



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0082317
(43) 공개일자 2012년07월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H03M 13/11 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0045223

(22) 출원일자 2011년05월13일

심사청구일자 2011년05월13일

(30) 우선권주장

1020110003735 2011년01월13일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

허준

서울특별시 강남구 광평로10길 6, 한솔마을아파트 206동 103호 (일원동)

임현호

서울특별시 강동구 상암로79길 62, 주공아파트 715동 503호 (상일동)

(74) 대리인

김정훈, 이건주

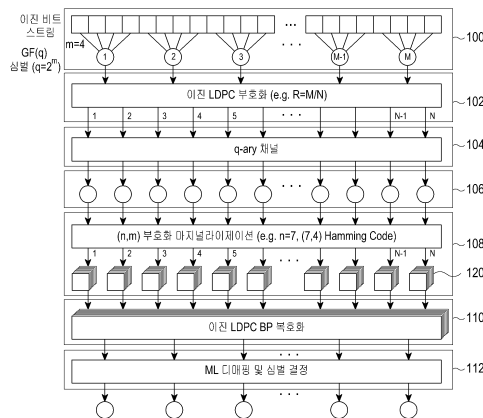
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 무선 통신 시스템에서의 LDPC 부호화 및 복호화 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 비이진 채널에서의 LDPC 복호화 방법 및 장치에 관한 것으로서, 심벌 크기에 따라 데이터의 비트들을 묶어 LDPC 부호화하는 방법과, 패리티 확률 정보를 추가하는 방식으로 비이진 채널에서 LDPC 복호화를 하여 부호화된 마지널라이제이션(Coded Marginalization) 기법을 제공함으로써, 채널 확률 정보를 이진 확률 정보로 마지널라이제이션(marginalization) 하는 부분에서 비롯되는 확률 정보 손실을 줄일 수 있고, 성능의 손실을 최소화 하면서 복호화를 위한 계산의 복잡도를 현저하게 낮출 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1003561820100110031001391810035618201001
부처명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	산업원천기술개발사업
연구과제명	차세대 지상파 3D HDTV를 위한 고효율 전송기술 개발
주관기관	경북대학교
연구기간	2010.03.01 ~ 2011.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

무선 통신 시스템의 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화 방법에 있어서,

변조 방식에 따라서 하나의 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트 개수만큼의 비트들로 전송 비트 스트림을 묶어서 하나 이상의 제1 벡터를 생성하는 과정;

상기 생성된 제1 벡터를 LDPC 부호화하여 하나 이상의 제2 벡터를 생성하는 과정; 및

상기 생성된 제2 벡터를 변조하여 상기 전송 심벌을 생성하고, 상기 생성된 전송 심벌을 송신하는 과정을 포함하는 LDPC 부호화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 벡터는 비이진 변조 방식에 의해 변조됨을 특징으로 하는 LDPC 부호화 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 비이진 변조 방식은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 및 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 중 하나임을 특징으로 하는 LDPC 부호화 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 벡터를 생성하는 과정에 앞서, 상기 전송 비트 스트림을 BCH(Bose, Chaudhuri, Hocque-nghem) 부호화 하는 과정을 더 포함함을 특징으로 하는 LDPC 부호화 방법.

청구항 5

무선 통신 시스템에서 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화를 이용하는 송신 장치에 있어서,

변조 방식에 따라서 하나의 전송 심벌에 매핑되는 비트 개수만큼의 비트들로 전송 비트 스트림을 묶어서 하나 이상의 제1 벡터를 생성하고, 상기 생성된 제1 벡터를 LDPC 부호화하여 하나 이상의 제2 벡터를 생성하는 LDPC 부호기; 및

상기 생성된 제2 벡터를 변조하여 상기 전송 심벌을 생성하고, 상기 생성된 전송 심벌을 송신하는 변조기를 포함하는 송신 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 변조기는, 상기 제2 벡터를 비이진 변조 방식에 의해 변조함을 특징으로 하는 송신 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 비이진 변조 방식은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 및 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 중 하나임을 특징으로 하는 송신 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전송 비트 스트림을 BCH(Bose, Chaudhuri, Hocque-nghem) 부호화 하여 상기 LDPC 부호기에 입력하는 BCH

부호기를 더 포함함을 특징으로 하는 송신 장치.

청구항 9

무선 통신 시스템의 LDPC(Low Density Parity Check) 복호화 방법에 있어서,

전송 심벌을 수신하여 복조하는 과정;

상기 복조된 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트에 대응되는 서로 다른 선형 부호들을 생성하는 과정;

상기 전송 심벌의 확률 정보를, 상기 서로 다른 선형 부호들에 대한 이진 확률 정보들로 변형하는 부호화 마지널라이제이션 과정;

상기 변형된 이진 확률 정보들 각각에 대하여 BP(Belief Propagation) 알고리즘을 수행하여 상기 이진 확률 정보들을 갱신하는 과정; 및

상기 갱신된 이진 확률 정보들을 이용하여 ML(Maximum Likelihood) 알고리즘을 수행하여 복호화 심벌을 선택하고 상기 선택된 복호화 심벌을 출력하는 과정을 포함하는 LDPC 복호화 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 수신된 전송 심벌은 비이진 변조 방식에 상응하여 복조됨을 특징으로 하는 LDPC 복호화 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 비이진 변조 방식은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 및 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 중 하나임을 특징으로 하는 LDPC 복호화 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 출력된 복호화 심벌을 BCH(Bose, Chaudhuri, Hocque-nghem) 복호화 하는 과정을 더 포함함을 특징으로 하는 LDPC 복호화 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 서로 다른 선형 부호들의 개수는 n 이고, 상기 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트의 개수는 m 이며, $m \leq n < 2^m$ 임을 특징으로 하는 LDPC 복호화 방법.

청구항 14

무선 통신 시스템에서 LDPC(Low Density Parity Check) 복호화를 이용하는 수신 장치에 있어서,

전송 심벌을 수신하여 복조하는 복조기; 및

상기 복조된 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트에 대응되는 서로 다른 선형 부호들을 생성하고, 상기 전송 심벌의 확률 정보를 상기 서로 다른 선형 부호들에 대한 이진 확률 정보들로 변형하는 부호화 마지널라이제이션을 수행하고, 상기 변형된 이진 확률 정보들 각각에 대하여 BP(Belief Propagation) 알고리즘을 수행하여 상기 이진 확률 정보들을 갱신하고, 상기 갱신된 이진 확률 정보들을 이용하여 ML(Maximum Likelihood) 알고리즘을 수행하여 복호화 심벌을 선택하고 상기 선택된 복호화 심벌을 출력하는 LDPC 복호기를 포함하는 수신 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 복조기는, 상기 수신된 전송 심벌을 비이진 변조 방식에 상응하여 복조함을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 비이진 변조 방식은 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 및 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 중 하나임을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 출력된 복호화 심벌을 BCH(Bose, Chaudhuri, Hocque-nghem) 복호화 하는 BCH 복호기를 더 포함함을 특징으로 하는 수신 장치.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 서로 다른 선형 부호들의 개수는 n 이고, 상기 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트의 개수는 m 이며, $m \leq n < 2^m$ 임을 특징으로 하는 수신 장치.

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 무선 통신 시스템에서의 LDPC(Low Density Parity Check; 저밀도패리티체크) 부호화와 복호화 방법 및 장치에 관한 것으로서, 특히 데이터를 펄스 진폭 변조나 직교 진폭 변조와 같은 비이진(non-binary) 방식을 사용하여 전송하는 통신 시스템에서 신호대잡음 대비 오류율 성능의 효율을 높이기 위한 LDPC 부호화와 복호화 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

LDPC(Low Density Parity Check; 저밀도패리티체크) 부호화된 데이터를 복호화하는 과정에서는, 변조된 심벌의 확률 정보를 비트 단위의 확률 정보로 변환하기 위한 과정이 수행된다. 여기서, 변조된 심벌의 확률 정보를 이진 비트들의 확률 정보로 변환하는(또는 초기화하는) 과정을 마지널라이제이션(marginalization) 과정이라 한다.

[0003]

펄스 진폭 변조(PAM; Pulse Amplitude Modulation) 방식이나 직교 진폭 변조(QAM; Quadrature Amplitude Modulation) 방식과 같은 비이진(non-binary) 변조 방식을 사용할 경우, LDPC 복호를 위해 심벌의 확률 정보를 비트 단위의 파스테리어라이(posteriori) 확률 정보로 마지널라이제이션(marginalization) 해야 한다. 이 마지널라이제이션 과정을 통해 변환된(또는 초기화된) 이진 비트들의 확률 정보는 BP(Belief Propagation; 신뢰도 확산) 알고리즘을 통해서 갱신된다. 상기 BP 알고리즘으로 갱신된 각 비트의 확률 정보들은, 모두가 확률적으로 독립이라는 가정 아래서 복호화를 하기 때문에, 변조 심벌의 비트 간 연결 확률 정보가 손실된다. 즉, PAM이나 QAM과 같은 변조 방식을 이용하는 비이진(non-binary) 채널은, BPSK(Binary Phase-Shift Keying; 이진 위상 편이 방식) 변조 방식을 사용한 이진(binary) 채널과는 다르게, 심벌 정보를 이진 확률 정보로 마지널라이제이션(marginalization) 하는 과정에서 비이진 심벌을 구성하는 비트 정보 사이의 상관관계 정보가 손실되어 전체 시스템의 성능 저하가 초래된다.

[0004]

또한, 변조 심벌 자체의 확률 정보를 BP 알고리즘으로 복호화 하는 방법의 계산 복잡도는 비트 단위의 마지널라이제이션(marginalization) 확률 정보를 이용한 복호화 방식의 계산 복잡도의 q (갈루아 필드의 크기) 배에 달한다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005]

본 발명은 LDPC 부호화된 데이터를 펄스 진폭 변조나 직교 진폭 변조 방식으로 전송하는 통신 시스템의 복호화 과정에서 채널에 의해 왜곡된 변조 심벌의 확률 정보를 비트 단위의 확률 정보로 변환하며 발생하는 손실

에 대한 해결책을 제공한다.

- [0006] 또한, 본 발명은 LDPC 부호를 펄스 진폭 변조나 직교 진폭 변조와 같은 비이진 변조 방식을 이용하여 전송하는 통신 시스템에서 비교적 낮은 복호화 계산 복잡도를 가지면서 비트 간 연결 확률 정보 손실을 최소화 할 수 있는 복호화 방식을 제공한다.
- [0007] 또한, 본 발명은 LDPC 부호화된 데이터를 펄스 진폭 변조나 직교 진폭 변조의 변조 방식을 사용하여 전송하는 통신 시스템에서 신호대잡음 대비 오류율 성능의 효율을 높이는 LDPC 부호화 및 복호화 알고리즘을 제공한다.
- [0008] 또한, 본 발명은 차세대 3D-HDTV(3 Dimensional High Definition television) 시스템이 요구하는 높은 전송 효율을 확보하기 위해 사용되는 비이진 채널에 적합한 LDPC 부호화 및 복호화 알고리즘을 제공한다.
- [0009] 또한, 본 발명은 갈루아 필드 $GF(q)$ 에서 정의된 비이진 BP 알고리즘이 이진 BP 알고리즘에 비해 갖는 q 배의 계산 복잡도를 개선하기 위한 LDPC 복호화 알고리즘을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명은 이러한 과제를 해결하기 위하여 심벌 크기에 따라 데이터의 비트들을 묶어 LDPC 부호화하는 방법과, 부호화된 마지널라이제이션(Coded Marginalization) 기법을 사용하여 LDPC 복호화하는 방법을 제안한다.
- [0011] 또한, 본 발명은 패리티 확률 정보를 추가하는 방식으로 비이진 채널에서 LDPC 복호화를 하여 마지널라이제이션(marginalization)을 수행하는 과정을 포함하는 LDPC 복호화하는 방법을 제안한다.
- [0012] 본 발명은 무선 통신 시스템의 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화 방법에 있어서, 변조 방식에 따라서 하나의 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트 개수만큼의 비트들로 전송 비트 스트림을 묶어서 하나 이상의 제1 벡터를 생성하는 과정; 상기 생성된 제1 벡터를 LDPC 부호화하여 하나 이상의 제2 벡터를 생성하는 과정; 및 상기 생성된 제2 벡터를 변조하여 상기 전송 심벌을 생성하고, 상기 생성된 전송 심벌을 송신하는 과정을 포함하는 LDPC 부호화 방법을 제공한다.
- [0013] 또한, 본 발명은 무선 통신 시스템에서 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화를 이용하는 송신 장치에 있어서, 변조 방식에 따라서 하나의 전송 심벌에 매핑되는 비트 개수만큼의 비트들로 전송 비트 스트림을 묶어서 하나 이상의 제1 벡터를 생성하고, 상기 생성된 제1 벡터를 LDPC 부호화하여 하나 이상의 제2 벡터를 생성하는 LDPC 부호기; 및 상기 생성된 제2 벡터를 변조하여 상기 전송 심벌을 생성하고, 상기 생성된 전송 심벌을 송신하는 변조기를 포함하는 송신 장치를 제공한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 무선 통신 시스템의 LDPC(Low Density Parity Check) 복호화 방법에 있어서, 전송 심벌을 수신하여 복조하는 과정; 상기 복조된 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트에 대응되는 서로 다른 선형 부호들을 생성하는 과정; 상기 전송 심벌의 확률 정보를, 상기 서로 다른 선형 부호들에 대한 이진 확률 정보들로 변형하는 부호화 마지널라이제이션 과정; 상기 변형된 이진 확률 정보들 각각에 대하여 BP(Belief Propagation) 알고리즘을 수행하여 상기 이진 확률 정보들을 갱신하는 과정; 및 상기 갱신된 이진 확률 정보들을 이용하여 ML(Maximum Likelihood; 최대 우도) 알고리즘을 수행하여 복호화 심벌을 선택하고 상기 선택된 복호화 심벌을 출력하는 과정을 포함하는 LDPC 복호화 방법을 제공한다.
- [0015] 또한, 본 발명은 무선 통신 시스템에서 LDPC(Low Density Parity Check) 복호화를 이용하는 수신 장치에 있어서, 전송 심벌을 수신하여 복조하는 복조기; 및 상기 복조된 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트에 대응되는 서로 다른 선형 부호들을 생성하고, 상기 전송 심벌의 확률 정보를 상기 서로 다른 선형 부호들에 대한 이진 확률 정보들로 변형하는 부호화 마지널라이제이션을 수행하고, 상기 변형된 이진 확률 정보들 각각에 대하여 BP(Belief Propagation) 알고리즘을 수행하여 상기 이진 확률 정보들을 갱신하고, 상기 갱신된 이진 확률 정보들을 이용하여 ML(Maximum Likelihood) 알고리즘을 수행하여 복호화 심벌을 선택하고 상기 선택된 복호화 심벌을 출력하는 LDPC 복호기를 포함하는 수신 장치를 제공한다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호화는, 이진(Binary) LDPC 부호를 비이진 채널 모델에서 채널 부호로 적용할 때, 채널의 확률 정보를 이진 확률 정보로 마지널라이제이션(marginalization) 하는 과정에서 비롯되는 확률 정보 손실을 줄일 수 있다.
- [0017] 또한, $GF(q)$ 에서 정의된 BP 알고리즘은 이진 BP 알고리즘을 사용할 경우와 비교했을 때 $GF(q)$ 의 필드 크기

(즉, q)에 따라 선형적으로 증가하는 복잡도를 갖는 반면에, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화(Coded marginalization) 기법은 성능의 손실을 최소화 하면서도 복호화를 위한 계산의 복잡도를 현저하게 낮출 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 통신 시스템이 부호화 마지널라이제이션 기법을 적용하여 LDPC 부호화하는 방법과 복호화 하는 방법을 설명하는 도면,
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호화 및 복호화 방법이 적용된 송/수신 장치의 구조를 설명하는 도면,
- 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 송신 장치의 LDPC 부호화 방법을 예시하는 도면,
- 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수신 장치의 LDPC 복호화 방법을 예시하는 도면,
- 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 복호화 방법을 적용한 16-PAM 채널에서 LDPC(504,252)의 부호 방식에 따른 SNR 대비 BER을 비교 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0020] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수신장치는, 수신한 변조된 심벌의 확률 정보를 복호화 할 수 있는 비트 단위의 확률 정보로 변환하기 위해, 심벌을 표현하는 비트들을 부호화 하는 과정을 더 수행한다. 즉, 상기 수신장치는 심벌을 표현하는 비트들을 부호화 하고, 상기 변조된 심벌의 확률 정보를 상기 부호화된 부호의 각 비트들의 확률 정보로 변환하고, 상기 변환된 확률정보를 이용하여 LDPC 부호를 복호화 하는 방식을 채용한다. 이하에서는, 심벌을 표현하는 비트들을 부호화 하고 상기 부호화된 부호의 각 비트들의 확률 정보로 변환하는 과정을 부호화 마지널라이제이션(coded marginalization)이라 칭한다.
- [0021] $q=2^m$ 의 크기를 갖는 갈루아 필드(GF; Galois Field)에서 정의되는 수신 심벌을 m/n 의 부호율(coding rate)을 갖는 부호를 이용해 LDPC 부호화 및 복호화를 수행하는 과정은 다음과 같다. 여기서, q 는 변조 심벌을 정의하는 갈루아 필드의 크기를 나타내며, $q=2^m$ 로 표현된다.
- [0022] 도 1는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 통신 시스템이 부호화 마지널라이제이션 기법을 적용하여 LDPC 부호화하는 방법과 복호화 하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 송/수신 장치가 LDPC 부호화된 심벌을 송신 하고 수신하는 과정을 개략적으로 설명하고 있다. 구체적으로, 100 단계 내지 104 단계는 송신 단에서 수행되는 동작을 예시하고 있고, 106 단계는 송신 단에서 송신된 심벌이 수신 단으로 전송되는 과정을 간략하게 도시하고 있으며, 108 단계 내지 112 단계는 수신 단에서 수행되는 동작을 예시하는 것이다.
- [0024] 100단계에서, m 개의(예를 들어, $m=4$) 비트(즉, 정보 비트)를 한 개의 심벌로 매핑(mapping)하는 변조 방식이 사용될 경우, 송신 장치는 전송 비트 스트림 중에서 m 개의 비트를 하나의 벡터로 묶어 총 M 개의 벡터(또는 ‘제1 벡터’라 함)를 만드는 과정을 수행한다. 상기 ‘묶는’ 과정은 전송 비트 스트림을 m 개씩 분할하거나, 또는 그룹화하는 동작이 될 수 있다.
- [0025] 102 단계에서, 상기 송신 장치는 상기 M 개의 벡터를 이용하여 M/N 부호율의 LDPC 부호화를 하여 N 개의 벡터(또는 ‘제2 벡터’라 함) 부호를 생성한다. 상기 102 단계의 수행 결과는 길이가 m 인 벡터 M 개와 M/N 부호율을 갖는 LDPC 부호의 생성 행렬간 텐서 프로덕트(tensor product; 3차원 벡터 연산)와 등가가 된다.
- [0026] 104 단계에서, 상기 생성된 N 개의 벡터들은 변조되는데, 상기 N 개의 벡터들 각각은 한 개의 변조 심벌에 매핑되어 전송된다. 선택적으로, 상기 104 단계에서 적용되는 변조 방식은, 예를 들어 16-PAM 또는 16-QAM 과 같은 비이진 변조 방식이 적용될 수 있다.

- [0027] 106 단계에서, 송신 장치에서 전송된 변조 심벌이 임의의 수신 장치에 수신되는 과정을 간단하게 도시하였다.
- [0028] 송신 장치로부터 전송된 심벌을 수신한 수신 장치는, 상기 심벌을 수신하고 채널 추정 또는 디인터리빙(de-interleaving)과 같은 LDPC 복호화를 위한 하나 이상의 전처리 과정(pre-processing)을 수행할 수 있다(미도시).
- [0029] 108 단계에서, 상기 수신 장치는 채널 추정을 통해 알아낸 채널 정보를 이용하여 수신된 심벌들의 확률 정보를 초기화(즉, 마지널라이제이션) 한다.
- [0030] 구체적으로, 상기 수신 장치는, 상기 수신된 심벌의 확률 정보를, 한 개의 심벌에 매핑될 수 있는 m 개의 비트(즉, 정보 비트)에 대한 서로 다른 n 개의 선형 부호들의 확률로 각각 마지널라이제이션(marginalization) 하는데, 이 과정이 부호화 마지널라이제이션(Coded Marginalization)이다. 108 단계는, 상기 수신 장치가 16진(16-ary) 채널에서 $m=4$ 이고 $n=7$ 인 (7, 4) 해밍 부호(Hamming Code)를 이용하여 선형 부호들의 조합을 생성하고, 상기 생성된 선형 부호들을 이용하여 부호화 마지널라이제이션(Coded Marginalization)을 수행하는 과정을 예시하고 있다.
- [0031] 즉, 상기 선형 부호들의 조합은 (n, m) 선형 부호의 생성 행렬로 나타낼 수 있으며, 상기 부호화 마지널라이제이션 과정은, 예를 들어, 2진 XOR(exclusive OR) 연산자를 사용하여 그 결과가 1이거나 0일 확률 정보를 구하는 과정을 포함할 수 있다. 바람직하게는, n 의 값은 m 보다 크거나 같고 2^m 보다 작은 수로 선택될 수 있다. 상기 부호화 마지널라이제이션의 결과로, 상기 수신 장치는 수신 심벌의 개수에 상응하는 N 개의 이진 확률 정보들의 세트를 생성한다.
- [0032] 110 단계에서, 상기 수신 장치는, 같은 선형 부호의 조합으로 얻어진 N 개의 이진 확률 정보들끼리 BP(Belief Propagation) 알고리즘을 이용하여 LDPC 복호화를 진행한다. (n, m) 선형 부호를 사용할 경우 n 개의 선형 조합이 존재하기 때문에, n 번의 BP 알고리즘을 이용한 복호를 진행한다. 식별번호 120을 통해서 임의의 심벌에 대하여 부호화 마지널라이제이션의 결과로 생성된 이진 확률 정보를 나타내는 n 개의 선형 조합을 개념적으로 예시하였다. BP 알고리즘에 관한 더 이상의 상세한 설명은 본 발명의 본질을 흐릴 수 있으므로 생략한다.
- [0033] 112 단계에서, 상기 수신 장치는, 상기 BP 알고리즘에 의해 갱신된 심벌 당 n 개 선형 조합들의 확률 정보를 바탕으로 결합 확률을 극대화 할 수 있는 부호에 해당하는 심벌을 선택한다. 예를 들어, 상기 수신 장치는 ML(Maximum Likelihood) 알고리즘을 이용하여 심벌을 선택할 수 있다. ML 알고리즘에 관한 더 이상의 상세한 설명은 본 발명의 본질을 흐릴 수 있으므로 생략한다.
- [0034] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법은 심벌을 구성하는 m 개의 비트를 하나의 벡터로 묶어서 부호화하고 변조 및 송신하므로, 복호화 단계에서 심벌을 표현하는 비트들 사이의 선형 조합은 비트 간 연결 확률 정보 일부를 보존한 상태로 비이진(nonbinary) 변조 방식을 사용한 통신 시스템의 LDPC 복호화를 진행할 수 있다. 따라서, 기존 비트 단위의 마지널라이제이션(Marginalization)을 이용한 시스템에 비해 채널로부터 획득한 확률 정보의 손실이 줄어들기 때문에 신호 대 잡음 대비 비트 오류율 성능에서 이득을 얻을 수 있다.
- [0035] 또한, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 복호화 계산의 복잡도는, 이진 변조 방식으로 변조된 심벌을 비트 단위 마지널라이제이션(Marginalization)하여 복호화하는 방식과 비교할 때, 각 심벌 당 선형 조합의 개수인 n 값의 설정에 따라서 n/m 배의 값을 가진다. 한편, 비이진 변조 방식으로 변조된 심벌 자체의 확률 정보를 BP 알고리즘으로 복호화하는 비이진 LDPC 복호화 방식이 항상 q 배의 계산 복잡도를 가지고, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 복호화 방식에서 n 의 설정 가능 최대값이 $2^m=q$ 라는 것을 고려하면, 본 발명의 복호화 방식이 낮은 복잡도를 갖는 것을 알 수 있다.
- [0036] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 LDPC 부호화 및 복호화 방법이 적용된 송/수신 장치의 구조를 설명하는 도면이다.
- [0037] 구체적으로, 도 2의 송/수신 장치는 FEC(Forward error correction; 순방향에러정정)을 위한 결합 구조를 도시하고 있다.
- [0038] 송신 장치는 FEC 부호화 부(200) 및 변조기(208)를 포함한다. 상기 송신 장치는 상기 FEC 부호화부(200)에서 생성한 송신 심벌을 상기 변조기(208)를 통하여 변조하여 안테나를 통해 송신한다. 선택적으로, 상기 송신 장치는 상기 변조기에 의한 변조 과정 후에 RF(Radio Frequency) 처리 과정을 더 수행하여 거쳐서 안테나로 송신할 수도 있다.

- [0039] 수신 장치는 FEC 복호화부(210) 및 복조기(218)를 포함한다. 상기 수신 장치는 안테나를 통하여 심벌을 수신하고 상기 수신한 심벌을 상기 복조기(218)로 복조하고, 상기 복조한 심벌을 상기 FEC 복호화부(210)을 통하여 복호화한다. 선택적으로, 상기 수신 장치는 안테나를 통하여 수신한 심벌을 변조하기 전에 RF 처리 과정을 더 수행할 수도 있다.
- [0040] 송신 장치의 FEC 부호화부(200)는 LDPC 부호기(204), 및 비트 인터리버(206)를 포함할 수 있다. 상기 송신 장치의 상기 FEC 부호화부(200)는 선택적으로 BCH 부호기(202)를 더 포함할 수도 있다. 예를 들어, DVB-T2 표준은 BCH(Bose, Chaudhuri, Hocque-nghem) 부호와 LDPC 부호의 결합 구조를 채널 부호의 표준으로 채용하고 있다. 상기 송신 장치는 송신하기 위한 신호를 LDPC 부호기(204)를 통해 LDPC부호화 하고, 비트 인터리버(206)으로 인터리빙하여 변조기(208)에 전달한다. 선택적으로, 상기 송신 장치는 상기 LDPC 부호기에 입력하기 위한 신호를 BCH 부호기(202)를 통해 먼저 부호화한 후에 입력할 수도 있다. 이하에서, BCH 부호와 인터리버(interleave)에 대한 자세한 설명은 본 발명의 본질을 흐릴 수 있으므로 생략하였다.
- [0041] 예를 들어, 앞서 설명한 도 1에서 수행되는 과정 중, 100 과정 내지 102과정은 상기 LDPC 부호기(204)에 의해 수행될 수 있고, 104 과정은 상기 변조기(208)에 의해 수행될 수 있다.
- [0042] 수신 장치의 FEC 복호화부(210)은 비트 디-인터리버(216), 및 LDPC 복호기(214)를 포함할 수 있다. 상기 수신 장치의 FEC 복호화부(210)은 선택적으로 BCH 복호기(212)를 더 포함할 수도 있다. 예를 들어, DVB-T2 표준은 BCH 부호와 LDPC 부호의 결합 구조를 채널 부호의 표준으로 채용하고 있다. 상기 수신 장치는, 복조기(218)로부터 입력되는 복조된 심벌에 대하여 비트 디-인터리버(216)를 이용하여 디-인터리빙(de-interleaving)하고, 상기 디-인터리빙된 심벌을 LDPC 복호기(214)를 통해 채널의 확률 정보를 바탕으로 BP 알고리즘을 이용하여 LDPC 복호를 수행한다. 선택적으로, 상기 수신 장치는 상기 LDPC 복호된 신호를 BCH 복호기(212)를 이용하여 BCH 복호한다.
- [0043] 예를 들어, 앞서 설명한 도 1에서 수행되는 과정 중, 108 과정 내지 112 과정은 상기 LDPC 복호기(214)에 의해 수행될 수 있다.
- [0044] 이하에서, 복조, 비트 디-인터리버, BCH 복호에 관한 자세한 설명을 본 발명의 본질을 흐릴 수 있으므로 생략하였다.
- [0045] 이하에서, 송신 장치의 LDPC 복호화 과정을 수학적식을 참조하여 자세히 설명한다.
- [0046] PAM이나 QAM과 같은 비이진(Nonbinary) 변조 방식을 사용할 경우, LDPC 복호를 위해 심벌의 확률 정보를 아래의 수학적식 1과 같은 비트 단위의 파스테리어라이(posteriori) 확률 정보로 마지널라이제이션(marginalization) 해야 한다.

수학적식 1

$$P(x_i = a | \mathbf{y}) = \sum_{\mathbf{x}: x_i = a} P(\mathbf{x} | \mathbf{y}), \quad a \in \{0, 1\}$$

[0047]

- [0048] 여기서, $\mathbf{y}$ 는 전송된 심벌 $\mathbf{x} \in X$ 가 채널을 통해 수신된 값이며, x_i 는 심벌 $\mathbf{x}$ 의 i 번째 비트(bit) 값이다. 여기서, X 는 송신된 심벌의 집합이다. BP 알고리즘으로 갱신된 파스테리어라이(posteriori) 확률 정

$$\hat{P}(x_i = a | \mathbf{y})$$

보를 라고 할 때 최적의 선택은 다음의 수학적식 2 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg \max_{\mathbf{a}} \prod_{\mathbf{a}: a_i} \hat{P}(x_i = a_i | \mathbf{y}), \quad \mathbf{a} \in X$$

[0049]

[0050]

상기 수학식 2는 각 비트의 파스테리어라이(posteriori) 확률 정보가 서로 독립이라는 가정하에 최적이기 때문에, 각 비트 정보가 독립이 아닌 비이진 채널 전송의 경우에는 복호 성능의 열화를 야기할 수 있다. 그러나, 이진 LDPC 부호는 비이진 LDPC 부호로 일반화 될 수 있고, 비이진 LDPC 부호에 대한 BP 복호가 심벌의 확률 정보 손실이 적기 때문에 성능 면에서 유리하다.

[0051]

따라서, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 송신 장치는 q-진(q-ary) 채널에서 심벌의 확률 정보 손실을 줄이기 위해 m개의 이진 LDPC 부호를 텐서 프로덕트(tensor product)로 묶어서 $GF(2^m)$ 에서 정의되는 비이진 LDPC 부호로 변환하여 송신하고, 수신 장치는 이와 같은 변환된 LDPC 부호를 복호함으로써 BP 복호의 성능상 이점을 얻을 수 있게 된다.

[0052]

q-진(q-ary) BP 복호는 채널로부터 받은 심벌의 확률 정보 손실을 최소화 하는데 효과적이지만, 같은 양의 데이터

를 비트 단위 마지널라이제이션(marginalization) 할 경우의 연산량

$$O(\log_2 q)$$

와 비교하

면, 갈루아 필드의 크기 q 에 따라 선형적으로 증가하는

$$O(q \log_2 q)$$

의 높은 복호 복잡도를 갖는다.

[0053]

예를 들어, 기존 HDTV에 비해 빠른 데이터 처리를 요구하는 차세대 3D-HDTV 시스템에서 이와 같은 복호 복잡도는 시스템의 전체적인 처리 속도에 부담이 될 수 있다.

[0054]

본 발명에 따른 부호화 마지널라이제이션(Coded Marginalization) 기법은 $GF(q=2^m)$ 에서 q-진(q-ary) 심벌의 확률 정보를 비트 단위의 확률 정보로 전환할 때, 추가적인 선형 부호들에 대한 확률 정보를 패리티(parity)로 부여한다. m개의 이진 비트로 표현 가능한 심벌에 대해 n 개의 선형 부호들의 집합을 다음 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

수학식 3

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n | \phi: GF(2^m) \rightarrow GF(2)\}$$

[0055]

[0056]

여기서, 부호화 마지널라이제이션(marginalization)을 위한 부호

$$C_{\Phi}(n, m)$$

은 다음의 수학식 4

와 같이 정의할 수 있다.

수학식 4

$$C_{\Phi} = \{\phi_1(\mathbf{x}), \phi_2(\mathbf{x}), \dots, \phi_n(\mathbf{x}) | \mathbf{x} \in GF(q)\}$$

[0057]

[0058]

도 2의 수신 장치는 C_{Φ} 를 기반으로 다음 수학식과 같은 마지널라이제이션(marginalization) 을 수행한

다.

수학식 5

$$\Pr[\phi(\mathbf{x}) = l] = \sum_{\mathbf{x} \in \text{GF}(q): \phi(\mathbf{x})=l} P(\mathbf{x}|\mathbf{y}), \quad l \in \{0,1\}$$

부호화 마지널라이제이션(Coded Marginalization)을 활용한 비이진 복호는 크게 BP와 ML(Maximum Likelihood; 최대 우도) 두 단계로 이루어진다.

BP 단계의 복호는 상기 수학식 5를 기반으로 초기화된 N 개의 심벌 각각에 대한 n개의 이진 확률 정보들에 대해 독립적인 2진 BP 알고리즘의 수행을 포함하며, 여기서 N은 부호화 마지널라이제이션 과정에 의해 생성된

심벌의 개수와 동일하다. ML 단계의 복호는 BP 단계에서 갱신된 $\{\phi_1, \dots, \phi_n\}$ 의 확률 정보

를 상호 독립이라는 가정 하에 C_Φ 중 결합 확률을 극대화 하는 부호에 해당하는 심벌을 선택한다.

이 복호 알고리즘은 충분히 큰 값의 N을 가정했을 때, $O(\log_2 q)$ 와 $O(q)$ 사이의 복호

복잡도를 보이며, $m \leq n < q$ 범위의 n 값의 선택에 따라 달라진다.

16-PAM의 비이진 채널에서 부호화 마지널라이제이션(Coded Marginalization) 기법을 활용한 LDPC의 복호 성능의 시뮬레이션 결과를 아래의 도 3을 통하여 확인할 수 있다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 송신 장치의 LDPC 부호화 방법을 예시하는 도면이다.

300 단계에서, 송신 장치는 변조 방식에 따라서 하나의 전송 심벌에 매핑되는 정보 비트 개수만큼의 비트들을 (예를 들어, 16-PAM에서는 m=4개의 비트씩) 묶어서 M개의 벡터(제1 벡터)를 생성한다.

310 단계에서, 상기 송신 장치는 상기 생성된 제1 벡터를 LDPC 부호화 하여 N개의 벡터(제2 벡터)를 생성한다. 상기 N개의 벡터는 송신 심벌과 대응된다. 그리고 상기 LDPC 부호화 하는 과정은 상기 제1 벡터에 대하여 M/N의 부호율을 갖는 LDPC 생성 행렬을 텐서 프로덕트 연산하는 것과 등가이다.

320 단계에서, 상기 송신 장치는 상기 LDPC 부호화된 벡터를 변조하고 무선 통신 채널을 통하여 송신한다. 바람직하게는, 상기 변조의 방식은 QAM 또는 PAM과 같은 비이진 변조 방식이 될 수 있다.

선택적으로, 상기 300 단계 이전에 전송 비트 스트림을 BCH 하는 과정을 더 포함할 수도 있다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수신 장치의 LDPC 복호화 방법을 예시하는 도면이다.

400 단계에서, 수신 장치는 통신 채널로부터 전송되는 심벌을 수신하여 복조하는 과정을 수행한다. 바람직하게는, 상기 변조의 방식은 QAM 또는 PAM과 같은 비이진 변조 방식이 될 수 있다.

410 단계에서, 상기 수신 장치는 상기 복조된 심벌에 대하여 부호화 마지널라이제이션을 수행한다. 구체적으로, 상기 수신 장치는 상기 심벌에 매핑되는 정보 m개의 비트에 대응되는 n 개의 서로 다른 선형 부호들을 생성한다. 그리고, 상기 수신 장치는 상기 전송 심벌의 확률 정보를 상기 생성된 서로 다른 선형 부호들에 대한 이진 확률 정보들로 변형하는 부호화 마지널라이제이션 과정을 수행한다. 바람직하게는, $m \leq n < 2^m$ 이다.

420 단계에서, 상기 수신 장치는 상기 변형된 이진 확률 정보들 각각에 대하여 BP 알고리즘을 수행하여 이진 확률 정보들을 갱신한다. 따라서, BP 알고리즘은 n 번 반복 수행될 수 있다.

430 단계에서, 상기 수신 장치는 상기 갱신된 이진 확률 정보들을 이용하여 ML 알고리즘을 수행하여 최대 확

를 정보를 갖는 부호에 상응하는 심벌을 복호화 심벌로 선택하여 출력할 수 있다.

[0074] 선택적으로, 상기 수신 장치는 상기 출력된 복호화 심벌을 BCH 복호화 하는 과정을 더 수행할 수도 있다.

[0075] 도 5는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 LDPC 복호화 방법을 적용한 16-PAM 채널에서 LDPC(504,252)의 복호 방식에 따른 SNR(Signal to Noise Ratio) 대비 BER(Bit Error Rate;비트 오류 확률)을 비교 설명하는 도면이다. 즉, 도 4는 N이 504이고 M이 252인 경우로써, 부호율(R) $252/504 = 1/2$ 가 적용되는 경우의 실험 결과이다.

[0076] 도 5를 참조하면, 부호화 마지널라이제이션을 위한 부호로써 (15,4) 아다마드(Hadamard) 부호를 사용하여 수행한 복호 결과가 부호화 마지널라이제이션을 위한 부호로써 (4, 4) 부호를 사용한 경우에 비하여 이득이 있다는 것을 확인할 수 있다.

[0077] 모든 선형 조합을 고려한 아다마드(Hadamard) 부호로서 (15,4) 아다마드(Hadamard) 부호를 마지널라이제이션(marginalization) 부호로 채용할 경우, $15 \approx 16 = 2^4 = q$ 이므로, 비이진 변조 심벌 자체의 확률 정보를

BP 알고리즘으로 복호화하는 방식에 비해 $1/\log_2 q = 1/4$ 의 복잡도를 갖지만 성능은 거의 동일함을 알 수 있다.

[0078] 이상에서 설명한 LDPC 부호화 및 복호화 기술은 일례로서, 3D-HDTV에 적용될 수 있다.

[0079] 기존 HDTV의 표준인 ATSC(Advanced Television System Committee)규격은 물리계층 신호 전송을 위하여 8-VSB(8-level vestigial sideband modulation) 기법을 사용하고 있다. 6MHz 대역에서 19.5Mbps의 전송량을 갖는 ATSC 시스템과 비교할 때, 차세대 3D-HDTV 시스템의 요구 전송량은 30Mbps/6MHz로 약 50% 이상의 효율 증대가 필요하다.

[0080] 8-VSB 전송은 3 비트(bit) 정보를 한 심벌로 8 가지 레벨의 신호 진폭으로 변조하는 8-PAM (pulse amplitude modulation) 방식으로 모델링 할 수 있으며, 차세대 3D-HDTV 시스템의 전송 효율을 높이기 위해 심벌 하나에 실어내는 비트 수를 늘릴 수 있는 QAM (quadrature amplitude modulation)과 같은 변조 방식으로 대체할 필요성이 대두되고 있다. 이미 유럽형 HDTV 전송 표준인 DVB-T2(Digital Video Broadcasting-Second Generation Terrestrial)는 다양한 크기의 QAM 성상도(constellation)를 적극 활용하고 있다.

[0081] 따라서, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호화 및 복호화 기술을 적용함으로써 3D-HDTV 표준이 요구하는 기술적 성능을 만족시킬 수 있다.

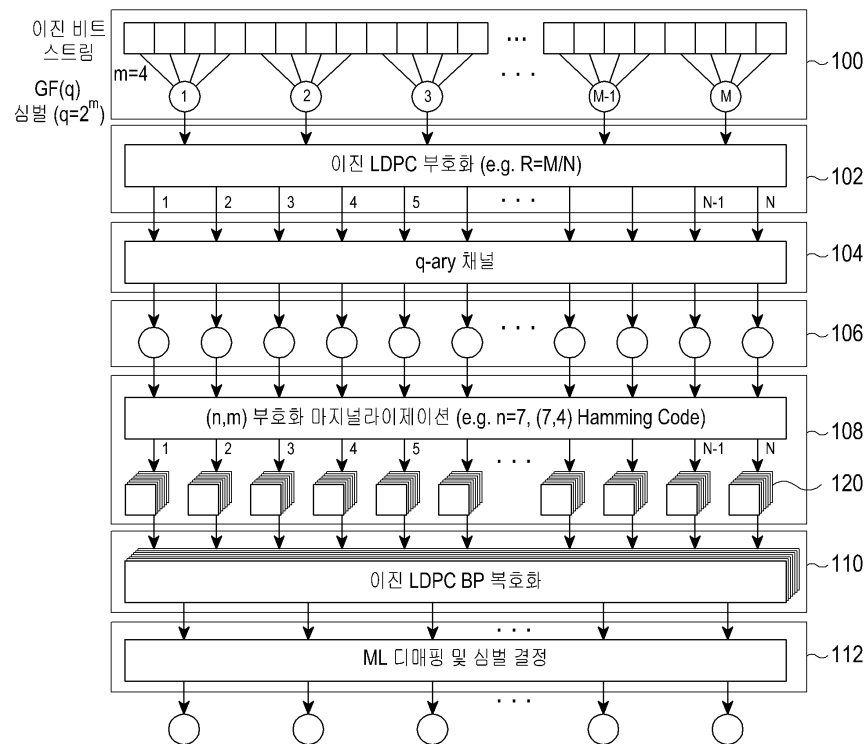
[0082] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 복호화 방법은 차세대 3D-HDTV 에서 적용될 때도 상기의 우수한 효과를 기대할 수 있지만, 기타 우수한 LDPC 복호화 성능을 필요로 하는 모든 종류의 통신 규격 및 통신 기기에 적용될 수 있음은 당업자에게 자명하다.

[0083] 앞서 설명한 LDPC 복호화 방법을 위한 동작들은 해당 프로그램 코드를 저장한 메모리 장치를 송신 장치(예를 들어, 3D-HDTV 방송 장치), 수신 장치(예를 들어, 3D-HDTV 수신 장치), 또는 기타의 모든 송/수신용 서버 및 단말 장치 내의 임의의 구성부에 구비함으로써 실현될 수 있다. 즉, 3D-HDTV 장치 또는 기타의 모든 단말 장치의 각 구성부는 메모리 장치 내에 저장된 프로그램 코드를 프로세서 혹은 CPU(Central Processing Unit)에 의해 읽어내어 실행함으로써 앞서 설명한 동작을 실행할 수 있다.

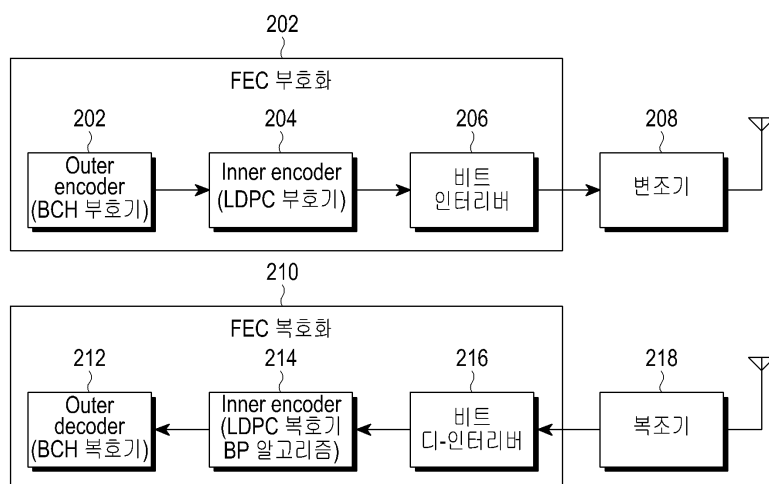
[0084] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 즉, 3D-HDTV 뿐 아니라 예를 들어, LDPC 부호화 및 복호화가 적용될수 있는 셀룰러 통신 단말기와 같은 모든 종류의 이동통신 단말기와 근거리 무선 통신을 의도하는 모든 종류의 단말기에도 적용될 수 있다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

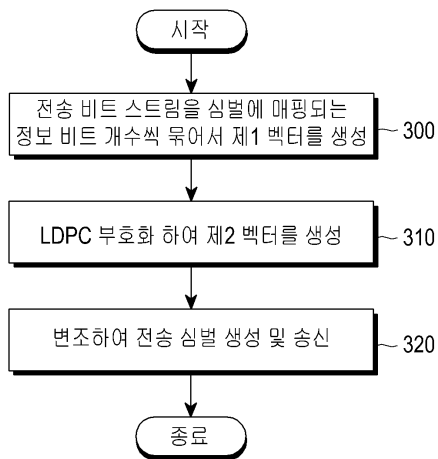
도면1



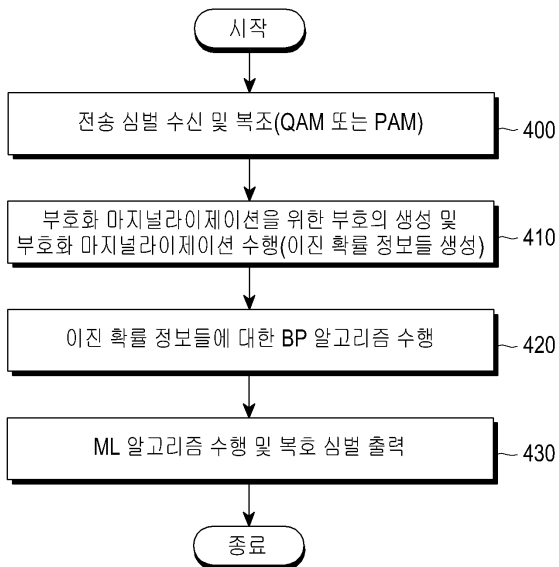
도면2



도면3



도면4



도면5

