



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0148628
(43) 공개일자 2022년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/10 (2006.01) H04K 1/00 (2015.01)
H04L 27/00 (2006.01) H04L 27/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/10 (2021.08)
H04K 1/003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0055946
(22) 출원일자 2021년04월29일
심사청구일자 2021년04월29일

(71) 출원인
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
이호준
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동)
정재학
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

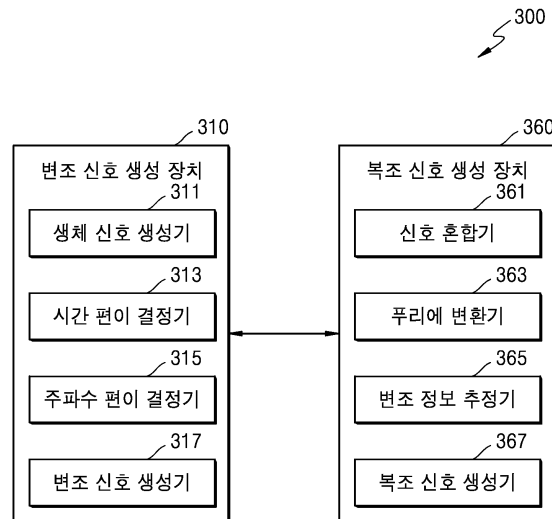
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 생체 모방 통신 시스템에서 변조 신호와 복조 신호를 생성하기 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 개시는 생체 모방 통신 시스템에서 변조 신호 생성 장치와 복조 신호 생성 장치에 관한 것이다. 본 개시에 따르면, 변조 신호 생성 장치는 생체 신호를 생성하는 생체 신호 생성기, 전송 비트에서 추출된 시간 영역 전송 비트와 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정하고, 상기 시간 변조와 시간 해상도에 기반하여 시간 편이를 결정하는 시간 편이 결정기, 상기 전송 비트에서 추출된 주파수 영역 전송 비트와 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정하고, 상기 주파수 변조와 주파수 해상도에 기반하여 주파수 편이를 결정하는 주파수 편이 결정기, 상기 생체 신호에 상기 시간 편이와 상기 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 생성하는 변조 신호 생성기를 포함한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H04L 27/0008 (2013.01)

H04L 27/2604 (2013.01)

(72) 발명자

안종민

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동)

김용철

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동)

이상국

대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160(수남동)

명세서

청구범위

청구항 1

생체 모방 통신 시스템에서 변조 신호 생성 장치에 있어서,

생체 신호를 생성하는 생체 신호 생성기;

전송 비트에서 추출된 시간 영역 전송 비트와 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정하고, 상기 시간 변조와 시간 해상도에 기반하여 시간 편이를 결정하는 시간 편이 결정기;

상기 전송 비트에서 추출된 주파수 영역 전송 비트와 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정하고, 상기 주파수 변조와 주파수 해상도에 기반하여 주파수 편이를 결정하는 주파수 편이 결정기; 및

상기 생체 신호에 상기 시간 편이와 상기 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 생성하는 변조 신호 생성기를 포함하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 생체 신호 생성기는,

생체 기준 신호에서 주파수 윤곽선(frequency contour)을 추출하고,

상기 주파수 윤곽선을 이용하여 생체 신호를 생성하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 시간 편이 결정기는,

상기 시간 변조 차수에 기반하여, 상기 전송 비트로부터 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고,

상기 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터에 십진수 변환(decimal conversion)을 적용하고,

상기 십진수로 변환된 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터와 상기 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 시간 편이 결정기는,

샘플링 주파수와 상기 생체 신호에 관한 시간 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 시간 해상도를 결정하고,

상기 시간 해상도와 상기 시간 변조를 혼합하여 시간 편이를 결정하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 주파수 편이 결정기는,

상기 주파수 변조 차수에 기반하여, 상기 전송 비트로부터 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고,

상기 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터에 십진수 변환을 적용하고,

상기 십진수로 변환된 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터와 상기 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 주파수 편이 결정기는,

상기 생체 신호의 시간 길이와 상기 생체 신호에 관한 주파수 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 주파수 해상도를 결정하고,

상기 주파수 해상도와 상기 주파수 변조를 혼합하여 주파수 편이를 결정하는 변조 신호 생성 장치.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 시간 해상도는 상기 샘플링 주파수의 역수의 정수배로 결정되고,

상기 주파수 해상도는 상기 생체 신호의 시간 길이의 역수의 정수배로 결정되는 변조 신호 생성 장치.

청구항 8

청구항 2에 있어서,

상기 생체 기준 신호는 돌고래의 휘슬음(whistle) 신호를 포함하는 복조 신호 생성 장치.

청구항 9

생체 모방 통신 시스템에서 복조 신호 생성 장치에 있어서,

수신 신호와 시간 편이된 생체 신호를 혼합하는 신호 혼합기;

상기 혼합된 신호에 FFT(fast fourier transform)를 적용하는 푸리에 변환기;

상기 푸리에 변환기의 출력 결과에 기반하여, 시간 변조와 주파수 변조를 추정하는 변조 정보 추정기; 및

상기 시간 변조와 상기 주파수 변조에 기반하여 복조 신호를 생성하는 복조 신호 생성기를 포함하는 복조 신호 생성 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 신호 혼합기는

변조 차수와 시간 해상도에 기반하여 상기 생체 신호를 시간 편이시키는 시간 편이기; 및

상기 시간 편이된 생체 신호와 수신 신호를 혼합하는 적어도 하나의 믹서(mixer)를 포함하는 복조 신호 생성 장치.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 변조 정보 추정기는,

상기 푸리에 변환기의 주파수 영역의 출력 결과에서 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제1 주파수를 식별하고,

상기 제1 주파수에서 상기 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 시간 변조를 결정하는 복조 신호 생성 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 변조 정보 추정기는,

상기 결정된 시간 변조에서 상기 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제2 주파수를 결정하고,

상기 제2 주파수에 가장 가까운 정수를 주파수 변조로 결정하는 복조 신호 생성 장치.

청구항 13

청구항 9에 있어서,

상기 생체 신호는 돌고래의 휘슬음에서 추출된 주파수 윤곽선을 이용하여 생성된 신호를 포함하는 복조 신호 생성 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시(disclosure)는 일반적으로 생체 모방 통신 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 생체 모방 통신 시스템에서 생체 신호와 유사한 생체 모방 변조 신호를 생성하고, 생체 모방 변조 신호를 복조하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 군사적인 목적을 가지고 통신을 수행하는 장치들은 일반적이 통신 기술보다 우수한 보안성 및 은밀성이 요구된다. 특히, 수중에서 운용되는 함정 사이의 통신에서, 아군 함정의 송신 장치가 송신한 음향 신호가 적군 함정의 음향 탐지기에 감지되면, 적군 함정은 음향 신호의 통신 내용을 해독하지 못하더라도, 수신 장치의 존재 유무와 위치를 파악할 수 있는 문제가 있다. 이로 인하여, 수중에서 운용되는 함정들은 양방향 통신이 아닌 단방향 통신을 수행할 수 밖에 없었다. 이에 대응하여, 낮은 피탐지 확률(low probability detection, LPD)과 낮은 피감청 확률(low probability intercept, LPI)을 확보하여 적군으로부터 은밀하게 통신을 수행하고자, 수중 생물의 소리를 모방하여 생성된 생체 모방 신호를 전달하는 생체 모방 통신이 개발되고 있다.

[0003] 종래에 따르면, 생체 모방 통신 방법으로서 돌고래 휘슬음(whistle)을 이용하는 CSS(chirp spread spectrum) 기반 변조 방법과, CV-CFM(continuously varying carrier frequency modulation) 변조 방법이 이용되었다.

[0004] CSS 변조 방법은 본래의 돌고래 휘슬음을 짧은 시간 구간을 가지는 여러 개의 슬롯으로 구분하고, 구분된 각각의 슬롯마다 전송하고자 하는 비트에 따라 업 칩(up-chirp) 또는 다운 칩(down chirp)를 할당하여 변조하는 방법을 지시한다. CSS 변조 방법을 이용하면, 변조 신호에서 매 슬롯마다 반송 주파수가 불연속적으로 변화되었고, 시간-주파수 특성에 발생되는 왜곡으로 인하여 변조 신호와 본래의 돌고래 휘슬음은 차이가 있었다. 이러한 슬롯들 간의 주파수 불연속성의 문제를 해결하기 위하여 CV-CFM 변조 방법이 이용되었다.

[0005] CV-CFM 변조 방법은 모방하고자 하는 돌고래 휘슬음과 동일한 시간-주파수 특성을 갖는 연속 칩을 생성하고 칩

의 위상 변화에 정보를 할당하는 변조 방법을 지시한다. 그러나 CV-CFM 변조 방법의 경우, 위상 변조를 이용하기 때문에 변조 대역에 따라 모방 신호가 본래의 돌고래 신호보다 주파수 축에서 넓어지는 현상이 발생하였고, 그에 따라 변조 신호가 실제 돌고래 신호와 구별될 수 있었다. 즉, 종래의 생체 모방 통신 방법에 따라 생성된 신호는 시간 또는 주파수 축 상에서 발생하는 왜곡으로 인하여, 시간 및 주파수 영역에서 불규칙하게 존재하는 성질을 가지는 돌고래 휘슬음과 대비 차이가 있었다. 그에 따라 최근, 통신 사실이 노출될 가능성을 낮추기 위하여 생체 신호를 정교하게 모방하여 통신을 수행하기 위한 기술 연구의 필요성이 대두되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 상술한 바와 같은 논의를 바탕으로, 본 개시(disclosure)는 생체 신호를 모방하여 변조 신호를 생성하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0007] 또한, 본 개시는 생체 신호의 확률 분포를 이용하여 시간 편이와 주파수 편이를 결정함으로써, 생체 모방 변조 신호를 생성하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0008] 또한, 본 개시는 생체 신호를 모방하여 생성된 변조 신호에 대응되는 복조 신호를 생성하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.
- [0009] 또한, 본 개시는 최대 우도 검출 방법을 이용하여 시간 편이와 주파수 편이를 추출함으로써, 생체 모방 변조 신호에 대응되는 복조 신호를 생성하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 개시의 다양한 실시 예들에 따르면, 생체 모방 통신 시스템에서 변조 신호 생성 장치는 생체 신호를 생성하는 생체 신호 생성기, 전송 비트에서 추출된 시간 영역 전송 비트와 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정하고, 상기 시간 변조와 시간 해상도에 기반하여 시간 편이를 결정하는 시간 편이 결정기, 상기 전송 비트에서 추출된 주파수 영역 전송 비트와 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정하고, 상기 주파수 변조와 주파수 해상도에 기반하여 주파수 편이를 결정하는 주파수 편이 결정기, 및 상기 생체 신호에 상기 시간 편이와 상기 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 생성하는 변조 신호 생성기를 포함할 수 있다.
- [0011] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 생체 신호 생성기는, 생체 기준 신호에서 주파수 윤곽선(frequency contour)을 추출하고, 상기 주파수 윤곽선을 이용하여 생체 신호를 생성할 수 있다.
- [0012] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 시간 편이 결정기는, 상기 시간 변조 차수에 기반하여, 상기 전송 비트로부터 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고, 상기 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터에 십진수 변환(decimal conversion)을 적용하고, 상기 십진수로 변환된 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터와 상기 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정할 수 있다.
- [0013] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 시간 편이 결정기는, 샘플링 주파수와 상기 생체 신호에 관한 시간 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 시간 해상도를 결정하고, 상기 시간 해상도와 상기 시간 변조를 혼합하여 시간 편이를 결정할 수 있다.
- [0014] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 주파수 편이 결정기는 상기 주파수 변조 차수에 기반하여, 상기 전송 비트로부터 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고, 상기 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터에 십진수 변환을 적용하고, 상기 십진수로 변환된 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터와 상기 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정할 수 있다.
- [0015] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 주파수 편이 결정기는, 상기 생체 신호의 시간 길이와 상기 생체 신호에 관한 주파수 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 주파수 해상도를 결정하고, 상기 주파수 해상도와 상기 주파수 변조를 혼합하여 주파수 편이를 결정할 수 있다.
- [0016] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 시간 해상도는 상기 샘플링 주파수의 역수의 정수배로 결정되고, 상기 주파수 해상도는 상기 생체 신호의 시간 길이의 역수의 정수배로 결정될 수 있다.
- [0017] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 생체 기준 신호는 돌고래의 휘슬음(whistle) 신호를 포함할 수 있다.
- [0018] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 생체 모방 통신 시스템에서 복조 신호 생성 장치는 수신 신호와 시간 편이된

생체 신호를 혼합하는 신호 혼합기, 상기 혼합된 신호에 FFT(fast fourier transform)를 적용하는 푸리에 변환기, 상기 푸리에 변환기의 출력 결과에 기반하여, 시간 변조와 주파수 변조를 추정하는 변조 정보 추정기, 및 상기 시간 변조와 상기 주파수 변조에 기반하여 복조 신호를 생성하는 복조 신호 생성기를 포함할 수 있다.

[0019] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 신호 혼합기는 변조 차수와 시간 해상도에 기반하여 상기 생체 신호를 시간 편이시키는 시간 편이기, 및 상기 시간 편이된 생체 신호와 수신 신호를 혼합하는 적어도 하나의 믹서(mixer)를 포함할 수 있다.

[0020] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 변조 정보 추정기는, 상기 푸리에 변환기의 주파수 영역의 출력 결과에서 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제1 주파수를 식별하고, 상기 제1 주파수에서 상기 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 시간 변조를 결정할 수 있다.

[0021] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 변조 정보 추정기는, 상기 결정된 시간 변조에서 상기 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제2 주파수를 결정하고, 상기 제2 주파수에 가장 가까운 정수를 주파수 변조로 결정할 수 있다.

[0022] 다른 일 실시 예에 따르면, 상기 생체 신호는 돌고래의 휘슬음에서 추출된 주파수 윤곽선을 이용하여 생성된 신호를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명의 다양한 각각의 측면들 및 특징들은 첨부된 청구항들에서 정의된다. 종속 청구항들의 특징들의 조합들(combinations)은, 단지 청구항들에서 명시적으로 제시되는 것뿐만 아니라, 적절하게 독립항들의 특징들과 조합될 수 있다.

[0024] 또한, 본 개시에 기술된 임의의 하나의 실시 예(any one embodiment) 중 선택된 하나 이상의 특징들은 본 개시에 기술된 임의의 다른 실시 예 중 선택된 하나 이상의 특징들과 조합될 수 있으며, 이러한 특징들의 대안적인 조합이 본 개시에 논의된 하나 이상의 기술적 문제를 적어도 부분적으로 경감시키거나, 본 개시로부터 통상의 기술자에 의해 식별될 수 있는(discernable) 기술적 문제를 적어도 부분적으로 경감시키고, 나아가 실시 예의 특징들(embodiment features)의 이렇게 형성된 특정한 조합(combination) 또는 순열(permutation)이 통상의 기술자에 의해 양립 불가능한(incompatible) 것으로 이해되지만 않는다면, 그 조합은 가능하다.

[0025] 본 개시에 기술된 임의의 예시 구현(any described example implementation)에 있어서 둘 이상의 물리적으로 별개의 구성 요소들은 대안적으로, 그 통합이 가능하다면 단일 구성 요소로 통합될 수도 있으며, 그렇게 형성된 단일한 구성 요소에 의해 동일한 기능이 수행된다면, 그 통합은 가능하다. 반대로, 본 개시에 기술된 임의의 실시 예(any embodiment)의 단일한 구성 요소는 대안적으로, 적절한 경우, 동일한 기능을 달성하는 둘 이상의 별개의 구성 요소들로 구현될 수도 있다.

[0026] 본 발명의 특정 실시 예들(certain embodiments)의 목적은 종래 기술과 관련된 문제점 및/또는 단점들 중 적어도 하나를, 적어도 부분적으로, 해결, 완화 또는 제거하는 것에 있다. 특정 실시 예들(certain embodiments)은 후술하는 장점들 중 적어도 하나를 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 효과

[0027] 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 생체 모방 통신 시스템에서 생체 신호를 모방하여 변조 신호를 생성하고, 생성된 변조 신호를 복조함으로써, 피감청 확률과 피탐지 확률을 낮출 수 있게 한다.

[0028] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 생체 신호의 시간-주파수 특성에 왜곡이 발생되지 않고 불규칙한 성질이 유지되도록 함으로써, 생체 신호에 높은 모방 성능을 가지는 변조 신호를 생성할 수 있게 한다.

[0029] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 장치 및 방법은 수신 신호가 받는 수중 다중 경로 채널로 인한 영향이 감소될 수 있게 한다.

[0030] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 수중 통신 시스템을 도시한다.
- 도 2는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 생체 모방 변조 방법의 일 예를 도시한다.
- 도 3은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)와 복조 신호 생성 장치(360)를 포함하는 시스템을 도시한다.
- 도 4는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)의 구성을 도시한다.
- 도 5는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 복조 신호 생성 장치(360)의 구성을 도시한다.
- 도 6은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)의 동작 방법에 관한 흐름도를 도시한다.
- 도 7은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 복조 신호 생성 장치(360)의 동작 방법에 관한 흐름도를 도시한다.
- 도 8은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 변조 신호 생성 장치와 복조 신호 생성 장치를 이용한 경우, 비트 에러율(bit error rate, BER) 결과에 관한 그래프를 도시한다.
- 도 9는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 변조 신호 생성 장치와 복조 신호 생성 장치를 이용한 경우, 수신 신호의 스펙트로그램(spectrogram)을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 본 개시에서 사용되는 용어들은 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 다른 실시 예의 범위를 한정하려는 의도가 아닐 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 용어들은 본 개시에 기재된 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가질 수 있다. 본 개시에 사용되는 용어들 중 일반적인 사전에 정의된 용어들은, 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 동일 또는 유사한 의미로 해석될 수 있으며, 본 개시에서 명백하게 정의되지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다. 경우에 따라서, 본 개시에서 정의된 용어일지라도 본 개시의 실시 예들을 배제하도록 해석될 수 없다.
- [0033] 이하에서 설명되는 본 개시의 다양한 실시 예들에서는 하드웨어적인 접근 방법을 예시로서 설명한다. 하지만, 본 개시의 다양한 실시 예들에서는 하드웨어와 소프트웨어를 모두 사용하는 기술을 포함하고 있으므로, 본 개시의 다양한 실시 예들이 소프트웨어 기반의 접근 방법을 제외하는 것은 아니다.
- [0034] 이하 본 개시는 생체 모방 통신 시스템에 관한 것이다. 구체적으로, 본 개시는 생체 모방 통신 시스템에서 생체 신호를 모방하여 변조 신호를 생성하고, 생성된 변조 신호를 복조하여 복조 신호를 생성하기 위한 기술을 설명한다.
- [0035] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 다양한 실시예들을 상세히 설명한다. 그러나 본 개시의 기술적 사상은 다양한 형태로 변형되어 구현될 수 있으므로 본 명세서에서 설명하는 실시예들로 제한되지 않는다. 본 명세서에 개시된 실시예들을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술을 구체적으로 설명하는 것이 본 개시의 기술적 사상의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 공지 기술에 대한 구체적인 설명을 생략하기로 한다. 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0036] 본 명세서에서 어떤 요소가 다른 요소와 "연결"되어 있다고 기술될 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우 뿐 아니라 그 중간에 다른 요소를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 어떤 요소가 다른 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 요소 외에 또 다른 요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0037] 일부 실시예들은 기능적인 블록 구성들 및 다양한 처리 단계들로 설명될 수 있다. 이러한 기능 블록들의 일부 또는 전부는 특정 기능을 실행하는 다양한 개수의 하드웨어 및/또는 소프트웨어 구성들로 구현될 수 있다. 예를 들어, 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 마이크로프로세서들에 의해 구현되거나, 소정의 기능을 위한 회

로 구성들에 의해 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 다양한 프로그래밍 또는 스크립팅 언어로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록들은 하나 이상의 프로세서들에서 실행되는 알고리즘으로 구현될 수 있다. 본 개시의 기능 블록이 수행하는 기능은 복수의 기능 블록에 의해 수행되거나, 본 개시에서 복수의 기능 블록이 수행하는 기능들은 하나의 기능 블록에 의해 수행될 수도 있다. 또한, 본 개시는 전자적인 환경 설정, 신호 처리, 및/또는 데이터 처리 등을 위하여 종래 기술을 채용할 수 있다.

[0038] 또한, 본 개시에서, 특정 조건의 만족(satisfied), 충족(fulfilled) 여부를 판단하기 위해, 초과 또는 미만의 표현이 사용되었으나, 이는 일 예를 표현하기 위한 기재일 뿐 이상 또는 이하의 기재를 배제하는 것이 아니다. '이상'으로 기재된 조건은 '초과', '이하'로 기재된 조건은 '미만', '이상 및 미만'으로 기재된 조건은 '초과 및 이하'로 대체될 수 있다.

[0039] 이하 사용되는 '…부', '…기' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어, 또는, 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0040] 도 1은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 수중 통신 시스템(100)을 도시한다. 도 1은 수중 통신 시스템에서 무선 채널을 이용하는 노드(node)들의 일부로서, 송신기(101), 수신기(103)를 예시한다.

[0041] 송신기(101)는 아군의 수중 함정에 구비되어, 무선 채널을 통해 신호를 송신하는 기능을 수행한다. 송신기(101)는 적어도 하나의 프로세서를 이용하여 송신 신호를 생성하고 송신 신호가 전송되도록 제어할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 송신기(101)는 신호를 송신하기 위하여, 전송하고자 하는 정보 비트를 변조하여 변조 신호를 생성할 수 있다. 이를 위하여, 송신기(101)는 변조 신호 생성 장치를 포함할 수 있다.

[0042] 수신기(103)는 아군의 수중 함정에 구비되어, 무선 채널을 통해 전달되는 신호를 수신하는 기능을 수행한다. 수신기(103)는 적어도 하나의 프로세서를 이용하여 송신 장치로부터 전달되는 신호를 수신할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 수신기(103)는 송신기로부터 변조된 신호를 수신하고, 복조 신호를 생성할 수 있다. 이를 위하여 수신기(103)는 복조 신호 생성 장치를 포함할 수 있다.

[0043] 송신기(101)로부터 송신된 신호는 다중 경로를 통해 수신기(103)로 전달될 수 있다. 도 1은 세 가지 경로에 따라 송신 신호가 전달되는 경우를 예시하나, 신호 전달 경로의 수는 도 1과 같이 제한되지 않는다. 여기서, 적군 함정의 신호 감지 센서(미도시)가 다중 경로를 통한 신호 중 적어도 하나를 감지한 경우, 적군 함정은 송신기와 수신기의 존재여부 및 대략적인 위치를 파악할 수 있다. 적군 함정으로부터 피감청 확률과 피도청 확률을 낮추기 위하여, 송신기(101)와 수신기(103)는 생체 모방 신호를 이용하여 통신을 수행할 수 있다. 생체 모방 신호를 생성하기 위하여, 송신기(101)는 생체 신호에 관한 확률 분포를 이용하여 추출한 시간 편이와 주파수 편이를 이용하여 신호를 생성하여 수신기에 송신할 수 있다. 수신기(103)는 생체 모방 신호로부터 최대 우도 검출 방법을 이용하여 시간 편이와 주파수 편이를 추출하여 복조 신호를 생성함으로써 송신기와 통신을 수행할 수 있다.

[0044] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 생체 신호 모방에 사용되는 생체 기준 신호로 돌고래 휘슬음(whistle)이 사용될 수 있다. 이하에서, 생체 신호가 돌고래 휘슬음인 경우를 예시로 설명되나, 생체 신호는 수중 생물이 생성하는 신호를 모두 포함할 수 있다.

[0045] 도 2는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 생체 모방 변조 방법의 일 예(200)를 도시한다. 도 2를 참고하면, 가로 축은 시간을 지시하고, 세로 축은 주파수를 지시한다.

[0046] 돌고래의 휘슬음은 시간 영역과 주파수 영역에서 불규칙한 성질을 가진다. 즉, 돌고래의 휘슬음들 사이의 중심 주파수 간격과 시간 간격에 불규칙성이 존재하고, 돌고래는 이러한 다양한 형태의 휘슬음들을 무작위로 발생시킨다.

[0047] 본 개시에 따른 생체 모방 변조 방법은 휘슬음 자체를 전송 심볼로 하고, 심볼의 위치가 시간-주파수 축에서 이동하는 크기에 정보를 할당하는 TSFK(time-frequency shift keying) 변조 및 복조 방법을 지시한다. 돌고래의 휘슬음들에서 연속되는 휘슬음의 시간 주파수 위치가 불규칙하게 존재하기 때문에, 송신기는 이러한 불규칙성에 디지털 정보를 매핑하여 변조함으로써 신호를 송신할 수 있다. 또한 송신기는 모방 성능을 보존하면서 정보를 할당하기 위하여, 돌고래 휘슬음의 불규칙한 성질을 분석하여 시간 편이와 주파수 편이의 크기를 결정할 수 있다. 그에 따라 변조된 신호는 본래의 돌고래 휘슬음의 불규칙적인 성질과 유사한 특성을 가지며, 전송하고자 하는 정보를 시간 및 주파수가 편이되는 정도에 할당하기 때문에 주파수 윤곽선(frequency contour) 특성이 왜곡되지 않아 우수한 모방 성능을 가질 수 있다.

[0048] 돌고래의 휘슬음들 각각은 서로 상이한 패턴을 가지므로, 송신기는 돌고래 휘슬음들 각각에 관하여 불규칙적으

로 시간 편이와 주파수 편이를 이용하여 신호를 변조하여 변조 신호를 생성할 수 있다. 또한, 전송하고자 하는 전송 비트는 불규칙적이고, 이로 인해 결정되는 시간 및 주파수 편이도 불규칙한 성질을 가진다. 결과적으로, 매 시각 돌고래 휘슬음의 패턴이 달라지고, 이에 대응하여 돌고래 휘슬음들 사이에 겹쳐지는 구간과 그렇지 않은 구간이 존재할 수 있다.

[0049] 도 2는 본 개시에 따른 모방 변조 방법을 이용하여, 돌고래가 생성한 복수의 휘슬음들 각각을 변조한 결과를 도시한다. 도 2를 참고하면, 돌고래가 생성한 세 개의 휘슬음들에 대응하여, 송신기는 세 개의 휘슬음들 각각을 변조할 수 있다. 그에 따라, 생체 모방을 위한 변조 신호로 제1 변조 신호(210), 제2 변조 신호(230), 제3 변조 신호(250)가 생성될 수 있다. 여기서 시간 편이를 할당하기 위하여 하나의 심볼이 차지하는 길이는 T_s 로 지시될 수 있고, 제2 모방 변조 신호(230)의 시간 길이는 T_w (231)로 지시될 수 있다. 여기서, 돌고래 휘슬음에 불규칙적으로 시간 편이와 주파수 편이가 할당됨에 따라, 제1 변조 신호(210)와 제2 변조 신호(230)가 겹쳐질 수 있고, 제2 변조 신호(230)와 제3 변조 신호(250)는 서로 분리될 수 있다.

[0050] 도 3은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)와 복조 신호 생성 장치(360)를 포함하는 시스템(300)을 도시한다.

[0051] 도 3을 참고하면, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호를 모방하는 변조 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 변조 신호 생성 장치(310)는 송신기의 구성으로 구비되어, 송신기가 변조 신호를 출력하도록 신호 변조를 수행할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 돌고래 휘슬음을 모방하는 변조 신호를 생성할 수 있다. 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호 생성기(311), 시간 편이 결정기(315), 주파수 편이 결정기(315), 변조 신호 생성기(317)를 포함한다.

[0052] 생체 신호 생성기(311)는 생체 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 생체 신호 생성기(311)는 돌고래 휘슬음에서 주파수 윤곽선을 추출하고, 추출된 주파수 윤곽선을 이용하여 변조의 대상이 되는 생체 신호를 생성할 수 있다. 생체 신호 생성기(311)의 구체적인 동작은 도 4에 도시된다.

[0053] 시간 편이 결정기(313)는 생체 신호에 변조되는 시간 편이의 크기를 결정하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 시간 편이 결정기(313)는 전송 비트에서 시간 영역 전송 비트를 추출하여 시간 변조 m_t 를 결정할 수 있다. 이후, 시간 편이 결정기(313)는 시간 변조 m_t 와 시간 해상도 Δt 를 이용하여 시간 편이 값을 결정할 수 있다. 시간 편이 결정기(313)의 구체적인 동작은 도 4에 도시된다.

[0054] 주파수 편이 결정기(315)는 생체 신호에 변조되는 주파수 편이의 크기를 결정하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 주파수 편이 결정기(315)는 전송 비트에서 주파수 영역 전송 비트를 추출하여 주파수 변조 m_f 를 결정할 수 있다. 이후, 주파수 편이 결정기(315)는 주파수 변조 m_f 와 주파수 해상도 Δf 를 이용하여 주파수 편이 값을 결정할 수 있다. 주파수 편이 결정기(315)의 구체적인 동작은 도 4에 도시된다.

[0055] 변조 신호 생성기(317)는 결정된 시간 편이와 결정된 주파수 편이를 이용하여 변조 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성기(317)는 생체 신호 생성기(311)가 출력한 생체 신호에, 시간 편이 결정기(313)로부터 출력된 시간 편이와 주파수 편이 결정기(315)로부터 출력된 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 생성할 수 있다. 변조 신호 생성기(317)의 구체적인 동작은 도 4에 도시된다.

[0056] 복조 신호 생성 장치(360)는 생체 신호를 모방하는 변조 신호를 수신한 경우, 수신한 신호를 복조하는 기능을 수행한다. 복조 신호 생성 장치(360)는 수신기의 구성으로 구비되어, 송신기로부터 수신한 변조 신호를 복조하여 통신을 수행할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성 장치(360)는 신호 혼합기(361), 푸리에 변환기(363), 변조 정보 추정기(365), 복조 신호 생성기(367)를 포함한다.

[0057] 신호 혼합기(361)는 수신 신호와 시간 편이된 생체 신호를 혼합하는 기능을 수행한다. 신호 혼합기(361)는 변조 차수를 이용하여 생체 신호를 시간 편이시키고, 송신기로부터 전달받은 변조 신호를 혼합할 수 있다. 이를 위하여, 신호 혼합기(361)는 생체 신호를 시간 편이시키기 위한 시간 편이기와 신호를 혼합하기 위한 적어도 하나의 믹서(mixer)를 포함할 수 있다. 신호 혼합기(361)는 적어도 하나의 시간 편이를 결정하고, 생체 신호에 결정된 시간 편이를 적용할 수 있다. 이후, 신호 혼합기(361)는 적어도 하나의 믹서 각각에 대응되도록 적어도 하나의 시간 편이된 생체 신호를 입력하고, 적어도 하나의 믹서 각각은 수신 신호와 시간 편이된 신호를 이용하여 적어도 하나의 혼합 신호를 생성할 수 있다. 신호 혼합기(361)의 구체적인 동작은 도 5에 도시된다.

[0058] 푸리에 변환기(363)는 시간 영역의 신호를 주파수 영역의 신호로 변환하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시

예에 따르면, 푸리에 변환기(363)는 신호 혼합기가 출력한 적어도 하나의 혼합 신호에 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)를 적용할 수 있다. 푸리에 변환기(363)의 구체적인 동작은 도 5에 도시된다.

[0059] 변조 정보 추정기(365)는 수신한 신호의 시간 변조 및/또는 주파수 변조를 추정하는 기능을 수행한다. 변조 정보 추정기(365)는 최대 우도 검출(maximum likelihood detection) 방법을 이용하여 변조 정보를 추정할 수 있다. 즉, 변조 정보 추정기(365)는 생체 신호에 적용된 적어도 하나의 시간 편이 중 송신기에서 사용된 시간 편이와 동일한 값을 가지는 시간 편이에서, 푸리에 변환 결과가 최댓값을 가지는 성질을 이용하여 변조 정보를 추정할 수 있다. 변조 정보 추정기(365)는 푸리에 변환기의 출력 신호에서 주파수의 피크 검출(peak detection)을 통해, 에너지 값이 최대가 되는 시간 변조와 주파수 변조를 결정할 수 있다. 변조 정보 추정기(365)의 구체적인 동작은 도 5에 도시된다.

[0060] 복조 신호 생성기(367)는 결정된 추정된 시간 편이와 주파수 편이를 이용하여 복조 신호를 생성하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성기(367)는 변조 정보 추정기(365)로부터 결정된 시간 변조와 주파수 변조로부터 전송 비트를 디매핑(demapping)하여 송신기의 전송 비트를 추정할 수 있다. 복조 신호 생성기(367)의 구체적인 동작은 도 5에 도시된다.

[0061] 도 4는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)의 구성(400)을 도시한다. 도 4를 참고하면, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호 생성기(311), 시간 편이 결정기(313), 주파수 편이 결정기(315), 변조 신호 생성기(317)를 포함한다.

[0062] 생체 신호 생성기(311)는 생체 기준 신호를 수신하여 생체 신호를 출력하는 기능을 수행한다. 생체 신호 생성기(311)는 휘슬음들 사이의 중심 주파수 간격과 시간 간격에 불규칙성이 존재하는 돌고래 휘슬음을 이용할 수 있다. 생체 신호 생성기(311)는 녹음된 돌고래 휘슬음 또는 즉각적으로 발생된 돌고래 휘슬음을 생체 기준 신호로 전달받을 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 생체 신호 생성기(311)는 주파수 윤곽선 추출부(401)와 생체 신호 생성부(403)를 포함할 수 있다.

[0063] 주파수 윤곽선 추출부(401)는 생체 기준 신호에서 윤곽선을 추출하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 주파수 윤곽선 추출부(401)는 돌고래 휘슬음의 돌고래 휘슬음과 동일한 주파수 윤곽선(frequency contour)을 가지는 신호를 생성할 수 있다. 주파수 윤곽선 추출부(401)는 생성된 신호를 생체 신호 생성부(403)로 전달할 수 있다.

[0064] 생체 신호 생성부(403)는 생체 신호와 동일한 주파수 윤곽선을 가지는 신호를 이용하여 변조에 사용되는 생체 신호 $w_1(t)$ 를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 생체 신호 생성부(403)는 생성된 생체 신호 $w_1(t)$ 를 변조 신호 생성기의 시간 편이부(417)로 전달할 수 있다.

[0065] 도 4는 생체 신호 생성기(311)가 생체 기준 신호를 정제한 1 번째 생체 신호 $w_1(t)$ 를 사용하는 경우를 예시하나, 생체 신호 생성기(311)는 입력 받은 생체 기준 신호를 변조에 이용되는 생체 신호로 사용할 수 있다. 이를 위하여, 생체 신호 생성기(311)는 생체 기준 신호를 곧바로 변조 신호 생성기의 시간 편이부(417)로 출력할 수 있다.

[0066] 시간 편이 결정기(313)는 전송 비트에 관한 시간 편이를 결정하는 기능을 수행한다. 시간 편이 결정기(313)는 송신기가 전송하고자 하는 시간 편이에 기반하여 전송 비트를 매핑할 수 있다. 시간 축에서 변조 차수를 M_t , 주파수 축에서 변조 차수를 M_f 라 할 때, 심볼 하나에 전송되는 총 비트의 수 N 은 $N = \log_2(M_t M_f)$ 의 조건을 만족할 수 있다. 이 때, N 개의 전송 비트에서 임의의 n 번째 비트를 b_n 이라고 할 때, 전송하고자 하는 전송 비트 벡터 B 는 $B = [b_1, b_2, \dots, b_n, \dots, b_N]^T$ 로 표현될 수 있다. 시간 및 주파수에 각각에 대응되는 비트가 할당되기 위하여, N 개의 비트는 시간 영역에 관한 $N_t = \log_2 M_t$ 개의 시간 영역 전송 비트 벡터 B_t 와 $N_f = \log_2 M_f$ 개의 주파수 영역 전송 비트 벡터 B_f 로 구분될 수 있다. 시간 편이 결정기(313)는 이 중 시간 영역 전송 비트 벡터 B_t 를 이용하여 시간 편이를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 시간 편이 결정기(313)는 시간 영역 전송 비트 추출부(431), 제1 비트 변환부(433), 믹서(435)를 포함할 수 있다.

[0067] 시간 영역 전송 비트 추출부(431)는 전송 비트에서 시간 편이의 대상이 되는 비트를 추출하는 기능을 수행한다. 시간 영역 전송 비트 추출부(431)는 전송 비트 B 에서, 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터 B_t 를 추출하여 제1 비트 변환부(433)로 전달할 수 있다.

[0068] 제1 비트 변환부(433)는 전송 비트 벡터를 변환하는 기능을 수행한다. 제1 비트 변환부(433)는 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터 B_t 를 10진수로 변환하고, 변환된 값들과 시간 변조 차수를 이용하여 시간 변조 m_t 를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제1 비트 변환부(433)는 10진수로 변환된 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터의 값과 $(M_t/2)+1$ 값의 뺄셈 연산을 수행할 수 있다. 그에 따라, 제1 비트 변환부(433)는 뺄셈 연산의 수행 결과를 시간 변조 m_t 로 결정할 수 있다. 그에 따라, m_t 는 $(-M_t/2)+1 \leq m_t \leq M_t/2$ 의 범위 내에서 불규칙한 값을 가지는 정수로 결정될 수 있다. 제1 비트 변환부(433)는 시간 변조 m_t 를 믹서(435)로 출력할 수 있다.

[0069] 믹서(435)는 신호를 혼합하여 시간 편이를 결정하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 믹서(435)는 제1 비트 변환부(433)로부터 출력된 시간 변조 m_t 와 시간 편이의 최소 단위에 해당되는 시간 해상도 Δt 를 혼합하여 시간 편이를 결정할 수 있다.

[0070] 시간 해상도 Δt 는 실제 돌고래 휘슬음의 시간 간격의 확률 분포의 평균 값을 사용한다. 그러나 추출된 값 자체를 이용하면 샘플링 주파수 f_s 에 기반하여 발생하는 되는 모호성(ambiguity)으로 인하여 복호 성능이 감소하게 된다. 이를 방지하기 위하여, 시간 해상도 Δt 는 시간 영역에서 샘플링 주파수 f_s 에 기반하여 결정되는 샘플링 주기의 정수배가 되도록 설정될 수 있다. 이에 대응하여, 시간 해상도 Δt 는 <수학식 1>과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} \text{nint}[f_s \times \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x) dx]$$

[0071]

[0072] <수학식 1>을 참고하면, Δt 는 시간 해상도, f_s 는 샘플링 주파수, $\text{nint}[z]$ 는 입력 값 z 로부터 가장 가까운 정수를 출력하는 함수, $f_X(x)$ 는 생체 신호의 시간 간격의 확률 밀도 함수를 지시한다.

[0073] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 시간 편이 결정기(313)는 돌고래 휘슬음의 시간 간격의 확률 밀도 함수를 이용하여 시간 해상도 Δt 를 결정함으로써 불규칙한 휘슬음 신호들에 관한 시간 편이를 결정할 수 있다. 믹서(435)는 시간 해상도 Δt 와 시간 영역의 시간 변조 m_t 를 곱하여 시간 편이 $m_t \Delta t$ 를 결정할 수 있다.

[0074] 시간 편이 $m_t \Delta t$ 는 음의 실수 값 또는 양의 실수 값을 가질 수 있고, 시간 편이가 음의 실수 값을 가지는 경우 두 휘슬음들은 음의 실수 값만큼 겹쳐지게 된다. 반대로, 시간 편이가 양의 실수 값을 가지는 경우, 두 휘슬음들은 양의 실수 값만큼 간격을 가지게 된다. 또한, 시간 편이 $m_t \Delta t$ 의 평균 값은 Δt 가 된다. 믹서(435)는 결정된 시간 편이를 변조 신호 생성기(317)로 전달할 수 있다.

[0075] 주파수 편이 결정기(315)는 전송 비트에 관한 주파수 편이를 결정하는 기능을 수행한다. 주파수 편이 결정기(315)는 N 개의 전송 비트 중에서, 주파수 영역 전송 비트 벡터 B_f 를 이용하여 주파수 편이를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 주파수 편이 결정기(315)는 주파수 영역 전송 비트 추출부(451), 제2 비트 변환부(453), 믹서(455)를 포함할 수 있다.

[0076] 주파수 영역 전송 비트 추출부(451)는 전송 비트에서 주파수 편이의 대상이 되는 비트를 추출하는 기능을 수행한다. 주파수 영역 전송 비트 추출부(451)는 전송 비트 B 에서, 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터 B_f 를 추출하여 제2 비트 변환부(453)로 전달할 수 있다.

[0077] 제2 비트 변환부(453)는 전송 비트 벡터를 변환하는 기능을 수행한다. 제2 비트 변환부(453)는 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터 B_f 를 10진수로 변환하고, 변환된 값들과 주파수 변조 차수를 이용하여 주파수 변조 m_f 를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 제2 비트 변환부(453)는 10진수로 변환된 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터의 값과 $(M_f/2)+1$ 값의 뺄셈 연산을 수행할 수 있다. 그에 따라, 제2 비트 변환부(453)는 뺄셈 연산의 수행 결과를 주파수 변조 m_f 로 결정할 수 있다. 그에 따라, m_f 는 $(-M_f/2)+1 \leq m_f \leq M_f/2$ 의 범위 내에서 불규칙한 값을 가지는 정수로 결정될 수 있다. 제2 비트 변환부(453)는 주파수 변조 m_f 를 믹서(455)로 출력할

수 있다.

[0078] 믹서(455)는 신호를 혼합하여 주파수 편이를 결정하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 믹서(455)는 제2 비트 변환부(453)로부터 출력된 주파수 변조 m_f 와 주파수 편이의 최소 단위에 해당되는 주파수 해상도 Δf 를 혼합하여 주파수 편이를 결정할 수 있다.

[0079] 주파수 해상도 Δf 는 실제 돌고래 휘슬음의 주파수 간격의 확률 분포의 평균 값을 사용한다. 그러나 추출된 값 자체를 이용하면 생체 신호의 길이 T_w 에 기반하여 발생되는 되는 모호성으로 인하여 복호 성능이 감소하게 된다. 이를 방지하기 위하여, 주파수 해상도 Δf 는 주파수 영역에서 휘슬음의 길이에 기반하여 결정되는 $1/T_w$ 의 정수배가 되도록 설정될 수 있다. 이에 대응하여, 주파수 해상도 Δf 는 <수학식 2>과 같이 표현될 수 있다.

수학식 2

$$\Delta f = \frac{1}{T_w} \text{nint}[T_w \times \int_{-\infty}^{\infty} y f_Y(y) dy]$$

[0080]

[0081] <수학식 2>을 참고하면, Δf 는 주파수 해상도, T_w 는 생체 신호의 길이, $\text{nint}[z]$ 는 입력 값 z 로부터 가장 가까운 정수를 출력하는 함수, $f_Y(y)$ 는 생체 신호의 주파수 간격의 확률 밀도 함수를 지시한다.

[0082] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 주파수 편이 결정기(315)는 돌고래 휘슬음의 주파수 간격의 확률 밀도 함수를 이용하여 주파수 해상도 Δf 를 결정함으로써 불규칙한 휘슬음 신호들에 관한 주파수 편이를 결정할 수 있다. 믹서(455)는 주파수 해상도 Δf 와 시간 영역의 시간 변조 m_t 를 곱하여 주파수 편이 $m_t \Delta f$ 를 결정할 수 있다. 주파수 편이 $m_t \Delta f$ 는 음의 실수 값 또는 양의 실수 값을 가질 수 있고, 주파수 편이가 음의 실수 값을 가지는 경우 두 휘슬음들은 음의 실수 값만큼 겹쳐지게 된다. 반대로, 주파수 편이가 양의 실수 값을 가지는 경우, 두 휘슬음들은 양의 실수 값만큼 간격을 가지게 된다. 또한, 주파수 편이 $m_t \Delta f$ 의 평균 값은 Δf 가 된다. 믹서(455)는 결정된 주파수 편이를 변조 신호 생성기(317)로 전달할 수 있다.

[0083] 변조 신호 생성기(317)는 시간 편이와 주파수 편이를 이용하여 생체 신호를 변조하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성기(317)는 생체 신호에 시간 편이와 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성기(317)는 생체 신호에 시간 편이를 적용하는 시간 편이부(471)와 주파수 편이를 적용하는 주파수 편이부(473)를 포함할 수 있다. 변조 신호 생성기(317)는 1 번째 생체 신호 $w_1(t)$ 에 시간 편이 $m_t \Delta t$ 와 주파수 편이 $m_f \Delta f$ 를 적용하여 1 번째 변조 심볼을 생성할 수 있다. 1 번째 변조 심볼은 <수학식 3>과 같이 결정될 수 있다.

수학식 3

$$s_l(t) = [\delta(t - m_t \Delta t) \otimes w_l(t)] e^{j2\pi m_f \Delta f t}$$

[0084]

[0085] <수학식 3>을 참고하면, $s_l(t)$ 는 1 번째 변조 심볼, $m_t \Delta t$ 는 시간 편이, $m_f \Delta f$ 는 주파수 편이, $w_l(t)$ 는 1 번째 생체 신호, $\otimes$ 는 컨볼루션 연산자를 지시한다.

[0086] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조된 심볼 길이 T_s 는 생체 신호의 길이 T_w 에 $M_t \Delta t$ 를 더한 값으로 결정될 수 있다. 변조 신호 생성기(317)는 <수학식 3>을 이용하여 생체 신호에 시간 편이와 주파수 편이를 적용하여 결정된 변조 신호 $s_l(t)$ 를 출력할 수 있다. 그에 따라, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호의 주파수 윤곽선에 왜곡이 발생하지 않고 불규칙한 성질을 갖게 되어 종래의 CSS 변조 기법과 CV-CFM 기법에 대비 모방 성능이 우수한 변조 신호를 생성할 수 있다.

[0087] 도 5는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 복조 신호 생성 장치(360)의 구성(50

0)을 도시한다.

- [0088] 송신기로부터 수신된 변조 신호에 생체를 모방하는 시간 편이와 주파수 편이가 적용됨에 따라, 복조 신호 생성 장치(360)는 수신된 변조 신호의 시간 편이와 주파수 편이를 추정하여 복조를 수행할 수 있다. 수중 채널 환경의 경우, 해저면 및 해수면 등에 의한 반사파로 인하여 다중 경로의 수중 채널이 형성될 수 있고, 수중 통신 시 음파를 사용하기 때문에 지연 시간이 길다. 변조 신호를 복조하기 위하여 상호 상관(cross correlation) 기법을 이용해 시간 편이를 추정하는 경우, 다중 경로 이득이 첫 번째 경로보다 두 번째 경로가 더 강할 경우 시간 편이 추정 값에서 다중 경로 간의 지연시간 차이만큼의 오차가 발생된다. 그에 따라, 상호 상관 기법을 이용하여 복조를 수행하는 경우 간섭 영향을 극복하기 위해 시간 편이의 최소 단위인 시간 해상도 Δt 가 다중 경로 채널의 주 경로 중 최대 지연 시간의 2 배 보다 길어야 한다. 본 개시의 생체 모방 변조 방법에 따르면, 시간 해상도 Δt 는 모방 성능을 높이기 위해 실제 돌고래 휘슬음의 확률 분포에 기반하여 결정된 값이 사용되기 때문에, 임의로 길게 조정될 수 없으므로 다중 경로 채널로 인한 영향을 줄이는 것이 어렵다. 그에 따라, 시간 해상도 Δt 가 다중 경로 채널의 주 경로 중 최대 지연 시간의 2배 보다 길지 않아 발생하는 다중 경로 채널로 인한 영향을 줄이기 위하여, 복조 신호 생성 장치(360)는 기존의 상호 상관 기법과 상이한 복조 방법을 이용할 수 있다. 도 5를 참고하면, 복조 신호 생성 장치(360)는 신호 혼합기(361), 푸리에 변환기(363), 변조 정보 추정기(365), 복조 신호 생성기(367)를 포함한다.
- [0089] 신호 혼합기(361)는 수신 신호와 시간 편이된 생체 신호를 혼합하는 기능을 수행한다. 신호 혼합기(361)는 생체 신호를 시간 편이 시키기 위한 적어도 하나의 시간 편이기(미도시)와 신호를 혼합하기 위한 적어도 하나의 믹서(361-1 내지 361-n)를 포함할 수 있다.
- [0090] 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 시간 편이기(미도시)는 1 번째 생체 신호 $w_1(t)$ 에 켈레 복소수(complex conjugate)를 결정하고, 최대 우도 검출을 위하여 변조 시 적용될 수 있는 적어도 하나의 시간 편이 값을 이용하여 $w_1^*(t)$ 에 시간 편이 $a_1\Delta t$ 를 적용할 수 있다. 여기서, 시간 편이 $a_1\Delta t$ 는 $a_1t=(-M_t/2+i)\Delta t$ 로 결정될 수 있고, $i=1, 2, \dots, M_t$ 의 조건을 만족한다. 시간 편이기(미도시)는 1 번째 생체 신호 $w_1(t)$ 에 시간 편이를 적용하여 생성된 적어도 하나의 시간 편이된 생체 신호 $w_1^*(t-a_1\Delta t)$ 를 대응되는 적어도 하나의 믹서(361-1 내지 361-n)로 출력할 수 있다.
- [0091] 적어도 하나의 믹서(361-1 내지 361-n)는 생체 모방 신호인 1 번째 심볼에 관한 수신 신호 $r_1(t)$ 와 입력 받은 적어도 하나의 시간 편이된 생체 신호 $w_1^*(t-a_1\Delta t)$ 를 곱할 수 있다. 적어도 하나의 믹서(361-1 내지 361-n)에 기반하여 혼합된 적어도 하나의 혼합 신호는 각각의 시간 편이에서 신호의 에너지 값을 지시하며, 푸리에 변환기(363)으로 입력될 수 있다.
- [0092] 푸리에 변환기(363)는 입력 받은 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 푸리에 변환하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 푸리에 변환기(363)는 신호 혼합기에서 출력된 적어도 하나의 혼합 신호에 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)를 적용하여 주파수 영역의 신호로 변환한다. 푸리에 변환기(363)는 푸리에 변환된 신호를 변조 정보 추정기(365)로 출력한다.
- [0093] 변조 정보 추정기(365)는 푸리에 변환된 생체 모방 신호로부터 시간 편이와 주파수 편이를 추정하는 기능을 수행한다. 변조 정보 추정기(365)는 시간 편이된 생체 신호 $w_1^*(t-a_1\Delta t)$ 에 적용된 시간 편이인 $a_1\Delta t$ 가 변조 신호 생성 장치에서 사용된 시간 편이와 같은 값인 경우, 푸리에 변환의 결과의 최댓값이 존재하는 지점이 송신단에서 변조에 사용된 주파수 편이와 같은 값을 가지는 성질을 이용하여, 시간 편이와 주파수 편이를 추정할 수 있다. 그에 따라, 변조 정보 추정기(365)는 푸리에 변환기(363)로부터 출력된 적어도 하나의 신호 중에서, 에너지가 최댓값을 가지는 주파수와 a_1 를 결정함으로써 시간 편이와 주파수 편이를 추정할 수 있다.
- [0094] 보다 구체적으로, 적어도 하나의 믹서(361-1 내지 361-n)를 이용하여 1 번째 심볼에 관한 수신 신호 $r_1(t)$ 와 $a_1\Delta t$ 만큼 시간 편이된 생체 신호 $w_1^*(t-a_1\Delta t)$ 를 곱하고, 그 결과에 푸리에 변환기(363)를 이용하여 푸리에 변환을 적용하면 <수학식 4>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 4

$$D_l(f, a_i) = \frac{1}{2\pi} R_l(f) \otimes W_l^*(-f) e^{-j2\pi a_i \Delta t f}$$

[0095]

[0096]

<수학식 4>를 참고하면, $D_l(f, a_i)$ 는 1 번째 수신 심볼에서 $a_i \Delta t$ 만큼 시간 편이된 생체 신호를 합성하고 푸리에 변환이 적용된 결과, $W_l(f)$ 는 $w_l(t)$ 의 주파수 성분, $R_l(f)$ 는 $r_l(t)$ 의 주파수 성분을 지시한다. 여기서 $W_l(f)$ 와 $R_l(f)$ 를 구체화 하면, 푸리에 변환 결과 $D_l(f, a_i)$ 는 <수학식 5>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 5

$$D_l(f, a_i) = \frac{1}{2\pi} H_l(f) \otimes \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_l^*(v - m_f \Delta f) W_l^*(f + v) e^{-j2\pi(m_t - a_i) \Delta t v} e^{-j2\pi a_i \Delta t f} dv \right\} + N'_l(f)$$

[0097]

[0098]

<수학식 5>를 참고하면, $D_l(f, a_i)$ 는 1 번째 수신 심볼에서 $a_i \Delta t$ 만큼 시간 편이된 생체 신호를 합성하고 푸리에 변환이 적용된 결과, $H_l(f)$ 는 통신 채널 $h_l(t)$ 의 푸리에 변환, $N'_l(f)$ 는 노이즈와 $w_l^*(t - a_i \Delta t)$ 의 푸리에 변환을 지시한다. 여기서 $N'_l(f)$ 를 구체화하면, <수학식 6>과 같이 결정될 수 있다.

수학식 6

$$N'_l(f) = \frac{1}{2\pi} N_l(f) \otimes W_l^*(-f) e^{-j2\pi a_i \Delta t f},$$

[0099]

[0100]

<수학식 6>를 참고하면, $N_l(f)$ 는 노이즈, W_l^* 은 $w_l^*(t - a_i \Delta t)$ 의 푸리에 변환을 지시한다. <수학식 6>에서, $a_i = m_t$, $f = m_t \Delta t$ 이고, $H_l(f) = H_l$ 상수인 경우, 푸리에 변환이 적용된 결과는 <수학식 7>과 같이 결정될 수 있다.

수학식 7

$$D_l(m_f \Delta f, m_t) = \frac{H_l}{4\pi^2} e^{j2\pi m_t m_f \Delta t \Delta f} \int_{-\infty}^{\infty} |W_l(v)|^2 dv + N'_l(m_f \Delta f)$$

[0101]

[0102]

<수학식 7>을 참고하면, $D_l(m_f \Delta f, m_t)$ 는 1 번째 수신 심볼에서 $m_t \Delta t$ 만큼 시간 편이된 생체 신호를 합성하고 푸리에 변환이 적용된 결과, H_l 은 통신 채널 상수, $N'_l(m_f \Delta f)$ 는 노이즈를 지시한다. <수학식 7>에서 $\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_l(v)|^2 dv$ 는 파스발 정리(parseval's theorem)에 따라 $\int_{-\infty}^{\infty} |w_l(t)|^2 dt$ 로 표현될 수 있고, 이는 1 번째 심볼에 사용된 돌고래 휘슬음의 에너지(E_s)를 지시한다. 그에 따라, 푸리에 변환이 적용된 결과의 크기는 <수학식 8>과 같이 결정될 수 있다.

수학식 8

$$|D_l(m_f \Delta f, m_t)| = \frac{|H_l|}{4\pi^2} E_s |N'_l(m_f \Delta f)|$$

[0103]

[0104]

<수학식 8>을 참고하면, $|D_l(m_f \Delta f, m_t)|$ 는 1 번째 수신 심볼에서 $m_t \Delta t$ 만큼 시간 편이된 생체 신호를 합성하고 푸리에 변환이 적용된 결과의 크기, H_l 은 통신 채널 상수, $N'_l(m_f \Delta f)$ 는 노이즈를 지시한다. <수학식 8>을 참고하면, 푸리에 변환이 적용된 결과의 크기는 통신 채널에 기반하여 결정되는 H_l 과 1 번째 심볼에 사용된 생체 신호의 에너지를 곱한 값에, 노이즈 기반하여 결정되는 값을 더한 값으로서, 이 값은 $|D_l(f, a_i)|$ 의 최대 값이 된다. 따라서, 변조에 사용된 시간 변조 m_t 와 주파수 m_f 를 <수학식 9>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 9

$$\hat{m}_t = \arg \max |D_l(\arg \max |D_l(f, a_i)|_f, a_i)|_{a_i}$$

$$\hat{m}_f = \text{nint}[\arg \max |D_l(f, \hat{m}_t)|_f]$$

[0105]

[0106]

<수학식 9>를 참고하면, $\hat{m}_t$ 는 추정된 시간 변조, $\hat{m}_f$ 는 추정된 주파수 변조, $|D_l(f, a_i)|$ 는 푸리에 변환된 결과의 크기를 지시한다. 즉, 변조 정보 추정기(365)는 푸리에 변환 결과가 최대가 되는 주파수 f 를 결정하고, 주파수가 f 인 경우 푸리에 변환 결과가 최대가 되는 시간 편이 a_i 를 결정함으로써 시간 변조를 추정할 수 있다. 또한, 변조 정보 추정기(365)는 추정된 시간 변조에서 푸리에 변환 결과가 최대가 되게 하는 주파수를 결정하고, 결정된 주파수에서 가장 가까운 정수를 주파수 변조로 추정할 수 있다. 변조 정보 추정기(365)는 추정된 시간 변조와 주파수 변조를 복조 신호 생성기(367)로 전달할 수 있다.

[0107]

복조 신호 생성기(367)는 추정된 시간 편이와 주파수 편이를 이용하여 신호를 복조하는 기능을 수행한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성기(367)는 변조 정보 추정기(365)가 추정한 시간 변조와 주파수 변조를 전달 받고, 수신한 변조 신호를 시간 변조와 주파수 변조를 이용하여 전송 비트로 디매핑(demapping)하여 송신기의 전송 비트를 확인할 수 있다.

[0108]

도 6은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 변조 신호 생성 장치(310)의 동작 방법에 관한 흐름도(600)를 도시한다.

[0109]

도 6을 참고하면 단계(601)에서, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호를 생성한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호 생성기(311)를 이용하여, 생체 기준 신호에서 주파수 윤곽선을 추출하고, 주파수 윤곽선을 이용하여 생체 신호를 생성할 수 있다. 여기서 생체 기준 신호는 돌고래의 휘슬음(whistle) 신호를 포함할 수 있다. 본 개시의 다른 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 기준 신호를 곧바로 변조에 이용되는 생체 신호로 사용할 수 있다. 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 기준 신호를 변조 신호 생성기로 출력할 수 있다.

[0110]

단계(603)에서, 변조 신호 생성 장치(310)는 전송 비트에서 추출된 시간 영역 전송 비트와 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정하고, 시간 변조와 시간 해상도에 기반하여 시간 편이를 결정한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 시간 변조 차수에 기반하여 전송 비트로부터 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고, 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터에 심진수 변환을 적용하고, 심진수로 변환된 시간 영역에 관한 전송 비트 벡터와 시간 변조 차수에 기반하여 시간 변조를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에

따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 샘플링 주파수와 생체 신호에 관한 시간 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 시간 해상도를 결정하고, 시간 해상도와 시간 변조를 혼합하여 시간 편이를 결정할 수 있다. 여기서, 시간 해상도는 샘플링 주파수의 역수의 정수배로 결정될 수 있다.

[0111] 단계(605)에서, 변조 신호 생성 장치(310)는 전송 비트에서 추출된 주파수 영역 전송 비트와 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정하고, 주파수 변조와 주파수 해상도에 기반하여 주파수 편이를 결정한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 주파수 변조 차수에 기반하여, 전송 비트로부터 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터를 결정하고, 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터에 심진수 변환을 적용하고, 심진수로 변환된 주파수 영역에 관한 전송 비트 벡터와 주파수 변조 차수에 기반하여 주파수 변조를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호의 시간 길이와 생체 신호에 관한 주파수 간격의 확률 밀도 함수에 기반하여 주파수 해상도를 결정하고, 주파수 해상도와 주파수 변조를 혼합하여 주파수 편이를 결정할 수 있다. 여기서, 주파수 해상도는 생체 신호의 시간 길이의 역수의 정수배로 결정될 수 있다.

[0112] 단계(607)에서, 변조 신호 생성 장치(310)는 생체 신호에 시간 편이와 주파수 편이를 적용하여 변조 신호를 생성한다. 변조 신호 생성 장치(310)는 결정된 시간 편이와 결정된 주파수 편이를 생체 신호에 적용하여 생체 모방 변조 신호를 생성할 수 있다.

[0113] 도 7은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 생체 모방 통신 시스템에서, 복조 신호 생성 장치(360)의 동작 방법에 관한 흐름도(700)를 도시한다.

[0114] 도 7을 참고하면 단계(701)에서, 복조 신호 생성 장치(360)는 수신 신호와 시간 편이된 생체 신호를 혼합한다. 복조 신호 생성 장치(360) 생체 신호를 모방하도록 변조된 신호를 수신하고, 수신한 신호와 시간 편이된 생체 신호를 합성할 수 있다. 이를 위하여, 복조 신호 생성 장치(360)는 변조 차수와 시간 해상도에 기반하여 생체 신호를 시간 편이시키는 시간 편이기와 시간 편이된 생체 신호와 수신 신호를 혼합하는 적어도 하나의 믹서를 포함할 수 있다. 여기서, 생체 신호는 돌고래의 휘슬음에서 추출된 주파수 윤곽선을 이용하여 생성된 신호를 포함할 수 있다.

[0115] 단계(703)에서, 복조 신호 생성 장치(360)는 혼합된 신호에 FFT를 적용한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성 장치(360)는 신호 혼합기에서 출력된 적어도 하나의 혼합 신호에 FFT를 적용하여, 시간 영역의 신호를 주파수 영역의 신호로 변환한다.

[0116] 단계(705)에서, 복조 신호 생성 장치(360)는 푸리에 변환기의 출력 결과에 기반하여, 시간 변조와 주파수 변조를 추정한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성 장치(360)는 푸리에 변환기의 주파수 영역의 출력 결과에서 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제1 주파수를 식별하고, 제1 주파수에서 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 시간 변조를 결정할 수 있다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성 장치는 결정된 시간 변조에서 출력 결과의 신호의 크기가 최대가 되게 하는 제2 주파수를 결정하고, 제2 주파수에 가장 가까운 정수를 주파수 변조로 결정할 수 있다.

[0117] 단계(707)에서, 복조 신호 생성 장치(360)는 시간 변조와 주파수 변조에 기반하여 복조 신호를 생성한다. 본 개시의 일 실시 예에 따르면, 복조 신호 생성 장치(360)는 변조 정보 추정기로부터 추정된 시간 변조와 주파수 변조를 이용하여, 수신한 변조 신호를 전송 비트로 디매핑하여 송신기의 전송 비트를 확인할 수 있다.

[0118] 도 8은 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 변조 신호 생성 장치와 복조 신호 생성 장치를 이용한 경우, 비트 에러율(bit error rate, BER) 결과에 관한 그래프(800)를 도시한다. 도 8은 본 개시에 따른 복조 신호 생성 장치(360)의 복조 방법(proposed)과 종래의 상호 상관(cross correlation)을 이용한 복조 방법의 1/2-convolutional code를 적용한 BER 결과를 도시한다. 도 8을 참고하면, 각각의 그래프에서 가로 축은 신호 대 잡음(signal to noise, SNB), 세로 축은 BER을 지시한다.

[0119] 도 8을 참고하면, 제1 그래프(801)는 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조 차수 M_f 가 모두 2인 경우를 예시하고, 제2 그래프(803)는 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조 차수 M_f 가 모두 4인 경우를 예시하고, 제3 그래프(805)는 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조 차수 M_f 가 모두 8인 경우를 예시하고, 제4 그래프(807)는 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조 차수 M_f 가 모두 16인 경우를 예시한다.

[0120] 도 8을 참고하면, 제1 그래프(801)와 제2 그래프(803)에서 도시된 바와 같이, 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조

차수 M_t 가 모두 2 또는 4인 경우, 본 개시에 따른 복조 방법의 BER 성능이 종래의 상호 상관을 통한 복조 방법 대비 1.5 dB, 1 dB 성능이 우수한 것이 확인 된다. 또한, 제3 그래프(805)와 제4 그래프(807)에서 도시된 바와 같이, 시간 변조 차수 M_t 와 주파수 변조 차수 M_f 가 모두 8 또는 16인 경우, 종래의 상호 상관을 통한 복조 방법을 이용하면 error floor가 발생된다. 즉, 종래의 상호 상관을 통한 복조 방법을 이용하는 경우 다중 경로 중 주요 경로의 최대 지연 시간이 3 msec임에 반해, Δt 가 4 msec로 Δt 가 다중 경로 채널의 주 경로 중 최대 지연 시간의 2 배 보다 짧기 때문에 error floor가 발생된다. 그러나, 도 8에 도시된 바와 같이 본 개시에 따른 복조 방법을 이용하면 error floor가 발생되지 않는다. 결과적으로, 본 개시에 따른 복조 방법이 종래의 상호 상관 방법 대비 우수한 복조 성능을 가지는 것이 확인될 수 있다.

[0121] 도 9는 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 변조 신호 생성 장치와 복조 신호 생성 장치를 이용한 경우, 수신 신호의 스펙트로그램(spectrogram)(900)을 도시한다.

[0122] 도 9는 수중 실험을 통하여 수신한 신호의 스펙트로그램을 도시한다. 도 9를 참고하면, 가로 축은 시간을 지시하고 세로 축은 주파수를 지시한다. 도 9를 참고하면, 돌고래 휘슬음을 이용하여 도 9와 같은 변조 신호를 송신할 수 있다. 여기서, 첫 번째 신호는 동기화를 위한 프리앰블(preamble) 신호를 지시하고, 두 번째 신호 내지 네 번째 신호는 본 개시에 따른 변조 방법에 따라 변조된 데이터(data) 신호를 지시한다. 도 9에 도시된 바와 같이 변조 신호는 돌고래 휘슬음과 유사한 형태를 가진다. 그에 따라, 본 개시에 따른 변조 방법을 수중 통신을 수행하는 경우, 적군으로부터의 피탐지 확률과 피감청 확률을 낮출 수 있다.

[0123] 본 개시의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합의 형태로 구현될(implemented) 수 있다.

[0124] 소프트웨어로 구현하는 경우, 하나 이상의 프로그램(소프트웨어 모듈)을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되는 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치(device) 내의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능하도록 구성된다(configured for execution). 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치로 하여금 본 개시의 청구항 또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들을 실행하게 하는 명령어(instructions)를 포함한다.

[0125] 이러한 프로그램(소프트웨어 모듈, 소프트웨어)은 랜덤 액세스 메모리(random access memory), 플래시(flash) 메모리를 포함하는 불휘발성(non-volatile) 메모리, 롬(read only memory, ROM), 전기적 삭제가능 프로그램가능 롬(electrically erasable programmable read only memory, EEPROM), 자기 디스크 저장 장치(magnetic disc storage device), 콤팩트 디스크 롬(compact disc-ROM, CD-ROM), 디지털 다목적 디스크(digital versatile discs, DVDs) 또는 다른 형태의 광학 저장 장치, 마그네틱 카세트(magnetic cassette)에 저장될 수 있다. 또는, 이들의 일부 또는 전부의 조합으로 구성된 메모리에 저장될 수 있다. 또한, 각각의 구성 메모리는 다수 개 포함될 수도 있다.

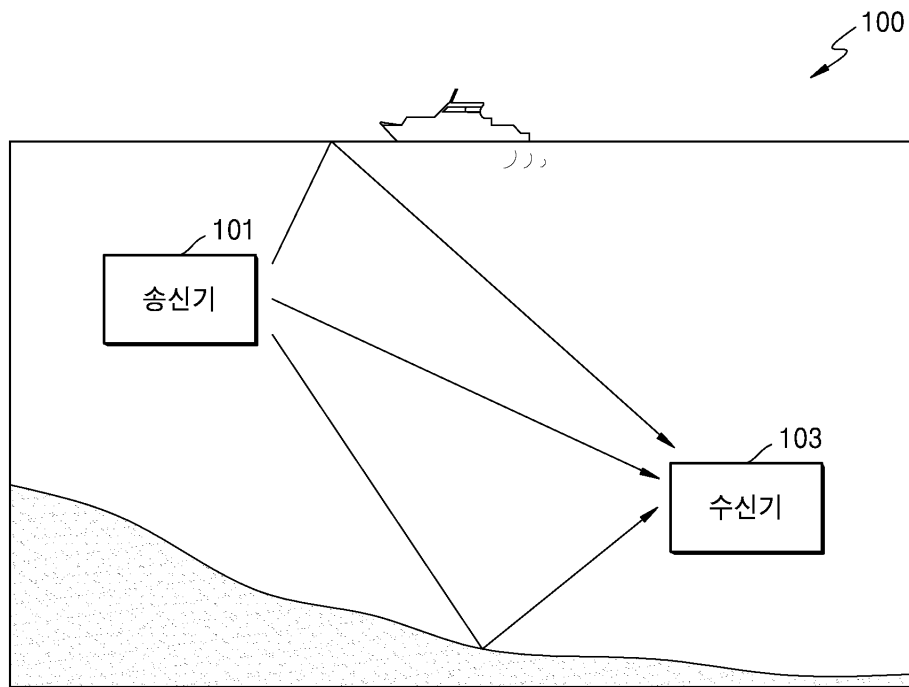
[0126] 또한, 프로그램은 인터넷(Internet), 인트라넷(Intranet), LAN(local area network), WAN(wide area network), 또는 SAN(storage area network)과 같은 통신 네트워크, 또는 이들의 조합으로 구성된 통신 네트워크를 통하여 접근(access)할 수 있는 부착 가능한(attachable) 저장 장치(storage device)에 저장될 수 있다. 이러한 저장 장치는 외부 포트를 통하여 본 개시의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수 있다. 또한, 통신 네트워크상의 별도의 저장장치가 본 개시의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수도 있다.

[0127] 상술한 본 개시의 구체적인 실시 예들에서, 개시에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시 예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다. 그러나, 단수 또는 복수의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 본 개시가 단수 또는 복수의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.

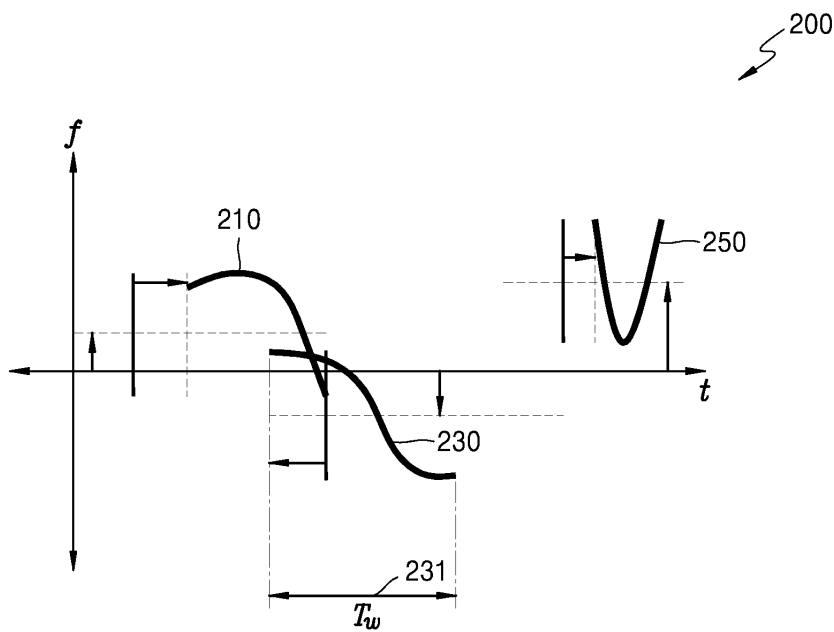
[0128] 한편 본 개시의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 개시의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 개시의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

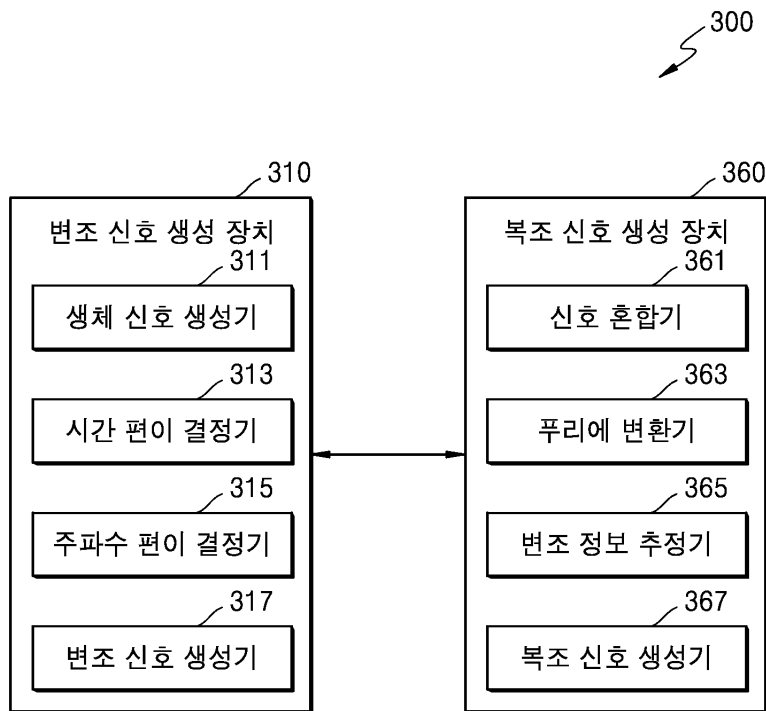
도면1



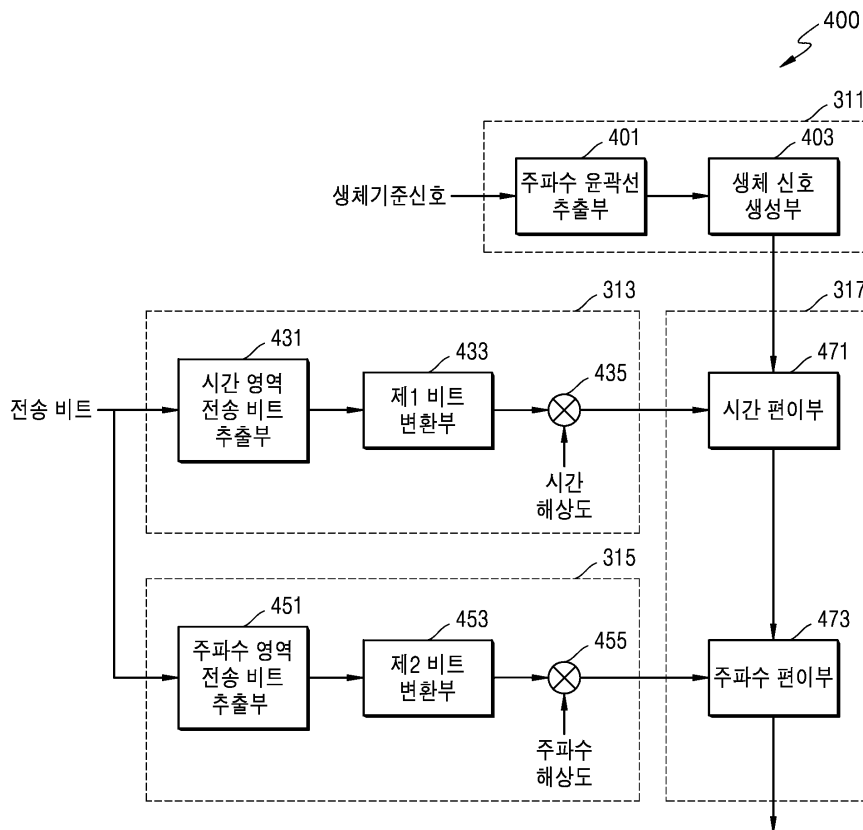
도면2



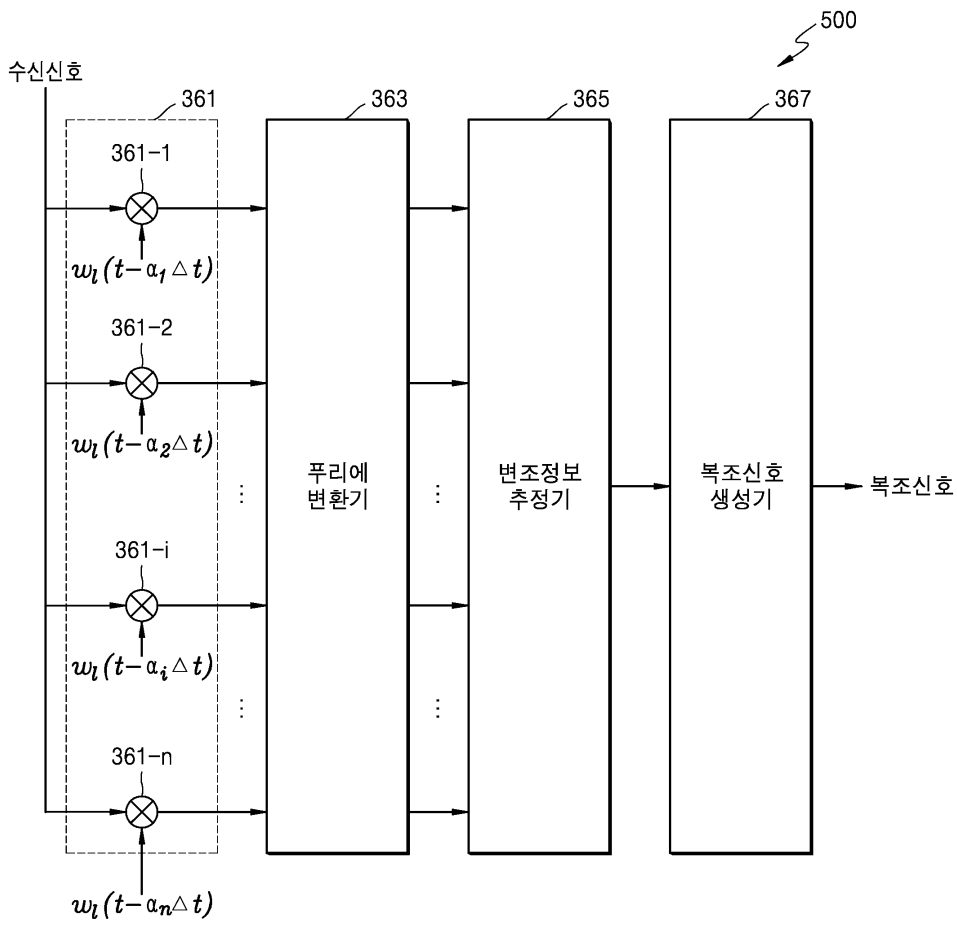
도면3



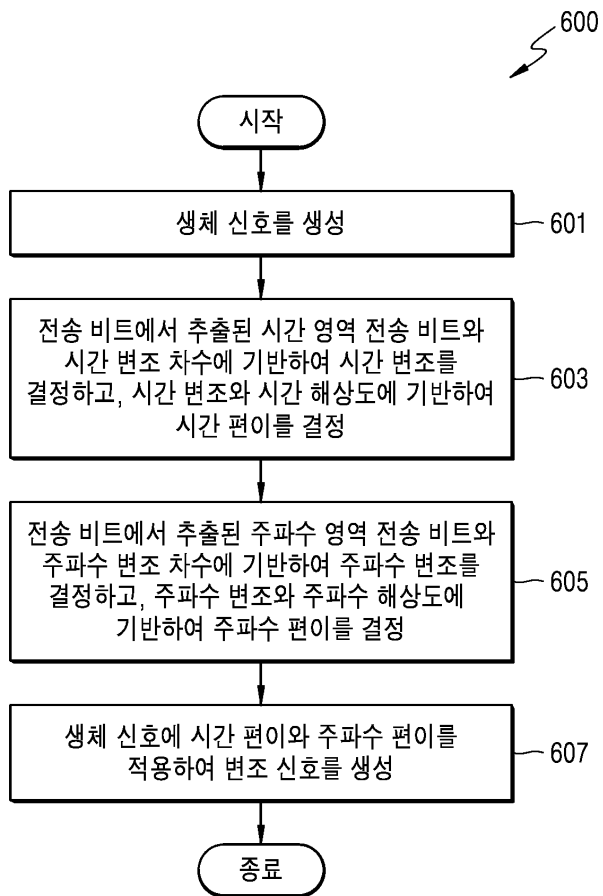
도면4



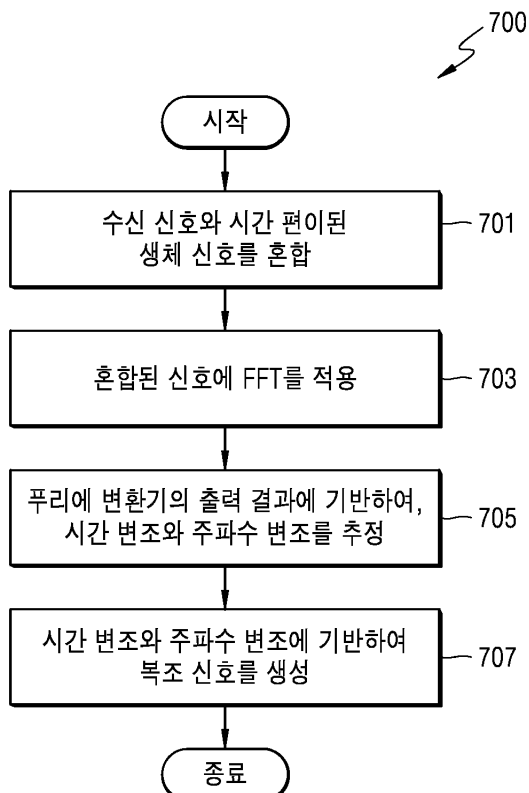
도면5



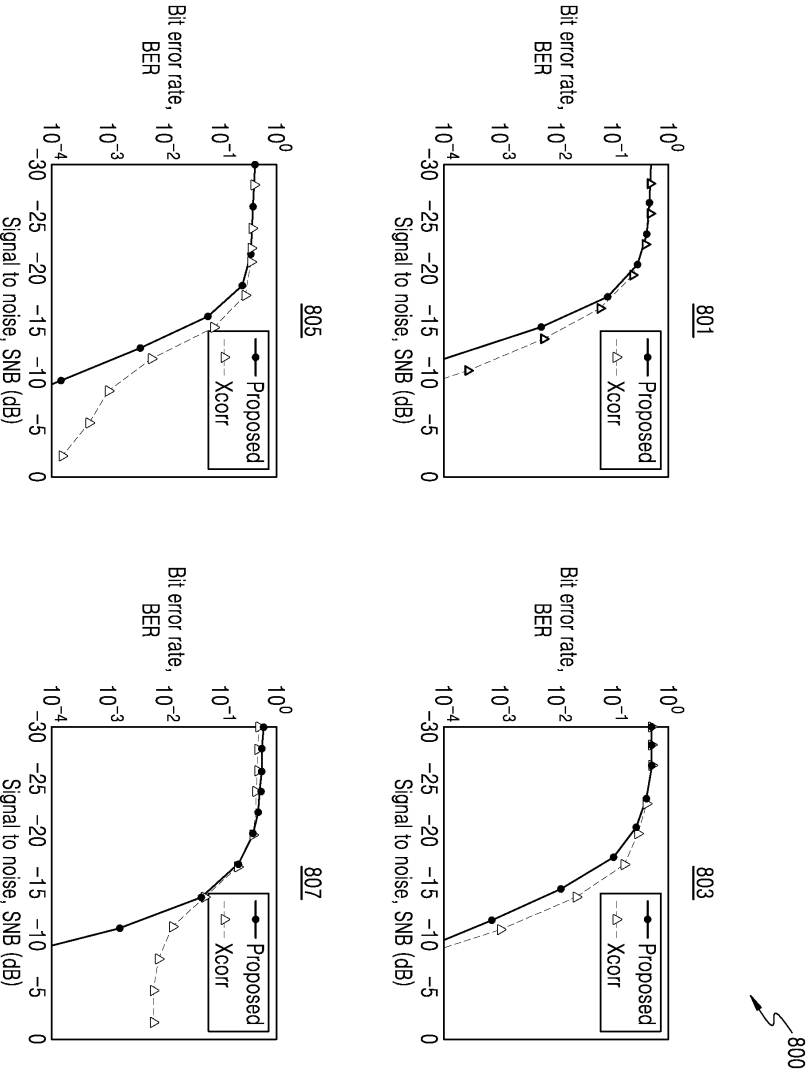
도면6



도면7



도면8



도면9

