(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년05월14일
(11) 등록번호 10-2252461
(24) 등록일자 2021년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/12 (2006.01) *H03M 7/16* (2006.01)
H04B 13/02 (2006.01) *H04L 27/156* (2006.01)
H04L 27/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/12 (2021.01)
H03M 7/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0176893
(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 수신 방법", 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
이호준
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
안종민
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

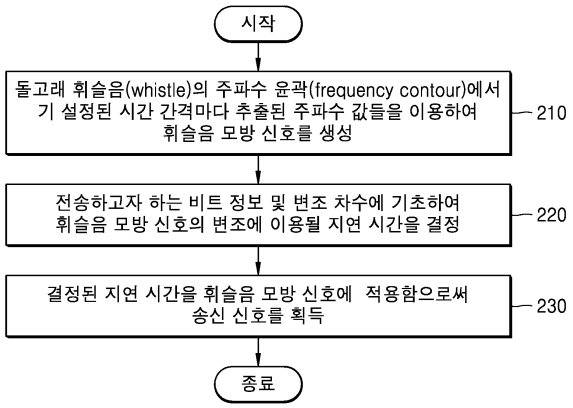
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 김성태

(54) 발명의 명칭 **수중 은밀 통신을 위한 변조 및 복조 방법, 및 이를 이용한 송신 및 수신 장치**

(57) 요 약

일부 실시예에 따르면, 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하는 단계, 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 단계, 및 결정된 지연 시간을 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 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 - 도2



(52) CPC특허분류
H04B 13/02 (2020.08)
H04L 27/156 (2013.01)
H04L 27/16 (2013.01)
(72) 발명자
김용철
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
정재학
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 하이태크센터 706(용현동)
이상국
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160(수남동)
김완진
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 휘슬음(whistle)의 주파수 윤곽(frequency contour)에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하는 단계;

전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 지연 시간을 상기 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 휘슬음 모방 신호를 생성하는 단계는,

T 상기 기 설정된 시간 간격이 라고 할 때, 상기 주파수 윤곽에서 상기 기 설정된 시간 간격 T 마다 주파수 값을 추출함으로써, K 개의 주파수 값들 $F_T = [f_1, \dots, f_k, \dots, f_K]^T$ 를 획득하는 단계;

$K-1$ 차 방정식 $f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$ 에서 모든 $k\ (k = 1, \dots, K)$ 에 대해, $f_w(k \times T) = f_k$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a = [a_K, \dots, a_k, \dots, a_1]^T$ 을 결정하는 단계;

$f_w(v)$ 상기 결정된 계수를 갖는 를 이용하여 상기 휘슬음 모방 신호의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $f(t) = \int_0^t f_w(v)\, dv$ 에 따라 결정하는 단계; 및

$s_{ref}(t)$ 상기 휘슬음 모방 신호 를 다음과 같은 수학식 $s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 에 따라 생성하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 단계는,

상기 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들을 그레이 코드로 매핑하는 단계;

m 상기 매핑된 그레이 코드를 10진수로 변환하여 숫자 을 획득하는 단계; 및

M 상기 송신 신호의 변조 차수가 이고, 상기 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며,

$\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ $m\tau$
고 할 때, 상기 지연 시간을 로 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 송신 신호를 획득하는 단계는,

$$s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

상기 휘슬음 모방 신호를 라고 할 때, 다음과 같은 수학식

$s(t) = \delta(t - m\tau) * s_{ref}(t)$ $s(t)$
에 따라 상기 송신 신호 를 생성하는, 방법.

청구항 5

제 3항에 있어서,

$$N = \log_2 M$$

상기 비트들의 개수는 상기 변조 차수에 따라 개로 결정되는, 방법.

청구항 6

제 3항에 있어서,

L_{mod} $\frac{L_{mod}}{2M}$
상기 최대 지연 시간 는 상기 송신 신호가 다중 경로 채널을 통해 수신 장치로 전송된다고 할 때, 가 상기 다중 경로 채널의 최대 지연 시간 보다 크게 되도록 결정되는, 방법.

청구항 7

제 3항에 있어서,

T_{dolp} T_{sym}
상기 돌고래 휘슬음의 길이가 라고 할 때, 상기 송신 장치에 의해 전송되는 송신 심볼의 길이 은 다음

$T_{sym} = T_{dolp} + L_{mod}$
과 같은 수학식 에 따라 결정되는, 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 방법은,

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

청구항 9

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 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 상기 수신 신호 간의 상호 상관(cross correlation)에 기초하여 상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하는 단계; 및

상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하는 단계는,

상기 휘슬음 모방 신호가 $s_{ref}(t)$ 이고, 상기 수신 신호가 $r(t)$ 이며, 상기 휘슬음 모방 신호 및 상기 수신 신호 간의 상호 상관이 $R(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} r^*(t)\, s_{ref}(t+\alpha)dt = \int_{-\infty}^{\infty} s_{ref}{}^*(t-m\tau)s_{ref}(t+\alpha)\, dt$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $\hat{t} = -\mathrm{argmax}_{\alpha}|R(\alpha)|$ 에 따라 상기 지연 시간을 $\hat{t}$ 로 추정하는, 방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계는,

상기 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 상기 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 고 할 때, 상기 추정된 지연 시간 $\hat{t}$ 를 τ 로 나눈 뒤 반올림함으로써, $\hat{m}$ 을 획득하는 단계; 및

상기 $\hat{m}$ 을 2진수로 변환하고, 그레이 코드 디매핑을 수행함으로써, 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

수중 은밀 통신을 위한 송신 장치에 있어서,

돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하고, 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하며, 상기 결정된 지연 시간을 상기 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득하는 프로세서; 및

상기 획득된 송신 신호를 수중 채널을 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 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 상기 수신 신호 간의 상호 상관에 기초하여 상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하고, 상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 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 아군의 통신 신호에 대한 은밀성(covertness)을 확보하기 위해 수중 생물의 소리를 모

방하는 통신 신호를 생성하는 생체 모방 통신 기법이 존재한다. 예를 들어, 돌고래의 휘슬음(whistle)을 모방하기 위해 CSS(chirp spread spectrum) 기반으로 통신 신호를 변조하는 수중 통신 기법이 연구되었다.

[0003] 돌고래의 휘슬음은 시간에 따라 주파수가 변화하는 특성을 갖고, 해당 특성은 시간 및 주파수 영역의 주파수 윤곽(frequency contour)로 정의될 수 있다. 돌고래의 휘슬음의 주파수 윤곽과 유사한 특성을 갖는 통신 신호를 생성하면, 적군이 해당 통신 신호를 청취하더라도 돌고래의 휘슬음으로 오인하게 됨에 따라 아군에게 은밀하게 통신 신호를 전송할 수 있다. CSS 기반의 변조 기법은 돌고래의 휘슬음을 짧은 시간 슬롯들로 나누어 심볼을 생성하고, 각 심볼에 대응되는 슬롯 내에서 상향 및 하향의 처프(chirp) 신호를 생성하여 전송한다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 돌고래 휘슬음의 길이가 T_{dolp} 이고, 각 슬롯의 시간 길이가 L_t 라고 할 때, 총 슬롯들의 수 $S = T_{dolp}/L_t$ 이며, 각 슬롯에서 전송하고자 하는 비트에 따라 상향 및 하향의 처프 신호가 전송될 수 있다.

[0004] 돌고래의 휘슬음을 모방하기 위해 각 슬롯에 해당하는 휘슬음의 주파수 값들 $F = [f_1, \ldots, f_k, \ldots, f_K]^T$ 가 추출되고, 추출된 주파수 값들 각각은 처프 신호의 중심 주파수로 이용된다. 예를 들어, k 번째 슬롯의 비트 b_k 에 대한 변조 신호는 다음과 같은 수학식 1로 표현될 수 있다.

수학식 1

$$s^k{}_{CSS}(t) = \cos\left(2\pi t\left(f_k - d_k\frac{L_f}{2}\right) + d_k\pi\frac{L_f}{L_t}t^2\right)$$

[0005]

[0006] 앞의 수학식 1에서 d_k 는 $2b_k - 1$ 이고, L_f 는 처프 신호의 주파수 대역폭을 나타낸다. 한편, L_f/L_t 는 g 라고 표현될 수 있다.

[0007] CSS 기반의 변조 기법의 모방 성능은 L_f 및 L_t 에 의해 결정될 수 있다. L_f 및 L_t 가 작은 경우에는 본래 돌고래의 휘슬음과의 시간-주파수 특성 차이가 작은바, 모방 성능이 우수하다. 다만, 복조 시에 상향 및 하향 처프 신호와의 상호 상관이 계산되는데, L_f 및 L_t 가 작을수록 상호 상관 성능이 저하됨에 따라, 신호 복원 성능이 낮아질 수 있다. 반대로, L_f 및 L_t 가 큰 경우에는 처프 신호가 차지하는 시간 및 주파수 대역폭이 넓어짐에 따라 상호 상관 성능이 향상될 수 있으나, 본래 돌고래의 휘슬음과의 시간-주파수 특성 차이가 커짐에 따라 모방 성능이 저하될 수 있다. 또한, CSS 기반의 변조 기법은 매 슬롯마다 상향 및 하향 처프 신호를 전송하므로, 슬롯들 간에 불연속성이 존재하게 되고, 이에 따라 모방 성능이 저하될 수 있다. 따라서, 기존의 CSS 기반의 변조 기법보다 모방 성능 및 상호 상관 성능이 향상된 수중 은밀 통신 기법이 요구될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 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

[0009] 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 휘슬음(whistle)의 주파수 윤곽(frequency contour)에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하는 단계; 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 단계; 및 상기 결정된 지연 시간을 상기 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 휘슬음 모방 신호를 생성하는 단계는, 상기 기 설정된 시간 간격이 T 라고 할 때, 상기 주파수 윤곽에서 상기 기 설정된 시간 간격 T 마다 주파수 값을 추출함으로써, K 개의 주파수 값들 $F_T = [f_1, \dots, f_k, \dots, f_K]^T$ 를 획득하는 단계; $K-1$ 차 방정식 $f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$ 에서 모든 $k\ (k = 1, \dots, K)$ 에 대해, $f_w(k \times T) = f_k$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a = [a_K, \dots, a_k, \dots, a_1]^T$ 을 결정하는 단계; 상기 결정된 계수를 갖는 $f_w(v)$ 를 이용하여 상기 휘슬음 모방 신호의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $f(t) = \int_0^t f_w(v)\, dv$ 에 따라 결정하는 단계; 및 상기 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 에 따라 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 단계는, 상기 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들을 그레이 코드로 매핑하는 단계; 상기 매핑된 그레이 코드를 10진수로 변환하여 숫자 m 을 획득하는 단계; 및 상기 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 상기 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 고 할 때, 상기 지연 시간을 $m\tau$ 로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 송신 신호를 획득하는 단계는, 상기 휘슬음 모방 신호를 $s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $s(t) = \delta(t - m\tau) * s_{ref}(t)$ 에 따라 상기 송신 신호 $s(t)$ 를 생성할 수 있다.

[0013] 상기 비트들의 개수는 상기 변조 차수에 따라 $N = \log_2 M$ 개로 결정될 수 있다.

[0014] 상기 최대 지연 시간 L_{mod} 는 상기 송신 신호가 다중 경로 채널을 통해 수신 장치로 전송된다고 할 때, $\frac{L_{mod}}{2M}$ 가 상기 다중 경로 채널의 최대 지연 시간 보다 크게 되도록 결정될 수 있다.

[0015] 상기 돌고래 휘슬음의 길이가 T_{dolp} 라고 할 때, 상기 송신 장치에 의해 전송되는 송신 심볼의 길이 T_{sym} 은 다음과 같은 수학식 $T_{sym} = T_{dolp} + L_{mod}$ 에 따라 결정될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 방법은, 상기 획득된 송신 신호를 수중 채널을 통해 수신 장치로 전송하는 단계를 더 포함할 수 있

다.

[0017] 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 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 상기 수신 신호 간의 상호 상관(cross correlation)에 기초하여 상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하는 단계; 및 상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하는 단계는, 상기 휘슬음 모방 신호가 $s_{ref}(t)$ 이고, 상기 수신 신호가 $r(t)$ 이며, 상기 휘슬음 모방 신호 및 상기 수신 신호 간의 상호 상관이

$$R(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} r^*(t)\, s_{ref}(t+\alpha)dt = \int_{-\infty}^{\infty} s_{ref}{}^*(t-m\tau)s_{ref}(t+\alpha)\, dt$$

라고 할 때, 다음과 같은 수학식

$$\hat{t} = -\mathrm{argmax}_{\alpha}|R(\alpha)|$$

에 따라 상기 지연 시간을 $\hat{t}$ 로 추정할 수 있다.

[0019] 상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계는, 상기 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 상기 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 라고 할 때, 상기 추정된 지연 시간 $\hat{t}$ 를 τ 로 나눈 뒤 반올림함으로써, $\widehat{m}$ 을 획득하는 단계; 및 상기 $\widehat{m}$ 을 2진수로 변환하고, 그레이 코드 디매핑을 수행함으로써, 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 또 다른 측면에 따른 수중 은밀 통신을 위한 송신 장치는, 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하고, 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 상기 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하며, 상기 결정된 지연 시간을 상기 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득하는 프로세서; 및 상기 획득된 송신 신호를 수중 채널을 통해 수신 장치로 전송하는 트랜스듀서(transducer)를 포함할 수 있다.

[0021] 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 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 상기 수신 신호 간의 상호 상관에 기초하여 상기 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하고, 상기 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조하는 프로세서를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 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 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하고, 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정하며, 결정된 지연 시간을 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득할 수 있다.

[0023] 또한, 본 개시에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법은, 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신하고, 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 수신 신호 간의 상호 상관에 기초하여 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정하며, 추정된 지연 시간에 기초하여 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조할 수 있다.

[0024] 이와 같이, 본 개시에 따른 송신 장치는 기존의 CSS 기반의 변조 기법과 달리, 휘슬음 모방 신호를 짧은 시간 단위의 슬롯으로 나누지 않고, 지연 시간만을 적용하는바, 왜곡이 발생되지 않고, 모방 성능이 우수할 수 있다. 또한, 본 개시에 따른 수신 장치는 휘슬음 전체에 대해 계산된 상호 상관을 이용하여 복조를 수행하므로, 짧은 시간 슬롯에 대한 상호 상관을 계산하는 기존의 CSS 기반 변조 기법보다 복조 성능이 우수할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 기존의 CSS 기반의 변조 기법에 따라 변조된 통신 신호의 예시를 나타내는 도면이다.

도 2는 일부 실시예에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에 따라 변조된 송신 신호의 예시를 나타내는 도면이다.

도 4는 일부 실시예에 따른 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

도 5는 일부 실시예에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 6은 일부 실시예에 따른 수신 장치가 신호를 복조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

도 7 내지 도 9는 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법과 기존의 CSS 기반의 변조 기법의 성능을 비교하기 위한 실험과 관련된 도면들이다.

도 10은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 11은 일부 실시예에 따른 수신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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.

[0029] 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.

[0030] 도 2는 일부 실시예에 따른 송신 장치의 신호 변조 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0031] 도 2를 참조하면, 수중 은밀 통신(covert underwater communication) 시스템에 포함되는 송신 장치가 신호 변조(signal modulation)를 수행하는 방법의 시계열적인 단계들이 도시되어 있다.

[0032] 단계 210에서, 송신 장치는 돌고래 휘슬음(whistle)의 주파수 윤곽(frequency contour)에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성할 수 있다. 돌고래 휘슬음을 직접 녹음하여 통신 신호로 사용하는 것은 녹음된 소리가 주변 소음이나 잡음들로 인해 간섭 받은 신호인 점을 고려할 때, 부적합하다. 따라서, 송신 장치는 실제 돌고래 휘슬음과 동일한 시간-주파수 특성을 갖는 휘슬음 모방 신호를 생성할 수 있다.

[0033] 한편, 주파수가 시간에 따른 위상(phase) 변화에 대응된다는 점을 고려하여, 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 는 다음의 수학식 2와 같이 모델링될 수 있다.

수학식 2

$$s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

[0034]

[0035] 또한, 앞의 수학식 2에서 휘슬음 모방 신호의 시간에 따른 주파수를 나타내는 $f(t)$ 는 다음의 수학식 3과 같이 연속적으로 변화하는 반송 주파수 $f_w(v)$ 의 시간 적분으로 표현될 수 있다.

수학식 3

$$f(t) = \int_0^t f_w(v)\, dv$$

[0036]

[0037] 앞의 수학식 3에서 $f_w(v)$ 는 돌고래 휘슬음의 기 설정된 시간 간격 T 마다의 주파수 값들 $F_T = [f_1, \ldots, f_k, \ldots, f_K]^T$ 를 가져야 하므로, $K-1$ 차 방정식인 다음의 수학식 4에 따라 표현될 수 있다.

수학식 4

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

[0038]

[0039] 앞의 수학식 4는 기 설정된 시간 간격마다 돌고래 휘슬음과 동일한 주파수 값들을 갖기 위해 다음과 같은 수학식 5를 만족해야 한다.

수학식 5

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

[0040]

[0041] 따라서, 앞의 수학식 4에서 a_k 는 K 개의 식과 해를 갖는 K 차 연립 방정식으로 나타낼 수 있다. 예를 들어, a_k 는 다음의 수학식 6과 같이 행렬 형태로 표현될 수 있다.

수학식 6

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

[0042]

[0043] 앞의 수학식 6은 K 개의 식과 해를 갖는 K 차 연립 방정식에 해당하므로, 해가 존재한다. 따라서, K 차 연립 방정식을 풀이하면, $f_w(v)$ 의 계수인 $a = [a_K, \dots, a_k, \dots, a_1]^T$ 가 계산될 수 있다. 계산된 계수를 적용한 $f_w(v)$ 를 앞의 수학식 3에 대입하면, 앞의 수학식 2에 따라 시간에 따라 연속적으로 주파수가 변화하는 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 가 생성될 수 있다.

[0044] 정리하면, 송신 장치는 기 설정된 시간 간격이 T 라고 할 때, 돌고래의 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격 T 마다 주파수 값을 추출함으로써, K 개의 주파수 값들 $F_T = [f_1, \dots, f_k, \dots, f_K]^T$ 를 획득할 수 있다. 예를 들어, 송신 장치는 푸리에 변환을 이용하여 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격 T 마다 주파수 값을 추출할 수 있다. 다만, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다.

[0045] 송신 장치는 $K-1$ 차 방정식 $f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$ 에서 모든 $k\ (k = 1, \dots, K)$ 에 대해, $f_w(k \times T) = f_k$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a = [a_K, \dots, a_k, \dots, a_1]^T$ 을 결정할 수 있다. 또한, 송신 장치는 결정된 계수를 갖는 $f_w(v)$ 를 이용하여 휘슬음 모방 신호의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 앞의 수학식 3에 따라 결정할 수 있고, 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 를 앞의 수학식 2에 따라 생성할 수 있다.

[0046] 단계 220에서, 송신 장치는 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정할 수 있다. 송신 신호의 변조 차수가 M 이라고 할 때, 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들의 개수는 변조 차수에 따라 $N = \log_2 M$ 개로 결정될 수 있다. 한편, 변조 차수는 2의 배수인 것이 적절하나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다. 변조 차수가 2의 배수가 아닌 경우 비트들의 개수 N 은 $\log_2 M$ 을 반올림한 자연수에 대응될 수 있다.

[0047] 송신 장치는 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들을 그레이 코드로 매핑하고, 매핑된 그레이 코드를 10진수로 변환하여 숫자 m 을 획득할 수 있다. 송신 장치는 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 고 할 때, 지연 시간을 $m\tau$ 로 결정할 수 있다. 이와 같이, 결정된 지연 시간에는 전송하고자 하는 비트 정보가 포함될 수 있다.

[0048] 한편, 그레이 코드는 연속한 두 개의 수를 나타내는 비트들에 대한 표시가 하나의 숫자 위치(즉, 1개의 비트 위치)에서만 다른 코드를 의미한다. 그레이 코드에 따르면 최소한의 비트의 변화로 연속한 두 개의 수가 구분될 수 있다. 따라서, 변조 차수가 2보다 큰 상황에서 송신 신호에 대한 복조 오류가 발생하더라도 전체 비트들의 오류 확률이 낮아질 수 있다.

[0049] 또한, 본 개시에 따른 신호 변조 방법은 지연 시간에 기반하는바, 다중 경로의 영향이 고려되어야 한다. 예를 들어, 2개의 경로를 갖는 다중 경로 채널에서 도플러 효과로 인해 첫 번째 경로의 이득보다 두 번째 경로의 이

득이 더 큰 경우가 발생될 수 있고, 반대의 경우도 발생될 수 있다. 이 때, 수신 장치가 수신 신호의 복조를 위해 지연 시간을 추정하게 되면, 다중 경로 간의 지연 시간의 차이만큼의 오차가 발생된다. 예를 들어, 다중 경로의 최대 지연 시간이 $\frac{L_{mod}}{2M}$ 보다 길 경우, 신호 복조 과정에서 오류가 발생된다. 따라서, 최대 지연 시간 L_{mod} 는 송신 신호가 다중 경로 채널을 통해 수신 장치로 전송된다고 할 때, $\frac{L_{mod}}{2M}$ 가 다중 경로 채널의 최대 지연 시간 보다 크게 되도록 결정될 수 있다.

[0050] 단계 230에서, 송신 장치는 결정된 지연 시간을 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득할 수 있다.

$$s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$$

예를 들어, 송신 장치는 휘슬음 모방 신호를 $s_{ref}(t)$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 7에 따라 송신 신호 $s(t)$ 를 생성할 수 있다.

수학식 7

$$s(t) = \delta(t - m\tau) * s_{ref}(t)$$

[0051]

$$\tau = \frac{L_{mod}}{M}$$

[0052] 앞의 수학식 7에서 *는 컨볼루션(convolution)을 의미하며, τ 를 나타낸다. 이하 도 3을 참조하여 송신 장치가 전술한 지연 시간 기반의 변조 기법을 이용하여 획득한 송신 신호에 대해 상세히 설명한다.

[0053] 도 3은 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에 따라 변조된 송신 신호의 예시를 나타내는 도면이다.

[0054] 도 3을 참조하면, 실제 돌고래 휘슬음의 길이가 T_{dolp} 라고 할 때, 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 의 길이도 T_{dolp} 일 수 있고, 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 가 지연시간 $m\tau$ 만큼 지연되어 전송되는 신호가 지연 시간 기반의 변조 기법에 따라 변조된 송신 신호에 해당함을 알 수 있다. 이 때, 송신 장치에 의해 전송되는 송신 심볼의 길이 T_{sym} 은 다음과 같은 수학식 8에 의해 결정될 수 있다.

수학식 8

$$T_{sym} = T_{dolp} + L_{mod}$$

[0055]

[0056] 한편, 도 3을 참조하면, 기존의 CSS 기반의 변조 기법과는 달리 돌고래 휘슬음의 시간-주파수 특성과 비교하여 왜곡이 발생되지 않은 송신 신호가 생성되므로, 본 개시에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법의 모방 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 이하 도 4를 참조하여 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 보다 상세히 설명한다.

[0057] 도 4는 일부 실시예에 따른 송신 장치가 신호를 변조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

[0058] 도 4를 참조하면, 송신 장치는 돌고래 휘슬음으로부터 주파수 윤곽 추출기를 통해 기 설정된 시간 간격마다의 주파수 값들을 획득하고, 획득된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성하는 제1 과정을 수행할 수 있다. 또한, 송신 장치는 전송하고자 하는 비트에 그래이 매핑을 수행한 뒤, 10진수로 변환하고, 변환된 수에

지연시간 단위인 τ 를 곱함으로써, 변조에 이용될 지연 시간을 결정하는 제2 과정을 수행할 수 있다.

[0059] 송신 장치는 제1 과정을 제2 과정보다 먼저 수행할 수 있으나, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다. 송신 장치는 제1 과정을 제2 과정보다 늦게 수행할 수 있으며, 제1 및 제2 과정을 동시에 수행할 수도 있다. 제1 및 제2 과정이 수행된 이후, 송신 장치는 제1 과정을 통해 생성된 휘슬음 모방 신호에 대해 제2 과정을 통해 결정된 지연 시간을 적용한 변조를 수행함으로써, 송신 신호를 획득할 수 있다.

[0060] 도 5는 일부 실시예에 따른 수신 장치의 신호 복조 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0061] 도 5를 참조하면, 수중 은밀 통신 시스템에 포함되는 수신 장치가 신호 복조(signal demodulation)를 수행하는 방법의 시계열적인 단계들이 도시되어 있다.

[0062] 단계 510에서, 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. 한편, 수중 채널은 다중 경로 채널일 수 있다.

[0063] 단계 520에서, 수신 장치는 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 수신 신호 간의 상호 상관(cross correlation)에 기초하여 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정할 수 있다.

[0064] 한편, 수신 장치는 수신 신호의 복조를 위해 휘슬음 모방 신호를 다양한 방법으로 미리 획득할 수 있다. 수신 장치는 휘슬음 모방 신호에 대한 정보를 미리 수신 장치와 공유할 수 있으며, 수신 장치로부터 휘슬음 모방 신호에 대한 정보를 별도로 수신할 수도 있다. 또한, 수신 장치는 송신 장치와 동일한 방식으로 휘슬음 모방 신호를 직접 생성할 수도 있다.

[0065] 수신 장치는 휘슬음 모방 신호가 $s_{ref}(t)$ 이고, 수신 신호가 $r(t)$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 9에 따라 휘슬음 모방 신호 및 수신 신호 간의 상호 상관을 계산할 수 있다.

수학식 9

$$R(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} r^*(t)\, s_{ref}(t+\alpha)dt = \int_{-\infty}^{\infty} {s_{ref}}^*(t-m\tau)\, s_{ref}(t+\alpha)\, dt$$

[0066]

[0067] 또한, 수신 장치는 다음과 같은 수학식 10에 따라 지연 시간을 $\hat{\tau}$ 로 추정할 수 있다.

수학식 10

$$\hat{\tau} = -\underset{\alpha}{\operatorname{argmax}}|R(\alpha)|$$

[0068]

[0069] 단계 530에서, 수신 장치는 추정된 지연 시간에 기초하여 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조할 수 있다. 예를 들어, 수신 장치는 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 고 할 때, 추정된 지연 시간 $\hat{\tau}$ 를 τ 로 나눈 뒤 반올림함으로써, $\hat{m}$ 을 획득할 수 있다. 또한, 수신 장치는 $\hat{m}$ 을 2진수로 변환하고, 그레이 코드 디매핑을 수행함으로써, 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복

조할 수 있다.

[0070] 이와 같이, 본 개시에 따른 지연시간 기반의 신호 복조 방법은 돌고래 휘슬음의 길이 T_{dolp} 에 대하여 상호 상관을 계산하기 때문에, 짧은 시간 슬롯에 대한 상호 상관을 계산하는 기존의 CSS 기반의 복조 기법보다 복조 성능이 우수할 수 있다. 또한, 본 개시에 따른 송신 장치 및 수신 장치는 미리 약속된 순서로 매 심볼마다 변화되는 돌고래 휘슬음 패턴을 송수신할 수 있으므로, 모방 성능뿐만 아니라 은밀성도 보다 향상될 수 있다.

[0071] 도 6은 일부 실시예에 따른 수신 장치가 신호를 복조하는 전체적인 과정을 설명하기 위한 개요도이다.

[0072] 도 6을 참조하면, 수신 장치는 수신된 수신 신호와 휘슬음 모방 신호와의 상호 상관을 계산하고, 계산된 상호 상관이 피크인 지점을 검출함으로써 지연 시간 $\hat{\tau}$ 를 추정할 수 있다. 수신 장치는 추정된 지연 시간을 변조에 이용되는 지연 시간 단위인 τ 로 나눈 뒤, 2진수로의 변환 및 그레이 디매핑을 수행함으로써 송신 신호에 포함된 정보에 대응되는 비트들을 획득할 수 있다.

[0073] 도 7 내지 도 9는 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법과 기존의 CSS 기반의 변조 기법의 성능을 비교하기 위한 실험과 관련된 도면들이다.

[0074] 본 개시의 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법과 기존의 CSS 기반의 변조 기법의 BER(Bit Error Rate) 성능 및 모방 성능을 비교 분석하기 위해, 서해 정점에서 측정된 음속을 기반으로 하여 Bellhop 모델을 통해 생성된 수중 음향 채널이 실험에 사용되었다. 실험에 사용된 수중 음향 채널의 채널 응답은 도 7에 도시된 바와 같다. 도 7을 참조하면, 0 msec 와 3 msec 사이에서 주요 경로들이 존재함을 알 수 있다.

[0075] 프레임 간의 동기는 완벽하다는 가정 하에, 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법과 기존의 CSS 기반의 변조 기법의 BER 성능을 측정한 결과는 도 8에 도시된 바와 같다. 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에서 L_{mod} 가 32 msec인 경우와 CSS 기반의 변조 기법에서 g 가 10 kHz/sec인 경우는 실선으로 표시되고, L_{mod} 가 64 msec인 경우와 g 가 20 kHz/sec인 경우는 점선으로 표시된다.

[0076] 또한, 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에서 적용된 변조 차수가 2, 4, 8 및 16인 경우 각각은 검은색 원형 마커, 붉은 색 십자 마커, 녹색 별표 마커 및 파란색 다이아몬드 마커로 표시된다. 또한, CSS 기반의 변조 기법에서 L_t 가 25 msec인 경우는 자홍색 삼각형 마커로, L_t 가 50 msec인 경우는 녹청색 사각형 마커로 표시된다. 여기서 L_{mod} 의 길이는 다중 경로로 인한 영향을 확인하고, 두 변조 기법들 간의 전송률을 맞추기 위해 설정된 값에 해당한다.

[0077] 도 8을 참조하면, 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법의 변조 차수가 2 및 4인 경우에는 $\frac{L_{mod}}{2M}$ 가 두 번째 주 경로의 지연 시간인 3 msec보다 길기 때문에 서로 성능이 동일함을 알 수 있다. 이에 반해, 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에서 변조 차수가 8이고, L_{mod} 가 32 msec인 경우와 변조 차수가 16인 경우에는 $\frac{L_{mod}}{2M}$ 보다 다중 경로의 지연 시간이 더 길기 때문에, 지연 시간 추정 오차가 발생하여 BER이 증가되고, 이에 따라 BER 성능이 감소된다. 한편, $\frac{L_{mod}}{2M}$ 이 다중 경로의 지연 시간보다 긴 경우에는 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법이 기존의 CSS 기반의 변조 기법과 비교하여 약 3.5 Db 내지 8dB만큼 BER 성능이 우수한 것을 알 수 있다.

[0078] 도 9에는 돌고래 휘슬음 신호를 나타내는 스펙트로그램(910), CSS 기반의 변조 기법에 의해 모방된 신호를 나타내는 스펙트로그램(920) 및 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에 의해 모방된 신호를 나타내는 스펙트로그램(930)의 예시가 도시되어 있다.

[0079] 도 9를 참조하면, 기존의 CSS 기반의 변조 기법에 의해 모방된 신호는 원래의 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽과 차이가 존재하는바, 모방 성능이 낮음을 알 수 있다. 이에 반해, 일부 실시예에 따른 지연 시간 기반의 변조 기법에 의해 모방된 신호는 지연 시간을 기반으로 변조를 수행하므로, 주파수 윤곽의 왜곡이 존재하지 않고, 이에 따라, 모방 성능이 우수함을 알 수 있다.

[0080] 도 10은 일부 실시예에 따른 송신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0081] 도 10을 참조하면, 송신 장치(100)는 프로세서(1010) 및 트랜스듀서(1020)를 포함할 수 있다. 도 10에 도시된 송신 장치(100)는 도 2를 참조하여 설명한 방법을 시계열적으로 처리할 수 있다. 따라서, 이하에서 생략된 내용이라고 하더라도 도 2의 방법에 관하여 이상에서 기술된 내용은 도 10의 송신 장치(100)에 의해 수행될 수 있음을 알 수 있다.

[0082] 한편, 도 10에 도시된 송신 장치(100)에는 본 실시예와 관련된 구성들만이 도시되어 있다. 따라서, 도 10에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 송신 장치(100)에 더 포함될 수 있음을 본 실시예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.

[0083] 프로세서(1010)는 송신 장치(100)를 제어하기 위한 전반적인 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1010)는 트랜스듀서(1020)의 동작을 제어할 수 있다. 한편, 프로세서(1010)는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다.

[0084] 프로세서(1010)는 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 휘슬음 모방 신호를 생성할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1010)는 기 설정된 시간 간격이 T 라고 할 때, 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격 T 마다 주파수 값을 추출함으로써, K 개의 주파수 값들 $F_T = [f_1, \dots, f_k, \dots, f_K]^T$ 를 획득하고, $K-1$ 차 방정식 $f_w(v) = a_K v^{K-1} + a_{K-1} v^{K-2} + \cdots + a_2 v^1 + a_1$ 에서 모든 $k\ (k = 1, \dots, K)$ 에 대해, $f_w(k \times T) = f_k$ 를 만족하는 K 차 연립 방정식을 풀이함으로써, $f_w(v)$ 의 계수인 $a = [a_K, \dots, a_k, \dots, a_1]^T$ 을 결정할 수 있다.

[0085] 또한, 프로세서(1010)는 결정된 계수를 갖는 $f_w(v)$ 를 이용하여 휘슬음 모방 신호의 시간에 따른 주파수 $f(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $f(t) = \int_0^t f_w(v)\, dv$ 에 따라 결정하고, 휘슬음 모방 신호 $s_{ref}(t)$ 를 다음과 같은 수학식 $s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 에 따라 생성할 수 있다.

[0086] 프로세서(1010)는 전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여 휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1010)는 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들을 그레이 코드로 매핑하고, 매핑된 그레이 코드를 10진수로 변환하여 숫자 m 을 획득할 수 있다. 프로세서(1010)는 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} 이며, $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 고 할 때, 지연 시간을 $m\tau$ 로 결정할 수 있다.

[0087] 프로세서(1010)는 결정된 지연 시간을 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써 송신 신호를 획득할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1010)는 휘슬음 모방 신호를 $s_{ref}(t) = \cos(2\pi f(t) \times t)$ 라고 할 때, 다음과 같은 수학식 $s(t) = \delta(t - m\tau) * s_{ref}(t)$ 에 따라 송신 신호 $s(t)$ 를 생성할 수 있다.

[0088] 한편, 전송하고자 하는 비트 정보에 대응되는 비트들의 개수는 변조 차수에 따라 $N = \log_2 M$ 개로 결정될 수 있고, 최대 지연 시간 L_{mod} 는 송신 신호가 다중 경로 채널을 통해 수신 장치로 전송된다고 할 때, $\frac{L_{mod}}{2M}$ 가 다중 경로 채널의 최대 지연 시간 보다 크게 되도록 결정될 수 있다. 또한, 돌고래 휘슬음의 길이가 T_{dolp} 라고 할 때, 송신 장치에 의해 전송되는 송신 심볼의 길이 T_{sym} 은 다음과 같은 수학식 $T_{sym} = T_{dolp} + L_{mod}$ 에 따라 결정될 수 있다.

[0089] 트랜스듀서(1020)는 입력 신호를 다른 형태의 출력 신호로 변환해주는 변환 장치로서, 수중 통신에 있어서 신호를 송수신하는 장치를 의미할 수 있다. 예를 들어, 트랜스듀서(1020)는 음파를 송수신하는 하이드로폰(hydrophone), 송신 센서 또는 스피커에 대응될 수 있다. 다만, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다. 트랜스듀서(1020)는 획득된 송신 신호를 수중 채널을 통해 수신 장치로 전송할 수 있다.

[0090] 도 10을 참조하여 설명한 바와 같이, 본 개시에 따른 송신 장치(100)는 기존의 CSS 기반의 변조 기법과 달리, 휘슬음 모방 신호를 짧은 시간 단위의 슬롯으로 나누지 않고, 지연 시간만을 적용하는바, 왜곡이 발생되지 않고, 모방 성능이 우수할 수 있다.

[0091] 도 11은 일부 실시예에 따른 수신 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0092] 도 11을 참조하면, 수신 장치(110)는 트랜스듀서(1110) 및 프로세서(1120)를 포함할 수 있다. 도 11에 도시된 수신 장치(110)는 도 5를 참조하여 설명한 방법을 시계열적으로 처리할 수 있다. 따라서, 이하에서 생략된 내용이라고 하더라도 도 5의 방법에 관하여 이상에서 기술된 내용은 도 11의 수신 장치(110)에 의해 수행될 수 있음을 알 수 있다.

[0093] 한편, 도 11에 도시된 수신 장치(110)에는 본 실시예와 관련된 구성들만이 도시되어 있다. 따라서, 도 11에 도시된 구성요소들 외에 다른 범용적인 구성요소들이 수신 장치(110)에 더 포함될 수 있음을 본 실시예와 관련된 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이해할 수 있다.

[0094] 트랜스듀서(1110)는 입력 신호를 다른 형태의 출력 신호로 변환해주는 변환 장치로서, 수중 통신에 있어서 신호를 송수신하는 장치를 의미할 수 있다. 예를 들어, 트랜스듀서(1110)는 음파를 송수신하는 하이드로폰, 송신 센서 또는 스피커에 대응될 수 있다. 다만, 이에 반드시 제한되는 것은 아니다. 트랜스듀서(1110)는 송신 장치로부터 전송된 송신 신호가 수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신할 수 있다.

[0095] 프로세서(1120)는 수신 장치(110)를 제어하기 위한 전반적인 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1120)는 트랜스듀서(1110)의 동작을 제어할 수 있다. 한편, 프로세서(1120)는 다수의 논리 게이트들의 어레이로 구현될 수 있고, 범용적인 마이크로 프로세서와 마이크로 프로세서에서 실행될 수 있는 프로그램이 저장된 메모리의 조합으로 구현될 수도 있다.

[0096] 프로세서(1120)는 돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여 생성된 휘슬음 모방 신호와 수신 신호 간의 상호 상관에 기초하여 송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1120)는 휘슬음 모방 신호가 $s_{ref}(t)$ 이고, 수신 신호가 $r(t)$ 이며, 휘슬음 모방 신호 및 수신 신호 간의 상호 상관이 $R(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} r^*(t)\, s_{ref}(t+\alpha)dt = \int_{-\infty}^{\infty} s_{ref}{}^*(t - m\tau) s_{ref}(t+\alpha)\, dt$ 라고 할

$\hat{\tau} = -\text{argmax}_{\alpha}|R(\alpha)|$ $\hat{\tau}$

때, 다음과 같은 수학식 에 따라 지연 시간을 로 추정할 수 있다.

[0097] 프로세서(1120)는 추정된 지연 시간에 기초하여 상기 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조할 수 있다. 예를 들어, 프로세서(1120)는 송신 신호의 변조 차수가 M 이고, 송신 신호의 변조에 따른 최대 지연 시간이 L_{mod} $\tau = \frac{L_{mod}}{M}$ 이며, $\hat{\tau}$ τ $\hat{m}$ 고 할 때, 추정된 지연 시간 $\hat{\tau}$ 를 τ 로 나눈 뒤 반올림함으로써, $\hat{m}$ 을 획득할 수 있다. 또한, 프로세서(1120)는 $\hat{m}$ 을 2진수로 변환하고, 그레이 코드 디매핑을 수행함으로써, 송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조할 수 있다.

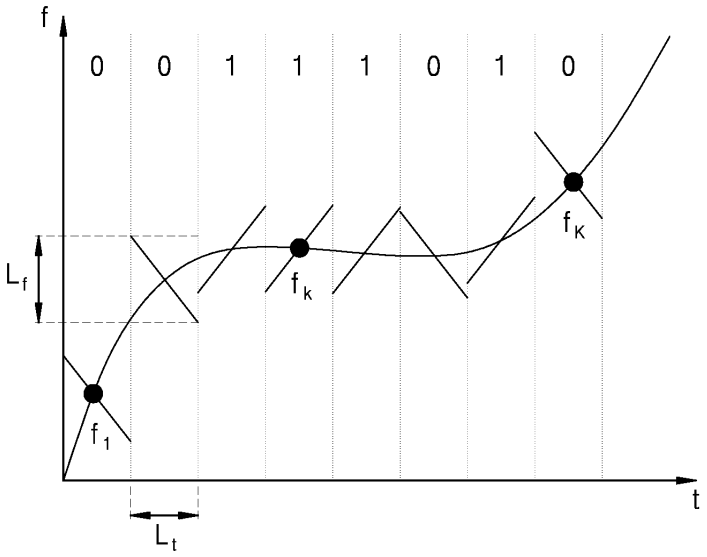
[0098] 도 11을 참조하여 설명한 바와 같이, 수신 장치(110)는 휘슬음 전체에 대해 계산된 상호 상관을 이용하여 복조를 수행하므로, 짧은 시간 슬롯에 대한 상호 상관을 계산하는 기존의 CSS 기반 변조 기법보다 복조 성능이 우수할 수 있다.

[0099] 한편, 전술한 도 2의 송신 장치의 신호 변조 방법 및 도 5의 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.

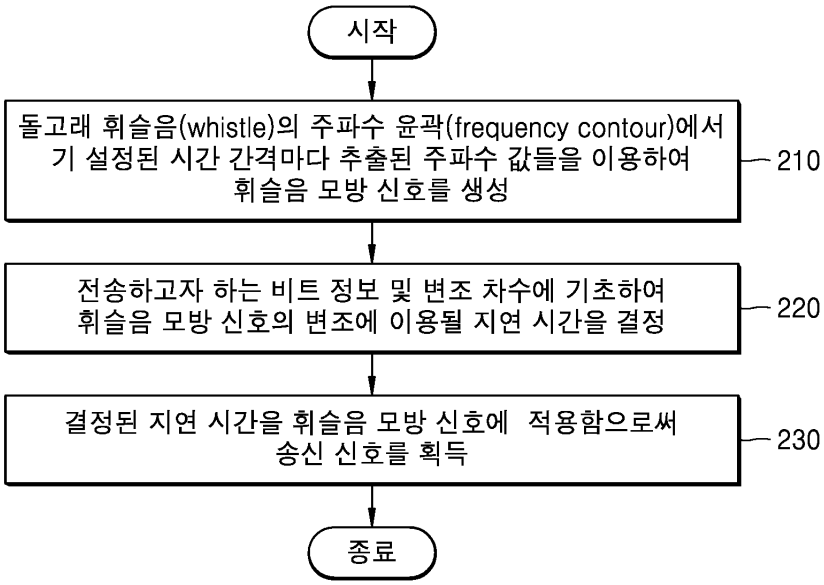
[0100] 이상에서 실시예들에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속한다.

도면

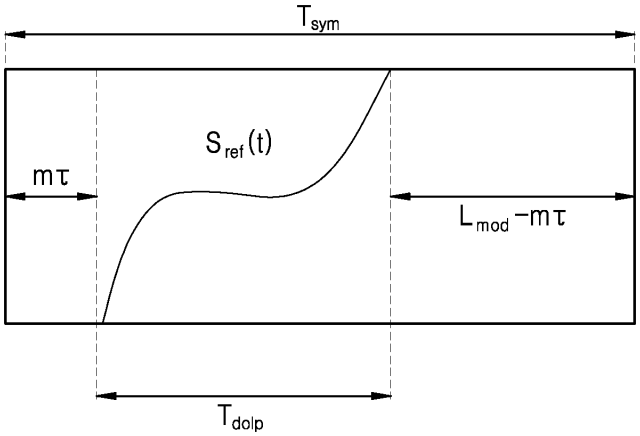
도면1



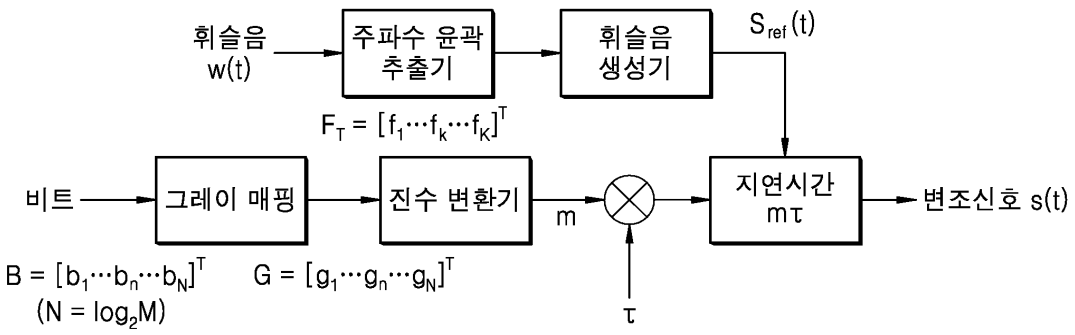
도면2


시작
돌고래 휘슬음(whistle)의 주파수 윤곽(frequency contour)에서
기 설정된 시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여
휘슬음 모방 신호를 생성
210
전송하고자 하는 비트 정보 및 변조 차수에 기초하여
휘슬음 모방 신호의 변조에 이용될 지연 시간을 결정
220
결정된 지연 시간을 휘슬음 모방 신호에 적용함으로써
송신 신호를 획득
230
종료

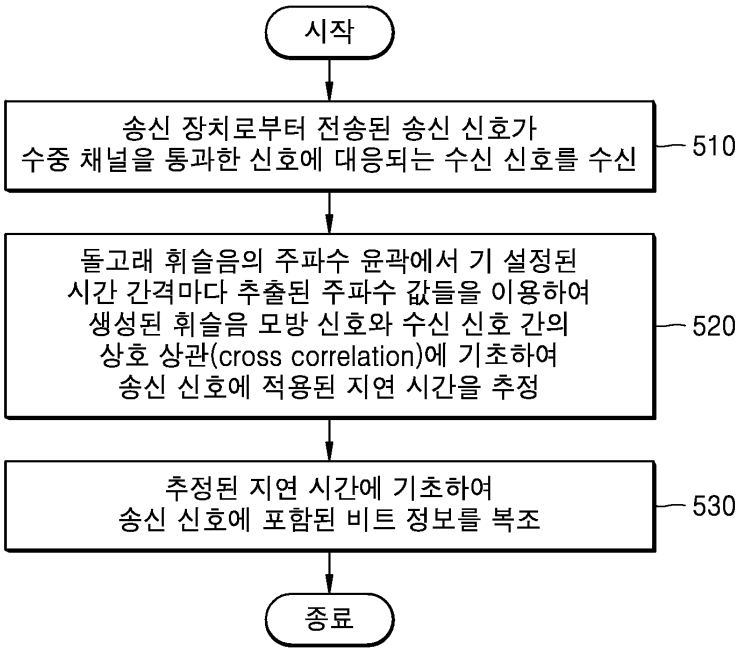
도면3


T_{sym}
$S_{ref}(t)$
$m\tau$
$L_{mod}-m\tau$
T_{dolp}

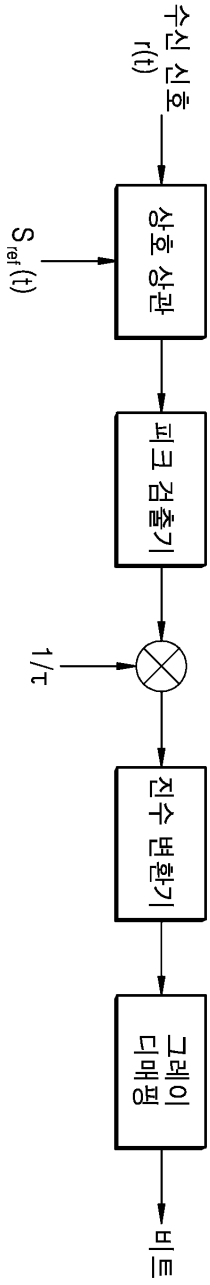
도면4


휘슬음
w(t)
주파수 윤곽
추출기
휘슬음
생성기
$S_{ref}(t)$
$F_T = [f_1 \cdots f_k \cdots f_K]^T$
비트
그레이 매핑
진수 변환기
m
지연시간
$m\tau$
변조신호 s(t)
$B = [b_1 \cdots b_n \cdots b_N]^T$
$(N = \log_2 M)$
$G = [g_1 \cdots g_n \cdots g_N]^T$
τ

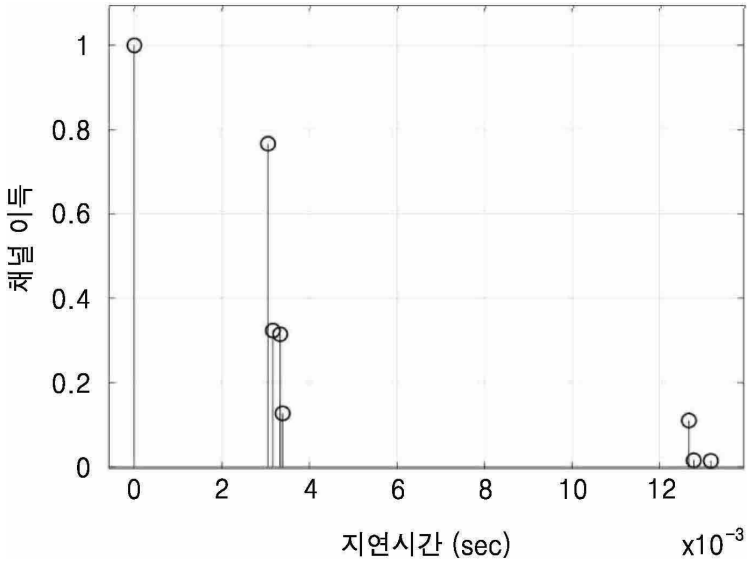
도면5


시작
송신 장치로부터 전송된 송신 신호가
수중 채널을 통과한 신호에 대응되는 수신 신호를 수신
510
돌고래 휘슬음의 주파수 윤곽에서 기 설정된
시간 간격마다 추출된 주파수 값들을 이용하여
생성된 휘슬음 모방 신호와 수신 신호 간의
상호 상관(cross correlation)에 기초하여
송신 신호에 적용된 지연 시간을 추정
520
추정된 지연 시간에 기초하여
송신 신호에 포함된 비트 정보를 복조
530
종료

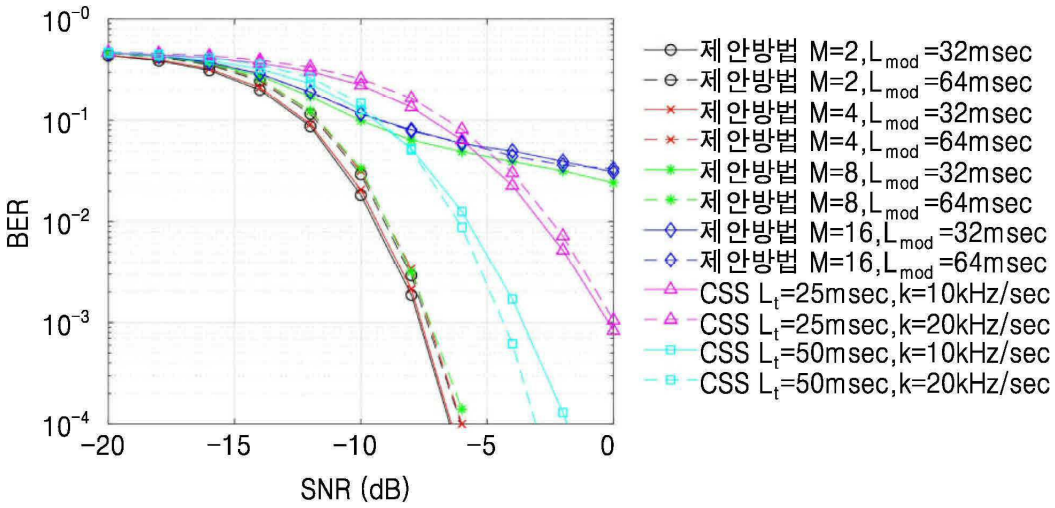
도면6



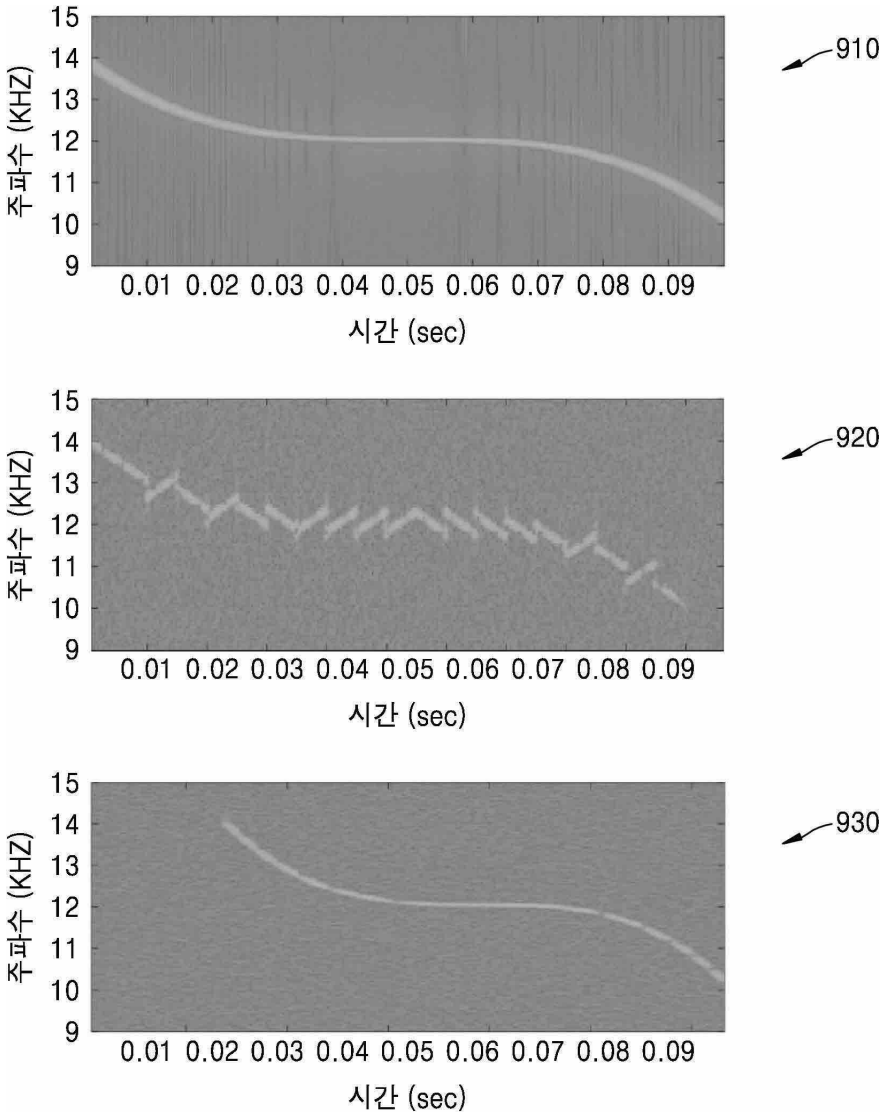
도면7


채널 이득
지연시간 (sec)
x10^-3

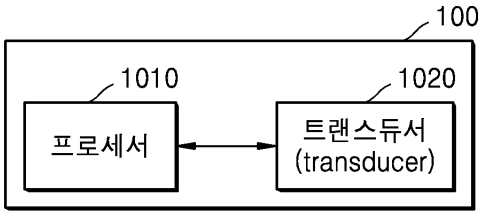
도면8


BER
SNR (dB)
제안방법 M=2,L_mod =32msec
제안방법 M=2,L_mod =64msec
제안방법 M=4,L_mod =32msec
제안방법 M=4,L_mod =64msec
제안방법 M=8,L_mod =32msec
제안방법 M=8,L_mod =64msec
제안방법 M=16,L_mod =32msec
제안방법 M=16,L_mod =64msec
CSS L_t=25msec,k=10kHz/sec
CSS L_t=25msec,k=20kHz/sec
CSS L_t=50msec,k=10kHz/sec
CSS L_t=50msec,k=20kHz/sec

도면9



도면10



도면11

