

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(51) 。 Int. Cl.⁷
G06F 11/10(11) 공개번호 10-2005-0044963
(43) 공개일자 2005년05월16일(21) 출원번호 10-2003-0078869
(22) 출원일자 2003년11월08일

(71) 출원인 삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 매탄동 416
학교법인연세대학교
서울 서대문구 신촌동 134번지

(72) 발명자 신민호
서울특별시영등포구여의도동시범아파트7동82호
송홍엽
서울특별시영등포구여의도동광장아파트1동306호
서승범
서울특별시강남구압구정동현대아파트80동701호
최의영
서울특별시송파구오륜동올림픽선수촌2단지아파트선수촌아파트226동
601호

(74) 대리인 이건주

심사청구 : 없음

(54) q 차 제곱 잉여류를 이용한 준순환 저밀도 패리티 검사부호 생성 방법

요약

본 발명은디지털 통신 시스템에서 사용되는 저밀도 패리티 검사 부호를 구현 하는데 있어 부호화 복잡도를 현저히 감소시킬 수 있는 부호화 방법에 관한 것으로 본 발명에 따른 부호화 방법에서는 다수의 순환 행렬을 원소로 하여 구성되는 패리티 검사 행렬 H를 생성하고, 상기 패리티 검사 행렬을 이용하여 생성 행렬 G를 구성하여, 상기 정보 비트에 상기 생성 행렬 G를 적용함으로써 상기 정보 비트를 부호화 한다.

대표도

도 2

색인어

저밀도 패리티 검사 부호, 순환행렬, 열무게, 잉여류

명세서

도면의 간단한 설명

도 1a 및 도 1b는 각각 부호율 1/2 및 1/3인 종래의 랜덤 LDPC 부호의 구조를 보인 도면;

도 1c는 도 1a 및 도 1b의 LDPC 부호 생성 방법에 의해 설계된 균일한 랜덤 LDPC 부호의 검사 행렬의 예시도;

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법을 설명하기 위한 순서도;

도 3a은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법에 의해 설계된 LDPC 부호의 패리티 검사 행렬의 구조를 보인 도면;

도 3b는 상기 도 3a의 패리티 검사 행렬을 구조적으로 변경한 구조적 검사 행렬을 보인 도면;

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법이 적용되는 부호화기를 보인 도면;

도 5는 다양한 부호율과 부호 길이에 적용 가능한 부호화기를 보인 도면;

도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 생성된 LDPC 부호와 종래의 랜덤 LDPC 부호의 성능을 비교하기 위한 그래프이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 디지털 통신 시스템에서의 채널 부호화에 관한 것으로 더욱 상세하게는 개선된 저밀도 패리티 검사 (Low Density Parity Check: LDPC) 부호 구현 방법에 관한 것이다.

LDPC 부호는 터보 부호보다 우수한 성능, 낮은 복호 복잡도, 병렬처리로 고속 처리가 가능하기 때문에 4세대 이동 통신 시스템에 적합한 부호화 방식으로 많은 관심을 받고 있다.

LDPC는 1962년 Gallager에 의해 처음 제안되었으며, 패리티 검사 행렬(Parity Check Matrix) H 의 원소들의 대부분이 '0'인 선형 블록 부호(Linear block code)로서 당시의 기술력으로는 구현이 불가능한 부호 복잡도로 인해 오랫동안 잊혀져 왔다. 그러나, Mackay와 Neal은 이를 재발견하였고, Gallager의 간단한 확률적(Probabilistic) 복호법을 이용하여 성능이 매우 우수함을 보였다.

상기 LDPC 부호는 행렬 안의 '1'의 개수가 적은(sparse)한 랜덤 패리티 검사 행렬 H 에 의해 정의된다. 상기 패리티 검사 행렬 H 는 수신된 신호에 대한 정상적인 복호 여부를 확인하기 위한 행렬로서, 부호화된 수신 신호와 패리티 검사 행렬 H 의 곱이 '0'이 되었을 경우 에러가 발생하지 않은 것으로 판단한다. 따라서, 상기 LDPC 부호는 모든 부호화된 수신 신호에 대해 곱하였을 경우 '0'이 될 수 있는 소정의 패리티 검사 행렬을 먼저 설계한 후, 상기 결정된 패리티 검사 행렬에 따른 송신측의 부호화기에서 부호화시키는 연산을 역으로 산출하게 된다.

상기 패리티 검사 행렬 H 는 구조적으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 각 행(Row)은 무게(weight)가 k 로 균일하게 구성된다. 둘째, 각 열(Column)은 무게가 j 로 균일하게 구성된다. 이러한 무게 j 로는 일반적으로 3 또는 4가 사용된다. 셋째, 임의의 두 열 사이의 중첩(overlap)은 1보다 크지 않게 랜덤하게 구성한다. 여기서, 무게란 0이 아닌 요소, 즉 1의 수를 말하며, 두 개의 열의 사이의 중첩이란 행간의 내적을 의미한다. 따라서, 부호 길이에 비하여 행과 열의 무게가 매우 작다. 상기와 같은 이유로 패리티 검사 행렬 H 에 의해 구성되어 진다고 하여 저밀도 패리티 검사 부호라 한다.

상기 LDPC 부호는 팩터 그래프 (factor graph) 상에서 합곱(sum-product) 알고리즘(algorithm)에 기반한 반복 복호(iterative decoding) 알고리즘을 사용하여 복호할 수 있다. 상기 합곱 알고리즘에 기반한 반복 복호 알고리즘을 사용하는 복호 방법을 사용함으로써 상기 LDPC 부호의 복호기(decoder)는 상기 터보 부호의 복호기에 비해 낮은 복잡도를 가질 뿐만 아니라 병렬 처리 복호기를 구현함에 있어 용이하게 된다.

LDPC 부호는 상기한 바와 같은 우수한 성능에도 불구하고 터보 부호에 비해 부호화 복잡도가 너무 크다는 단점을 가지고 있다. LDPC 부호는 기본적으로 블록 부호이기 때문에 부호화 과정은 행렬 곱셈에 의해 수행되므로 부호화 복잡도는 부호 길이와 곱셈에 비례한다.

도 1a 및 도 1b는 기존에 제안된 LDPC 부호 생성 방법을 보인 도면이고 도 1c는 도 1a 및 도 1b의 LDPC 부호 생성 방법에 의해 설계된 부호율 1/2의 균일한 랜덤 LDPC 부호의 검사 행렬로서 검은 점들은 '0'이 아닌 원소들을 나타낸다.

부호화 과정은 패리티 검사 행렬로부터 가우스 소거법을 통해 생성 행렬을 구한 후 행렬 곱셈을 통하여 이루어지게 되며, 이 경우 생성 행렬에서 '1'의 개수가 적은 성질이 유지 되지 않으므로 부호화 과정의 복잡도가 크게 증가하는 문제가 발생한다. 한편, 부호화 과정의 복잡도 문제를 해결하기 위해 검사 행렬을 재구성하는 방법을 통하여 곱셈에 비례하는 연산을 최소화함으로써 부호화 복잡도를 낮추는 알고리즘이 제안된 바 있으며 이외에도 부호화 복잡도를 줄이기 위한 몇 가지 부호화 알고리즘이 제안되어 왔으나 부호화 복잡도를 현저히 감소시킬 수 있는 부호기 구조 혹은 부호화 알고리즘은 개발되지 못하고 있다. 따라서, 차세대 이동통신 시스템에 적합한 부호화 방식으로 부호화 복잡도를 감소시키는 동시에 우수한 성능을 발휘할 수 있는 LDPC 부호기의 개발이 요구된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로 본 발명의 목적은 LDPC 부호를 효율적으로 생성할 수 있는 부호화 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 부호화 복잡도를 현저히 감소시킴과 동시에 최적의 부호화 이득을 얻을 수 있는 부호화 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 패리티 검사 행렬 구성 시 작은 사이클을 현저히 줄여 반복 복호 수행 시 독립성 증가로 성능의 향상시킬 수 있는 부호화 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 블록 단위로 병렬 처리를 통해 부호화를 수행하여 부호화 지연 시간을 단축시킬 수 있는 부호화 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 하나의 하드웨어 구조를 이용하여 다양한 부호율과 부호어 길이를 갖는 부호어를 생성할 수 있는 부호화 방법을 제공하는 것이다.

상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호 생성 방법에서는 다수의 순환 행렬을 원소로 하여 구성되는 패리티 검사 행렬 H를 생성하고, 상기 패리티 검사 행렬을 이용하여 생성 행렬 G를 구성하고, 정보 비트에 상기 생성 행렬 G를 적용하여 상기 정보 비트를 부호화 한다.

상기 패리티 검사 행렬 H는 n 개의 순환행렬 행과 m개의 순환행렬 열로 구성되는 m x n 행렬이며 상기 각각의 순환 행렬은 p x p 행렬이다.

패리티 검사 행렬 생성 과정은 출력될 저밀도 패리티 검사 부호의 부호율과 부호어 길이를 설정하는 것을 더욱 포함한다.

상기 부호율은 상기 패리티 검사 행렬의 열의 개수 n에서 패리티 검사 행렬의 행의 개수 m을 뺀 값을 상기 n으로 나누어서 ((n-m)/n) 구해지며 상기 부호어 길이는 상기 순환 행렬의 길이 p에 상기 패리티 검사 행렬의 길이 n을 곱한 값이다.

상기 패리티 검사 행렬 생성 과정은 (p-1)/2차 제곱 잉여류인 (1, -1)과 비잉여류로부터 얻어진 다항식과 등가인 행렬로 구성된다.

상기 패리티 검사 행렬 생성 과정은 상기 패리티 검사행렬의 열무게가 3이 되도록 상기 순환 행렬들을 재구성하는 것을 더욱 포함한다.

상기 생성 행렬 G를 구성하는 과정은 상기 패리티 검사 행렬에 행연산을 수행하여 변형된 검사 행렬 H'를 구하는 것을 더욱 포함한다.

상기 변형된 검사 행렬 H'는 $H' = [I|P]$ (I는 단위 행렬)의 구조적 형태를 갖는다. 상기 생성 행렬 G를 구성하는 과정은 상기 변형된 검사 행렬 H'로부터 생성 행렬 G를 구하는 것을 더욱 포함한다. 상기 생성 행렬 G는 $G = [P^T|I]$ 의 구조적 형태를 갖는다.

상기 정보 비트 부호화 과정은 상기 정보 비트에 상기 생성 행렬 G를 곱하여 부호어 c를 생성하는 것을 포함한다. 상기 부호어 생성 과정은 행렬 곱셈 대신 다항식 곱셈을 통해 이루어진다.

발명의 구성 및 작용

본 발명은 디지털 통신 시스템에서 사용되는 오류 정정 부호인 LDPC 부호의 부호화기 설계에 관한 것으로 일반적으로 행렬 연산을 통하여 수행되는 부호화 과정을 쉬프트 레지스터를 이용하여 효율적으로 수행하여 기존의 부호화기의 성능과 거의 동일한 성능을 보이는 부호화기 설계 방법에 관한 것이다. 본 발명의 LDPC 부호화기는 m개의 행방향 그리고 n개의 열방향 순환행렬 블록들로 구성된 QC-LDPC 부호로서 순환행렬간 연산은 그와 동등한 다항식 연산으로 대체할 수 있는 대수학적 특성을 가지므로, 부호화기 구현이 용이하게 된다. 본 발명에서는 이러한 구조를 갖는 균일 LDPC 부호로서 q차 잉여류를 이용하여 각각의 블록에 있는 동등한 다항식을 생성하는 방법을 제안한다. 또한 본 발명의 LDPC 부호화 방법에서는 다양한 부호율과 부호어 길이를 갖는 LDPC 부호를 천공(puncturing)이나 단축(shortening) 등을 통하여 쉽게 구현할 수 있으며 고속의 신호 전송을 요구하는 차세대 통신 시스템이나 저장장치의 채널 부호화 기법에 효율적으로 적용할 수 있다.

본 발명에 따른 부호화 방법에서 LDPC 부호의 검사 행렬 H는 m개의 행 블록과 n개의 열 블록으로 이루어지고 각각의 블록은 순환행렬(circulant matrix)로 구성되며 상기 순환 행렬은 p x p (여기서 p는 소수)의 크기를 갖는다. 상기 검사 행렬은 다음 수학적 식 1과 같이 일반화 하여 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1m} & \cdots & H_{1n} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2m} & \cdots & H_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ H_{m1} & H_{m2} & \cdots & H_{mm} & \cdots & H_{mn} \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{수학적 식 1}} \mathbf{H}(x) = \begin{bmatrix} h_{11}(x) & h_{12}(x) & \cdots & h_{1m}(x) & \cdots & h_{1n}(x) \\ h_{21}(x) & h_{22}(x) & \cdots & h_{2m}(x) & \cdots & h_{2n}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m1}(x) & h_{m2}(x) & \cdots & h_{mm}(x) & \cdots & h_{mn}(x) \end{bmatrix}$$

각각의 순환 행렬 Hij는 수학적 식 1a와 같이 동등한 다항식 hij(x)로 표현할 수 있으며 순환 행렬간의 연산은 다항식 연산으로 대체하여 처리한다.

수학식 1a

$$h_{ij}(x) = \sum_{k=0}^{p-1} (H_{ij})_{0k} x^k$$

이와 같이 순환 행렬 블록으로 구성된 LDPC 부호는 준순환-LDPC (Quasi-Cyclic LDPC) 부호가 된다 (즉, 부호어에 n 비트 쉬프트를 수행하면 다른 부호어가 된다). 본 발명에 따른 LDPC 부호를 구성하는 순환행렬은 수학식 2와 같이 표현할 수 있으며 수학식 2에서 보는 바와 같이 q 차 제곱 잉여류를 이용한 다항식들의 행렬로 구성된다.

수학식 2

$$\mathbf{H}(x) := \begin{bmatrix} (1, -1) & (\alpha, -\alpha) & \cdots & (\alpha^{n-1}, -\alpha^{n-1}) \\ (\alpha^n, -\alpha^n) & (\alpha^{n+1}, -\alpha^{n+1}) & \cdots & (\alpha^{2n-1}, -\alpha^{2n-1}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\alpha^{(m-1)n}, -\alpha^{(m-1)n}) & (\alpha^{(m-1)n+1}, -\alpha^{(m-1)n+1}) & \cdots & (\alpha^{mn-1}, -\alpha^{mn-1}) \end{bmatrix}$$

여기서 $(\alpha, -\alpha)$ 는 수학식 2a와 같이 다항식으로 표기할 수 있다.

수학식 2a

$$(\alpha, -\alpha) := x^a + x^{p-a}$$

본 발명에 따른 부호는 균일 LDPC 부호이며, 균일 LDPC 부호는 열무게 (column weight)가 3인 경우 가장 성능이 우수하므로 수학식 3과 같이 열무게가 3이 되는 구조를 갖도록 한다.

수학식 3

$$\mathbf{H}(x) = \begin{bmatrix} h_{11}(x) & 0 & 0 & \cdots & h_{1m}(x) & h_{1,m+1}(x) & \cdots \\ h_{21}(x) & h_{22}(x) & 0 & \cdots & 0 & h_{2,m+1}(x) & \cdots \\ 0 & h_{32}(x) & h_{33}(x) & \cdots & 0 & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{mm}(x) & 0 & \cdots \end{bmatrix}$$

여기서 다항식 항의 개수는 2 이하가 되도록 하며, 이는 각 순환행렬 블록의 첫번째 행의 1의 개수가 2 이하 임을 의미한다.

수학식 3에서 다항식 $h_{i,i+m}(x)$ ($1 \leq i \leq m$, $0 \leq k$)의 무게는 2이고 그렇지 않은 경우 다항식의 무게는 1이다.

이와 같이 구성된 LDPC 부호는 패리티 검사 행렬 \mathbf{H} 을 가지며 검사 행렬 \mathbf{H} 는 구조적 형태를 갖는 행렬 \mathbf{H}' 로 변경된다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호화 방법을 첨부된 도면을 참조하여 설명한다.

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법을 설명하기 위한 순서도이다. 도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 LDPC 부호 생성 방법에서는 먼저 LDPC 부호 생성을 위해 부호율 및 부호 길이를 설정한다(S201). 부호율은 패리티 검사행렬 \mathbf{H} 의 행블록의 수 m 과 열블록 수 n 에 의해 $(n-m)/n$ 으로 결정되며, 부호어의 길이는 각 블록을 구성하는 순환행렬의 크기인 소수 p 의 배수인 np 로 결정된다.

상기 패리티 검사 행렬 \mathbf{H} 는 m 개의 행 블록과 n 개의 열 블록으로 이루어지고 각각의 블록은 순환행렬 (circulant matrix)로 구성된다.

부호율과 부호 길이가 결정되면 순환행렬을 구성한다(S202). 순환 행렬은 $(p-1)/2$ 차 제곱 잉여류 $((P-1)/2$ 번째 파워 잉여류)인 $(1, -1)$ 과 비잉여류 (non-residue)로부터 얻어진 다항식과 등가인 행렬로 구성된다. 행블록 개수가 m 그리고 열블록

개수가 n 인 경우 제곱 잉여류로부터 각 블록의 다항식은 수학식 2와 같이 결정된다. 여기서 α 는 유한체 $GF(p)$ 에서의 원시근(primitive root)이다. 즉, 제곱 잉여류와 비잉여류를 순차적으로 구성하여 다항식을 생성한다. 여기서 $(\alpha, -\alpha)$ 는 다항식 $x^\alpha + x^{-\alpha}$ 의 표기로 정의한다.

순환행렬이 구성되면 각 블록의 순환행렬의 무게 분포를 수학식 3과 같이 선택하여 열방향 무게가 3이 되도록 패리티 검사행렬 H 를 구성한다(S203). 각 블록에서 다항식의 무게는 0, 1, 또는 2가 되며 수학식 2에서 결정된 다항식은 새로 결정된 다항식 무게에 맞추어서 천공된다.

열무게가 3인 균일 패리티 검사 행렬 H 가 구성되면, 생성행렬을 통한 구조적인 부호화기(systematic encoder)를 구성한다(S204). 수학식 3의 패리티 검사행렬 H 는 왼쪽의 정방 행렬이 항상 역행렬을 가지므로, 행연산(row operation)에 의하여 $H' = [I | P]$ 형태로 변경할 수 있다. 상기 구조적으로 변형된 검사행렬 H' 은 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{수학식 4} \\ H' = [I | P] \Leftrightarrow H'(x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & p_{11}(x) & p_{12}(x) & \cdots & p_{1k}(x) \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & p_{21}(x) & p_{22}(x) & \cdots & p_{2k}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & p_{m1}(x) & p_{m2}(x) & \cdots & p_{mk}(x) \end{bmatrix}$$

따라서, 상기 수학식 4로부터 생성행렬 $G = [P^T | I]$ 형태의 구조적인 부호화기 설계가 가능하고, 행렬 곱셈 대신 다항식 곱셈을 통한 부호화 과정이 이루어진다.

여기서 $k=n-m$ 으로 정보 심볼 블록의 크기를 나타낸다.

이와 같이 구성된 구조적인 부호화기를 이용하여 부호화가 수행된다(S205). 정보 벡터의 총길이는 pk 이고, p 개씩 k 개의 블록 단위로 부호화가 이루어진다.

정보벡터 $\mathbf{m} = [m_1, m_2, \dots, m_k]$ 은 유한체 $GF(2)$ 상에서의 x^p-1 의 법 다항식(polynomial modular x^p-1)과 등가인 $\mathbf{m}(x) = [m_1(x), m_2(x), \dots, m_k(x)]$ 으로 표현할 수 있다. 따라서 부호어 $\mathbf{c} = \mathbf{mG}$ 는 수학식 4a와 같이 다항식 연산을 통하여 얻을 수 있다.

$$\text{수학식 4a} \\ \mathbf{c} = \mathbf{mG} = [\mathbf{mP}^T | \mathbf{m}] \Leftrightarrow \mathbf{c}(x) = [p_1(x), p_2(x), \dots, p_m(x) | \mathbf{m}(x)], \quad p_i(x) = \sum_{j=1}^k m_j(x) p_{ji}(x)$$

도 3a는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법에 의해 생성되는 패리티 검사행렬 H 을 개략적으로 보인 도면이다.

도 3a에서 보는 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 LDPC 부호화 방법에서 QC-LDPC 부호의 패리티 검사 행렬 H 는 다수의 순환 행렬들로 구성되며 사선은 1의 값을 갖는 원소(element)들이 존재하는 위치를 나타내며, 사선 이외의 부분을 모두 0의 값을 갖는 원소들로 구성된다. 상기 패리티 검사 행렬 H 는 길이가 1002이고, 행블록의 개수가 3, 열블록의 개수가 6, 그리고 부호율이 1/2이다. 이용된 소수는 167이고 원시근 123을 선택하여 생성된다.

도 3b는 상기 도 3a의 검사 행렬을 구조적으로 변형시킨 행렬 H' 을 보인 도면이다. 패리티 검사행렬 H 는 왼쪽의 정방 행렬이 항상 역행렬을 가지므로 행 연산을 통해 $H' = [I | P]$ 의 형태로 변형된다. 도 3b에서 보는 바와 같이, 구조적으로 변형시킨 행렬 H' 은 왼쪽은 단위행렬의 형태를 그리고 오른쪽은 패리티 행렬 P 의 형태를 갖는다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법에서 쉬프트 레지스터를 이용하여 병렬 처리 기법에 의한 부호화 과정을 보인 도면이다.

도 4에서와 같이, 본 발명에서는 쉬프트 레지스터를 이용해 행렬 곱셈 대신 다항식 곱셈을 통한 부호화 과정이 이루어진다. 다시 말해, 전송될 정보비트들은 다항식 $\mathbf{m}(x)$ 로 나타낼 수 있으며 정보 비트 다항식 $\mathbf{m}(x)$ 에 검사비트 다항식 $\mathbf{p}(x)$ 을 원소로 구성된 생성행렬 다항식 $\mathbf{G}(x)$ 를 곱하여 부호어 다항식 $\mathbf{c}(x)$ 를 생성한다. 따라서, 부호어는 $\mathbf{c}(x)$ 는 다음 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$c(x) = m(x)G(x) = [p(x), m(x)] = [p_1(x), p_2(x), \dots, p_m(x), m_1(x), m_2(x), \dots, m_k(x)]$$

도 5는 부호길이가 np이며 부호율이 k/n인 부호와, 이를 단축(shortening)하여 얻어진 부호율 k'/p인 LDPC 부호화기 구조를 보인 도면이다. 도 5에서 단축 부호어 cshortened(x)는 정보 비트 다항식 m'(x)에 단축된 생성행렬 다항식 Gshortened(x)를 곱하여 생성되며 다음 수학식 6와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$c_{shortened}(x) = m'(x)G_{shortened}(x) = [p'(x), m'(x)] = [p'_1(x), p'_2(x), \dots, p'_m(x), m_1(x), m_2(x), \dots, m_k(x)]$$

도 6는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 부호화 방법과 종래의 랜덤 LDPC 부호화 방법의 성능을 비교 설명하기 위한 그래프이다.

본 발명에 따른 LDPC 부호의 성능 실험은 LDPC 부호의 성능을 분석하기 위해 일반적으로 사용되는 백색 가우시안 잡음 채널 환경에서 섬-프로덕트(sum-product) 알고리즘을 이용하여 최대 반복 복호 회수를 80번으로 제한하여 실험하였다.

비교 대상 LDPC 부호화방법은 도 1에 예시된 부호어 길이는 1002이고 부호율이 1/2인 랜덤 LDPC 부호화 방법이다. 본 발명에 따른 LDPC 부호화 방법에서는 원시근 α 를 적절히 선택함으로써, 싸이클 4와 싸이클 6이 제거된 검사행렬을 만들 수 있다.

도 6의 그래프에서 알 수 있듯이 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 QC-LDPC 부호는 낮은 부호화 복잡도를 갖으면서도 복호 성능면에서 종래의 랜덤 LDPC 부호와 동등한 성능을 보인다.

발명의 효과

본 발명에 따른 부호화 방법에서는 생성 행렬이 순환 행렬을 원소로 갖는 블록 행렬 형태로 구성되며 순환 행렬간의 행렬 곱셈을 이와 동등한 다항식 곱셈으로 수행할 수 있기 때문에 쉬프트 레지스터를 이용한 효율적인 부호화가 가능하다.

또한, 본 발명에 따른 부호화 방법에서는 패리티 검사 행렬 구성에 있어서, 작은 사이클이 현저히 줄어들어서 반복 복호 수행시 독립성 증가로 성능의 향상을 가져온다.

또한, 본 발명에 따른 부호화 방법에서 부호화 과정은 각 블록 단위로 병렬 처리를 통해 이루어지므로 부호화 지연 시간을 단축시킬 수 있다.

또한, 본 발명에 따른 부호화 방법을 이용하면 하나의 하드웨어 구조를 이용하여 다양한 부호율과 부호어 길이를 갖는 부호어를 생성할 수 있다.

또한, 발명에 따른 부호화 방법에 의해 생성된 LDPC 부호는 낮은 부호화 복잡도로 구현됨에도 종래의 랜덤 LDPC부호에 비해 복호 성능이 떨어지지 않는다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

정보 비트에 패리티 비트를 더하여 부호화 하는 방법에 있어서,

다수의 순환 행렬을 원소로 하여 구성되는 패리티 검사 행렬 H를 생성하고

상기 패리티 검사 행렬을 이용하여 생성 행렬 G를 구성하고

상기 정보 비트에 상기 생성 행렬 G를 적용하여 상기 정보 비트를 부호화 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 상기 패리티 검사 행렬 H는 n 개의 순환행렬 행과 m개의 순환행렬 열로 구성되는 m x n 행렬인 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 3.

제 2항에 있어서, 상기 m은 3이고 상기 n은 6인 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 4.

제 2항에 있어서, 상기 각각의 순환 행렬은 $p \times p$ 행렬인 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 5.

제 4항에 있어서, 패리티 검사 행렬 생성 과정은 출력될 저밀도 패리티 검사 부호의 부호율과 부호어 길이를 설정하는 것을 더욱 포함하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 6.

제 5항에 있어서, 상기 부호율은 상기 패리티 검사 행렬의 열의 개수 n에서 패리티 검사 행렬의 행의 개수 m을 뺀 값을 상기 n으로 나누어서 $((n-m)/n)$ 구하는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 7.

제 5항에 있어서, 상기 부호어 길이는 상기 순환 행렬의 길이 p에 상기 패리티 검사 행렬의 길이 n을 곱한 값인 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 8.

제 5항에 있어서, 상기 패리티 검사 행렬 생성 과정은 $(p-1)/2$ 차 제곱 잉여류인 $(1, -1)$ 과 비잉여류로부터 얻어진 다항식과 등가인 행렬로 구성하는 것을 더욱 포함하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 9.

제 8항에 있어서, 상기 패리티 검사 행렬 생성 과정은 상기 패리티 검사행렬의 열무게가 3이 되도록 상기 순환 행렬들을 재구성하는 것을 더욱 포함하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 10.

제 9항에 있어서, 상기 생성 행렬 G를 구성하는 과정은 상기 패리티 검사 행렬에 행연산을 수행하여 변형된 검사 행렬 H'를 구하는 것을 더욱 포함하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 11.

제 10항에 있어서, 상기 변형된 검사 행렬 H'는 $H' = [I|P]$ (I는 단위 행렬)의 구조적 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 12.

제 11항에 있어서, 상기 생성 행렬 G를 구성하는 과정은 상기 변형된 검사 행렬 H'로부터 생성 행렬 G를 구하는 것을 더욱 포함하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 13.

제 12항에 있어서, 상기 생성 행렬 G 는 $G=[P^T|I]$ 의 구조적 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 14.

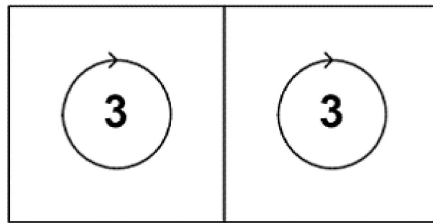
제 12항에 있어서, 상기 정보 비트 부호화 과정은 상기 정보 비트에 상기 생성 행렬 G 를 곱하여 부호어 c 를 생성하는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

청구항 15.

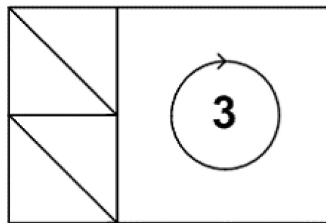
제 14항에 있어서, 상기 부호어 생성 과정은 행렬 곱셈 대신 다항식 곱셈을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 저밀도 패리티 검사 부호 생성 방법.

도면

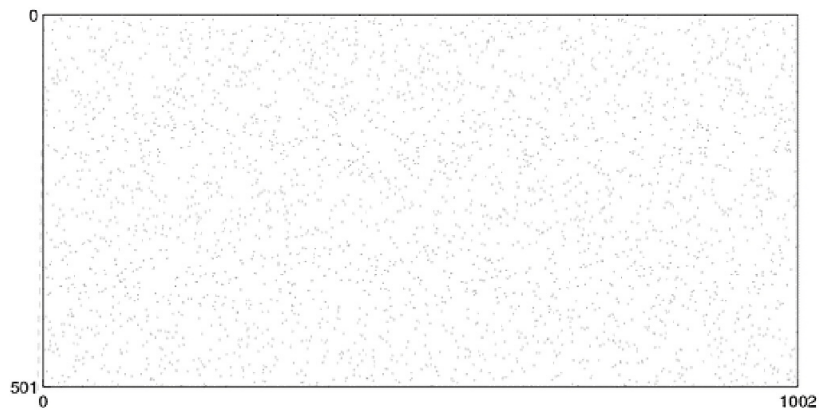
도면1a



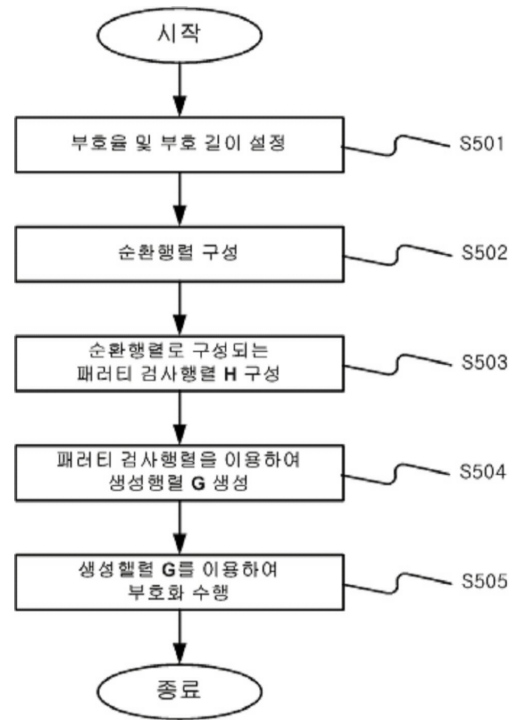
도면1b



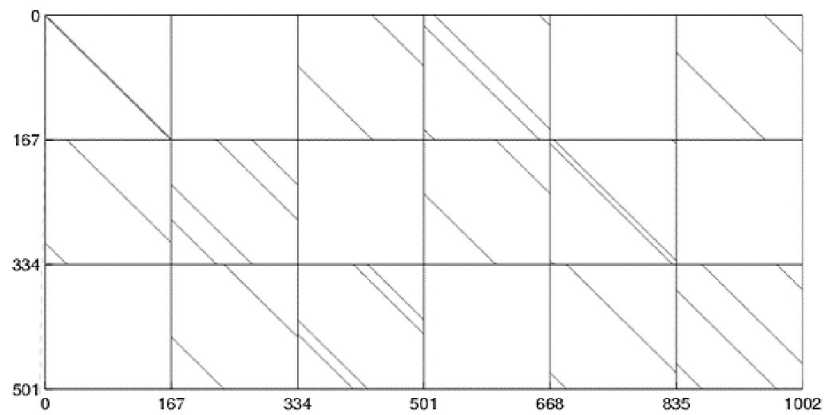
도면1c



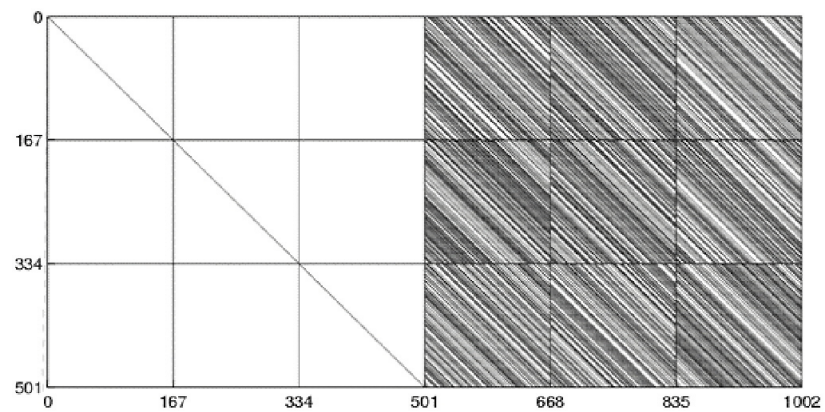
도면2



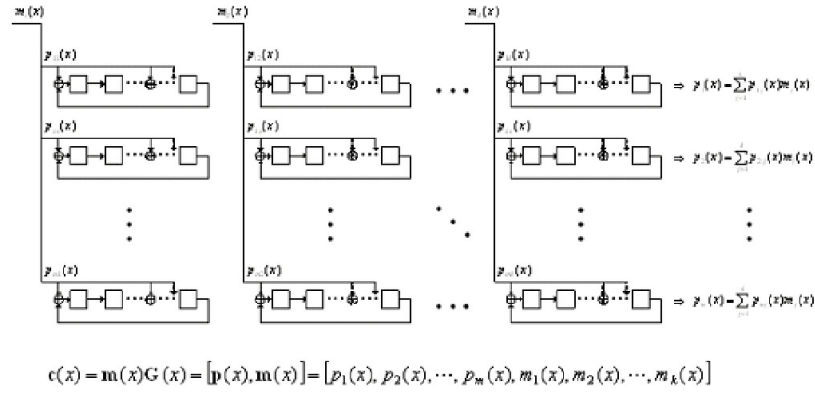
도면3a



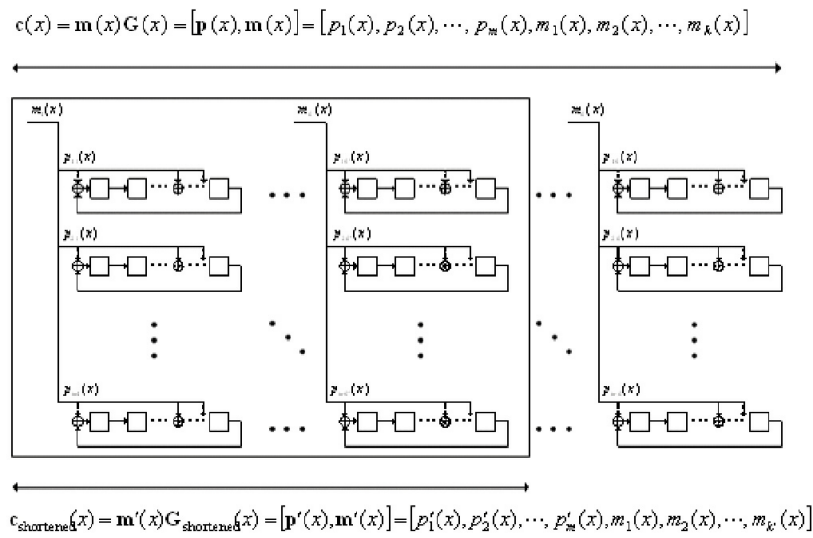
도면3b



도면4



도면5



도면6

