(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년07월26일
(11) 등록번호 10-1881796
(24) 등록일자 2018년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H03M 13/37* (2006.01) *H03M 13/00* (2017.01)
(52) CPC특허분류
*H03M 13/3746* (2013.01)
*H03M 13/6502* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0076136
(22) 출원일자 2017년06월15일
심사청구일자 2017년06월15일
(56) 선행기술조사문헌
Multi-periodic neural coding for adaptive information transfer, (Theoretical Computer Science, 2016)
기술이전 희망 : **기술양도**

(73) 특허권자
**인천대학교 산학협력단**
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
**유용석**
인천광역시 연수구 아카데미로 119, 8호관 B동 367호 (송도동, 인천대학교)
(74) 대리인
**특허법인충정**

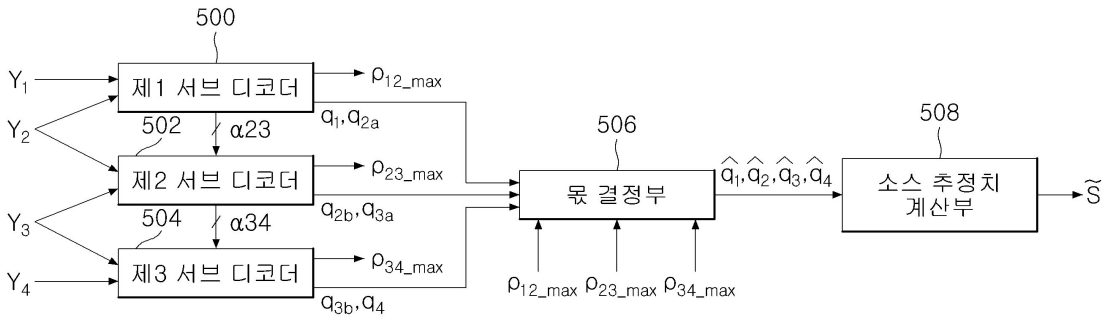
전체 청구항 수 : 총 14 항 심사관 : 조춘근

(54) 발명의 명칭 **일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법**

## (57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 복수의 서브 디코더로서, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정하기 위한 복수의 서브 디코더; 상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하기 위한 몫 결정부; 및 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하기 위한 소스 추정치 계산부를 포함하고, 상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공한다.

## 대 표 도



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711042723
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 정보통신방송표준개발지원사업
연구과제명 양자암호통신 분야 QKD 기술 표준개발
기 여 율 1/1
주관기관 퀀텀정보통신연구조합
연구기간 2016.09.01 ~ 2017.08.31
공지예외적용 : 있음

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서,

복수의 서브 디코더로서, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 소정 수의 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정하기 위한 복수의 서브 디코더;

상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하기 위한 몫 결정부; 및

상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하기 위한 소스 추정치 계산부를 포함하고,

상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공하며,

길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드( $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ )는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해

$$X_n = a_n S \mod 1$$

$$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$ 에 따라 획득되고,

N은 2 이상의 정수이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 상기 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, $\gcd(\cdot,\cdot)$ 는 최대 공약수를 나타내며,

상기 N개의 입력값들은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들에 의해 수신되는 값들인, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 서브 디코더 각각은,

상기 소정 수의 입력값들에 기반하여 몫에 대한 신뢰도를 계산하는 신뢰도 계산부;

이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 신뢰도 계산부에서 출력되는 신뢰도를 반복적으로 갱신하기 위한 신뢰도 갱신부;

상기 신뢰도 갱신부에서 출력되는 신뢰도들 중 최대값을 갖는 신뢰도를 결정하고, 결정된 신뢰도 및 상기 소정 수의 입력값들에 대응하는 몫을 결정하여 출력하는 최대값 결정부; 및

상기 신뢰도 갱신부에서 출력되는 신뢰도들에 기반하여 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하는 신뢰도 선택부를 포함하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 몫 결정부는 상기 최대값 결정부에서 결정된 신뢰도가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에

기반하여 계산된 몫을 상기 입력값에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

**청구항 4**

청구항 3에 있어서,

상기 신뢰도 계산부는,

$$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도( $s_{ij}(q_i, q_j)$ )를 계산하고,

$q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고,

$Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타내는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 신뢰도 갱신부는,

$$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} \left(s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v)\right)$$ 에 따라 상기 신뢰도 계산부에서 출력되는 신뢰도를 반복적으로 갱신하고,

상기 $\alpha_{ij}(u, v)$ 는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도인, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서,

상기 신뢰도 선택부는,

$$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$ 에 따라

상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도( $\alpha_{jk}(q_j, q_k)$ )를 선택하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

**청구항 7**

청구항 6에 있어서,

상기 소스 추정치 계산부는,

상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 소스 추정치를 계산하기 위한 복수의 추정기; 및

상기 복수의 추정기 각각에서 출력되는 소스 추정치에 기반하여 최종 소스 추정치를 계산하기 위한 소스 추정부를 포함하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치.

**청구항 8**

일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서,

(a) 복수의 서브 디코더가, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 소정 수의 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정하는 단계;

(b) 몫 결정부가, 상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하는 단계; 및

(c) 소스 추정치 계산부가, 상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공하며,

길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드( $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ )는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해

$$X_n = a_n S \mod 1$$

$$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$

에 따라 획득되고,

N은 2 이상의 정수이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, $\gcd(\cdot,\cdot)$ 는 최대 공약수를 나타내며,

상기 N개의 입력값들은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들에 의해 수신되는 값들인, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 9**

청구항 8에 있어서,

상기 단계 (a)는,

(a-1) 상기 소정 수의 입력값들에 기반하여 몫에 대한 신뢰도를 계산하는 단계;

(a-2) 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도를 반복적으로 갱신하는 단계;

(a-3) 상기 갱신된 신뢰도들 중 최대값을 갖는 신뢰도를 결정하고, 결정된 신뢰도 및 상기 소정 수의 입력값들에 대응하는 몫을 결정하여 출력하는 단계; 및

(a-4) 상기 갱신된 신뢰도들에 기반하여 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하는 단계를 포함하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 10**

청구항 9에 있어서,

상기 단계 (a-3)는, 상기 결정된 신뢰도가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫을 상기 입력값에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력하는 단계를 포함하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 11**

청구항 10에 있어서,

상기 단계 (a-1)에서,

$$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도( $s_{ij}(q_i, q_j)$ )가 계산되고,

$q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고,

$Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타내는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서,

상기 단계 (a-2)에서,

$$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} (s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v))$$ 에 따라 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도가 반복적으로 갱신되고,

상기 $\alpha_{ij}(u, v)$ 는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도인, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 13**

청구항 12에 있어서,

상기 단계 (a-4)에서,

$$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$ 에 따라

상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도( $\alpha_{jk}(q_j, q_k)$ )가 선택되는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

**청구항 14**

청구항 13에 있어서,

상기 단계 (c)는,

(c-1) 상기 N개의 입력값들 각각에 대응하는 소스 추정치를 계산하는 단계; 및

(c-2) 상기 계산된 소스 추정치들에 기반하여 최종 소스 추정치를 계산하는 단계를 포함하는, 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0002] 아날로그 오류정정코드는 단순한 부호화 및 신호대잡음비(SNRs)를 감소시키는 것에 대한 우아한 성능 저하 때문에, 상당한 관심을 끌어 왔다. 이들 코드들 중에서, 시프트-맵 코드는 널리 연구되어왔다. 시프트-맵 코드의 부호화는 곱셈에 뒤이어 모듈로(modulo) 연산이 뒤따르는데, 이것은 신호 범위의 효율적인 사용을 가능하게 한다. 예를 들어, 소스가 단위 간격(unit interval)에 균일하게 분포되어 있는 경우, 시프트-맵 코드는 단위 간격에서 균일하게 분포되어 있는 코드워드들을 생성한다. 이들 코드들은 차례로, 주어진 채널의 제약에 맞도록 스케일링 될 수 있다. 시프트-맵 코드의 최적성이 비특허문헌 [7]에서 연구되었고, 시프트-맵 코드의 일반화된 버전이 수신기와 통신하는 것을 목표로 하는 2개의 개별적인 송신기들을 포함하는 멀티-터미널 시나리오에서 연구되어왔다(비특허문헌 [8]).

[0003] 그럼에도 불구하고, 시프트-맵 코드를 복호화하는 것은 특히 그것의 단순한 부호화 절차와 비교하여, 간단하지 않다. 이것은 시프트-맵 코드의 실제적인 사용에 제한을 줄 수 있다. 이전의 연구들은 주로 시프트-맵 코드 구조 및 최대 우도(ML: maximum likelihood) 복호기들(비특허문헌 [5]-[8])과의 그들의 오류정정 성능에 집중되었고, 시프트-맵 코드를 복호화하는 효율적인 방법은 아직 완전히 개발되지 않았다. 최근에, 시프트-맵-유사 매핑을 인버팅하기 위한 반복적인 알고리즘이 신경과학 관점에서 연구되었다(비특허문헌 [9]).

## 선행기술문헌

### 비특허문헌

[0004] (비특허문헌 0001) [1] C. Shannon, "Communication in the presence of noise,"Proceedings of the IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, Jan. 1949.

(비특허문헌 0002) [2] V. A. Kotelnikov, The theory of optimum noise immunity. New York: McGraw-Hill, 1959.

(비특허문헌 0003) [3] U. Timor, "Design of signals for analog communication," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 16, no. 5, pp. 581-587, Sep 1970.

(비특허문헌 0004) [4] S.-Y. Chung, "On the construction of some capacity-approaching coding schemes," Ph.D. dissertation, M.I.T., 2000.

(비특허문헌 0005) [5] B. Chen and G. Wornell, "Analog error-correcting codes based on chaotic dynamical systems," Communications, IEEE Transactions on, vol. 46, no. 7, pp. 881-890, July 1998.

(비특허문헌 0006) [6] V. Vaishampayan and S. Costa, "Curves on a sphere, shift-map dynamics, and error control for continuous alphabet sources," Information Theory, IEEE Transactions on, vol. 49, no. 7, pp. 1658-1672, 2003.

(비특허문헌 0007) [7] M. Taherzadeh and A. Khandani, "Single-sample robust joint source-channel coding: Achieving asymptotically optimum scaling of SDR versus SNR," Information Theory, IEEE Transactions on, vol. 58, no. 3, pp. 1565-1577, Mar. 2012.

(비특허문헌 0008) [8] Y. Yoo, O. O. Koyluoglu, S. Vishwanath, and I. Fiete, "Multi-periodic neural coding for adaptive information transfer, "Theoretical Computer Science, vol. 633, pp. 37-53, 2016.

(비특허문헌 0009) [9] Y. Yoo and S. Vishwanath, "On resolving simultaneous congruences using belief propagation," Neural Computation, vol. 27, no. 3, pp. 748-770, 2015.

(비특허문헌 0010) [10] J. Pearl, Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference, ser. Representation and Reasoning Series. Morgan Kaufmann, 1988.

(비특허문헌 0011) [11] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes," IEEE Transactions on communications, vol. 44, no. 10, pp. 1261-1271, 1996.

(비특허문헌 0012) [12] D. J. MacKay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices, "IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, no. 2, pp. 399-431, 1999.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 일반화된 시프트-맵 코드는 기존의 시프트-맵 코드에 비해 낮은 신호대잡음비 및 높은 신호대잡음비에서 오류들 간의 더 융통성있는 트레이드오프를 제공하지만, 일반화된 시프트-맵 코드의 효율적인 복호화 장치나 방법은 아직 알려져 있지 않다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 반복적 복호화 알고리즘을 사용하여 일반화된 시프트-맵 코드를 상당히 낮은 계산 복잡성을 갖고 효율적으로 복호화할 수 있는 장치를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 반복적 복호화 알고리즘을 사용하여 일반화된 시프트-맵 코드를 상당히 낮은 계산 복잡성을 갖고 효율적으로 복호화할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치는,

[0009] 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서,

[0010] 복수의 서브 디코더로서, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 교환하면서 반복적으로 추정하기 위한 복수의 서브 디코더;

[0011] 상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하기 위한 몫 결정부; 및

[0012] 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하기 위한 소스 추정치 계산부를 포함하고,

[0013] 상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공하며,

[0014] 길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드( $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ )는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해

[0015] $$X_n = a_n S \mod 1$$

[0016] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$ 에 따라 획득되고,

[0017] N은 2 이상의 정수이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 상기 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, $\gcd(\cdot,\cdot)$ 는 최대 공약수를 나타내며,

[0018] 상기 N개의 입력값들은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들에 의해 수신되는 값들이다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 복수의 서브 디코더 각각은,

[0020] 상기 소정 수의 입력값들에 기반하여 몫에 대한 신뢰도를 계산하는 신뢰도 계산부;

[0021] 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 신뢰도 계산부에서 출력되는 신뢰도를 반복적으로 갱신하기 위한 신뢰도 갱신부;

[0022] 상기 신뢰도 갱신부에서 출력되는 신뢰도들 중 최대값을 결정하고, 결정된 신뢰도 및 상기 입력값들에 대응하는

몫을 결정하여 출력하는 최대값 결정부; 및

[0023] 상기 신뢰도 갱신부에서 출력되는 신뢰도들에 기반하여 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하는 신뢰도 선택부를 포함할 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 몫 결정부는 상기 최대값 결정부에서 결정된 신뢰도가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫을 상기 입력값에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력할 수 있다.

[0025] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 신뢰도 계산부는,

[0026] $$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도( $s_{ij}(q_i, q_j)$ )를 계산하고,

[0027] $q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고,

[0028] $Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타낼 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 신뢰도 갱신부는,

[0030] $$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} \left(s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v)\right)$$ 에 따라 상기 신뢰도 계산부에서 출력되는 신뢰도를 반복적으로 갱신하고,

[0031] 상기 $\alpha_{ij}(u, v)$ 는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도일 수 있다.

[0032] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 신뢰도 선택부는,

[0033] $$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$ 에 따라

[0034] 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도( $\alpha_{jk}(q_j, q_k)$ )를 선택할 수 있다.

[0035] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치에 있어서, 상기 소스 추정치 계산부는,

[0036] 상기 입력값들 각각에 대응하는 소스 추정치를 계산하기 위한 복수의 추정기; 및

[0037] 상기 복수의 추정기 각각에서 출력되는 소스 추정치에 기반하여 최종 소스 추정치를 계산하기 위한 소스 추정부를 포함할 수 있다.

[0038] 상기 다른 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법은,

[0039] 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서,

[0040] (a) 복수의 서브 디코더가, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정하는 단계;

[0041] (b) 몫 결정부가, 상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하는 단계; 및

[0042] (c) 소스 추정치 계산부가, 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하는 단계를 포함하고,

[0043] 상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공하며,

[0044] 길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드( $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ )는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해

[0045] $$X_n = a_n S \mod 1$$

[0046] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$ 에 따라 획득되고,

[0047] N은 2 이상의 정수이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, $\gcd(\cdot,\cdot)$ 는 최대 공약수를 나타내며,

[0048] 상기 N개의 입력값들은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들에 의해 수신되는 값들이다.

[0049] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서, 상기 단계 (a)는,

[0050] (a-1) 상기 소정 수의 입력값들에 기반하여 몫에 대한 신뢰도를 계산하는 단계;

[0051] (a-2) 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도를 반복적으로 갱신하는 단계;

[0052] (a-3) 상기 갱신된 신뢰도들 중 최대값을 결정하고, 결정된 신뢰도 및 상기 입력값들에 대응하는 몫을 결정하여 출력하는 단계; 및

[0053] (a-4) 상기 갱신된 신뢰도들에 기반하여 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하는 단계를 포함할 수 있다.

[0054] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서, 상기 단계 (a-3)는, 상기 결정된 신뢰도가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫을 상기 입력값에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력하는 단계를 포함할 수 있다.

[0055] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서, 상기 단계 (a-1)에서,

[0056] $$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도( $s_{ij}(q_i, q_j)$ )가 계산되고,

[0057] $q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고,

[0058] $Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타낼 수 있다.

[0059] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한

방법에 있어서, 상기 단계 (a-2)에서,

[0060] $$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} (s_{ij}(u,v) + \alpha_{ij}(u,v))$$ 에 따라 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도가 반복적으로 갱신되고,

[0061] 상기 $\alpha_{ij}(u,v)$ 는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도일 수 있다.

[0062] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서, 상기 단계 (a-4)에서,

[0063] $$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$ 에 따라

[0064] 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도( $\alpha_{jk}(q_j, q_k)$ )가 선택될 수 있다.

[0065] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 방법에 있어서, 상기 단계 (c)는,

[0066] (c-1) 상기 입력값들 각각에 대응하는 소스 추정치를 계산하는 단계; 및

[0067] (c-2) 상기 계산된 소스 추정치들에 기반하여 최종 소스 추정치를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

## 발명의 효과

[0068] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치 및 방법에 의하면, 일반화된 시프트-맵 코드를 상당히 낮은 계산 복잡성을 갖고 효율적으로 복호화할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0069] 도 1a는 $(a_1, a_2)=(1,5)$인 전통적인 시프트-맵 코드의 예이고, 도 1b는 $(a_1, a_2)=(3,4)$인 일반화된 시프트-맵 코드의 예를 도시한 도면.

도 2는 스트레치 팩터(L)와 최소 거리(d)의 관계를 도시한 그래프로서, 일반화된 시프트-맵(GSM) 코드는 스트레치 팩터(L)와 최소 거리(d) 선택에 의해 야기된 전통적인 시프트-맵(SM) 코드들 간의 갭을 채운다. 단일 정수 파라미터 α에 의해 정의된, 전통적인 시프트-맵(SM) 코드들은 L과 d에 대해 단지 적은 수의 옵션들만을 제공한다(각각, α=3 및 4에 대한 적색 사각형 및 청색 다이아몬드). 수학식 8에 따라(파선), 많은 수의 일반화된 시프트-맵(GSM) 코드들(검정색 도트들)은 더 미세한 스케일로, L과 d 간의 유연한 트레이드 오프를 가능하게 한다.

도 3a는 소스가 α=2인 시프트-맵(SM) 코드 및 a=(3,4,5)인 일반화된 시프트-맵(GSM) 코드에 대해 $X_n$에 의해 유일하게 결정되는 간격들의 비교를 도시한 도면.

도 4는 일반화된 시프트-맵 코드들의 반복적 복호화를 위한 팩터 그래프(factor graph)를 도시한 도면.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치의 블록도.

도 6은 도 5에 도시된 제2 서브 디코더의 상세 블록도.

도 7은 도 5에 도시된 소스 추정치 계산부의 상세 블록도.

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치의 블록도.

도 9는 도 8에 도시된 제2 서브 디코더의 상세 블록도.

도 10은 도 8에 도시된 소스 추정치 계산부의 상세 블록도.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 방법의 흐름도.

도 12는 소정 범위의 신호대잡음비(SNR)에 대한 $a_1=\{5,7,13,29\}$ 및 $a_2=\{17,23,45,49\}$인 일반화된 시프트-맵 코

드들의 평균 제곱 오차(MSE)를 도시한 도면으로서, 높은 SNR(≥22.5dB)에서, 더 큰 스트레치 팩터($L_1<L_2$)를 갖는 제2 코드($a_2$)는 제1 코드($a_1$)보다 더 작은 오차를 생성하였다. 대조적으로, 낮은 SNR에서, 전자는 더 작은 최소 거리($d_1>d_2$) 때문에 더 큰 오차를 초래하였다.

도 13은 소정 범위의 SNR에 대한 $a_1$={5,7,13,29} 및 $a_2$={17,23,45,49}인 일반화된 시프트-맵 코드들의 임계 오차 확률($P_{th}$)을 도시한 도면이다. 더 작은 최소 거리($d_1>d_2$) 때문에, $P_{th}$는 $a_1$에 대해서보다 $a_2$에 대해서 더 컸다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0070] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다.

[0071] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.

[0072] 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다.

[0073] 또한, "제1", "제2", "일면", "타면" 등의 용어는, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0074] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0075] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0076] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법은, 아날로그 오류정정코드를 복호화하기 위한 반복적 알고리즘에 관한 것이다. 우선, 널리 연구된 아날로그 코드 중 하나인, 시프트-맵 코드(shift-map code)가 오류 정정 능력의 더 미세한 제어를 제공하도록 그리고 낮은 신호대잡음비 및 높은 신호대잡음비에서 오류들 간의 더 융통성있는 트레이드오프를 갖는 새로운 코드 패밀리를 제공하도록 일반화된다. 그 다음, 일반화된 시프트-맵 코드에 대한 반복적 복호화 알고리즘이 스파스 팩터 그래프(sparse factor graph) 상에서 메시지-패싱(message-passing) 프로세스에 기반하여 수행된다. 효율적인 복호화 알고리즘과 결합함으로써, 일반화된 시프트-맵 코드의 융통성은 아날로그 오류정정코드의 적용성을 향상시킬 것이다.

[0078] 채널 모델

[0079] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법에서 연구된 채널 모델은 하기와 같다. 소스 $S \in [0,1)$ 는 N 차원 벡터 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ 로 부호화되는데, 이것은 부가 가우스 노이즈를 갖는 채널을 통해 전송된다.

### *수학식 1*

[0080] $$Y_n = X_n + Z_n$$

### *수학식 2*

[0081] $$Z_n \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

[0082] $Y_n$ 은 채널 출력에 대응하고, $Z_n$ 은 부가 가우스 노이즈 소스로서, $\sigma^2$의 분산을 갖는 0 평균을 가지며 서

로 독립적이다. 복호기는 노이즈가 포함된 측정치 $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \ldots, Y_N)$ 로부터 S의 추정치인 $\hat{S}$ 를 생성한다.

[0084] 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map codes)

[0085] 새로운 코드 패밀리를 획득하기 위한 일반화를 수행하기 이전에, 전통적인 시프트-맵 코드부터 설명하기로 한다.

[0087] 시프트-맵 코드(Shift-map code)

[0088] 시프트-맵 코드는 하기 규칙을 사용하여 연속적인 소스 $S \in [0,1)$ 를 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ 로 매핑한다(비특허문헌 [5]-[7]).

*수학식 3*

[0089] $$X_n = \alpha^{(n-1)} S \bmod 1$$

[0090] 정수 $\alpha \geq 2$ 는 S의 민감도를 제어하는 설계 파라미터이다.

[0091] 도 1a는 $\alpha = 5$ 이고 N=2에 대해 획득된 시프트-맵 코드의 예를 도시한 것이다. S가 0부터 1까지의 범위에 있기 때문에, 제1 좌표 $X_1$은 0부터 1까지 변하고 제2 좌표 $X_2$는 동일한 간격을 $\alpha(=5)$ 번 반복한다. 구성에 의하여, $X_n$은 $X_{n-1}$보다 S의 변화에 $\alpha$ 배 더 민감하다.

[0092] 시프트-맵 코드의 2가지 주된 특성은 스트레치 팩터(stretch factor)(L) 및 최소 거리(d)이다. L은 X의 전체 호의 길이(arc length)이고, d는 어떤 2개의 세그먼트들 간의 최소 거리이다(도 1a). 전자는 S에 대한 민감도를 제어하고, 후자는 임계 오류 빈도를 결정한다. 임계 오류(threshold error)는 노이즈가 코드워드를 상이한 세그먼트 내의 멀리 떨어져 있는 코드워드로 매칭되어 추정치 $\hat{S}$ 가 소스 S와 매우 큰 차이를 보이는 경우를 지칭한다.

[0093] L과 d 간의 트레이드 오프는 $\alpha$ 에 의해 제어된다. L이 $\alpha$ 가 증가함에 따라 단조롭게 증가하는 반면에, d는 $\alpha$ 에서의 동일한 변화를 가지고 단조롭게 감소한다. $\alpha$ 를 증가시킴으로써 L을 증가시키는 것은, 복호화된 위치가 동일한 세그먼트 내에 남아있다고 가정하면, 높은 SNR에 대응하는, 노이즈의 영향을 감소시킨다. 하지만, L이 너무 큰 경우, d는 충분히 작아서 빈번한 임계 오류를 생성하게 되는데, 이 경우 복호화된 코드워드는 상이한 세그먼트에 대응하고 큰 추정 오차가 발생하여, 즉, 임계 오류를 발생시킨다.

[0094] 전통적인 시프트-맵 코드가 단일 정수 $\alpha$ 에 의해 정의되고, 단일 정수 $\alpha$ 는 코딩 세그먼트의 방향 $(1, \alpha, \alpha^2, \ldots, \alpha^{N-1})$ 을 결정한다. 따라서, 파라미터 선택에 적은 수의 옵션만이 이용가능하다. 더욱이, 큰 N에 대해, 연속적인 파라미터($\alpha$ 와 $\alpha + 1$ )에 의해 정의된 시프트-맵 코드들은 L과 d에서 과도하게 넓은 갭을 발생시키는데, 이것은 일반적으로 시프트-맵 코드의 실제적인 적용을 제한할 수 있다.

[0096] 일반화된 시프트-맵 코드(Generalized shift-map code)

[0097] 전통적인 시프트-맵 코드 파라미터화에 기인한 큰 갭을 채우기 위하여, 시프트-맵 코드는 하기와 같이 일반화된다(비특허문헌 [8]). 길이 N을 갖는 일반화된 시프트-맵 코드,

$\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$ 는 수학식 4 및 수학식 5가 성립하도록 한 세트의 스케일링 파라미터들 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해 정의된다.

*수학식 4*

[0098] $$X_n = a_n S \mod 1$$

*수학식 5*

[0099] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$

[0100] $\gcd(\cdot,\cdot)$ 는 최대 공약수를 나타낸다. 수학식 5에서의 제약은 가역성을 용이하게 하도록 통합된다.

[0101] 도 1b는 2개의 파라미터를 갖는 일반화된 시프트-맵 코드를 나타낸다: $(a_1, a_2) = (3, 4)$. 전통적인 시프트-맵 코드와 유사하게, 코드워드는 경계상의 불연속성을 제외하고, S와 선형적으로 관련된다. 전통적인 시프트-맵 코드와 일반화된 시프트-맵 코드 간의 주된 차이는 코딩 세그먼트 방향이다; 후자는 더 큰 자유도를 갖는다. L과 d는 전통적인 시프트-맵 코드에서와 같이 동일한 방법으로 정의된다.

[0103] 스트레치 팩터와 최소 거리 간의 유연한 트레이드오프

[0104] L과 d 간의 트레이드오프가 하기에 상세히 분석된다. L은 $\alpha$ 에 단조롭게 관련된다. 좀 더 구체적으로, 수학식 6과 같다.

*수학식 6*

[0105] $$L = \sqrt{1 + \alpha^2 + \cdots \alpha^{2(N-1)}} = \Theta\left(\alpha^{N-1}\right)$$

[0106] 더욱이, d는 수학식 7과 같이 $\alpha$ 와 역인 스케일 관계를 갖는다.

*수학식 7*

[0107] $$d = \Theta(\alpha^{-1})$$

[0108] 따라서, 수학식 6과 수학식 7을 결합하면 수학식 8이 생성된다.

*수학식 8*

[0109] $$d = \Theta\left(L^{-\frac{1}{N-1}}\right)$$

[0110] 하지만, 전통적인 시프트-맵 코드는 단일 정수 파라미터 $\alpha$ 에 의해 정의되기 때문에, 사용자들은 L과 d에 대해 단지 적은 수의 선택 가능성 만을 갖는다. 이것은 주어진 채널 및 SNR에 대해 L과 d를 미세 조정하는 것에 대한

중대한 제한일 수 있다. 예를 들어, 타깃 SNR이 비교적 낮다고 가정하자; 그러므로, 큰 d를 갖는 시프트-맵 코드가 요구된다. 수학식 7에 의하면, $\alpha$를 연속적인 정수로 대체하는 것은 특히 $\alpha$가 작을 때 d에서의 큰 변화를 유도한다. 도 2에서, 적색 원과 청색 다이아몬드는 각각 $\alpha$=2와 3일 때 전통적인 시프트-맵 코드에 대한 L의 함수로서 d를 도시한 것이다(N=4). 이들 2개의 코드들 간에는 상당한 갭이 존재하는데, 이것은 최적 파라미터 선택을 방해한다.

[0111] 일반화된 시프트-맵 코드는 이러한 갭을 채우고 더 미세한 스케일로 수학식 8에 나타낸 바와 같이 L과 d 간의 트레이드오프를 달성한다. 도 2에서, 블랙 도트는 N=4일 때의 일반화된 시프트-맵 코드에 대응하고, 파선은 수학식 8에 나타낸 L과 d 간의 트레이드오프를 나타낸다. L과 d 간에 예측된 트레이드오프를 갖는 많은 수의 일반화된 시프트-맵 코드가 $\alpha$=2(적색 원) 및 3(청색 다이아몬드)을 갖는 전통적인 시프트-맵 코드들 간의 갭을 촘촘하게 보간하는 것은 명백하다.

[0112] 따라서, 일반화된 시프트-맵 코드는 전통적인 시프트-맵 코드보다 오류 정정 능력에 대해 더 미세한 제어를 제공한다. 고정된 $\alpha$를 갖는 전통적인 시프트-맵 코드에 대해, 유사한 L와 d를 갖는 수많은 일반화된 시프트-맵 코드가 존재한다. 따라서, 일반화된 시프트-맵 코드의 오류 정정 능력은 전통적인 시프트-맵 코드만큼 양호하다. 다른 한편으로, 일반화된 시프트-맵 코드의 융통성은 전통적인 시프트-맵 코드에서 가능하지 않은, 일정 범위의 SNR에 대한 최적 파라미터를 선택할 수 있게 한다.

[0114] 일반화된 시프트-맵 코드의 반복적 복호화

[0115] 전통적인 시프트-맵 코드의 구조와 일반화된 시프트-맵 코드의 구조 간의 차이는 상이한 복호화 전략을 필요로 한다. 코드 정의에서의 모듈로(mod) 연산 때문에, 크기 $1/\alpha^{n-1}$ (전통적인 시프트-맵 코드에 대해) 또는 $1/a_n$ (일반화된 시프트-맵 코드에 대해)의 간격(interval)에서 S는 $X_n$에 의해 유일하게 결정된다.

[0116] 전통적인 시프트-맵 코드에 있어서, $X_{n+1}$은 $X_n$보다 $\alpha$배 더 미세한 스케일로 하지만 $\alpha$배 더 작은 간격에서 S에 대한 정보를 제공한다(도 3a 참조). n에 따른 스케일에서의 이러한 점진적인 증가와 간격(interval) 크기에서의 감소는 S 복구를 위한 $X_1$에서 $X_n$까지의 단순한 순방향 복호화를 허용한다.

[0117] 대조적으로, 일반화된 시프트-맵 코드에 대해, $X_{n+1}$과 $X_n$은 서로소(relatively prime)인 정수들인 $a_{n+1}$과 $a_n$에 의해 관련되고, 관련된 간격(interval)은 다른 쌍들, 예를 들어, $X_{n+1}$과 $X_n$을 위해 직접적으로 정렬되지 않는다(도 3b 참조). 이러한 차이는 단순한 최대우도(maximum likelihood) 복호기가 일반화된 시프트-맵 코드를 위해, 기하급수적 복잡성($O(a_{max}^N)$, $a_{max} = \max_n a_n$ 인 경우)을 발생시키는, 모든 가능한 조합을 고려할 필요가 있다는 것을 암시한다.

[0118] 복호화 복잡성을 감소시키기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법은 일반화된 시프트-맵 코드를 위한 반복적인 복호화 알고리즘을 제안한다. 좀 더 구체적으로, 일반화된 시프트-맵 코드는 도 4에 정의된 팩터 그래프(factor graph)상에서 메시지-패싱(message passing) 알고리즘에 의해 복호화된다. 도 4에서의 원과 사각형은 각각 변수 및 체크 노드를 나타낸다. 한 쌍의 노이즈가 포함된 측정치 $(Y_i, Y_j)$ 간의 관련성(affinity) $s_{ij}$은 하기와 같이 정의된다. 본 발명의 일 실시예에서 관련성(affinity) $s_{ij}$는 신뢰도 계산에 사용된다.

*수학식 9*

[0119] $$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$

[0120] $q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 및 $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 는 각각 i번째 및 j번째 측정치에 대응하는 간격(intervals)의 인덱스를 나타낸다; 이들 항들은 몫(quotients)으로 불리운다. 여기에서, $s_{ij}(q_i, q_j)$ 는 각각, i번째 및 j번째 측정치에 대한 $q_i$ 번째 및 $q_j$ 번째 간격에 관해 측정치들의 일치를 정량화한다(도 3b 참조). 최대-합계(max-sum) 규칙(비특허문헌 [10]-[12])에 기반하는 메시지-패싱 알고리즘과 유사하게, 체크 노드(f1)는, 도 4에 도시된 바와 같이, 출력 메시지 $\rho_{ij}$ 를 생성하기 위하여(비특허문헌 [9]), $s_{ij}$ 와 다른 쌍으로부터 유래된 메시지인 $\alpha_{ij}$ 를 결합하여 신뢰도를 계산한다.

*수학식 10*

[0121] $$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} \left(s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v)\right)$$

[0122] 갱신된 신뢰도인 $\rho_{ij}$ 로부터, 체크 노드(f2)는 다음 쌍에 대한 메시지 $\alpha_{jk}$ 를 계산한다.

*수학식 11*

[0123] $$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$

[0124] 이러한 방식으로, 한 쌍의 측정치 $(Y_i, Y_j)$ 에 대한 신뢰도에 관한 정보가 후속하는 쌍 $(Y_j, Y_k)$ 으로 전파된다. 유사하게, 신뢰도에 관한 정보를 나타내는 메시지들은 역방향으로, $(Y_k, Y_j)$ 에서 $(Y_j, Y_i)$ 로 전파된다. 신뢰도의 변화가 적어져 수렴이 발생할 때까지 메시지들의 전파를 반복하는 것은 일반화된 시프트-맵 코드에 대한 반복적 복호화 프로세스를 정의한다.

[0125] 반복적 알고리즘의 계산 복잡성은 단순한 최대우도(maximum likelihood) 복호기의 계산 복잡성보다 상당히 낮다. 수학식 9, 수학식 10 및 수학식 11에서 메시지들을 생성하는 것은 각각, $O(a_{max}^2)$, $O(a_{max}^2)$, 및 $O(a_{max})$ 계산들을 필요로 한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치 및 방법의 전체 계산 복잡성은 $O(T_{max} a_{max}^2)$ 이고, $T_{max}$ 는 최대 반복 횟수이다. $T_{max}$ 가 일정하게 유지될 때, 결과적인 복호화 복잡성은 $O(a_{max}^N)$ 보다 상당히 낮은 $O(a_{max}^2)$ 인데, 즉 다항적(polynomial) 복잡성을 가지게 되어 최대우도 기반 복호화의 기하급수적 복잡성보다 현저히 낮다.

[0126] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치의 블록도이다.

[0127] 도 5에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치는, 제1 내지 제3 서브 디코더(500, 502, 504), 몫 결정부(506) 및 소스 추정치 계산부(508)를 포함한다.

[0128] 도 5에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치에서는, 한 쌍의 입력 $(Y_i, Y_j)$에 대한 신뢰도에 관한 정보가 후속하는 입력 쌍 $(Y_j, Y_k)$에 대한 신뢰도를 갱신하는데 반영된다. 신뢰도가 수렴할 때까지 순방향으로 이들 신뢰도를 전파하는 것이 반복적으로 수행된다.

[0129] 또한, 도 5에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치에서는, 4개의 서로 소인 수로 구성되는 일반화된 시프트-맵 코드인 a={3, 4, 5, 7}이 사용된다고 가정한다.

[0130] 제1 내지 제3 서브 디코더(500, 502, 504)는, 채널을 통해 입력되는 N개(본 실시예에서는 4개)의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 중 소정 수(본 실시예에서는 2개)의 입력값들($Y_1$과 $Y_2$, $Y_2$와 $Y_3$ 또는 $Y_3$와 $Y_4$)에 대한 신뢰도 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 따라 갱신된 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정한다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 소정 수의 입력값들은 이웃하는 입력값들이지만, 본 발명은 이에 한정되지 않고 상기 소정 수의 입력값들은 채널을 통해 입력되는 입력값들 중 소정 수의 임의의 입력값들일 수 있다.

[0131] 예를 들어, 도 6을 참조하면, 제2 서브 디코더(502)는, 채널을 통해 입력되는 N개(본 실시예에서는 4개)의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 중 2개의 이웃하는 입력값들($Y_2$와 $Y_3$)에 대한 신뢰도($S_{23_1}\sim S_{23_20}$) 및 이웃하는 제1 서브 디코더(500)로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{23}$)에 따라 갱신된 신뢰도($\rho_{23_1}\sim\rho_{23_20}$)에 기반하여 상기 이웃하는 입력값들($Y_2$와 $Y_3$) 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정한다.

[0132] 몫 결정부(506)는, 상기 제1 내지 제3 서브 디코더(500, 502, 504)에 의해 추정된 몫들($q_1$, $q_{2a}$, $q_{2b}$, $q_{3a}$, $q_{3b}$, $q_4$) 및 신뢰도($\rho_{12_max}$, $\rho_{23_max}$, $\rho_{34_max}$)에 기반하여 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\hat{q}_1$, $\hat{q}_2$, $\hat{q}_3$, $\hat{q}_4$)을 결정하여 출력한다.

[0133] 상기 소스 추정치 계산부(508)는, 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\hat{q}_1$, $\hat{q}_2$, $\hat{q}_3$, $\hat{q}_4$)에 기반하여 소스 신호값의 추정치($\tilde{S}$)를 계산한다.

[0134] 상기 제1 서브 디코더(500)는 추정된 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{23}$)를 계산하여 이웃하는 제2 서브 디코더(502)에 제공하고, 상기 제2 서브 디코더(502)는 추정된 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{34}$)를 계산하여 이웃하는 제3 서브 디코더(506)에 제공하며, 길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드($\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$)는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$에 의해

[0135] $$X_n = a_n S \mod 1$$

[0136] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$

에 따라 획득되고, 본 발명의 일 실시예에서 N은 4이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, 상기 4개의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$)은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들(500, 502, 504)에 의해 수신되는 값들이며, a={3, 4, 5, 7}이다. a는 상기 값에 한정되지 않고,

$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$ 를 만족하는 임의의 수를 포함할 수 있다.

[0137] 한편, 도 6을 참조하면, 상기 제2 서브 디코더(502)는, 신뢰도 계산부(600), 신뢰도 갱신부(602), 신뢰도 선택부(604) 및 최대값 결정부(606)를 포함한다.

[0138] 신뢰도 계산부(600)는 이웃하는 입력값들($Y_2$, $Y_3$)에 기반하여 몫에 대한 신뢰도($S_{23_1} \sim S_{23_20}$)를 계산한다.

[0139] 신뢰도 갱신부(602)는, 이웃하는 서브 디코더인 제1 서브 디코더(500)로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{23_1} \sim \alpha_{23_3}$)에 기반하여 상기 신뢰도 계산부(600)에서 출력되는 신뢰도($S_{23_1} \sim S_{23_20}$)를 반복적으로 갱신하여 갱신된 신뢰도($\rho_{23_1} \sim \rho_{23_20}$)를 출력한다.

[0140] 최대값 결정부(606)는 상기 신뢰도 갱신부(602)에서 출력되는 신뢰도들($\rho_{23_1} \sim \rho_{23_20}$) 중 최대값을 결정하고, 결정된 신뢰도($\rho_{23_max}$) 및 대응하는 몫($q_{2b}$, $q_{3a}$)을 결정하여 출력한다.

[0141] 신뢰도 선택부(604)는 상기 신뢰도 갱신부(602)에서 출력되는 신뢰도들($\rho_{23_1} \sim \rho_{23_20}$)에 기반하여 이웃하는 서브 디코더인 제3 서브 디코더(504)에 제공하기 위한 신뢰도($\alpha_{34_1} \sim \alpha_{34_4}$)를 선택하여 출력한다.

[0142] 구체적으로, 신뢰도 선택부(604)는, 2번째 및 3번째 입력값($Y_2$, $Y_3$)에 대응하는 몫($q_2$, $q_3$)과 관련된 신뢰도 중 $q_2$(0 내지 3)가 고정되고 $q_3$가 0 내지 4인 경우의 신뢰도 중 최대값을 선택하여 신뢰도($\alpha_{34_1} \sim \alpha_{34_4}$)로서 출력한다.

[0143] 본 발명의 일 실시예에서, $a_2$=4이므로 $q_2$는 0 내지 3의 값을 갖고, $a_3$=5이므로 $q_3$는 0 내지 4의 값을 갖는다.

[0144] 한편, 도 5에 도시된 상기 몫 결정부(506)는, 제1 서브 디코더 내지 제3 서브 디코더(500, 502, 504)로부터 수신된 신뢰도($\rho_{12\ max}$, $\rho_{23_max}$, $\rho_{34_max}$)가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫($\hat{q}_1$, $\hat{q}_2$, $\hat{q}_3$, $\hat{q}_4$)을 상기 입력값($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$)에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력한다.

[0145] 또한, 상기 신뢰도 계산부(600)는, $s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도($s_{ij}(q_i, q_j)$)를 계산하고, $q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고, $Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타낸다.

[0146] 또한, 상기 신뢰도 갱신부(602)는,

$$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v)\neq(q_i,q_j)} (s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v))$$

에 따라 상기 신뢰도 계산부(600)에서 출력되는 신뢰도를 반복적으로 갱신하고, 상기 $\alpha_{ij}(u, v)$는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도이다.

[0147] 또한, 상기 신뢰도 선택부(604)는, $\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$ 에 따라 이웃하는 서브 디코더인 제3 서브 디코더(504)에 제공하기 위한 신뢰도($\alpha_{jk}(q_j, q_k)$)를 선택한다.

[0148] 한편, 도 5에 도시된 상기 소스 추정치 계산부(508)는, 도 7에 도시된 바와 같이, 제1 내지 제4 추정기(700, 702, 704, 706) 및 소스 추정부(708)를 포함한다.

[0149] 상기 제1 내지 제4 추정기(700, 702, 704, 706)는, 몫 결정부(506)에서 출력되는 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\widehat{q_1}$, $\widehat{q_2}$, $\widehat{q_3}$, $\widehat{q_4}$)에 기반하여, 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 소스 추정치($\widehat{S_1}$, $\widehat{S_2}$, $\widehat{S_3}$, $\widehat{S_4}$)를 계산하여 출력한다.

[0150] 상기 소스 추정부(708)는 상기 제1 내지 제4 추정기(700, 702, 704, 706) 각각에서 출력되는 소스 추정치($\widehat{S_1}$, $\widehat{S_2}$, $\widehat{S_3}$, $\widehat{S_4}$)를 평균화하여 소스 신호값의 추정치인 최종 소스 추정치($\widetilde{S}$)를 계산한다.

[0151] 도 8은 본 발명의 다른 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치의 블록도이다.

[0152] 도 8에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치는, 도 5에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치와 매우 유사하다.

[0153] 도 5에 도시된 장치에서는 한 쌍의 입력 $(Y_i, Y_j)$에 대한 신뢰도에 관한 정보가 후속하는 입력 쌍 $(Y_j, Y_k)$에 대한 신뢰도를 갱신하는데 반영되도록, 신뢰도가 순방향으로만 전파되는데 반하여, 도 8에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치에서는, 한 쌍의 입력 $(Y_i, Y_j)$에 대한 신뢰도에 관한 정보가 후속하는 입력 쌍 $(Y_j, Y_k)$에 대한 신뢰도를 갱신하는데 반영될 뿐만 아니라, 한 쌍의 입력 $(Y_k, Y_j)$에 대한 신뢰도에 관한 정보가 이전의 입력 쌍 $(Y_j, Y_i)$에 대한 신뢰도를 갱신하는데도 반영되도록 역방향으로도 전파된다. 신뢰도가 수렴할 때까지 순방향 및 역방향으로 신뢰도를 전파하는 것이 반복적으로 수행된다.

[0154] 도 8에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 장치는, 제1 내지 제3 서브 디코더(800, 802, 804), 몫 결정부(806) 및 소스 추정치 계산부(808)를 포함한다.

[0155] 제1 내지 제3 서브 디코더(800, 802, 804)는, 채널을 통해 입력되는 N개(본 실시예에서는 4개)의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 중 소정 수(본 실시예에서는 2개)의 이웃하는 입력값들($Y_1$과 $Y_2$, $Y_2$와 $Y_3$ 또는 $Y_3$와 $Y_4$)에 대한 신뢰도 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 따라 갱신된 신뢰도에 기반하여 상기 이웃하는 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정한다.

[0156] 예를 들어, 도 9를 참조하면, 제2 서브 디코더(802)는, 채널을 통해 입력되는 N개(본 실시예에서는 4개)의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 중 2개의 이웃하는 입력값들($Y_2$와 $Y_3$)에 대한 신뢰도($S_{23_1}\sim S_{23_20}$) 및 이웃하는 제1 서브 디코더(800)와 제3 서브 디코더(804)로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{23}$, $\alpha_{32}$)에 따라 갱신된

신뢰도($\rho_{23_1}\sim\rho_{23_20}$, $\rho_{32_1}\sim\rho_{32_20}$)에 기반하여 상기 이웃하는 입력값들($Y_2$와 $Y_3$) 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정한다.

[0157] 몫 결정부(806)는, 상기 제1 내지 제3 서브 디코더(800, 802, 804)에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3, \hat{q}_4, \hat{q}_{1r}, \hat{q}_{2r}, \hat{q}_{3r}, \hat{q}_{4r}$)을 결정하여 출력한다.

[0158] 소스 추정치 계산부(808)는, 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\hat{q}_1, \hat{q}_2, \hat{q}_3, \hat{q}_4, \hat{q}_{1r}, \hat{q}_{2r}, \hat{q}_{3r}, \hat{q}_{4r}$)에 기반하여 소스 추정치($\tilde{S}$)를 계산한다.

[0159] 한편, 상기 제1 내지 제3 서브 디코더(800, 802, 804) 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도($\alpha_{21}$, $\alpha_{23}$, $\alpha_{32}$, $\alpha_{34}$)를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 순방향 및 역방향으로 제공하며, 길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드($\mathbf{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_N) \in [0,1)^N$)는 한 세트의 N개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$에 의해

[0160] $$X_n = a_n S \mod 1$$

[0161] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$에 따라 획득되고, 본 발명의 일 실시예에서 N은 4이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고, 상기 4개의 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$)은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들(800, 802, 804)에 의해 수신되는 값들이며, a={3, 4, 5, 7}이다. a는 상기 값에 한정되지 않고, $\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$를 만족하는 임의의 수를 포함할 수 있다.

[0162] 한편, 도 9를 참조하면, 상기 제2 서브 디코더(802)는, 신뢰도 계산부(900), 신뢰도 갱신부(901), 신뢰도 선택부(903) 및 최대값 결정부(905)를 포함한다.

[0163] 신뢰도 계산부(900)는 이웃하는 입력값들($Y_2$, $Y_3$)에 기반하여 몫에 대한 신뢰도($S_{23_1}\sim S_{23_20}$)를 계산한다.

[0164] 신뢰도 갱신부(901)는 제1 신뢰도 갱신부(902) 및 제2 신뢰도 갱신부(904)를 포함하며, 신뢰도 계산부(900)에서 출력되는 신뢰도($S_{23_1}\sim S_{23_20}$)를 반복적으로 갱신하여, 갱신된 신뢰도($\rho_{23_1}\sim\rho_{23_20}$, $\rho_{32_1}\sim\rho_{32_20}$)를 출력한다.

[0165] 최대값 결정부(905)는 제1 최대값 결정부(910) 및 제2 최대값 결정부(912)를 포함하며, 각각 상기 신뢰도 갱신부(901)에서 출력되는 신뢰도들($\rho_{23_1}\sim\rho_{23_20}$, $\rho_{32_1}\sim\rho_{32_20}$) 중 최대값을 결정하고, 결정된 신뢰도 및 대응하는 몫을 결정하여 출력한다.

[0166] 신뢰도 선택부(903)는 상기 신뢰도 갱신부(901)에서 출력되는 신뢰도들($\rho_{23_1}\sim\rho_{23_20}$, $\rho_{32_1}\sim\rho_{32_20}$)에 기반하여 이웃하는 서브 디코더들에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하여 출력한다.

[0167] 예를 들어, 제1 신뢰도 선택부(604)는, 2번째 및 3번째 입력값($Y_2$, $Y_3$)에 대응하는 몫($q_2$, $q_3$)과 관련된 신뢰도 중 $q_2$(0 내지 3)가 고정되고 $q_3$가 0 내지 4인 경우의 신뢰도 중 최대값을 선택하여 신뢰도($\alpha_{34_1}\sim\alpha_{34_4}$)로서 출력한다.

[0168] 본 발명의 일 실시예에서, $a_2$=4이므로 $q_2$는 0 내지 3의 값을 갖고, $a_3$=5이므로 $q_3$는 0 내지 4의 값을 갖는다.

[0169] 한편, 도 8에 도시된 상기 몫 결정부(806)는, 제1 서브 디코더 내지 제3 서브 디코더(800, 802, 804)로부터 수신된 신뢰도($\rho_{12_max}$, $\rho_{23_max}$, $\rho_{34_max}$, $\rho_{21_max}$, $\rho_{32_max}$, $\rho_{43_max}$)가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫($\widehat{q_1}$, $\widehat{q_2}$, $\widehat{q_3}$, $\widehat{q_4}$, $\widehat{q_{1r}}$, $\widehat{q_{2r}}$, $\widehat{q_{3r}}$, $\widehat{q_{4r}}$)을 상기 입력값($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$)에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력한다.

[0170] 한편, 도 8에 도시된 상기 소스 추정치 계산부(808)는, 도 10에 도시된 바와 같이, 제1 내지 제8 추정기(1000 내지 1014) 및 소스 추정부(1016)를 포함한다.

[0171] 상기 제1 내지 제8 추정기(1000 내지 1014)는, 몫 결정부(806)에서 출력되는 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 몫($\widehat{q_1}$, $\widehat{q_2}$, $\widehat{q_3}$, $\widehat{q_4}$, $\widehat{q_{1r}}$, $\widehat{q_{2r}}$, $\widehat{q_{3r}}$, $\widehat{q_{4r}}$)에 기반하여, 상기 입력값들($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$, $Y_4$) 각각에 대응하는 소스 추정치($\widehat{q_1}$, $\widehat{q_2}$, $\widehat{q_3}$, $\widehat{q_4}$, $\widehat{q_{1r}}$, $\widehat{q_{2r}}$, $\widehat{q_{3r}}$, $\widehat{q_{4r}}$)를 계산하여 출력한다.

[0172] 상기 소스 추정부(1016)는 상기 제1 내지 제8 추정기(1000 내지 1014) 각각에서 출력되는 소스 추정치($\widehat{S_1}$, $\widehat{S_2}$, $\widehat{S_3}$, $\widehat{S_4}$, $\widehat{S_{1r}}$, $\widehat{S_{2r}}$, $\widehat{S_{3r}}$, $\widehat{S_{4r}}$)를 평균화하여 소스 신호값의 추정치인 최종 소스 추정치($\widetilde{S}$)를 계산한다.

[0173] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 방법의 흐름도이다.

[0174] 도 11에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위한 방법은,

[0175] 복수의 서브 디코더가, 채널을 통해 입력되는 N개의 입력값들 중 소정 수의 이웃하는 입력값들 및 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 이웃하는 입력값들 각각의 몫(quotient) 및 신뢰도를 반복적으로 추정하는 단계(단계 S1100), 몫 결정부가, 상기 복수의 서브 디코더에 의해 추정된 몫들 및 신뢰도에 기반하여 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫을 결정하는 단계(단계 S1102), 및 소스 추정치 계산부가, 상기 입력값들 각각에 대응하는 몫에 기반하여 소스 신호값의 추정치를 계산하는 단계(단계 S1104)를 포함한다.

[0176] 상기 복수의 서브 디코더 각각은 추정된 몫에 대한 신뢰도를 계산하여 이웃하는 서브 디코더에 제공하며, 길이가 N인 상기 일반화된 시프트-맵 코드($\mathbf{X}=(X_1,X_2,\ldots,X_N)\in[0,1)^N$)는 한 세트의 N

개의 스케일링 파라미터인 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_N)$ 에 의해

[0177] $$X_n = a_n S \mod 1$$

[0178] $$\gcd(a_n, a_m) = 1, \quad \text{for } n \neq m$$ 에 따라 획득되고,

[0179] N은 2 이상의 정수이며, n과 m은 1 이상의 정수이고, S는 소스 신호값이며, mod는 모듈로 연산을 나타내고,

[0180] 상기 N개의 입력값들은 상기 일반화된 시프트-맵 코드가 상기 채널을 통해 전송되어 상기 서브 디코더들에 의해 수신되는 값들이다.

[0181] 또한, 상기 단계 S1100은, (a-1) 상기 이웃하는 입력값들에 기반하여 몫에 대한 신뢰도를 계산하는 단계; (a-2) 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도에 기반하여 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도를 반복적으로 갱신하는 단계; (a-3) 상기 갱신된 신뢰도들 중 최대값을 결정하고, 결정된 신뢰도 및 상기 입력값들에 대응하는 몫을 결정하여 출력하는 단계; 및 (a-4) 상기 갱신된 신뢰도들에 기반하여 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도를 선택하는 단계를 포함한다.

[0182] 상기 단계 (a-3)는, 상기 결정된 신뢰도가 소정 값에 수렴할 경우, 상기 소정 값의 신뢰도에 기반하여 계산된 몫을 상기 입력값에 대응하는 최종 몫으로 결정하여 출력하는 단계를 포함한다.

[0183] 상기 단계 (a-1)에서,

[0184] $$s_{ij}(q_i, q_j) = -\left(\frac{q_i + Y_i}{a_i} - \frac{q_j + Y_j}{a_j}\right)^2$$ 에 따라 몫에 대한 신뢰도( $s_{ij}(q_i, q_j)$ )가 계산되고,

[0185] $q_i = 0, 1, \ldots, a_i - 1$ 이며, $q_j = 0, 1, \ldots, a_j - 1$ 로서, i번째 및 j번째 입력값에 대응하는 몫을 나타내고,

[0186] $Y_i$ 및 $Y_j$ 는 각각 i번째 및 j번째 입력값을 나타낸다.

[0187] 상기 단계 (a-2)에서,

[0188] $$\rho_{ij}(q_i, q_j) = s_{ij}(q_i, q_j) - \max_{(u,v) \neq (q_i, q_j)} (s_{ij}(u, v) + \alpha_{ij}(u, v))$$ 에 따라 상기 신뢰도 계산 단계에서 계산된 신뢰도가 반복적으로 갱신되고,

[0189] 상기 $\alpha_{ij}(u, v)$ 는 상기 이웃하는 서브 디코더로부터 수신되는 몫에 대한 신뢰도이다.

[0190] 상기 단계 (a-4)에서,

[0191] $$\alpha_{jk}(q_j, q_k) = \max_{q_i} \rho_{ij}(q_i, q_j)$$ 에 따라

[0192] 상기 이웃하는 서브 디코더에 제공하기 위한 신뢰도( $\alpha_{jk}(q_j, q_k)$ )가 선택된다.

[0193] 상기 단계 S1104는, (c-1) 상기 입력값들 각각에 대응하는 소스 추정치를 계산하는 단계, 및 (c-2) 상기 계산된 소스 추정치들에 기반하여 최종 소스 추정치를 계산하는 단계를 포함한다.

[0195] 수치 시뮬레이션

[0196] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치 및

방법에서 수행된 수치 시뮬레이션을 위하여, $\mathbf{a}_1 = \{5, 7, 13, 29\}$와 $\mathbf{a}_2 = \{17, 23, 45, 49\}$를 갖는 2개의 일반화된 시프트-맵 코드가 도 2에 도시된 일반화된 시프트-맵 코드 중에서 선택되었다. 이들 코드들에 대한 스트레치 팩터들은 각각, $L_1$=32.9이고 $L_2$=63.0이었다. 최소 거리들은 각각 $d_1$=0.33이고 $d_2$=0.26이었다. 따라서, 제1 코드는 제2 코드보다 더 작은 L을 가지지만 더 큰 d를 갖는데, 이것은 수학식 8에서의 트레이드오프와 일치한다.

[0197] $\frac{1/12}{\sigma^2}$ 에 의해 정의된 SNR은 5부터 40 dB까지 변하였다. 각각의 SNR에서, 수학식 1을 사용하여 $10^4$ 노이즈 측정치들이 생성되었는데, 이것으로부터 반복적 복호기는 S를 추정하였다.

[0198] 도 12는 추정치들의 평균제곱오차(MSE: mean square error)를 도시한 것이다. 양 코드들의 MSE는 SNR이 20 dB까지 증가할 때 급속히 떨어진다. 더 높은 SNR에서, MSE는 낮은 SNR보다 더 느리게 감소한다. 이 위상 천이는 디지털 통신을 위한 현대의 코드들의 에러 플로어(error floor)에 필적한다(예를 들어 터보 코드(비특허문헌 [11]) 및 LDPC 코드(비특허문헌 [12])).

[0199] 하지만, 아날로그 오류-정정 코드들에 대한 이들 2개의 구별되는 영역들이 생기는 근본적인 원인은 디지털 코드들의 에러 플로어에 대한 것들과 아주 상이하다. 낮은 SNR에서, MSE는 임계 오류에 의해 좌우되므로, SNR에서의 작은 증가는 MSE에서의 상당한 감소를 야기한다. 높은 SNR에서, 임계 오류의 가능성은 무시해도 될 정도이고, MSE는 SNR과 선형적으로 관련된다.

[0200] 좀 더 구체적으로, SNR에 따라, 하나의 코드는 다른 코드를 능가하였다. SNR이 20 dB까지 증가함에 따라, $\mathbf{a}_1$ (더 큰 d를 가진 코드)은 $\mathbf{a}_2$보다 MSE에서 더 빠른 감소를 나타내었고 더 낮은 MSE를 달성하였다. 하지만, 이 순서는 더 높은 SNR에서 역전되었다; $\mathbf{a}_2$(더 큰 L을 가진 코드)는 SNR > 20 dB일 때 MSE가 더 작았다.

[0201] 낮은 SNR에서 $\mathbf{a}_1$의 MSE의 급속한 감소는 큰 임계 오류 가능성을 결정하는 d( $d_1 > d_2$)에 의해 설명된다. 도 13에 도시된 바와 같이, $\mathbf{a}_2$와 비교할 때 $\mathbf{a}_1$의 낮은 임계 오류 빈도는 이러한 설명을 입증한다.

[0203] 결론

[0204] 본 발명의 일 실시예에 의한 일반화된 시프트-맵 코드(generalized shift-map code)를 복호화하기 위한 장치 및 방법에서는 전통적인 시프트-맵 코드가 일반화된 시프트-맵 코드로 불리우는, 새로운 코드 패밀리로 일반화되었다. 전자는 단일 정수 파라미터에 의해 정의되고, 후자는 한 세트의 서로소인 정수들에 의해 정의된다. 이러한 증가된 융통성은 더 미세한 스케일로 스트레치 팩터 및 최소 거리의 제어를 용이하게 한다.

[0205] 일반화된 시프트-맵 코드를 복호화하기 위하여, 반복적 복호화 알고리즘이 팩터 그래프상에서 메시지 패싱으로부터 유도되었다. 본 발명의 일 실시예에 의한 복호화 알고리즘은 각각의 입력 쌍의 일치에 관한 메시지들 및 다른 쌍들로부터의 외부 정보를 결합한다. 수렴이 발생할 때까지 이러한 절차를 반복하는 것은 추정된 소스를 포함하는 간격들(intervals)을 복구한다.

[0206] 2개의 일반화된 시프트-맵 코드들에 대한 수치 시뮬레이션들이 스트레치 팩터와 최소 거리 간의 트레이드오프를 입증하기 위하여 수행되었다. 하나의 코드는 다른 코드보다 더 큰 최소 거리 및 더 작은 스트레치 팩터를 가졌다. 따라서, 전자는 낮은 SNR에서 후자를 능가하였지만, 반대의 거동이 높은 SNR에서 관찰되었다.

[0207] 일반화된 시프트-맵 코드는 코드 파라미터 최적화에서 융통성을 제공하고, 본 발명에 의한 반복적 알고리즘에 의해 용이하게 된 효율적인 복호화는 아날로그 오류정정코드의 적용 범위를 확대할 것이다.

[0208] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세하게 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함은 명백하다고 할 것이다.

[0209] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속하는 것으로, 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

## 부호의 설명

[0210] 500, 800 : 제1 서브 디코더 502, 802 : 제2 서브 디코더

504, 804 : 제3 서브 디코더 506, 806 : 몫 결정부

508, 808 : 소스 추정치 계산부 600, 900 : 신뢰도 계산부

602, 901 : 신뢰도 갱신부 604, 904 : 신뢰도 선택부

606, 905 : 최대값 결정부 700 내지 706 : 제1 내지 제4 추정기

701, 1001 : 추정기 708, 1016 : 소스 추정부

902 : 제1 신뢰도 갱신부 904 : 제2 신뢰도 갱신부

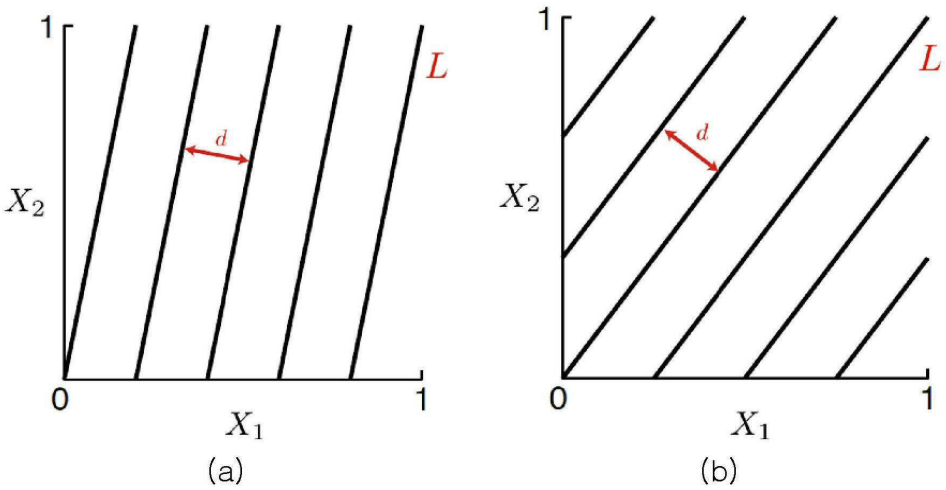
906 : 제1 신뢰도 선택부 908 : 제2 신뢰도 선택부

910 : 제1 최대값 결정부 912 : 제2 최대값 결정부

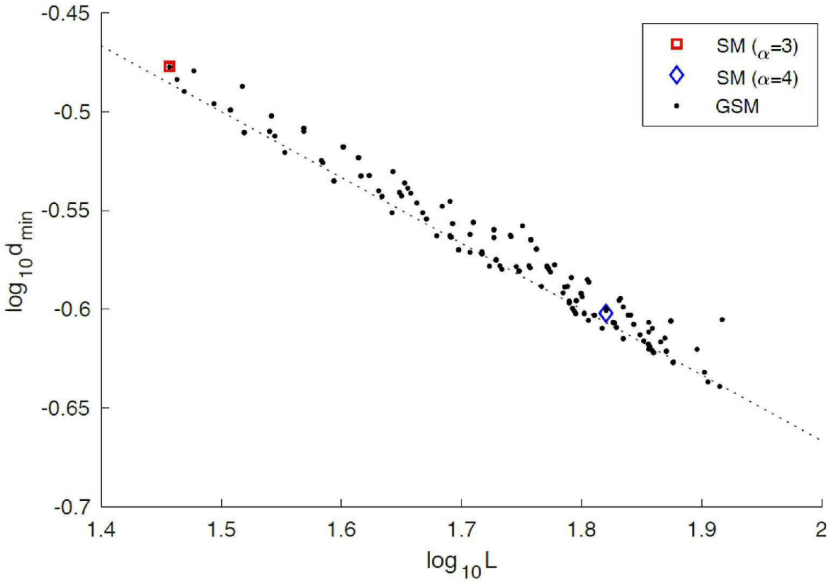
1000 내지 1014 : 제1 내지 제9 추정기

## 도면

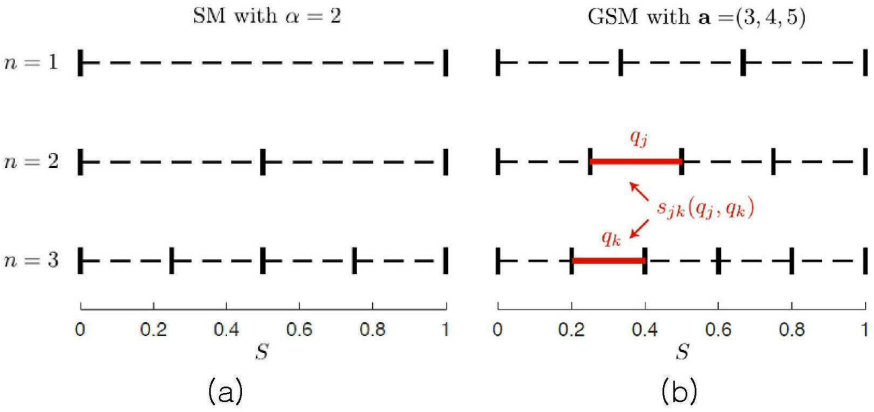
### 도면1



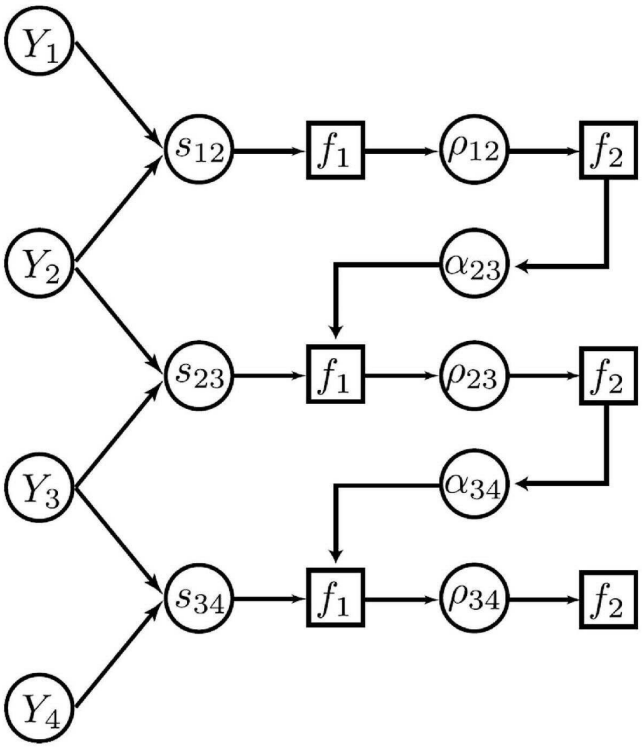
도면2


SM ($\alpha$=3)
SM ($\alpha$=4)
GSM
$\log_{10} d_{min}$
$\log_{10} L$
-0.45
-0.5
-0.55
-0.6
-0.65
-0.7
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2

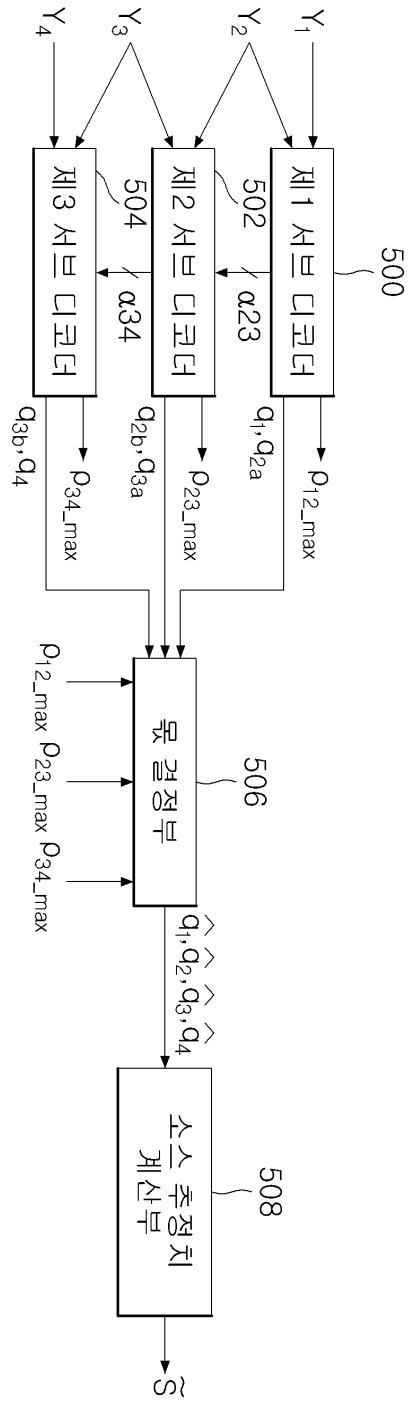
도면3


SM with $\alpha = 2$
GSM with $\mathbf{a} = (3, 4, 5)$
$n = 1$
$n = 2$
$n = 3$
$q_j$
$s_{jk}(q_j, q_k)$
$q_k$
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
$S$
(a)
(b)

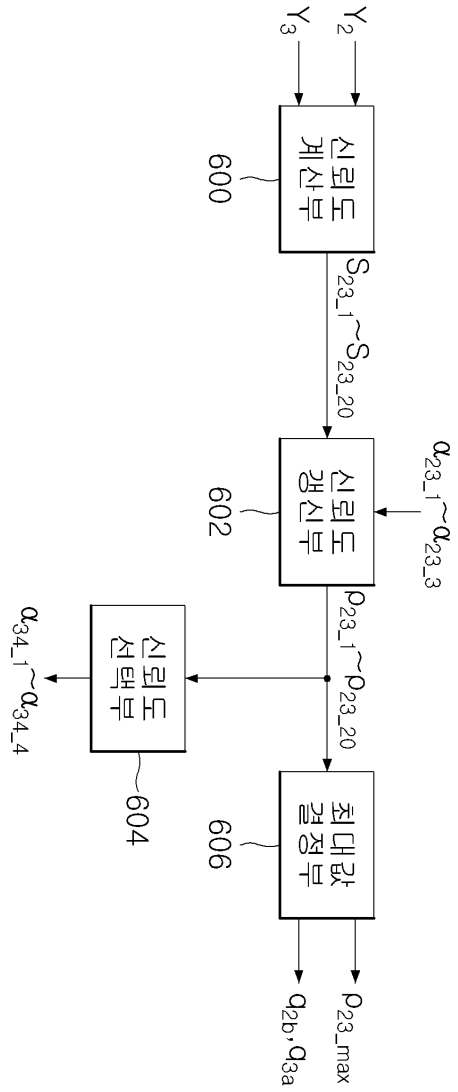
도면4


$Y_1$
$Y_2$
$Y_3$
$Y_4$
$s_{12}$
$s_{23}$
$s_{34}$
$f_1$
$f_1$
$f_1$
$\rho_{12}$
$\rho_{23}$
$\rho_{34}$
$f_2$
$f_2$
$f_2$
$\alpha_{23}$
$\alpha_{34}$

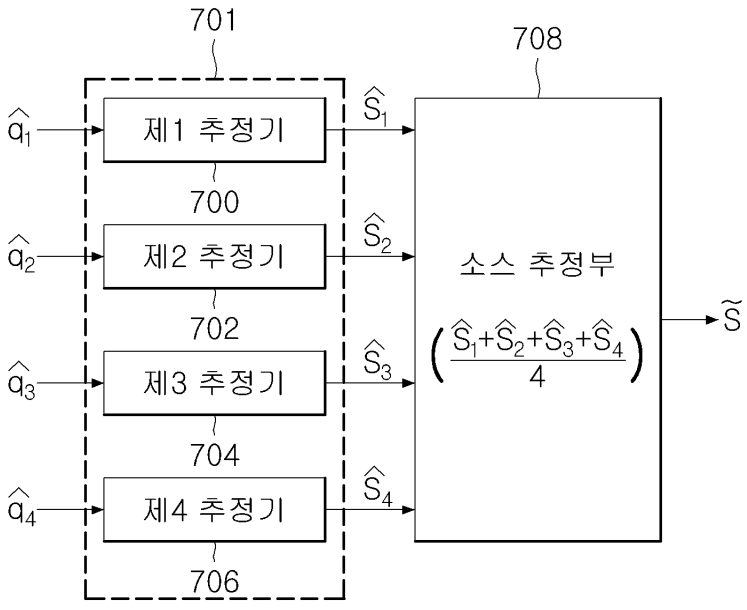
도면5


Y4
Y3
Y2
Y1
제3 서브 디코더
제2 서브 디코더
제1 서브 디코더
504
502
500
α34
α23
q3b,q4
q2b,q3a
q1,q2a
ρ34_max
ρ23_max
ρ12_max
ρ12_max ρ23_max ρ34_max
몫 결정부
506
q1,q2,q3,q4
소스 추정치 계산부
508
S

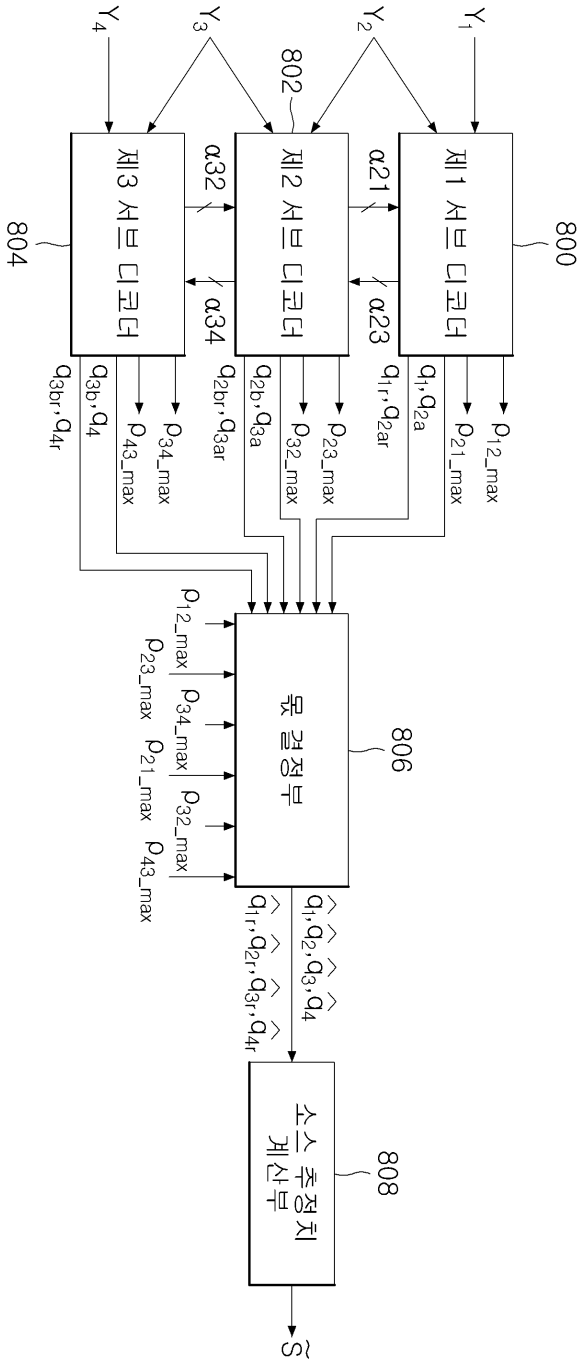
도면6


Y3
Y2
신뢰도 계산부
600
S23_1~S23_20
신뢰도 갱신부
602
α23_1~α23_3
ρ23_1~ρ23_20
신뢰도 선택부
604
α34_1~α34_4
최대값 결정부
606
q2b,q3a
ρ23_max

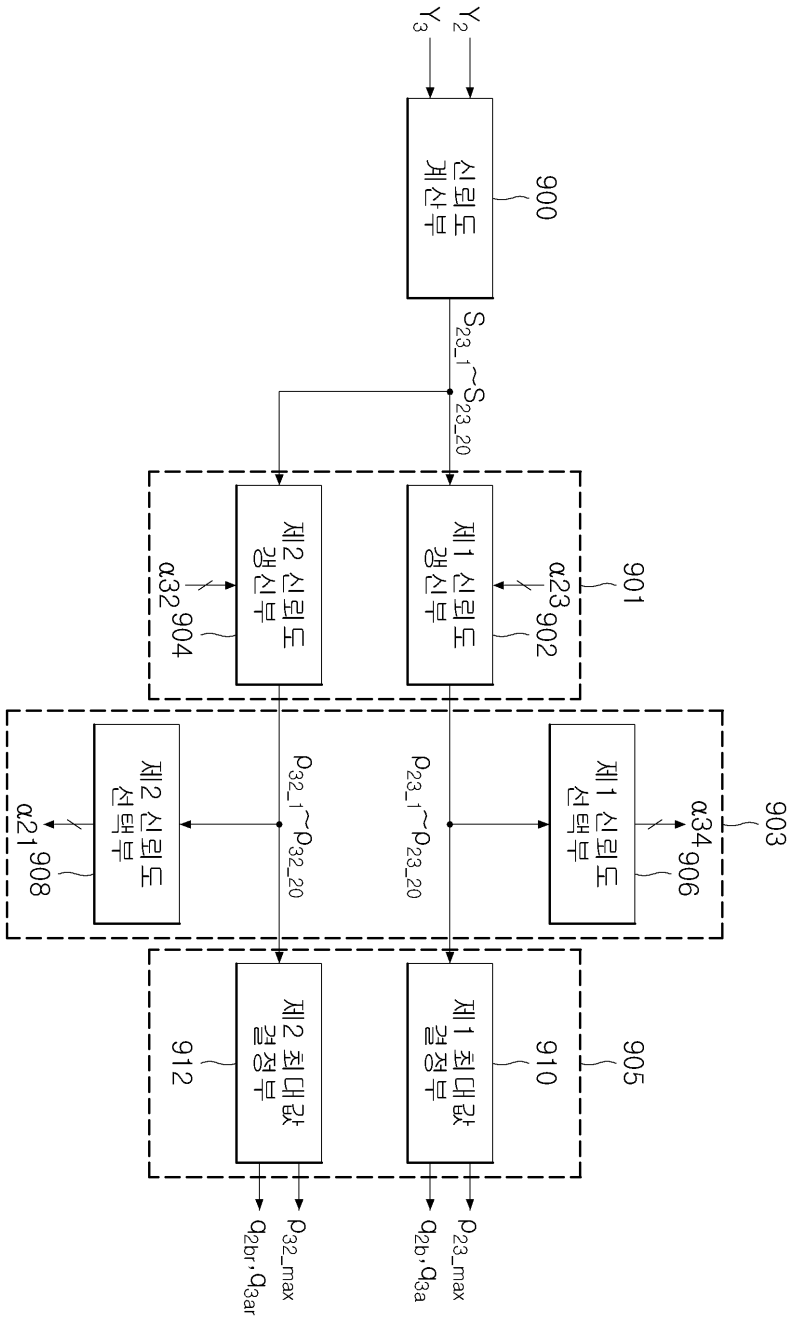
도면7


701
708
제1 추정기
700
제2 추정기
702
제3 추정기
704
제4 추정기
706
소스 추정부
S̃

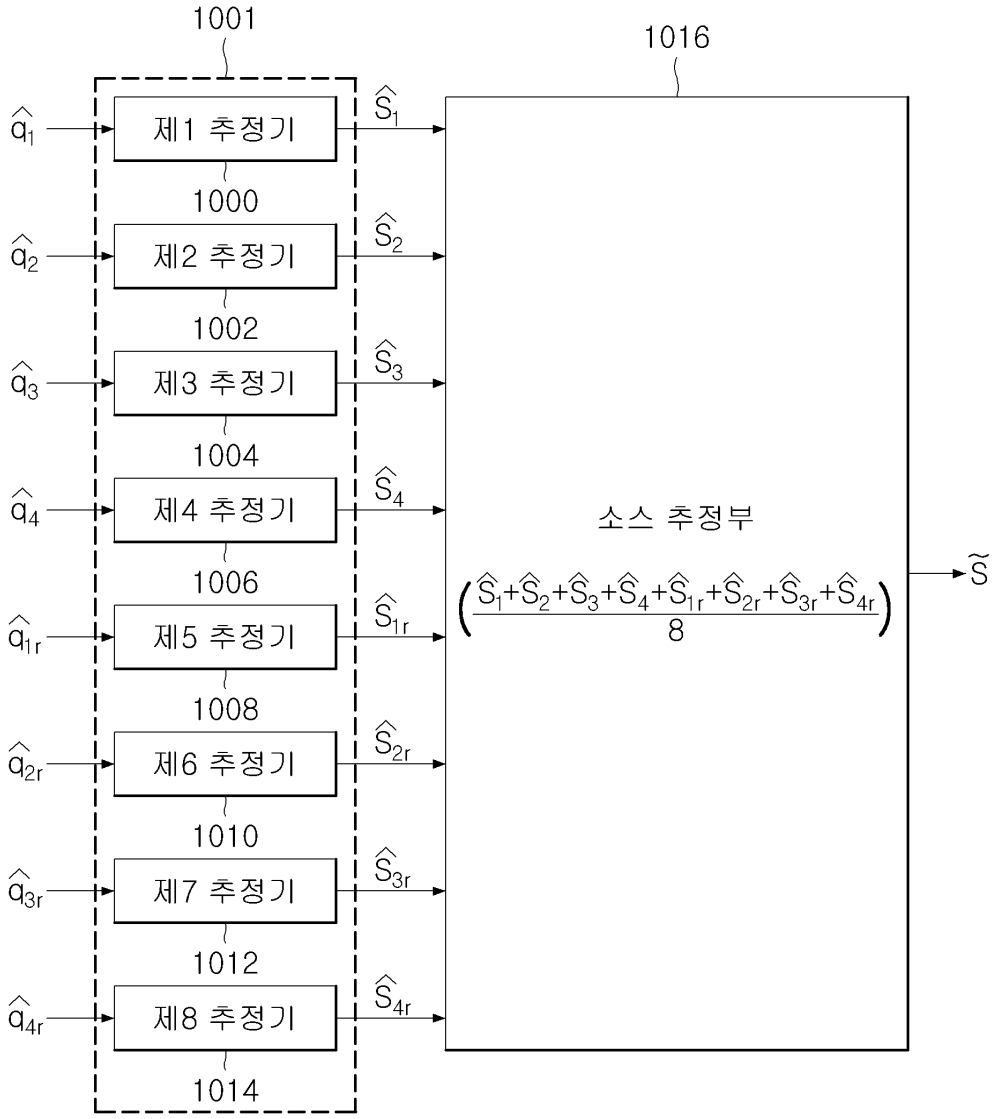
도면8


Y4
Y3
Y2
Y1
802
제3 서브 디코더
804
α32
α34
제2 서브 디코더
α21
α23
제1 서브 디코더
800
q3br,q4r
q3b,q4
ρ34_max
ρ43_max
q2br,q3ar
q2b,q3a
ρ23_max
ρ32_max
q1r,q2ar
q1,q2a
ρ21_max
ρ12_max
ρ12_max
ρ23_max
ρ34_max
ρ21_max
ρ32_max
ρ43_max
최종 결정부
806
q̂1r,q̂2r,q̂3r,q̂4r
q̂1,q̂2,q̂3,q̂4
소스 추정치 계산부
808
S̃

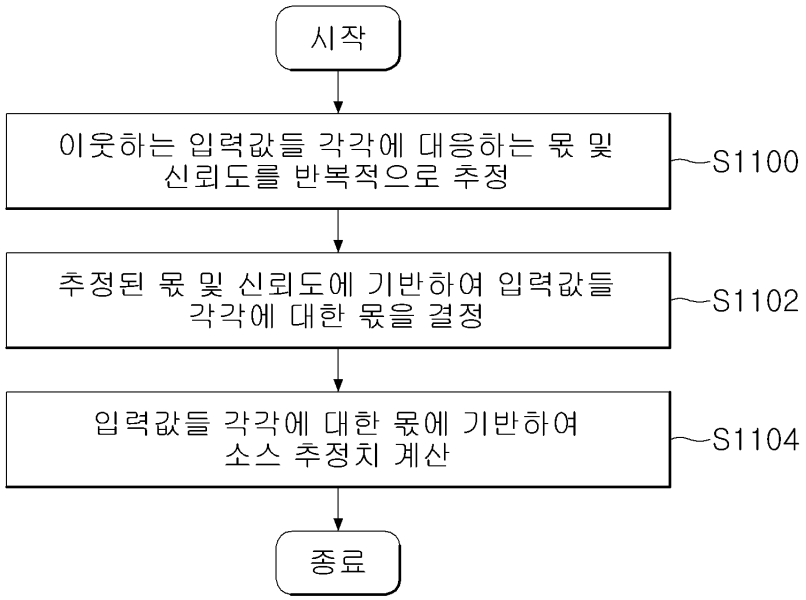
도면9


Y2
Y3
신뢰도 계산부
900
S23_1~S23_20
제2 신뢰도 갱신부
제1 신뢰도 갱신부
α32 904
α23 902
901
제2 신뢰도 선택부
제1 신뢰도 선택부
ρ32_1~ρ32_20
ρ23_1~ρ23_20
α21 908
α34 906
903
제2 최대값 결정부
제1 최대값 결정부
912
910
905
q2br,q3ar
ρ32_max
q2b,q3a
ρ23_max

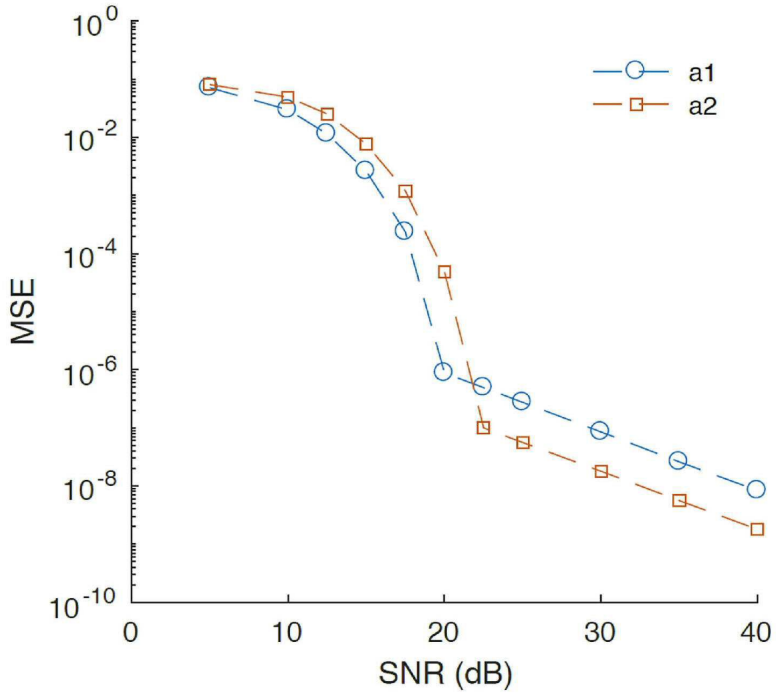
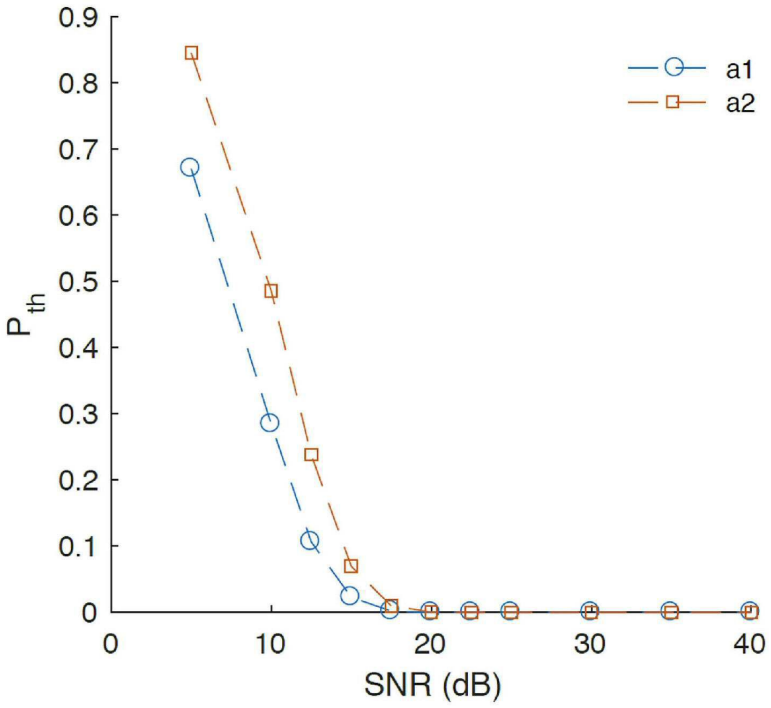
도면10


1001
1016
제1 추정기
제2 추정기
제3 추정기
제4 추정기
제5 추정기
제6 추정기
제7 추정기
제8 추정기
1000
1002
1004
1006
1008
1010
1012
1014
소스 추정부
$\left(\frac{\hat{S}_1+\hat{S}_2+\hat{S}_3+\hat{S}_4+\hat{S}_{1r}+\hat{S}_{2r}+\hat{S}_{3r}+\hat{S}_{4r}}{8}\right)$
$\tilde{S}$

도면11


시작
이웃하는 입력값들 각각에 대응하는 몫 및 신뢰도를 반복적으로 추정
S1100
추정된 몫 및 신뢰도에 기반하여 입력값들 각각에 대한 몫을 결정
S1102
입력값들 각각에 대한 몫에 기반하여 소스 추정치 계산
S1104
종료

도면12


MSE
SNR (dB)
a1
a2
10^0
10^-2
10^-4
10^-6
10^-8
10^-10
0
10
20
30
40

도면13