\mathbf{H}}_\alpha$ 는 $N \times N$ 의 크기를 가질 수 있다. 또한, $\mathbf{i}_u$ 는 다음의 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

[0043]

$$\mathbf{i}_u = \mathbf{S}_{l_u} \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C}\mathbf{A}_u) \mathbf{d}_u$$

[0044]

여기서, $\mathbf{H}_u$ 는 퇴플리츠 매트릭스(Toeplitz matrix)이다. $\mathbf{H}_u$ 는 크기의 채널을 나타내는 퇴플리츠 매트릭스일 수 있다. 또한, $\mathbf{S}_{l_u}$ 는 연속된 신호를 검파 시간에 따라 자르는 매트릭스로서, 다음의 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

[0045]

$$\mathbf{S}_{l_u} = \begin{pmatrix} \mathbf{0}_{N \times l_u}, \mathbf{I}_N, \mathbf{0}_{N \times (3(N+N_{CP})+L-1-N-l_u)} \end{pmatrix}$$

[0046]

일실시예에서, MMSE 수신기는 수신 신호에 특정한 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 곱하여 간섭 및 노이즈를 최소화할 수 있다. 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 도출하기 위하여, 수신된 신호의 자기상관과 데이터 및 수신된 신호 간의 상호상관이 이용될 수 있다. 수신된 신호의 자기상관은 다음의 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

$$E[\hat{\mathbf{y}}_\alpha \hat{\mathbf{y}}_\alpha^H] = \tilde{\mathbf{H}}_\alpha \mathbf{A}_\alpha \mathbf{A}_\alpha^H \tilde{\mathbf{H}}_\alpha^H + \sum_{u \neq \alpha} \mathbf{R}_{i_u} + \sigma_n^2 \mathbf{I}_N$$

$$\mathbf{R}_{i_u} = \mathbf{S}_{l_u} \mathbf{H}_u (\mathbf{I}_3 \otimes \mathbf{C} \mathbf{A}_u \mathbf{A}_u^H \mathbf{C}^H) \mathbf{H}_u^H \mathbf{S}_{l_u}^H$$

$$= \mathbf{S}_{l_u} \mathbf{H}_u \mathbf{R}_{x_u} \mathbf{H}_u^H \mathbf{S}_{l_u}^H$$

$$\mathbf{R}_{x_u} = E[\mathbf{x}_u \mathbf{x}_u^H]$$

[0047]

[0048]

한편, 데이터 및 수신된 신호 간의 상호상관은 데이터가 비상관인 경우 다음의 수학식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_\alpha^H] = \mathbf{A}_\alpha^H \tilde{\mathbf{H}}_\alpha^H$$

[0049]

[0050]

이 때, 수학식 8 및 9를 이용하여 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 는 다음의 수학식 10과 같이 정의될 수 있다.

수학식 10

$$\mathbf{W} = E[\mathbf{d}_{\alpha,0} \hat{\mathbf{y}}_\alpha^H] E[\hat{\mathbf{y}}_\alpha \hat{\mathbf{y}}_\alpha^H]^{-1}$$

[0051]

[0052]

이와 같이 도출된 검파 매트릭스 $\mathbf{W}$ 를 수신 신호에 곱하는 방식을 통해 인접한 주파수 대역으로부터의 간섭 및 노이즈를 최소화할 수 있다.

[0053]

도 2 및 도 3은 일실시예에 따른 GFDM 송신 구조의 일부를 개략적으로 나타낸 도면이다.

[0054]

도 2를 참조하면, Info Bits에 채널 코딩 및 M-QAM(Multi-Level Quadrature Amplitude Modulation) 심볼 매핑이 수행될 수 있으며, 이어서 서브캐리어 매핑이 수행될 수 있다. CP(cyclic prefix)를 덧붙인 후, 디지털 펄스 발생기 및 Tail-biting 을 거쳐 DAC up-conversion을 통해 송신될 수 있다.

[0055]

한편, 도 3에는 GFDM 방식에 따라 직렬/병렬 컨버터를 이용하여 Data Bits를 부호화하는 과정이 보다 상세하게 도시된다. 실시예들은 도시된 GFDM 송신 구조를 기준으로 설명되지만, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다.

[0056]

예를 들어, 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같은 구조를 이용하여 사용자 단말에서 비어있는 주파수 대역을 이용하여 비동기식으로 신호를 전송하면, 기지국에서 위에서 설명한 방식으로 신호의 수신 및 검파가 진행될 수 있다.

[0057]

도 4는 일실시예에 따른 비동기 통신 방법의 기존 기술과의 성능 비교를 나타내는 도면이다.

[0058]

구체적으로, 도 4에는 OFDM 방식에서 ZF(zero-forcing) 수신기를 이용하는 경우, GFDM 방식에서 ZF 수신기를 이용하는 경우, 및 GFDM 방식에서 MMSE 수신기를 이용하는 경우의 시뮬레이션 결과가 도시된다. 가로 축은 검파 대상 신호와 간섭 신호 간의 SINR을 나타내고, 세로 축은 Data rate를 나타낸다. 도 4에는, 검파 대상 신호의 SNR은 30 dbm으로 고정되어 있고, 간섭 유지의 SNR은 0 dbm부터 50 dbm까지 변화시킨 결과가 도시된다.

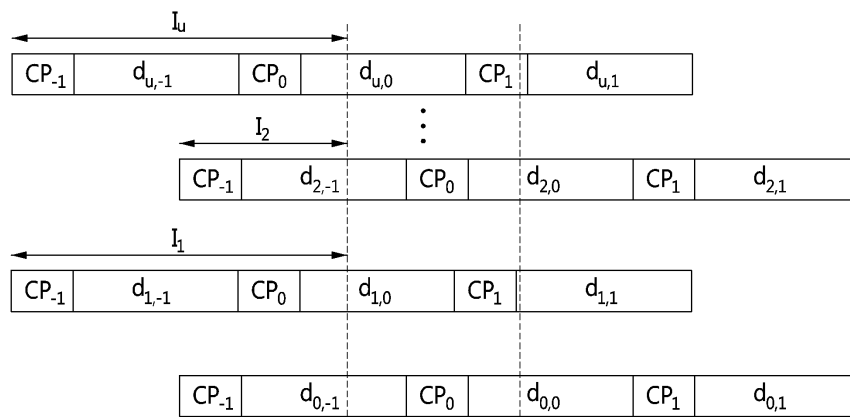
[0059]

간섭이 없는 경우 OFDM 방식에서 ZF 수신기를 이용하는 경우가 가장 성능이 좋지만, 간섭이 조금만 발생해도 GFDM 방식에서 MMSE 수신기를 이용하는 경우가 월등하게 우수한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 한편, GFDM 방식에서 ZF 수신기를 이용하는 경우 간섭이 많을 때 OFDM 방식에서 ZF 수신기를 이용하는 경우보다 좋은 성능을 보이지만, 전반적으로 GFDM 방식에서 MMSE 수신기를 이용하는 경우에 비해 낮은 성능을 보인다. 또한, OFDM 방식에서 ZF 수신기를 이용하는 경우 SINR이 감소함에 따라 급격하게 성능이 저하되는 것에 비하여, GFDM 방식에서 MMSE 수신기를 이용하는 경우 상대적으로 성능 저하가 크지 않다는 것을 확인할 수 있다.

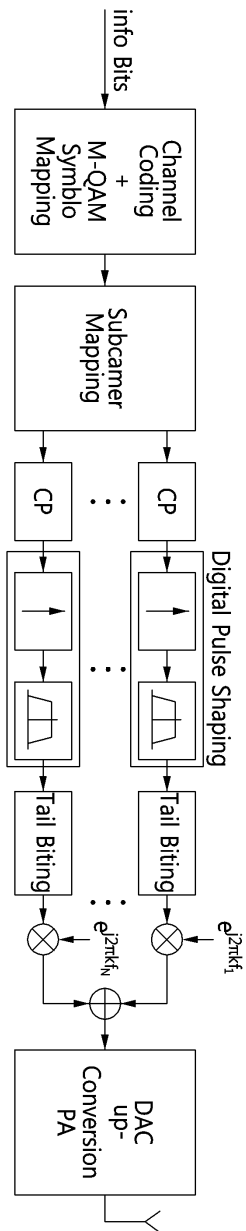
- [0060] 이상에서 설명된 실시예들은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치, 방법 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 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 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(configuration)도 가능하다.
- [0061] 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, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embodiment)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.
- [0062] 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 등을 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. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0063] 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. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

도면

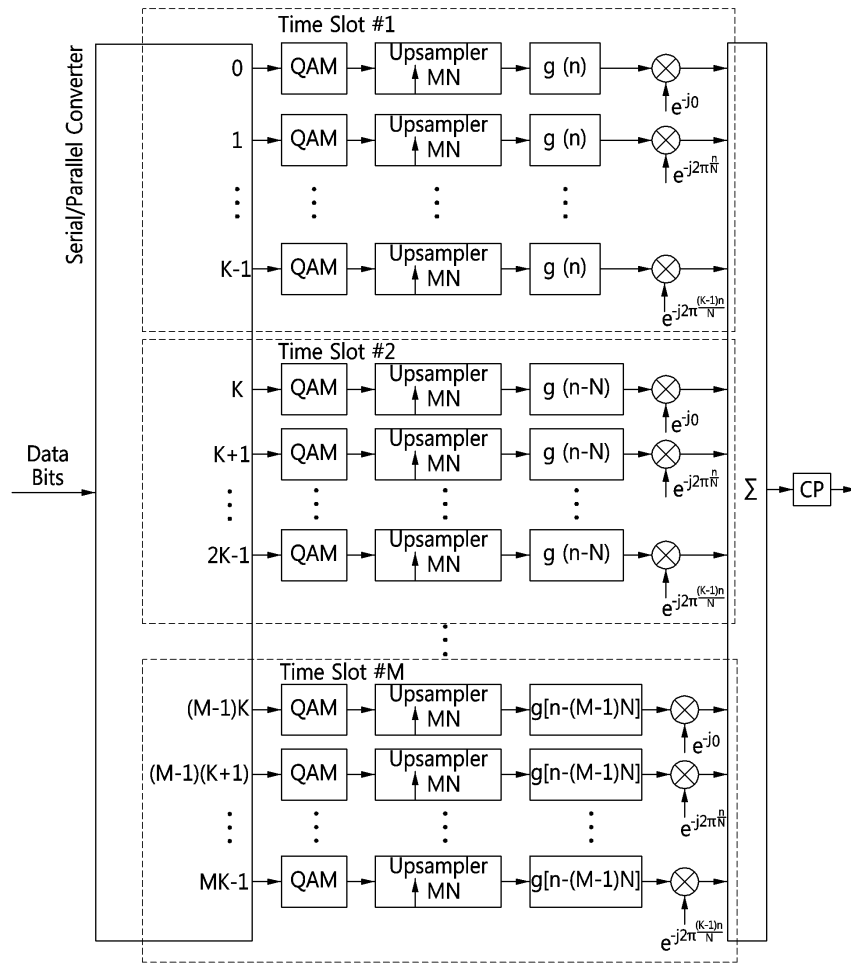
도면1



도면2



도면3



도면4

