(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월09일
(11) 등록번호 10-2064227
(24) 등록일자 2020년01월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 13/37 (2006.01) *H03M 13/00* (2017.01)
H03M 13/13 (2006.01) *H03M 13/45* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H03M 13/3707 (2013.01)
H03M 13/13 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0123795
(22) 출원일자 2018년10월17일
심사청구일자 2018년10월17일
(56) 선행기술조사문헌
Low Complexity Belief Propagation Polar Code Decoder (IEEE Workshop on Signal Processing Systems, 14-16 Oct. 2015)
US20180226999 A1

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
허준
서울특별시 강남구 광평로10길 6, 206동 103호
이성훈
서울특별시 동대문구 무학로 184, 202호
(74) 대리인
심경식, 홍성욱

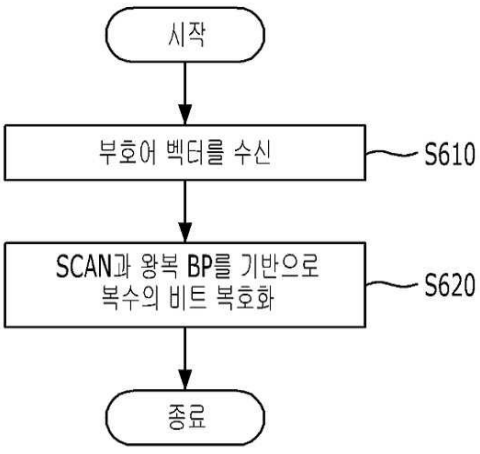
전체 청구항 수 : 총 11 항 심사관 : 조춘근

(54) 발명의 명칭 **극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호 방법은, 극 부호(Polar Code) 복호 장치가 극 부호의 복호 방법에 있어서, 극 부호화(polar encoding)를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신하는 단계, 상기 부호화 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하는 단계를 포함하고, 상기 복호화하는 단계에서, 상기 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하며, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화할 수 있다.

대 표 도 - 도7



(52) CPC특허분류
H03M 13/45 (2013.01)
H03M 13/611 (2013.01)
H03M 13/6502 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711070441
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명 무결점 보안을 위한 지상/위성 양자통신 기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교 산학협력단
연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

극 부호(Polar Code) 복호 장치가 극 부호의 복호를 수행하는 방법에 있어서,

극 부호화(polar encoding)를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신하는 단계; 및

상기 부호어 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하는 단계를 포함하고,

상기 복호화하는 단계에서, 상기 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하며, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화하고,

상기 극 부호는 상기 외부 부호와 상기 내부 부호의 연접 부호로 정의되는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

길이가 N인 극 부호는 길이가 N인 하나의 내부 부호와 길이가 N/S이며 복수개인 외부 부호의 연접 부호로 정의되고, 상기 S는 2^a이며 상기 a는 상기 외부 부호의 개수를 결정하는 병렬화 레벨인 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복호화하는 단계는,

채널 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하는 단계;

내부 부호의 L 메시지 및 B 메시지를 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트하는 단계; 및

상기 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트된 출력 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 상기 외부 부호의 입력 B 메시지를 업데이트하는 단계를 포함하되,

상기 L 메시지는 왼쪽에서 오른쪽으로 전파되는 메시지, 상기 B 메시지는 오른쪽에서 왼쪽으로 전파되는 메시지인 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량에 기초하여 상기 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 단계를 더 포함하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 수렴 속도를 측정하는 단계는,

왼쪽의 노드들에서 오른쪽의 노드들로 전파되는 L 메시지 및 오른쪽의 노드들에서 왼쪽의 노드들로 전파되는 B 메시지 각각의 상호 정보량을 각각 업데이트하는 단계;

상기 왼쪽의 노드들에 해당하는 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호정보량이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 결정하는 단계; 및

상기 복호가 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 수렴속도로 산출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 상호 정보량은, 극 부호의 복호 스케줄에 따라 업데이트되는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 수렴 속도는, 수렴된 순간의 반복 복호 횟수와 1회 복호에 걸리는 클럭 사이클의 곱으로 산출되는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호 방법.

청구항 8

극 부호화(polar encoding)를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신하는 수신부; 및

상기 부호어 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하여 복호 데이터 비트열을 출력하는 복호화부를 포함하고,

상기 복호화부는 상기 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하며, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화하고,

상기 극 부호는 상기 외부 부호와 상기 내부 부호의 연접 부호로 정의되는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호화 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복호화부는,

채널 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하고, 내부 부호의 왼쪽에서 오른쪽으로 전파되는 L 메시지 및 오른쪽에서 왼쪽으로 전파되는 B 메시지를 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트하며, 상기 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트된 출력 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 상기 외부 부호의 입력 B 메시지를 업데이트하는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호화 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량에 기초하여 상기 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 지연시간 측정부를 더 포함하는 극 부호의 복호화 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 지연시간 측정부는,

왼쪽의 노드들에서 오른쪽의 노드들로 전파되는 L 메시지 및 오른쪽의 노드들에서 왼쪽의 노드들로 전파되는 B 메시지 각각의 상호 정보량을 각각 업데이트하고, 상기 왼쪽의 노드들에 해당하는 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호 정보량이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 결정하며, 상기 복호가 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 수렴속도로 산출하는 것을 특징으로 하는 극 부호의 복호화 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 극 부호(polar code)의 복호를 위한 방법 및 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 시스템의 요구 사항에 맞춰 복호의 스케줄을 변경하여 지연속도, 저장복잡도, 계산복잡도를 조절할 수 있는 연출력(soft-output) 복호 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 극 부호는 Arikan의 제안한 선형 블록 부호로 이진 이산 무기억 채널(binary-input discrete memoryless cahnnel)에서 명쾌한 구성 방법과 함께 Shannon의 채널 용량을 이론적으로 달성할 수 있다는 것이 증명된 최초의 오류 정정 부호이다. 이러한 성질로 인해 최근 오류정정부호 분야에서 활발히 연구되고 있다. 최근에는 차세대 이동통신표준인 5G 기술에서도 표준 오류정정부호로 채택되었다.

[0003] 극 부호는 부호를 구축할 때 생기는 특징을 활용해 채널 용량을 달성하기 위해 Arikan은 경출력(hard-output) 복호인 SC (successive cancellation) 복호 기법을 제안하였고, 이 기법을 기반으로 많은 복호 기법들이 연구되었다. 그 중 CA-SCL (CRC-Aided SC List) 복호가 가장 성능이 좋고 표준기술에서도 활용된다.

[0004] 그러나 SC 기반의 복호 기법들은 모두 순차적(serial)으로 수행된다. 순차적 복호는 복호에 필요한 계산들의 순서가 정해져 있어 병렬적(parallel)으로 수행할 수 없다. 이로 인해 SC 기반 복호 기법들은 성능이 좋지만, 저장, 계산 복잡도가 낮고 지연시간이 높다는 단점을 지니고 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0005] SC 복호 기법과 다른 대표적인 기법이 연출력(soft-output) 복호인 BP (belief propagation) 복호 기법이다. BP 복호는 LDPC (low-density parity-check) 부호의 복호 기법이며 연산을 병렬적으로 수행할 수 있어 복호의 처리속도가 매우 높다고 알려져 있다. 극 부호의 BP 복호 성능은 CA-SCL 복호에 비해 성능이 부족함에도 불구하고, 뛰어난 처리속도와 낮은 지연시간을 가능하게 하는 높은 병렬화 가능성 때문에 BP 복호도 구현에서 활발히 연구되고 있다. 또한, 연출력이기 때문에 터보 리시버와 같은 탐지(detection)와 복호가 동시에 진행하는 시스템에서도 활용이 가능하다.

[0006] BP 복호의 나쁜 성능 문제를 해결하기 위해 SCAN (soft cancellation) 복호가 제안되었다. SCAN 복호도 BP와 마찬가지로 연출력이지만, SC의 스케줄을 그대로 따라 순차적 복호이다. 그로 인해 SC 복호와 마찬가지로 높은 지연시간을 가지지만, 저장 및 계산 복잡도가 낮다는 특징을 가진다.

[0007] 살핀 바와 같이, SCAN은 저장 및 계산 복잡도가 낮지만 지연시간이 높고, 반대로 BP는 지연시간이 낮지만 저장 및 계산 복잡도가 높다. 따라서 그 중간 지점인 적당한 지연시간, 복잡도를 요구되거나 작업 환경에 따라 요구사항이 변할 수 있는 시스템에서는 선택될 수 없다.

[0008] 이에, 시스템의 요구 사항에 맞춰 복호의 스케줄을 변경하여 지연속도, 저장복잡도, 계산복잡도를 조절할 수 있는 연출력(soft-output) 복호의 기술 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1817168 호(2018.01.10. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 시스템의 요구 사항에 맞춰 복호의 스케줄을 변경하여 지연속도, 저장복잡도, 계산복잡도를 조절할 수 있는 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는 극 부호 복호 기법의 수렴(convergence) 속도를 측정할 수 있는 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호 방법은, 극 부호(Polar Code) 복호 장치가 극 부호의 복호 방법에 있어서, 극 부호화(polar encoding)를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신하는 단계, 상기 부호화 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하는 단계를 포함하고, 상기 복호화하는 단계에서, 상기 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하며, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화할 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 극 부호의 길이가 N인 경우, 상기 내부 부호는 길이가 N이고, 하나의 개수이며, 상기 상기 외부 부호는 길이가 N/S이고, 병렬회 레벨(s)에 해당하는 개수이되, 상기 S는 2^s 일 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 상기 복호화하는 단계는, 채널 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하는 단계, 내부 부호의 L 메시지 및 B 메시지를 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트하는 단계, 상기 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트된 출력 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 상기 외부 부호의 입력 B 메시지를 업데이트하는 단계를 포함하되, 상기 L 메시지는 왼쪽에서 오른쪽으로 전파되는 메시지, 상기 B 메시지는 오른쪽에서 왼쪽으로 전파되는 메시지일 수 있다.

[0016] 바람직하게는, 상기 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량에 기초하여 상기 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 바람직하게는, 상기 수렴 속도를 측정하는 단계는, 각 노드와 연결된 노드로 전파되는 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량을 각각 업데이트하는 단계, 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호 정보량이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 결정하는 단계, 상기 복호가 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 수렴속도로 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 바람직하게는, 상기 상호 정보량은, 극 부호의 복호 스케줄에 따라 업데이트될 수 있다.

[0019] 바람직하게는, 상기 수렴 속도는, 수렴된 순간의 반복 복호 횟수와 1회 복호에 걸리는 클럭 사이클의 곱으로 산출될 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 실시예에 따른 극 부호의 복호화 장치는, 극 부호화(polar encoding)를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신하는 수신부, 상기 부호화 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하여 복호 데이터 비트열을 출력하는 복호화부를 포함하고, 상기 복호화부는 상기 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하며, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화할 수 있다.

[0021] 바람직하게는, 상기 복호화부는, 채널 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하고, 내부 부호의 L 메시지 및 B 메시지를 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트하며, 상기 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트된 출력 LLR을 입력값으로 왕복 BP의 스케줄에 따라 상기 외부 부호의 입력 B 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0022] 바람직하게는, 상기 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량에 기초하여 상기 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 지연시간 측정부를 더 포함할 수 있다.

[0023] 바람직하게는, 상기 지연시간 측정부는, 각 노드와 연결된 노드로 전파되는 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량을 각각 업데이트하고, 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호 정보량이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 결정하며, 상기 복호가 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 수렴속도로 산출할 수 있다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 병렬화 레벨을 조절하여 가장 순차적인 수준에서부터 가장 병렬적인 수준까지 유연하게 변할 수 있어 다양한 시스템의 요구 사항을 맞출 수 있고, 이로 인해 지연속도, 저장복잡도, 계산복잡도를 조절할 수 있다.

[0025] 즉, 본 발명에 따르면, 복호 기법의 병렬화 레벨을 조절하면 지연시간과 복잡도를 트레이드오프 관계로 조절할 수 있다. 따라서 복호가 지연시간이 중요한지 복잡도가 중요한지에 맞춰서 복호 스케줄을 유연하게 변경할 수 있고, 다른 복호 기법 없이 다양한 시스템 요구사항에 대처할 수 있다.

[0026] 또한, 상호 정보량(mutual information)을 이용해 복호 기법의 수렴(convergence) 속도를 측정할 수 있다.

[0027] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 부호화/복호화 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 장치를 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 연출력 복호를 설명하기 위한 팩터 그래프를 예시한 도면이다.

도 4는 도 3에 도시된 팩터 그래프의 프로토그래프(protograph)를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 길이(N)가 8인 극 부호에 대한 두개의 다른 연결 부호를 예시한 도면이다.

도 6은 도 5의 복호 절차를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 부호화 벡터를 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 알고리즘은 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 알고리즘을 나타낸 도면이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 상호정보량을 통한 극 부호 복호의 지연시간을 측정했을 때의 결과를 나타낸 그래프이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 병렬화 레벨을 변경하였을 때 지연시간, 저장복잡도, 계산복잡도가 어떻게 달라지는지를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 여러 실시 예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예들에 한정되지 않는다.

[0030] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다. 따라서 앞서 설명한 참조 부호는 다른 도면에서도 사용할 수 있다.

[0031] 또한, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다. 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 과장되게 나타낼 수 있다.

[0032] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명하면 아래와 같다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 부호화/복호화 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0034] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 부호화/복호화 시스템은 극 부호 부호화 장치(100), 극 부호 복호화 장치(200), 및 채널(300)을 포함한다. 극 부호 부호화/복호화 시스템은 도 1에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다.

[0035] 극 부호 부호화 장치(100)는 데이터를 극 부호를 이용하여 부호화하고, 부호어를 변조한 후, 채널을 통해 전송한다. 극 부호는 여러 개의 채널을 결합한 후 적절히 분리했을 때 발생하는 채널 양극화(Channel Polarization) 현상을 이용하여 채널 용량을 달성하는 부호이다.

[0036] 극 부호 복호화 장치(200)는 채널(300)을 통하여 신호를 수신하고 복조한다. 극 부호 복호화 장치(200)는 수신한 부호어를 극 부호를 이용하여 복호화한다.

[0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 장치를 설명하기 위한 블록도이다.

[0038] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 장치(200)는 수신부(210) 및 복호화부(220)를 포함한다.

[0039] 수신부(210)는 채널을 통하여 극 부호를 포함한 통신 신호를 수신한다. 통신 채널은 이진 입력 이산 무기억 채널(Binary Input Discrete Memoryless Channel)에 해당할 수 있다.

[0040] 복호화부(220)는 부호화 벡터를 SCAN(soft cancellation) 복호 방식 및 왕복 BP(round-trip belief propagation) 복호 방식을 기반으로 복호화하여 복호 데이터 비트열을 출력한다. 이때, 복호화부(220)는 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하고, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화할 수 있다.

[0041] 상술한 바와 같이 극 부호의 복호화 장치(200)는 극 부호의 연출력 복호인 SCAN과 왕복 BP를 기반으로 복호화를 수행하고, 연출력 복호는 극 부호의 팩터(factor) 그래프 표현을 바탕으로 진행된다.

[0042] 한편, 상기와 같이 구성된 극 부호의 복호화 장치(200)는 지연시간 측정부(미도시)를 더 포함할 수 있다.

[0043] 지연시간 측정부는 각 노드와 연결된 노드로 전파되는 L 메시지 및 B 메시지 각각의 상호 정보량을 각각 업데이트하고, 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호 정보량($I_{APP}(j)$)이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 하며, 복호가 완벽히 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 지연시간으로 산출한다.

[0044] 즉, 지연시간 측정부는 왼쪽에서 오른쪽으로 전파되는 메시지의 상호 정보량 $I_{\lambda}^{L}(\phi,\omega)$ 과 오른족으로 왼쪽으로 전파되는 메시지의 상호 정보량 $I_{\lambda}^{B}(\phi,\omega)$ 를 각각 업데이트한다. 이때, 상호 정보량은 극 부호의 복호 알고리즘의 스케줄에 따라 업데이트될 수 있다.

[0045] 그런 후, 지연시간 측정부는 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호정보량인 APP 상호 정보량을 산출한다. 그런 후, 지연시간 측정부는 산출된 APP 상호 정보량이 모든 노드에서 1이 되었을 때 복호가 수렴(converge)된 것으로 한다. 지연시간 측정부는 반복 복호를 수행하면서 수렴된 순간의 반복 복호 횟수와 1회 복호에 걸리는 클럭 사이클을 곱하여, 복호가 완벽히 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 산출할 수 있다.

[0046] 한편, 상기와 같이 구성된 극 부호의 복호화 장치(200)는 병렬화 레벨을 조절하여 가장 순차적인 수준에서부터 가장 병렬적인 수준까지 유연하게 변할 수 있어 다양한 시스템의 요구 사항을 맞출 수 있고, 이로 인해 지연속도, 저장복잡도, 계산복잡도를 조절할 수 있다. 즉, 극 부호의 복호화 장치(200)는 지연시간과 복잡도를 트레이드오프로 유연하게 조절할 수 있다.

[0047] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 연출력 복호를 설명하기 위한 팩터 그래프를 예시한 도면, 도 4는 도 3에 도시된 팩터 그래프의 프로토그래프(protograph)를 나타낸 도면이다.

[0048] 극 부호는 부호 길이(Code Length, N, N은 자연수), 정보 비트(Information Bit)의 개수(K, K는 자연수), 정보 비트에 대한 비트 인덱스 집합 $\mathcal{A} \subset [N]$ 로 정의된다. 그리고, 정보 데이터는 $u_0^{N-1} = (u_0, \ldots, u_{N-1})$, 부호어는 $x_0^{N-1} = (x_0, \ldots, x_{N-1})$, 수신된 시퀀스는 $y_0^{N-1} = (y_0, \ldots, y_{N-1})$ 과 같이 표현된다.

[0049] 극 부호로 부호화하는 과정은 데이터 비트열(U) 중에서 채널 양극화 현상에 따라 채널 용량에 해당하는 비율로 K 개를 선택하여 정보를 입력하고, 나머지 (N-K) 개의 고정 비트(Prozen Bit)에 고정된 값을 입력하여 부호화한다. 부호어(Codeword), 즉, 부호 비트열 X는 $\mathbf{x} = \mathbf{u} \cdot G_N$ 과 같이 표현된다. 여기서 G_N은 $G_N = B_N \cdot F_2^{\otimes n}$ 과 같고, B_N은 비트 역 순열(Bit Reversal Permutation Matrix)을 나타내고, $F_2^{\otimes n}$ 는

$F_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$의 n차 크로네커 파워(Kronecker Power)를 나타낸다. 비트 u_i는 $i \in \mathcal{A}$이면 정보 비트, $i \notin \mathcal{A}$이면 고정 비트로, 고정 비트는 0으로 설정된다.

[0050] 도 3은 부호길이 N = 8이며 부호율 1/2인 극 부호의 팩터 그래프가 예시적으로 도시되어 있다. x벡터와 u벡터는 각각 부호어와 정보메시지를 의미한다. 각 노드들은 레이어 λ, 그룹 ϕ, 그룹 내 노드 순서 ω의 3변수로 정의된다. 레이어는 요소 그래프 상의 세로축이고 그룹은 레이어 내의 점선 네모로 표현되어 있다.

[0051] 팩터 그래프에서 각 노드(λ, Φ, ω)는 오른쪽 및 왼쪽으로 전달되는 2 개의 연관된 로그 우도 비(LLR : logarithmic likelihood ratio) 메시지 $L_\lambda(\phi,\omega)$ 및 $B_\lambda(\phi,\omega)$를 갖는다.

[0052] 극 부호의 복호화 장치는 팩터 그래프에서 복수의 메시지를 반복적으로 업데이트한다. 이때, 복수의 메시지는 제일 왼쪽의 노드들로부터 제일 오른쪽의 노드들로 전파되는 L 메시지, 방향을 전환하여 제일 오른쪽의 노드들로부터 제일 왼쪽의 노드들로 전파되는 B 메시지로 구분된다. 복수의 메시지는 복수의 메시지와 연관된 노드의 송신 값의 특정 확률로 표현된 로그 우도 비율(Log Likelihood Ratio, LLR)을 사용한다.

[0053] 도 4는 프로토그래프 상에서 각 노드들에 연관된 두 LLR 메시지인 오른쪽으로 진행하는 L 메시지와 왼쪽으로 진행하는 B 메시지의 관계를 보여준다. LLR 메시지들은 아래 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

[0054] [수학식 1]

$$L_\lambda(\phi,\omega) = L_{\lambda-1}(\psi,2\omega) \boxplus [L_{\lambda-1}(\psi,2\omega+1) + B_\lambda(\phi,\omega+1)]$$

$$L_\lambda(\phi+1,\omega) = L_{\lambda-1}(\psi,2\omega+1) + [L_{\lambda-1}(\psi,2\omega) \boxplus B_\lambda(\phi,\omega)]$$

$$B_\lambda(\psi,2\omega) = B_\lambda(\psi,\omega) \boxplus [B_\lambda(\phi+1,\omega) + L_{\lambda-1}(\psi,2\omega+1)]$$

$$B_\lambda(\psi+1,2\omega+1) = B_\lambda(\phi+1,\omega) + [B_\lambda(\phi,\omega) \boxplus L_{\lambda-1}(\psi,2\omega)]$$

[0055]

[0056] 여기서, $\boxplus$ 연산자는 아래 수학식 2와 같이 정의된다.

[0057] [수학식 2]

$$\alpha \boxplus \beta \triangleq 2\tanh^{-1}\left[\tanh\left(\frac{\alpha}{2}\right)\tanh\left(\frac{\beta}{2}\right)\right]$$

[0058]

[0059] 한편, 극 부호는 재귀적으로 구성되는 성질로 인해 부호 자체를 연접부호로 볼 수 있다. 따라서 본 발명에서 길이가 N인 극 부호는 길이가 N/S인 여러 개의 외부 부호와 길이가 N인 하나의 내부 부호의 연접 부호로 정의할 수 있다. 여기서 $N = 2^n, S = 2^s$일 수 있고, s는 외부 부호의 개수를 결정하는 병렬화 레벨일 수 있다.

[0060] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 길이(N)가 8인 극 부호에 대한 두개의 다른 연결 부호를 예시한 도면이다. (a)는 내부 부호 Co, 각각 길이 4인 제1 외부 부호 C_1와 제2 외부 부호 C_2인 경우이고, (b)는 내부 부호 C'_0, 각각 길이가 2인 제1 외부 부호 C'_1, 제2 외부 부호 C'_2, 제3 외부 부호 C'_3, 제4 외부 부호 C'_4인 경우이다. 길이가 8인 극 부호의 경우 2개의 연결 관계를 도시할 수 있는 바와 같이, 길이가 16, 32 등 다양한 극 부호의 경우에도 $2^{(n-1)}$개의 연결관계를 도시할 수 있다.

[0061] 본 발명에 따른 하나의 내부 부호는 Round-trip BP 복호, 각각의 외부 부호는 병렬적으로 SCAN 복호된다.

[0062] 구체적으로, 극 부호 복호화 장치는 3단계에 걸쳐 복호를 진행된다. 1단계는 외부 부호의 L 메시지를 채널 LLR을 입력값으로 Round-trip BP의 스케줄을 따라 업데이트한다. 이때, L 메시지는 레이어 단위로 병렬적으로 업데이트된다. 2단계는 1단계에서 업데이트된 L 메시지를 입력값으로 L 메시지와 B 메시지를 SCAN 스케줄을 따라 업데이트한다. 마지막 3단계는 B 메시지를 1단계처럼 Round-trip BP의 스케줄을 따라 업데이트하면 복호가 완료된다. 이때, L 메시지와 B메시지의 업데이트는 수학식 1을 이용할 수 있다.

[0063] 이러한 극 부호의 복호 방법에 대해 도 6을 참조하여 설명하기로 한다.

[0064] 도 6은 도 5의 복호 절차를 설명하기 위한 도면이다. 도 6에 빨강색으로 표시된 번호는 복호의 순서를 의미한다.

[0065] 먼저, (a)의 경우에 대해 설명하기로 한다.

[0066] 먼저, 극 부호 복호화 장치는 내부 부호 Co에서 채널 LLR을 입력값으로 Round-trip BP의 스케줄을 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하고, 그 업데이트된 L메시지를 제1 외부 부호 C_1과 제2 외부 부호 C_2에 동시에 입력한다.

[0067] 그러면, 극 부호 복호화 장치는 제1 외부 부호 C_1과 제2 외부 부호 C_2는 업데이트된 L 메시지를 입력값으로 L 메시지와 B 메시지를 SCAN 스케줄을 따라 각각 업데이트한다. 이때, 제1 외부 부호 C_1과 제2 외부 부호 C_2의 메시지 업데이트는 병렬로 수행될 수 있다. 따라서, 외부 부호 C_1과 제2 외부 부호 C_2 의 출력 메시지는 동시에 내부 부호 Co의 입력 메시지로 입력된다.

[0068] 그러면, 극 부호 복호화 장치는 내부 부호 Co는 B 메시지를 Round-trip BP의 스케줄을 따라 업데이트한다.

[0069] (b)의 경우에 대해 설명하기로 한다.

[0070] 먼저, 극 부호 복호화 장치는 내부 부호 C'_0에서 채널 LLR을 입력값으로 Round-trip BP의 스케줄을 따라 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트하고, 그 업데이트된 L메시지를 제1 외부 부호 C'_1, 제2 외부 부호 C'_2, 제3 외부 부호 C'_3, 제4 외부 부호 C'_4에 동시에 입력한다.

[0071] 그러면, 극 부호 복호화 장치는 제1 외부 부호 C'_1, 제2 외부 부호 C'_2, 제3 외부 부호 C'_3, 제4 외부 부호 C'_4는 업데이트된 L 메시지를 입력값으로 L 메시지와 B 메시지를 SCAN 스케줄을 따라 각각 업데이트한다. 이때, 제1 외부 부호 C'_1, 제2 외부 부호 C'_2, 제3 외부 부호 C'_3, 제4 외부 부호 C'_4의 메시지 업데이트는 병렬로 수행될 수 있다. 따라서, 제1 외부 부호 C'_1, 제2 외부 부호 C'_2, 제3 외부 부호 C'_3, 제4 외부 부호 C'_4의 각 출력 메시지는 동시에 내부 부호 C'_0에 입력된다.

[0072] 그러면, 극 부호 복호화 장치는 내부 부호 C'_0는 입력된 메시지에 기초하여 B 메시지를 Round-trip BP의 스케줄을 따라 업데이트한다.

[0073] 한편, 본 발명에서 SCAN 알고리즘은 순차화된 극단(serialized extreme)인 s = 0을 갖는 기법이고, Round-trip BP 알고리즘은 병렬화된 극단(parallelized extreme)인 s = (n-1) 인 기법일 수 있다. 따라서, 극 부호 복호화 장치는 두 가지 극단으로 두 경우를 모두 포함하는 연출력 극 복호(softoutput polar decoding)의 명시적인 스케줄링을 제공한다. 또한, 극 부호 복호화 장치는 업데이트 스케줄을 가장 순차적 방식(most serial way)에서 가장 병렬 방식(most parallel way)으로 점진적으로 변경할 수 있다. 이때, s를 제어함으로써 복호가 병렬화되는 정도를 결정할 수 있다. 따라서, s를 병렬화 레벨로 칭할 수 있다.

[0074] 본 발명에 따른 극 부호의 복호화 장치는 병렬화 레벨을 조절하여 가장 순차적인 수준에서부터 가장 병렬적인 수준까지 유연하게 변할 수 있어 다양한 시스템의 요구 사항을 맞출 수 있다.

[0075] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0076] 도 7을 참조하면, 극 부호 복호화 장치는 극 부호화를 통해 생성된 부호어(codeword) 벡터를 수신한다(S610). 부호어 벡터는 송신 측에서 전송하고자 하는 길이 1 × N 의 소스 벡터에 N × N 크기의 극 부호화 생성 행렬의 이진 곱셈을 통해 생성될 수 있다. 송신측에서 송신한 부호어 벡터를 수신 측에서 수신함으로써, 극 부호의 복호화가 개시될 수 있다.

[0077] 단계 S610이 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 부호화 벡터를 SCAN 복호 방식 및 왕복 BP 복호 방식을 기반으로 복호화한다(S620). 이때, 극 부호의 복호화 장치는 부호어 벡터의 내부 부호는 왕복 BP 복호 방식으로 복호화하고, 외부 부호는 SCAN 복호 방식으로 복호화한다.

[0078] 그러면, 극 부호의 복호화 장치는 극 복호 데이터 비트열을 출력한다.

[0079] 극 부호의 복호화 장치가 복호화하는 방법에 대한 상세한 설명은 도 8을 참조하기로 한다.

[0080] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 부호화 벡터를 복호화 방법을 설명하기 위한 흐름도, 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호의 복호화 알고리즘은 나타낸 도면이다.

[0081] 도 8을 참조하면, 극 부호의 복호화 장치는 채널 LLR을 입력값으로 Round-trip BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 L 메시지 업데이트한다(S710). 여기서, 채널 LLR은 채널로부터 받은 신호를 바탕으로 각 변수 노드가 채널로부터 받은 채널 정보를 의미할 수 있다. 복호화 장치는 수학식 1을 이용하여 외부 부호의 입력 L 메시지를 업데이트할 수 있다.

[0082] 단계 S710이 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 내부 부호의 L 메시지 및 B 메시지를 SCAN의 스케줄에 따라 업데이트한다(S720). 이때, 극 부호의 복호화 장치는 각 외부 부호는 동시에 메시지를 업데이트한다.

[0083] 단계 S720이 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 단계 S720의 출력 LLR을 입력값으로 Round-trip BP의 스케줄에 따라 외부 부호의 입력 B 메시지 업데이트한다(S730).

[0084] 상기와 같은 극 부호의 복호화 알고리즘은 도 9에 도시된 바와 같다.

[0085] 한편, 본 발명에 따른 복호 알고리즘의 수렴 속도를 측정하기 위해 EXIT(extrinsic information transfer) 차트 기법을 도입한다. EXIT 차트 중 protograph-based EXIT (PEXIT) 분석 기법이 LDPC 부호 분석에 활용된 바 있다. 본 발명은 이를 변형하여 극 부호에 적용한다.

[0086] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도, 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 알고리즘을 나타낸 도면이다.

[0087] 도 10을 참조하면, 극 부호의 복호화 장치는 채널을 통해 수신한 신호에 기반하여, 채널에 대한 상호 정보량인 채널 상호 정보량을 산출한다(S1010). 즉, 극 부호의 복호화 장치는 우선 초기화 과정으로 채널로부터 받은 수신 신호에 다한 상호 정보량 I_{ch}을 아래 수학식 3을 이용하여 산출한다.

[0088] [수학식 3]

[0089] $$I_{ch} = J\left(\sqrt{8RE_b/N_0}\right)$$

[0090] 여기서, R은 극 부호의 부호율(code rate)을 의미하며 E_b/N_0는 사용된 채널의 신호 대 잡음비(SNR)을 의미한다. $J(\sigma_{ch})$는 0과 1의 확률이 동일한 이진 랜덤 변수와 분산이 σ_{ch}^2인 가우시안 랜덤 변수 간의 상호 정보량에 대한 함수이다.

[0091] $J(\sigma)$ 는 아래 수학식 4와 같이 정의할 수 있다.

[0092] [수학식 4]

[0093] $$J(\sigma) = 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y-\sigma^2/2)^2}{2\sigma^2}} \log_2(1+e^{-y}) dy$$

[0094] 단계 S1010이 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 채널 상호 정보량에 기초하여 각 노드와 연결된 노드로 전파되는 메시지의 상호 정보량을 각각 업데이트한다(S1020). 즉, 극 부호의 복호화 장치는 왼쪽에서 오른쪽으로 전파되는 메시지의 상호 정보량 $I_{\lambda}^{L}(\phi,\omega)$ 과 오른족으로 왼쪽으로 전파되는 메시지의 상호 정보량 $I_{\lambda}^{B}(\phi,\omega)$ 를 각각 업데이트한다. 이때, 상호 정보량은 극 부호의 복호 알고리즘의 스케줄에 따라 업데이트 될 수 있다.

[0095] 예컨대, 도 4의 프로토그래프에서 같이 (λ, Φ, ω)로 표시된 각 LLR 메시지와 쌍을 이루는 각 상호 정보량은 아래 수학식 5를 이용하여 각각 업데이트할 수 있다.

[0096] [수학식 5]

[0097]
$$I_{\lambda}^{L}(\phi,\omega)=1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(1-I_{\lambda-1}^{L}(\psi,2\omega)\right)^{2}+J^{-1}\left(1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda-1}^{L}(\psi,2\omega+1)\right)^{2}+J^{-1}\left(I_{\lambda}^{B}(\phi+1,\omega)\right)^{2}}\right)\right)^{2}}\right)$$

$$I_{\lambda}^{L}(\phi+1,\omega)=J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda-1}^{L}(\psi,2\omega+1)\right)^{2}+J^{-1}\left(1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda-1}^{L}(\psi,2\omega)\right)^{2}+J^{-1}\left(I_{\lambda}^{B}(\phi,\omega)\right)^{2}}\right)\right)^{2}}\right)$$

$$I_{\lambda-1}^{B}(\psi,2\omega)=1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(1-I_{\lambda}^{B}(\phi,\omega)\right)^{2}+J^{-1}\left(1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda-1}^{B}(\psi,2\omega+1)\right)^{2}+J^{-1}\left(I_{\lambda}^{B}(\phi+1,\omega)\right)^{2}}\right)\right)^{2}}\right)$$

$$I_{\lambda-1}^{B}(\psi,2\omega+1)=J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda}^{B}(\phi+1,\omega)\right)^{2}+J^{-1}\left(1-J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{\lambda}^{B}(\phi,\omega)\right)^{2}+J^{-1}\left(I_{\lambda-1}^{L}(\psi,2\omega)\right)^{2}}\right)\right)^{2}}\right)$$

[0098] 극 부호의 복호화 장치는 LLR 메시지 대신 상호정보량을 같은 스케줄을 따라 업데이트한다.

[0099] 단계 S1020가 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 부호어 노드와 연관된 부호에서 계산된 사전 LLR 사이의 상호 정보량인 APP 상호 정보량을 산출한다(S1030). 여기서, APP 상호 정보량은 변수노드(VN)에 의해 평가된 사후 LLR과 관련 부호어 비트 x_j 사이의 상호 정보량으로, 극 부호의 복호화 장치는 아래 수학식 6을 이용하여 APP 상호 정보량 $I_{APP}(j)$ 을 산출할 수 있다.

[0100] [수학식 6]

[0101]
$$I_{\mathrm{APP}}(j)=J\left(\sqrt{J^{-1}\left(I_{n}^{L}(0,j)\right)^{2}+J^{-1}\left(I_{n}^{B}(0,j)\right)^{2}}\right)$$

[0102] 단계 S1030이 수행되면, 극 부호의 복호화 장치는 APP 상호 정보량이 모든 노드에서 '1'이 되었는지를 판단한다(S1040).

[0103] 단계 S1040의 판단결과, 모든 노드에서 '1'이 된 경우, 극 부호의 복호화 장치는 복호가 수렴(converge)되었다고 하고(S1050), 수렴되는데 걸리는 지연시간(클럭 사이클)을 산출한다(S1060). 즉, 극 부호의 복호화 장치는 반복 복호를 수행하면서 수렴된 순간의 반복 복호 횟수와 1회 복호에 걸리는 클럭 사이클을 곱하여, 복호가 완벽히 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클을 산출할 수 있다.

[0104] 길이가 N인 극 부호에 대한 디코더가 N 개의 프로세싱 유닛을 가지고 있고, 각각이 τ 클럭 사이클에서 수학식 5를 구현할 수 있다고 가정한 경우, SCAN 디코더는 메시지 업데이트를 종료하기 위해 (2N-3)τ 의 클록 사이클을 요구한다.

[0105] 내부 부호의 클럭 사이클은 내부 부호에서 레이어 수의 두 배일 수 있고, 외부 부호의 클럭 사이클은 N/S 길이의 극 부호의 SCAN 복호와 동일할 수 있다. 따라서, 복호가 완변히 수렴되는데 걸리는 클럭 사이클(지연시간) T_s 는 아래 수학식 7을 이용하여 산출할 수 있다.

[0106] [수학식 7]

[0107] $$T_s = \left(2s + \frac{2N}{S} - 3\right) l_s \tau$$

[0108] 여기서, l_s는 s를 갖는 스킴이 종료될 때의 반복 수, τ는 극 부호의 복호에 걸리는 클럭 사이클을 의미할 수 있다.

[0109] 상기와 같은 극 부호 복호의 수렴 속도를 측정하는 알고리즘은 도 11과 같을 수 있다.

[0110] 극 부호의 복호화 장치는 극 부호 복호의 지연시간을 복호가 수렴할 때까지로 측정한다. 따라서 지연시간은 복호가 수렴하는 반복횟수와 1회 복호에 필요한 클럭 사이클의 곱으로 주어진다. 채널 환경은 AWGN 채널이고 변조 방식은 BPSK 방식을 사용할 수 있다. 부호의 길이는 32,768($N = 2^{15}$)비트, 채널의 SNR은 1.0dB이며, 부호는 2.0dB에 최적화되어 구축되었다.

[0111] 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 상호정보량을 통한 극 부호 복호의 지연시간을 측정했을 때의 결과를 나타낸 그래프이다. 이는 부호 길이만큼의 처리 유닛(precess unit)을 준비한다고 가정하고, 각각의 유닛들이 상호정보량 업데이트 연산을 처리하는데 클럭이 걸린다고 가정하였다.

[0112] 도 12를 참조하면, 병렬화 레벨이 0일 경우 가장 순차적인 SCAN과 같으며 병렬화 레벨이 14인 경우 가장 병렬적인 경우인 BP와 같다. 더 병렬적으로 복호가 진행될수록 지연시간이 짧음을 알 수 있다. 또한 모든 복호가 수렴하기 때문에, 성능 열화가 없다는 것도 확인할 수 있다.

[0113] 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 병렬화 레벨을 변경하였을 때 지연시간, 저장복잡도, 계산복잡도가 어떻게 달라지는지를 나타내는 그래프이다.

[0114] 도 13을 참조하면, 병렬화될수록 지연시간이 작아지지만 그에 반비례해 저장 및 계산복잡도가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 지연시간과 복잡도가 트레이드오프 관계임을 확인할 수 있다. 그리고 지연시간의 낮아지는 정도가 복잡도가 높아지는 정도보다 상대적으로 작음을 알 수 있다.

[0115] 한편, Turbo-based receiver가 활용되는 자기 기억 장치(magnetic recording)과 같은 시스템에서 연출력 복호가 필수적이므로, 본 발명에 따른 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치는 이러한 시스템에서도 시스템 요구사항에 유연하게 적응 가능하다.

[0116] 또한, 하드 디스크 드라이버가 활용되는 데스크톱 컴퓨터는 작업 환경에 따라 요구되는 지연 시간과 복잡도가 변하므로, 이러한 시스템에서도 본 발명에 따른 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치를 적용할 수 있다. 예를 들어, 하드 디스크가 유휴 시간(idle time) 후 읽기/쓰기를 시작했을 때, 시스템은 저장/계산 복잡도를 높이더라도 낮은 지연 시간을 요구한다. 반대로, 시스템이 많은 다른 작업으로 인해 시스템 자원에 여유가 없을 경우, 지연 시간이 높더라도 낮은 저장/계산 복잡도를 요구한다.

[0117] 또한, 본 발명에 따른 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치는 충전 중일 때와 충전 중이 아닐 때의 노트북 속 하드 디스크에 적용할 수 있다.

[0118] 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 극 부호의 복호를 위한 방법 및 장치는 시스템의 다양한 요구에 유연하게 적응할 수 있다.

[0119] 지금까지 참조한 도면과 기재된 발명의 상세한 설명은 단지 본 발명의 예시적인 것으로서, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0120] 100 : 극 부호 부호화 장치

200 : 극 부호 복호화 장치

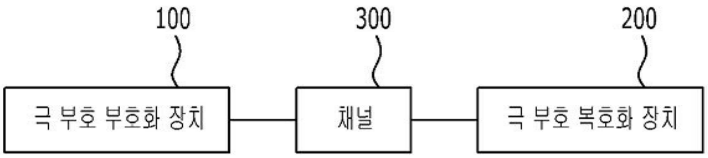
210 : 수신부

220 : 복호화부

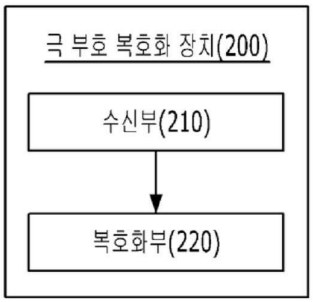
300 : 채널

도면

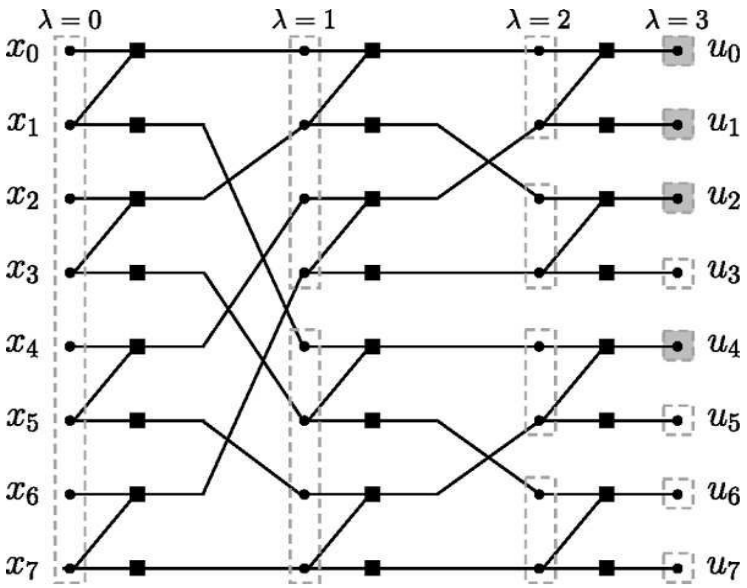
도면1



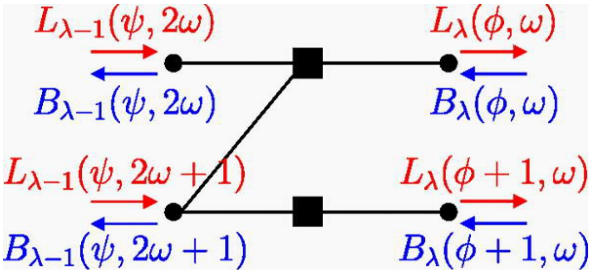
도면2



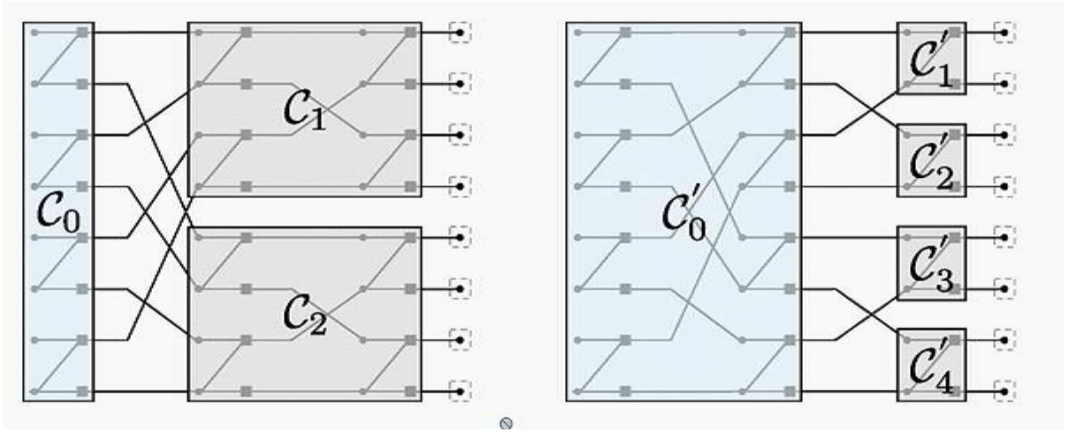
도면3



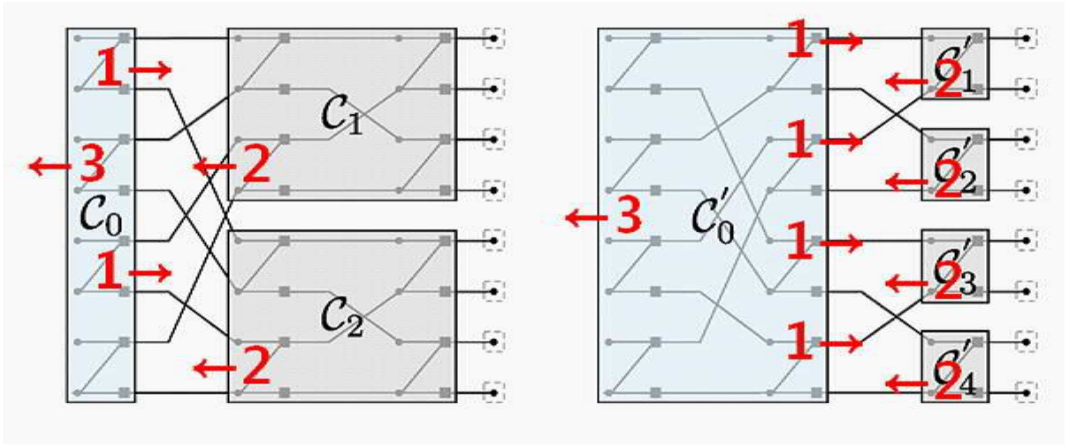
도면4


$L_{\lambda-1}(\psi, 2\omega)$
$L_{\lambda}(\phi, \omega)$
$B_{\lambda-1}(\psi, 2\omega)$
$B_{\lambda}(\phi, \omega)$
$L_{\lambda-1}(\psi, 2\omega+1)$
$L_{\lambda}(\phi+1, \omega)$
$B_{\lambda-1}(\psi, 2\omega+1)$
$B_{\lambda}(\phi+1, \omega)$

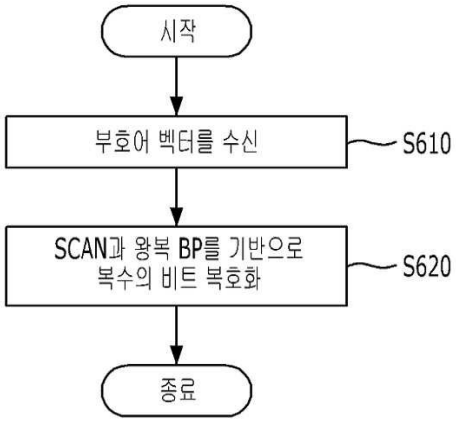
도면5


C_0
C_1
C_2
C'_0
C'_1
C'_2
C'_3
C'_4

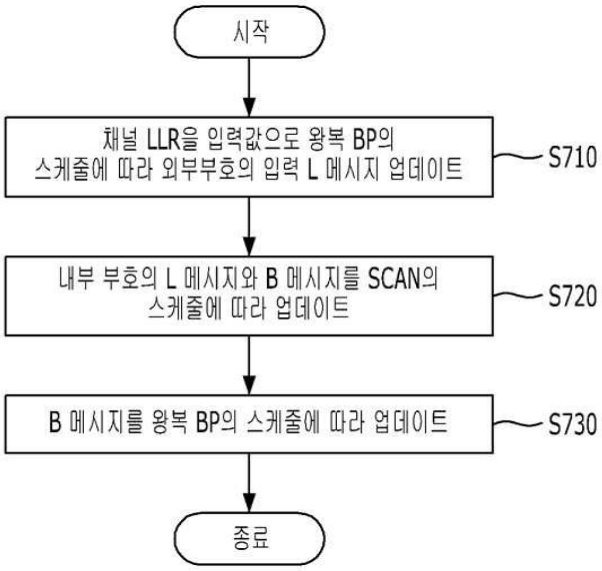
도면6


1
3
C_0
1
C_1
2
C_2
2
1
3
C'_0
1
1
1
1
C'_1
2
C'_2
2
C'_3
2
C'_4
2

도면7


시작
부호어 벡터를 수신
S610
SCAN과 왕복 BP를 기반으로
복수의 비트 복호화
S620
종료

도면8

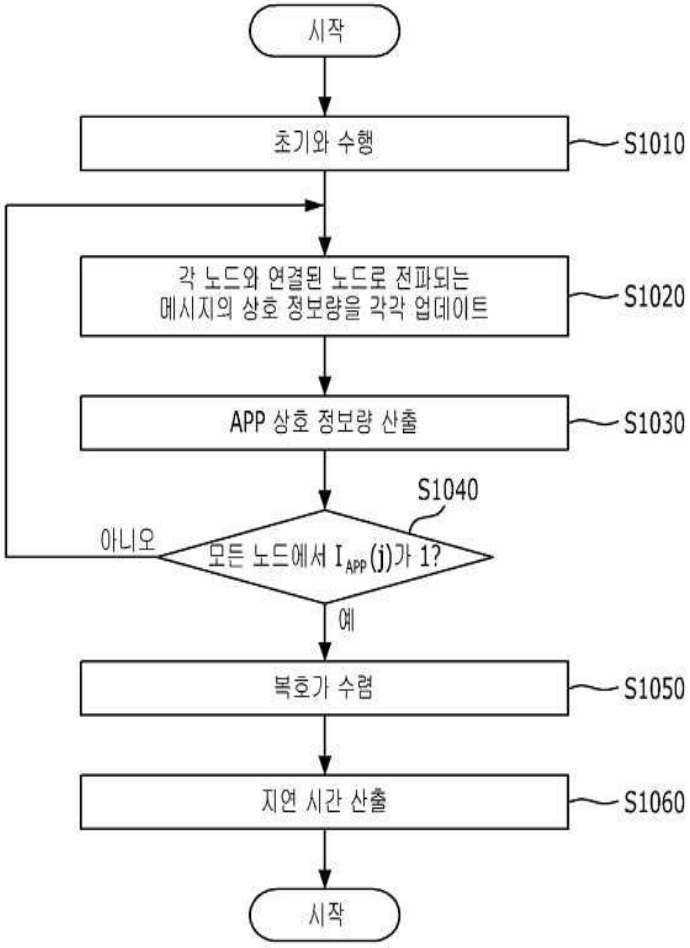

시작
채널 LLR을 입력값으로 왕복 BP의
스케줄에 따라 외부부호의 입력 L 메시지 업데이트
S710
내부 부호의 L 메시지와 B 메시지를 SCAN의
스케줄에 따라 업데이트
S720
B 메시지를 왕복 BP의 스케줄에 따라 업데이트
S730
종료

도면9

Algorithm 1: Proposed decoding

$L_0(0,\omega) \leftarrow$ LLRs from channel ,$\forall \omega \in \{0,\ldots,N-1\}$
$B_n(\phi,0) \leftarrow \infty, \forall \phi \in \mathcal{A}$
Set all the uninitialized LLRs to 0
for $l = 1,\ldots,l_{max}$ **do**
  for $\lambda = 0,\ldots,s-1$ **do**
    Update $L_{\lambda+1}(\phi,\omega)$ using (1) and (2)
  for $\mathcal{C}_i, \forall i \in \{1,\ldots,s\}$ **do in parallel**
    Update $L_{\lambda+1}(\phi,\omega)$ and $B_{\lambda+1}(\phi,\omega)$ in each inner code using (1)–(4) based on the serial message updating schedule
  for $\lambda = s-1,\ldots,0$ **do**
    Update $B_{\lambda+1}(\phi,\omega)$ using (3) and (4)
for $i = 0,\ldots,N-1$ **do**
  if $B_n(i,0) + L_n(i,0) \geq 0$ **then** $\hat{u}_i \leftarrow 0$
  else $\hat{u}_i \leftarrow 1$

도면10

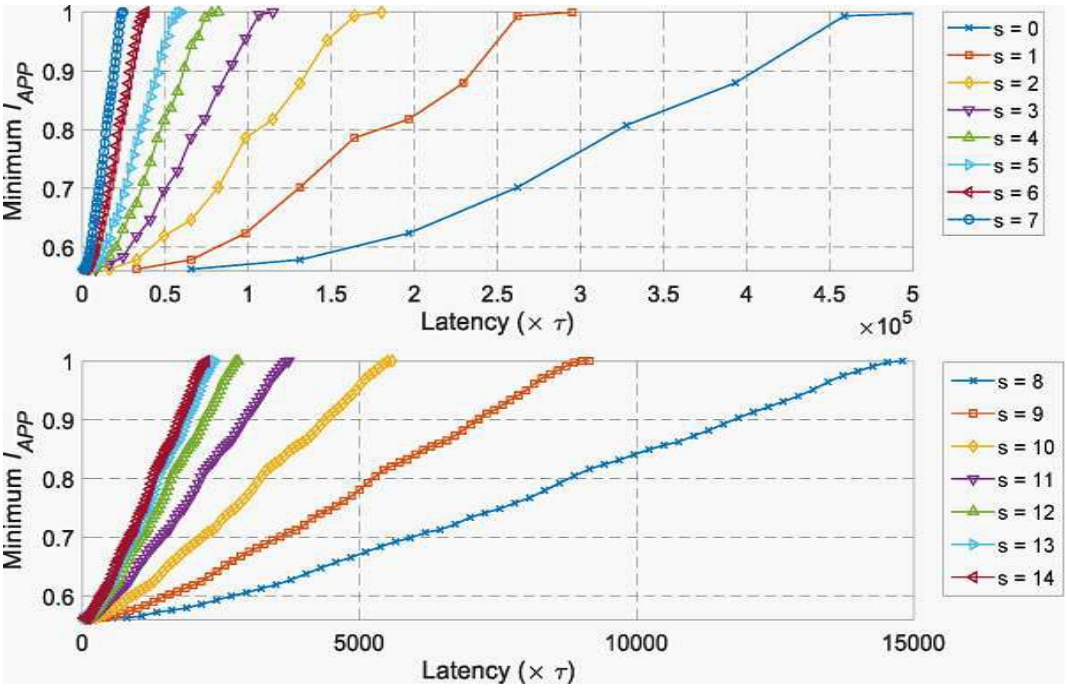

시작
초기와 수행
S1010
각 노드와 연결된 노드로 전파되는
메시지의 상호 정보량을 각각 업데이트
S1020
APP 상호 정보량 산출
S1030
S1040
아니오
모든 노드에서 $I_{APP}(j)$가 1?
예
복호가 수렴
S1050
지연 시간 산출
S1060
시작

도면11

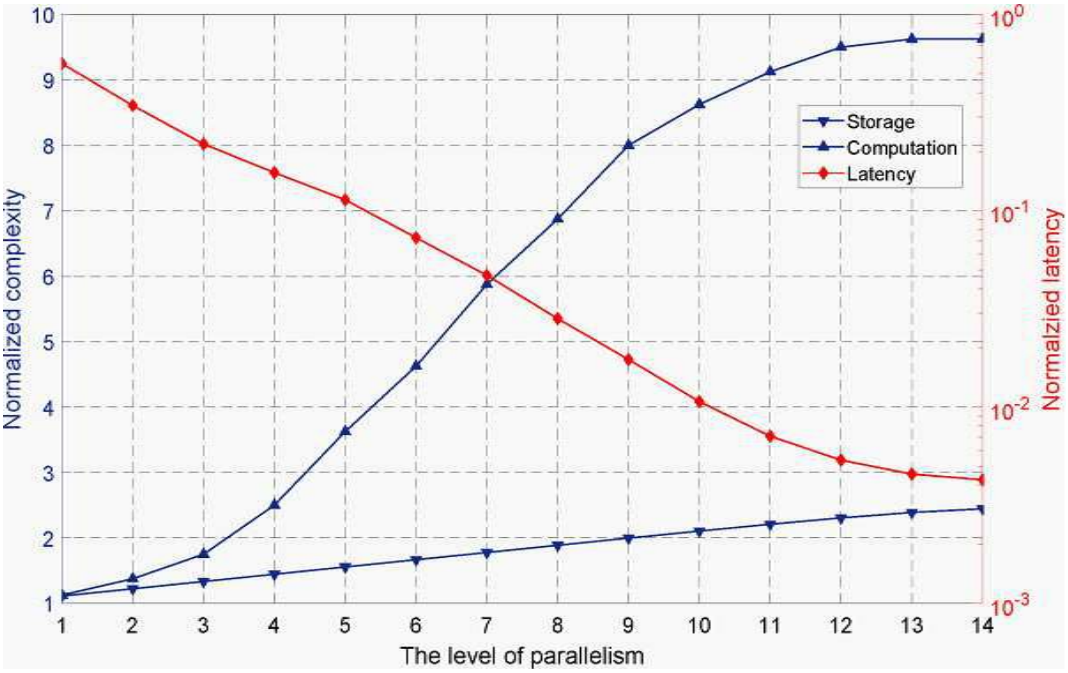
Algorithm 2: Convergence of the proposed decoding

$I_0^L(0,\omega) \leftarrow J\left(\sqrt{8RE_b/N_0}\right), \forall \omega \in \{0,\ldots,N-1\}$
$I_n^B(\phi,0) \leftarrow 1, \forall \phi \in \mathcal{A}$
Set all the uninitialized mutual information to 0
while $l < l_{max}$ **do**
  for $\lambda = 0,\ldots,s-1$ **do**
    Update $I_{\lambda+1}^L(\phi,\omega)$ using (11) and (12)
  for $\mathcal{C}_i, \forall i \in \{1,\ldots,s\}$ **do in parallel**
    Update $I_{\lambda+1}^L(\phi,\omega)$ and $I_{\lambda+1}^B(\phi,\omega)$ in each inner code using (11)–(14) based on the serial message updating schedule
  for $\lambda = s-1,\ldots,0$ **do**
    Update $I_{\lambda+1}^B(\phi,\omega)$ using (13) and (14)
  for $j = 0,\ldots,N-1$ **do**
    Calculate $I_{\text{APP}}(j)$ using (9)
  if $\min_{\forall j \in \mathcal{A}} I_{APP}(j) == 1$ **then**
    $l_s \leftarrow l$, $l \leftarrow l_{max}$
  else
    $l \leftarrow l+1$

도면12


Minimum I_{APP}
Latency (× τ)
×10^5
s = 0
s = 1
s = 2
s = 3
s = 4
s = 5
s = 6
s = 7
s = 8
s = 9
s = 10
s = 11
s = 12
s = 13
s = 14

도면13


Normalized complexity
Normalzied latency
The level of parallelism
Storage
Computation
Latency