(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월14일
(11) 등록번호 10-2252462
(24) 등록일자 2021년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/20 (2006.01) *H04B 13/02* (2006.01)
H04L 27/16 (2006.01) *H04L 27/233* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2014 (2013.01)
H04B 13/02 (2020.08)
(21) 출원번호 10-2019-0176894
(22) 출원일자 2019년12월27일
심사청구일자 2019년12월27일
(56) 선행기술조사문헌
Songzuo Liu et al, "Bionic communication by dolphin whistle with continuous-phase based on MSK modulation", IEEE ICSPCC 2016(2016.08.08.)
CN104217722 A
안종민 외, "돌고래 휘슬음을 모방한 frequency shift keying 수중통신기법의 다중경로결합 수신방법", 한국음향학회지(2018.11.30.)
Jiajia Jiang et al, "Covert underwater communication based on combined encoding of diverse time-frequency characteristics of sperm whale clicks" Elservier Applied Acoustics(2021.01.01.)

(73) 특허권자
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
안종민
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
정재학
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

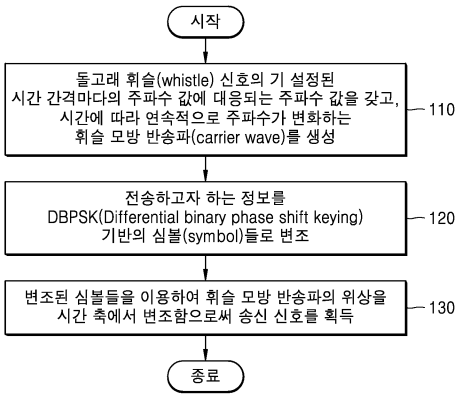
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 **수중 은밀 통신 시스템에서 대칙적인 심볼을 이용한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치**

(57) 요 약

일부 실시예에 따르면, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성하는 단계, 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼(symbol)들로 변조하는 단계, 및 변조된 심볼들을 이용하여 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득하는 단계를 포함하는, 수중 은밀 통신을 위한 송신 장치의 신호 변조 방법이 제공될 수 있다. 또한, 전술한 송신 장치의 신호 변조 방법에 대응되는 수신 장치의 신호 복조 방법이 제공될 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04L 27/16 (2013.01)
H04L 27/2331 (2013.01)
(72) 발명자
이호준
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
김용철
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
이상국
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160(수남동)

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

수중 은밀 통신(covert underwater communication)을 위한 송신 장치의 신호 변조(signal modulation) 방법에 있어서,

돌고래 휘슬(whistle) 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파(carrier wave)를 생성하는 단계;

전송하고자 하는 정보를 DBPSK(Differential binary phase shift keying) 기반의 심볼(symbol)들로 변조하는 단계; 및

상기 변조된 심볼들을 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 휘슬 모방 반송파를 생성하는 단계는,

$\mathbf{T}$ τ

상기 돌고래 휘슬 신호의 주기가 이고, 상기 기 설정된 시간 간격이 라고 할 때, 상기 돌고래 휘슬 신호의

$K(=\frac{T}{\tau})$ $F=\{f_1,f_2,\dots,f_k,\dots,f_K\}$

상기 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 개의 주파수 값들인 를

획득하는 단계;

$K-1$ $f_w(v)=a_Kv^{K-1}+a_{K-1}v^{K-2}+\cdots+a_2v^1+a_1$ $f_w(k\times\tau)=f_k\,(k=1,\dots,K)$

차 방정식 에 대해, 를 만족

K $f_w(v)$ $a=\{a_K,a_{K-1},\dots,a_1\}$

하는 차 연립 방정식을 풀이함으로써, 의 계수인 을 결정하는 단계;

$f_w(v)$ $f(t)$

상기 결정된 계수를 갖는 를 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 시간에 따른 주파수 를 다음과 같은

$f(t)=\int^t f_w(v)\,dv$

수학식 에 따라 결정하는 단계; 및

$c(t)$ $c(t)=\cos(2\pi f(t)\times t)$

상기 휘슬 모방 반송파 를 다음과 같은 수학식 에 따라 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

$F=\{f_1,f_2,\dots,f_k,\dots,f_K\}$

상기 를 획득하는 단계는,

상기 돌고래 휘슬 신호에 대해 STFT(Short-Term Fourier Transform)를 수행함으로써, 상기 $F=\{f_1,f_2,\dots,f_k,\dots,f_K\}$ 를 획득하는, 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼들로 변조하는 단계는,

상기 전송하고자 하는 정보가 K 개의 비트들인 $B = \{b_1, \ldots, b_k, \ldots, b_K\}$ 에 대응되고, b_1 은 더미(dummy) 비트라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $s_k = (b_k + s_{k-1}) \bmod 2 \ (k = 2, \ldots, K)$ 에 따라 상기 전송하고자 하는 정보를 상기 심볼들 s_k 로 변조하는, 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 송신 신호를 획득하는 단계는,

상기 휘슬 모방 반송파를 $c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k) \ (k = 1, 2, \ldots, K)$ 에 따라 상기 송신 신호의 k 번째 송신 심볼인 $w^k(t)$ 를 결정하는 단계; 및

상기 기 설정된 시간 간격마다 상기 결정된 송신 심볼 $w^k(t)$ 를 갖도록 상기 송신 신호를 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 방법은,

상기 획득된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 7

수중 은밀 통신을 위한 수신 장치의 신호 복조(demodulation) 방법에 있어서,

송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하는 단계;

돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계;

상기 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하는 단계; 및

상기 결정된 위상 차이에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 수신 신호를 수신하는 단계는,

상기 송신 신호가 상기 기 설정된 시간 간격에 따라 결정되는 K 개의 구간들 중 k 번째 구간에서 송신 심볼

$w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k)\ (k = 1, 2, \ldots, K)$ $n(t)$ $h(t)$

를 갖고, 가 배경 잡음을 나타내며, 가 상기 수중 채널의 채널 신호를 나타낸다고 할 때, 다음과 같은 수학식

$r_k(t) = h(t) * w^k(t) + n(t) = |h(t)|\cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k + \theta_h) + n(t)\ (k = 1, \ldots, K)$ k

에 따라 상기 번째 $r_k(t)$

구간에 대응되는 수신 신호인 를 수신하는, 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계는,

$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$

상기 휘슬 모방 반송파를 라고 할 때, 상기 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레(complex conjugate)인 $c^*(t)$ 를 상기 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호 $r_k(t)$ 에 곱하는 단계; 및

곱한 결과를 저역 필터(low pass filter)에 통과시킴으로써 상기 k 번째 구간의 기저대역 수신 심볼 $\hat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \ldots, K)$

를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하는 단계는,

상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 각각 $\hat{r_k}$ 및 $\widehat{r_{k-1}}$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식

$\hat{s_k} = \hat{r_k}\widehat{r_{k-1}}^* = |h|^2\cos(\pi(s_k - s_{k-1})) + \tilde{n}\ (k = 2, \ldots, K)$ $\hat{s_k}$

에 따라 상기 위상 차이 를 결정하는, 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 단계는,

상기 위상 차이 $\hat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작으면 상기 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 0으로 결정하고,

상기 위상 차이 $\hat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 크면 상기 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 1로 결정하는, 방법.

청구항 12

수중 은밀 통신을 위한 송신 장치에 있어서,

돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성하고, 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼들로 변조하며, 상기 변조된 심볼들을 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득하는 프로세서; 및

상기 획득된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송하는 트랜스듀서(transducer)를 포함하는, 송신 장치.

청구항 13

수중 은밀 통신을 위한 수신 장치에 있어서,

송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하는 트랜스듀서; 및

돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하고, 상기 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하며, 상기 결정된 위상 차이에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 프로세서를 포함하는, 수신 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 수중 은밀 통신을 위한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 수중 통신 기법들 중에는 은밀성(covertness)을 확보하기 위해 수중 생물의 소리를 모방하는 통신 신호를 생성하는 변조 기법이 존재한다. 예를 들어, 의사소통을 하기 위해 휘슬음(whistle)을 사용하는 돌고래들의 소리를 모방하는 통신 신호를 생성하는 변조 기법이 이용된다. 돌고래의 휘슬음은 돌고래의 종에 따라 수백 msec 내지 1-2 sec의 시간 길이와 수십 Hz 내지 수백 kHz의 주파수 대역을 갖는다.

[0003] 이와 같이 주파수 변조된 특성을 갖는 돌고래의 휘슬음을 모방하기 위해 CSS(chirp spread spectrum)를 이용하는 수중 통신 기법이 연구되었다. CSS 기반의 휘슬 모방 통신 기법은 돌고래의 휘슬음을 짧은 시간 구간들로 나누어 심볼을 생성하고, 각 심볼에 대응되는 시간 구간 내에서 업/다운(up/down) 방향의 처프(chirp) 신호를 생성하여 전송한다. 따라서, 심볼들 간에 유사 직교성(quasi-orthogonality)이 존재하고, 이에 따라, BER(Bit Error Rate) 성능이 좋지 않을 수 있다. 또한, 각 심볼마다 별개의(discrete) 반송 주파수를 이용하므로, 휘슬 모방 통신 신호의 모방성이 낮을 수 있다. 따라서, 종래의 CSS 기반의 휘슬 모방 통신 기법과 비교하여 BER 성능 및 모방성이 더 높은 수중 은밀 통신 기법이 요구될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 다양한 실시예들은 수중 은밀 통신을 위한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치를 제공하는데 있다. 본 개시가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제들로 한정되지 않으며, 이하의 실시예들로부터 또 다른 기술적 과제들이 유추될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 상술한 기술적 과제를 해결하기 위한 수단으로서, 일 측면에 따른 수중 은밀 통신(covert underwater communication)을 위한 송신 장치의 신호 변조(signal modulation) 방법은, 돌고래 휘슬(whistle) 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파(carrier wave)를 생성하는 단계; 전송하고자 하는 정보를 DBPSK(Differential binary phase shift keying) 기반의 심볼(symbol)들로 변조하는 단계; 및 상기 변조된 심볼들을 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0006] 상기 휘슬 모방 반송파를 생성하는 단계는, 상기 돌고래 휘슬 신호의 주기가 T 이고, 상기 기 설정된 시간 간격

τ $K(=\frac{T}{\tau})$

이 라고 할 때, 상기 돌고래 휘슬 신호의 상기 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 개의

$F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k, \ldots, f_K\}$ $K-1$

주파수 값들인 를 획득하는 단계; 차 방정식

$f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$ $f_w(k \times \tau) = f_k \ (k = 1, \ldots, K)$ K

에 대해, 를 만족하는 차 연립

$f_w(v)$ $a = \{a_K, a_{K-1}, \ldots, a_1\}$

방정식을 풀이함으로써, 의 계수인 을 결정하는 단계; 상기 결정된 계수를 갖는

$f_w(v)$ $f(t)$ $f(t) = \int^t f_w(v)\, dv$

를 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 시간에 따른 주파수 를 다음과 같은 수학식

$c(t)$ $c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$

에 따라 결정하는 단계; 및 상기 휘슬 모방 반송파 를 다음과 같은 수학식 에 따라 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

$F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k, \ldots, f_K\}$

[0007] 한편, 상기 를 획득하는 단계는, 상기 돌고래 휘슬 신호에 대해 STFT(Short-Term

$F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k, \ldots, f_K\}$

Fourier Transform)를 수행함으로써, 상기 를 획득할 수 있다.

K

[0008] 상기 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼들로 변조하는 단계는, 상기 전송하고자 하는 정보가 개의 비

$B = \{b_1, \ldots, b_k, \ldots, b_K\}$ b_1

트들인 에 대응되고, 은 더미(dummy) 비트라고 할 때, 다음과 같은 수학식

$s_k = (b_k + s_{k-1}) \bmod 2 \ (k = 2, \ldots, K)$ s_k

에 따라 상기 전송하고자 하는 정보를 상기 심볼들 로 변조할 수 있다.

$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$

[0009] 상기 송신 신호를 획득하는 단계는, 상기 휘슬 모방 반송파를 라고 할 때, 다음과 같은

$w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k) \ (k = 1, 2, \ldots, K)$ k $w^k(t)$

수학식 에 따라 상기 송신 신호의 번째 송신 심볼인

$w^k(t)$

를 결정하는 단계; 및 상기 기 설정된 시간 간격마다 상기 결정된 송신 심볼 를 갖도록 상기 송신 신호를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 방법은, 상기 획득된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0011] 한편, 다른 측면에 따른 수중 은밀 통신을 위한 수신 장치의 신호 복조(demodulation) 방법은, 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하는 단계; 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계; 상기 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하는 단계; 및 상기 결정된 위상 차이에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 단계를 포함할 수 있다.

K

[0012] 상기 수신 신호를 수신하는 단계는, 상기 송신 신호가 상기 기 설정된 시간 간격에 따라 결정되는 개의 구간

k $w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k) \ (k = 1, 2, \ldots, K)$ $n(t)$

들 중 번째 구간에서 송신 심볼 를 갖고, 가 배경 잡음

$h(t)$을 나타내며, 가 상기 수중 채널의 채널 신호를 나타낸다고 할 때, 다음과 같은 수학식 $r_k(t) = h(t) * w^k(t) + n(t) = |h(t)|\cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k + \theta_h) + n(t)\ (k = 1, \ldots, K)$ 에 따라 상기 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호인 $r_k(t)$를 수신할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계는, 상기 휘슬 모방 반송파를 $c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 라고 할 때, 상기 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레(complex conjugate)인 $c^*(t)$를 상기 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호 $r_k(t)$에 곱하는 단계; 및 상기 곱한 결과를 저역 필터(low pass filter)에 통과시킴으로써 상기 k 번째 구간의 기저대역 수신 심볼 $\hat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \ldots, K)$를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하는 단계는, 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 각각 $\hat{r_k}$ 및 $\hat{r_{k-1}}$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $\hat{s_k} = \hat{r_k}\hat{r_{k-1}}^* = |h|^2\cos(\pi(s_k - s_{k-1})) + \tilde{n}\ (k = 2, \ldots, K)$ 에 따라 상기 위상 차이 $\hat{s_k}$를 결정할 수 있다.

[0015] 상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 단계는, 상기 위상 차이 $\hat{s_k}$가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작으면 상기 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 0으로 결정하고, 상기 위상 차이 $\hat{s_k}$가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 크면 상기 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 1로 결정할 수 있다.

[0016] 또한, 또 다른 측면에 따른 수중 은밀 통신을 위한 송신 장치는, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성하고, 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼들로 변조하며, 상기 변조된 심볼들을 이용하여 상기 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득하는 프로세서; 및 상기 획득된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송하는 트랜스듀서(transducer)를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 또 다른 측면에 따른 수중 은밀 통신을 위한 수신 장치는, 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하는 트랜스듀서; 및 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하고, 상기 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 상기 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하며, 상기 결정된 위상 차이에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 정보를 복조하는 프로세서를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 본 개시는 수중 은밀 통신을 위한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치를 제공할 수 있다. 구체적으로, 본 개시에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법은, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성하고, 전송하고자 하는 정보를 DBPSK(Differential binary phase shift keying) 기반의 심볼들로 변조하며, 변조된 심볼들을 이용하여 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득할 수 있다.

[0019] 또한, 본 개시에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법은, 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하고, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는

주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하며, 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정하고, 결정된 위상 차이에 기초하여 송신 신호에 포함된 정보를 복조할 수 있다.

[0020] 이와 같이, 본 개시에 따른 송수신 장치는 대척적(antipodal)인 특성을 갖는 심볼들을 이용하므로, 유사 직교성을 갖는 심볼들을 이용하던 종래의 CSS 기반의 휘슬 모방 통신 기법보다 심볼들 간의 유클리드(Euclidean) 거리가 더 가까워질 수 있고, 이에 따라, BER 성능이 향상될 수 있다. 또한, 본 개시에 따른 송수신 장치는 인접하는 심볼들 간에 반송 주파수가 연속적으로 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하므로, 돌고래 휘슬 신호에 대한 모방성이 향상될 수 있다. 따라서, 본 개시에 따른 송수신 장치를 이용하여 수중 통신을 수행하는 경우, 적군이 아군의 통신 신호를 돌고래의 휘슬음으로 착각하도록 할 수 있는바, 더 높은 은밀성 및 신뢰성이 확보될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 2는 일부 실시예에 따른 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

도 3은 실제 돌고래의 휘슬 신호 및 일부 실시예에 따른 송신 장치에 의해 변조된 송신 신호를 비교하기 위한 분광도(spectrogram)이다.

도 4는 일부 실시예에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 5는 일부 실시예에 따른 수신 장치가 신호를 복조하는 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

도 6은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 7은 일부 실시예에 따른 수신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하 첨부된 도면을 참조하면서 오로지 예시를 위한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 하기 설명은 실시예들을 구체화하기 위한 것일 뿐 발명의 권리 범위를 제한하거나 한정하는 것이 아님은 물론이다. 상세한 설명 및 실시예로부터 당해 기술분야의 전문가가 용이하게 유추할 수 있는 것은 권리범위에 속하는 것으로 해석된다.

[0023] 본 명세서에서 사용되는 '구성된다' 또는 '포함한다' 등의 용어는 명세서 상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0025] 본 실시예들은 수중 은밀 통신을 위한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치에 관한 것으로서 이하의 실시예들이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 널리 알려져 있는 사항들에 관해서는 자세한 설명을 생략한다.

[0026] 도 1은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0027] 도 1을 참조하면, 수중 은밀 통신(covert underwater communication) 시스템에 포함되는 송신 장치가 신호 변조(signal modulation)를 수행하는 방법의 시계열적인 단계들이 도시되어 있다.

[0028] 단계 110에서, 송신 장치는 돌고래 휘슬(whistle) 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파(carrier wave)를 생성할 수 있다. 실제 돌고래의 휘슬 신호는 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 주파수 윤곽(frequency contour)을 갖는바, 송신 장치는 돌고래의 휘슬 신호에 대한 모방성을 향상시키기 위해, 돌고래의 휘슬 신호와 대응되는

주파수 윤곽을 갖는 휘슬 모방 반송파를 생성할 수 있다.

[0029] 주파수가 시간에 따른 위상(phase) 변화에 대응된다는 점을 고려하여, 휘슬 모방 반송파 $c(t)$ 는 다음의 수학식 1과 같이 모델링될 수 있다.

수학식 1

$$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

[0030]

[0031] 또한, 앞의 수학식 1에서 휘슬 모방 반송파의 시간에 따른 주파수를 나타내는 $f(t)$ 는 다음의 수학식 2와 같이 $f_w(v)$ 연속적으로 변화하는 반송 주파수 의 시간 적분으로 표현될 수 있다.

수학식 2

$$f(t) = \int^{t} f_w(v)\, dv$$

[0032]

[0033] 앞의 수학식 2에서 $f_w(v)$ 는 돌고래의 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격 τ 마다의 주파수 값들 $F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k, \ldots, f_K\}$ $K-1$ 를 가져야 하므로, 차 방정식인 다음의 수학식 3에 따라 표현될 수 있다.

수학식 3

$$f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$$

[0034]

[0035] 앞의 수학식 3은 기 설정된 시간 간격마다 돌고래의 휘슬 신호와 동일한 주파수 값들을 갖기 위해 다음과 같은 수학식 4를 만족해야 한다.

수학식 4

$$f_w(k \times \tau) = f_k \ (k = 1, \ldots, K)$$

[0036]

[0037] 따라서, 앞의 수학식 3에서 a_k 는 K 개의 식과 해를 갖는 K 차 연립 방정식으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, a_k 는 다음의 수학식 5와 같이 행렬 형태로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\begin{bmatrix} f_K \\ \vdots \\ f_k \\ \vdots \\ f_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (K\times\tau)^{K-1} & \cdots & (K\times\tau)^k & \cdots & 1 \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ (k\times\tau)^{K-1} & \cdots & (k\times\tau)^k & \cdots & 1 \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ (1\times\tau)^{K-1} & \cdots & (1\times\tau)^k & \cdots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_K \\ \vdots \\ a_k \\ \vdots \\ a_1 \end{bmatrix}$$

[0038]

[0039] 앞의 수학식 5는 K 개의 식과 해를 갖는 K 차 연립 방정식에 해당하므로, 해가 존재한다. 따라서, K 차 연립 방정식을 풀이하면, $f_w(v)$ 의 계수인 $a=\{a_K, a_{K-1}, \dots, a_1\}$ 가 계산될 수 있다. 계산된 계수를 적용한 $f_w(v)$ 를 앞의 수학식 2에 대입하면, 앞의 수학식 1에 따라 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파 $c(t)$ 가 생성될 수 있다.

[0040] 정리하면, 송신 장치는 돌고래 휘슬 신호의 주기가 T 이고, 기 설정된 시간 간격이 τ 라고 할 때, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 $K(=\frac{T}{\tau})$ 개의 주파수 값들인 $F=\{f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_K\}$ 를 획득할 수 있다. 일 예에서, 송신 장치는 돌고래 휘슬 신호에 대해 STFT(Short-Term Fourier Transform)를 수행함으로써, $F=\{f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_K\}$ 를 획득할 수 있다.

[0041] 송신 장치는 $K-1$ 차 방정식 $f_w(v)=a_K v^{K-1}+a_{K-1}v^{K-2}+\cdots+a_2 v^1+a_1$ 에 대해, $f_w(k\times\tau)=f_k\ (k=1,\dots,K)$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a=\{a_K, a_{K-1}, \dots, a_1\}$ 을 결정할 수 있다.

[0042] 송신 장치는 결정된 계수를 갖는 $f_w(v)$ 를 이용하여 휘슬 모방 반송파의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 앞의 수학식 2에 따라 결정할 수 있고, 휘슬 모방 반송파 $c(t)$ 를 앞의 수학식 1에 따라 생성할 수 있다.

[0043] 단계 120에서, 송신 장치는 전송하고자 하는 정보를 DBPSK(Differential binary phase shift keying) 기반의 심볼(symbol)들로 변조할 수 있다. 예를 들어, 송신 장치는 전송하고자 하는 정보가 K 개의 비트들인 $B=\{b_1, \dots, b_k, \dots, b_K\}$ 에 대응되고, b_1 은 더미(dummy) 비트라고 할 때, 다음과 같은 수학식 6에 따라 전송하고자 하는 정보를 심볼들 s_k 로 변조할 수 있다.

수학식 6

$$s_k = (b_k + s_{k-1}) \bmod 2 \ (k = 2, \ldots, K)$$

[0044]

[0045] 앞의 수학식 6에서 mod2 함수는 변수를 2로 나눈 나머지를 출력하는 함수에 대응되므로, s_k는 $b_k + s_{k-1}$를 2로 나눈 나머지에 대응될 수 있다. 한편, s_1은 b_1에 대한 정보를 가지며, 다음 심볼을 인코딩 및 디코딩하기 위한 참조 심볼로 이용된다.

[0046] 단계 130에서, 송신 장치는 변조된 심볼들을 이용하여 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 획득할 수 있다. 예를 들어, 송신 장치는 휘슬 모방 반송파를 $c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$라고 할 때, 다음과 같은 수학식 7에 따라 송신 신호의 k번째 송신 심볼인 $w^k(t)$를 결정할 수 있다.

수학식 7

$$w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k) \ (k = 1, 2, \ldots, K)$$

[0047]

[0048] 송신 장치는 기 설정된 시간 간격마다 송신 심볼 $w^k(t)$를 갖도록 송신 신호를 생성할 수 있다. 송신 장치는 생성된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송할 수 있다. 이와 같이, 본 개시에 따른 송신 장치는 대척적인 특성을 갖는 심볼들을 이용하므로, 유사 직교성을 갖는 심볼들을 이용하던 종래의 CSS 기반의 휘슬 모방 통신 기법보다 심볼들 간의 유클리드 거리가 더 가까워질 수 있고, 이에 따라, BER 성능이 향상될 수 있다. 이하 도 2를 참조하여 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 보다 상세히 설명한다.

[0049] 도 2는 일부 실시예에 따른 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

[0050] 도 2를 참조하면, 송신 장치는 휘슬 모방 반송파를 생성하고, 전송하고자 하는 정보에 대응되는 기저대역 심볼을 획득한 뒤, 생성된 휘슬 모방 반송파에 획득된 기저대역 심볼에 기초한 위상 변조를 수행함으로써, 송신 신호를 생성할 수 있다. 한편, 송신 장치가 휘슬 모방 반송파를 생성하는 과정(이하 "제1 과정")은 송신 장치가 전송하고자 하는 정보에 대응되는 기저대역 심볼을 획득하는 과정(이하 "제2 과정")보다 먼저 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 제1 과정은 제2 과정보다 늦게 수행될 수 있으며, 제1 및 제2 과정은 동시에 수행될 수도 있다.

[0051] 제1 과정에 따르면, 송신 장치는 모방되어야 하는 돌고래의 휘슬 신호에 STFT를 수행함으로써, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값들인 $F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k, \ldots, f_K\}$를 획득할 수 있다. 송신 장치는 획득된 F 및 도 1을 참조하여 전술한 내용들에 기초하여, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성할 수 있다.

[0052] 제2 과정에 따르면, 송신 장치는 전송하고자 하는 정보에 대응되는 송신 비트들 $\{b_1, \ldots, b_k, \ldots, b_K\}$ 중 인접하는 비트들 간의 합에 mod2 함수를 적용함으로써, 기저대역 심볼을 획득할 수 있다. 송신 장치는 획득된 기저대역 심볼에 π를 곱하여 위상 변조에 이용되는 위상 변화 값을 결정할 수 있다.

[0053] 제1 과정 및 제2 과정이 모두 수행된 이후, 송신 장치는 결정된 위상 변화 값에 기초하여 생성된 휘슬 모방 반송파를 변조함으로써, 송신 신호를 생성할 수 있다.

[0054] 도 3은 실제 돌고래의 휘슬 신호 및 일부 실시예에 따른 송신 장치에 의해 변조된 송신 신호를 비교하기 위한 분광도(spectrogram)이다.

[0055] 도 3을 참조하면, 일 예시에 따른 돌고래의 휘슬 신호에 대응되는 분광도(310) 및 송신 장치에 의해 변조된 송신 신호의 분광도(320)가 도시되어 있다. 본 개시에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법에 의하면, 돌고래의 휘슬 신호의 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 주파수 윤곽과 송신 장치에 의해 변조된 송신 신호의 주파수 윤곽이 거의 동일한바, 모방성이 상당히 높음을 알 수 있다.

[0056] 또한, 본 개시에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법에 의하면, 휘슬 모방 반송파를 시간 축에서 위상 변조하므로, 변조로 인한 왜곡이 상당히 적음을 알 수 있다. 따라서, 본 개시에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법에 의하면, 모방성 및 통신 성능이 향상될 수 있다.

[0057] 도 4는 일부 실시예에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0058] 도 4를 참조하면, 수중 은밀 통신 시스템에 포함되는 수신 장치가 신호 복조(signal demodulation)를 수행하는 방법의 시계열적인 단계들이 도시되어 있다.

[0059] 단계 410에서, 수신 장치는 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신할 수 있다. 송신 신호는 도 1를 참조하여 설명한 송신 장치의 신호 변조 방법에 따라 생성되는 송신 신호에 대응되므로, 중복되는 설명은 생략한다. 수신 장치는 송신 신호가 기 설정된 시간 간격에 따라 결정되는 K 개의 구간들 중 k 번째 구간에서 송신 심볼 $w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k)\ (k = 1, 2, \ldots, K)$ 를 갖고, $n(t)$ 가 배경 잡음을 나타내며, $h(t)$ 가 수중 채널의 채널 신호를 나타낸다고 할 때, 다음과 같은 수학식 8에 따라 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호인 $r_k(t)$ 를 수신할 수 있다.

수학식 8

$$r_k(t) = h(t) * w^k(t) + n(t)$$

[0060]

$$= |h(t)|\cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k + \theta_h) + n(t)\ (k = 1, \ldots, K)$$

[0061]

[0062] 앞의 수학식 8에서 $*$ 는 길쌈(convolution) 연산을 나타낸다.

[0063] 단계 420에서, 수신 장치는 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득할 수 있다. 한편, 수신 장치는 수신 신호의 복조를 위해 휘슬 모방 반송파를 다양한 방법으로 미리 획득할 수 있다. 수신 장치는 휘슬 모방 반송파에 대한 정보를 미리 수신 장치와 공유할 수 있으며, 수신 장치로부터 휘슬 모방 반송파에 대한 정보를 별도로 수신할 수도 있다. 또한, 수신 장치는 송신 장치와 동일한 방식으로 휘슬 모방 반송파를 직접 생성할 수도 있다.

$$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

[0064] 수신 장치는 휘슬 모방 반송파를 $c(t)$ 라고 할 때, 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레(complex conjugate)인 $c^*(t)$ 를 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호 $r_k(t)$ 에 곱하고, 곱한 결과를 저역 필터(low pass filter)에 통과시킴으로써 k 번째 구간의 기저대역 수신 심볼을 획득할 수 있다. k 번째 구간의 기저 대역 수신

심볼 $\widehat{r_k}$ 은 다음의 수학식 9에 따라 표현될 수 있다.

수학식 9

$$\widehat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \dots, K)$$

[0065]

[0066] 단계 430에서, 수신 장치는 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정할 수 있다. 예를 들어, 수신 장치는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 각각 $\widehat{r_k}$ 및 $\widehat{r_{k-1}}$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 10에 따라 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 를 결정할 수 있다.

수학식 10

$$\widehat{s_k} = \widehat{r_k}\widehat{r_{k-1}}^* = |h|^2\cos(\pi(s_k - s_{k-1})) + \tilde{n}\ (k = 2, \dots, K)$$

[0067]

[0068] 앞의 수학식 10은 삼각함수의 합차 공식에 따른 것일 수 있다.

[0069] 단계 440에서, 수신 장치는 결정된 위상 차이에 기초하여 송신 신호에 포함된 정보를 복조할 수 있다. 예를 들어, 수신 장치는 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작으면 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 0으로 결정하고, 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 크면 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 1로 결정할 수 있다.

[0070] 도 5는 일부 실시예에 따른 수신 장치가 신호를 복조하는 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

[0071] 도 5를 참조하면, 수신 장치는 수신 신호에 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레를 곱한 뒤 저역 필터에 통과시킴으로써, 기저대역 심볼을 획득할 수 있다. 또한, 수신 장치는 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정할 수 있다. 두 개의 기저대역 수신 심볼들은 두 개의 기저대역 수신 심볼들 중 이전의 기저 대역 수신 심볼을 1주기 지연시킴으로써 연속하여 획득될 수 있다. 수신 장치는 결정된 위상 차이에 기초하여 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 수신 비트들 $\{b_1, \dots, b_k, \dots, b_K\}$ 를 결정할 수 있다.

[0072] 도 6은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0073] 도 6을 참조하면, 송신 장치(60)는 프로세서(610) 및 트랜스듀서(620)를 포함할 수 있다. 도 6에 도시된 송신 장치(60)는 도 1을 참조하여 설명한 방법을 시계열적으로 처리할 수 있다. 따라서, 이하에서 생략된 내용이라고 하더라도 도 1의 방법에 관하여 이상에서 기술된 내용은 도 6의 송신 장치(60)에 의해 수행될 수 있음을 알 수 있다.

[0074] 한편, 도 6에 도시된 송신 장치(60)에는 본 실시예와 관련된 구성들만이 도시되어 있다. 따라서, 도 6에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 송신 장치(60)에 더 포함될 수 있음을 본 실시예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.

[0075] 프로세서(610)는 송신 장치(60)를 제어하기 위한 전반적인 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(610)는 트랜스듀서(620)의 동작을 제어할 수 있다. 한편, 프로세서(610)는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다.

[0076] 프로세서(610)는 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 생성할 수 있다. 프로세서(610)는 돌고래 휘슬 신호의 주기가 T 이고, 기 설정된 시간 간격이 τ 라고 할 때, 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 $K(=\frac{T}{\tau})$ 개의 주파수 값들인 $F=\{f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_K\}$ 를 획득할 수 있다. 일 예에서, 프로세서(610)는 돌고래 휘슬 신호에 대해 STFT를 수행함으로써, $F=\{f_1, f_2, \dots, f_k, \dots, f_K\}$ 를 획득할 수 있다.

[0077] 또한, 프로세서(610)는 $K-1$ 차 방정식 $f_w(v)=a_K v^{K-1}+a_{K-1}v^{K-2}+\cdots+a_2 v^1+a_1$ 에 대해, $f_w(k\times\tau)=f_k\ (k=1,\dots,K)$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a=\{a_K, a_{K-1}, \dots, a_1\}$ 을 결정할 수 있다. 프로세서(610)는 결정된 계수를 갖는 $f_w(v)$ 를 이용하여 휘슬 모방 반송파의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $f(t)=\int^t f_w(v)\,dv$ 에 따라 결정할 수 있다. 마지막으로, 프로세서(610)는 휘슬 모방 반송파 $c(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $c(t)=\cos(2\pi f(t)\times t)$ 에 따라 생성할 수 있다.

[0078] 프로세서(610)는 전송하고자 하는 정보를 DBPSK 기반의 심볼들로 변조할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(610)는 전송하고자 하는 정보가 K 개의 비트들인 $B=\{b_1, \dots, b_k, \dots, b_K\}$ 에 대응되고, b_1 은 더미 비트라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $s_k=(b_k+s_{k-1})\bmod 2\ (k=2,\dots,K)$ 에 따라 전송하고자 하는 정보를 심볼들 s_k 로 변조할 수 있다.

[0079] 프로세서(610)는 변조된 심볼들을 이용하여 휘슬 모방 반송파의 위상을 시간 축에서 변조함으로써 송신 신호를 $c(t)=\cos(2\pi f(t)\times t)$ 획득할 수 있다. 프로세서(610)는 휘슬 모방 반송파를 k 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $w^k(t)=\cos(2\pi f(t)\times t+\pi s_k)\ (k=1,2,\dots,K)$ 에 따라 송신 신호의 k 번째 송신 심볼인 $w^k(t)$ 를 결정하고, 기 설정된 시간 간격마다 결정된 송신 심볼 $w^k(t)$ 를 갖도록 송신 신호를 생성할 수 있다.

[0080] 트랜스듀서(620)는 입력 신호를 다른 형태의 출력 신호로 변환해주는 변환 장치로서, 수중 통신에 있어서 신호를 송수신하는 장치를 의미할 수 있다. 예를 들어, 트랜스듀서(620)는 음파를 송수신하는 하이드로폰(hydrophone), 송신 센서 또는 스피커에 대응될 수 있다. 다만, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다. 트랜스듀서(620)는 획득된 송신 신호를 수중 통신을 통해 수신 장치로 전송할 수 있다.

[0081] 도 7은 일부 실시예에 따른 수신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0082] 도 7을 참조하면, 수신 장치(70)는 트랜스듀서(710) 및 프로세서(720)를 포함할 수 있다. 도 7에 도시된 수신 장치(70)는 도 4를 참조하여 설명한 방법을 시계열적으로 처리할 수 있다. 따라서, 이하에서 생략된 내용이라고 하더라도 도 4의 방법에 관하여 이상에서 기술된 내용은 도 7의 수신 장치(70)에 의해 수행될 수 있음을 알 수 있다.

[0083] 한편, 도 7에 도시된 수신 장치(70)에는 본 실시예와 관련된 구성들만이 도시되어 있다. 따라서, 도 7에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 수신 장치(70)에 더 포함될 수 있음을 본 실시예와 관련된 기술분

야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.

[0084] 트랜스듀서(710)는 입력 신호를 다른 형태의 출력 신호로 변환해주는 변환 장치로서, 수중 통신에 있어서 신호를 송수신하는 장치를 의미할 수 있다. 예를 들어, 트랜스듀서(710)는 음파를 송수신하는 하이드로폰, 송신 센서 또는 스피커에 대응될 수 있다. 다만, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다.

[0085] 트랜스듀서(710)는 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신할 수 있다. 트랜스듀서(710)는 송신 신호가 기 설정된 시간 간격에 따라 결정되는 K 개의 구간들 중 k 번째 구간에서 송신 심볼 $w^k(t) = \cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k)\ (k = 1, 2, \ldots, K)$ 를 갖고, $n(t)$ 가 배경 잡음을 나타내며, $h(t)$ 가 수중 채널의 채널 신호를 나타낸다고 할 때, 다음과 같은 수학식

$$r_k(t) = h(t) * w^k(t) + n(t) = |h(t)|\cos(2\pi f(t) \times t + \pi s_k + \theta_h) + n(t)\ \ (k = 1, \ldots, K)$$

[0086]

[0087] 에 따라 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호인 $r_k(t)$ 를 수신할 수 있다.

[0088] 프로세서(720)는 수신 장치(70)를 제어하기 위한 전반적인 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(720)는 트랜스듀서(710)의 동작을 제어할 수 있다. 한편, 프로세서(720)는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다.

[0089] 프로세서(720)는 돌고래 휘슬 신호의 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고, 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하여 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(720)는 휘슬 모방 반송파를 $c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 라고 할 때, 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레인 $c^*(t)$ 를 k 번째 구간에 대응되는 수신 신호 $r_k(t)$ 에 곱하고, 곱한 결과를 저역 필터에 통과시킴으로써 k 번째 구간의 기저대역 수신 심볼 $\widehat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \ldots, K)$ 를 획득할 수 있다.

[0090] 프로세서(720)는 기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여 두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(720)는 두 개의 기저대역 수신 심볼들을 각각 $\widehat{r_k}$ 및 $\widehat{r_{k-1}}$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $\widehat{s_k} = \widehat{r_k}\widehat{r_{k-1}}^* = |h|^2\cos(\pi(s_k - s_{k-1})) + \tilde{n}\ (k = 2, \ldots, K)$ 에 따라 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 를 결정할 수 있다.

[0091] 프로세서(720)는 결정된 위상 차이에 기초하여 송신 신호에 포함된 정보를 복조할 수 있다. 프로세서(720)는 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 작으면 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 0으로 결정하고, 위상 차이 $\widehat{s_k}$ 가 $\frac{\pi}{2}$ 보다 크면 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 k 번째 비트를 1로 결정할 수 있다.

[0092] 도 6 및 도 7을 참조하여 설명한 바와 같이, 본 개시에 따른 송신 장치(60) 및 수신 장치(70)는 대척적인 특성을 갖는 심볼들을 이용하므로, 유사 직교성을 갖는 심볼들을 이용하던 종래의 CSS 기반의 휘슬 모방 통신 기법보다 심볼들 간의 유클리드 거리가 더 가까워질 수 있고, 이에 따라, BER 성능이 향상될 수 있다. 또한, 본 개시에 따른 송신 장치(60) 및 수신 장치(70)는 인접하는 심볼들 간에 반송 주파수가 연속적으로 변화하는 휘슬 모방 반송파를 이용하므로, 돌고래 휘슬 신호에 대한 모방성이 향상될 수 있다. 따라서, 본 개시에 따른 송신

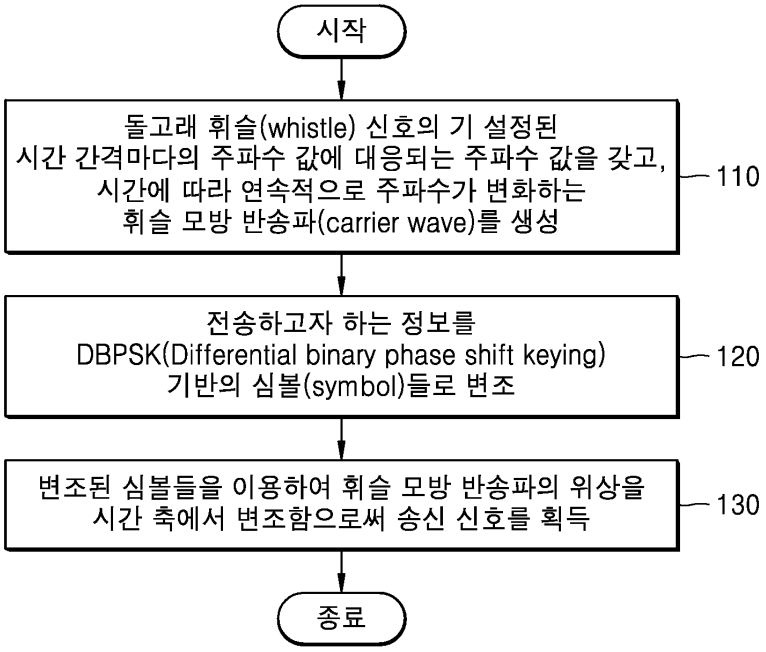
장치(60) 및 수신 장치(70)를 이용하여 수중 통신을 수행하는 경우, 적군이 아군의 통신 신호를 돌고래의 휘슬 음으로 착각하도록 할 수 있는바, 은밀성 및 신뢰성이 확보될 수 있다.

[0093] 한편, 전술한 도 1의 송신 장치의 신호 변조 방법 및 도 4의 수신 장치의 신호 복조 방법 각각은 그 방법을 실행하는 명령어들을 포함하는 하나 이상의 프로그램이 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터로 읽을 수 있는 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 명령어의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

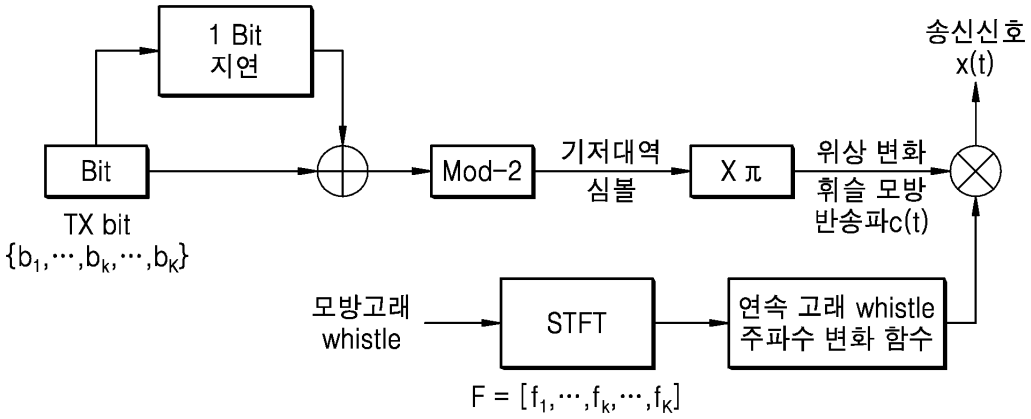
[0094] 이상에서 실시예들에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속한다.

도면

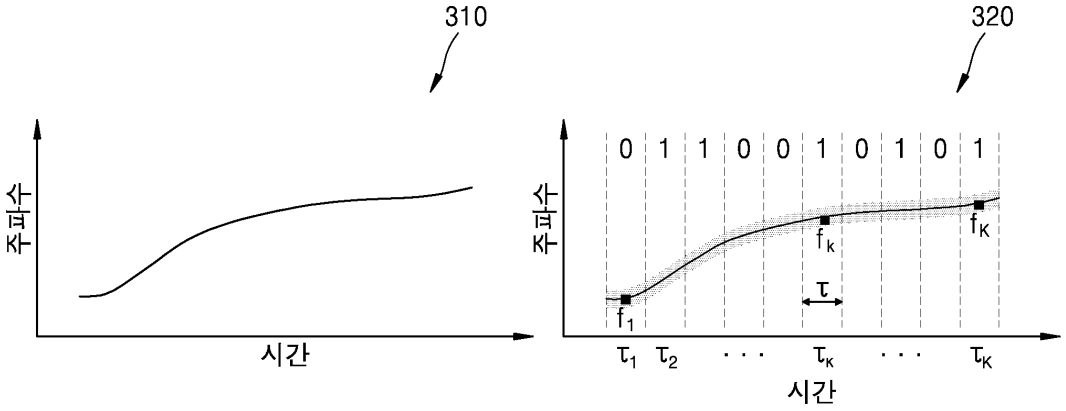
도면1



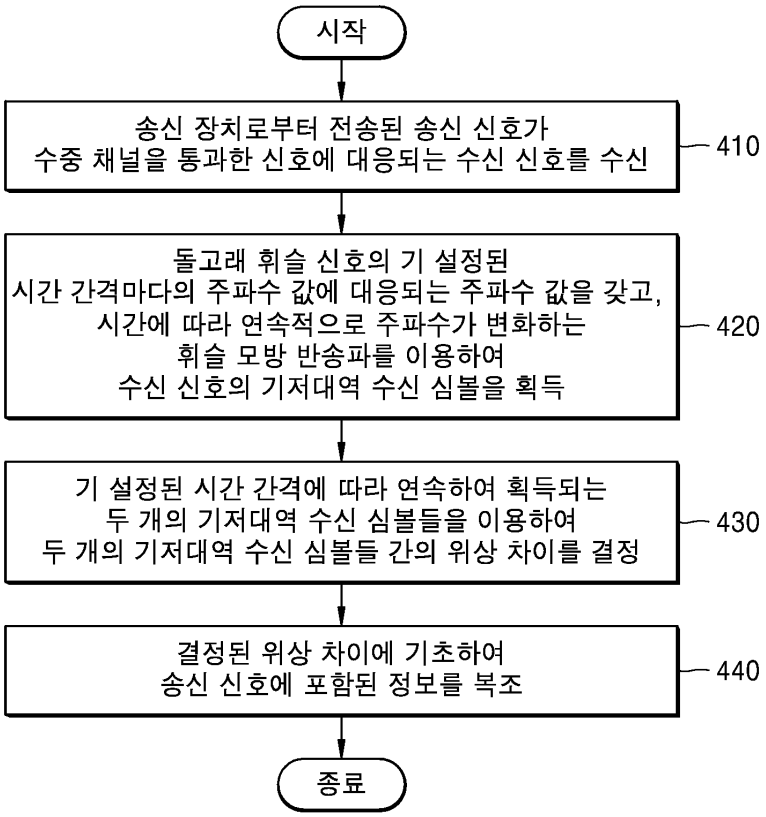
도면2


1 Bit
지연
Bit
TX bit
{b1,⋯,bk,⋯,bK}
Mod-2
기저대역
심볼
X π
위상 변화
휘슬 모방
반송파c(t)
송신신호
x(t)
모방고래
whistle
STFT
연속 고래 whistle
주파수 변화 함수
F = [f1,⋯,fk,⋯,fK]

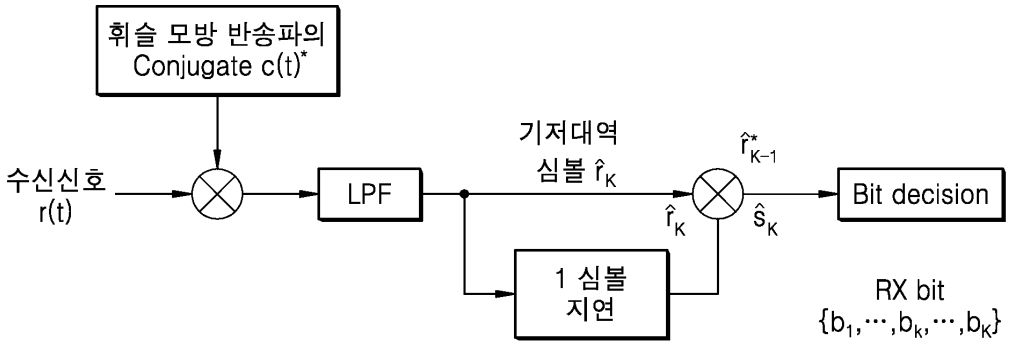
도면3


310
320
주파수
시간
0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
f1
fk
fK
τ
τ1 τ2 · · · τk · · · τK
주파수
시간

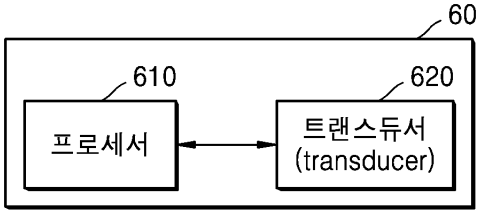
도면4


시작
송신 장치로부터 전송된 송신 신호가
수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신
410
돌고래 휘슬 신호의 기 설정된
시간 간격마다의 주파수 값에 대응되는 주파수 값을 갖고,
시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는
휘슬 모방 반송파를 이용하여
수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득
420
기 설정된 시간 간격에 따라 연속하여 획득되는
두 개의 기저대역 수신 심볼들을 이용하여
두 개의 기저대역 수신 심볼들 간의 위상 차이를 결정
430
결정된 위상 차이에 기초하여
송신 신호에 포함된 정보를 복조
440
종료

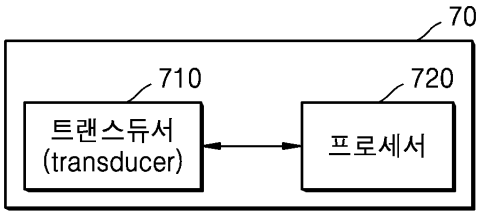
도면5


휘슬 모방 반송파의
Conjugate c(t)*
수신신호
r(t)
LPF
기저대역
심볼 r̂K
r̂*K−1
r̂K
ŝK
Bit decision
1 심볼
지연
RX bit
{b1,⋯,bk,⋯,bK}

도면6


60
610
620
프로세서
트랜스듀서
(transducer)

도면7



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 9

【변경전】

제 8항에 있어서,

상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계는,

$$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

상기 휘슬 모방 반송파를

$$c^*(t)$$

라고 할 때, 상기 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레(complex conjugate)인

$$k$$

를 상기

$$r_k(t)$$

번째 구간에 대응되는 수신 신호

에 곱하는 단계; 및

$$k$$

상기 곱한 결과를 저역 필터(low pass filter)에 통과시킴으로써 상기

$$\hat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \ldots, K)$$

번째 구간의 기저대역 수신 심볼

를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.

【변경후】

제 8항에 있어서,

상기 수신 신호의 기저대역 수신 심볼을 획득하는 단계는,

$$c(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

상기 휘슬 모방 반송파를

$$c^*(t)$$

라고 할 때, 상기 휘슬 모방 반송파의 복소 켤레(complex conjugate)인

$$k$$

를 상기

$$r_k(t)$$

번째 구간에 대응되는 수신 신호

에 곱하는 단계; 및

$$k$$

곱한 결과를 저역 필터(low pass filter)에 통과시킴으로써 상기

$$\hat{r_k} = |h|\cos(\pi s_k + \theta_h) + \hat{n}\ (k = 1, \ldots, K)$$

번째 구간의 기저대역 수신 심볼

를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.