(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년06월08일
(11) 등록번호 10-1740441
(24) 등록일자 2017년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) *H03H 17/02* (2006.01)
H04L 25/03 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2691 (2013.01)
H03H 17/0248 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0019598
(22) 출원일자 2016년02월19일
심사청구일자 2016년02월19일
(56) 선행기술조사문헌
EP2608474 A
US20130163542 A1

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
고영채
서울특별시 강남구 일원로 127, 107동 301호 (일원동, 가람아파트)
임병주
서울특별시 강서구 등촌로13마길 29-3, 202호 (등촌동, 정우아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

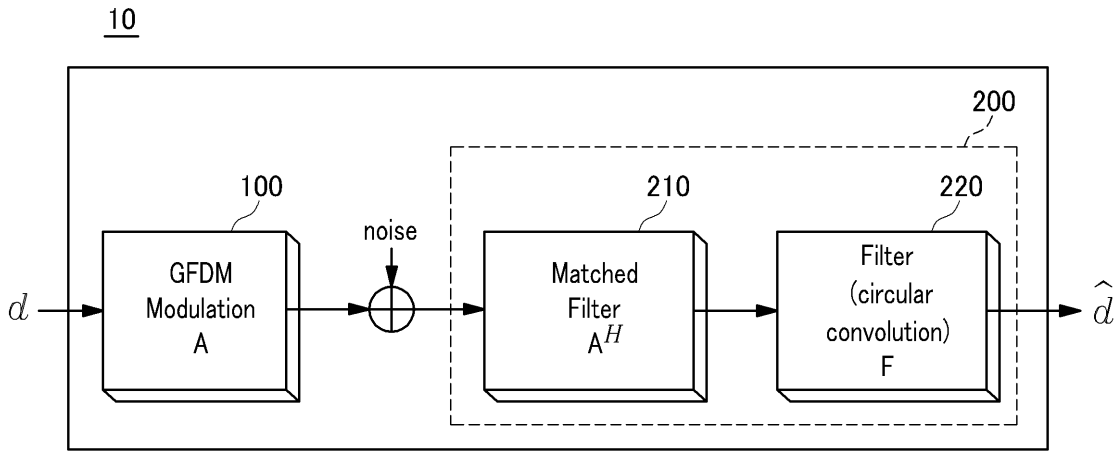
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 노상민

(54) 발명의 명칭 **무선 통신 시스템에서의 간섭 제거 장치 및 방법**

(57) 요 약

GFDM 신호의 간섭 제거 시, GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하고, 수신된 GFDM 신호를 GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬을 사용하는 제 1 필터 및 기산출된 최적 계수를 적용하여 순환 컨벌루션하는 제 2 필터를 통해 간섭을 제거한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04L 25/03006 (2013.01)
H04L 27/2672 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 B0126-15-1012
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 방송통신산업기술개발사업
연구과제명 IoT환경에서 촉감통신 서비스 실현을 위한 차세대 초저지연/고효율 무선접속 기술 연구(1/4)
기 여 율 1/1
주관기관 연세대학교 산학협력단
연구기간 2015.03.01 ~ 2016.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing) 신호를 처리하는 간섭 제거 장치에 있어서,

GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하고, 수신된 GFDM 신호를 제 1 필터를 사용하여 복조하는 복조기; 및

상기 제 1 필터의 전단 또는 후단에 위치하여, 상기 수신된 GFDM 신호를 기산출된 최적 계수를 적용하여 필터링하는 제 2 필터를 포함하며,

상기 제 2 필터는 순환 컨벌루션(circular convolution)을 처리하는 원형 필터(circular filter)이며,

상기 최적 계수는,

상기 제 2 필터의 원형 행렬, GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix), 및 상기 기설정된 필터 행렬들 간의 곱과 간섭 성분 간의 차에 대한 프로베니우스 노름(frobenius norm) 값을 최소화하는 계수로 설정되며,

상기 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬은 상기 제 1 필터의 행렬인 것인, 간섭 제거 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 최적 계수를 산출하여 저장하는 원형 필터 계수 산출부를 더 포함하며,

상기 원형 필터 계수 산출부는,

상기 원형 행렬을 고유값 분해(eigenvalue decomposition) 처리한 결과에 기반하여, 이산푸리에변환 행렬의 허미션 행렬, 상기 원형 행렬의 첫 번째 행을 역이산푸리에변환한 것을 대각화한 행렬, 및 이산푸리에변환 행렬들 간의 곱을 계산하고,

상기 계산의 결과를 벡터화하여 벡터 행렬로 변경하고,

상기 벡터 행렬에 대해 최소자승법(Least Square Method, LSM)을 적용하여 상기 원형 행렬의 고유값의 벡터 값을 계산하고,

상기 고유값의 벡터 값에 대해 이산푸리에변환 행렬을 곱하여 상기 원형 필터의 최적 계수를 산출하는, 간섭 제거 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 필터는,

정합 필터(matched filter) 또는 최소평균제곱오차 필터(Minimum Mean-Squared Error filter, MMSE) 중 어느 하나인, 간섭 제거 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 필터가 상기 제 1 필터의 전단에 위치할 경우, 상기 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition

matrix), 상기 제 2 필터의 원형 행렬, 및 상기 기설정된 필터 의 행렬의 순서로 곱한 값에 기초하여 상기 최적 계수가 설정되며,

상기 제 2 필터가 상기 제 1 필터의 후단에 위치할 경우, 상기 제 2 필터의 원형 행렬, 상기 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬, 및 상기 기설정된 필터 행렬의 순서로 곱한 값에 기초하여 상기 최적 계수가 설정된, 간섭 제거 장치.

청구항 5

GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing) 신호를 처리하는 간섭 제거 장치를 통한 간섭 제거 방법에 있어서,

GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하는 단계; 및

상기 수신된 GFDM 신호를, GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix)을 사용하는 제 1 필터 및 기산출된 최적 계수를 적용하여 순환 컨벌루션(circular convolution)하는 제 2 필터를 통해 간섭을 제거하는 단계를 포함하며,

상기 최적 계수는,

상기 제 2 필터의 원형 행렬, 상기 제 1 필터의 행렬 및 상기 기설정된 필터 행렬들 간의 곱과 간섭 성분 간의 차에 대한 프로베니우스 노름(frobenius norm) 값을 최소화하는 계수로 설정된, 간섭 제거 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 간섭을 제거하는 단계는,

상기 수신된 GFDM 신호를 상기 제 1 필터를 사용하여 복조하는 단계; 및

상기 복조된 신호에 상기 제 2 필터의 상기 최적 계수를 적용하여 필터링하는 단계를 포함하는, 간섭 제거 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 간섭을 제거하는 단계는,

상기 수신된 GFDM 신호를 상기 제 2 필터의 상기 최적 계수를 적용하여 필터링하는 단계; 및

상기 최적 계수를 적용하여 필터링된 신호를 상기 제 1 필터를 사용하여 복조하는 단계를 포함하는, 간섭 제거 방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 간섭을 제거하는 단계 이전에,

상기 최적 계수를 산출하여 상기 제 2 필터의 계수로 설정하는 단계를 더 포함하며,

상기 제 2 필터의 계수로 설정하는 단계는,

상기 원형 행렬을 고유값 분해(eigenvalue decomposition) 처리한 결과에 기반하여, 이산푸리에변환 행렬의 허미션 행렬, 상기 원형 행렬의 첫 번째 행을 역이산푸리에변환한 것을 대각화한 행렬, 및 이산푸리에변환 행렬들

간의 곱을 계산하는 단계;

상기 계산의 결과를 벡터화하여 벡터 행렬로 변경하는 단계;

상기 벡터 행렬에 대해 최소자승법(Least Square Method, LSM)을 적용하여 상기 원형 행렬의 고유값의 벡터 값을 계산하는 단계; 및

상기 고유값의 벡터 값에 대해 이산푸리에변환 행렬을 곱하여 원형 필터의 최적 계수를 산출하는 단계를 포함하는, 간섭 제거 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에서 간섭을 제거하는 장치 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing) 통신 시스템에서 비직교 신호(non-orthogonal signal)에 대한 간섭을 제거하는 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 4세대 이동통신 및 무선랜 시스템 등에서의 핵심 기술로서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술이 널리 사용되어 왔다. 그러나 OFDM 시스템은 동기화에 매우 민감하고 대역외 채널(Out-Of-Band channels, OOB)이 큰 단점이 있다. 이러한 문제점으로 인하여 5세대 네트워크의 시나리오인 M2M(Machine-to-Machine) 및 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 등에서는 OFDM 기술이 적합하지 않다.

[0003] 이에 따라, OFDM의 단점을 극복하고 5세대 네트워크 시나리오에 적합한 새로운 파형(wave form)을 사용하는 GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing) 및 FBMC(Filter Bbank Multicarrier) 등의 통신 기술이 제안되고 있다. 이러한 새로운 파형들의 특징은 필터링을 통하여 대역외 채널을 줄일 수 있고 주파수 오류에 좀 더 강인하다는 것이다. 특히, 새로운 파형 후보중 하나인 GFDM은 블럭 기반 필터링 멀티캐리어 기법으로서, 저지연 통신에 적합하고 첨두전력대평균전력비(Peak-to-AveRage Powr, PAPR)가 낮다는 장점이 있다.

[0004] 이처럼, GFDM 방식은 OFDM에 비해 여러 가지 장점을 가지지만, 부반송파(subcarrier) 간의 직교성을 잃어버리기 때문에 간섭이 발생할 수밖에 없는 문제가 있었다.

[0005] 이와 관련하여, 대한민국공개특허 제 10-2009-0075730호(발명의 명칭: 무선 통신 시스템에서 간섭 제거를 위한 방법 및 장치)는, 신호가 OFDM 시스템 같은 무선 통신 시스템에서 송신되기 전에 상기 신호에 적용된 윈도우 함수에 의해 발생되는 간섭을 제거하기 위한 방법 및 상기 방법을 수행하기 위한 장치를 개시하고 있다. 이러한 간섭 제거 장치는 윈도우 함수가 적용되는 신호를 수신하는 수신기 장치, 상기 수신기 장치에 결합된 처리 디바이스를 포함하고, 상기 처리 디바이스는 윈도우 함수로부터 유도된 복수의 계수들(실질적으로 실시간으로 생성하거나 상기 처리 디바이스에 결합된 저장 디바이스로부터 검색함으로써)을 얻고, 수신된 신호로부터 적어도 간섭의 일부를 제거하기 위해 상기 수신된 신호에 상기 계수들을 적용한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 실시예는 GFDM 시스템에서 GFDM 신호에 대해 간섭 제거를 처리하는 간섭 제거 장치 및 그 방법을 제공하고자 한다.

[0007] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기와 같은 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 GFDM 신호를 처리하는 간섭 제거 장치는, GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하고, 수신된 GFDM 신호를 제 1 필터를 사용하여 복조하는 복조기; 및 상기 제 1 필터의 전단 또는 후단에 위치하여, 상기 수신된 GFDM 신호를 기산출된 최적 계수를 적용하여 필터링하는 제 2 필터를 포함한다. 이때, 상기 제 2 필터는 순환 컨벌루션(circular convolution)을 처리하는 원형

필터(circular filter)이며, 상기 최적 계수는, 상기 제 2 필터의 원형 행렬, GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix), 및 상기 기설정된 필터 행렬들 간의 곱과 간섭 성분 간의 차에 대한 프로베니우스 노름(frobenius norm) 값을 최소화하는 계수로 설정되며, 상기 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬은 상기 제 1 필터의 행렬이다.

[0009] 또한 본 발명의 다른 측면에 따른 GFDM 신호를 처리하는 간섭 제거 장치를 통한 간섭 제거 방법은, GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하는 단계; 및 상기 수신된 GFDM 신호를, GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix)을 사용하는 제 1 필터 및 기산출된 최적 계수를 적용하여 순환 컨벌루션(circular convolution)하는 제 2 필터를 통해 간섭을 제거하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 최적 계수는, 상기 제 2 필터의 원형 행렬, 상기 제 1 필터의 행렬 및 상기 기설정된 필터 행렬들 간의 곱과 간섭 성분 간의 차에 대한 프로베니우스 노름(frobenius norm) 값을 최소화하는 계수로 설정된다.

발명의 효과

[0010] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 단순한 구조의 필터인 원형 필터를 사용하여 GFDM 신호의 간섭을 제거함으로써, 기존의 간섭 제거 방식(예를 들어, SCI 방식)에서와 같이 반복적인 처리과정 없이도 간섭을 최소한으로 줄일 수 있다.

[0011] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, GFDM에서 기존에 사용하고 있는 수신 기법을 그대로 사용 가능하되, 수신 기법에 따른 필터를 설계할 수 있어 간단하게 간섭 제거 필터를 사용할 수 있다. 이에 따라, GFDM 통신 시스템의 전체적인 구조를 변화시키지 않으면서도, 필터 설계 시 복잡도를 낮출 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신시스템의 구조도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 GFDM 데이터의 구조를 개념적으로 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 송신 장치의 구성도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 수신 장치의 구성도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원형 필터 계수를 구하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템의 구조도이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 수신 장치의 구성도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 신호의 간섭 제거 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 본 발명을 명확하게 설명하기 위해 도면에서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 또한, 도면을 참고하여 설명하면서, 같은 명칭으로 나타낸 구성일지라도 도면에 따라 도면 번호가 달라질 수 있고, 도면 번호는 설명의 편의를 위해 기재된 것에 불과하고 해당 도면 번호에 의해 각 구성의 개념, 특징, 기능 또는 효과가 제한 해석되는 것은 아니다.

[0014] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 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 의미하며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0015] 본 명세서에 있어서 '부(部)'란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나

의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다.

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신시스템의 구조도이다. 그리고 도 2는 본 발명의 일 실시예에 적용되는 GFDM 데이터의 구조를 개념적으로 도시한 도면이다.

[0017] 도 1에 도시한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10)은 송신 장치(100) 및 수신 장치(200)를 포함한다.

[0018] 구체적으로, 송신 장치(100)는 데이터(d)를 GFDM 변조(GFDM Modulation) 처리하여 GFDM 신호를 송신한다. 이러한, GFDM 신호는 노이즈 채널(noise)을 통해 수신 장치(200)로 전송된다. 참고로, 노이즈 채널은 부가 백색 가우시안 노이즈(Additive White Gaussian Noise, AGWN) 채널일 수 있다.

[0019] 이에 따라, 수신 장치(200)는 수신된 GFDM 신호를 GFDM 복조(GFDM demodulation) 처리하여 검출 데이터($\hat{d}$)로서 출력한다. 도 1에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(200)가 정합 필터(Matched Filte)(210), 및 순환 컨볼루션(circular convolution)을 처리하는 원형 필터(circular filter)(220)를 포함하는 것을 나타내었다. 참고로, 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(200)는 GFDM 복조용 필터로서 정합 필터(210) 이외에도 다른 종류의 필터(예를 들어, 최소평균제곱오차 필터(Minimum Mean-Squared Error filter, MMSE)) 등을 사용할 수 있다. 이와 같은, GFDM 복조용 필터는 송신 장치(100)에서 서브캐리어를 필터링 처리한 방식과 대응하는 종류의 필터로 구성될 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(200)는 GFDM 복조용 필터(이하, '제 1 필터'라고 지칭함)(210)와 원형 필터(이하 '제 2 필터'라고 지칭함)(220)를 포함한다.

[0020] 도 1에서 간략히 설명한 GFDM 통신시스템(10)의 구성에 대해서는 이하 도 3 내지 도 5를 참조하여 상세히 설명하도록 한다. 이에 앞서, 도 2를 참조하여 GFDM 통신 시스템(10)이 처리하는 GFDM 신호에 대해서 설명하도록 한다.

[0021] 도 2에 도시한 바와 같이, GFDM 데이터는 K개의 서브캐리어(subcarrier)와 M개의 서브심볼(subsymbol)로 이루어진 블록 단위로 구성이 되어있다. 이때, GFDM통신 시스템(10)에서는 송신 장치(100)에서 각 서브캐리어마다 필터를 사용하는 것이 특징으로서, 이러한 GFDM 변조용 필터를 통과하면 대역외 채널(OOB)을 줄일 수 있으며, CP(cyclic prefix)를 이용하기 때문에 수신 장치에서의 등화 과정이 간단하다.

[0022] 한편, 송신 장치(100)를 통해 전송되는 GFDM 신호는 아래 수학식 1에서와 같이 표현될 수 있다.

[0023] <수학식 1>

[0024] $$x[n]=\sum_{k=0}^{K-1}\sum_{m=0}^{M-1} g_{k,m}[n]d_{k,m},\ n=0,\ldots,MN-1$$

[0025] 수학식 1에서, $g_{k,m}[n]$은 서브캐리어마다 통과시키는 필터이고, $d_{k,m}$은 k번째 서브캐리어와 m번째 서브심볼로 전송하는 데이터를 의미한다. 이러한 수학식 1은 아래 수학식 2와 같은 행렬 형태로 표현할 수 있다.

[0026] <수학식 2>

[0027] $$\vec{x}=A\vec{d}$$

[0028] 수학식 2에서, A는 제 1 필터(210)의 행렬 $(\vec{g}_{0,0}\cdots\vec{g}_{K-1,0}\vec{g}_{0,1}\cdots\vec{g}_{K-1,M-1})$ 로서 NM*MK 크기의 행렬을 의미한다. 이때, N은 업샘플링 계수를 의미한다.

[0029] 이러한 GFDM 신호를 수신 장치(200)가 수신하면, 정합 필터(matched filter) 또는 최소평균제곱오차 필터(MMSE) 등의 GFDM 복조용 필터(210)를 통해 데이터($\hat{d}$)를 검출한다.

[0030] 이때, 정합 필터를 사용할 경우, 수신 장치(200)에서 검출되는 검출 데이터($\hat{d}$)는 아래 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

[0031] <수학식 3>

[0032] $$\hat{d}=A^{H}Ad+A^{H}n$$

[0033] 수학식 3에서, n은 N_0의 파워를 갖는 노이즈를 의미한다.

[0034] MMSE 필터를 사용한 경우, 수신 장치(200)에서 검출되는 데이터는 아래 수학식 4와 같이 표현할 수 있다.

[0035] <수학식 4>

[0036] $$\hat{d} = (A^H A + N_0 I)^{-1} A^H A d + (A^H A + N_0 I)^{-1} A^H n$$

[0037] 한편, 일반적으로 GFDM 통신 시스템의 수신단에서 정합 필터 및 MMSE 필터 등의 필터(즉, '1차 필터')를 사용하더라도, 간섭이 존재할 수 있다.

[0038] 이에 따라, 도 1에서와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 시스템(10)의 수신 장치(200)는 제 1필터(210)와 더불어 제 2 필터(220)로서 원형 필터(circular filter)를 더 포함한다. 이러한 원형 필터(220)를 통해 GFDM 신호를 1차 필터만 사용하여 처리한 것보다 간섭을 최소화시킬 수 있다.

[0039] 참고로, 이상에서 설명한 제 1 필터(210) 및 제 2 필터(220)는 두 필터의 필터링 순서를 의미하는 것이 아니며, 수신 장치(200)에 포함되는 2종류의 필터를 의미한다. 도 1 내지 도 5에서는 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(200)에서 제 1 필터(즉, 정합 필터)(210)의 후단에 제 2 필터(즉, 원형 필터)(220)가 위치하는 경우를 나타내었다. 한편, 도 6 및 도 7에서는 본 발명의 다른 실시예에 따른 수신 장치(200')에서 제 2 필터(즉, 원형 필터)(220')가 제 1 필터(즉, 정합 필터)(210')의 전단에 위치하는 것을 나타내었다.

[0040] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 송신 장치의 구성도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 수신 장치의 구성도이다. 또한, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원형 필터 계수를 구하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0041] 도 3에 도시된 바와 같이, 송신 장치(100)는 전송하고자 하는 데이터(d)를 S/P(Serial to Parallel encoder) 통해 병렬 데이터로 컨버팅한다. 그리고 송신 장치(100)는 기설정된 필터가 포함된 GFDM 변조기(110)를 통해 상기 S/P 처리된 데이터를 GFDM 변조 처리한다. 이때, 송신 장치(100)는 각 서브캐리어가 기설정된 필터를 통과하도록 한다. 그런 다음 송신 장치(100)는 GFDM 변조된 GFDM 신호에 CP를 추가한 후, 디지털-아날로그 컨버팅(D/A)을 통해 업컨버젼한 후 송출한다.

[0042] 다음, 도 4에 도시된 바와 같이, 수신 장치(200)는 GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하여 아날로그-디지털 컨버팅(A/D)을 통해 다운컨버젼한다. 그리고 수신 장치(200)는 디지털 컨버팅된 GFDM 신호에서 CP를 제거하고, CP가 제거된 신호를 제 1 필터(210)를 통해 필터링한 후 GFDM 복조 처리한다. 다음으로 수신 장치(200)는 GFDM 복조된 신호를 P/S(Parallel to Serial encoder)를 통해 직렬 데이터로 컨버팅한다. 이상, 변조된 GFDM 신호를 수신하여, 제 1 필터(210)를 사용하여 복조하는 구성들을 'GFDM 복조기'로서 통칭할 수 있다.

[0043] 또한, 수신 장치(200)는 GFDM 복조기를 통해 출력된 신호를 다시 제 2 필터(220)를 통해 필터링하여 간섭을 제거한 후 검출 데이터($\hat{d}$)를 출력한다. 이때, 제 2 필터(220)는 원형 필터로서, GFDM 복조된 신호에 기설정된 최적 계수를 적용하여 간섭을 제거한다.

[0044] 이하, 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(200)의 제 2 필터(220)의 계수를 산출 및 설정하는 방법에 대해서 좀 더 상세히 설명하도록 한다.

[0045] 도 5에서는, 단계(S221) 내지 단계 (S225)의 처리를 통해 제 2 필터(220)의 계수가 산출되는 것을 예로서 나타내었다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 수신 장치(220)는, 단계(S221) 내지 단계 (S225)를 처리하여 제 2 필터(220)의 계수를 산출 및 설정하는 원형 필터 계수 산출부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 이러한 원형 필터 계수 산출부(미도시)는 산출된 필터 계수를 제 2 필터(220)의 계수로 사용되도록 설정 및 저장할 수 있다. 또한, 원형 필터 계수 산출부(미도시)는 수신 장치(220)와는 별개의 구성일 수 있으며, 이때 수신 장치(220)는 원형 필터 계수 산출부(미도시)가 산출한 제 2 필터(220)의 필터 계수가 저장되는 스토리지를 포함할 수 있다.

[0046] 구체적으로, 제 2 필터인 원형 필터(220)의 최적 계수를 산출하는 절차는 다음과 같다. 원형 필터(220)의 행렬인 원형 행렬(circulant matrices)을 고유값 분해(eigenvalue decomposition) 처리한 결과에 기반하여, 이산푸리에변환(DFT) 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix), 원형 행렬의 첫 번째 행을 역이산푸리에변환(inverse discrete Fourier transform, IDFT)한 것을 대각화한 행렬, 및 이산푸리에변환 행렬(DFT)들 간의 곱을 계산한다(S221). 그리고 상기 계산의 결과를 벡터화하여 벡터 행렬(B)로 생성하고(S222), 상기 벡터 행렬에 대해 최소자승법(Least Square Method, LSM)을 적용하여(S223) 상기 원형 행렬의 고유값(eigenvalue)의 벡터 값을 계

산한다(S224). 그런 다음, 상기 고유값의 벡터 값에 대해 이산푸리에변환 행렬을 곱하여 원형 필터(220)의 최적 계수를 산출한다(S225).

[0047] 이러한 원형 필터(220)의 최적 계수를 산출하는 절차는 아래와 같이 수학식들을 통해 정의될 수 있다.

[0048] 도 5에서는, 도 1에 도시한 바와 같이 수신 장치(200)에서 원형 필터(220)가 정합 필터(210)의 후단에 위치한 경우를 나타내었다. 즉, 정합 필터(210)를 통해 필터링된 데이터가 원형 필터(220)에 입력된다.

[0049] 이때, 정합 필터(210) 및 원형 필터(220)를 거쳐 출력되는 검출 데이터($\hat{d}$)는 아래 수학식 5와 같다.

[0050] <수학식 5>

[0051] $$\hat{d} = \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}r = \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}\boldsymbol{A}d + \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}n$$

[0052] 수학식 5에서, F, A^{H}, 및 A는 각각 원형 필터(220)의 행렬, 송신 장치(100)의 기설정된 필터의 행렬 A에 대한 허미션 행렬을 의미한다.

[0053] 이때, $FA^{H}A$ 가 항등 행렬(또는 단위 행렬)(identity matrix)이 될 경우 GFDM 신호에 대한 간섭이 완전히 제거된다. 그러나, F에 의해 $FA^{H}A$가 완전한 항등 행렬이 될 수 없으므로, 아래 수학식 6과 같은 식을 만족하는 F를 구하여 원형 필터(220)의 최적 계수를 산출할 수 있다.

[0054] <수학식 6>

[0055] $$\min \| \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}\boldsymbol{A} - \boldsymbol{I} \|_{F}^{2}$$

[0056] 수학식 6에서, F는 원형 필터(220)의 행렬을 의미하므로 원형 행렬이 된다. 그리고 $\| \cdot \|$는 행렬의 프로베니우스 노름(frobenius norm)을 의미한다. 또한, I는 간섭 성분을 의미한다.

[0057] 한편, 원형 행렬의 특징에 따라 고유값 분해(eigenvalue decomposition)가 가능하며, 이에 따라 F를 분해(decomposition)한 결과는 다음 수학식 7과 같다.

[0058] <수학식 7>

[0059] $$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{W}^{H}\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{W}$$

[0060] 수학식 7에서, W는 이산푸리에변환(DFT) 행렬이며, Λ는 F의 첫 번째 행을 역이산푸리에변환(IDFT)한 것을 대각화한 행렬이다.

[0061] 이러한 수학식 7과 같은 성질을 이용하여, 상기 수학식 6의 $FA^{H}A$를 아래 수학식 8과 같이 정리할 수 있다.

[0062] <수학식 8>

[0063] $$\begin{aligned} \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}\boldsymbol{A} &= \boldsymbol{W}^{H}\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{W}\boldsymbol{A}^{H}\boldsymbol{A} \\ &= \begin{bmatrix} \vec{a}_1 \cdots \vec{a}_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{b}_1^{H} \\ \vdots \\ \vec{b}_{MN}^{H} \end{bmatrix} \\ &= \lambda_1 \vec{a}_1 \vec{b}_1^{H} + \lambda_2 \vec{a}_2 \vec{b}_2^{H} + \cdots + \lambda_{MN} \vec{a}_{MN} \vec{b}_{MN}^{H} \end{aligned}$$

[0064] 이러한 수학식 8에 기초하여 수학식 6을 재정리하면 아래 수학식 9와 같이 표현할 수 있다.

[0065] <수학식 9>

[0066] $$\min \| \boldsymbol{F}\boldsymbol{A}^{H}\boldsymbol{A} - \boldsymbol{I} \|_{F}^{2} = \min \| \lambda_1 \vec{a}_1 \vec{b}_1^{H} + \lambda_2 \vec{a}_2 \vec{b}_2^{H} + \cdots + \lambda_{MN} \vec{a}_{MN} \vec{b}_{MN}^{H} - \boldsymbol{I} \|_{F}^{2}$$

[0067] 수학식 9는 행렬 형태를 나타내며, 수학식 9의 행렬을 벡터화시켜 벡터로 변경하면 아래 수학식 10과 같이 간략히 정리할 수 있다.

[0068] <수학식 10>

$$\min \| \lambda_1 \mathrm{vec}\ (\vec{a}_1\vec{b}_1^H) + \lambda_2 \mathrm{vec}\ (\vec{a}_2\vec{b}_2^H) + \cdots + \lambda_{MN} \mathrm{vec}\ (\vec{a}_{MN}\vec{b}_{MN}^H) - \mathrm{vec}\ (\boldsymbol{I}) \|_F^2$$

$$= \min \left\| \left[\mathrm{vec}\ (\vec{a}_1\vec{b}_1^H) \cdots \mathrm{vec}\ (\vec{a}_{MN}\vec{b}_{MN}^H) \right] \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_{MN} \end{bmatrix} - \mathrm{vec}\ (\boldsymbol{I}) \right\|_F^2$$

$$= \min \| \boldsymbol{B}\vec{\lambda} - \mathrm{vec}\ (\boldsymbol{I}) \|^2$$

[0069]

[0070] 이러한 수학식 10에 대해 최소자승법(Least Square Method, LSM)을 사용하여 $\vec{\lambda}$를 산출한다. 이에 따른 $\vec{\lambda}$는 아래 수학식 11과 같다.

[0071] <수학식 11>

[0072] $$\vec{\lambda}_{LS} = (\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^T\mathrm{vec}(\boldsymbol{I})$$

[0073] 수학식 11에서, $\vec{\lambda}$는 F의 고유값(eigenvalue)이므로, $\vec{\lambda}$를 이산푸리에변환(DFT)하여 원형 필터(220)의 계수 $\vec{f}$를 산출한다. 이에 따른 $\vec{f}$는 아래 수학식 12와 같다.

[0074] <수학식 12>

[0075] $$\vec{f} = \begin{bmatrix} f_0 \\ \vdots \\ f_{MN-1} \end{bmatrix} = DFT(\vec{\lambda})$$

[0076] 이처럼, 수학식 5 내지 12를 통해 산출된 최적 계수 $\vec{f}$를 원형 필터(220)의 계수로 설정함으로써, GFDM 신호에 대한 간섭을 최소화시킬 수 있다.

[0077] 이하에서는, 도 6 및 도 7을 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템에 대해 설명하도록 한다.

[0078] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템의 구조도이다. 그리고 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 수신 장치의 구성도이다.

[0079] 도 6에 도시한 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10')은 송신 장치(100') 및 수신 장치(200')를 포함한다.

[0080] 이때, 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10')은 앞서 설명한 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10)과 비교하여, 수신 장치(200')에서 원형 필터(220')가 정합 필터(210')의 전단에 위치한다는 점을 제외하고, 나머지 구성 및 동작들은 모두 동일(또는 유사)하다. 이에 따라, GFDM 통신 시스템(10')에서 송신 장치(100')의 구성 및 동작은 도 3에서 설명한 송신 장치(100)와 동일(또는 유사)하다. 또한, 수신 장치(200')에서 원형 필터 (220')의 계수를 설정하는 절차 또한 도 5에서 설명한 절차상에서 일부 값의 산출 순서를 변경하는 것 외에 동일(또는 유사)하다.

[0081] 따라서, 설명의 편의상 이하에서는 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10')의 핵심적인 기술인 수신 장치(200')의 구성 및 그 동작을 중심으로 설명하도록 한다.

[0082] 도 7에서와 같이, 수신 장치(200')는 수신된 GFDM 신호를 아날로그-디지털 컨버팅(A/D)하여 다운 컨버젼한 후 CP를 제거한다.

[0083] 이처럼, CP가 제거된 신호를 원형 필터(220') 및 정합 필터(210')의 순서로 필터링함으로써, 데이터($\hat{d}$)가 출력된다.

[0084] 수신 장치(200')를 통해 출력된 검출 데이터($\hat{d}$)는 아래 수학식 13과 같다.

[0085] <수학식 13>

[0086] $$\hat{d} = \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} r = \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} \boldsymbol{A} d + \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} n$$

[0087] 도 7에서와 같이, 원형 필터(220')가 정합 필터(210')의 전단에서 필터링을 처리할 경우, 상기 수학식 5와 비교하였을 때 A^H를FA의 앞에 둠으로써 원형 필터(220')의 최적 계수를 산출할 수 있다.

[0088] 즉, 수학식 13에서, A^HFA 또한 F에 의해 항등 행렬이 될 수 없으므로, 아래 수학식 14에서와 같은 식을 만족하는 F를 구한다.

[0089] <수학식 14>

[0090] $$\min \| \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} \boldsymbol{A} - \boldsymbol{I} \|_F^2$$

[0091] 수학식 14에서, F는 원형 행렬이 되고, $\| \cdot \|_F$ 는 행렬의 프로베니우스 노름을 의미한다. 원형 행렬의 특징에 따라 고유값 분해가 가능하므로, F를 고유값 분해한 결과는 다음 수학식 15와 같다.

[0092] <수학식 15>

[0093] $$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{W}^H \boldsymbol{\Lambda} \boldsymbol{W}$$

[0094] 수학식 15에서, W는 이산푸리에변환(DFT) 행렬이며, Λ 는 F의 첫 번째 행을 역이산푸리에변환(IDFT)한 것을 대각화한 행렬이다. 이러한 수학식 15와 같은 성질을 이용하여, 상기 수학식 13의 A^HFA를 아래 수학식 16과 같이 정리할 수 있다.

[0095] <수학식 16>

[0096] $$\begin{aligned} \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} \boldsymbol{A} &= \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{W}^H \boldsymbol{\Lambda} \boldsymbol{W} \boldsymbol{A} = (\boldsymbol{W}\boldsymbol{A})^H \boldsymbol{\Lambda} \boldsymbol{W}\boldsymbol{A} \\ &= \begin{bmatrix} \vec{a}_1 \cdots \vec{a}_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{a}_1^H \\ \vdots \\ \vec{a}_{MN}^H \end{bmatrix} \\ &= \lambda_1 \vec{a}_1 \vec{a}_1^H + \lambda_2 \vec{a}_2 \vec{a}_2^H + \cdots + \lambda_{MN} \vec{a}_{MN} \vec{a}_{MN}^H \end{aligned}$$

[0097] 이러한 수학식 16에 기초하여 수학식 14를 재정리하면, 아래 수학식 17과 같이 표현할 수 있다.

[0098] <수학식 17>

[0099] $$\min \| \boldsymbol{A}^H \boldsymbol{F} \boldsymbol{A} - \boldsymbol{I} \|_F^2 = \min \| \lambda_1 \vec{a}_1 \vec{a}_1^H + \lambda_2 \vec{a}_2 \vec{a}_2^H + \cdots + \lambda_{MN} \vec{a}_{MN} \vec{a}_{MN}^H - \boldsymbol{I} \|_F^2$$

[0100] 수학식 17은 행렬 형태를 나타내므로, 수학식 17의 행렬을 벡터화시켜 벡터로 변경하면 아래 수학식 18과 같이 간략히 정리할 수 있다.

[0101] <수학식 18>

$$\min \| \lambda_1 \mathrm{vec}(\vec{a}_1\vec{a}_1^H) + \lambda_2 \mathrm{vec}(\vec{a}_2\vec{a}_2^H) + \cdots + \lambda_{MN} \mathrm{vec}(\vec{a}_{MN}\vec{a}_{MN}^H) - \mathrm{vec}(\boldsymbol{I}) \|_F^2$$

$$= \min \left\| \left[\mathrm{vec}\ (\vec{a}_1\vec{a}_1^H) \cdots \mathrm{vec}\ (\vec{a}_{MN}\vec{a}_{MN}^H) \right] \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_{MN} \end{bmatrix} - \mathrm{vec}\ (\boldsymbol{I}) \right\|_F^2$$

$$= \min \| \boldsymbol{B}\vec{\lambda} - \mathrm{vec}\ (\boldsymbol{I}) \|^2$$

[0102]

[0103] 이러한 수학식 18에 대해 최소자승법(LSM)을 사용하여 $\vec{\lambda}$를 산출한다. 이에 따른 $\vec{\lambda}$는 아래 수학식 19와 같다.

[0104] <수학식 19>

[0105] $$\vec{\lambda}_{LS} = (\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^T\mathrm{vec}(\boldsymbol{I})$$

[0106] 수학식 19에서, $\vec{\lambda}$는 F의 고유값이므로, $\vec{\lambda}$를 이산푸리에변환(DFT)하여 원형 필터의 계수 $\vec{f}$를 산출한다. 이에 따른 $\vec{f}$는 아래 수학식 20과 같다.

[0107] <수학식 20>

[0108] $$\vec{f} = \begin{bmatrix} f_0 \\ \vdots \\ f_{MN-1} \end{bmatrix} = DFT(\vec{\lambda})$$

[0109] 이처럼, 수학식 13 내지 20을 통해 산출된 계수 $\vec{f}$를 원형 필터(220')의 계수로 설정함으로써, GFDM 신호에 대한 간섭을 최소화시킬 수 있다.

[0110] 이하, 도 8을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10)의 수신 장치(200)를 통한 간섭 제거 방법을 설명하도록 한다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템에서 수신 장치는 GFDM 신호를 처리하는 간섭 제거 장치로서 동작할 수 있다.

[0111] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 GFDM 신호의 간섭 제거 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0112] 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭 제거 방법은, GFDM 방식으로 변조된 GFDM 신호를 수신하면(S810), 수신된 GFDM 신호를 제 1 필터(정합 필터) 및 제 2 필터(원형 필터)를 통해 필터링하여 간섭을 제거한다(S820).

[0113] 이때, 앞서 도 1 내지 도 5에서 설명한 바와 같이, 제 1 필터는 GFDM 통신 시스템의 송신단에서 서브캐리어를 필터링한 필터에 대응된 GFDM 복조용 필터이고, 제 2 필터는 본 발명의 일 실시예에 따라 추가된 원형 필터이다.

[0114] 구체적으로, 제 1 필터는 GFDM 변조 시 서브캐리어에 적용된 기설정된 필터 행렬의 허미션 행렬(Hermition matrix)을 사용하며, 제 2 필터는 기산출된 최적 계수를 적용하여 순환 컨벌루션(circular convolution)을 처리한다.

[0115] 또한, 제 2 필터의 최적 계수는, 제 2 필터의 원형 행렬, 제 1 필터의 행렬 및 송신단에 기설정된 필터 행렬들 간의 곱과, 간섭 성분 간의 차에 대한 프로베니우스 노름(frobenius norm) 값을 최소화하는 계수로 설정된다.

[0116] 이를 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 간섭 제거 방법은, 상기 (S820) 단계 이전에 제 2 필터의 최적 계수를 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이러한 최적 계수를 산출하는 단계는, GFDM 신호를 수신하는 단계(S810) 이전에 처리되어, 제 2 필터의 계수가 사전에 저장되어 있는 것도 가능하다.

[0117] 구체적으로, 제 2 필터의 최적 계수를 산출하는 단계는, 원형 행렬을 고유값 분해(eigenvalue decomposition) 처리한 결과에 기반하여 이산푸리에변환 행렬의 허미션 행렬, 원형 행렬의 첫 번째 행을 역이산푸리에 변환한

것을 대각화한 행렬, 및 이산푸리에변환 행렬들 간의 곱을 계산하는 단계; 상기 계산의 결과를 벡터화하여 벡터 행렬로 변경하는 단계; 상기 벡터 행렬에 대해 최소자승법(Least Square Method, LSM)을 적용하여 원형 행렬의 고유값의 벡터 값을 계산하는 단계; 및 고유값의 벡터 값에 대해 이산푸리에변환 행렬을 곱하여 원형 필터의 최적 계수를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0118] 한편, 상기 단계 (S820)는, 수신된 GFDM 신호를 제 1 필터를 사용하여 복조하는 단계; 및 복조된 신호에 제 2 필터의 최적 계수를 적용하여 필터링하는 단계를 포함할 수 있다.

[0119] 그러나 본 발명의 다른 실시예에 따른 GFDM 통신 시스템(10')에서와 같이, 수신 장치(200')가 제 1 필터의 전단에 제 2 필터가 위치하는 구조일 수 있다. 따라서, 본 발명의 다른 실시예에 따른 간섭 제거 방법에서는, 상기 단계 (S820)가, 수신된 GFDM 신호를 제 2 필터의 최적 계수를 적용하여 필터링하는 단계; 및 상기 최적 계수를 적용하여 필터링된 신호를 제 1 필터를 사용하여 복조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0120] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예들에 따른 GFDM 통신 시스템의 간섭 제거 장치 및 그 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 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 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

[0121] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0122] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

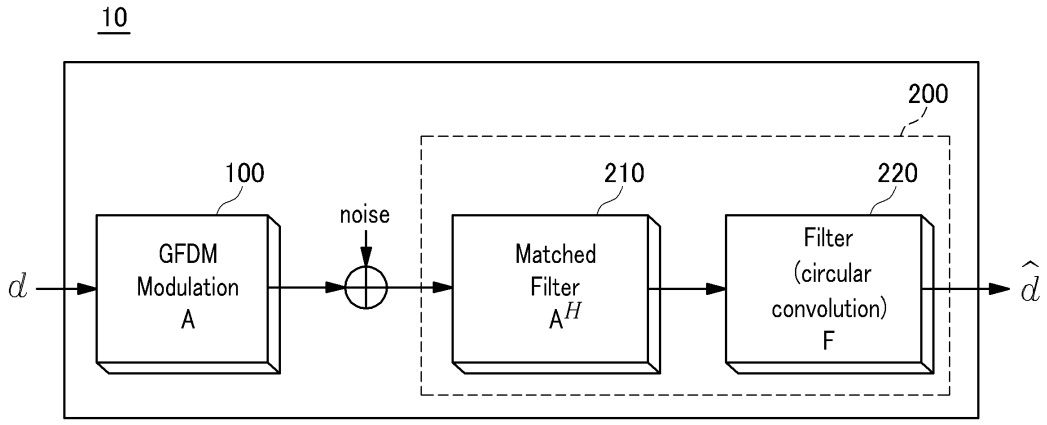
[0123] 10: GFDM 통신 시스템

100: 송신 장치

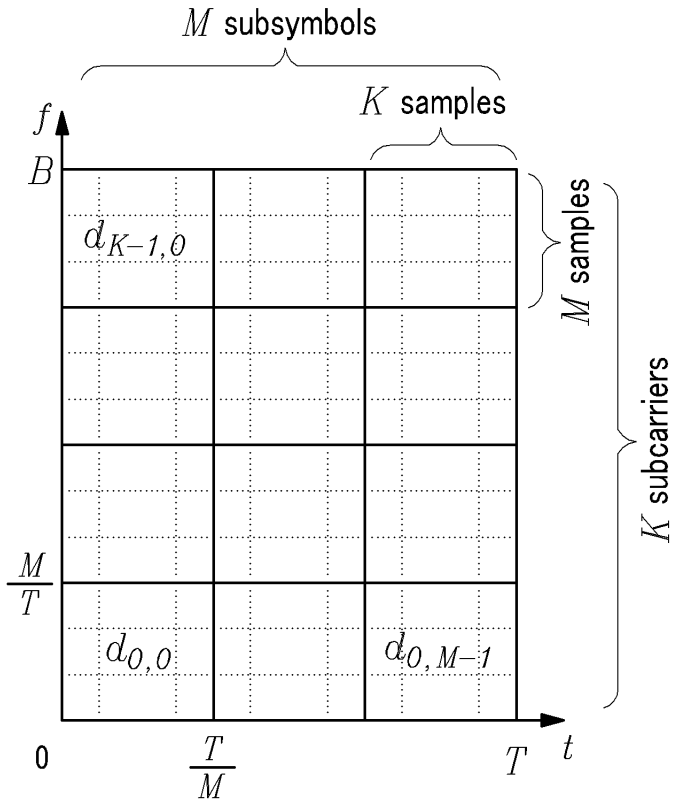
200: 수신 장치

도면

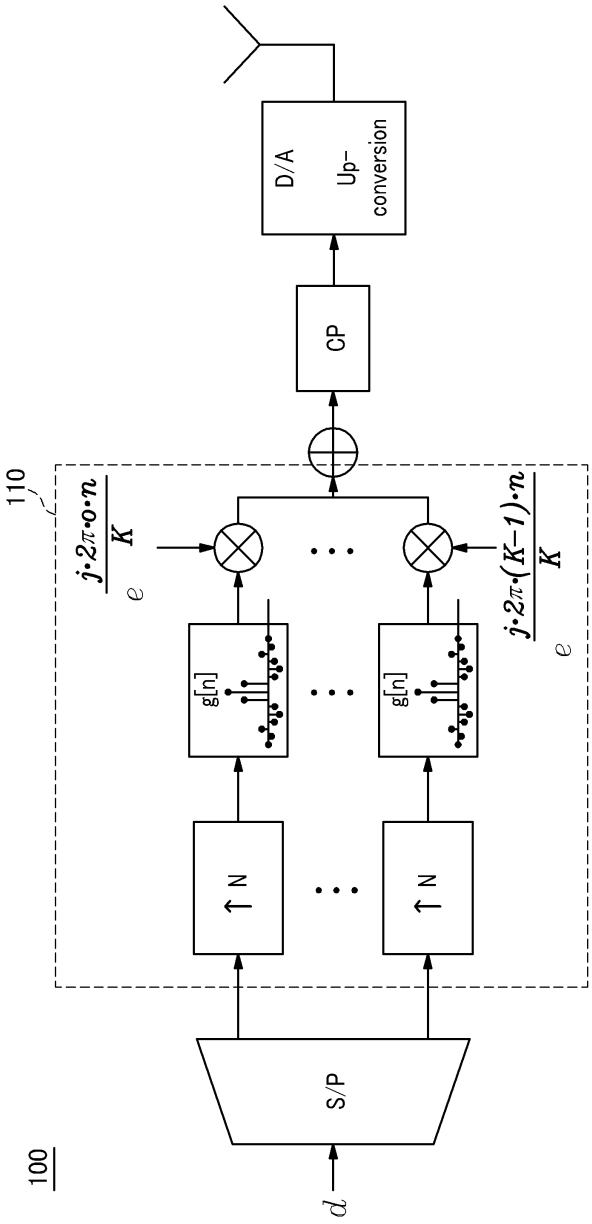
도면1


10
200
100
210
220
noise
GFDM
Modulation
A
Matched
Filter
A^H
Filter
(circular
convolution)
F
d
$\hat{d}$

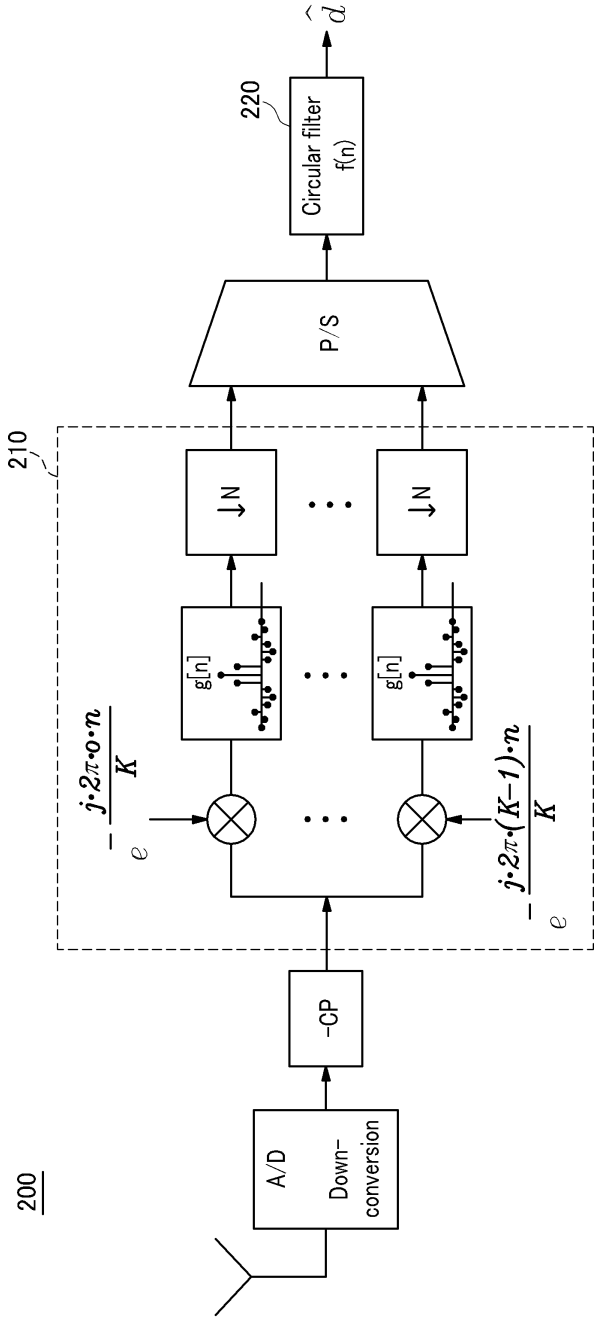
도면2


M subsymbols
K samples
f
B
$d_{K-1,0}$
M samples
K subcarriers
$\frac{M}{T}$
$d_{0,0}$
$d_{0,M-1}$
0
$\frac{T}{M}$
T
t

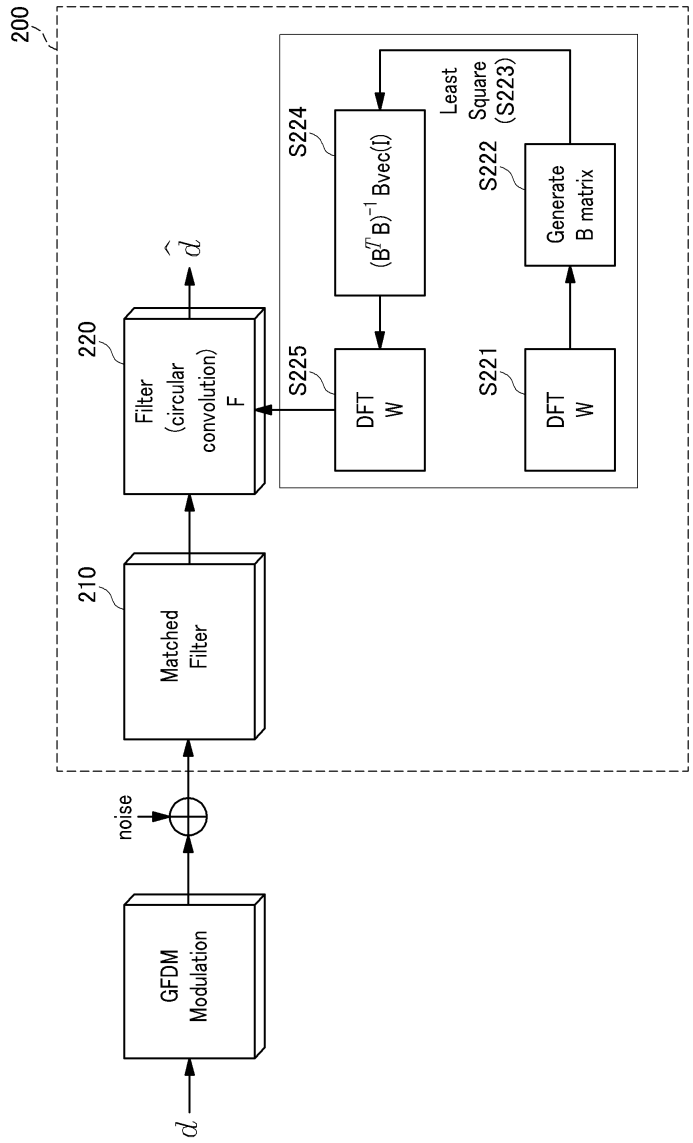
도면3



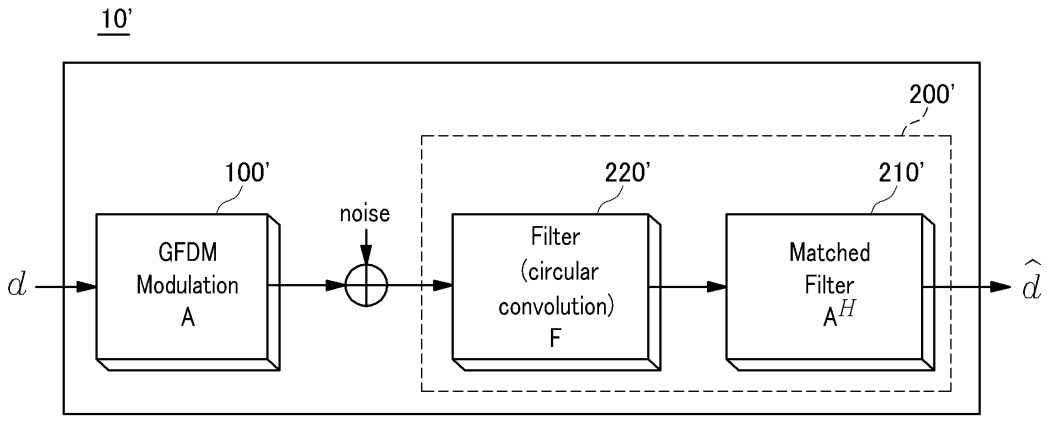
도면4


200
A/D
Down-conversion
-CP
210
$e^{-\frac{j\cdot 2\pi\cdot 0\cdot n}{K}}$
g[n]
↓N
$e^{-\frac{j\cdot 2\pi\cdot (K-1)\cdot n}{K}}$
P/S
220
Circular filter f(n)
$\hat{d}$

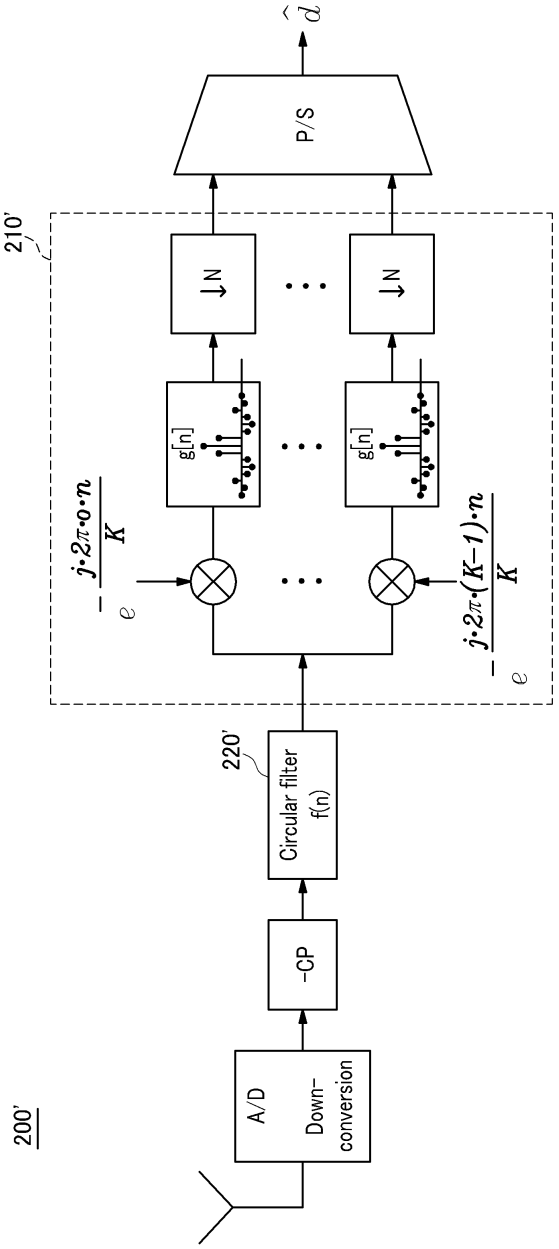
도면5


200
Least Square (S223)
S224
$(B^TB)^{-1}B\text{vec}(I)$
S222
Generate B matrix
$\hat{d}$
220
Filter (circular convolution) F
S225
DFT W
S221
DFT W
210
Matched Filter
noise
GFDM Modulation
d

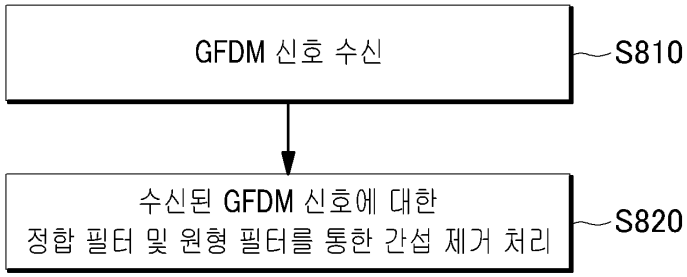
도면6


10'
200'
100'
220'
210'
noise
d
GFDM Modulation A
Filter (circular convolution) F
Matched Filter A^H
$\hat{d}$

도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 8항 뒤에서 두번째 줄

【변경전】

상기 원형 필터의

【변경후】

원형 필터의