



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년05월27일
(11) 등록번호 10-1625255
(24) 등록일자 2016년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 13/11 (2006.01) H03M 13/19 (2006.01)
H03M 13/23 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7020589
(22) 출원일자(국제) 2010년02월19일
심사청구일자 2014년10월29일
(85) 번역문제출일자 2011년09월02일
(65) 공개번호 10-2011-0133560
(43) 공개일자 2011년12월13일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2010/001099
(87) 국제공개번호 WO 2010/100848
국제공개일자 2010년09월10일
(30) 우선권주장
JP-P-2009-048535 2009년03월02일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
WO2009008182 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
파나소닉 주식회사
일본 오오사카후 가도마시 오오아자 가도마 1006
반치
(72) 발명자
무라카미 유타카
일본 오오사카후 가도마시 오오아자 가도마 1006
반치 파나소닉 주식회사 내
고가 히사오
일본 후쿠오카현 후쿠오카시 하카타쿠 미노시마
4초메 1-62 파나소닉 시스템 네트워크 가부시기가
이샤 내
고다마 노부타카
일본 후쿠오카현 후쿠오카시 하카타쿠 미노시마
4초메 1-62 파나소닉 시스템 네트워크 가부시기가
이샤 내
(74) 대리인
제일특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

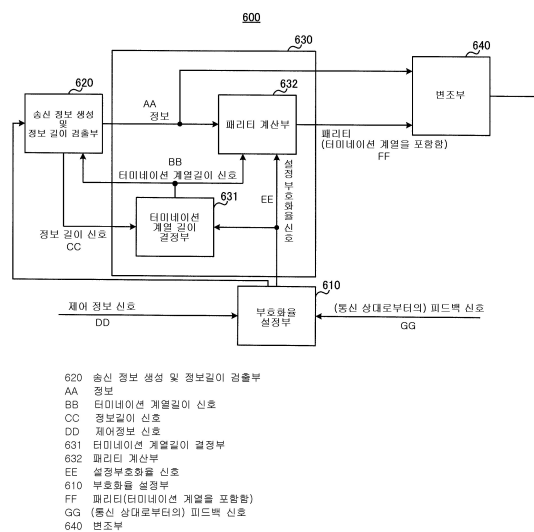
심사관 : 조춘근

(54) 발명의 명칭 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법

(57) 요약

LDPC-CC를 이용한 부호화기 및 복호화기에 있어서, 터미네이션을 행하는 경우에 있어서도, 오류정정 능력을 열 화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피하는 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법을 개시한다. 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 정보 계열의 정보길이(정보 사이즈) 및 부호화율에 따라, 정보 계열의 후미 에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하고, 패리티 계산부(632)는, 정보 계열 및 결정된 터 미네이션 계열길이분의 터미네이션 계열을 생성하기 위해서 필요한 기지 정보 계열에 대해서 LDPC-CC 부호화를 실시하여, 패리티 계열을 계산한다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

LDPC-CC 부호화를 행하는 부호화기로서,

정보 계열의 정보길이 및 부호화율에 따라, 상기 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하는 결정 수단과,

상기 정보 계열 및 결정된 상기 계열길이분의 상기 터미네이션 계열을 생성하기 위해 필요한 기지(既知)정보 계열에 대해서 LDPC-CC 부호화를 실시하여, 패리티 계열을 계산하는 계산 수단

을 구비하는 부호화기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 정보길이에 따라, 서포트하는 부호화율의 수를 변경하고, 상기 부호화율을, 상기 서포트하는 부호화율의 어느것인가로 조정하는 조정 수단을 더 구비하는 부호화기.

청구항 3

신뢰도 전파를 이용해서 LDPC-CC를 복호하는 복호화기로서,

부호화율과, 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 취득하는 취득 수단과,

상기 부호화율 및 상기 터미네이션 계열길이에 기초하여, 정보 계열에 신뢰도 전파 복호를 행하는 복호 수단

을 구비하되,

상기 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이는 상기 정보 계열의 정보길이 및 상기 부호화율에 따라 결정된 계열길이인

복호화기.

청구항 4

정보 계열의 정보길이 및 부호화율에 따라, 상기 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하고,

상기 정보 계열 및 결정된 상기 계열길이분의 상기 터미네이션 계열을 생성하기 위해 필요한 기지 정보 계열에 대해서 LDPC-CC 부호화를 실시하여, 패리티 계열을 계산하는

부호화 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은, 복수의 부호화율에 대응할 수 있는 저밀도 패리티 검사 컨볼루션 부호(LDPC-CC: Low Density Parity Check-Convolutional Codes)를 이용하는 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 최근, 실현가능한 회로 규모로 높은 오류정정 능력을 발휘하는 오류 정정 부호(ECC)로서 저밀도 패리티 검사(LDPC: Low-Density Parity-Check) 부호에 주목이 집중되고 있다. LDPC 부호는, 오류정정 능력이 높으면서도, 실장(實裝)이 용이하므로, IEEE802.11 n의 고속 무선 LAN 시스템이나 디지털 방송 시스템 등의 오류 정정 부호(ECC)화 방식에 채용되고 있다.
- [0003] LDPC 부호는, 저밀도 패리티 검사 행렬 H 로 정의되는 오류 정정 부호(ECC)이다. 또, LDPC 부호는, 패리티 검사 행렬 H 의 열수 N 과 동일한 블록 길이를 가진 블록 부호이다. 예를 들면, 비특허 문헌1, 비특허 문헌2, 비특허 문헌3, 비특허 문헌4에서는, 랜덤적인 LDPC 부호, Array LDPC 부호, QC-LDPC 부호(QC: Quasi-Cyclic)가 제안되어 있다.
- [0004] 그러나, 현재의 통신 시스템의 상당수는, 이더넷(ethernet)(등록상표)과 같이, 송신 정보를, 가변길이의 패킷이나 프레임별로 한꺼번에 전송한다고 하는 특징이 있다. 이러한 시스템에 블록 부호인 LDPC 부호를 적용할 경우, 예를 들면, 가변길이 이더넷(등록상표) 프레임에 대해서 고정길이 LDPC 부호 블록을 어떻게 대응시키려는가 하는 과제가 발생한다. IEEE802.11 n에서는, 송신 정보 계열에 패딩 처리나 평처 처리를 실시함으로써, 송신 정보 계열의 길이와, LDPC 부호의 블록 길이의 조절을 행하고 있지만, 패딩이나 평처에 의해, 부호화율이 변화하거나 용장(冗長)한 계열을 송신하거나 하는 것을 피하기는 곤란하다.
- [0005] 이러한 블록 부호의 LDPC 부호(이하, 이것을 LDPC-BC: Low-Density Parity-Check Block Code라고 표기함)에 대해서, 임의 길이의 정보 계열에 대한 부호화·복호화가 가능한 LDPC-CC (Low-Density Parity-Check Convolutional Codes)의 검토가 행해지고 있다(예를 들면, 비특허 문헌1, 비특허 문헌2 참조).
- [0006] LDPC-CC는, 저밀도 패리티 검사 행렬에 의해 정의되는 컨볼루션 부호이며, 예를 들면 부호화율 $R=1/2(=b/c)$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 $H^T [0, n]$ 은, 도 1에 표시된다. 여기서, $H^T [0, n]$ 의 요소 $h_1^{(m)}(t)$ 는, 0 또는 1을 취한다. 또, $h_1^{(m)}(t)$ 이외의 요소는 모두 0이다. M 은 LDPC-CC에 있어서의 메모리 길이, n 은 LDPC-CC의 부호어 길이를 나타낸다. 도 1에 표시되는 것처럼, LDPC-CC의 패리티 검사 행렬은 행렬의 대각항과 그 부근 요소에만 1이 배치되어 있고, 행렬의 좌하(左下) 및 우상(右上)의 요소는 제로(0)이며, 평행 사변형형의 행렬이다 라는 특징이 있다.
- [0007] 여기서, $h_1^{(0)}(t)=1$, $h_2^{(0)}(t)=1$ 일 때, 패리티 검사 행렬 $HT [0, n]$ T로 정의되는 LDPC-CC부호화기는 도 2에 표시된다. 도 2에 표시되는 바와 같이, LDPC-CC 부호화기는, 비트 길이 c 의 쉬프트 레지스터(Shift Register) $M+1$ 개와 mod2 가산(배타적 논리합 연산)기로 구성된다. 이 때문에, LDPC-CC의 부호화기에는, 생성 행렬의 곱셈을 행하는 회로나 후퇴(진방) 대입법에 기초한 연산을 행하는 LDPC-BC의 부호화기에 비해, 매우 간단한 회로로 실현될 수 있다고 하는 특징이 있다. 또, 도 2는 컨볼루션 부호의 부호화기이기 때문에, 정보 계열을 고정길이 블록으로 단락지어 부호화할 필요는 없으며, 임의 길이의 정보 계열을 부호화할 수 있다.
- [0008] (선행 기술 문헌)
- [0009] (비특허 문헌)
- [0010] (비특허 문헌 1) R.G.Gallager, "Low-density parity check codes," IRE Trans.Inform.Theory, IT-8, pp-21-28, 1962.
- [0011] (비특허 문헌 2) D.J.C.Mackay, 'Good error-correcting codes based on very sparse matrices,' IEEE Trans.Inform.Theory, vol.45, no.2, pp399-431, March 1999.
- [0012] (비특허 문헌 3) J.L.Fan, "Array codes as low-density parity-check codes," proc. of 2nd Int.Symp. on Turbo Codes, pp.543-546, Sep. 2000.
- [0013] (비특허 문헌 4) M. P. C. Fossorier, "Quasi-cyclic low-density parity-check codes from circulant permutation matrices," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.50, no.8, pp.1788-1793, Nov. 2001.
- [0014] (비특허 문헌 5) M.P.C.Fossorier, M.Mihaljevic, and H.Imai, "Reduced complexity iterative decoding of low density parity check codes based on belief propagation," IEEE Trans. Commun., vol.47., no.5, pp.673-680, May 1999.

- [0015] (비특허 문헌 6) J.Chen, A. Dholakia, E. Eleftheriou, M. P. C. Fossorier, and X.-Yu Hu, "Reduced-complexity decoding of LDPC codes," IEEE Trans. Commun., vol.53., no.8, pp.1288-1299, Aug. 2005.
- [0016] (비특허 문헌 7) J. Zhang, and M. P. C. Fossorier, "Shuffled iterative decoding," IEEE Trans. Commun., vol.53, no.2, pp.209-213, Feb. 2005.
- [0017] (비특허 문헌 8) S.Lin, D. J. Jr., Costello, "Error control coding :
[0018] Fundamentals and applications," Prentice-Hall.
- [0019] (비특허 문헌 9) 와다야마 다다시(和田山 正), "저밀도 패리티 검사 부호와 그 복호 방법," 트리케프스.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 그렇지만, 복수의 부호화율을, 저연산 규모이면서 또, 데이터의 수신 품질이 좋은 LDPC-CC 및 그 부호화기 및 복호화기에 관해서, 충분한 검토가 이루어지지 않고 있다.
- [0021] 예를 들면, 비특허 문헌 8에서는, 복수의 부호화율에 대응하기 위해 평치(puncture)를 이용하는 것이 표시되어 있다. 평치를 이용해 복수 부호화율에 대응할 경우, 우선, 원본이 되는 부호, 즉, 마더 부호를 준비하고, 마더 부호에 있어서의 부호화 계열을 작성하고, 그 부호화 계열로부터, 송신하지 않는(평치) 비트를 선택한다. 그리고, 송신하지 않는 비트수를 바꿈으로써, 복수의 부호화율에 대응하고 있다. 이것에 의해, 부호화기, 복호화기 둘다 마더 부호용 부호화기, 복호화기를 이용해, 전부의 부호화율에 대응할 수 있기 때문에, 연산 규모(회로 규모)를 삭감할 수 있다는 이점을 가진다.
- [0022] 한편으로, 복수 부호화율을 대응하는 방법으로서, 부호화율마다 다른 부호를 준비하는(Distributed Codes) 방법이 있으며, 특히, LDPC 부호의 경우, 비특허 문헌 8에 기재되어 있는 바와 같이 여러가지 부호길이, 부호화율을 용이하게 구성할 수 있는 유연성을 가지기때문에, 복수의 부호화율에 대해 복수의 부호로 대응하는 방법이 일반적이다. 이 때, 복수의 부호를 이용하기 때문에, 연산 규모(회로 규모)가 크다고 하는 결점이 있지만, 평치로 복수 부호화율에 대응한 경우와 비교해, 데이터의 수신 품질이 매우 좋다고 하는 이점을 가진다.
- [0023] 이상의 점을 고려했을 때, 지금까지, 복수의 부호화율에 대응하기 위해 복수의 부호를 준비함으로써, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 부호화기, 복호화기의 연산 규모를 삭감할 수 있는 LDPC 부호의 생성 방법에 대해 논의한 문헌은 적으며, 이것을 실현하는 LDPC 부호의 작성 방법을 확립할 수 있으면, 지금까지 실현하기 곤란했던 데이터의 수신 품질의 향상과 연산 규모의 저감의 양립이 가능하게 된다.
- [0024] 또, LDPC-CC는 컨볼루션 부호의 일종이기때문에, 정보 비트의 복호에 있어서의 신뢰도를 확보하기 위해, 터미네이션이나 테일비iting (tailbiting)이 필요하다. 그렇지만, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 터미네이션수를 가능한한 적게할 수 있는 LDPC-CC 및 그 부호화기 및 복호화기에 관해서, 충분한 검토가 이루어지지 않았다.
- [0025] 본 발명의 목적은, LDPC-CC를 이용한 부호화기 및 복호화기에 있어서, 터미네이션을 행할 경우에 있어서도, 오류정정 능력을 열화시키지 않고, 또 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있는 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0026] 본 발명의 부호화기는, LDPC-CC 부호화를 행하는 부호화기이며, 정보 계열의 정보길이 및 부호화율에 따라, 상기 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하는 결정 수단과, 상기 정보 계열 및 결정된 상기 계열길이분의 상기 터미네이션 계열을 생성하기 위해 필요한 기지(既知) 정보 계열에 대해 LDPC-CC 부호화를 실시하고, 패리티 계열을 계산하는 계산 수단을 구비하는 구성을 취한다.
- [0027] 본 발명의 복호화기는, 신뢰도 전파를 이용해 LDPC-CC를 복호하는 복호화기이며, 부호화율과 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 취득하는 취득 수단과, 상기 부호화율 및 상기 터미네이션 계열길이에 기초하여, 정보 계열에 신뢰도 전파 복호를 행하는 복호 수단을 구비하는 구성을 취한다.

[0028] 본 발명의 부호화 방법은, 정보 계열의 정보길이 및 부호화율에 따라, 상기 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하고, 상기 정보 계열 및 결정된 상기 계열길이의 상기 터미네이션 계열을 생성하기 위해 필요한 기지 정보 계열에 대해 LDPC-CC 부호화를 실시하고, 패리티 계열을 계산하도록 했다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법에 의하면, 터미네이션을 행하는 경우에 있어서도, 오류정정 능력을 열화시키지 않고, 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬을 나타내는 도면
 도 2는 LDPC-CC 부호화기의 구성을 나타내는 도면
 도 3은 시변주기 4인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 4a는 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식 및 패리티 검사 행렬 H의 구성을 나타내는 도면
 도 4b는 도 4a의 「검사식 #1」 ~ 「검사식 #3」의 X(D)에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타내는 도면
 도 4c는 「검사식 #1」 ~ 「검사식 #6」의 X(D)에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타내는 도면
 도 5는 (7, 5) 컨볼루션 부호의 패리티 검사 행렬을 나타내는 도면
 도 6은 부호화율 2/3, 시변주기 2인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 7은 부호화율 2/3, 시변주기 m인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 8은 부호화율(n-1)/n, 시변주기 m인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 9는 LDPC-CC 부호화부의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 10은 「Information-zero-termination」의 방법을 설명하기 위한 도면
 도 11은 본 발명의 실시형태 3에 따른 부호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도
 도 12는 실시형태 3에 따른 제1 정보 연산부의 주요부 구성을 나타내는 블록도
 도 13은 실시형태 3에 따른 패리티 연산부의 주요부 구성을 나타내는 블록도
 도 14는 실시형태 3에 따른 부호화기의 다른 주요부 구성을 나타내는 블록도
 도 15는 실시형태 3에 따른 복호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도
 도 16은 부호화율 1/2인 경우에 있어서의 대수 우도비 설정부의 동작을 설명하기 위한 도면
 도 17은 부호화율 2/3인 경우에 있어서의 대수 우도비 설정부의 동작을 설명하기 위한 도면
 도 18은 실시형태 3에 따른 부호화기를 탑재하는 통신 장치의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 19는 송신 포맷의 일례를 나타내는 도면
 도 20은 실시형태 3에 따른 복호화기를 탑재하는 통신장치의 구성의 일례를 나타내는 도면
 도 21은 정보 사이즈와 터미네이션수의 관계의 일례를 나타내는 도면
 도 22는 정보 사이즈와 터미네이션수의 관계의 다른 예를 나타내는 도면
 도 23은 정보 사이즈와 터미네이션수의 관계의 일례를 나타내는 도면
 도 24는 본 발명의 실시형태 5에 따른 부호화기를 탑재하는 통신 장치의 주요부 구성을 나타내는 블록도

- 도 25는 터미네이션 계열길이의 결정 방법을 설명하기 위한 도면
- 도 26은 터미네이션 계열길이의 결정 방법을 설명하기 위한 도면
- 도 27은 송신 포맷의 일례를 나타내는 도면
- 도 28은 실시형태 5에 따른 복호화기를 탑재하는 통신 장치의 주요부 구성을 나타내는 블록도
- 도 29는 부호화기를 탑재하는 통신 장치와 복호화기를 탑재하는 통신 장치 사이의 정보의 흐름의 일례를 나타내는 도면
- 도 30은 부호화기를 탑재하는 통신 장치와 복호화기를 탑재하는 통신 장치 사이의 정보의 흐름의 일례를 나타내는 도면
- 도 31은 정보 사이즈와 터미네이션수의 관계를 나타내는 대응표의 일례를 나타내는 도면
- 도 32a는 정보 사이즈가 512비트인 정보 계열에 터미네이션 계열을 부가했을 경우의 BER/BLER 특성을 나타내는 도면
- 도 32b는 정보 사이즈가 1024비트인 정보 계열에 터미네이션 계열을 부가했을 경우의 BER/BLER 특성을 나타내는 도면
- 도 32c는 정보 사이즈가 2048비트인 정보 계열에 터미네이션 계열을 부가했을 경우의 BER/BLER 특성을 나타내는 도면
- 도 32d는 정보 사이즈가 4096비트인 정보 계열에 터미네이션 계열을 부가했을 경우의 BER/BLER 특성을 나타내는 도면
- 도 33은 정보 사이즈와 서포트 부호화율의 대응표를 나타내는 도면
- 도 34는 본 발명의 실시형태 6에 따른 부호화기를 탑재하는 통신 장치의 주요부 구성을 나타내는 블록도
- 도 35는 부호화기를 탑재하는 통신 장치와 복호화기를 탑재하는 통신 장치 사이의 정보의 흐름의 일례를 나타내는 도면
- 도 36은 실시형태 6에 따른 복호화기를 탑재하는 통신 장치의 주요부 구성을 나타내는 블록도
- 도 37은 본 발명의 실시형태 7에 따른 부호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도
- 도 38은 실시형태 7에 따른 복호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도
- 도 39는 본 발명의 실시형태 8에 따른 부호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 본 발명의 실시형태에 대해, 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0032] (실시형태1)
- [0033] 먼저, 본 실시에서는, 양호한 특성을 가지는 LDPC-CC에 대해서 설명한다.
- [0034] (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)
- [0035] 아래에, 특성이 양호한 시변주기 g 인 LDPC-CC에 대해 설명한다.
- [0036] 먼저, 특성이 양호한 시변주기 4인 LDPC-CC에 대해 설명한다. 또한, 아래에서는, 부호화율 $1/2$ 인 경우를 예로 설명한다.
- [0037] 시변주기를 4로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(1-1)~(1-4)를 생각해 본다. 이 때, $X(D)$ 는 데이터(정보)의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(1-1)~(1-4)에서는, $X(D)$, $P(D)$ 각각에 4개의 항(項)이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 했지만, 이것은, 양호한 수신 품질을 얻는데 있어, 4개의 항으로 하면 매우 적합하기 때문이다.

수학식 1

$$\begin{aligned} (D^{a1} + D^{a2} + D^{a3} + D^{a4})X(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3} + D^{b4})P(D) &= 0 & \cdots (1-1) \\ (D^{A1} + D^{A2} + D^{A3} + D^{A4})X(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3} + D^{B4})P(D) &= 0 & \cdots (1-2) \\ (D^{\alpha1} + D^{\alpha2} + D^{\alpha3} + D^{\alpha4})X(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3} + D^{\beta4})P(D) &= 0 & \cdots (1-3) \\ (D^{E1} + D^{E2} + D^{E3} + D^{E4})X(D) + (D^{F1} + D^{F2} + D^{F3} + D^{F4})P(D) &= 0 & \cdots (1-4) \end{aligned}$$

[0038]

[0039]

식(1-1)에 있어서, a_1, a_2, a_3, a_4 는 정수(단, $a_1 \neq a_2 \neq a_3 \neq a_4$ 이고, a_1 부터 a_4 의 전부가 다름)로 한다. 또한, 이후, 「 $X \neq Y \neq \cdots \neq Z$ 」라고 표기할 경우, X, Y, \cdots, Z 는 서로, 모두 다름을 나타내는 것으로 한다. 또, b_1, b_2, b_3, b_4 는 정수(단, $b_1 \neq b_2 \neq b_3 \neq b_4$)로 한다. 식(1-1)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#1」이라고 부르고, 식(1-1)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제1 서브행렬 H_1 이라고 한다.

[0040]

또, 식(1-2)에 있어서, A_1, A_2, A_3, A_4 는 정수(단, $A_1 \neq A_2 \neq A_3 \neq A_4$)로 한다. 또, B_1, B_2, B_3, B_4 는 정수(단, $B_1 \neq B_2 \neq B_3 \neq B_4$)로 한다. 식(1-2)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#2」라고 부르고, 식(1-2)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제2 서브행렬 H_2 라고 한다.

[0041]

또, 식(1-3)에 있어서, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 는 정수(단, $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq \alpha_4$)로 한다. 또, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 는 정수(단, $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4$)로 한다. 식(1-3)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#3」이라고 부르고, 식(1-3)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제3 서브행렬 H_3 이라고 한다.

[0042]

또, 식(1-4)에 있어서, E_1, E_2, E_3, E_4 는 정수(단, $E_1 \neq E_2 \neq E_3 \neq E_4$)로 한다. 또, F_1, F_2, F_3, F_4 는 정수(단, $F_1 \neq F_2 \neq F_3 \neq F_4$)로 한다. 식(1-4)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#4」라고 부르고, 식(1-4)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제4 서브행렬 H_4 라고 한다.

[0043]

그리고, 제1 서브행렬 H_1 , 제2 서브행렬 H_2 , 제3 서브행렬 H_3 , 제4 서브행렬 H_4 로부터, 도 3과 같이 패리티 검사 행렬을 생성한 시변주기 4인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다.

[0044]

이 때, 식(1-1)~(1-4)에 있어서, $X(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수(次數)의 조합(a_1, a_2, a_3, a_4), (b_1, b_2, b_3, b_4), (A_1, A_2, A_3, A_4), (B_1, B_2, B_3, B_4), ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$), ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$), (E_1, E_2, E_3, E_4), (F_1, F_2, F_3, F_4)의 각 값을 4로 나눈 나머지를 k 라고 했을 때, 상기와 같이 나타낸 4개의 계수 세트(예를 들면, (a_1, a_2, a_3, a_4))에, 나머지 0, 1, 2, 3이 1개씩 포함되도록 하고 또, 상기 4개의 계수 세트 전부에서 성립하도록 한다.

[0045]

예를 들면, 「검사식#1」의 $X(D)$ 의 각 차수(a_1, a_2, a_3, a_4)를 (a_1, a_2, a_3, a_4)=(8, 7, 6, 5)라고 하면, 각 차수(a_1, a_2, a_3, a_4)를 4로 나눈 나머지를 k 는, (0, 3, 2, 1)이 되고, 4개의 계수 세트에, 나머지(k) 0, 1, 2, 3이 1개씩 포함되게 된다. 마찬가지로 「검사식#1」의 $P(D)$ 의 각 차수(b_1, b_2, b_3, b_4)를 (b_1, b_2, b_3, b_4)=(4, 3, 2, 1)이라고 하면, 각 차수(b_1, b_2, b_3, b_4)를 4로 나눈 나머지를 k 는, (0, 3, 2, 1)이 되고, 4개의 계수 세트에, 나머지(k)로서 0, 1, 2, 3이 1개씩 포함되게 된다. 다른 검사식(「검사식#2」, 「검사식#3」, 「검사식#4」)의 $X(D)$ 및 $P(D)$ 각각의 4개의 계수 세트에 대해서도 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립하는 것으로 한다.

[0046]

이와 같이 함으로써, 식(1-1)~(1-4)로 구성되는 패리티 검사 행렬 H 의 열(列) 가중치(weight)가 모든 열에 있어서 4가 되는, 레귤러 LDPC 부호를 형성할 수 있게 된다. 여기서, 레귤러 LDPC 부호란, 각 열 가중치가 일정한 패리티 검사 행렬에 의해 정의되는 LDPC 부호이고, 특성이 안정되어, 에러 플로어가 나오기 어렵다고 하는 특징이 있다. 특히, 열 가중치가 4일 때, 특성이 양호하기 때문에, 상기와 같이 하여 LDPC-CC를 생성함으로써, 수신 성능이 좋은 LDPC-CC를 얻을 수 있게 된다.

[0047]

또한, 표 1은, 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립하는, 시변주기 4, 부호화율 1/2인 LDPC-CC의 예(LDPC-CC #1~#3)이다. 표 1에 있어서, 시변주기 4인 LDPC-CC는, 「검사 다항식#1」, 「검사 다항식#2」, 「검사 다항식#3」, 「검사 다항식#4」의 4개의 패리티 검사 다항식에 의해 정의된다.

표 1

부호	패리티 검사 다항식
시변 주기4, 부호화율1/2인L DPC-CC#1	「검사다항식#1」 : $(D^{458}+D^{435}+D^{341}+1)X(D)+(D^{598}+D^{373}+D^{67}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#2」 : $(D^{387}+D^{213}+D^{30}+1)X(D)+(D^{545}+D^{542}+D^{103}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#3」 : $(D^{557}+D^{495}+D^{326}+1)X(D)+(D^{561}+D^{502}+D^{551}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#4」 : $(D^{426}+D^{329}+D^{99}+1)X(D)+(D^{321}+D^{55}+D^{42}+1)P(D)=0$
시변 주기4, 부호화율1/2인L DPC-CC#2	「검사다항식#1」 : $(D^{503}+D^{454}+D^{49}+1)X(D)+(D^{569}+D^{467}+D^{402}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#2」 : $(D^{518}+D^{473}+D^{203}+1)X(D)+(D^{598}+D^{499}+D^{145}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#3」 : $(D^{403}+D^{397}+D^{62}+1)X(D)+(D^{394}+D^{367}+D^{69}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#4」 : $(D^{483}+D^{385}+D^{94}+1)X(D)+(D^{426}+D^{415}+D^{413}+1)P(D)=0$
시변 주기4, 부호화율1/2인L DPC-CC#3	「검사다항식#1」 : $(D^{454}+D^{447}+D^{17}+1)X(D)+(D^{94}+D^{37}+D^{7}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#2」 : $(D^{583}+D^{445}+D^{606}+1)X(D)+(D^{325}+D^{71}+D^{66}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#3」 : $(D^{430}+D^{425}+D^{407}+1)X(D)+(D^{582}+D^{47}+D^{45}+1)P(D)=0$ 「검사다항식#4」 : $(D^{434}+D^{353}+D^{127}+1)X(D)+(D^{345}+D^{307}+D^{38}+1)P(D)=0$

[0048]

[0049]

상기에서는, 부호화율 1/2일 때를 예로 설명했지만, 부호화율이 $(n-1)/n$ 일 때에 대해서도, 정보 $X(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 에 있어서의 각각의 4개의 계수 세트에 있어서, 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립하면, 역시, 레귤러 LDPC 부호가 되어, 양호한 수신 품질을 얻을 수 있다.

[0050]

또한, 시변주기 2인 경우에 있어서도, 상기 「나머지」에 관한 조건을 적용하면, 특성이 양호한 부호를 탐색할 수 있는 것이 확인되었다. 이하, 특성이 양호한 시변주기 2인 LDPC-CC에 대해 설명한다. 또한, 아래에서는, 부호화율 1/2인 경우를 예로 설명한다.

[0051]

시변주기를 2로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서, 식(2-1), (2-2)를 생각해 본다. 이 때, $X(D)$ 는 데이터(정보)의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(2-1), (2-2)에서는, $X(D)$, $P(D)$ 각각에 4개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 했지만, 이것은, 양호한 수신 품질을 얻는데 있어, 4개의 항으로 하면 매우 적합하기 때문이다.

수학식 2

$$\begin{aligned} (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3}+D^{a4})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3}+D^{b4})P(D) &= 0 & \dots (2-1) \\ (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3}+D^{A4})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3}+D^{B4})P(D) &= 0 & \dots (2-2) \end{aligned}$$

[0052]

[0053]

식(2-1)에 있어서, $a1$, $a2$, $a3$, $a4$ 는 정수(단, $a1 \neq a2 \neq a3 \neq a4$)로 한다. 또, $b1$, $b2$, $b3$, $b4$ 는 정수(단, $b1 \neq b2 \neq b3 \neq b4$)로 한다. 식(2-1)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#1」이라고 부르고, 식(2-1)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제1 서브행렬 H1이라고 한다.

[0054]

또, 식(2-2)에 있어서, $A1$, $A2$, $A3$, $A4$ 는 정수(단, $A1 \neq A2 \neq A3 \neq A4$)로 한다. 또, $B1$, $B2$, $B3$, $B4$ 는 정수(단, $B1 \neq B2 \neq B3 \neq B4$)로 한다. 식(2-2)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#2」라고 부르고, 식(2-2)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제2 서브행렬 H2라고 한다.

[0055]

그리고, 제1 서브행렬 H1 및 제2 서브행렬 H2로부터 생성하는 시변주기 2인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다.

[0056]

이 때, 식(2-1), (2-2)에 있어서, $X(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수의 조합($a1$, $a2$, $a3$, $a4$), ($b1$, $b2$, $b3$, $b4$), ($A1$, $A2$, $A3$, $A4$), ($B1$, $B2$, $B3$, $B4$)의 각 값을 4로 나눈셈한 나머지를 k 라고 했을 때, 상기과 같이 나타낸 4개의 계수 세트(예를 들면, ($a1$, $a2$, $a3$, $a4$))에, 나머지 0, 1, 2, 3이 1개씩 포함되도록 하고 또, 상기 4개의 계수 세트 전부에서 성립하도록 한다.

[0057]

예를 들면, 「검사식#1」의 $X(D)$ 의 각 차수($a1$, $a2$, $a3$, $a4$)를 ($a1$, $a2$, $a3$, $a4$)=(8, 7, 6, 5)라고 하면, 각 차수($a1$, $a2$, $a3$, $a4$)를 4로 나눈셈한 나머지 k 는, (0, 3, 2, 1)이 되고, 4개의 계수 세트에, 나머지(k) 0, 1,

2, 3이 1개씩 포함되게 된다. 마찬가지로 「검사식#1」의 P(D)의 각 차수(b1, b2, b3, b4)를 (b1, b2, b3, b4)=(4, 3, 2, 1)이라고 하면, 각 차수(b1, b2, b3, b4)를 4로 나눈셈한 나머지 k는, (0, 3, 2, 1)이 되고, 4개의 계수 세트에, 나머지(k)로서 0, 1, 2, 3이 1개씩 포함되게 된다. 「검사식#2」의 X(D) 및 P(D) 각각의 4개의 계수 세트에 대해서도 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립하는 것으로 한다.

[0058] 이와 같이 함으로써, 식(2-1), (2-2)로 구성되는 패리티 검사 행렬 H의 열 가중치가 모든 열에 있어서 4가 되는, 레귤러 LDPC 부호를 형성할 수 있게 된다. 여기서, 레귤러 LDPC 부호란, 각 열 가중치가 일정한 패리티 검사 행렬에 의해 정의되는 LDPC 부호이며, 특성이 안정되어, 에러 플로어가 나오기 어렵다고 하는 특징이 있다. 특히, 행 가중치가 8인 경우, 특성이 양호한 점에서, 상기와 같이 하여 LDPC-CC를 생성함으로써, 수신 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 LDPC-CC를 얻을 수 있게 된다.

[0059] 또한, 표 2에, 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립되는, 시변주기 2, 부호화율 1/2인 LDPC-CC의 예(LDPC-CC #1, #2)를 나타낸다. 표 2에 있어서, 시변주기 2인 LDPC-CC는, 「검사 다항식#1」, 「검사 다항식#2」의 2개의 패리티 검사 다항식에 의해 정의된다.

표 2

부호	패리티 검사 다항식
시변 주기2, 부호화율1/2인L DPC-CC#1	「검사 다항식#1」: $(D^{51}+D^{65}+D^{98}+1)X(D)+(D^{407}+D^{586}+D^{573}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」: $(D^{43}+D^{433}+D^{54}+1)X(D)+(D^{559}+D^{557}+D^{546}+1)P(D)=0$
시변주기2, 부호화율1/2인L DPC-CC#2	「검사 다항식#1」: $(D^{65}+D^{90}+D^{99}+1)X(D)+(D^{295}+D^{246}+D^{69}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」: $(D^{75}+D^{226}+D^{213}+1)X(D)+(D^{298}+D^{147}+D^{45}+1)P(D)=0$

[0060]

[0061] 상기에서는 (시변주기 2인 LDPC-CC), 부호화율 1/2일 때를 예로 설명했지만, 부호화율이 (n-1)/n일 때에 대해서도, 정보 X1(D), X2(D), ... Xn-1(D)에 있어서의 각각의 4개의 계수 세트에 있어서, 상기의 「나머지」에 관한 조건이 성립하면, 역시, 레귤러 LDPC 부호가 되어, 양호한 수신 품질을 얻을 수 있다.

[0062] 또, 시변주기 3인 경우에 있어서도, 「나머지」에 관한 이하의 조건을 적용하면, 특성이 양호한 부호를 탐색할 수 있음이 확인되었다. 이하, 특성이 양호한 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해 설명한다. 또한, 아래에서는, 부호화율 1/2인 경우를 예로 설명한다.

[0063] 시변주기를 3으로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(3-1)~(3-3)을 생각해 본다. 이 때, X(D)는 데이터(정보)의 다항식 표현이고, P(D)는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(3-1)~(3-3)에서는, X(D), P(D) 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다.

수학식 3

$$\begin{aligned} (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3})P(D)&=0 & \cdots (3-1) \\ (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3})P(D)&=0 & \cdots (3-2) \\ (D^{\alpha1}+D^{\alpha2}+D^{\alpha3})X(D)+(D^{\beta1}+D^{\beta2}+D^{\beta3})P(D)&=0 & \cdots (3-3) \end{aligned}$$

[0064]

[0065] 식(3-1)에 있어서, a1, a2, a3는 정수(단, a1≠a2≠a3)로 한다. 또, b1, b2, b3는 정수(단, b1≠b2≠b3)로 한다. 식(3-1)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#1」이라고 부르고, 식(3-1)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제1 서브행렬 H1이라고 한다.

[0066] 또, 식(3-2)에 있어서, A1, A2, A3은 정수(단, A1≠A2≠A3)로 한다. 또, B1, B2, B3는 정수(단, B1≠B2≠B3)로 한다. 식(3-2)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#2」라고 부르고, 식(3-2)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제2 서브행렬 H2라고 한다.

- [0067] 또, 식(3-3)에 있어서, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 은 정수(단, $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$)로 한다. 또, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 은 정수(단, $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$)로 한다. 식(3-3)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#3」이라고 부르고, 식(3-3)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제3 서브행렬 H_3 이라고 한다.
- [0068] 그리고, 제1 서브행렬 H_1 , 제2 서브행렬 H_2 , 제3 서브행렬 H_3 로부터 생성하는 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다.
- [0069] 이 때, 식(3-1)~(3-3)에 있어서, $X(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수의 조합 (a_1, a_2, a_3) , (b_1, b_2, b_3) , (A_1, A_2, A_3) , (B_1, B_2, B_3) , $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ 의 각 값을 3으로 나눈 나머지를 k 라고 했을 때, 상기와 같이 나타낸 3개의 계수 세트(예를 들면, (a_1, a_2, a_3))에, 나머지 0, 1, 2가 1개씩 포함되도록 하고 또, 상기 3개의 계수 세트 전부에서 성립하도록 한다.
- [0070] 예를 들면, 「검사식#1」의 $X(D)$ 의 각 차수(a_1, a_2, a_3)를 $(a_1, a_2, a_3)=(6, 5, 4)$ 라고 하면, 각 차수(a_1, a_2, a_3)를 3으로 나눈 나머지를 k 는, $(0, 2, 1)$ 이 되고, 3개의 계수 세트에, 나머지(k) 0, 1, 2가 1개씩 포함되게 된다. 마찬가지로 「검사식#1」의 $P(D)$ 의 각 차수(b_1, b_2, b_3)를 $(b_1, b_2, b_3)=(3, 2, 1)$ 라고 하면, 각 차수(b_1, b_2, b_3)를 4로 나눈 나머지를 k 는, $(0, 2, 1)$ 이 되고, 3개의 계수 세트에, 나머지(k)로서 0, 1, 2가 1개씩 포함되게 된다. 「검사식#2」, 「검사식#3」의 $X(D)$ 및 $P(D)$ 각각의 3개의 계수 세트에 대해서도 상기의 「나머지」에 관한 조건이 성립하는 것으로 한다.
- [0071] 이와 같이 하여 LDPC-CC를 생성함으로써, 일부 예외를 제외하고, 행 가중치가 전부의 행에서 동일하고, 또, 열 가중치가 모든 행에서 동일한 레귤러 LDPC-CC부호를 생성할 수 있다. 또한, 예외란, 패리티 검사 행렬의 최초의 일부 및 마지막 일부에서는, 행 가중치, 열 가중치가, 다른 행 가중치, 열 가중치와 동일하게 되지않는 것을 말한다. 더욱이, BP복호를 행했을 경우, 「검사식#2」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#3」에 있어서의 신뢰도가, 정확하게 「검사식#1」에 대해서 전파(傳播)하고, 「검사식#1」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#3」에 있어서의 신뢰도가, 정확하게 「검사식#2」에 대해서 전파하고, 「검사식#1」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#2」에 있어서의 신뢰도가, 「검사식#3」에 대해서 정확하게 전파한다. 이 때문에, 보다 수신 품질이 양호한 LDPC-CC를 얻을 수 있다. 이것은, 열 단위로 생각했을 때, 「1」이 존재하는 위치가, 상술한 바와 같이, 신뢰도를 정확하게 전파하도록 배치되게 되기 때문이다.
- [0072] 이하, 도면을 이용하여, 상술한 신뢰도 전파에 대해서 설명한다. 도 4a는, 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식 및 패리티 검사 행렬 H 의 구성을 나타내고 있다.
- [0073] 「검사식#1」은, 식(3-1)의 패리티 검사 다항식에 있어서, $(a_1, a_2, a_3)=(2, 1, 0)$, $(b_1, b_2, b_3)=(2, 1, 0)$ 인 경우이고, 각 계수를 3으로 나눈 나머지는, $(a_1\%3, a_2\%3, a_3\%3)=(2, 1, 0)$, $(b_1\%3, b_2\%3, b_3\%3)=(2, 1, 0)$ 이다. 또한, 「 $Z\%3$ 」은, Z 를 3으로 나눈 나머지를 나타낸다(이하 동일).
- [0074] 「검사식#2」는, 식(3-2)의 패리티 검사 다항식에 있어서, $(A_1, A_2, A_3)=(5, 1, 0)$, $(B_1, B_2, B_3)=(5, 1, 0)$ 인 경우이고, 각 계수를 3으로 나눈 나머지는, $(A_1\%3, A_2\%3, A_3\%3)=(2, 1, 0)$, $(B_1\%3, B_2\%3, B_3\%3)=(2, 1, 0)$ 이다.
- [0075] 「검사식#3」은, 식(3-3)의 패리티 검사 다항식에 있어서, $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)=(4, 2, 0)$, $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)=(4, 2, 0)$ 인 경우이고, 각 계수를 3으로 나눈 나머지는, $(\alpha_1\%3, \alpha_2\%3, \alpha_3\%3)=(1, 2, 0)$, $(\beta_1\%3, \beta_2\%3, \beta_3\%3)=(1, 2, 0)$ 이다.
- [0076] 따라서, 도 4a에 나타낸 시변주기 3인 LDPC-CC의 예는, 상술한 「나머지」에 관한 조건, 즉,
- [0077] $(a_1\%3, a_2\%3, a_3\%3)$,
- [0078] $(b_1\%3, b_2\%3, b_3\%3)$,
- [0079] $(A_1\%3, A_2\%3, A_3\%3)$,
- [0080] $(B_1\%3, B_2\%3, B_3\%3)$,
- [0081] $(\alpha_1\%3, \alpha_2\%3, \alpha_3\%3)$,
- [0082] $(\beta_1\%3, \beta_2\%3, \beta_3\%3)$ 이,
- [0083] $(0, 1, 2)$, $(0, 2, 1)$, $(1, 0, 2)$, $(1, 2, 0)$, $(2, 0, 1)$, $(2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다고 하는 조건을 만족

시키고 있다.

- [0084] 다시, 도 4a로 돌아와, 신뢰도 전파에 대해서 설명한다. BP복호에 있어서의 열6506의 열 연산에 의해, 「검사식#1」의 영역6501의 「1」은, 「검사식#2」의 영역6504의 「1」 및 「검사식#3」의 영역6505의 「1」로부터, 신뢰도가 전파된다. 상술한 바와 같이, 「검사식#1」의 영역 6501의 「1」은, 3으로 나눴셈한 나머지가 0이 되는 계수이다($a3\%3=0(a3=0)$, 또는, $b3\%3=0(b3=0)$). 또, 「검사식#2」의 영역 6504의 「1」은, 3으로 나눴셈한 나머지가 1이 되는 계수이다($A2\%3=1(A2=1)$, 또는, $B2\%3=1(B2=1)$). 또, 「검사식#3」의 영역 6505의 「1」은, 3으로 나눴셈한 나머지가 2가 되는 계수이다($\alpha 2\%3=2(\alpha 2=2)$, 또는, $\beta 2\%3=2(\beta 2=2)$).
- [0085] 이와 같이, 「검사식#1」의 계수에 있어서 나머지가 0이 되는 영역 6501의 「1」은, BP복호에 있어서의 열 6506의 열 연산에 있어서, 「검사식#2」의 계수에 있어서 나머지가 1이 되는 영역 6504의 「1」, 및, 「검사식#3」의 계수에 있어서 나머지가 2가 되는 영역 6505의 「1」로부터, 신뢰도가 전파된다.
- [0086] 마찬가지로, 「검사식#1」의 계수에 있어서 나머지가 1이 되는 영역 6502의 「1」은, BP복호에 있어서의 열 6509의 열연산에 있어서, 「검사식#2」의 계수에 있어서 나머지가 2가 되는 영역 6507의 「1」, 및, 「검사식#3」의 계수에 있어서 나머지가 0이 되는 영역 6508의 「1」로부터, 신뢰도가 전파된다.
- [0087] 마찬가지로 「검사식#1」의 계수에 있어서 나머지가 2가 되는 영역 6503의 「1」은, BP복호에 있어서의 열 6512의 열연산에 있어서, 「검사식#2」의 계수에 있어서 나머지가 0이 되는 영역 6510의 「1」, 및, 「검사식#3」의 계수에 있어서 나머지가 1이 되는 영역 6511의 「1」로부터, 신뢰도가 전파된다.
- [0088] 도 4b를 이용해, 신뢰도 전파에 대해서 보충 설명을 한다. 도 4b는, 도 4a의 「검사식#1」~「검사식#3」의 X(D)에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타내고 있다. 도 4a의 「검사식#1」~「검사식#3」은, 식 $(3-1)\sim(3-3)$ 의 X(D)에 관한 항에 있어서, $(a1, a2, a3)=(2, 1, 0)$, $(A1, A2, A3)=(5, 1, 0)$, $(\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3)=(4, 2, 0)$ 인 경우이다.
- [0089] 도 4b에 있어서, 사각으로 둘러싸인 항($a3, A3, \alpha 3$)은, 3으로 나눴셈한 나머지가 0의 계수를 나타낸다. 또, 원으로 둘러싸인 항($a2, A2, \alpha 1$)은, 3으로 나눴셈한 나머지가 1의 계수를 나타낸다. 또, 마름모꼴로 둘러싸인 항($a1, A1, \alpha 2$)은, 3으로 나눴셈한 나머지가 2의 계수를 나타낸다.
- [0090] 도 4b로부터 알 수 있는 것처럼, 「검사식#1」의 $a1$ 은, 3으로 나눴셈한 나머지가 다른 「검사식#2」의 $A3$ 및 「검사식#3」의 $\alpha 1$ 로부터 신뢰도가 전파된다. 「검사식#1」의 $a2$ 는, 3으로 나눴셈한 나머지가 다른 「검사식#2」의 $A1$ 및 「검사식#3」의 $\alpha 3$ 으로부터 신뢰도가 전파된다. 「검사식#1」의 $a3$ 은, 3으로 나눴셈한 나머지가 다른 「검사식#2」의 $A2$ 및 「검사식#3」의 $\alpha 2$ 로부터 신뢰도가 전파된다. 도 4b에는, 「검사식#1」~「검사식#3」의 X(D)에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타냈지만, P(D)에 관한 각 항끼리에 대해서도 동일하다고 할 수 있다.
- [0091] 이와 같이, 「검사식#1」에는, 「검사식#2」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 0, 1, 2가 되는 계수로부터, 신뢰도가 전파된다. 즉, 「검사식#1」에는, 「검사식#2」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 전부 다른 계수로부터, 신뢰도가 전파되는 것이 된다. 따라서, 상관이 낮은 신뢰도끼리가 전부 「검사식#1」에 전파하는 것이 된다.
- [0092] 마찬가지로, 「검사식#2」에는, 「검사식#1」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 0, 1, 2가 되는 계수로부터, 신뢰도가 전파된다. 즉, 「검사식#2」에는, 「검사식#1」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 모두 다른 계수로부터, 신뢰도가 전파되게 된다. 또, 「검사식#2」에는, 「검사식#3」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 0, 1, 2가 되는 계수로부터, 신뢰도가 전파된다. 즉, 「검사식#2」에는, 「검사식#3」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 모두 다른 계수로부터, 신뢰도가 전파되게 된다.
- [0093] 마찬가지로, 「검사식#3」에는, 「검사식#1」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 0, 1, 2가 되는 계수로부터, 신뢰도가 전파된다. 즉, 「검사식#3」에는, 「검사식#1」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 전부 다른 계수로부터, 신뢰도가 전파되게 된다. 또, 「검사식#3」에는, 「검사식#2」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 0, 1, 2가 되는 계수로부터, 신뢰도가 전파된다. 즉, 「검사식#3」에는, 「검사식#2」의 계수 가운데, 3으로 나눴셈한 나머지가 모두 다른 계수로부터, 신뢰도가 전파되게 된다.
- [0094] 이와 같이, 식 $(3-1)\sim(3-3)$ 의 패리티 검사 다항식의 각 차수가, 상술한 「나머지」에 관한 조건을 만족시키도록 함으로써, 모든 열연산에 있어서, 신뢰도가 반드시 전파되게 되므로, 모든 검사식에 있어서, 효율적으로 신뢰도를 전파시킬 수가 있게 되어, 더욱 오류정정 능력을 높일 수가 있다.

[0095] 이상, 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해, 부호화율 1/2인 경우를 예로 설명했지만, 부호화율은 1/2에 한정되지 않는다. 부호화율(n-1)/n(n은 2이상의 정수)인 경우에는, 정보 X1(D), X2(D), ···Xn-1(D)에 있어서의, 각각의 3개의 계수 세트에 있어서, 상기의 「나머지」에 관한 조건이 성립하면, 역시, 레귤러 LDPC 부호가 되어, 양호한 수신 품질을 얻을 수 있다.

[0096] 이하, 부호화율(n-1)/n(n은 2이상의 정수)인 경우에 대해서 설명한다.

[0097] 시변주기를 3으로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(4-1)~(4-3)를 생각해 본다. 이 때, X1(D), X2(D), ···Xn-1(D)는 데이터(정보) X1, X2, ···Xn-1의 다항식 표현이고, P(D)는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(4-1)~(4-3)에서는, X1(D), X2(D), ···Xn-1(D), P(D) 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다.

수학식 4

$$\begin{aligned} & (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + D^{a_{1,3}})X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X_2(D) + \cdots \\ & + (D^{a_{n-1,1}} + D^{a_{n-1,2}} + D^{a_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{b_1} + D^{b_2} + D^{b_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \cdots (4-1)$$

$$\begin{aligned} & (D^{A_{1,1}} + D^{A_{1,2}} + D^{A_{1,3}})X_1(D) + (D^{A_{2,1}} + D^{A_{2,2}} + D^{A_{2,3}})X_2(D) + \cdots \\ & + (D^{A_{n-1,1}} + D^{A_{n-1,2}} + D^{A_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{B_1} + D^{B_2} + D^{B_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \cdots (4-2)$$

$$\begin{aligned} & (D^{\alpha_{1,1}} + D^{\alpha_{1,2}} + D^{\alpha_{1,3}})X_1(D) + (D^{\alpha_{2,1}} + D^{\alpha_{2,2}} + D^{\alpha_{2,3}})X_2(D) + \cdots \\ & + (D^{\alpha_{n-1,1}} + D^{\alpha_{n-1,2}} + D^{\alpha_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{\beta_1} + D^{\beta_2} + D^{\beta_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \cdots (4-3)$$

[0098]

[0099] 식(4-1)에 있어서, $a_{i,1}, a_{i,2}, a_{i,3} (i=1, 2, \dots, n-1)$ 은 정수(단, $a_{i,1} \neq a_{i,2} \neq a_{i,3}$)로 한다. 또, b_1, b_2, b_3 는 정수(단, $b_1 \neq b_2 \neq b_3$)로 한다. 식(4-1)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#1」이라고 부르고, 식(4-1)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제1 서브행렬 H1이라고 한다.

[0100] 또, 식(4-2)에 있어서, $A_{i,1}, A_{i,2}, A_{i,3} (i=1, 2, \dots, n-1)$ 은 정수(단, $A_{i,1} \neq A_{i,2} \neq A_{i,3}$)로 한다. 또, B_1, B_2, B_3 는 정수(단, $B_1 \neq B_2 \neq B_3$)로 한다. 식(4-2)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#2」라고 부르고, 식(4-2)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제2 서브행렬 H2라고 한다.

[0101] 또, 식(4-3)에 있어서, $\alpha_{i,1}, \alpha_{i,2}, \alpha_{i,3} (i=1, 2, \dots, n-1)$ 은 정수(단, $\alpha_{i,1} \neq \alpha_{i,2} \neq \alpha_{i,3}$)로 한다. 또, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 는 정수(단, $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$)로 한다. 식(4-3)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#3」이라고 부르고, 식(4-3)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제3 서브행렬 H3이라고 한다.

[0102] 그리고, 제1 서브행렬 H1, 제2 서브행렬 H2, 제3 서브행렬 H3으로부터 생성하는 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다.

[0103] 이 때, 식(4-1)~(4-3)에 있어서, X1(D), X2(D), ···Xn-1(D) 및 P(D)의 차수의 조합

[0104] $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3}),$

[0105] $(a_{2,1}, a_{2,2}, a_{2,3}), \dots,$

[0106] $(a_{n-1,1}, a_{n-1,2}, a_{n-1,3}),$

[0107] $(b_1, b_2, b_3),$

[0108] $(A_{1,1}, A_{1,2}, A_{1,3}),$

- [0109] $(A_{2,1}, A_{2,2}, A_{2,3}), \dots,$
- [0110] $(A_{n-1,1}, A_{n-1,2}, A_{n-1,3}),$
- [0111] $(B_1, B_2, B_3),$
- [0112] $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3}),$
- [0113] $(a_{2,1}, a_{2,2}, a_{2,3}), \dots,$
- [0114] $(a_{n-1,1}, a_{n-1,2}, a_{n-1,3}),$
- [0115] $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$
- [0116] 의 각 값을 3으로 나눈셈한 나머지를 k 라고 했을 경우, 상기와 같이 나타낸 3개의 계수 세트(예를 들면, $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3})$)에, 나머지 0, 1, 2가 1개씩 포함되도록 하고, 또, 상기의 3개의 계수 세트 전부에서 성립하도록 한다.
- [0117] 즉,
- [0118] $(a_{1,1} \% 3, a_{1,2} \% 3, a_{1,3} \% 3),$
- [0119] $(a_{2,1} \% 3, a_{2,2} \% 3, a_{2,3} \% 3), \dots,$
- [0120] $(a_{n-1,1} \% 3, a_{n-1,2} \% 3, a_{n-1,3} \% 3),$
- [0121] $(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3),$
- [0122] $(A_{1,1} \% 3, A_{1,2} \% 3, A_{1,3} \% 3),$
- [0123] $(A_{2,1} \% 3, A_{2,2} \% 3, A_{2,3} \% 3), \dots,$
- [0124] $(A_{n-1,1} \% 3, A_{n-1,2} \% 3, A_{n-1,3} \% 3),$
- [0125] $(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3),$
- [0126] $(a_{1,1} \% 3, a_{1,2} \% 3, a_{1,3} \% 3),$
- [0127] $(a_{2,1} \% 3, a_{2,2} \% 3, a_{2,3} \% 3), \dots,$
- [0128] $(a_{n-1,1} \% 3, a_{n-1,2} \% 3, a_{n-1,3} \% 3),$
- [0129] $(\beta_1 \% 3, \beta_2 \% 3, \beta_3 \% 3)$ 이,
- [0130] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 되도록 한다.
- [0131] 이와 같이 하여 LDPC-CC를 생성함으로써, 레귤러 LDPC-CC부호를 생성할 수 있다. 더욱이, BP복호를 행했을 때, 「검사식#2」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#3」에 있어서의 신뢰도가, 적확하게 「검사식#1」에 대해서 전파하고, 「검사식#1」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#3」에 있어서의 신뢰도가, 적확하게 「검사식#2」에 대해서 전파하고, 「검사식#1」에 있어서의 신뢰도 및 「검사식#2」에 있어서의 신뢰도가, 「검사식#3」에 대해서 적확하게 전파한다. 이 때문에, 부호화율 1/2인 경우와 마찬가지로, 보다 수신 품질이 양호한 LDPC-CC를 얻을 수 있다.
- [0132] 또한, 표 3에, 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립되는, 시변주기 3, 부호화율 1/2인 LDPC-CC의 예(LDPC-CC #1, #2, #3, #4, #5, #6)를 나타낸다. 표 3에 있어서, 시변주기 3인 LDPC-CC는, 「검사(다항)식#1」, 「검사(다항)식#2」, 「검사(다항)식#3」의 3개의 패리티 검사 다항식에 의해 정의된다.

표 3

부호	패리티 검사 다항식
시변 주기3, 부호화율1/2인LD PC-CC#1	「검사 다항식#1」 : $(D^{428}+D^{325}+1)X(D)+(D^{568}+D^{332}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{338}+D^{380}+1)X(D)+(D^{449}+D^1+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{683}+D^{470}+1)X(D)+(D^{664}+D^{242}+1)P(D)=0$
시변 주기3, 부호화율1/2인LD PC-CC#2	「검사 다항식#1」 : $(D^{662}+D^{71}+1)X(D)+(D^{825}+D^{155}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{215}+D^{406}+1)X(D)+(D^{566}+D^{42}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{690}+D^{559}+1)X(D)+(D^{427}+D^{10}+1)P(D)=0$
시변 주기3, 부호화율1/2인DP C-CC#3	「검사 다항식#1」 : $(D^{112}+D^{53}+1)X(D)+(D^{10}+D^{88}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{103}+D^7+1)X(D)+(D^5+D^{53}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{148}+D^{89}+1)X(D)+(D^{46}+D^{49}+1)P(D)=0$
시변 주기3, 부호화율1/2인LD PC-CC#4	「검사 다항식#1」 : $(D^{650}+D^{322}+1)X(D)+(D^{448}+D^{338}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{629}+D^{32}+1)X(D)+(D^{238}+D^{88}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{592}+D^{572}+1)X(D)+(D^{578}+D^{568}+1)P(D)=0$
시변 주기3, 부호화율1/2인LD PC-CC#5	「검사 다항식#1」 : $(D^{110}+D^{59}+1)X(D)+(D^{335}+D^{47}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{875}+D^{796}+1)X(D)+(D^{962}+D^{871}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{605}+D^{547}+1)X(D)+(D^{650}+D^{439}+1)P(D)=0$
시변 주기3, 부호화율1/2인LD PC-CC#6	「검사 다항식#1」 : $(D^{873}+D^{56}+1)X(D)+(D^{406}+D^{218}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{457}+D^{97}+1)X(D)+(D^{491}+D^{32}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{485}+D^{70}+1)X(D)+(D^{236}+D^{81}+1)P(D)=0$

[0133]

[0134]

또, 시변주기 3과 마찬가지로, 시변주기가 3의 배수(예를 들면, 시변주기가 6, 9, 12, . . .)인 LDPC-CC에 대해서, 「나머지」에 관한 이하의 조건을 적용하면, 특성이 양호한 부호를 탐색할 수 있는 것이 확인되었다. 이하, 특성이 양호한 시변주기 3의 배수인 LDPC-CC에 대해 설명한다. 또한, 아래에서는, 부호화율 1/2, 시변주기 6인 LDPC-CC의 경우를 예로 설명한다.

[0135]

시변주기를 6으로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(5-1)~식(5-6)을 생각해 본다.

수학식 5

$$\begin{aligned}
 (D^{a1,1} + D^{a1,2} + D^{a1,3})X(D) + (D^{b1,1} + D^{b1,2} + D^{b1,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-1) \\
 (D^{a2,1} + D^{a2,2} + D^{a2,3})X(D) + (D^{b2,1} + D^{b2,2} + D^{b2,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-2) \\
 (D^{a3,1} + D^{a3,2} + D^{a3,3})X(D) + (D^{b3,1} + D^{b3,2} + D^{b3,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-3) \\
 (D^{a4,1} + D^{a4,2} + D^{a4,3})X(D) + (D^{b4,1} + D^{b4,2} + D^{b4,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-4) \\
 (D^{a5,1} + D^{a5,2} + D^{a5,3})X(D) + (D^{b5,1} + D^{b5,2} + D^{b5,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-5) \\
 (D^{a6,1} + D^{a6,2} + D^{a6,3})X(D) + (D^{b6,1} + D^{b6,2} + D^{b6,3})P(D) &= 0 & \cdots (5-6)
 \end{aligned}$$

[0136]

[0137]

이 때, X(D)는 데이터(정보)의 다항식 표현이고, P(D)는 패리티의 다항식 표현이다. 시변주기 6인 LDPC-CC에서는, 시각 i의 패리티 Pi 및 정보 Xi는, i%6=k라고 하면(k=0, 1, 2, 3, 4, 5), 식(5-(k+1))의 패리티 검사 다항식이 성립하게 된다. 예를 들면, i=1이라고 하면, i%6=1(k=1)이 되므로, 식(6)이 성립한다.

수학식 6

$$(D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X_1 + (D^{b_{2,1}} + D^{b_{2,2}} + D^{b_{2,3}})P_1 = 0 \quad \cdots (6)$$

[0138]

[0139]

여기서, 식(5-1)~(5-6)에서는, $X(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다.

[0140]

식(5-1)에 있어서, $a_1, 1, a_1, 2, a_1, 3$ 은 정수(단, $a_1, 1 \neq a_1, 2 \neq a_1, 3$)로 한다. 또, $b_1, 1, b_1, 2, b_1, 3$ 은 정수(단, $b_1, 1 \neq b_1, 2 \neq b_1, 3$)로 한다. 식(5-1)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#1」이라고 부르고, 식(5-1)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제1 서브행렬 H_1 이라고 한다.

[0141]

또, 식(5-2)에 있어서, $a_2, 1, a_2, 2, a_2, 3$ 은 정수(단, $a_2, 1 \neq a_2, 2 \neq a_2, 3$)로 한다. 또, $b_2, 1, b_2, 2, b_2, 3$ 은 정수(단, $b_2, 1 \neq b_2, 2 \neq b_2, 3$)로 한다. 식(5-2)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#2」라고 부르고, 식(5-2)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제2 서브행렬 H_2 라고 한다.

[0142]

또, 식(5-3)에 있어서, $a_3, 1, a_3, 2, a_3, 3$ 은 정수(단, $a_3, 1 \neq a_3, 2 \neq a_3, 3$)로 한다. 또, $b_3, 1, b_3, 2, b_3, 3$ 은 정수(단, $b_3, 1 \neq b_3, 2 \neq b_3, 3$)로 한다. 식(5-3)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#3」이라고 부르고, 식(5-3)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제3 서브행렬 H_3 이라고 한다.

[0143]

또, 식(5-4)에 있어서, $a_4, 1, a_4, 2, a_4, 3$ 은 정수(단, $a_4, 1 \neq a_4, 2 \neq a_4, 3$)로 한다. 또, $b_4, 1, b_4, 2, b_4, 3$ 은 정수(단, $b_4, 1 \neq b_4, 2 \neq b_4, 3$)로 한다. 식(5-4)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#4」라고 부르고, 식(5-4)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제4 서브행렬 H_4 라고 한다.

[0144]

또, 식(5-5)에 있어서, $a_5, 1, a_5, 2, a_5, 3$ 은 정수(단, $a_5, 1 \neq a_5, 2 \neq a_5, 3$)로 한다. 또, $b_5, 1, b_5, 2, b_5, 3$ 은 정수(단, $b_5, 1 \neq b_5, 2 \neq b_5, 3$)로 한다. 식(5-5)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#5」라고 부르고, 식(5-5)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제5 서브행렬 H_5 라고 한다.

[0145]

또, 식(5-6)에 있어서, $a_6, 1, a_6, 2, a_6, 3$ 은 정수(단, $a_6, 1 \neq a_6, 2 \neq a_6, 3$)로 한다. 또, $b_6, 1, b_6, 2, b_6, 3$ 은 정수(단, $b_6, 1 \neq b_6, 2 \neq b_6, 3$)로 한다. 식(5-6)의 패리티 검사 다항식을 「검사식#6」이라고 부르고, 식(5-6)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제6 서브행렬 H_6 이라고 한다.

[0146]

그리고, 제1 서브행렬 H_1 , 제2 서브행렬 H_2 , 제3 서브행렬 H_3 , 제4 서브행렬 H_4 , 제5 서브행렬 H_5 , 제6 서브행렬 H_6 으로부터 생성하는 시변주기 6인 LDPC-CC에 대해 생각해 본다.

[0147]

이 때, 식(5-1)~(5-6)에 있어서, $X(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수의 조합

[0148]

$(a_1, 1, a_1, 2, a_1, 3)$,

[0149]

$(b_1, 1, b_1, 2, b_1, 3)$,

[0150]

$(a_2, 1, a_2, 2, a_2, 3)$,

[0151]

$(b_2, 1, b_2, 2, b_2, 3)$,

[0152]

$(a_3, 1, a_3, 2, a_3, 3)$,

[0153]

$(b_3, 1, b_3, 2, b_3, 3)$,

[0154]

$(a_4, 1, a_4, 2, a_4, 3)$,

[0155]

$(b_4, 1, b_4, 2, b_4, 3)$,

[0156]

$(a_5, 1, a_5, 2, a_5, 3)$,

[0157]

$(b_5, 1, b_5, 2, b_5, 3)$,

[0158]

$(a_6, 1, a_6, 2, a_6, 3)$,

- [0159] (b6, 1, b6, 2, b6, 3)
- [0160] 의 각 값을 3으로 나눴셈했을 때의 나머지를 k라고 했을 경우, 상기와 같이 나타낸 3개의 계수 세트(예를 들면, (a1, 1, a1, 2, a1, 3))에, 나머지 0, 1, 2가 1개씩 포함되도록 하고, 또, 상기의 3개의 계수 세트 전부에서 성립하도록 한다. 즉,
- [0161] (a1, 1%3, a1, 2%3, a1, 3%3),
- [0162] (b1, 1%3, b1, 2%3, b1, 3%3),
- [0163] (a2, 1%3, a2, 2%3, a2, 3%3),
- [0164] (b2, 1%3, b2, 2%3, b2, 3%3),
- [0165] (a3, 1%3, a3, 2%3, a3, 3%3),
- [0166] (b3, 1%3, b3, 2%3, b3, 3%3),
- [0167] (a4, 1%3, a4, 2%3, a4, 3%3),
- [0168] (b4, 1%3, b4, 2%3, b4, 3%3),
- [0169] (a5, 1%3, a5, 2%3, a5, 3%3),
- [0170] (b5, 1%3, b5, 2%3, b5, 3%3),
- [0171] (a6, 1%3, a6, 2%3, a6, 3%3),
- [0172] (b6, 1%3, b6, 2%3, b6, 3%3)은,
- [0173] (0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)의 어느것인가가 된다.
- [0174] 이와 같이 하여 LDPC-CC를 생성함으로써, 「검사식#1」에 대해서, 태너 그래프(Tanner graph)를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 정확하게 「검사식#2, 또는, 검사식#5」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#3, 또는, 검사식#6」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다.
- [0175] 또, 「검사식#2」에 대해서, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 정확하게 「검사식#1, 또는, 검사식#4」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#3, 또는, 검사식#6」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다.
- [0176] 또, 「검사식#3」에 대해서, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 정확하게 「검사식#1, 또는, 검사식#4」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#2, 또는, 검사식#5」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다. 「검사식#4」에 대해서, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 정확하게 「검사식#2, 또는, 검사식#5」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#3, 또는, 검사식#6」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다.
- [0177] 또, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 「검사식#5」에 대해서, 정확하게 「검사식#1, 또는, 검사식#4」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#3, 또는, 검사식#6」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다. 또, 「검사식#6」에 대해서, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재하는 경우, 정확하게 「검사식#1, 또는, 검사식#4」에 있어서의 신뢰도, 「검사식#2, 또는, 검사식#5」에 있어서의 신뢰도가 정확하게 전파한다.
- [0178] 이 때문에, 시변주기가 3일 때와 마찬가지로, 보다 양호한 오류정정 능력을 시변주기 6인 LDPC-CC가 보지(保持)하게 된다.
- [0179] 이것에 대해, 도 4c를 이용해, 신뢰도 전파에 대해 설명한다. 도 4c는, 「검사식#1」~「검사식#6」의 X(D)에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타내고 있다. 도 4c에 있어서, 사각은, ax, y에 있어서(x=1, 2, 3, 4, 5, 6; y=1, 2, 3), 3으로 나눴셈한 나머지가 0의 계수를 나타낸다.
- [0180] 또, 원은, ax, y에 있어서(x=1, 2, 3, 4, 5, 6; y=1, 2, 3), 3으로 나눴셈한 나머지가 1의 계수를 나타낸다. 또, 마름모형은, ax, y에 있어서(x=1, 2, 3, 4, 5, 6; y=1, 2, 3), 3으로 나눴셈한 나머지가 2의 계수를 나타낸다.
- [0181] 도 4c로부터 알 수 있는 것처럼, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재했을 경우, 「검사식#1」의 a1, 1은, 3으로 나눴셈한 나머지가 다른 「검사식#2또는#5」 및 「검사식#3 또는 #6」으로부터 신뢰도가 전파된다. 마찬가지로, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재했을 경우, 「검사식#1」의 a1, 2는, 3으로 나눴셈한 나머

지가 다른 「검사식#2 또는 #5」 및 「검사식#3 또는 #6」 으로부터 신뢰도가 전파된다.

[0182] 마찬가지로, 태너 그래프를 그렸을 때, 엣지가 존재했을 경우, 「검사식#1」의 a_1 , 3은, 3으로 나뉠셈한 나머지가 다른 「검사식#2 또는 #5」 및 「검사식#3 또는 #6」 으로부터 신뢰도가 전파된다. 도 4c에는, 「검사식#1」 ~ 「검사식#6」의 $X(D)$ 에 관한 각 항끼리의 신뢰도 전파의 관계를 나타냈지만, $P(D)$ 에 관한 각 항끼리에 대해서도 동일하다고 말할 수 있다.

[0183] 이와 같이, 「검사식#1」의 태너 그래프에 있어서의 각 노드에는, 「검사식#1」 이외의 계수 노드로부터 신뢰도가 전파하게 된다. 따라서, 상관이 낮은 신뢰도끼리가 전부 「검사식#1」에 전파하게 되므로, 오류정정 능력이 향상한다고 생각된다.

[0184] 도 4c에서는, 「검사식#1」에 착목했지만, 「검사식#2」부터 「검사식#6」에 대해서도 동일하게 태너 그래프를 그릴 수 있으며, 「검사식#K」의 태너 그래프에 있어서의 각 노드에는, 「검사식#K」 이외의 계수 노드로부터 신뢰도가 전파하게 된다. 따라서, 상관이 낮은 신뢰도끼리가 전부 「검사식#K」에 전파하게 되므로, 오류정정 능력이 향상한다고 생각된다. ($K=2, 3, 4, 5, 6$)

[0185] 이와 같이, 식(5-1)~(5-6)의 패리티 검사 다항식의 각 차수가, 상술한 「나머지」에 관한 조건을 만족시키도록 함으로써, 모든 검사식에 있어서, 효율적으로 신뢰도를 전파시킬 수 있게 되어, 오류정정 능력을 더욱 높일 수 있을 가능성이 높아진다.

[0186] 이상, 시변주기 6인 LDPC-CC에 대해, 부호화율 1/2인 경우를 예로 설명했지만, 부호화율은 1/2로 한정되지 않는다. 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)의 경우에는, 정보 $X_1(D), X_2(D), \dots, X_{n-1}(D)$ 에 있어서의, 각각의 3개의 계수 세트에 있어서, 상기 「나머지」에 관한 조건이 성립하면, 역시, 양호한 수신 품질을 얻을 수 있을 가능성이 높아진다.

[0187] 이하, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 경우에 대해 설명한다.

[0188] 시변주기를 6으로 하는 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(7-1)~(7-6)를 생각해 본다.

수학식 7

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-1)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-2)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-3)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#4,1,1} + D^{a\#4,1,2} + D^{a\#4,1,3})X_1(D) + (D^{a\#4,2,1} + D^{a\#4,2,2} + D^{a\#4,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#4,n-1,1} + D^{a\#4,n-1,2} + D^{a\#4,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#4,1} + D^{b\#4,2} + D^{b\#4,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-4)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#5,1,1} + D^{a\#5,1,2} + D^{a\#5,1,3})X_1(D) + (D^{a\#5,2,1} + D^{a\#5,2,2} + D^{a\#5,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#5,n-1,1} + D^{a\#5,n-1,2} + D^{a\#5,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#5,1} + D^{b\#5,2} + D^{b\#5,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-5)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#6,1,1} + D^{a\#6,1,2} + D^{a\#6,1,3})X_1(D) + (D^{a\#6,2,1} + D^{a\#6,2,2} + D^{a\#6,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#6,n-1,1} + D^{a\#6,n-1,2} + D^{a\#6,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#6,1} + D^{b\#6,2} + D^{b\#6,3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (7-6)$$

[0189]

[0190] 이 때, $X_1(D)$, $X_2(D)$, $\dots \cdot X_{n-1}(D)$ 는 데이터(정보) X_1 , X_2 , $\dots \cdot X_{n-1}$ 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(7-1)~(7-6)에서는, $X_1(D)$, $X_2(D)$, $\dots \cdot X_{n-1}(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다. 상기의 부호화율 1/2일 때, 또, 시변주기 3일 때와 동일하게 생각하면, 식(7-1)~(7-6)의 패리티 검사 다항식으로 표시되는 시변주기 6, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 이하의 조건(<조건 #1>)을 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높아진다.

[0191] 단, 시변주기 6, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 $X_{i,1}$, $X_{i,2}$, $\dots \cdot$, $X_{i,n-1}$ 라고 나타낸다. 이 때, $i\%6=k$ 라고 하면 ($k=0, 1, 2, 3, 4, 5$), 식(7-($k+1$))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=8$ 이라고 하면, $i\%6=2(k=2)$ 가 되므로, 식(8)이 성립한다.

수학식 8

$$\begin{aligned} & \left(D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}} \right) X_{8,1} + \left(D^{a_{\#3,2,1}} + D^{a_{\#3,2,2}} + D^{a_{\#3,2,3}} \right) X_{8,2} + \dots \\ & + \left(D^{a_{\#3,n-1,1}} + D^{a_{\#3,n-1,2}} + D^{a_{\#3,n-1,3}} \right) X_{8,n-1} + \left(D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + D^{b_{\#3,3}} \right) P_8 = 0 \end{aligned} \quad \dots (8)$$

[0192]

<조건 #1>

[0193]

식(7-1)~(7-6)에 있어서, $X_1(D)$, $X_2(D)$, $\dots \cdot X_{n-1}(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

[0194]

$(a_{\#1,1,1}\%3, a_{\#1,1,2}\%3, a_{\#1,1,3}\%3),$

[0195]

$(a_{\#1,2,1}\%3, a_{\#1,2,2}\%3, a_{\#1,2,3}\%3), \dots \cdot,$

[0196]

$(a_{\#1,k,1}\%3, a_{\#1,k,2}\%3, a_{\#1,k,3}\%3), \dots \cdot,$

[0197]

$(a_{\#1,n-1,1}\%3, a_{\#1,n-1,2}\%3, a_{\#1,n-1,3}\%3),$

[0198]

$(b_{\#1,1}\%3, b_{\#1,2}\%3, b_{\#1,3}\%3)$ 은,

[0199]

$(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots \cdot, n-1$)

[0200]

또,

[0201]

$(a_{\#2,1,1}\%3, a_{\#2,1,2}\%3, a_{\#2,1,3}\%3),$

[0202]

$(a_{\#2,2,1}\%3, a_{\#2,2,2}\%3, a_{\#2,2,3}\%3), \dots \cdot,$

[0203]

$(a_{\#2,k,1}\%3, a_{\#2,k,2}\%3, a_{\#2,k,3}\%3), \dots \cdot,$

[0204]

$(a_{\#2,n-1,1}\%3, a_{\#2,n-1,2}\%3, a_{\#2,n-1,3}\%3),$

[0205]

$(b_{\#2,1}\%3, b_{\#2,2}\%3, b_{\#2,3}\%3)$ 은,

[0206]

$(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots \cdot, n-1$)

[0207]

또,

[0208]

$(a_{\#3,1,1}\%3, a_{\#3,1,2}\%3, a_{\#3,1,3}\%3),$

[0209]

$(a_{\#3,2,1}\%3, a_{\#3,2,2}\%3, a_{\#3,2,3}\%3), \dots \cdot,$

[0210]

- [0211] $(a_{\#3, k, 1} \% 3, a_{\#3, k, 2} \% 3, a_{\#3, k, 3} \% 3), \dots,$
- [0212] $(a_{\#3, n-1, 1} \% 3, a_{\#3, n-1, 2} \% 3, a_{\#3, n-1, 3} \% 3),$
- [0213] $(b_{\#3, 1} \% 3, b_{\#3, 2} \% 3, b_{\#3, 3} \% 3)$ 은,
- [0214] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0215] 또,
- [0216] $(a_{\#4, 1, 1} \% 3, a_{\#4, 1, 2} \% 3, a_{\#4, 1, 3} \% 3),$
- [0217] $(a_{\#4, 2, 1} \% 3, a_{\#4, 2, 2} \% 3, a_{\#4, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0218] $(a_{\#4, k, 1} \% 3, a_{\#4, k, 2} \% 3, a_{\#4, k, 3} \% 3), \dots,$
- [0219] $(a_{\#4, n-1, 1} \% 3, a_{\#4, n-1, 2} \% 3, a_{\#4, n-1, 3} \% 3),$
- [0220] $(b_{\#4, 1} \% 3, b_{\#4, 2} \% 3, b_{\#4, 3} \% 3)$ 은,
- [0221] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0222] 또,
- [0223] $(a_{\#5, 1, 1} \% 3, a_{\#5, 1, 2} \% 3, a_{\#5, 1, 3} \% 3),$
- [0224] $(a_{\#5, 2, 1} \% 3, a_{\#5, 2, 2} \% 3, a_{\#5, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0225] $(a_{\#5, k, 1} \% 3, a_{\#5, k, 2} \% 3, a_{\#5, k, 3} \% 3), \dots,$
- [0226] $(a_{\#5, n-1, 1} \% 3, a_{\#5, n-1, 2} \% 3, a_{\#5, n-1, 3} \% 3),$
- [0227] $(b_{\#5, 1} \% 3, b_{\#5, 2} \% 3, b_{\#5, 3} \% 3)$ 은,
- [0228] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0229] 또,
- [0230] $(a_{\#6, 1, 1} \% 3, a_{\#6, 1, 2} \% 3, a_{\#6, 1, 3} \% 3),$
- [0231] $(a_{\#6, 2, 1} \% 3, a_{\#6, 2, 2} \% 3, a_{\#6, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0232] $(a_{\#6, k, 1} \% 3, a_{\#6, k, 2} \% 3, a_{\#6, k, 3} \% 3), \dots,$
- [0233] $(a_{\#6, n-1, 1} \% 3, a_{\#6, n-1, 2} \% 3, a_{\#6, n-1, 3} \% 3),$
- [0234] $(b_{\#6, 1} \% 3, b_{\#6, 2} \% 3, b_{\#6, 3} \% 3)$ 은,
- [0235] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0236] 상기 설명에서는, 시변주기 6인 LDPC-CC에 있어서, 높은 오류정정 능력을 가지는 부호에 대해서 설명했지만, 시변주기 3, 6인 LDPC-CC의 설계 방법과 마찬가지로, 시변주기 $3g(g=1, 2, 3, 4, \dots)$ 인 LDPC-CC(즉, 시변주기가 3의 배수인 LDPC-CC)를 작성했을 경우, 높은 오류정정 능력을 가지는 부호를 생성할 수 있다. 이하에서는, 그 부호의 구성 방법에 대해서 상세하게 설명한다.
- [0237] 시변주기를 $3g(g=1, 2, 3, 4, \dots)$, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식 $(9-1) \sim (9-3g)$ 를 생각해 본다.

수학식 9

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 \quad \dots (9-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 \quad \dots (9-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 \quad \dots (9-3) \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + D^{a\#k,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + D^{a\#k,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + D^{b\#k,3})P(D) = 0 \quad \dots (9-k) \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + D^{a\#3g-2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + D^{a\#3g-2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + D^{a\#3g-2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + D^{b\#3g-2,3})P(D) = 0 \\ & \dots (9-(3g-2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + D^{a\#3g-1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + D^{a\#3g-1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + D^{b\#3g-1,3})P(D) = 0 \\ & \dots (9-(3g-1)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + D^{a\#3g,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + D^{a\#3g,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + D^{a\#3g,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + D^{b\#3g,3})P(D) = 0 \\ & \dots (9-3g) \end{aligned}$$

[0238]

[0239]

이 때, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 는 데이터(정보) X_1 , X_2 , \dots , X_{n-1} 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(9-1)~(9-3g)에서는, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다.

[0240]

시변주기 3인 LDPC-CC 및 시변주기 6인 LDPC-CC와 동일하게 생각하면, 식(9-1)~(9-3g)의 패리티 검사 다항식으로 표시되는 시변주기 3g, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 이하의 조건(<조건 #2>)를 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높아진다.

[0241]

다만, 시변주기 3g, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 X_{i-1} , X_i , \dots , $X_{i,n-1}$ 이라고 나타낸다. 이 때, $i\%3g=k$ 라고 하면 ($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 식(9-(k+1))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=2$ 라고 하면, $i\%3g=2(k=2)$ 가 되므로, 식(10)이 성립한다.

수학식 10

$$\begin{aligned} & \left(D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}} \right) X_{2,1} + \left(D^{a_{\#3,2,1}} + D^{a_{\#3,2,2}} + D^{a_{\#3,2,3}} \right) X_{2,2} + \cdots \\ & + \left(D^{a_{\#3,n-1,1}} + D^{a_{\#3,n-1,2}} + D^{a_{\#3,n-1,3}} \right) X_{2,n-1} + \left(D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + D^{b_{\#3,3}} \right) P_2 = 0 \quad \cdots (10) \end{aligned}$$

[0242]

[0243] 또, 식(9-1)~식(9-3g)에 있어서, $a_{\#k,p,1}$, $a_{\#k,p,2}$, $a_{\#k,p,3}$ 은 정수(단, $a_{\#k,p,1} \neq a_{\#k,p,2} \neq a_{\#k,p,3}$)로 한다($k=1, 2, 3, \dots, 3g: p=1, 2, 3, \dots, n-1$). 또, $b_{\#k,1}$, $b_{\#k,2}$, $b_{\#k,3}$ 은 정수(단, $b_{\#k,1} \neq b_{\#k,2} \neq b_{\#k,3}$)로 한다. 식(9-k)의 패리티 검사 다항식($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)를 「검사식#k」라고 부르고, 식(9-k)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제k서브행렬 H_k 라고 한다. 그리고, 제1 서브행렬 H_1 , 제2 서브행렬 H_2 , 제3 서브행렬 H_3, \dots , 제3g서브행렬 H_{3g} 로부터 생성하는 시변주기 3g인 LDPC-CC에 대해 생각해 본다.

[0244] <조건#2>

[0245] 식(9-1)~(9-3g)에 있어서, $X_1(D)$, $X_2(D), \dots, X_{n-1}(D)$ 및 $P(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

[0246] $(a_{\#1,1,1} \% 3, a_{\#1,1,2} \% 3, a_{\#1,1,3} \% 3),$

[0247] $(a_{\#1,2,1} \% 3, a_{\#1,2,2} \% 3, a_{\#1,2,3} \% 3), \dots,$

[0248] $(a_{\#1,p,1} \% 3, a_{\#1,p,2} \% 3, a_{\#1,p,3} \% 3), \dots,$

[0249] $(a_{\#1,n-1,1} \% 3, a_{\#1,n-1,2} \% 3, a_{\#1,n-1,3} \% 3),$

[0250] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3, b_{\#1,3} \% 3)$ 은,

[0251] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

[0252] 또,

[0253] $(a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3, a_{\#2,1,3} \% 3),$

[0254] $(a_{\#2,2,1} \% 3, a_{\#2,2,2} \% 3, a_{\#2,2,3} \% 3), \dots,$

[0255] $(a_{\#2,p,1} \% 3, a_{\#2,p,2} \% 3, a_{\#2,p,3} \% 3), \dots,$

[0256] $(a_{\#2,n-1,1} \% 3, a_{\#2,n-1,2} \% 3, a_{\#2,n-1,3} \% 3),$

[0257] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3, b_{\#2,3} \% 3)$ 은,

[0258] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

[0259] 또,

[0260] $(a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3, a_{\#3,1,3} \% 3),$

[0261] $(a_{\#3,2,1} \% 3, a_{\#3,2,2} \% 3, a_{\#3,2,3} \% 3), \dots,$

[0262] $(a_{\#3,p,1} \% 3, a_{\#3,p,2} \% 3, a_{\#3,p,3} \% 3), \dots,$

[0263] $(a_{\#3,n-1,1} \% 3, a_{\#3,n-1,2} \% 3, a_{\#3,n-1,3} \% 3),$

[0264] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3, b_{\#3,3} \% 3)$ 은,

- [0265] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0266] 또,
- [0267] \cdot
- [0268] \cdot
- [0269] \cdot
- [0270] 또,
- [0271] $(a_{\#k, 1, 1} \% 3, a_{\#k, 1, 2} \% 3, a_{\#k, 1, 3} \% 3),$
- [0272] $(a_{\#k, 2, 1} \% 3, a_{\#k, 2, 2} \% 3, a_{\#k, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0273] $(a_{\#k, p, 1} \% 3, a_{\#k, p, 2} \% 3, a_{\#k, p, 3} \% 3), \dots,$
- [0274] $(a_{\#k, n-1, 1} \% 3, a_{\#k, n-1, 2} \% 3, a_{\#k, n-1, 3} \% 3),$
- [0275] $(b_{\#k, 1} \% 3, b_{\#k, 2} \% 3, b_{\#k, 3} \% 3)$ 은,
- [0276] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)(따라서, $k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0277] 또,
- [0278] \cdot
- [0279] \cdot
- [0280] \cdot
- [0281] 또,
- [0282] $(a_{\#3g-2, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 1, 2} \% 3, a_{\#3g-2, 1, 3} \% 3),$
- [0283] $(a_{\#3g-2, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 2, 2} \% 3, a_{\#3g-2, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0284] $(a_{\#3g-2, p, 1} \% 3, a_{\#3g-2, p, 2} \% 3, a_{\#3g-2, p, 3} \% 3), \dots,$
- [0285] $(a_{\#3g-2, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g-2, n-1, 3} \% 3),$
- [0286] $(b_{\#3g-2, 1} \% 3, b_{\#3g-2, 2} \% 3, b_{\#3g-2, 3} \% 3)$ 은,
- [0287] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0288] 또,
- [0289] $(a_{\#3g-1, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 1, 2} \% 3, a_{\#3g-1, 1, 3} \% 3),$
- [0290] $(a_{\#3g-1, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 2, 2} \% 3, a_{\#3g-1, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0291] $(a_{\#3g-1, p, 1} \% 3, a_{\#3g-1, p, 2} \% 3, a_{\#3g-1, p, 3} \% 3), \dots,$
- [0292] $(a_{\#3g-1, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g-1, n-1, 3} \% 3),$
- [0293] $(b_{\#3g-1, 1} \% 3, b_{\#3g-1, 2} \% 3, b_{\#3g-1, 3} \% 3)$ 은,
- [0294] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

- [0295] 또,
- [0296] $(a_{\#3g, 1, 1} \% 3, a_{\#3g, 1, 2} \% 3, a_{\#3g, 1, 3} \% 3),$
- [0297] $(a_{\#3g, 2, 1} \% 3, a_{\#3g, 2, 2} \% 3, a_{\#3g, 2, 3} \% 3), \dots,$
- [0298] $(a_{\#3g, p, 1} \% 3, a_{\#3g, p, 2} \% 3, a_{\#3g, p, 3} \% 3), \dots,$
- [0299] $(a_{\#3g, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g, n-1, 3} \% 3),$
- [0300] $(b_{\#3g, 1} \% 3, b_{\#3g, 2} \% 3, b_{\#3g, 3} \% 3)$ 은,
- [0301] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0302] 단, 부호화를 용이하게 행한다 라는 점을 고려하면, 식(9-1)~ (9-3g)에 있어서,
- [0303] $(b_{\#k, 1} \% 3, b_{\#k, 2} \% 3, b_{\#k, 3} \% 3)$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하면 좋다(단, $k=1, 2, \dots, 3g$). 이 때, $D^0=1$ 이 존재하고, 또 $b_{\#k, 1}, b_{\#k, 2}, b_{\#k, 3}$ 이 0이상의 정수이면, 패리티 P를 순차적으로 구할 수 있다고 하는 특징을 가지기 때문이다.
- [0304] 또, 동일 시점의 패리티 비트와 데이터 비트에 관련성을 갖게하여, 높은 정정 능력을 가지는 부호의 탐색을 용이하게 행하는 위해서는,
- [0305] $(a_{\#k, 1, 1} \% 3, a_{\#k, 1, 2} \% 3, a_{\#k, 1, 3} \% 3)$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하고,
- [0306] $(a_{\#k, 2, 1} \% 3, a_{\#k, 2, 2} \% 3, a_{\#k, 2, 3} \% 3)$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하고,
- [0307] .
- [0308] .
- [0309] .
- [0310] $(a_{\#k, p, 1} \% 3, a_{\#k, p, 2} \% 3, a_{\#k, p, 3} \% 3)$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하고,
- [0311] .
- [0312] .
- [0313] .
- [0314] $(a_{\#k, n-1, 1} \% 3, a_{\#k, n-1, 2} \% 3, a_{\#k, n-1, 3} \% 3)$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하면 좋다(단, $k=1, 2, \dots, 3g$).
- [0315] 다음에, 부호화를 용이하게 행한다 라는 점을 고려한 시변 주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$ 인 LDPC-CC에 대해 생각해 본다. 이 때, 부호화율을 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)이라고 하면 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은 이하와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

$$\begin{aligned}
& (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \quad \dots (11-1) \\
& + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 \\
& (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \quad \dots (11-2) \\
& + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 \\
& (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \quad \dots (11-3) \\
& + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 \\
& \vdots \\
& (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + D^{a\#k,2,3})X_2(D) + \dots \quad \dots (11-k) \\
& + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + D^{a\#k,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \\
& \vdots \\
& (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + D^{a\#3g-2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + D^{a\#3g-2,2,3})X_2(D) + \dots \\
& + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + D^{a\#3g-2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 \\
& \quad \quad \quad \dots (11-(3g-2)) \\
& (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + D^{a\#3g-1,2,3})X_2(D) + \dots \\
& + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + D^{a\#3g-1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 \\
& \quad \quad \quad \dots (11-(3g-1)) \\
& (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + D^{a\#3g,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + D^{a\#3g,2,3})X_2(D) + \dots \\
& + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + D^{a\#3g,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \\
& \quad \quad \quad \dots (11-3g)
\end{aligned}$$

[0316]

[0317]

이 때, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 는 데이터(정보) X_1 , X_2 , \dots , X_{n-1} 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(11-1)~(11-3g)에서는, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다. 단, 시변주기 $3g$, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 X_{i-1} , X_{i-2} , \dots , X_{i-n-1} 으로 나타낸다. 이 때, $i\%3g=k$ 라고 하면 ($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 식(11-($k+1$))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=2$ 라고 하면, $i\%3g=2(k=2)$ 가 되므로, 식(12)가 성립한다.

수학식 12

$$\begin{aligned} & \left(D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}} \right) X_{2,1} + \left(D^{a_{\#3,2,1}} + D^{a_{\#3,2,2}} + D^{a_{\#3,2,3}} \right) X_{2,2} + \cdots \\ & + \left(D^{a_{\#3,n-1,1}} + D^{a_{\#3,n-1,2}} + D^{a_{\#3,n-1,3}} \right) X_{2,n-1} + \left(D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + 1 \right) P_2 = 0 \end{aligned} \quad \cdots (12)$$

[0318]

[0319] 이 때, <조건 #3> 및 <조건 #4>를 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 부호를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.

[0320] <조건 #3>

[0321] 식 $(11-1) \sim (11-3g)$ 에 있어서, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

[0322] $(a_{\#1,1,1} \% 3, a_{\#1,1,2} \% 3, a_{\#1,1,3} \% 3)$,

[0323] $(a_{\#1,2,1} \% 3, a_{\#1,2,2} \% 3, a_{\#1,2,3} \% 3)$, \dots ,

[0324] $(a_{\#1,p,1} \% 3, a_{\#1,p,2} \% 3, a_{\#1,p,3} \% 3)$, \dots ,

[0325] $(a_{\#1,n-1,1} \% 3, a_{\#1,n-1,2} \% 3, a_{\#1,n-1,3} \% 3)$ 은,

[0326] $(0, 1, 2)$, $(0, 2, 1)$, $(1, 0, 2)$, $(1, 2, 0)$, $(2, 0, 1)$, $(2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

[0327] 또,

[0328] $(a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3, a_{\#2,1,3} \% 3)$,

[0329] $(a_{\#2,2,1} \% 3, a_{\#2,2,2} \% 3, a_{\#2,2,3} \% 3)$, \dots ,

[0330] $(a_{\#2,p,1} \% 3, a_{\#2,p,2} \% 3, a_{\#2,p,3} \% 3)$, \dots ,

[0331] $(a_{\#2,n-1,1} \% 3, a_{\#2,n-1,2} \% 3, a_{\#2,n-1,3} \% 3)$ 은,

[0332] $(0, 1, 2)$, $(0, 2, 1)$, $(1, 0, 2)$, $(1, 2, 0)$, $(2, 0, 1)$, $(2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

[0333] 또,

[0334] $(a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3, a_{\#3,1,3} \% 3)$,

[0335] $(a_{\#3,2,1} \% 3, a_{\#3,2,2} \% 3, a_{\#3,2,3} \% 3)$, \dots ,

[0336] $(a_{\#3,p,1} \% 3, a_{\#3,p,2} \% 3, a_{\#3,p,3} \% 3)$, \dots ,

[0337] $(a_{\#3,n-1,1} \% 3, a_{\#3,n-1,2} \% 3, a_{\#3,n-1,3} \% 3)$ 은,

[0338] $(0, 1, 2)$, $(0, 2, 1)$, $(1, 0, 2)$, $(1, 2, 0)$, $(2, 0, 1)$, $(2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

[0339] 또,

[0340] \cdot

[0341] \cdot

[0342] \cdot

[0343] 또,

- [0344] $(a_{\#k, 1, 1} \% 3, a_{\#k, 1, 2} \% 3, a_{\#k, 1, 3} \% 3),$
- [0345] $(a_{\#k, 2, 1} \% 3, a_{\#k, 2, 2} \% 3, a_{\#k, 2, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0346] $(a_{\#k, p, 1} \% 3, a_{\#k, p, 2} \% 3, a_{\#k, p, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0347] $(a_{\#k, n-1, 1} \% 3, a_{\#k, n-1, 2} \% 3, a_{\#k, n-1, 3} \% 3)$ 은,
- [0348] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \cdot \cdot \cdot, n-1$)(따라서, $k=1, 2, 3, \cdot \cdot \cdot, 3g$)
- [0349] 또,
- [0350] \cdot
- [0351] \cdot
- [0352] \cdot
- [0353] 또,
- [0354] $(a_{\#3g-2, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 1, 2} \% 3, a_{\#3g-2, 1, 3} \% 3),$
- [0355] $(a_{\#3g-2, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 2, 2} \% 3, a_{\#3g-2, 2, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0356] $(a_{\#3g-2, p, 1} \% 3, a_{\#3g-2, p, 2} \% 3, a_{\#3g-2, p, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0357] $(a_{\#3g-2, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g-2, n-1, 3} \% 3)$ 은,
- [0358] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \cdot \cdot \cdot, n-1$)
- [0359] 또,
- [0360] $(a_{\#3g-1, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 1, 2} \% 3, a_{\#3g-1, 1, 3} \% 3),$
- [0361] $(a_{\#3g-1, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 2, 2} \% 3, a_{\#3g-1, 2, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0362] $(a_{\#3g-1, p, 1} \% 3, a_{\#3g-1, p, 2} \% 3, a_{\#3g-1, p, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0363] $(a_{\#3g-1, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g-1, n-1, 3} \% 3)$ 은,
- [0364] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \cdot \cdot \cdot, n-1$)
- [0365] 또,
- [0366] $(a_{\#3g, 1, 1} \% 3, a_{\#3g, 1, 2} \% 3, a_{\#3g, 1, 3} \% 3),$
- [0367] $(a_{\#3g, 2, 1} \% 3, a_{\#3g, 2, 2} \% 3, a_{\#3g, 2, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0368] $(a_{\#3g, p, 1} \% 3, a_{\#3g, p, 2} \% 3, a_{\#3g, p, 3} \% 3), \cdot \cdot \cdot,$
- [0369] $(a_{\#3g, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g, n-1, 2} \% 3, a_{\#3g, n-1, 3} \% 3)$ 은,
- [0370] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \cdot \cdot \cdot, n-1$)
- [0371] 추가로, 식(11-1)~(11-3g)에 있어서, P(D)의 차수의 조합이 이하의 조건의 만족시킨다.
- [0372] $(b_{\#1, 1} \% 3, b_{\#1, 2} \% 3),$

- [0373] $(b_{\#2, 1\%3}, b_{\#2, 2\%3}),$
- [0374] $(b_{\#3, 1\%3}, b_{\#3, 2\%3}), \dots,$
- [0375] $(b_{\#k, 1\%3}, b_{\#k, 2\%3}), \dots,$
- [0376] $(b_{\#3g-2, 1\%3}, b_{\#3g-2, 2\%3}),$
- [0377] $(b_{\#3g-1, 1\%3}, b_{\#3g-1, 2\%3}),$
- [0378] $(b_{\#3g, 1\%3}, b_{\#3g, 2\%3})$ 은,
- [0379] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다($k=1, 2, 3, \dots, 3g$).
- [0380] 식 $(11-1) \sim (11-3g)$ 에 대한<조건#3>은, 식 $(9-1) \sim (9-3g)$ 에 대한 <조건#2>와 동일한 관계가 된다. 식 $(11-1) \sim (11-3g)$ 에 대해서, <조건#3>에 추가해, 이하의 조건(<조건#4>)을 부가하면, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0381] <조건#4>
- [0382] 식 $(11-1) \sim (11-3g)$ 의 $P(D)$ 의 차수에 있어서, 이하의 조건을 만족시킨다.
- [0383] $(b_{\#1, 1\%3g}, b_{\#1, 2\%3g}),$
- [0384] $(b_{\#2, 1\%3g}, b_{\#2, 2\%3g}),$
- [0385] $(b_{\#3, 1\%3g}, b_{\#3, 2\%3g}), \dots,$
- [0386] $(b_{\#k, 1\%3g}, b_{\#k, 2\%3g}), \dots,$
- [0387] $(b_{\#3g-2, 1\%3g}, b_{\#3g-2, 2\%3g}),$
- [0388] $(b_{\#3g-1, 1\%3g}, b_{\#3g-1, 2\%3g}),$
- [0389] $(b_{\#3g, 1\%3g}, b_{\#3g, 2\%3g})$ 의 $6g$ 개의 차수(2 개의 차수가 1 조를 구성하므로, $3g$ 조를 구성하는 차수는 $6g$ 개 있음)의 값에는, 0 부터 $3g-1$ 의 정수($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1$) 중, 3 의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다.
- [0390] 그런데, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성이 있으면 양호한 오류정정 능력이 얻어질 가능성이 높다. 식 $(11-1) \sim (11-3g)$ 의 패리티 검사 다항식을 가지는 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$, 부호화율이 $(n-1)/n$ (n 은 2 이상의 정수)인 LDPC-CC에서는, <조건#3>에 더해 <조건#4>의 조건을 붙여 부호를 작성하면, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성을 부여하는 것이 가능하게 되기때문에, 양호한 오류정정 능력이 얻어질 가능성이 높아진다.
- [0391] 다음에, 부호화를 용이하게 행할 수 있고, 또, 동일 시점의 패리티 비트와 데이터 비트에 관련성을 갖게하는, 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$ 인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다. 이 때, 부호화율을 $(n-1)/n$ (n 은 2 이상의 정수)이라고 하면 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은 이하와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

$$\begin{aligned}
 & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (13-1) \\
 & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (13-2) \\
 & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (13-3) \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (13-k) \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 \\
 & \quad \dots (13 - (3g - 2)) \\
 & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 \\
 & \quad \dots (13 - (3g - 1)) \\
 & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\
 & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (13 - 3g)
 \end{aligned}$$

[0392]

[0393] 이 때, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 는 데이터(정보) X_1 , X_2 , \dots , X_{n-1} 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 그리고, 식(13-1)~(13-3g)에서는, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 하고, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$, $P(D)$ 에는 D^0 의 항이 존재하게 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)

[0394] 단, 시변주기 $3g$, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 X_{i-1} , X_{i-2} , \dots , X_{i-n-1} 이라고 나타낸다. 이 때, $i\%3g=k$ 라고 하면($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 식(13-($k+1$))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=2$ 라고 하면, $i\%3g=2(k=2)$ 가 되므로, 식(14)가 성립한다.

수학식 14

$$\begin{aligned} & (D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + 1)X_{2,1} + (D^{a_{\#3,2,1}} + D^{a_{\#3,2,2}} + 1)X_{2,2} + \dots \\ & + (D^{a_{\#3,n-1,1}} + D^{a_{\#3,n-1,2}} + 1)X_{2,n-1} + (D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + 1)P_2 = 0 \end{aligned} \quad \dots (14)$$

이 때, 이하의 조건(<조건#5> 및 <조건#6>)을 만족시키면, 더욱 높은 오류정정 능력을 가지는 부호를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.

<조건#5>

식(13-1)~(13-3g)에 있어서, $X_1(D)$, $X_2(D)$, \dots , $X_{n-1}(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

$(a_{\#1, 1, 1} \% 3, a_{\#1, 1, 2} \% 3),$

$(a_{\#1, 2, 1} \% 3, a_{\#1, 2, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#1, p, 1} \% 3, a_{\#1, p, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#1, n-1, 1} \% 3, a_{\#1, n-1, 2} \% 3)$ 은,

(1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

또,

$(a_{\#2, 1, 1} \% 3, a_{\#2, 1, 2} \% 3),$

$(a_{\#2, 2, 1} \% 3, a_{\#2, 2, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#2, p, 1} \% 3, a_{\#2, p, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#2, n-1, 1} \% 3, a_{\#2, n-1, 2} \% 3)$ 은,

(1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

또,

$(a_{\#3, 1, 1} \% 3, a_{\#3, 1, 2} \% 3),$

$(a_{\#3, 2, 1} \% 3, a_{\#3, 2, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#3, p, 1} \% 3, a_{\#3, p, 2} \% 3), \dots,$

$(a_{\#3, n-1, 1} \% 3, a_{\#3, n-1, 2} \% 3)$ 은,

(1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

또,

.

.

.

또,

$(a_{\#k, 1, 1} \% 3, a_{\#k, 1, 2} \% 3),$

$(a_{\#k, 2, 1} \% 3, a_{\#k, 2, 2} \% 3), \dots,$

- [0423] $(a_{\#k, p, 1} \% 3, a_{\#k, p, 2} \% 3), \dots,$
- [0424] $(a_{\#k, n-1, 1} \% 3, a_{\#k, n-1, 2} \% 3)$ 은,
- [0425] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$) (따라서, $k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0426] 또,
- [0427] \cdot
- [0428] \cdot
- [0429] \cdot
- [0430] 또,
- [0431] $(a_{\#3g-2, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 1, 2} \% 3),$
- [0432] $(a_{\#3g-2, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-2, 2, 2} \% 3), \dots,$
- [0433] $(a_{\#3g-2, p, 1} \% 3, a_{\#3g-2, p, 2} \% 3), \dots,$
- [0434] $(a_{\#3g-2, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-2, n-1, 2} \% 3)$ 은,
- [0435] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0436] 또,
- [0437] $(a_{\#3g-1, 1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 1, 2} \% 3),$
- [0438] $(a_{\#3g-1, 2, 1} \% 3, a_{\#3g-1, 2, 2} \% 3), \dots,$
- [0439] $(a_{\#3g-1, p, 1} \% 3, a_{\#3g-1, p, 2} \% 3), \dots,$
- [0440] $(a_{\#3g-1, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g-1, n-1, 2} \% 3)$ 은,
- [0441] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0442] 또,
- [0443] $(a_{\#3g, 1, 1} \% 3, a_{\#3g, 1, 2} \% 3),$
- [0444] $(a_{\#3g, 2, 1} \% 3, a_{\#3g, 2, 2} \% 3), \dots,$
- [0445] $(a_{\#3g, p, 1} \% 3, a_{\#3g, p, 2} \% 3), \dots,$
- [0446] $(a_{\#3g, n-1, 1} \% 3, a_{\#3g, n-1, 2} \% 3)$ 은,
- [0447] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다. ($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0448] 추가하여, 식(13-1)~(13-3g)에 있어서, P(D)의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.
- [0449] $(b_{\#1, 1} \% 3, b_{\#1, 2} \% 3),$
- [0450] $(b_{\#2, 1} \% 3, b_{\#2, 2} \% 3),$
- [0451] $(b_{\#3, 1} \% 3, b_{\#3, 2} \% 3), \dots,$
- [0452] $(b_{\#k, 1} \% 3, b_{\#k, 2} \% 3), \dots,$
- [0453] $(b_{\#3g-2, 1} \% 3, b_{\#3g-2, 2} \% 3),$
- [0454] $(b_{\#3g-1, 1} \% 3, b_{\#3g-1, 2} \% 3),$

- [0455] $(b_{\#3g, 1\%3}, b_{\#3g, 2\%3})$ 은,
- [0456] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다($k=1, 2, 3, \dots, 3g$).
- [0457] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 에 대한 <조건#5>는, 식 $(9-1) \sim (9-3g)$ 에 대한 <조건#2>와 동일한 관계가 된다. 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 에 대해서, <조건#5>에 더해 이하의 조건(<조건#6>)을 부가하면, 높은 오류정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0458] <조건#6>
- [0459] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $X1(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0460] $(a_{\#1, 1, 1\%3g}, a_{\#1, 1, 2\%3g}),$
- [0461] $(a_{\#2, 1, 1\%3g}, a_{\#2, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0462] $(a_{\#p, 1, 1\%3g}, a_{\#p, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0463] $(a_{\#3g, 1, 1\%3g}, a_{\#3g, 1, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0464] 0부터 $3g-1$ 의 정수($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1$) 중, 3의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0465] 또,
- [0466] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $X2(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0467] $(a_{\#1, 2, 1\%3g}, a_{\#1, 2, 2\%3g}),$
- [0468] $(a_{\#2, 2, 1\%3g}, a_{\#2, 2, 2\%3g}), \dots,$
- [0469] $(a_{\#p, 2, 1\%3g}, a_{\#p, 2, 2\%3g}), \dots,$
- [0470] $(a_{\#3g, 2, 1\%3g}, a_{\#3g, 2, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0471] 0부터 $3g-1$ 의 정수($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1$) 중, 3의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0472] 또,
- [0473] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $X3(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0474] $(a_{\#1, 3, 1\%3g}, a_{\#1, 3, 2\%3g}),$
- [0475] $(a_{\#2, 3, 1\%3g}, a_{\#2, 3, 2\%3g}), \dots,$
- [0476] $(a_{\#p, 3, 1\%3g}, a_{\#p, 3, 2\%3g}), \dots,$
- [0477] $(a_{\#3g, 3, 1\%3g}, a_{\#3g, 3, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0478] 0부터 $3g-1$ 의 정수($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1$) 중, 3의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0479] 또,
- [0480] .
- [0481] .
- [0482] .
- [0483] 또,
- [0484] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $Xk(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.

- [0485] $(a_{\#1, k, 1}^{3g}, a_{\#1, k, 2}^{3g}),$
- [0486] $(a_{\#2, k, 1}^{3g}, a_{\#2, k, 2}^{3g}), \dots,$
- [0487] $(a_{\#p, k, 1}^{3g}, a_{\#p, k, 2}^{3g}), \dots,$
- [0488] $(a_{\#3g, k, 1}^{3g}, a_{\#3g, k, 2}^{3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0489] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0490] ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0491] 또,
- [0492] \cdot
- [0493] \cdot
- [0494] \cdot
- [0495] 또,
- [0496] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $X_{n-1}(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0497] $(a_{\#1, n-1, 1}^{3g}, a_{\#1, n-1, 2}^{3g}),$
- [0498] $(a_{\#2, n-1, 1}^{3g}, a_{\#2, n-1, 2}^{3g}), \dots,$
- [0499] $(a_{\#p, n-1, 1}^{3g}, a_{\#p, n-1, 2}^{3g}), \dots,$
- [0500] $(a_{\#3g, n-1, 1}^{3g}, a_{\#3g, n-1, 2}^{3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0501] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0502] 또,
- [0503] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $P(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0504] $(b_{\#1, 1}^{3g}, b_{\#1, 2}^{3g}),$
- [0505] $(b_{\#2, 1}^{3g}, b_{\#2, 2}^{3g}),$
- [0506] $(b_{\#3, 1}^{3g}, b_{\#3, 2}^{3g}), \dots,$
- [0507] $(b_{\#k, 1}^{3g}, b_{\#k, 2}^{3g}), \dots,$
- [0508] $(b_{\#3g-2, 1}^{3g}, b_{\#3g-2, 2}^{3g}),$
- [0509] $(b_{\#3g-1, 1}^{3g}, b_{\#3g-1, 2}^{3g}),$
- [0510] $(b_{\#3g, 1}^{3g}, b_{\#3g, 2}^{3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0511] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0512] 그런데, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성이 있으면 양호한 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높다. 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 패리티 검사 다항식을 가지는 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$, 부호화율이 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에서는, <조건#5>에 더해 <조건#6>의 조건을 부가해 부호를 작성하면, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성을 부여하는 것이 가능해지기때문에, 보다 양호한 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높아

진다.

- [0513] 또, <조건#6>을 대신해, <조건#6'>를 이용하는, 즉, <조건#5>에 더해 <조건#6'>를 부가해 부호를 작성해도, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0514] <조건#6'>
- [0515] 식(13-1)~(13-3g)의 $X1(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0516] $(a_{\#1, 1, 1\%3g}, a_{\#1, 1, 2\%3g}),$
- [0517] $(a_{\#2, 1, 1\%3g}, a_{\#2, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0518] $(a_{\#p, 1, 1\%3g}, a_{\#p, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0519] $(a_{\#3g, 1, 1\%3g}, a_{\#3g, 1, 2\%3g})$ 의 6g개의 값에는,
- [0520] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0521] 또는,
- [0522] 식(13-1)~(13-3g)의 $X2(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0523] $(a_{\#1, 2, 1\%3g}, a_{\#1, 2, 2\%3g}),$
- [0524] $(a_{\#2, 2, 1\%3g}, a_{\#2, 2, 2\%3g}), \dots,$
- [0525] $(a_{\#p, 2, 1\%3g}, a_{\#p, 2, 2\%3g}), \dots,$
- [0526] $(a_{\#3g, 2, 1\%3g}, a_{\#3g, 2, 2\%3g})$ 의 6g개의 값에는,
- [0527] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0528] 또는,
- [0529] 식(13-1)~(13-3g)의 $X3(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0530] $(a_{\#1, 3, 1\%3g}, a_{\#1, 3, 2\%3g}),$
- [0531] $(a_{\#2, 3, 1\%3g}, a_{\#2, 3, 2\%3g}), \dots,$
- [0532] $(a_{\#p, 3, 1\%3g}, a_{\#p, 3, 2\%3g}), \dots,$
- [0533] $(a_{\#3g, 3, 1\%3g}, a_{\#3g, 3, 2\%3g})$ 의 6g개의 값에는,
- [0534] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0535] 또는,
- [0536] ·
- [0537] ·
- [0538] ·
- [0539] 또는,
- [0540] 식(13-1)~(13-3g)의 $Xk(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0541] $(a_{\#1, k, 1\%3g}, a_{\#1, k, 2\%3g}),$
- [0542] $(a_{\#2, k, 1\%3g}, a_{\#2, k, 2\%3g}), \dots,$

- [0543] $(a_{\#p, k, 1\%3g}, a_{\#p, k, 2\%3g}), \dots,$
- [0544] $(a_{\#3g, k, 1\%3g}, a_{\#3g, k, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0545] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0546] ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)
- [0547] 또는,
- [0548] \cdot
- [0549] \cdot
- [0550] \cdot
- [0551] 또는,
- [0552] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $X_{n-1}(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0553] $(a_{\#1, n-1, 1\%3g}, a_{\#1, n-1, 2\%3g}),$
- [0554] $(a_{\#2, n-1, 1\%3g}, a_{\#2, n-1, 2\%3g}), \dots,$
- [0555] $(a_{\#p, n-1, 1\%3g}, a_{\#p, n-1, 2\%3g}), \dots,$
- [0556] $(a_{\#3g, n-1, 1\%3g}, a_{\#3g, n-1, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0557] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0558] 또는,
- [0559] 식 $(13-1) \sim (13-3g)$ 의 $P(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0560] $(b_{\#1, 1\%3g}, b_{\#1, 2\%3g}),$
- [0561] $(b_{\#2, 1\%3g}, b_{\#2, 2\%3g}),$
- [0562] $(b_{\#3, 1\%3g}, b_{\#3, 2\%3g}), \dots,$
- [0563] $(b_{\#k, 1\%3g}, b_{\#k, 2\%3g}), \dots,$
- [0564] $(b_{\#3g-2, 1\%3g}, b_{\#3g-2, 2\%3g}),$
- [0565] $(b_{\#3g-1, 1\%3g}, b_{\#3g-1, 2\%3g}),$
- [0566] $(b_{\#3g, 1\%3g}, b_{\#3g, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0567] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0568] 이상, 시변주기 $3g$, 부호화율 $(n-1)/n$ (n 은 2이상의 정수)인 LDPC-CC에 대해서 설명했다. 이하, 시변주기 $3g$, 부호화율 $1/2$ ($n=2$)인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 차수의 조건에 대해서 설명한다.
- [0569] 시변주기를 $3g$ ($g=1, 2, 3, 4, \dots$), 부호화율 $1/2$ ($n=2$)인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식 $(15-1) \sim (15-3g)$ 를 생각해 본다.

수학식 15

$$\begin{aligned}
 & (D^{a_{\#1,1,1}} + D^{a_{\#1,1,2}} + D^{a_{\#1,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#1,1}} + D^{b_{\#1,2}} + D^{b_{\#1,3}})P(D) = 0 \quad \cdots (15-1) \\
 & (D^{a_{\#2,1,1}} + D^{a_{\#2,1,2}} + D^{a_{\#2,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#2,1}} + D^{b_{\#2,2}} + D^{b_{\#2,3}})P(D) = 0 \quad \cdots (15-2) \\
 & (D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + D^{b_{\#3,3}})P(D) = 0 \quad \cdots (15-3) \\
 & \vdots \\
 & (D^{a_{\#k,1,1}} + D^{a_{\#k,1,2}} + D^{a_{\#k,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#k,1}} + D^{b_{\#k,2}} + D^{b_{\#k,3}})P(D) = 0 \quad \cdots (15-k) \\
 & \vdots \\
 & (D^{a_{\#3g-2,1,1}} + D^{a_{\#3g-2,1,2}} + D^{a_{\#3g-2,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#3g-2,1}} + D^{b_{\#3g-2,2}} + D^{b_{\#3g-2,3}})P(D) = 0 \\
 & \quad \quad \quad \cdots (15-(3g-2)) \\
 & (D^{a_{\#3g-1,1,1}} + D^{a_{\#3g-1,1,2}} + D^{a_{\#3g-1,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#3g-1,1}} + D^{b_{\#3g-1,2}} + D^{b_{\#3g-1,3}})P(D) = 0 \\
 & \quad \quad \quad \cdots (15-(3g-1)) \\
 & (D^{a_{\#3g,1,1}} + D^{a_{\#3g,1,2}} + D^{a_{\#3g,1,3}})X(D) + (D^{b_{\#3g,1}} + D^{b_{\#3g,2}} + D^{b_{\#3g,3}})P(D) = 0 \\
 & \quad \quad \quad \cdots (15-3g)
 \end{aligned}$$

[0570]

[0571] 이 때, X(D)는 데이터(정보) X의 다항식 표현이고, P(D)는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식(15-1)~(15-3g)에서는, X(D), P(D) 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다.

[0572] 시변주기 3인 LDPC-CC 및 시변주기 6인 LDPC-CC와 마찬가지로 생각하면, 식(15-1)~(15-3g)의 패리티 검사 다항식으로 표시되는 시변주기 3g, 부호화율 1/2(n=2)인 LDPC-CC에 있어서, 이하의 조건(<조건#2-1>)을 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높아진다.

[0573] 단, 시변주기 3g, 부호화율 1/2(n=2)인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i의 패리티를 P_i 및 정보를 X_{i,1}이라고 나타낸다. 이 때, i%3g=k이라고 하면 (k=0, 1, 2, ..., 3g-1), 식(15-(k+1))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, i=2라고 하면, i%3g=2(k=2)가 되므로, 식(16)이 성립한다.

수학식 16

$$(D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}})X_{2,1} + (D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + D^{b_{\#3,3}})P_2 = 0 \quad \cdots (16)$$

[0574]

[0575] 또, 식(15-1)~식(15-3g)에 있어서, a_{#k,1,1}, a_{#k,1,2}, a_{#k,1,3}은 정수(단, a_{#k,1,1} ≠ a_{#k,1,2} ≠ a_{#k,1,3})로 한다 (k=1, 2, 3, ..., 3g). 또, b_{#k,1}, b_{#k,2}, b_{#k,3}은 정수(단, b_{#k,1} ≠ b_{#k,2} ≠ b_{#k,3})로 한다. 식(15-k)의 패리티 검사 다항식(k=1, 2, 3, ..., 3g)를 「검사식#k」라고 부르고, 식(15-k)의 패리티 검사 다항식에 기초한 서브행렬을, 제k서브행렬 H_k라고 한다. 그리고, 제1 서브행렬 H₁, 제2 서브행렬 H₂, 제3 서브행렬 H₃, ..., 제3g서브행렬 H_{3g}로부터 생성하는 시변주기 3g인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다.

[0576] <조건#2-1>

[0577] 식(15-1)~(15-3g)에 있어서, X(D) 및 P(D)의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

- [0578] $(a_{\#1, 1, 1\%3}, a_{\#1, 1, 2\%3}, a_{\#1, 1, 3\%3}),$
- [0579] $(b_{\#1, 1\%3}, b_{\#1, 2\%3}, b_{\#1, 3\%3})$ 은,
- [0580] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0581] 또,
- [0582] $(a_{\#2, 1, 1\%3}, a_{\#2, 1, 2\%3}, a_{\#2, 1, 3\%3}),$
- [0583] $(b_{\#2, 1\%3}, b_{\#2, 2\%3}, b_{\#2, 3\%3})$ 은,
- [0584] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0585] 또,
- [0586] $(a_{\#3, 1, 1\%3}, a_{\#3, 1, 2\%3}, a_{\#3, 1, 3\%3}),$
- [0587] $(b_{\#3, 1\%3}, b_{\#3, 2\%3}, b_{\#3, 3\%3})$ 은,
- [0588] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0589] 또,
- [0590] ·
- [0591] ·
- [0592] ·
- [0593] 또,
- [0594] $(a_{\#k, 1, 1\%3}, a_{\#k, 1, 2\%3}, a_{\#k, 1, 3\%3}),$
- [0595] $(b_{\#k, 1\%3}, b_{\#k, 2\%3}, b_{\#k, 3\%3})$ 은,
- [0596] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. (따라서, $k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0597] 또,
- [0598] ·
- [0599] ·
- [0600] ·
- [0601] 또,
- [0602] $(a_{\#3g-2, 1, 1\%3}, a_{\#3g-2, 1, 2\%3}, a_{\#3g-2, 1, 3\%3}),$
- [0603] $(b_{\#3g-2, 1\%3}, b_{\#3g-2, 2\%3}, b_{\#3g-2, 3\%3})$ 은,
- [0604] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0605] 또,
- [0606] $(a_{\#3g-1, 1, 1\%3}, a_{\#3g-1, 1, 2\%3}, a_{\#3g-1, 1, 3\%3}),$
- [0607] $(b_{\#3g-1, 1\%3}, b_{\#3g-1, 2\%3}, b_{\#3g-1, 3\%3})$ 은,
- [0608] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0609] 또,
- [0610] $(a_{\#3g, 1, 1\%3}, a_{\#3g, 1, 2\%3}, a_{\#3g, 1, 3\%3}),$

- [0611] $(b_{\#3g, 1\%3}, b_{\#3g, 2\%3}, b_{\#3g, 3\%3})$ 은,
- [0612] $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0613] 단, 부호화를 용이하게 행한다 라는 점을 고려하면, 식 $(15-1) \sim (15-3g)$ 에 있어서,
- [0614] $(b_{\#k, 1\%3}, b_{\#k, 2\%3}, b_{\#k, 3\%3})$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하면 좋다(단, $k=1, 2, \dots, 3g$). 이 때, $D^0=1$ 이 존재하고 또, $b_{\#k, 1}, b_{\#k, 2}, b_{\#k, 3}$ 이 0이상의 정수이면, 패리티 P를 순차적으로 구할 수 있다고 하는 특징을 가지기 때문이다.
- [0615] 또, 동일 시점의 패리티 비트와 데이터 비트에 관련성을 갖게하여, 높은 정정 능력을 가지는 부호의 탐색을 용이하게 행하기 위해서는,
- [0616] $(a_{\#k, 1, 1\%3}, a_{\#k, 1, 2\%3}, a_{\#k, 1, 3\%3})$ 의 3개 중 “0” 이 1개 존재하면 좋다(단, $k=1, 2, \dots, 3g$).
- [0617] 다음에, 부호화를 용이하게 행한다 라는 점을 고려한 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$ 인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다. 이 때, 부호화율을 $1/2(n=2)$ 라고 하면 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은 이하와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

$$\begin{aligned} (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (17-1) \\ (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (17-2) \\ (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (17-3) \end{aligned}$$

[0618]

- [0619] 이 때, $X(D)$ 는 데이터(정보) X 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 여기서, 식 $(17-1) \sim (17-3g)$ 에서는, $X, P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 한다. 단, 시변주기 $3g$, 부호화율 $1/2(n=2)$ 인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 X_i , 1로 나타낸다. 이 때, $i\%3g=k$ 라고 하면($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 식 $(17-(k+1))$ 의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=2$ 라고 하면, $i\%3g=2(k=2)$ 가 되므로, 식(18)이 성립한다.

수학식 18

$$(D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \quad \cdots (18)$$

[0620]

- [0621] 이 때, <조건 #3-1> 및 <조건 #4-1>을 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 부호를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0622] <조건 #3-1>
- [0623] 식 $(17-1) \sim (17-3g)$ 에 있어서, $X(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.
- [0624] $(a_{\#1, 1, 1\%3}, a_{\#1, 1, 2\%3}, a_{\#1, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0625] 또,
- [0626] $(a_{\#2, 1, 1\%3}, a_{\#2, 1, 2\%3}, a_{\#2, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0627] 또,

- [0628] $(a_{\#3, 1, 1\%3}, a_{\#3, 1, 2\%3}, a_{\#3, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0629] 또,
- [0630] ·
- [0631] ·
- [0632] ·
- [0633] 또,
- [0634] $(a_{\#k, 1, 1\%3}, a_{\#k, 1, 2\%3}, a_{\#k, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다. (따라서, $k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0635] 또,
- [0636] ·
- [0637] ·
- [0638] ·
- [0639] 또,
- [0640] $(a_{\#3g-2, 1, 1\%3}, a_{\#3g-2, 1, 2\%3}, a_{\#3g-2, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0641] 또,
- [0642] $(a_{\#3g-1, 1, 1\%3}, a_{\#3g-1, 1, 2\%3}, a_{\#3g-1, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0643] 또,
- [0644] $(a_{\#3g, 1, 1\%3}, a_{\#3g, 1, 2\%3}, a_{\#3g, 1, 3\%3})$ 은, $(0, 1, 2), (0, 2, 1), (1, 0, 2), (1, 2, 0), (2, 0, 1), (2, 1, 0)$ 의 어느것인가가 된다.
- [0645] 추가하여, 식(17-1)~(17-3g)에 있어서, P(D)의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.
- [0646] $(b_{\#1, 1\%3}, b_{\#1, 2\%3}),$
- [0647] $(b_{\#2, 1\%3}, b_{\#2, 2\%3}),$
- [0648] $(b_{\#3, 1\%3}, b_{\#3, 2\%3}), \dots,$
- [0649] $(b_{\#k, 1\%3}, b_{\#k, 2\%3}), \dots,$
- [0650] $(b_{\#3g-2, 1\%3}, b_{\#3g-2, 2\%3}),$
- [0651] $(b_{\#3g-1, 1\%3}, b_{\#3g-1, 2\%3}),$
- [0652] $(b_{\#3g, 1\%3}, b_{\#3g, 2\%3})$ 은,
- [0653] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다($k=1, 2, 3, \dots, 3g$).
- [0654] 식(17-1)~(17-3g)에 대한<조건#3-1>은, 식(15-1)~(15-3g)에 대한<조건#2-1>과 동일한 관계가 된다. 식(17-1)~(17-3g)에 대해서, <조건#3-1>에 더해 이하의 조건(<조건#4-1>)을 부가하면, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0655] <조건#4-1>

- [0656] 식 $(17-1) \sim (17-3g)$ 의 $P(D)$ 의 차수에 있어서, 이하의 조건을 만족시킨다.
- [0657] $(b_{\#1, 1\%3g}, b_{\#1, 2\%3g}),$
- [0658] $(b_{\#2, 1\%3g}, b_{\#2, 2\%3g}),$
- [0659] $(b_{\#3, 1\%3g}, b_{\#3, 2\%3g}), \dots,$
- [0660] $(b_{\#k, 1\%3g}, b_{\#k, 2\%3g}), \dots,$
- [0661] $(b_{\#3g-2, 1\%3g}, b_{\#3g-2, 2\%3g}),$
- [0662] $(b_{\#3g-1, 1\%3g}, b_{\#3g-1, 2\%3g}),$
- [0663] $(b_{\#3g, 1\%3g}, b_{\#3g, 2\%3g})$ 의 6개의 값에는,
- [0664] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다.
- [0665] 그런데, 패리티 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성이 있으면 양호한 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높다. 식 $(17-1) \sim (17-3g)$ 의 패리티 검사 다항식을 가지는 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$, 부호화율 $1/2(n=2)$ 인 LDPC-CC에서는, <조건#3-1>에 더해 <조건#4-1>의 조건을 붙여 부호를 작성하면, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성을 부여하는 것이 가능하게 되기때문에, 보다 양호한 오류정정 능력이 얻어질 가능성이 높아진다.
- [0666] 다음에, 부호화를 용이하게 행할 수 있으면서 또, 동일 시점의 패리티 비트와 데이터 비트에 관련성을 갖게하는, 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$ 인 LDPC-CC에 대해 생각해 본다. 이 때, 부호화율을 $1/2(n=2)$ 라고 하면 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은 이하와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 19

$$\begin{aligned}
 & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-1) \\
 & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-2) \\
 & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-3) \\
 & \vdots \\
 & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-k) \\
 & \vdots \\
 & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-(3g-2)) \\
 & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-(3g-1)) \\
 & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 & \cdots (19-3g)
 \end{aligned}$$

[0667]

- [0668] 이 때, $X(D)$ 는 데이터(정보) X 의 다항식 표현이고, $P(D)$ 는 패리티의 다항식 표현이다. 그리고, 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 에서는, $X(D)$, $P(D)$ 각각에 3개의 항이 존재하는 등의 패리티 검사 다항식으로 하고, $X(D)$, $P(D)$ 에는 D^0 의

항이 존재하게 된다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)

[0669] 단, 시변주기 $3g$, 부호화율 $1/2(n=2)$ 인 LDPC-CC에 있어서, 시각 i 의 패리티를 P_i 및 정보를 X_i , 1이라고 나타낸다. 이 때, $i \% 3g = k$ 라고 하면($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 식(19-($k+1$))의 패리티 검사 다항식이 성립한다. 예를 들면, $i=2$ 라고 하면, $i \% 3g = 2(k=2)$ 가 되므로, 식(20)이 성립한다.

수학식 20

$$(D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + 1)X_{2,i} + (D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (20)$$

[0670]

[0671] 이 때, 이하의 조건(<조건#5-1> 및 <조건#6-1>)을 만족시키면, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 부호를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.

[0672] <조건#5-1>

[0673] 식(19-1)~(19-3g)에 있어서, $X(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

[0674] ($a_{\#1,1,1} \% 3, a_{\#1,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0675] 또,

[0676] ($a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0677] 또,

[0678] ($a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0679] 또,

[0680] ·

[0681] ·

[0682] ·

[0683] 또,

[0684] ($a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다. (따라서, $k=1, 2, 3, \dots, 3g$)

[0685] 또,

[0686] ·

[0687] ·

[0688] ·

[0689] 또,

[0690] ($a_{\#3g-2,1,1} \% 3, a_{\#3g-2,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0691] 또,

[0692] ($a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0693] 또,

[0694] ($a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3$)은, (1, 2), (2, 1)의 어느것인가가 된다.

[0695] 추가하여, 식(19-1)~(19-3g)에 있어서, $P(D)$ 의 차수의 조합이 이하의 조건을 만족시킨다.

[0696] ($b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3$),

- [0697] $(b_{\#2, 1\%3}, b_{\#2, 2\%3}),$
- [0698] $(b_{\#3, 1\%3}, b_{\#3, 2\%3}), \dots,$
- [0699] $(b_{\#k, 1\%3}, b_{\#k, 2\%3}), \dots,$
- [0700] $(b_{\#3g-2, 1\%3}, b_{\#3g-2, 2\%3}),$
- [0701] $(b_{\#3g-1, 1\%3}, b_{\#3g-1, 2\%3}),$
- [0702] $(b_{\#3g, 1\%3}, b_{\#3g, 2\%3})$ 은,
- [0703] $(1, 2), (2, 1)$ 의 어느것인가가 된다($k=1, 2, 3, \dots, 3g$).
- [0704] 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 에 대한<조건#5-1>은, 식 $(15-1) \sim (15-3g)$ 에 대한<조건#2-1>과 동일한 관계가 된다. 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 에 대해서, <조건#5-1>에 더해 이하의 조건(<조건#6-1>)을 부가하면, 보다 높은 오류 정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0705] <조건#6-1>
- [0706] 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 의 $X(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0707] $(a_{\#1, 1, 1\%3g}, a_{\#1, 1, 2\%3g}),$
- [0708] $(a_{\#2, 1, 1\%3g}, a_{\#2, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0709] $(a_{\#p, 1, 1\%3g}, a_{\#p, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0710] $(a_{\#3g, 1, 1\%3g}, a_{\#3g, 1, 2\%3g})$ 의 $6g$ 개의 값에는,
- [0711] 0에서 $3g-1$ 의 정수 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 중, 3의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0712] 또,
- [0713] 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 의 $P(D)$ 의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0714] $(b_{\#1, 1\%3g}, b_{\#1, 2\%3g}),$
- [0715] $(b_{\#2, 1\%3g}, b_{\#2, 2\%3g}),$
- [0716] $(b_{\#3, 1\%3g}, b_{\#3, 2\%3g}), \dots,$
- [0717] $(b_{\#k, 1\%3g}, b_{\#k, 2\%3g}), \dots,$
- [0718] $(b_{\#3g-2, 1\%3g}, b_{\#3g-2, 2\%3g}),$
- [0719] $(b_{\#3g-1, 1\%3g}, b_{\#3g-1, 2\%3g}),$
- [0720] $(b_{\#3g, 1\%3g}, b_{\#3g, 2\%3g})$ 의 $6g(3g \times 2)$ 개의 값에는,
- [0721] 0부터 $3g-1$ 의 정수 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 중, 3의 배수(즉, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0722] 그런데, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성이 있으면, 양호한 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높다. 식 $(19-1) \sim (19-3g)$ 의 패리티 검사 다항식을 가지는 시변주기 $3g(g=2, 3, 4, 5, \dots)$, 부호화율 $1/2$ 인 LDPC-CC에서는, <조건#5-1>에 더해 <조건#6-1>의 조건을 부가하여 부호를 작성하면, 패리티 검사 행렬에 있어서, “1”이 존재하는 위치에 규칙성을 가지면서도 랜덤성을 부여하는 것이 가능해지기 때문에, 보다 양호한 오류정정 능력을 얻을 수 있을 가능성이 높아진다.
- [0723] 또, <조건#6-1> 대신에, <조건#6'-1>을 이용하는, 즉, <조건#5-1>에 더해 <조건#6'-1>을 부

가해 부호를 작성해도, 보다 높은 오류정정 능력을 가지는 LDPC-CC를 작성할 수 있을 가능성이 높아진다.

- [0724] <조건 #6' -1>
- [0725] 식(19-1)~(19-3g)의 X(D)의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0726] $(a_{\#1, 1, 1\%3g}, a_{\#1, 1, 2\%3g}),$
- [0727] $(a_{\#2, 1, 1\%3g}, a_{\#2, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0728] $(a_{\#p, 1, 1\%3g}, a_{\#p, 1, 2\%3g}), \dots,$
- [0729] $(a_{\#3g, 1, 1\%3g}, a_{\#3g, 1, 2\%3g})$ 의 6g개의 값에는,
- [0730] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0731] 또는,
- [0732] 식(19-1)~(19-3g)의 P(D)의 차수에 있어서, 다음의 조건을 만족시킨다.
- [0733] $(b_{\#1, 1\%3g}, b_{\#1, 2\%3g}),$
- [0734] $(b_{\#2, 1\%3g}, b_{\#2, 2\%3g}),$
- [0735] $(b_{\#3, 1\%3g}, b_{\#3, 2\%3g}), \dots,$
- [0736] $(b_{\#k, 1\%3g}, b_{\#k, 2\%3g}), \dots,$
- [0737] $(b_{\#3g-2, 1\%3g}, b_{\#3g-2, 2\%3g}),$
- [0738] $(b_{\#3g-1, 1\%3g}, b_{\#3g-1, 2\%3g}),$
- [0739] $(b_{\#3g, 1\%3g}, b_{\#3g, 2\%3g})$ 의 6g개의 값에는,
- [0740] 0부터 $3g-1$ 의 정수(0, 1, 2, 3, 4, \dots , $3g-2$, $3g-1$) 중, 3의 배수(즉, 0, 3, 6, \dots , $3g-3$) 이외의 값의 모든 값이 존재한다. ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)
- [0741] 일례로서 양호한 오류정정 능력을 가지는, 부호화율 1/2, 시변주기 6인 LDPC-CC를 표 4에 열거한다.

표 4

부호	패리티 검사 다항식
시변주기6, 부호화율1/2인LDP C-CC#1	「검사 다항식#1」 : $(D^{528}+D^{517}+1)X(D)+(D^{589}+D^{434}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{596}+D^{553}+1)X(D)+(D^{586}+D^{461}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{550}+D^{443}+1)X(D)+(D^{470}+D^{448}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#4」 : $(D^{470}+D^{223}+1)X(D)+(D^{356}+D^{41}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#5」 : $(D^{39}+D^{40}+1)X(D)+(D^{316}+D^{71}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#6」 : $(D^{320}+D^{190}+1)X(D)+(D^{575}+D^{136}+1)P(D)=0$
시변 주기6, 부호화율1/2인LDP C-CC#2	「검사 다항식#1」 : $(D^{524}+D^{511}+1)X(D)+(D^{15}+D^{103}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{547}+D^{587}+1)X(D)+(D^{467}+D^{1}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{589}+D^{52}+1)X(D)+(D^{503}+D^{502}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#4」 : $(D^{401}+D^{55}+1)X(D)+(D^{443}+D^{106}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#5」 : $(D^{433}+D^{395}+1)X(D)+(D^{404}+D^{100}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#6」 : $(D^{436}+D^{59}+1)X(D)+(D^{599}+D^{559}+1)P(D)=0$
시변 주기6, 부호화율1/2인LDP C-CC#3	「검사 다항식#1」 : $(D^{553}+D^{44}+1)X(D)+(D^{473}+D^{356}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#2」 : $(D^{595}+D^{443}+1)X(D)+(D^{598}+D^{95}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#3」 : $(D^{97}+D^{1}+1)X(D)+(D^{592}+D^{491}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#4」 : $(D^{50}+D^{10}+1)X(D)+(D^{368}+D^{12}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#5」 : $(D^{386}+D^{221}+1)X(D)+(D^{517}+D^{359}+1)P(D)=0$ 「검사 다항식#6」 : $(D^{407}+D^{322}+1)X(D)+(D^{383}+D^{257}+1)P(D)=0$

[0742]

[0743]

이상, 특성이 양호한 시변주기 g인 LDPC-CC에 대해 설명했다. 또한, LDPC-CC는, 정보 벡터 n에 생성 행렬 G를 곱함으로써, 부호화 데이터(부호어)를 얻을 수 있다. 즉, 부호화 데이터(부호어) c는, $c=n \times G$ 라고 나타낼 수 있다. 여기서, 생성 행렬 G는, 미리 설계된 패리티 검사 행렬 H에 대응하여 구해진 것이다. 구체적으로는, 생성 행렬 G는, $G \times H^T = 0$ 을 만족시키는 행렬이다.

[0744]

예를 들면, 부호화율 1/2, 생성 다항식 $G = [1 \ G_1(D)/G_0(D)]$ 인 컨볼루션 부호를 예로 생각해 본다. 이 때, G_1 은 피드포워드(feed forward) 다항식, G_0 는 피드백 다항식을 나타낸다. 정보 계열(데이터)의 다항식 표현을 $X(D)$, 패리티 계열의 다항식 표현을 $P(D)$ 라고 하면 패리티 검사 다항식은, 이하의 식(21)과 같이 표시될 수 있다.

수학식 21

$$G_1(D)X(D) + G_0(D)P(D) = 0 \quad \cdots (21)$$

[0745]

여기서, D는, 지연 연산자이다.

[0746]

도 5에, (7, 5)의 컨볼루션 부호에 관한 정보를 기재한다. (7, 5) 컨볼루션 부호의 생성 행렬은 $G = [1(D^2 + 1)/(D^2 + D + 1)]$ 라고 표시된다. 따라서, 패리티 검사 다항식은, 이하의 식(22)가 된다.

수학식 22

$$(D^2 + 1)X(D) + (D^2 + D + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (22)$$

[0748]

여기서, 시점 i에 있어서의 데이터를 X_i , 패리티를 P_i 라고 나타내고, 송신계열 $W_i = (X_i, P_i)$ 라고 나타낸다. 그리고, 송신 벡터 $w = (X_1, P_1, X_2, P_2, \dots, X_i, P_i, \dots)^T$ 라고 나타낸다. 그러면, 식(22)로부터, 패리티 검

[0749]

사 행렬 H는 도 5에 나타내는 것처럼 표시할 수 있다. 이 때, 이하의 식(23)의 관계식이 성립한다.

수학식 23

$$Hw=0 \quad \cdots (23)$$

[0750]

[0751] 따라서, 복호측에서는, 패리티 검사 행렬 H를 이용하여 비특허 문헌 5~비특허 문헌 7에 표시되어 있는 등의 BP(Belief Propagation)(신뢰도 전파) 복호, BP복호를 근사(近似)한 min-sum 복호, offset BP복호, Normalized BP복호, shuffled BP복호 등의 신뢰도 전파를 이용한 복호를 행할 수 있다.

[0752] (컨볼루션 부호에 기초한 시불변(時不變)·시변(時變) LDPC-CC (부호화율(n-1)/n)(n: 자연수))

[0753] 이하, 컨볼루션 부호에 기초한 시불변·시변LDPC-CC의 개요를 설명한다.

[0754] 부호화율 R=(n-1)/n의 정보 X_1, X_2, \dots, X_{n-1} 의 다항식 표현을 $X_1(D), X_2(D), \dots, X_{n-1}(D)$, 또, 패리티 P의 다항식 표현을 $P(D)$ 라고 하여, 식(24)과 같이 표시되는 패리티 검사 다항식을 생각해 본다.

수학식 24

$$\begin{aligned} & (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + \dots + D^{a_{1,r}+1})X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + \dots + D^{a_{2,r}+1})X_2(D) \\ & + \dots + (D^{a_{n-1,1}} + D^{a_{n-1,2}} + \dots + D^{a_{n-1,r}+1})X_{n-1}(D) \\ & + (D^{b_1} + D^{b_2} + \dots + D^{b_s}+1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \cdots (24)$$

[0755]

[0756] 식(24)에 있어서, 이 때 $a_{p,q}$ ($p=1, 2, \dots, n-1$; $q=1, 2, \dots, r$)는, 예를 들면, 자연수이며, $a_{p,1} \neq a_{p,2} \neq \dots \neq a_{p,r}$ 를 만족한다. 또, b_q ($q=1, 2, \dots, s$)는, 자연수이며, $b_1 \neq b_2 \neq \dots \neq b_s$ 를 만족한다. 이 때, 식(24)의 패리티 검사 다항식에 기초한 패리티 검사 행렬로 정의되는 부호를, 여기에서는, 시불변 LDPC-CC라고 부른다.

[0757] 식(24)에 기초하는 다른 패리티 검사 다항식을 m개 준비한다(m은, 2이상의 정수). 그 패리티 검사 다항식을 이하와 같이 나타낸다.

수학식 25

$$\begin{aligned} & A_{X_{1,i}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,i}}(D)X_2(D) + \dots \\ & + A_{X_{n-1,i}}(D)X_{n-1}(D) + B_i(D)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \cdots (25)$$

[0758]

[0759] 여기서, $i=0, 1, \dots, m-1$ 이다.

[0760] 그리고, 시점 j에 있어서의 정보 X_1, X_2, \dots, X_{n-1} 을 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$ 라고 나타내고, 시점 j에 있어서의 패리티 P를 P_j 라고 나타내며, $u_j=(X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}, P_j)^T$ 라고 한다. 이 때, 시점 j의 정보 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$ 및 패리티 P_j 는, 식(26)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.

수학식 26

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots + A_{Xn-1,k}(D)X_{n-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \dots (26)$$

[0761]

[0762]

여기서, 「j mod m」은, j를 m으로 나눈셈한 나머지이다.

[0763]

식(26)의 패리티 검사 다항식에 기초하는 패리티 검사 행렬로 정의되는 부호를, 여기에서는 시변LDPC-CC라고 부른다. 이 때, 식(24)의 패리티 검사 다항식으로 정의되는 시불변 LDPC-CC 및 식(26)의 패리티 검사 다항식으로 정의되는 시변LDPC-CC는, 순차적으로 패리티를 레지스터 및 배타적 논리합으로 간단하게 구할 수 있다고 하는 특징을 가진다.

[0764]

예를 들면, 부호화율 2/3이고, 식(24)~식(26)에 기초하는 시변주기 2인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H의 구성을, 도 6에 나타낸다. 식(26)에 기초한 시변주기 2인 다른 2개의 검사 다항식에 대해서, 「검사식#1」, 「검사식#2」라고 명명한다. 도 6에 있어서, (Ha, 111)은 「검사식#1」에 해당하는 부분이고, (Hc, 111)은 「검사식#2」에 해당하는 부분이다. 이하, (Ha, 111) 및 (Hc, 111)을 서브행렬이라고 정의한다.

[0765]

이와 같이, 본 제안의 시변주기 2인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H를, 「검사식#1」의 패리티 검사 다항식을 나타내는 제1 서브행렬과, 「검사식#2」의 패리티 검사 다항식을 나타내는 제2 서브행렬에 의해 정의할 수 있다. 구체적으로는, 패리티 검사 행렬 H에 있어서, 제1 서브행렬과 제2 서브행렬이 행(行)방향으로 교대로 배치되도록 한다. 또한, 부호화율 2/3인 경우, 도 6에 나타내는 것처럼, 제i행과 제i+1행에서는, 서브행렬이 3열 오른쪽으로 쉬프트 한 구성이 된다.

[0766]

또, 시변주기 2인 시변LDPC-CC의 경우, 제i행의 서브행렬과 제i+1행의 서브행렬은, 다른 서브행렬이 된다. 즉, 서브행렬 (Ha, 111) 또는 (Hc, 111)의 어느쪽인가 한 쪽이 제1 서브행렬이 되고, 다른쪽이 제2 서브행렬이 된다. 송신 벡터 u를, $u=(X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$ 라고 하면, $Hu=0$ 이 성립한다(식(23) 참조).

[0767]

다음에, 부호화율 2/3일 때, 시변주기를 m으로 하는 LDPC-CC를 생각해 본다. 시변주기 2일 경우와 마찬가지로, 식(24)에서 표시되는 패리티 검사 다항식을 m개 준비한다. 그리고, 식(24)에서 표시되는 「검사식#1」을 준비한다. 마찬가지로, 식(24)에서 표시되는 「검사식#2」부터 「검사식#m」을 준비한다. 시점 m_i+1 의 데이터 X와 패리티 P를 각각 X_{m_i+1} , P_{m_i+1} 이라고 나타내고, 시점 m_i+2 의 데이터 X와 패리티 P를, 각각 X_{m_i+2} , P_{m_i+2} 라고 나타내고, \dots , 시점 m_i+m 의 데이터 X와 패리티 P를, 각각 X_{m_i+m} , P_{m_i+m} 라고 나타낸다(i: 정수).

[0768]

이 때, 시점 m_i+1 의 패리티 P_{m_i+1} 을 「검사식#1」을 이용해 구하고, 시점 m_i+2 의 패리티 P_{m_i+2} 를 「검사식#2」를 이용해 구하고 \dots , 시점 m_i+m 의 패리티 P_{m_i+m} 을 「검사식#m」를 이용해 구하는 LDPC-CC를 생각해 본다. 이러한 LDPC-CC부호는,

[0769]

· 부호화기를 간단하게 구성할 수 있고 또, 패리티를 순차적으로 구할 수 있다

[0770]

· 종단 비트의 삭감, 종단시의 평처링시의 수신 품질의 향상이 기대된다 라고 하는 이점을 가진다.

[0771]

도 7에, 상술한 부호화율 2/3, 시변주기 m인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬의 구성을 나타낸다. 도 7에 있어서, (H₁, 111)은 「검사식#1」에 해당하는 부분이고, (H₂, 111)은 「검사식#2」에 해당하는 부분이며, \dots , (H_m, 111)은 「검사식#m」에 해당하는 부분이다. 이하, (H₁, 111)을 제1 서브행렬이라고 정의하고, (H₂, 111)를 제2 서브행렬이라고 정의하고, \dots , (H_m, 111)를, 제m서브행렬이라고 정의한다.

[0772]

이와 같이, 본 제안의 시변주기 m인 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H는, 「검사식#1」의 패리티 검사 다항식을 나타내는 제1 서브행렬, 「검사식#2」의 패리티 검사 다항식을 나타내는 제2 서브행렬, \dots , 및, 「검사식#m」의 패리티 검사 다항식을 나타내는 제m서브행렬로 정의할 수 있다. 구체적으로는, 패리티 검사 행렬 H에 있어서, 제1 서브행렬부터 제m서브행렬까지가, 행(行)방향으로 주기적으로 배치되도록 했다(도 7 참조). 또한,

부호화율 2/3일 경우, 제i행과 제i+1행과는, 서브행렬이 3열 오른쪽으로 쉬프트한 구성이 된다(도 7 참조).

[0773] 송신 벡터 u 를, $u=(X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$ 라고 하면, $Hu=0$ 이 성립한다(식(23) 참조).

[0774] 상술한 설명에서는, 부호화율 $(n-1)/n$ 인 컨볼루션 부호에 기초한 시불변·시변LDPC-CC의 일례로서 부호화율 2/3인 경우를 예로 설명했지만, 동일하게 생각함으로써, 부호화율 $(n-1)/n$ 인 컨볼루션 부호에 기초한 시불변·시변LDPC-CC의 패리티 검사 행렬을 작성할 수 있다.

[0775] 즉, 부호화율 2/3일 경우, 도 7에 있어서, $(H_1, 111)$ 은 「검사식#1」에 해당하는 부분(제1 서브행렬)이고, $(H_2, 111)$ 은 「검사식#2」에 해당하는 부분(제2 서브행렬)이고, \dots , $(H_m, 111)$ 은 「검사식#m」에 해당하는 부분(제m서브행렬)인데 비해, 부호화율 $(n-1)/n$ 일 경우, 도 8에 나타내는 것처럼 된다. 즉, 「검사식#1」에 해당하는 부분(제1 서브행렬)은, $(H_1, 11\dots 1)$ 로 표시되고, 「검사식#k」($k=2, 3, \dots, m$)에 해당하는 부분(제k서브행렬)은, $(H_k, 11\dots 1)$ 로 표시된다. 이 때, 제k서브행렬에 있어서, H_k 를 제외한 부분의 「1」의 개수는, n개가 된다. 그리고, 패리티 검사 행렬 H에 있어서, 제i행과 제i+1행과는, 서브행렬이 n열 오른쪽으로 쉬프트한 구성이 된다(도 8 참조).

[0776] 송신 벡터 u 를, $u=(X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{n-1,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, \dots, X_{n-1,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{n-1,k}, P_k, \dots)^T$ 라고 하면, $Hu=0$ 이 성립한다(식(23) 참조).

[0777] 또한, 도 9에, 일례로서 부호화율 $R=1/2$ 인 경우의 LDPC-CC 부호화기의 구성예를 나타낸다. 도 9에 나타내는 것처럼, LDPC-CC 부호화기(100)는, 데이터 연산부(110), 패리티 연산부(120), 웨이트(weight) 제어부(130) 및 mod2 가산(배타적 논리합 연산)기(140)를 주로 구비한다.

[0778] 데이터 연산부(110)는, 쉬프트 레지스터(111-1~111-M), 웨이트 곱셈기(112-0~112-M)를 구비한다.

[0779] 패리티 연산부(120)는, 쉬프트 레지스터(121-1~121-M), 웨이트 곱셈기(122-0~122-M)를 구비한다.

[0780] 쉬프트 레지스터(111-1~111-M) 및 (121-1~121-M)는, 각각 $v_{1,t-i}, v_{2,t-i}$ ($i=0, \dots, M$)를 보지(保持)하는 레지스터이고, 다음 입력이 들어 오는 타이밍으로, 보지하고 있는 값을 오른쪽 옆의 쉬프트 레지스터에 출력하고, 왼쪽 옆의 쉬프트 레지스터로부터 출력되는 값을 새롭게 보지한다. 또한, 쉬프트 레지스터의 초기 상태는 모두 0이다.

[0781] 웨이트 곱셈기(112-0~112-M, 122-0~122-M)는, 웨이트 제어부(130)로부터 출력되는 제어 신호에 따라, $h_1^{(m)}$, $h_2^{(m)}$ 의 값을 0/1로 전환한다.

[0782] 웨이트 제어부(130)는, 내부에 보지하는 패리티 검사 행렬에 기초하여, 그 타이밍에 있어서의 $h_1^{(m)}$, $h_2^{(m)}$ 의 값을 출력하여, 웨이트 곱셈기(112-0~112-M, 122-0~122-M)를 향해 공급한다.

[0783] mod2 가산기(140)는, 웨이트 곱셈기(112-0~112-M, 122-0~122-M)의 출력에 대해 mod2의 산출 결과를 전부 가산하여, p_i 를 산출한다.

[0784] 이러한 구성을 취함으로써, LDPC-CC 부호화기(100)는, 패리티 검사 행렬에 따른 LDPC-CC의 부호화를 행할 수 있다.

[0785] 또한, 웨이트 제어부(130)가 보지하는 패리티 검사 행렬의 각 행(行)의 줄이 행마다 다른 경우, LDPC-CC 부호화기(100)는, 시변(time varying) 컨볼루션 부호화기가 된다. 또, 부호화율 $(q-1)/q$ 인 LDPC-CC의 경우에는, 데이터 연산부(110)를 $(q-1)$ 개 설치하여, mod2 가산기(140)가, 각 웨이트 곱셈기의 출력을 mod2 가산(배타적 논리합 연산)을 행하는 구성으로 하면 좋다.

[0786] (실시형태 2)

[0787] 그 다음에, 본 실시형태에서는, 부호화기·복호화기에 있어서, 저연산 규모로 복수의 부호화율에 대응할 수 있

는 LDPC-CC의 탐색 방법에 대해서 설명한다. 이하에 설명하는 방법에 의해 탐색된 LDPC-CC를 이용함으로써, 복호화기에서는, 높은 데이터 수신 품질을 실현할 수 있다.

[0788] 본 실시형태에 있어서의 LDPC-CC의 탐색 방법은, 예를 들면, 상술한 바와 같은 특성이 양호한 LDPC-CC 중, 부호화율 1/2인 LDPC-CC에 기초하여, 부호화율 2/3, 3/4, 4/5, ..., (q-1)/q인 LDPC-CC를 순차적으로 탐색한다. 이에 의해, 부호화 및 복호화 처리에 있어서, 가장 부호화율이 높은 (q-1)/q 때의 부호화기, 복호화기를 준비함으로써, 가장 부호화율이 높은 (q-1)/q보다 작은 부호화율(s-1)/s(s=2, 3, ..., q-1)의 부호화, 복호화를 행하는 것이 가능하게 된다.

[0789] 또한, 이하에서는, 일례로서 시변주기 3인 LDPC-CC를 이용해 설명한다. 상술한 것처럼, 시변주기 3인 LDPC-CC는, 매우 양호한 오류정정 능력을 가진다.

[0790] (LDPC-CC의 탐색 방법)

[0791] (1) 부호화율 1/2

[0792] 먼저, 기초가 되는 LDPC-CC로서 부호화율 1/2인 LDPC-CC를 선택한다. 기초가 되는 부호화율 1/2인 LDPC-CC로서는, 상술한 등의 특성이 양호한 LDPC-CC를 선택한다.

[0793] 이하에서는, 기초가 되는 부호화율 1/2인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식으로서 식(27-1)~식(27-3)으로 표시되는 패리티 검사 다항식을 선택했을 경우에 대해 설명한다. (식(27-1)~식(27-3)의 예에서는 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)와 동일한 형식으로 표시되어 있기때문에, 시변주기 3인 LDPC-CC는, 3개의 패리티 검사 다항식으로 정의할 수 있다.)

수학식 27

$$\begin{aligned} (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (27-1) \\ (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (27-2) \\ (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) &= 0 & \cdots (27-3) \end{aligned}$$

[0794]

[0795] 식(27-1)~식(27-3)은, 표 3에 기재한 것처럼, 특성이 양호한 시변주기 3, 부호화율 1/2인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 일례이다. 그리고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 시점 j에 있어서의 정보 X_1 를 $X_{1,j}$ 라고 나타내고, 시점 j에 있어서의 패리티 P를 P_j 라고 나타내며, $u_j = (X_{1,j}, P_j)^T$ 라고 한다. 이 때, 시점 j의 정보 $X_{1,j}$ 및 패리티 P_j 는,

[0796] 「j mod 3=0 일 때, 식(27-1)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0797] 「j mod 3=1 일 때, 식(27-2)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0798] 「j mod 3=2 일 때, 식(27-3)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0799] 이 때, 패리티 검사 다항식과 패리티 검사 행렬의 관계는, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 경우와 동일하다.

[0800] (2) 부호화율 2/3

[0801] 이어서, 특성이 양호한 부호화율 1/2인 패리티 검사 다항식에 기초하여, 부호화율 2/3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 작성한다. 구체적으로는, 부호화율 2/3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식이, 기초가 되는 부호화율 1/2인 패리티 검사 다항식을 포함하는 구성으로 한다.

[0802] 베이스 부호화율 1/2인 LDPC-CC에, 식(27-1)~식(27-3)을 이용할 경우의 부호화율 2/3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 식(28-1)~식(28-3)과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 28

$$\begin{aligned} (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_1} + D^{\beta_1} + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (28-1) \\ (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_2} + D^{\beta_2} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (28-2) \\ (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_3} + D^{\beta_3} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (28-3) \end{aligned}$$

[0803]

[0804]

식(28-1)~식(28-3)에 표시되는 패리티 검사 다항식은, 식(27-1)~식(27-3)에, 각각 $X_2(D)$ 의 항을 추가한 구성을 취한다. 식(28-1)~식(28-3)을 이용하는 부호화율 2/3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은, 후술하는 부호화율 3/4인 패리티 검사 다항식의 기초가 된다.

[0805]

또한, 식(28-1)~식(28-3)에 있어서, $X_2(D)$ 의 각 차수, (α_1, β_1) , (α_2, β_2) , (α_3, β_3) 가, 상술한 조건 ($<$ 조건#1 $>$ ~ $<$ 조건#6 $>$ 등)을 만족시키도록 설정하면, 부호화율 2/3인 경우에도, 특성이 양호한 LDPC-CC를 얻을 수 있다.

[0806]

그리고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 시점 j 에 있어서의 정보 X_1 , X_2 를 $X_{1,j}$, $X_{2,j}$ 라고 나타내고, 시점 j 에 있어서의 패리티 P 를 P_j 라고 나타내며, $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, P_j)^T$ 라고 한다. 이 때, 시점 j 의 정보 $X_{1,j}$, $X_{2,j}$ 및 패리티 P_j 는,

[0807]

「 $j \bmod 3 = 0$ 일 때, 식(28-1)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0808]

「 $j \bmod 3 = 1$ 일 때, 식(28-2)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0809]

「 $j \bmod 3 = 2$ 일 때, 식(28-3)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0810]

이 때, 패리티 검사 다항식과 패리티 검사 행렬의 관계는, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 경우와 동일하다.

[0811]

(3) 부호화율 3/4

[0812]

이어서, 상술한 부호화율 2/3인 패리티 검사 다항식에 기초하여, 부호화율 3/4인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 작성한다. 구체적으로는, 부호화율 3/4인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식이, 기초가 되는 부호화율 2/3인 패리티 검사 다항식을 포함하는 구성으로 한다.

[0813]

베이스 부호화율 2/3인 LDPC-CC에, 식(28-1)~식(28-3)을 이용할 경우의 부호화율 3/4인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 식(29-1)~식(29-3)에 나타낸다.

수학식 29

$$\begin{aligned} (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_1} + D^{\beta_1} + 1)X_2(D) \\ + (D^{\gamma_1} + D^{\delta_1} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (29-1) \\ (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_2} + D^{\beta_2} + 1)X_2(D) \\ + (D^{\gamma_2} + D^{\delta_2} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (29-2) \\ (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_3} + D^{\beta_3} + 1)X_2(D) \\ + (D^{\gamma_3} + D^{\delta_3} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) &= 0 \quad \cdots (29-3) \end{aligned}$$

[0814]

[0815]

식(29-1)~식(29-3)에 나타나는 패리티 검사 다항식은, 식(28-1)~식(28-3)에, 각각 $X_3(D)$ 의 항을 추가한 구

성을 취한다. 또한, 식(29-1)~식(29-3)에 있어서, $X_3(D)$ 의 각 차수, (γ_1, δ_1) , (γ_2, δ_2) , (γ_3, δ_3) 이, 특성이 양호한 LDPC-CC의 차수의 조건 ($<조건\#1>\sim <조건\#6>$ 등)을 만족시키도록 설정하면, 부호화율 3/4 일 경우에도, 특성이 양호한 LDPC-CC를 얻을 수 있다.

[0816] 그리고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 시점 j 에 있어서의 정보 X_1, X_2, X_3 을 $X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}$ 라고 나타내고, 시점 j 에 있어서의 패리티 P 를 P_j 라고 나타내며, $u_j=(X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}, P_j)^T$ 라고 한다. 이 때, 시점 j 의 정보 $X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}$ 및 패리티 P_j 는,

[0817] 「 $j \bmod 3=0$ 일 때, 식(29-1)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0818] 「 $j \bmod 3=1$ 일 때, 식(29-2)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0819] 「 $j \bmod 3=2$ 일 때, 식(29-3)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0820] 이 때, 패리티 검사 다항식과 패리티 검사 행렬의 관계는, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 경우와 동일하다.

[0821] 식(30-1)~(30-($q-1$))에, 위에서 설명한 바와 같이 하여 탐색했을 경우의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 일반식을 나타낸다.

수학식 30

$$A_{X1,k}(D)X_1(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \cdots (30-1)$$

$$A_{X1,k}(D)X_1(D)+A_{X2,k}(D)X_2(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \cdots (30-2)$$

$$A_{X1,k}(D)X_1(D)+A_{X2,k}(D)X_2(D)+A_{X3,k}(D)X_3(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \cdots (30-3)$$

⋮

$$A_{X1,k}(D)X_1(D)+A_{X2,k}(D)X_2(D)+\cdots+A_{Xq-1,k}(D)X_{q-1}(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \cdots (30-(q-1))$$

[0822]

[0823] 단, 식(30-1)은 일반식으로 표현하고 있기때문에, 식(30-1)과 같은 표현을 하고 있지만, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 실제로, 시변주기가 g 이므로, 식(30-1)은 g 개의 패리티 검사 다항식으로 표현된다. (본 실시형태에서 설명한 것처럼, 예를 들면, 시변주기 3의 경우, 식(27-1)~식(27-3)과 같이, 3개의 패리티 검사 다항식으로 표현되고 있다.) 식(30-1)과 마찬가지로, 식(30-2)~식(30-($q-1$))의 각각의 식도 시변주기가 g 이므로 g 개의 패리티 검사 다항식으로 표현된다.

[0824] 여기서, 식(30-1)의 g 개의 패리티 검사 다항식을 식(30-1-0), 식(30-1-1), 식(30-1-2), \cdots , 식(30-1-($g-2$)), 식(30-1-($g-1$)) 이라고 표현하기로 한다.

[0825] 마찬가지로, 식(30- w)은 g 개의 패리티 검사 다항식으로 표현된다($w=2, 3, \cdots, q-1$). 여기서, 식(30- w)의 g 개의 패리티 검사 다항식을 식(30- $w-0$), 식(30- $w-1$), 식(30- $w-2$), \cdots , 식(30- $w-(g-2)$), 식(30- $w-(g-1)$)으로 표현하기로 한다.

[0826] 또한, 식(30-1)~식(30-($q-1$))에 있어서, $X_{1,i}, X_{2,i}, \cdots, X_{q-1,i}$ 는, 시점 i 에 있어서의 정보 $X_1, X_2, \cdots, X_{q-1}$ 을 나타내고, P_i 는 시점 i 에 있어서의 패리티 P 를 나타낸다. 또, $A_{Xr,k}(D)$ 는, 부호화율($r-$

$1)/r(r=2, 3, \dots, q(q \text{는 } 3 \text{이상의 자연수}))$ 의 시각 i 로 하여, $k=i \bmod g$ 로서 구한 k 의 패리티 검사 다항식에 있어서의 $X_r(D)$ 항이다. 또, $B_k(D)$ 는, 부호화율 $(r-1)/r$ 의 시각 i 로 하여, $k=i \bmod g$ 로서 구한 k 의 패리티 검사 다항식에 있어서의 $P(D)$ 항이다. 또, 「 $i \bmod g$ 」는, i 를 g 로 나눈셈한 나머지이다.

[0827] 즉, 식(30-1)은, 부호화율 $1/2$ 에 대응하는 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식이며, 식(30-2)은, 부호화율 $2/3$ 에 대응하는 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식이며, ..., 식(30-($q-1$))은, 부호화율 $(q-1)/q$ 에 대응하는 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식이다.

[0828] 이와 같이 하여, 특성이 양호한 부호화율 $1/2$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식인 식(30-1)을 기초로 하여, 부호화율 $2/3$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식(30-2)을 생성한다.

[0829] 다시금, 부호화율 $2/3$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식(30-2)을 기초로 하여 부호화율 $3/4$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식(30-3)을 생성한다. 이후 동일하게 하여, 부호화율 $(r-1)/r$ 인 LDPC-CC를 기초로 하여 부호화율 $r/(r+1)$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 생성한다. ($r=2, 3, \dots, q-2, q-1$)

[0830] 이상의 패리티 검사 다항식의 구성 방법에 대해 다른 표현을 한다. 부호화율 $(y-1)/y$, 시변주기 g 인 LDPC-CC와, 부호화율 $(z-1)/z$, 시변주기 g 인 LDPC-CC를 생각해 본다. 단, 부호화기의 회로 공용화와, 복호화기의 회로 공용화를 도모하는 부호화를 중에서 최대 부호화율은 $(q-1)/q$ 이고, g 는 2이상의 정수, y 는 2이상의 정수, z 는 2이상의 정수로 하여, $y < z \leq q$ 의 관계가 성립하는 것으로 한다. 또한, 부호화기의 회로 공용화란, 부호화기 내부 회로의 공용화이며, 부호화기와 복호화기의 회로 공용화는 아니다.

[0831] 이 때, 식(30-1)~(30-($q-1$))의 설명을 할 때에 설명한 g 개 패리티 검사 다항식을 표현한 식(30- $w-0$), 식(30- $w-1$), 식(30- $w-2$), ..., 식(30- $w-(g-2)$), 식(30- $w-(g-1)$)에 있어서, $w=y-1$ 라고 했을 때의 g 개의 패리티 검사 다항식을 식(31-1)~ 식(31- g)로 나타낸다.

수학식 31

$$\begin{aligned} & A_{X1,0}(D)X_1(D) + A_{X2,0}(D)X_2(D) + \dots \quad (\theta = i \bmod g) \quad \dots (31-1) \\ & + A_{Xy-1,0}(D)X_{y-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0 \\ & B_0(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,0}(D)X_r(D) = 0 \quad (\theta = i \bmod g) \quad \dots (31-1') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + \dots \quad (I = i \bmod g) \quad \dots (31-2) \\ & + A_{Xy-1,1}(D)X_{y-1}(D) + B_1(D)P(D) = 0 \\ & B_1(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,1}(D)X_r(D) = 0 \quad (I = i \bmod g) \quad \dots (31-2') \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} & A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (31-(k+1)) \\ & + A_{Xy-1,k}(D)X_{y-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \\ & B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (31-(k+1)') \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} & A_{X1,g-1}(D)X_1(D) + A_{X2,g-1}(D)X_2(D) + \dots \quad (g-I = i \bmod g) \quad \dots (31-g) \\ & + A_{Xy-1,g-1}(D)X_{y-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0 \\ & B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,g-1}(D)X_r(D) = 0 \quad (g-I = i \bmod g) \quad \dots (31-g') \end{aligned}$$

[0832]

- [0833] 식(31-1)~식(31-g)에 있어서, 식(31-w)과 식(31-w')는 등가(等價) 식이어, 이후에 식(31-w)이라고 기재되어 있는 곳을 식(31-w')과 대체시켜도 좋다(w=1, 2, ..., g).
- [0834] 그리고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 시점 j에 있어서의 정보 X_1, X_2, \dots, X_{y-1} 을 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}$ 라고 나타내고, 시점 j에 있어서의 패리티 P를 P_j 라고 나타내며, $u_j=(X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, P_j)^T$ 라고 한다. 이 때, 시점 j의 정보 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}$ 및 패리티 P_j 는,
- [0835] 「j mod g=0일 때, 식(31-1)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0836] 「j mod g=1일 때, 식(31-2)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0837] 「j mod g=2일 때, 식(31-3)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0838] .
- [0839] .
- [0840] .
- [0841] 「j mod g=k일 때, 식(31-(k+1))의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0842] .
- [0843] .
- [0844] .
- [0845] 「j mod g=g-1일 때, 식(31-g)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0846] 이 때, 패리티 검사 다항식과 패리티 검사 행렬의 관계는, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 경우와 동일하다.
- [0847] 다음에, 식(30-1)~(30-(q-1))의 설명을 할 때에 설명한 g개의 패리티 검사 다항식을 표현한 식(30-w-0), 식(30-w-1), 식(30-w-2), ..., 식(30-w-(g-2)), 식(30-w-(g-1))에 있어서, $w=z-1$ 이라고 했을 때의 g개의 패리티 검사 다항식을 식(32-1)~식(32-g)로 나타낸다. ($y < z \leq q$ 의 관계로부터, 식(32-1)~식(32-g)이라고 나타낼 수 있다.)

수학식 32

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,0}(D)X_1(D) + A_{X2,0}(D)X_2(D) + \cdots \\
 & + A_{X_{y-1},0}(D)X_{y-1}(D) + \cdots + A_{X_s,0}(D)X_s(D) + \cdots + A_{X_{z-1},0}(D)X_{z-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (0 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-1) \\
 & B_0(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,0}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,0}(D)X_s(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (0 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-1')
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + \cdots \\
 & + A_{X_{y-1},1}(D)X_{y-1}(D) + \cdots + A_{X_s,1}(D)X_s(D) + \cdots + A_{X_{z-1},1}(D)X_{z-1}(D) + B_1(D)P(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (1 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-2) \\
 & B_1(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,1}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,1}(D)X_s(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (1 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-2')
 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \cdots \\
 & + A_{X_{y-1},k}(D)X_{y-1}(D) + \cdots + A_{X_s,k}(D)X_s(D) + \cdots + A_{X_{z-1},k}(D)X_{z-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (k \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-(k+1)) \\
 & B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,k}(D)X_s(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (k \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-(k+1)')
 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,g-1}(D)X_1(D) + A_{X2,g-1}(D)X_2(D) + \cdots \\
 & + A_{X_{y-1},g-1}(D)X_{y-1}(D) + \cdots + A_{X_s,g-1}(D)X_s(D) + \cdots + A_{X_{z-1},g-1}(D)X_{z-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (g-1 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-g) \\
 & B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,g-1}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,g-1}(D)X_s(D) = 0 \\
 & \qquad \qquad \qquad (g-1 \equiv i \pmod{g}) \qquad \qquad \qquad \cdots (32-g')
 \end{aligned}$$

[0848]

[0849] 식(32-1)~식(32-g)에 있어서, 식(32-w)과 식(32-w')는 등가 식이며, 이후에 식(32-w)이라고 기재되어 있는 곳을 식(32-w')과 대체시켜도 좋다(w=1, 2, ⋯, g).

[0850] 그리고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 것처럼, 시점 j에 있어서의 정보 $X_1, X_2, \dots, X_{y-1}, \dots, X_s, \dots, X_{z-1}$ 을 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}$ 라고 나타내고, 시점 j에 있어서의 패리티 P를 P_j 라고 나타내며, $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}, P_j)^T$ 라고 한다(따라서, $y < z \leq q$ 의 관계로부터, $s=y, y+1, y+2, y+3, \dots, z-3, z-2, z-1$ 이 된다.). 이 때, 시점 j의 정보 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}$ 및 패리티 P_j 는,

[0851] 「j mod g=0일 때, 식(32-1)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

[0852] 「j mod g=1일 때, 식(32-2)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」

- [0853] 「 $j \bmod g=2$ 일 때, 식(32-3)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0854] .
- [0855] .
- [0856] .
- [0857] 「 $j \bmod g=k$ 일 때, 식(32-($k+1$))의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」
- [0858] .
- [0859] .
- [0860] .
- [0861] 「 $j \bmod g=g-1$ 일 때, 식(32- g)의 패리티 검사 다항식을 만족시킨다.」 이 때, 패리티 검사 다항식과 패리티 검사 행렬의 관계는, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 경우와 동일하다.
- [0862] 상기 관계가 성립하는 경우에 있어서, 부호화율($y-1$)/ y 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC와, 부호화율($z-1$)/ z 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC에 있어서, 이하의 조건이 성립하는 경우, 부호화율($y-1$)/ y 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화기와, 부호화율($z-1$)/ z 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화기가, 회로의 공용화를 할 수 있고 또, 부호화율($y-1$)/ y 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 복호화기와 부호화율($z-1$)/ z 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 복호화기가, 회로의 공용화를 할 수 있다. 그 조건은, 이하와 같다.
- [0863] 우선, 식(31-1)과 식(32-1)은, 이하의 관계가 성립한다. 「식(31-1)의 $A_{X1, 0}(D)$ 와 식(32-1)의 $A_{X1, 0}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0864] .
- [0865] .
- [0866] .
- [0867] 「식(31-1)의 $A_{Xf, 0}(D)$ 와 식(32-1)의 $A_{Xf, 0}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0868] .
- [0869] .
- [0870] .
- [0871] 「식(31-1)의 $A_{Xy-1, 0}(D)$ 와 식(32-1)의 $A_{Xy-1, 0}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0872] 즉, 상기 관계는 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 로 성립한다.
- [0873] 또, 패리티에 대해서도 이하의 관계가 성립한다.
- [0874] 「식(31-1)의 $B_0(D)$ 와 식(32-1)의 $B_0(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0875] 마찬가지로, 식(31-2)와 식(32-2)에서는 이하의 관계가 성립한다.
- [0876] 「식(31-2)의 $A_{X1, 1}(D)$ 와 식(32-2)의 $A_{X1, 1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0877] .
- [0878] .
- [0879] .
- [0880] 「식(31-2)의 $A_{Xf, 1}(D)$ 와 식(32-2)의 $A_{Xf, 1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0881] .
- [0882] .

- [0883] .
- [0884] 「식(31-2)의 $A_{xy-1, 1}(D)$ 와 식(32-2)의 $A_{xy-1, 1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0885] 즉, 상기 관계는 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 로 성립한다.
- [0886] 또, 패리티에 대해서도 이하의 관계가 성립한다.
- [0887] 「식(31-2)의 $B_1(D)$ 와 식(32-2)의 $B_1(D)$ 은, 등호가 성립한다.」
- [0888] (생략)
- [0889]
- [0890] 마찬가지로, 식(31-h)와 식(32-h)는, 이하의 관계가 성립한다.
- [0891] 「식(31-h)의 $A_{x1, h-1}(D)$ 와 식(32-h)의 $A_{x1, h-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0892] .
- [0893] .
- [0894] .
- [0895] 「식(31-h)의 $A_{xf, h-1}(D)$ 와 식(32-h)의 $A_{xf, h-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0896] .
- [0897] .
- [0898] .
- [0899] 「식(31-h)의 $A_{xy-1, h-1}(D)$ 와 식(32-h)의 $A_{xy-1, h-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0900] 즉, 상기 관계는 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 로 성립한다.
- [0901] 또, 패리티에 대해서도 이하의 관계가 성립한다.
- [0902] 「식(31-h)의 $B_{h-1}(D)$ 와 식(32-h)의 $B_{h-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0903] (생략)
- [0904] 마찬가지로, 식(31-g)와 식(32-g)에서는, 이하의 관계가 성립한다.
- [0905] 「식(31-g)의 $A_{x1, g-1}(D)$ 와 식(32-g)의 $A_{x1, g-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0906] .
- [0907] .
- [0908] .
- [0909] 「식(31-g)의 $A_{xf, g-1}(D)$ 와 식(32-g)의 $A_{xf, g-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0910] .
- [0911] .
- [0912] .
- [0913] 「식(31-g)의 $A_{xy-1, g-1}(D)$ 와 식(32-g)의 $A_{xy-1, g-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」

- [0914] 즉, 상기 관계는 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 로 성립한다.
- [0915] 또, 패리티에 대해서도 이하의 관계가 성립한다.
- [0916] 「식(31-g)의 $B_{g-1}(D)$ 와 식(32-g)의 $B_{g-1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0917] (따라서, $h=1, 2, 3, \dots, g-2, g-1, g$ 가 된다.)
- [0918] 이상과 같은 관계가 성립했을 경우, 부호화율 $(y-1)/y$ 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화기와 부호화율 $(z-1)/z$ 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화기가, 회로의 공용화를 할 수 있고 또, 부호화율 $(y-1)/y$ 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 복호화기와 부호화율 $(z-1)/z$ 에 있어서의 시변주기 g 인 LDPC-CC의 복호화기가, 회로의 공용화를 할 수 있다. 단, 부호화기 회로의 공용 방법, 및, 복호화기 회로의 공용화 방법에 대해서는, 이후의(부호화기, 복호화기의 구성)에서 자세하게 설명한다.
- [0919] 상술한 조건을 만족시킨, 시변주기 3, 대응하는 부호화율이 1/2, 2/3, 3/4, 5/6인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 일례를 표 5에 나타낸다.
- [0920] 단, 패리티 검사 다항식의 형식은, 표 3의 형식과 동일한 형식으로 표시되어 있다. 이것에 의해, 송신 장치, 수신장치가, 부호화율이 1/2, 2/3, 3/4, 5/6을 대응한 경우, (또는, 4개의 부호화율중 2개 이상의 부호화율을 송신 장치, 수신장치가 대응했을 경우,) 연산 규모(회로 규모)의 저감(Distributed codes이면서, 부호화기의 회로 공용화와, 복호화기의 회로 공용화가 가능하기 때문에, 회로 규모를 저감할 수 있음) 및 수신장치가 높은 데이터의 수신 품질을 얻을 수 있다.

표 5

부호	패리티 검사 다항식
시변 주기3, 부호화율1/2인 LDPC-CC	<p>「검사 다항식#1」 : $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#2」 : $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#3」 : $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$</p>
시변 주기3, 부호화율2/3인 LDPC-CC	<p>「검사 다항식#1」 : $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#2」 : $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#3」 : $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$</p>
시변 주기3, 부호화율3/4인 LDPC-CC	<p>「검사 다항식#1」 : $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#2」 : $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#3」 : $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$</p>
시변주기3, 부호화율5/6인 LDPC-CC	<p>「검사 다항식#1」 : $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D) + (D^{250} + D^{197} + 1)X_4(D) + (D^{295} + D^{113} + 1)X_5(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#2」 : $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{220} + D^{146} + 1)X_4(D) + (D^{311} + D^{115} + 1)X_5(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사 다항식#3」 : $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D) + (D^{490} + D^{239} + 1)X_4(D) + (D^{394} + D^{278} + 1)X_5(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$</p>

[0921]

- [0922] 표 5의 시변주기 3인 LDPC-CC가, 상기 조건을 만족시키고 있음을 설명한다. 예를 들면, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC와, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해서 생각해 본다. 즉, $(31-1) \sim (31-g)$ 에 있어서 $y=2$ 가 되고, $(32-1) \sim (32-g)$ 에 있어서 $z=3$ 이 된다.
- [0923] 그러면, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-1)의 $A_{X1,0}(D)$ 는 $D^{373} + D^{56} + 1$ 이 되고 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(32-1)의 $A_{X1,0}(D)$ 은 $D^{373} + D^{56} + 1$ 이 되어, 「식(31-1)의 $A_{X1,0}(D)$ 와 식(32-1)의 $A_{X1,0}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0924] 또, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-1)의 $B_0(D)$ 는 $D^{406} + D^{218} + 1$ 이 되고, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(32-1)의 $B_0(D)$ 은 $D^{406} + D^{218} + 1$ 이 되어, 「식(31-1)의 $B_0(D)$ 와 식(32-1)의 $B_0(D)$ 는 등호가 성립한다.」
- [0925] 마찬가지로, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-2)의 $A_{X1,1}(D)$ 은 $D^{457} + D^{19} + 1$ 이 되고, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터 식(32-2)의 $A_{X1,1}(D)$ 은 $D^{457} + D^{19} + 1$ 이 되고, 「식(31-2)의 $A_{X1,1}(D)$ 와 식(32-2)의 $A_{X1,1}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0926] 또, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-2)의 $B_1(D)$ 은 $D^{491} + D^{22} + 1$ 이 되고, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(32-2)의 $B_1(D)$ 은 $D^{491} + D^{22} + 1$ 이 되어, 「식(31-2)의 $B_1(D)$ 와 식(32-2)의 $B_1(D)$ 은, 등호가 성립한다.」
- [0927] 마찬가지로, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-3)의 $A_{X1,2}(D)$ 은 $D^{485} + D^{70} + 1$ 이 되고, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(32-3)의 $A_{X1,2}(D)$ 은 $D^{485} + D^{70} + 1$ 이 되어, 「식(31-3)의 $A_{X1,2}(D)$ 와 식(32-3)의 $A_{X1,2}(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0928] 또, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(31-3)의 $B_2(D)$ 은 $D^{236} + D^{181} + 1$ 이 되어, 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC로부터, 식(32-3)의 $B_2(D)$ 은 $D^{236} + D^{181} + 1$ 이 되어, 「식(31-3)의 $B_2(D)$ 와 식(32-3)의 $B_2(D)$ 는, 등호가 성립한다.」
- [0929] 이상으로 알 수 있는 것처럼, 표 5의 부호화율 1/2에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC와 표 5의 부호화율 2/3에 있어서의 시변주기 3인 LDPC-CC는, 상기의 조건을 만족시키고 있음을 확인할 수 있다.
- [0930] 이상과 마찬가지로, 표 5의 시변주기 3인 LDPC-CC에 있어서, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 중, 2개의 다른 부호화율의 시변주기 3인 LDPC-CC를 선택하여, 상기의 조건을 만족시키는지의 검증을 행하면, 어느 선택 패턴에 있어서도, 상기의 조건을 만족시키고 있음을 확인할 수 있다.
- [0931] 또한, LDPC-CC는 컨볼루션 부호의 일종이기 때문에, 정보 비트의 복호에 있어서의 신뢰도를 확보하기 위해서, 터미네이션(Termination)이나 테일바이팅(tail-biting)이 필요하다. 여기에서는, 데이터(정보) X의 상태를 제로로 하는(이하 「Information-zero-termination」라고 함) 방법을 행하는 경우에 대해서 생각해 본다.
- [0932] 「Information-zero-termination」방법을 나타낸 도면이, 도 10이다.
- [0933] 도 10에 나타낸 것처럼, 송신하는 정보 계열 중 제일 마지막으로 송신하는 정보 비트(최종 송신 비트)가 $X_n(110)$ 이다. 이 최종 정보 비트 $X_n(110)$ 에 수반하여 부호화기가 생성하는 패리티 비트까지밖에 송신 장치가 데이터를 송신하지 않았을 경우에, 수신장치가 복호를 행했을 경우, 정보의 수신 품질이 크게 열화한다. 이 문제를 해결하기 위해서, 최종 정보 비트 $X_n(110)$ 이후의 정보 비트(「가상의 정보 비트」라고 부름)를 「0」이라고 가정하고 부호화를 행하여, 패리티 비트(130)를 생성한다.
- [0934] 이 때, 가상의 정보 비트(120)는, 수신장치가 「0」으로 알고 있으므로, 송신 장치는 가상 정보 비트(120)를 송

신하지 않고, 가상의 정보 비트(120)에 의해 생성된 패리티 비트(130)만을 송신한다(이 패리티 비트는 송신하지 않으면 안되는 용장(冗長)한 비트가 된다. 따라서, 이 패리티 비트를 용장 비트라고 부른다.) 그러면, 새로운 과제로서 데이터의 전송 효율의 향상 및 데이터의 수신 품질의 확보의 양립을 꾀하기 위해서는, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트(120)에 의해 생성된 패리티 비트(130)의 수를 가능한한 줄일 필요가 있다.

[0935] 이 때, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 적게 하기 위해서는, 패리티 검사 다항식의 패리티에 관련되는 항이 중요한 역할을 해내고 있는 것이 시뮬레이션에 의해 확인되었다.

[0936] 일례로서 시변주기 m (m 은 정수인 한편 $m \geq 2$), 부호화율이 $1/2$ 일 때의 LDPC-CC를 예로 설명한다. 시변주기 m 일 때, 필요한 m 개의 패리티 검사 다항식을 다음 식으로 나타낸다.

수학식 33

$$A_{X1,i}(D)X_1(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \cdots (33)$$

[0937]

[0938] 단, $i=0, 1, \dots, m-1$ 이라고 한다. 또, $A_{X1,i}(D)$ 에 존재하는 D 의 차수는 0이상의 정수밖에 존재하지 않고(예를 들면, $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 와 같이, D 에 대해서 존재하는 차수는 15, 3, 0와 같이, 모두가 0이상의 차수로 구성됨), $B_i(D)$ 에 존재하는 D 의 차수도 0이상의 차수밖에 존재하지 않는 것으로 한다(예를 들면, $B_1(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 와 같이, D 에 대해서 존재하는 차수는 18, 4, 0과 같이, 모두가 0이상의 차수로 구성됨).

[0939] 이 때, 시각 j 에 있어서, 다음 식의 패리티 검사 다항식이 성립한다.

수학식 34

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \cdots (34)$$

[0940]

[0941] 그리고, $X_1(D)$ 에 있어서, $A_{X1,1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 α_1 (예를 들면, $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D 에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D 의 가장 높은 차수 $\alpha_1=15$ 가 된다.), $A_{X1,2}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_2, \dots, A_{X1,i}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_i, \dots, A_{X1,m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 α_{m-1} 로 한다. 그리고, α_i 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α 로 한다.

[0942] 한편, $P(D)$ 에 있어서, $B_1(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\beta_1, B_2(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\beta_2, \dots, B_i(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\beta_i, \dots, B_{m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 β_{m-1} 로 한다. 그리고, β_i 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 β 로 한다.

[0943] 그러면, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 적게 하기 위해서는, β 가 α 의 $1/2$ 이하로 하면 좋다.

[0944] 여기에서는, 부호화율 $1/2$ 인 경우에 대해서 설명했지만, 그 이상의 부호화율인 경우에 대해서도 동일하게 생각할 수 있다. 이 때, 특히, 부호화율 $4/5$ 이상일 경우, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 적게한다고 하는 조건을 만족시키기 위해 필요한 용장 비트가 대단히 커지는 경향이 있어, 상기와 동일하게 생각한 조건이라는 것이, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 줄이기 위해서는 중요해진다.

[0945] 일례로서, 시변주기 m (m 은 정수이면서 또 $m \geq 2$), 부호화율이 $4/5$ 일 때의 LDPC-CC를 예로 설명한다. 시변주기

m일 때, 필요하게 되는 m개의 패리티 검사 다항식을 다음 식으로 나타낸다.

수학식 35

$$A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + A_{X3,i}(D)X_3(D) + A_{X4,i}(D)X_4(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (35)$$

[0946]

[0947]

단, $i=0, 1, \dots, m-1$ 이라고 한다. 또, $A_{X1,i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수밖에 존재하지 않으며 (예를 들면, $A_{X1,i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 와 같이, D에 대해 존재하는 차수는 15, 3, 0과 같이, 전부가 0이상의 차수로 구성된다), 마찬가지로, $A_{X2,i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $A_{X3,i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $A_{X4,i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $B_i(D)$ 에 존재하는 D의 차수도 0이상의 차수 밖에 존재하지 않는 것으로 한다(예를 들면, $B_i(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 와 같이, D에 대해 존재하는 차수는 18, 4, 0과 같이, 모두가 0이상의 차수로 구성된다).

[0948]

이 때, 시각 j에 있어서, 다음 식의 패리티 검사 다항식이 성립한다.

수학식 36

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + A_{X3,k}(D)X_3(D) + A_{X4,k}(D)X_4(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \dots (36)$$

[0949]

[0950]

그리고, $X_1(D)$ 에 있어서, $A_{X1,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,i}$ (예를 들면, $A_{X1,i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D에 있어서 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D의 가장 높은 차수 $\alpha_{1,i}=15$ 가 된다.), $A_{X1,2}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,2}, \dots, A_{X1,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,i}, \dots, A_{X1,m-1}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{1,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_1 로 한다.

[0951]

$X_2(D)$ 에 있어서, $A_{X2,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,i}$ (예를 들면, $A_{X2,i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D에 대해서 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D의 가장 높은 차수 $\alpha_{2,i}=15$ 가 된다.), $A_{X2,2}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,2}, \dots, A_{X2,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,i}, \dots, A_{X2,m-1}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{2,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_2 로 한다.

[0952]

$X_3(D)$ 에 있어서, $A_{X3,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{3,i}$ (예를 들면, $A_{X3,i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D의 가장 높은 차수 $\alpha_{3,i}=15$ 가 된다.), $A_{X3,2}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{3,2}, \dots, A_{X3,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{3,i}, \dots, A_{X3,m-1}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{3,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{3,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_3 으로 한다.

[0953]

$X_4(D)$ 에 있어서, $A_{X4,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{4,i}$ (예를 들면, $A_{X4,i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D의 가장 높은 차수 $\alpha_{4,i}=15$ 가 된다.), $A_{X4,2}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{4,2}, \dots, A_{X4,i}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\alpha_{4,i}, \dots, A_{X4,m-1}(D)$ 에 있어서

의 D의 가장 높은 차수를 $a_{4, m-1}$ 로 한다. 그리고, $a_{4, i}$ 에 있어서 ($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 a_4 로 한다.

[0954] $P(D)$ 에 있어서, $B_1(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 β_1 , $B_2(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\beta_2, \dots, B_i(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 $\beta_i, \dots, B_{m-1}(D)$ 에 있어서의 D의 가장 높은 차수를 β_{m-1} 로 한다. 그리고, β_i 에 있어서 ($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 β 로 한다.

[0955] 그러면, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 적게하기 위해서는,

[0956] 「 β 가 a_1 의 1/2 이하, 또, β 가 a_2 의 1/2 이하, 또, β 가 a_3 의 1/2 이하, 또, β 가 a_4 의 1/2 이하로 한다」

[0957] 로 좋으며, 특히, 양호한 데이터의 수신 품질을 확보할 수 있을 가능성이 높다.

[0958] 또,

[0959] 「 β 가 a_1 의 1/2 이하, 또는, β 이 a_2 의 1/2 이하, 또는, β 이 a_3 의 1/2 이하, 또는, β 가 a_4 의 1/2 이하로 한다」

[0960] 로서도, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 줄일 수가 있지만, 약간, 데이터의 수신 품질의 저하를 초래할 가능성이 있다(단, 반드시, 데이터의 수신 품질의 저하를 초래한다는 것은 아니다.).

[0961] 따라서, 시변주기 m (m 은 정수이면서 또 $m \geq 2$), 부호화율이 $(n-1)/n$ 일 때의 LDPC-CC일 때는 이하와 같이 생각할 수 있다.

[0962] 시변주기 m 일 때, 필요한 m 개의 패리티 검사 다항식을 다음식으로 나타낸다.

수학식 37

$$A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + \dots + A_{Xn-1,i}(D)X_{n-1}(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (37)$$

[0963]

[0964] 단, $i=0, 1, \dots, m-1$ 이라고 한다. 또, $A_{X1, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고 (예를 들면, $A_{X1, i}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 와 같이, D에 대해 존재하는 차수는 15, 3, 0과 같이, 모두가 0이상의 차수로 구성된다), 마찬가지로, $A_{X2, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $A_{X3, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $A_{X4, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, \dots , $A_{Xu, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, \dots , $A_{Xn-1, i}(D)$ 에 존재하는 D의 차수는 0이상의 정수 밖에 존재하지 않고, $B_i(D)$ 에 존재하는 D의 차수도 0이상의 차수 밖에 존재하지 않는 것으로 한다(예를 들면, $B_i(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 와 같이, D에 대해 존재하는 차수는 18, 4, 0과 같이, 모두가 0이상의 차수로 구성된다)($u=1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$).

[0965] 이 때, 시각 j 에 있어서, 다음 식의 패리티 검사 다항식이 성립한다.

수학식 38

$$A_{X1,k}(D)X_1(D)+A_{X2,k}(D)X_2(D)+\cdots \quad (k=j \bmod m) \quad \cdots (38) \\ +A_{Xn-1,k}(D)X_{n-1}(D)+B_k(D)P(D)=0$$

[0966]

[0967]

그리고, $X_1(D)$ 에 있어서, $A_{X1,1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,1}$ (예를 들면, $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D 에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D 의 가장 높은 차수 $\alpha_{1,1}=15$ 가 된다.), $A_{X1,2}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,2}, \dots$, $A_{X1,i}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,i}, \dots$, $A_{X1,m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{1,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{1,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_1 로 한다.

[0968]

$X_2(D)$ 에 있어서, $A_{X2,1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,1}$ (예를 들면, $A_{X2,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D 에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D 의 가장 높은 차수 $\alpha_{2,1}=15$ 가 된다.), $A_{X2,2}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,2}, \dots$, $A_{X2,i}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,i}, \dots$, $A_{X2,m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{2,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{2,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_2 로 한다.

[0969]

.

[0970]

.

[0971]

.

[0972]

$X_u(D)$ 에 있어서, $A_{Xu,1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{u,1}$ (예를 들면, $A_{Xu,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D 에 있어서 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D 의 가장 높은 차수 $\alpha_{u,1}=15$ 가 된다.), $A_{Xu,2}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{u,2}, \dots$, $A_{Xu,i}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{u,i}, \dots$, $A_{Xu,m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{u,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{u,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_u 로 한다. ($u=1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$)

[0973]

.

[0974]

.

[0975]

.

[0976]

$X_{n-1}(D)$ 에 있어서, $A_{Xn-1,1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{n-1,1}$ (예를 들면, $A_{Xn-1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 라고 하면, D 에 대해 차수 15, 차수 3, 차수 0이 존재하고, D 의 가장 높은 차수 $\alpha_{n-1,1}=15$ 가 된다.), $A_{Xn-1,2}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{n-1,2}, \dots$, $A_{Xn-1,i}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{n-1,i}, \dots$, $A_{Xn-1,m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 $\alpha_{n-1,m-1}$ 로 한다. 그리고, $\alpha_{n-1,i}$ 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 α_{n-1} 로 한다.

[0977]

$P(D)$ 에 있어서, $B_1(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 β_1 , $B_2(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 β_2, \dots , $B_i(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 β_i, \dots , $B_{m-1}(D)$ 에 있어서의 D 의 가장 높은 차수를 β_{m-1} 로 한다. 그리고, β_i 에 있어서($i=0, 1, 2, \dots, m-1$) 가장 큰 값을 β 로 한다.

[0978]

그러면, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 줄이

기 위해서는, 「 β 가 a_1 의 $1/2$ 이하, 또, β 가 a_2 의 $1/2$ 이하, 또, \dots , 또, β 가 a_u 의 $1/2$ 이하이고, 또, \dots , 또, β 가 a_{n-1} 의 $1/2$ 이하로 한다($u=1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$)」

[0979] 로 하면 좋으며, 특히, 양호한 데이터의 수신 품질을 확보할 수 있을 가능성이 높다.

[0980] 또,

[0981] 「 β 가 a_1 의 $1/2$ 이하, 또는, β 가 a_2 의 $1/2$ 이하, 또는, \dots , 또는, β 가 a_u 의 $1/2$ 이하, 또는, \dots , 또는, β 가 a_{n-1} 의 $1/2$ 이하로 한다($u=1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$)」

[0982] 로 하더라도, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 가상의 정보 비트에 의해 생성된 패리티 비트의 수를 가능한한 줄일 수 있지만, 약간, 데이터의 수신 품질의 저하를 초래할 가능성이 있다(단, 반드시, 데이터의 수신 품질의 저하를 초래하는 것은 아니다.).

[0983] 표 6에, 데이터의 수신 품질을 확보하면서, 용장 비트를 줄일 수 있는 시변주기 3, 부호화율이 $1/2, 2/3, 3/4, 4/5$ 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 일례를 나타낸다. 표 6의 시변주기 3인 LDPC-CC에 있어서, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4, 4/5$ 중, 2개의 다른 부호화율의 시변주기 3인 LDPC-CC를 선택했을 때, 이미 설명한 부호화기 및 복호화기를 공통화할 수 있는 조건을 만족시키는지 아닌지 검증하면, 어느 선택 패턴에 있어서도, 표 5의 시변주기 3인 LDPC-CC와 마찬가지로, 부호화기 및 복호화기를 공통화할 수 있는 조건을 만족시키는 것을 확인할 수 있다.

[0984] 또한, 표 5의 부호화율 $5/6$ 일 때, 용장 비트가 1000비트 이상 필요했지만, 표 6의 부호화율 $4/5$ 일 때, 용장 비트는 500비트 이하가 되는 것이 확인되고 있다.

[0985] 또, 표 6의 부호에서는, 부호화율마다 다른 수(數)의 용장 비트(「Information-zero-termination」를 위해 부가된 용장 비트)가 된다. 이 때, 부호화율이 커짐에 따라 용장 비트의 수는 많아지는 경향이 된다. 단, 반드시 그런 경향이 된다는 것은 아니다. 또 부호화율이 크고, 또 정보사이즈(Information size)가 크면, 용장비트의 수가 많아 지는 경향이 있다. 즉, 표 5, 표 6과 같이 부호를 작성했을 경우, 부호화율 $(n-1)/n$ 의 부호와 부호화율 $(m-1)/m$ 의 부호가 있을 때($n > m$), 부호화율 $(n-1)/n$ 의 부호에 필요한 용장 비트(「Information-zero-termination」를 위해 부가된 용장 비트)의 수는, 부호화율 $(m-1)/m$ 의 부호에 필요한 용장 비트(「Information-zero-termination」를 위해 부가된 용장 비트)의 수보다 많아지는 경향이 있고, 또, 부호화율 $(n-1)/n$ 의 부호에 필요한 용장비트의 수는, 정보사이즈가 작은 경우, 부호화율 $(m-1)/m$ 의 부호에 필요한 용장비트의 수보다 많아지는 경향이 있다. 그러나, 반드시 이와 같은 경향이 된다고 하는 것은 아니다.

표 6

부호	패리티 검사 다항식
시변주기3, 부호화율1/2인 LDPC-CC	<p>「검사다항식#1」 : $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#2」 : $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#3」 : $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$</p>
시변주기3, 부호화율2/3인 LDPC-CC	<p>「검사다항식#1」 : $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#2」 : $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#3」 : $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$</p>
시변주기3, 부호화율3/4인 LDPC-CC	<p>「검사다항식#1」 : $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#2」 : $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#3」 : $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$</p>
시변주기3, 부호화율4/5인 LDPC-CC	<p>「검사다항식#1」 : $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{310} + D^{113} + 1)X_4(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#2」 : $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{394} + D^{188} + 1)X_4(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$</p> <p>「검사다항식#3」 : $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{239} + D^{67} + 1)X_4(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$</p>

[0986]

[0987]

이상, 부호화기의 회로 공용화와 복호화기의 회로 공용화를 도모하는 부호화율 중에서 최대의 부호화율은 $(q-1)/q$ 라고 하여, 부호화율 $(r-1)/r$ ($r=2, 3, \dots, q$ (q 는 3이상의 자연수)), 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식에 대해 설명했다(g 는 2이상의 정수).

[0988]

여기서, 적어도 부호화율 $(y-1)/y$, 시변주기 g 인 LDPC-CC 및 부호화율 $(z-1)/z$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화기를 구비하는 송신 장치($y \neq z$)와, 적어도 부호화율 $(y-1)/y$, 시변주기 g 인 LDPC-CC 및 부호화율 $(z-1)/z$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 복호화기를 구비하는 수신장치의 연산 규모(회로 규모)를 저감할 수 있는 시변주기 g 인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 생성 방법과, 패리티 검사 다항식의 특징에 대해서 설명했다.

[0989]

여기서, 송신 장치는, 적어도 부호화율 $(y-1)/y$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화 계열을 전송하기 위한 변조 신호, 또는, 부호화율 $(z-1)/z$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화 계열을 전송하기 위한 변조 신호의 어느것인가의 변조 신호를 생성할 수 있는 송신 장치이다.

[0990]

또, 수신장치는, 적어도 부호화율 $(y-1)/y$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화 계열을 포함한 수신 신호, 또는, 부호화율 $(z-1)/z$, 시변주기 g 인 LDPC-CC의 부호화 계열을 포함한 수신 신호의 어느것인가의 수신 신호를 복조 하여, 복호하는 수신장치이다.

[0991]

본 발명으로 제안한 시변주기 g 인 LDPC-CC를 이용함으로써, 부호화기를 구비하는 송신 장치와 복호화기를 구비하는 수신장치의 연산 규모(회로 규모)를 저감할 수 있다(회로의 공통화를 행할 수 있다)라고 하는 효과를 가진 다.

- [0992] 더욱이, 본 발명에서 제안한 시변주기 g 인 LDPC-CC를 이용함으로써, 어느 부호화율에 있어서도, 수신장치는 높은 데이터의 수신 품질을 얻을 수 있다고 하는 효과를 가진다. 또한, 부호화기의 구성, 복호화기의 구성, 및 그 동작에 대해서는 아래에서 자세하게 설명한다.
- [0993] 또, 식 $(30-1) \sim (30-(q-1))$ 에서는, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4, \dots, (q-1)/q$ 일 경우의 시변주기 g 인 LDPC-CC를 설명했지만, 부호화기를 구비하는 송신 장치, 및 복호화기를 구비하는 수신장치가, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4, \dots, (q-1)/q$ 의 전부를 서포트할 필요는 없고, 적어도 2개 이상의 다른 부호화율을 서포트하고 있으면, 송신 장치 및 수신장치의 연산 규모(회로 규모)의 저감(부호화기, 복호화기의 회로의 공통화), 및, 수신장치가 높은 데이터의 수신 품질을 얻을 수 있다고 하는 효과를 얻을 수 있다.
- [0994] 또, 송수신 장치(부호화기/복호화기)가 서포트하는 부호화율이, 전부, 본 실시형태에서 설명한 방법에 기초한 부호일 경우, 서포트하는 부호화율 중 가장 높은 부호화율의 부호화기/복호화기를 가짐으로써, 용이하게 모든 부호화율의 부호화, 복호화에 대응할 수 있으며, 이 때, 연산 규모 삭감의 효과가 대단히 크다.
- [0995] 또, 본 실시형태에서는, 실시형태 1에서 설명한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)의 부호를 기초로 설명했지만, 반드시 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 조건을 만족시킬 필요는 없고, 상술한 (양호한 특성을 가지는 LDPC-CC)에서 설명한 형식의 패리티 검사 다항식에 기초하는 시변주기 g 인 LDPC-CC이면, 동일하게 본 실시형태를 실시할 수 있다(g 는 2이상의 정수). 이에 대해서는, $(31-1) \sim (31-g)$ 와 $(32-1) \sim (32-g)$ 의 관계로부터, 분명하다.
- [0996] 당연한 것이지만, 예를 들면, 송수신 장치(부호화기/복호화기)가 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ 에 대응하고 있고, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4$ 은 상기의 규칙에 기초한 LDPC-CC를 사용하고, 부호화율 $5/6$ 은, 상기의 규칙에 기초하지않는 부호를 사용하고 있었을 경우, 부호화기/복호화기는 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4$ 에 대해서는 회로의 공용화가 가능하고, 부호화율 $5/6$ 에 대해서는, 회로의 공용화가 곤란하게 된다.
- [0997] (실시형태 3)
- [0998] 본 실시형태에서는, 실시형태 2에서 설명한 탐색 방법을 이용해 형성한 LDPC-CC의 부호화기의 회로 공용화 방법과, 복호화기의 회로 공용화 방법에 대해서 자세하게 설명한다.
- [0999] 먼저, 본 발명에 따른, 부호화기의 회로 공용화와, 복호화기의 회로 공용화를 도모하는 부호화율 중 가장 높은 부호화율을 $(q-1)/q$ 라고 하여(예를 들면, 송수신 장치가 대응하는 부호화율을 $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ 라고 했을 때, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4$ 의 부호는, 부호화기/복호화기에 있어서 회로를 공통화하고, 부호화율 $5/6$ 은 부호화기/복호화기에 대해 회로를 공통화 대상으로 하지 않는 것으로 한다. 이 때, 상기에서 설명한 가장 높은 부호화율 $(q-1)/q$ 는 $3/4$ 이 된다.), 복수의 부호화율 $(r-1)/r$ (r 은 2이상 q 이하의 정수)에 대응할 수 있는 시변주기 g (g 는 자연수)인 LDPC-CC를 작성하는 부호화기에 대해서 설명한다.
- [1000] 도 11은, 본 실시형태에 따른 부호화기의 주요부 구성의 일례를 나타내는 블록도이다. 또한, 도 11에 나타내는 부호화기(200)는, 부호화율 $1/2, 2/3, 3/4$ 에 대응가능한 부호화기이다. 도 11의 부호화기(200)는, 정보 생성부(210), 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 제3 정보 연산부(220-3), 패리티 연산부(230), 가산부(240), 부호화를 설정부(250) 및 웨이트 제어부(260)를 주로 구비한다.
- [1001] 정보 생성부(210)는, 부호화율 설정부(250)로부터 지정되는 부호화율에 따라, 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$, 정보 $X_{2,i}$, 정보 $X_{3,i}$ 를 설정한다. 예를 들면, 부호화율 설정부(250)가 부호화율을 $1/2$ 로 설정했을 경우, 정보 생성부(210)는, 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_j 를 설정하고, 시점 i 의 정보 $X_{2,i}$ 및 시점 i 의 정보 $X_{3,i}$ 에 0을 설정한다.
- [1002] 또, 부호화율 $2/3$ 일 경우, 정보 생성부(210)는, 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_j 를 설정하고, 시점 i 의 정보 $X_{2,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_{j+1} 를 설정하고, 시점 i 의 정보 $X_{3,i}$ 에 0을 설정한다.
- [1003] 또, 부호화율 $3/4$ 일 경우, 정보 생성부(210)는, 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_j 를 설정하고, 시점 i 의 정보 $X_{2,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_{j+1} 를 설정하고, 시점 i 의 정보 $X_{3,i}$ 에 입력 정보 데이터 S_{j+2} 를 설정한다.
- [1004] 이와 같이 하여, 정보 생성부(210)는, 부호화율 설정부(250)에 의해 설정된 부호화율에 따라, 입력 정보 데이터

를 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$, 정보 $X_{2,i}$, 정보 $X_{3,i}$ 를 설정하고, 설정 후의 정보 $X_{1,i}$ 를 제1 정보 연산부(220-1)를 향해 출력하고, 설정 후의 정보 $X_{2,i}$ 를 제2 정보 연산부(220-2)를 향해 출력하고, 설정 후의 정보 $X_{3,i}$ 를 제3 정보 연산부(220-3)를 향해 출력한다.

[1005] 제1 정보 연산부(220-1)는, 식(30-1)의 $A_{X1,k}(D)$ 에 따라, $X_1(D)$ 를 산출한다. 마찬가지로, 제2 정보 연산부(220-2)는, 식(30-2)의 $A_{X2,k}(D)$ 에 따라, $X_2(D)$ 를 산출한다. 마찬가지로, 제3 정보 연산부(220-3)는, 식(30-3)의 $A_{X3,k}(D)$ 에 따라, $X_3(D)$ 를 산출한다.

[1006] 이 때, 실시형태 2에서 설명한 바와 같이, (31-1)~(31-g)와 (32-1)~(32-g)에 있어서 만족하는 조건으로부터, 부호화율이 전환되었다 하더라도, 제1 정보 연산부(220-1)의 구성을 변경할 필요가 없고, 또, 마찬가지로 제2 정보 연산부(220-2)의 구성을 변경할 필요가 없고, 또, 제3 정보 연산부(220-3)의 구성을 변경할 필요는 없다.

[1007] 따라서, 복수의 부호화율에 대응할 때는, 부호화기의 회로가 공용 가능한 부호화율 중에서 가장 높은 부호화율의 부호화기의 구성을 기초로 하여, 상기와 같은 조작으로, 다른 부호화율에 대응할 수 있다. 즉, 부호화기의 주요한 부분인 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 및, 제3 정보 연산부(220-3)는, 부호화율에 관계없이 공통화할 수 있다고 하는 이점을, 실시형태 1에 있어서 설명한 LDPC-CC는 가지게 된다. 그리고, 예를 들면, 표 5에 나타난 LDPC-CC는, 부호화율에 상관없이, 양호한 데이터의 수신 품질을 부여한다고 하는 이점을 가진다.

[1008] 도 12에, 제1 정보 연산부(220-1)의 내부 구성을 나타낸다. 도 12의 제1 정보 연산부(220-1)는, 쉬프트 레지스터(221-1~221-M), 웨이트 곱셈기(222-0~222-M), 및, 가산부(223)를 구비한다.

[1009] 쉬프트 레지스터(221-1~221-M)는, 각각, $X_{1,i-t}(t=0, \dots, M-1)$ 을 보지(保持)하는 레지스터이며, 다음의 입력이 들어 오는 타이밍으로, 보지하고 있는 값을 오른쪽 옆의 쉬프트 레지스터에 송출하고, 왼쪽옆의 쉬프트 레지스터로부터 출력되어 온 값을 보지한다.

[1010] 웨이트 곱셈기(222-0~222-M)는, 웨이트 제어부(260)로부터 출력되는 제어 신호에 따라, $h_1^{(m)}$ 의 값을 0 또는 1로 전환한다.

[1011] 가산부(223)는, 웨이트 곱셈기(222-0~222-M)의 출력에 대해서, 배타적 논리합 연산을 행하여, 연산 결과 $Y_{1,i}$ 를 산출하고, 산출한 $Y_{1,i}$ 를, 도 11의 가산부(240)를 향해 출력한다.

[1012] 또한, 제2 정보 연산부(220-2) 및 제3 정보 연산부(220-3)의 내부 구성은, 제1 정보 연산부(220-1)와 동일하므로, 설명을 생략한다. 제2 정보 연산부(220-2)는, 제1 정보 연산부(220-1)과 동일하게 하여, 연산 결과 $Y_{2,i}$ 를 산출하고, 산출한 $Y_{2,i}$ 를 가산부(240)를 향해 출력한다. 제3 정보 연산부(220-3)는, 제1 정보 연산부(220-1)와 동일하게 하여, 연산 결과 $Y_{3,i}$ 를 산출하고, 산출한 $Y_{3,i}$ 를, 도 11의 가산부(240)를 향해 출력한다.

[1013] 도 11의 패리티 연산부(230)는, 식(30-1)~식(30-3)의 $B_k(D)$ 에 따라, $P(D)$ 를 산출한다.

[1014] 도 13에, 도 11의 패리티 연산부(230)의 내부 구성을 나타낸다. 도 13의 패리티 연산부(230)는, 쉬프트 레지스터(231-1~231-M), 웨이트 곱셈기(232-0~232-M), 및, 가산부(233)를 구비한다.

[1015] 쉬프트 레지스터(231-1~231-M)는, 각각, $P_{i-t}(t=0, \dots, M-1)$ 를 보지하는 레지스터이며, 다음의 입력이 들어 오는 타이밍으로, 보지하고 있는 값을 오른쪽 옆의 쉬프트 레지스터에 송출하고, 왼쪽옆의 쉬프트 레지스터로부터 출력되어 온 값을 보지한다.

[1016] 웨이트 곱셈기(232-0~232-M)는, 웨이트 제어부(260)로부터 출력되는 제어 신호에 따라, $h_2^{(m)}$ 의 값을 0 또는 1로 전환한다.

[1017] 가산부(233)는, 웨이트 곱셈기(232-0~232-M)의 출력에 대해 배타적 논리합 연산을 행하여, 연산 결과 Z_i 를 산출하고, 산출한 Z_i 를, 도 11의 가산부(240)를 향해 출력한다.

[1018] 다시 도 11로 되돌아와, 가산부(240)는, 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 제3 정보 연산부

(220-3), 및, 패리티 연산부(230)로부터 출력되는 연산 결과 $Y_{1,i}$, $Y_{2,i}$, $Y_{3,i}$, Z_i 의 배타적 논리합 연산을 행하여, 시각 i 의 패리티 P_i 를 얻어, 출력한다. 가산부(240)는, 시각 i 의 패리티 P_i 를 패리티 연산부(230)를 향해 서도 출력한다.

[1019] 부호화율 설정부(250)는, 부호화기(200)의 부호화율을 설정하고, 부호화율의 정보를 정보 생성부(210)를 향해 출력한다.

[1020] 웨이트 제어부(260)는, 웨이트 제어부(260)내에 보지하는 식(30-1)~ 식(30-3)에 대응한 패리티 검사 행렬에 기초하여, 식(30-1)~ 식(30-3)의 패리티 검사 다항식에 기초한 시각 i 에 있어서의 $h_1(m)$ 의 값을, 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 제3 정보 연산부(220-3) 및 패리티 연산부(230)를 향해 출력한다. 또, 웨이트 제어부(260)는, 웨이트 제어부(260)내에 보지하는 식(30-1)~식(30-3)에 대응한 패리티 검사 행렬에 기초하여, 그 타이밍에 있어서의 $h_2^{(m)}$ 의 값을 232-0~232-M을 향해 출력한다.

[1021] 또한, 도 14에 본 실시형태에 따른 부호화기의 다른 구성예를 나타낸다. 도 14의 부호화기에 있어서, 도 11의 부호화기와 공통되는 구성 부분에는, 도 11과 동일한 부호를 붙이고 있다. 도 14의 부호화기(200)는, 부호화율 설정부(250)가, 부호화율의 정보를 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 제3 정보 연산부(220-3), 및, 패리티 연산부(230)를 향해 출력하는 점에서, 도 11의 부호화기(200)와 다르다.

[1022] 제2 정보 연산부(220-2)는, 부호화율이 1/2일 경우에는, 연산 처리를 행하지 않고, 연산 결과 $Y_{2,i}$ 로서 0을 가산부(240)를 향해 출력한다. 또, 제3 정보 연산부(220-3)는, 부호화율이 1/2 또는 2/3일 경우에는, 연산 처리를 행하지 않고, 연산 결과 $Y_{3,i}$ 로서 0을 가산부(240)를 향해 출력한다.

[1023] 또한, 도 11의 부호화기(200)에서는, 정보 생성부(210)가, 부호화율에 따라, 시점 i 의 정보 $X_{2,i}$, 정보 $X_{3,i}$ 를 0으로 설정한 것에 비해, 도 14의 부호화기(200)에서는, 제2 정보 연산부(220-2) 및 제3 정보 연산부(220-3)가, 부호화율에 따라, 연산 처리를 정지하고, 연산 결과 $Y_{2,i}$, $Y_{3,i}$ 로서 0을 출력하므로, 얻어지는 연산 결과는 도 11의 부호화기(200)와 동일하다.

[1024] 이와 같이, 도 14의 부호화기(200)에서는, 제2 정보 연산부(220-2) 및 제3 정보 연산부(220-3)가, 부호화율에 따라, 연산 처리를 정지하므로, 도 11의 부호화기(200)에 비해 연산 처리를 저감할 수 있다.

[1025] 다음에, 실시형태 2에서 설명한 LDPC-CC의 복호화기의 회로의 공용화 방법에 대해서 자세하게 설명한다.

[1026] 도 15는, 본 실시형태에 따른 복호화기의 주요부 구성을 나타내는 블록도이다. 또한, 도 15에 나타내는 복호화기(300)는, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4에 대응 가능한 복호화기이다. 도 14의 복호화기(300)는, 대수 우도비 설정부(310) 및 행렬 처리 연산부(320)를 주로 구비한다.

[1027] 대수 우도비 설정부(310)는, 도시하지않는 대수 우도비 연산부에 의해 산출되는 수신 대수 우도비 및 부호화율을 입력시켜, 부호화율에 따라, 수신 대수 우도비에 기지(既知)의 대수 우도비를 삽입한다.

[1028] 예를 들면, 부호화율이 1/2일 경우, 부호화기(200)에서는, $X_{2,i}$, $X_{3,i}$ 로서 “0”을 송신하고 있는 것에 상당하므로, 대수 우도비 설정부(310)는, 기지 비트 “0”에 대응하는 고정된 대수 우도비를 $X_{2,i}$, $X_{3,i}$ 의 대수 우도비로서 삽입하고, 삽입 후의 대수 우도비를 행렬 처리 연산부(320)를 향해 출력한다. 이하, 도 16을 이용해 설명한다.

[1029] 도 16에 나타내는 것처럼, 부호화율 1/2일 경우, 대수 우도비 설정부(310)는, $X_{1,i}$ 및 P_i 에 대응하는 수신 대수 우도비 $LLR_{X1,i}$, LLR_{P_i} 를 입력시킨다. 그래서, 대수 우도비 설정부(310)는, $X_{2,i}$, $X_{3,i}$ 에 대응하는 수신 대수 우도비 $LLR_{X2,i}$, $LLR_{3,i}$ 를 삽입한다. 도 16에 있어서, 점선의 동그라미로 둘러싸인 수신 대수 우도비는, 대수 우도비 설정부(310)에 의해 삽입된 수신 대수 우도비 $LLR_{X2,i}$, $LLR_{3,i}$ 를 나타낸다. 대수 우도비 설정부(310)는, 수신 대수 우도비 $LLR_{X2,i}$, $LLR_{3,i}$ 로서 고정값의 대수 우도비를 삽입한다.

[1030] 또, 부호화율이 2/3일 경우, 부호화기(200)는, $X_{3,i}$ 로서 “0”을 송신하고 있는 것에 상당하므로, 대수 우도비 설정부(310)는, 기지 비트 “0”에 대응하는 고정된 대수 우도비를 $X_{3,i}$ 의 대수 우도비로서 삽입하고, 삽입 후의

대수 우도비를 행렬 처리 연산부(320)를 향해 출력한다. 이하, 도 17을 이용해 설명을 한다.

[1031] 도 17에 나타내는 것처럼, 부호화율 2/3일 경우, 대수 우도비 설정부(310)는, $X_{1,i}$, $X_{2,i}$ 및 P_i 에 대응하는 수신 대수 우도비 $LLR_{X1,i}$, $LLR_{X2,i}$, LLR_{P_i} 를 입력시킨다. 그래서, 대수 우도비 설정부(310)는, $X_{3,i}$ 에 대응하는 수신 대수 우도비 $LLR_{3,i}$ 를 삽입한다. 도 17에 있어서, 점선의 동그라미로 둘러싸인 수신 대수 우도비는, 대수 우도비 설정부(310)에 의해 삽입된 수신 대수 우도비 $LLR_{3,i}$ 를 나타낸다. 대수 우도비 설정부(310)는, 수신 대수 우도비 $LLR_{3,i}$ 로서 고정값의 대수 우도비를 삽입한다.

[1032] 도 15의 행렬 처리 연산부(320)는, 기억부(321), 행처리 연산부(322) 및 열처리 연산부(323)를 구비한다.

[1033] 기억부(321)는, 수신 대수 우도비, 행처리에 의해 얻어지는 외부값 α_m , 및, 열처리에 의해 얻어지는 사전값(事前値) β_m 을 보지한다.

[1034] 행처리 연산부(322)는, 부호화기(200)가 서포트하는 부호화율 중, 최대의 부호화율 3/4의 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H의 행방향의 웨이트 패턴을 보지한다. 행 처리 연산부(322)는, 해당 행방향의 웨이트 패턴에 따라, 기억부(321)로부터 필요한 사전값 β_m 을 판독하여, 행처리 연산을 행한다.

[1035] 행처리 연산에 있어서, 행처리 연산부(322)는, 사전값 β_m 을 이용해, 단일 패리티 검사 부호의 복호를 행하고, 외부값 α_m 을 구한다.

[1036] 제m번째의 행처리에 대해 설명한다. 단, 2원 MxN 행렬 $H = \{H_{mn}\}$ 을 복호 대상으로 하는 LDPC 부호의 패리티 검사 행렬이라고 한다. $H_{mn}=1$ 을 만족시키는 모든 조(m, n)에 대해서, 다음의 갱신식을 이용해 외부값 α_m 을 갱신한다.

수학식 39

$$\alpha_m = \left(\prod_{n' \in A(m) \setminus n} \text{sign}(\beta_{mn'}) \right) \Phi \left(\sum_{n' \in A(m) \setminus n} \Phi(|\beta_{mn'}|) \right) \quad \cdots (39)$$

[1037] 여기서, $\Phi(x)$ 는, Gallager의 f함수로 불리며, 다음식으로 정의된다.

[1038]

수학식 40

$$\Phi(x) = \ln \frac{\exp(x) + 1}{\exp(x) - 1} \quad \cdots (40)$$

[1039]

[1040] 열처리 연산부(323)는, 부호화기(200)가 서포트하는 부호화율 중, 최대의 부호화율 3/4의 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬 H의 열방향의 웨이트 패턴을 보지한다. 열처리 연산부(323)는, 해당 열방향의 웨이트 패턴에 따라, 기억부(321)로부터 필요한 외부값 α_m 을 판독하여, 사전값 β_m 을 구한다.

[1041] 열처리 연산에 있어서, 열처리 연산부(323)는, 입력 대수 우도비 λ_n 와 외부값 α_m 을 이용해 반복 복호에 의해, 사전값 β_m 을 구한다.

[1042] 제m번째의 열처리에 대해 설명한다.

[1043] $H_{mn}=1$ 을 만족시키는 모든 조(m, n)에 대해서, 다음의 갱신식을 이용해 β_m 을 갱신한다. 단, q=1의 경우만, α

$\alpha_m=0$ 으로 계산한다.

수학식 41

$$\beta_{mn} = \lambda_n + \sum_{m' \in B(n)/m} \alpha_{m'n} \quad \cdots (41)$$

[1044]

[1045]

[1046]

복호화기(300)는, 상술한 행처리와 열처리를 소정의 회수만큼 반복함으로써, 사후 대수 우도비를 얻는다.

이상과 같이, 본 실시형태에서는, 대응가능한 부호화율 중, 가장 높은 부호화율을 $(q-1)/q$ 라고 하여, 부호화율 설정부(250)가, 부호화율을 $(s-1)/s$ 로 설정했을 때, 정보 생성부(210)는, 상기 정보 $X_{s,i}$ 부터 상기 정보 $X_{q-1,i}$ 까지의 정보를 제로로 설정한다. 예를 들면, 대응하는 부호화율이 1/2, 2/3, 3/4일 경우($q=4$), 제1 정보 연산부(220-1)는, 시점 i 의 정보 $X_{1,i}$ 를 입력시켜, 식(30-1)의 $X_1(D)$ 항을 산출한다. 또, 제2 정보 연산부(220-2)는, 시점 i 의 정보 $X_{2,i}$ 를 입력시켜, 식(30-2)의 $X_2(D)$ 항을 산출한다. 또, 제3 정보 연산부(220-3)는, 시점 i 의 정보 $X_{3,i}$ 를 입력시켜, 식(30-3)의 $X_3(D)$ 항을 산출한다. 또, 패리티 연산부(230)는, 시점 $i-1$ 의 패리티 P_{i-1} 을 입력시켜, 식(30-1)~식(30-3)의 $P(D)$ 항을 산출한다. 또, 가산부(240)는, 제1 정보 연산부(220-1), 제2 정보 연산부(220-2), 제3 정보 연산부(220-3)의 연산 결과 및 패리티 연산부(230)의 연산 결과의 배타적 논리합을, 시각 i 의 패리티 P_i 로서 얻도록 했다.

[1047]

이 구성에 의하면, 다른 부호화율에 대응한 LDPC-CC를 작성하는 경우에 있어서도, 본 설명에 있어서의 정보 연산부의 구성을 공통화할 수 있기때문에, 저연산 규모로, 복수의 부호화율에 대응가능한 LDPC-CC의 부호화기, 복호화기를 제공할 수 있다.

[1048]

또, $A_{X1,k}(D) \sim A_{Xq-1,k}(D)$ 가, 상술한 「양호한 특성을 가지는 LDPC-CC」에 있어서 설명한 <조건#1>~<조건#6> 등을 만족시키도록 설정했을 경우에는, 다른 부호화율에 대응 가능한 부호화기 및 복호화기를 낮은 연산 규모로 제공할 수 있음과 동시에, 수신기는, 양호한 데이터의 수신 품질을 얻을 수 있다. 단, 실시형태 2에서 설명한 것처럼, LDPC-CC의 생성 방법은, 상술한 「양호한 특성을 가지는 LDPC-CC」에 한정되는 것은 아니다.

[1049]

그리고, 도 15의 복호화기(300)는, 복호화기의 회로 공용을 가능하게 하는 부호화율 중에서, 최대 부호화율에 따른 복호화기의 구성에, 대수 우도비 설정부(310)를 추가함으로써, 복수의 부호화율에 대응하여 복호를 행할 수 있다. 또한, 대수 우도비 설정부(310)는, 부호화율에 따라, 시점 i 의 정보 $X_{r,i}$ 부터 정보 $X_{q-1,i}$ 까지의 $(q-2)$ 개의 정보에 대응하는 대수 우도비를 기정값으로 설정한다.

[1050]

또한, 이상의 설명에서는, 부호화기(200)가 서포트하는 최대의 부호화율이 3/4일 경우에 대해 설명했지만, 서포트하는 최대의 부호화율은 이것에 한하지 않고, 부호화율 $(q-1)/q$ (q 는 5이상의 정수)를 서포트하는 경우에 있어서도 적용 가능하다(당연하지만, 최대 부호화율이 2/3라도 좋다.). 이 경우에는, 부호화기(200)가, 제1~ 제 $(q-1)$ 정보 연산부를 구비하는 구성으로 하여, 가산부(240)가, 제1~ 제 $(q-1)$ 정보 연산부의 연산 결과 및 패리티 연산부(230)의 연산 결과의 배타적 논리합을, 시각 i 의 패리티 P_i 로서 얻도록 하면 좋다.

[1051]

또, 송수신 장치(부호화기/복호화기)가 서포트하는 부호화율이, 전부, 상술한 실시형태 1에서 설명한 방법에 기초한 부호인 경우, 서포트하는 부호화율 중, 가장 높은 부호화율의 부호화기/복호화기를 가짐으로써, 복수의 부호화율의 부호화, 복호화에 대응할 수 있고 이 때, 연산 규모 삭감의 효과가 매우 크다.

[1052]

또, 상술의 설명에서는, 복호 방식의 예로서 sum-product 복호를 예로 설명했지만, 복호 방법은 이것에 한하지 않으며, 비특히 문헌 5~ 비특히 문헌 7에 표시되어 있는, 예를 들면, min-sum 복호, Normalized BP(Belief Propagation) 복호, Shuffled BP복호, Offset BP복호 등의, message-passing 알고리즘을 이용한 복호 방법(BP 복호)을 이용하면 동일하게 실시할 수 있다.

[1053]

다음에, 통신 상황에 따라 적응적으로 부호화율을 전환하는 통신 장치에, 본 발명을 적용했을 경우의 형태에 대해서 설명한다. 또한, 이하에서는, 본 발명을 무선통신 장치에 적용했을 경우를 예로 설명하지만, 이것에 한하지 않고, 전동선 통신(PLC: Power Line Communication) 장치, 가시광선 통신 장치, 또는, 광통신 장치에도 적용

가능하다.

- [1054] 도 18에, 적응적으로 부호화율을 전환하는 통신 장치(400)의 구성을 나타낸다. 도 18의 통신 장치(400)의 부호화율 결정부(410)는, 통신 상대의 통신 장치로부터 송신되는 수신 신호(예를 들면, 통신 상대가 송신한 피드백 정보)가 입력되면, 수신 신호에 수신 처리 등을 행한다. 그리고, 부호화율 결정부(410)는, 통신 상대의 통신 장치와의 사이의 통신 상황 정보, 예를 들면, 비트 에러율, 패킷 에러율, 프레임 에러율, 수신 전기장 강도 등의 정보를(예를 들면, 피드백 정보로부터) 얻어, 통신 상대의 통신 장치와의 사이의 통신 상황의 정보로부터 부호화율 및 변조 방식을 결정한다. 그리고, 부호화율 결정부(410)는, 결정한 부호화율 및 변조 방식을, 제어 신호로서 부호화기(200) 및 변조부(420)를 향해 출력한다.
- [1055] 부호화율 결정부(410)는, 예를 들면, 도 19에 나타내는 등의 송신 포맷을 이용해, 제어 정보 심볼에 부호화율의 정보를 포함시킴으로써, 부호화기(200)가 이용하는 부호화율을 통신 상대의 통신 장치에 통지한다.
- [1056] 단, 도 19에서는 도시하지 않지만, 통신 상대가, 복조나 채널 추정을 위해 필요한, 예를 들면, 기지 신호(프리앰블, 파일럿 심볼, 레퍼런스 심볼 등)를 포함하고 있는 것으로 한다.
- [1057] 이와 같이 하여, 부호화율 결정부(410)는, 통신 상대의 통신 장치(500)가 송신한 변조 신호를 수신하고, 그 통신 상황에 기초하여, 송신하는 변조 신호의 부호화율을 결정함으로써, 부호화율을 적응적으로 전환한다. 부호화기(200)는, 제어 신호에 의해 지정된 부호화율에 기초하여, 상술한 절차로 LDPC-CC 부호화를 행한다. 변조부(420)는, 제어 신호에 의해 지정된 변조 방식을 이용해, 부호화 후의 계열을 변조한다.
- [1058] 도 20에, 통신 장치(400)와 통신을 행하는 통신 상대의 통신 장치의 구성예를 나타낸다. 도 20의 통신 장치(500)의 제어 정보 생성부(530)는, 베이스밴드 신호에 포함되는 제어 정보 심볼로부터 제어 정보를 추출한다. 제어 정보 심볼에는, 부호화율의 정보가 포함된다. 제어 정보 생성부(530)는, 추출한 부호화율의 정보를 제어 신호로서 대수 우도비 생성부(520) 및 복호화기(300)를 향해 출력한다.
- [1059] 수신부(510)는, 통신 장치(400)로부터 송신되는 변조 신호에 대응하는 수신 신호에 주파수 변환, 직교 복조 등의 처리를 실시함으로써 베이스밴드 신호를 얻어, 베이스밴드 신호를 대수 우도비 생성부(520)를 향해 출력한다. 또, 수신부(510)는, 베이스밴드 신호에 포함되는 기지 신호를 이용해, 통신 장치(400)와 통신 장치(500) 간의(예를 들면, 무선) 전송로에 있어서의 채널 변동을 추정하고, 추정한 채널 추정 신호를 대수 우도비 생성부(520)를 향해 출력한다.
- [1060] 또, 수신부(510)는, 베이스밴드 신호에 포함되는 기지신호를 이용해, 통신 장치(400)와 통신 장치(500) 간의(예를 들면, 무선) 전송로에 있어서의 채널 변동을 추정하고, 전파로 상황의 판단을 가능하게 하는 피드백 정보(채널 변동 그 자체, 예를 들면, Channel State Information이 그 일례)를 생성하여, 출력한다. 이 피드백 정보는, 도시하지 않는 송신 장치를 통해, 제어 정보의 일부로서 통신 상대(통신 장치(400))에 송신된다. 대수 우도비 생성부(520)는, 베이스밴드 신호를 이용해, 각 송신계열의 대수 우도비를 구하고, 얻어진 대수 우도비를 복호화기(300)를 향해 출력한다.
- [1061] 복호화기(300)는, 상술한 바와 같이, 제어 신호가 나타내는 부호화율($(s-1)/s$)에 따라, 시점 i 의 정보 $X_{s,i}$ 부터 정보 $X_{s-1,i}$ 까지의 정보에 대응하는 대수 우도비를 기정값으로 설정하고, 복호화기에 있어서 공용화를 실시한 부호화율 중, 최대의 부호화율에 따른 LDPC-CC의 패리티 검사 행렬을 이용해, BP복호한다.
- [1062] 이와 같이 하여, 본 발명을 적용한 통신 장치(400) 및 통신 상대의 통신 장치(500)의 부호화율이 통신 상황에 따라 적응적으로 변경될 수 있다.
- [1063] 또한, 부호화율의 변경 방법은 이것에 한한 것은 아니고, 통신 상대인 통신 장치(500)가 부호화율 결정부(410)를 구비하고, 희망하는 부호화율을 지정하도록 해도 좋다. 또, 통신 장치(500)가 송신한 변조 신호로부터 통신 장치(400)가 전송로의 변동을 추정하여, 부호화율을 결정해도 좋다. 이 경우, 상술한 피드백 정보는 불필요하게 된다.
- [1064] (실시형태 4)
- [1065] 실시형태 1에서는, 오류정정 능력이 높은 LDPC-CC에 대해 설명했다. 본 실시형태에서는, 오류정정 능력이 높은 시변주기 3인 LDPC-CC에 대해 보충 설명한다. 시변주기 3인 LDPC-CC의 경우, 레귤러의 LDPC 부호를 생성하면, 오류정정 능력이 높은 부호를 작성할 수 있다.

[1066] 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 재계(再掲)한다.

[1067] 부호화율 1/2의 경우 :

수학식 42

$$\begin{aligned} (D^{a1} + D^{a2} + D^{a3})X(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3})P(D) &= 0 & \cdots (42-1) \\ (D^{A1} + D^{A2} + D^{A3})X(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3})P(D) &= 0 & \cdots (42-2) \\ (D^{\alpha1} + D^{\alpha2} + D^{\alpha3})X(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3})P(D) &= 0 & \cdots (42-3) \end{aligned}$$

[1068]

[1069] 부호화율(n-1)/n의 경우 :

수학식 43

$$\begin{aligned} (D^{a1,1} + D^{a1,2} + D^{a1,3})X_1(D) + (D^{a2,1} + D^{a2,2} + D^{a2,3})X_2(D) + \cdots \\ + (D^{an-1,1} + D^{an-1,2} + D^{an-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3})P(D) &= 0 & \cdots (43-1) \\ (D^{A1,1} + D^{A1,2} + D^{A1,3})X_1(D) + (D^{A2,1} + D^{A2,2} + D^{A2,3})X_2(D) + \cdots \\ + (D^{An-1,1} + D^{An-1,2} + D^{An-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3})P(D) &= 0 & \cdots (43-2) \\ (D^{\alpha1,1} + D^{\alpha1,2} + D^{\alpha1,3})X_1(D) + (D^{\alpha2,1} + D^{\alpha2,2} + D^{\alpha2,3})X_2(D) + \cdots \\ + (D^{\alpha n-1,1} + D^{\alpha n-1,2} + D^{\alpha n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3})P(D) &= 0 & \cdots (43-3) \end{aligned}$$

[1070]

[1071] 여기서, 패리티 검사 행렬이 풀 랭크가 되고, 또 패리티 비트가 순차적으로 간단하게 구해지도록 하기위해, 이하의 조건이 성립한다고 한다.

[1072] $b3=0$, 즉, $D^{b3}=1$

[1073] $B3=0$, 즉, $D^{B3}=1$

[1074] $\beta 3=0$, 즉, $D^{\beta 3}=1$

[1075] 또, 정보와 패리티의 관계를 알기쉽게 하기 위해서는, 이하의 조건이 있으면 좋다.

[1076] $a_i, 3=0$, 즉, $D^{a_i, 3}=1$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)

[1077] $A_i, 3=0$, 즉, $D^{A_i, 3}=1$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)

[1078] $a_i, 3=0$, 즉, $D^{a_i, 3}=1$ ($i=1, 2, \dots, n-1$)

[1079] 단, $a_i, 3 \neq 0$, $A_i, 3 \neq 0$, $a_i, 3 \neq 0$ 이어도 좋다.

[1080] 이 때, 태너그래프에 있어서의 루프 6의 수를 적게함으로써, 오류정정 능력이 높은 레귤러의 LDPC 부호를 생성하기 위해서는 이하의 조건을 만족시키지않으면 안 된다.

[1081] 즉, 정보 $X_k(k=1, 2, \dots, n-1)$ 의 계수에 착목했을 경우, # X_k1 부터 # X_k14 의 어느것인가를 만족시키지않으면 안 된다.

- [1082] $\#Xk1 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 1], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1]$
- [1083] $\#Xk2 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2]$
- [1084] $\#Xk3 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 1]$
- [1085] $\#Xk4 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1]$
- [1086] $\#Xk5 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2]$
- [1087] $\#Xk6 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [2, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2]$
- [1088] $\#Xk7 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 1], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 1], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2]$
- [1089] $\#Xk8 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 1], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 1], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 1]$
- [1090] $\#Xk9 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 1], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2]$
- [1091] $\#Xk10 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [0, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [2, 2]$
- [1092] $\#Xk11 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 1], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 1]$
- [1093] $\#Xk12 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [1, 2]$
- [1094] $\#Xk13 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [2, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [1, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [0, 2]$
- [1095] $\#Xk14 : (a_{k,1}, a_{k,2}) = [2, 2], (A_{k,1}, A_{k,2}) = [2, 2], (a_{k,1}, a_{k,2}) = [2, 2]$
- [1096] 또한, 상기에 있어서, $a=b$ 일 경우, $(x, y)=[a, b]$ 는, $x=y=a(=b)$ 를 나타내고, $a \neq b$ 일 경우, $(x, y)=[a, b]$ 는, $x=a, y=b$, 또는, $x=b, y=a$ 를 나타낸다(이하 동일).
- [1097] 마찬가지로 패리티의 계수에 착목한 경우, #P1부터 #P14의 어느것인가를 만족시키지않으면 안 된다.
- [1098] $\#P1 : (b_1, b_2) = [0, 1], (B_1, B_2) = [0, 1], (\beta_1, \beta_2) = [0, 1]$
- [1099] $\#P2 : (b_1, b_2) = [0, 1], (B_1, B_2) = [0, 2], (\beta_1, \beta_2) = [1, 2]$
- [1100] $\#P3 : (b_1, b_2) = [0, 1], (B_1, B_2) = [1, 2], (\beta_1, \beta_2) = [1, 1]$
- [1101] $\#P4 : (b_1, b_2) = [0, 2], (B_1, B_2) = [1, 2], (\beta_1, \beta_2) = [0, 1]$
- [1102] $\#P5 : (b_1, b_2) = [0, 2], (B_1, B_2) = [0, 2], (\beta_1, \beta_2) = [0, 2]$
- [1103] $\#P6 : (b_1, b_2) = [0, 2], (B_1, B_2) = [2, 2], (\beta_1, \beta_2) = [1, 2]$
- [1104] $\#P7 : (b_1, b_2) = [1, 1], (B_1, B_2) = [0, 1], (\beta_1, \beta_2) = [1, 2]$
- [1105] $\#P8 : (b_1, b_2) = [1, 1], (B_1, B_2) = [1, 1], (\beta_1, \beta_2) = [1, 1]$
- [1106] $\#P9 : (b_1, b_2) = [1, 2], (B_1, B_2) = [0, 1], (\beta_1, \beta_2) = [0, 2]$
- [1107] $\#P10 : (b_1, b_2) = [1, 2], (B_1, B_2) = [0, 2], (\beta_1, \beta_2) = [2, 2]$
- [1108] $\#P11 : (b_1, b_2) = [1, 2], (B_1, B_2) = [1, 1], (\beta_1, \beta_2) = [0, 1]$
- [1109] $\#P12 : (b_1, b_2) = [1, 2], (B_1, B_2) = [1, 2], (\beta_1, \beta_2) = [1, 2]$
- [1110] $\#P13 : (b_1, b_2) = [2, 2], (B_1, B_2) = [1, 2], (\beta_1, \beta_2) = [0, 2]$
- [1111] $\#P14 : (b_1, b_2) = [2, 2], (B_1, B_2) = [2, 2], (\beta_1, \beta_2) = [2, 2]$
- [1112] 실시형태 1에서 설명한 특성이 양호한 LDPC-CC는, 상기 조건 중, #Xk12 및 #P12의 조건을 만족시키는 LDPC-CC이다. 또, 실시형태 2와 병용하면, 복수 부호화율을 대응할 때, 부호화기, 복호화기의 회로 규모를 작게 할 수 있으면서 또, 높은 오류정정 능력을 얻을 수 있다.
- [1113] 상기 #Xk1부터 #Xk14의 어느것인가 및 #P1부터 #P14의 어느것인가의 조건을 만족시키는 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 일례를 이하에 나타낸다.
- [1114] 부호화율 $R=1/2$:

수학식 44

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + B_1(D)P(D) = \dots (4\ 4 - 1)$$

$$(D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + B_2(D)P(D) = \dots (4\ 4 - 2)$$

$$(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + B_3(D)P(D) = \dots (4\ 4 - 3)$$

$$(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$$

[1115]

[1116] 부호화율 R=2/3 :

수학식 45

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + B_1(D)P(D) = \dots (4\ 5 - 1)$$

$$(D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + B_2(D)P(D) = \dots (4\ 5 - 2)$$

$$(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + B_3(D)P(D) = \dots (4\ 5 - 3)$$

$$(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$$

[1117]

[1118] 부호화율 R=3/4 :

수학식 46

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) + B_1(D)P(D) = \dots (4\ 6 - 1)$$

$$(D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) + B_2(D)P(D) = \dots (4\ 6 - 2)$$

$$(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) + B_3(D)P(D) = \dots (4\ 6 - 3)$$

$$(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$$

[1119]

[1120] 부호화율 R=4/5 :

수학식 47

$$\begin{aligned} & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,1}(D)X_4(D) + B_1(D)P(D) = \\ & (D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) \cdots (47-1) \\ & + (D^{283} + D^{68} + 1)X_4(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,2}(D)X_4(D) + B_2(D)P(D) = \\ & (D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) \cdots (47-2) \\ & + (D^{256} + D^{188} + 1)X_4(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,3}(D)X_4(D) + B_3(D)P(D) = \\ & (D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) \cdots (47-3) \\ & + (D^{287} + D^{73} + 1)X_4(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

[1121]

[1122] 또한, 상기 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식은, 실시형태 2에서 설명한 조건을 만족시키기때문에, 부호화기의 회로의 공용화, 및, 복호화기의 공용화를 꾀할 수 있다.

[1123] 그런데, 식(44-i), 식(45-i), 식(46-i), 식(47-i)에 나타낸 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 이용하는 경우(i=1, 2, 3), 필요한 터미네이션수는, 도 21에 나타내는 것처럼, 데이터(정보) X의 비트수(이하, 「정보 사이즈(Information size)」라고 함)에 따라 다름이 확인되었다. 여기서, 터미네이션수란, 상술한 Information-zero-termination을 행하여, 가상의 기지 정보 비트 「0」에 의해 생성된 패리티 비트의 수이며, 실제로 송신되는 용장 비트의 수이다. 또한, 도 21에 있어서, Real R(실효 부호화율)은, 용장 비트로 구성되는 터미네이션 계열을 고려했을 경우의 부호화율을 나타내고 있다.

[1124] 상기 #Xk1부터 #Xk14의 어느것인가 및 #P1부터 #P14의 어느것인가의 조건을 만족시키는 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식의 다른 일례를 이하에 나타낸다.

[1125] 부호화율 R=1/2 :

수학식 48

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + B_1(D)P(D) = \\ (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (48-1)$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + B_2(D)P(D) = \\ (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (48-2)$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + B_3(D)P(D) = \\ (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (48-3)$$

[1126]

[1127] 부호화율 R=2/3 :

수학식 49

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + B_1(D)P(D) = \\ (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (49-1)$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + B_2(D)P(D) = \\ (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (49-2)$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + B_3(D)P(D) = \\ (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (49-3)$$

[1128]

[1129] 부호화율 R=3/4 :

수학식 50

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) + B_1(D)P(D) = \\ (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) \\ + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (50-1)$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) + B_2(D)P(D) = \\ (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) \\ + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (50-2)$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) + B_3(D)P(D) = \\ (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) \\ + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (50-3)$$

[1130]

[1131] 부호화율 $R=4/5$:

수학식 51

$$\begin{aligned} & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,1}(D)X_4(D) + B_1(D)P(D) = \\ & (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) \cdots (51-1) \\ & + (D^{217} + D^{122} + 1)X_4(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,2}(D)X_4(D) + B_2(D)P(D) = \\ & (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) \cdots (51-2) \\ & + (D^{71} + D^{34} + 1)X_4(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,3}(D)X_4(D) + B_3(D)P(D) = \\ & (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) \cdots (51-3) \\ & + (D^{212} + D^{187} + 1)X_4(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

[1132]

[1133] 도 22는, 식(48-i), 식(49-i), 식(50-i), 식(51-i)에 나타낸 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 이용할 경우에(i=1, 2, 3), 필요한 터미네이션수의 일례를 나타낸다.

[1134] 도 23은, 식(48-i), 식(49-i), 식(50-i), 식(51-i)에 표시되는 각 부호화율에 있어서(i=1, 2, 3), 정보 사이즈 I_s 와 터미네이션수 m_t 의 관계를 나타내고 있다. 또한, 터미네이션 계열을 작성하기 위해 삽입하는 가상의 기지 정보 비트(「0」)의 수를 m_z 라고 하면, 부호화율(n-1)/n의 경우, m_t 와 m_z 의 사이에는, 이하의 관계가 성립한다.

수학식 52

$$\begin{aligned} m_z &= (n-1)m_t & (k=0) \cdots (52-1) \\ m_z &= (n-1)m_t + (n-1) - k & (k \neq 0) \cdots (52-2) \end{aligned}$$

[1135]

[1136] 또한, $k = I_s \% (n-1)$ 이다.

[1137] (실시형태 5)

[1138] 본 실시형태에서는, 실시형태 4에 있어서 설명한 양호한 특성을 가지는 LDPC-CC를 이용할 경우에, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있는 통신 장치 및 통신 방법에 대해서 설명한다.

[1139] 도 21 및 도 22로부터, Information-zero-termination시에 필요한 터미네이션수는, 정보 사이즈에 따라 다름이 확인되었다. 따라서, 정보 사이즈에 상관없이 터미네이션수를 일률로 고정시키고, 또, 오류정정 능력을 열화시키지 않기 위해서는, 터미네이션수를 큰 수로 설정할 필요가 생겨, Real R(실효 부호화율)이 저하하여, 정보의

전송 효율이 저하하는 경우가 있다.

- [1140] 그래서, 본 실시형태에서는, 정보 사이즈에 따라, 용장비트로서 송신되는 터미네이션수를 변경하는 통신장치 및 통신방법에 대해서 설명한다. 이에 의해, 오류정정 능력을 열화 시키지않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있다.
- [1141] 도 24는, 본 실시형태에 따른 통신 장치(600)의 주요부 구성을 나타내는 블록도이다.
- [1142] 부호화율 설정부(610)는, 자장치에 의해 설정되는 부호화율의 정보를 포함하는 제어 정보 신호, 또는, 통신 상대의 통신 장치로부터 송신되는 피드백 신호를 입력시킨다. 제어 정보 신호가 입력되는 경우, 부호화율 설정부(610)는, 제어 정보 신호에 포함되는 부호화율 정보로부터, 부호화율을 설정한다.
- [1143] 또, 부호화율 설정부(610)는, 피드백 신호가 입력되는 경우에는, 피드백 신호에 포함되는 통신 상대의 통신 장치와의 사이의 통신 상황 정보, 예를 들면, 비트 에러율, 패킷 에러율, 프레임 에러율, 수신전계 강도등 통신 품질을 추정할 수 있는 정보를 취득하여, 통신 상대의 통신 장치와의 사이의 통신 상황 정보로부터 부호화율을 설정한다. 부호화율 설정부(610)는, 설정한 부호화율 정보를 설정 부호화율 신호에 포함시켜, 설정 부호화율 신호를 부호화기(630)내의 터미네이션 계열길이 결정부(631) 및 패리티 연산부(632)를 향해 출력한다. 또, 부호화율 설정부(610)는, 설정한 부호화율 정보를, 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)을 향해 출력한다.
- [1144] 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)는, 송신 데이터(정보)를 생성 또는 취득하여, 송신 데이터(정보)로부터 구성되는 정보 계열을 패리티 연산부(632)를 향해 출력한다. 또, 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)는, 송신 데이터(정보)의 계열길이(이하 「정보길이」라고 함), 즉, 정보 사이즈를 검출하고, 검출한 정보 사이즈의 정보를 정보길이 신호에 포함시켜, 정보길이 신호를 터미네이션 계열길이 결정부(631)를 향해 출력한다. 또, 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)는, 터미네이션 계열길이 결정부(631)로부터 통지되는 터미네이션 계열길이분의 용장비트를 생성하기 위해 필요한 기지 정보 비트(예를 들면, 「0」)로 구성되는 기지 정보 계열을, 정보 계열의 최후미에 부가한다.
- [1145] 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 정보길이 신호가 나타내는 정보 사이즈 및 설정 부호화율 신호가 나타내는 부호화율에 따라, 터미네이션 계열길이(터미네이션수)를 결정한다. 터미네이션 계열길이의 구체적인 결정 방법에 대해서는, 후술한다. 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 결정한 터미네이션 계열길이를 터미네이션 계열길이 신호에 포함시켜, 터미네이션 계열길이 신호를 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)와 패리티 연산부(632)를 향해 출력한다.
- [1146] 패리티 연산부(632)는, 정보 계열 및 기지 정보 계열에 대한 패리티를 계산하고, 얻어진 패리티를 변조부(640)를 향해 출력한다.
- [1147] 변조부(640)는, 정보 계열 및 패리티(터미네이션 계열을 포함함)에 변조 처리를 실시한다.
- [1148] 도 24에 있어서, 「정보길이(Information Length) 신호」라고 기술하고 있지만, 이것에 한하는 것은 아니고, 터미네이션 계열길이를 제어하기 위한 지표가 되는 정보이면, 어떠한 신호도 좋다. 예를 들면, 터미네이션을 제외한 정보의 수와 패리티의 수의 합(합)의 정보(Length 정보), 정보수와 변조 방식 정보로부터, 송신 신호의 프레임 길이를 구하고, 그 프레임 길이를 정보길이 신호의 대신으로 해도 좋다.
- [1149] 다음에, 터미네이션 계열길이 결정부(631)에 있어서의 터미네이션 계열길이 결정 방법에 대해, 도 25를 이용해 설명한다. 도 25는, 터미네이션 계열길이를 정보 사이즈 및 각 부호화율에 기초하여, 2 단계로 전환하는 경우의 예를 나타내고 있다. 또한, 도 25는, 통신 장치(600)에 있어서, 정보 사이즈의 최소 사이즈가 512비트로 설정되어 있는 것을 전제로 하고 있다. 단, 최소 사이즈는 반드시 정해져 있지 않아도 좋다.
- [1150] 도 25에 있어서, α 는, 송신하지않으면 안되는 송신 데이터(정보)의 정보길이이다. 예를 들면, 부호화율이 1/2인 경우, $512 \leq \alpha \leq 1023$ 에서는, 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 터미네이션 계열길이를 380비트로 설정하고, $1024 \leq \alpha$ 에서는, 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 터미네이션 계열길이를 340비트로 설정한다. 이렇게 하여, 터미네이션 계열길이 결정부(631)가, 송신 데이터(정보)의 정보길이 α 에 기초하여, 터미네이션 계열길이를 설정함으로써, 터미네이션 계열길이는, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 방지할 수 있는 계열길이가 설정되게 된다.
- [1151] 상기 설명에서는, 각 부호화율에 있어서, 터미네이션 계열길이를 2단계로 전환하는 경우를 예로 설명했지만, 이것에 한하는 것은 아니고, 예를 들면, 도 26에 나타내는 것처럼 3단계, 또는, 그 이상의 단계로 터미네이션 계열길이를 전환하도록 해도 좋다. 이와 같이 하여, 정보길이(정보 사이즈)에 기초하여 터미네이션 계열길이(터

미네이션수)를 복수단(複數段)으로 전환함으로써, 터미네이션 계열길이를, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전달 효율 저하를 막을 수 있는 적절한 계열길이를 설정할 수 있게 된다.

- [1152] 통신 장치(600)는, 예를 들면, 도 27에 나타내는 등의 송신 포맷을 이용하여, 부호화율에 관련된 심볼에 부호화율의 정보를 포함시킴으로써, 부호화기(630)가 이용하는 부호화율을 통신 상대의 통신 장치에 통지한다.
- [1153] 또, 통신 장치(600)는, 정보 사이즈에 관련된 심볼에 정보길이(정보 사이즈)의 정보를 포함시킴으로써, 정보길이(정보 사이즈)의 정보를 통신 상대의 통신 장치에 통지한다. 또, 통신 장치(600)는, 변조 방식, 송신 방법, 또는 통신 상대를 식별하기 위한 정보를 제어 정보 심볼에 포함시켜 통신 상대의 통신 장치에 통지한다. 또, 통신 장치(600)는, 정보 계열 및 패리티를, 데이터 심볼에 포함시켜 통신 상대의 통신 장치에 통지한다.
- [1154] 도 28에, 통신 장치(600)와 통신을 행하는 통신 상대의 통신 장치(700)의 구성예를 나타낸다. 또한, 도 28의 통신 장치(700)에 있어서, 도 20과 공통되는 구성 부분에는, 도 20과 동일한 부호를 붙이며 설명을 생략한다. 도 28의 통신 장치(700)는, 도 20의 통신 장치(500)에 대해서, 제어 정보 생성부(530) 및 복호화기(300) 대신에, 제어 정보 생성부(710) 및 복호화기(720)를 구비한다.
- [1155] 제어 정보 생성부(710)는, 베이스밴드 신호를 복조(및 복호)함으로써 얻어지는 부호화율에 관련된 심볼로부터 부호화율의 정보를 추출한다. 또, 제어 정보 생성부(710)는, 베이스밴드 신호를 복조(및 복호)함으로써 얻어지는 정보 사이즈에 관련된 심볼로부터 정보길이(정보 사이즈)의 정보를 추출한다. 또, 제어 정보 생성부(710)는, 제어 정보 심볼로부터 변조 방식, 송신 방법, 또는 통신 상대를 식별하기 위한 정보를 추출한다. 제어 정보 생성부(710)는, 추출한 부호화율 정보 및 정보길이(정보 사이즈) 정보를 포함한 제어 신호를 대수우도비 생성부(520) 및 복호화기(720)를 향해 출력한다.
- [1156] 복호화기(720)는, 도 25 또는 도 26에 나타낸 등의 각 부호화율에 있어서의 정보 사이즈와 터미네이션 계열길이와의 관계 테이블을 보지(保持)하고 있으며, 이 테이블과, 부호화율 정보, 및, 정보길이(정보 사이즈)의 정보로부터, 데이터 심볼에 포함되는 터미네이션 계열길이를 판정한다. 복호화기(720)는, 부호화율 및 판정한 터미네이션 계열길이에 기초하여, BP복호를 행한다. 이것에 의해, 통신 장치(700)는, 오류정정 능력이 높은 복호를 행할 수 있다.
- [1157] 도 29 및 도 30은, 통신 장치(600)와 통신 장치(700) 사이의 정보의 흐름의 일례를 나타내는 도면이다. 도 29와 도 30은, 부호화율을 통신 장치(600) 또는 통신 장치(700)의 어디에서 설정하는지가 다르다. 구체적으로는, 도 29는, 통신 장치(600)가 부호화율을 결정하는 경우의 정보의 흐름을 나타내고, 도 30은, 통신 장치(700)가 부호화율을 결정하는 경우의 정보의 흐름을 나타내고 있다.
- [1158] 이상과 같이, 본 실시형태에서는, 터미네이션 계열길이 결정부(631)는, 정보길이(정보 사이즈) 및 부호화율에 따라, 정보 계열의 후미에 부가해서 송신되는 터미네이션 계열의 계열길이를 결정하고, 패리티 연산부(632)는, 정보 계열, 및, 결정된 터미네이션 계열길이분의 터미네이션 계열을 생성하기 위해 필요한 기지정보 계열에 대해서 LDPC-CC 부호화를 실시하고, 패리티 계열을 계산하도록 했다. 이에 의해, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있다.
- [1159] (실시형태 6)
- [1160] 실시형태 5에서는, 정보길이(정보 사이즈) 및 부호화율에 따라, 정보 계열의 후미에 부가하는 터미네이션 계열길이를 결정(변경)하는 경우에 대해서 설명했다. 이것에 의해, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율의 저하를 회피할 수 있다.
- [1161] 본 실시형태에서는, 실시형태 5와 같이, 정보길이(정보 사이즈)에 따라 터미네이션 계열길이를 변경하는 경우에, 사용가능한 부호화율에 제한을 마련하는 경우에 대해서 설명한다. 이것에 의해, 오류정정 능력의 열화를 회피할 수 있다.
- [1162] 도 31은, 도 21과 마찬가지로, 식(44-i), 식(45-i), 식(46-i), 식(47-i)에 나타낸 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식을 이용하는 경우($i=1, 2, 3$)에 필요한 터미네이션수와 부호화율의 관계를 나타내고 있다. 도 31로부터 알 수 있는 것처럼, 정보 사이즈가 512비트, 1024비트, 2048비트에 있어서, 부호화율 3/4의 실험 부호화율(Real R)과, 부호화율 4/5의 실험 부호화율을 비교하면, 양자간에는 큰 차이가 없다. 예를 들면, 정보 사이즈가 1024비트일 경우, 부호화율 3/4에서는, 실험 부호화율이 0.5735인데 비해, 부호화율 4/5에서는, 실험 부호화율이 0.5626이며, 차이는 불과에 0.01 정도이다. 또, 부호화율 4/5의 실험 부호화율에 비해, 부호화율 3/4의 실험

부호화율이 크게되어, 실효 부호화율의 크기가 역전하고 있다. 따라서, 정보 사이즈에 따라서는, 부호화율 3/4를 이용해도, 높은 오류정정 능력을 얻고, 및, 전송 효율의 향상에 적합하지 않는 경우가 존재한다.

- [1163] 도 32a, 도 32b, 도 32c 및 도 32d는, 정보 사이즈가 512비트, 1024비트, 2048비트, 4096비트인 정보 계열에, 도 31에 나타난 계열길이의 터미네이션 계열을 부가했을 경우의 비트 오류율(Bit Error Rate : BER)/블록 오류율(Block Error Rate : BLER) 특성을 나타낸다. 도 32a, 도 32b, 도 32c 및 도 32d에 있어서, 가로축은 SNR(Signal-to-Noise power ratio) [dB] 를 나타내고, 세로축은 BER/BLER 특성을 나타내고, 실선은 비트 오류율 특성, 파선은 블록 오류율 특성을 나타내고 있다. 또, 도 32a, 도 32b, 도 32c 및 도 32d에 있어서, TMN은, 터미네이션수(Termination number)를 나타낸다.
- [1164] 도 32a, 도 32b, 도 32c 및 도 32d로부터 알 수 있는 것처럼, 터미네이션 계열을 고려했을 경우, 부호화율 $R=3/4$ 의 BER/BLER 특성은, 정보 사이즈가 어느 경우에도, 부호화율 $R=4/5$ 의 BER/BLER 특성보다 우수하다는 것을 알 수 있다.
- [1165] 이 2가지 점에서, 오류정정 능력의 향상과 정보의 전송 효율의 향상의 양립을 실현하기 위해서는, 예를 들면, 정보 사이즈가 4096비트 미만에서는, 부호화율 $R=4/5$ 를 서포트하지 않는, 즉 정보 사이즈가 4096비트 미만에서는, 부호화율 $R=1/2$, $2/3$, $3/4$ 만을 서포트하고, 정보 사이즈가 4096비트 이상에서는, 부호화율 $R=1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ 를 서포트하도록 함으로써, 정보 사이즈가 4096비트 미만에서는, 부호화율 $R=3/4$ 보다 전송 효율이 나쁜 부호화율 $R=4/5$ 가 사용되지 않게 되기때문에, 오류정정 능력의 향상과 정보의 전송 효율의 향상의 양립을 꾀할 수 있다.
- [1166] 또, 도 32a, 도 32b, 도 32c 및 도 32d로부터, 정보 사이즈가 512비트의 BER/BLER 특성(도 32a참조)은, 다른 정보 사이즈의 BER/BLER 특성보다 특히 우수함을 알 수 있다. 예를 들면, 정보 사이즈가 512비트인 경우에 부호화율 $2/3$ 의 BER 특성은, 정보 사이즈가 1024비트인 경우에 부호화율 $1/2$ 의 BER/BLER 특성과 거의 동등한 특성을 가지며, 정보 사이즈가 512비트인 경우에 부호화율 $1/2$ 의 BER/BLER 특성까지는 실제로는 불필요한 경우가 있다. 부호화율이 낮을수록, 전파효율은 저하하므로, 이러한 점을 고려해서, 예를 들면, 정보 사이즈가 512비트인 경우에는, 부호화율 $1/2$ 을 서포트하지 않는다고 하는 방법을 취할 수도 있다.
- [1167] 도 33은, 정보 사이즈와 서포트 부호화율의 대응표이다. 도 33에 나타난 것처럼, 정보 사이즈에 따라, 서포트되지 않는 부호화율이 존재한다. 정보 사이즈에 상관없이, 서포트되는 부호화율이 일정하면, 도 29, 도 30의 어느 경우에도, 통신 장치(600)와 통신 장치(700)는 통신할 수 있다. 그러나, 도 33에 나타난 것처럼, 본 실시형태에서는, 정보 사이즈에 의해, 서포트되지 않는 부호화율이 존재하기때문에, 지정된 부호화율을 조정할 필요가 있다. 이하에서는, 본 실시형태에 따른 통신 장치에 대해서 설명한다.
- [1168] 도 34는, 본 실시형태에 따른 통신 장치(600A)의 주요부 구성을 나타내는 블록도이다. 또한, 도 34의 통신 장치(600A) 있어서, 도 24와 공통되는 구성 부분에는, 도 24와 동일한 부호를 붙이며 설명을 생략한다. 도 34의 통신 장치(600A)는, 도 24의 부호화기(630)에 대신하여, 부호화기(630A)를 구비한다. 부호화기(630A)는, 부호화기(630)에 비해서, 부호화율 조정부(633)를 추가한 구성을 취한다.
- [1169] 부호화율 조정부(633)는, 송신 정보 생성 및 정보길이 검출부(620)로부터 입력되는 정보길이 신호에 포함되는 정보길이(정보 사이즈)에 기초하여, 부호화율 설정부(610)로부터 입력되는 설정 부호화율 신호에 포함되는 부호화율을 조정한다. 구체적으로는, 부호화율 조정부(633)는, 도 33에 나타난 등의 정보 사이즈와 서포트 부호화율의 대응표를 보지(保持)하고, 제어 정보 신호 또는 피드백 신호에 기초하여 설정된 부호화율을 대응표와 대조하여, 부호화율을 조정한다. 예를 들면, 정보길이(정보 사이즈)가 1024비트 있고, 설정 부호화율 신호가 부호화율 $4/5$ 를 나타낼 경우, 대응표로부터, 부호화율 $4/5$ 는 서포트되지 않기 때문에, 부호화율 조정부(633)는, 부호화율 $4/5$ 보다 작은 부호화율 중, 값이 가장 큰 $3/4$ 을 부호화율로 설정한다. 도 31에 나타난 것처럼, 정보길이(정보 사이즈)가 1024비트인 경우에는, 부호화율 $4/5$ 인 경우의 Real R은, 0.5626이 되어, 부호화율 $3/4$ 의 Real R(0.5735)보다 작게 되고, 또, 도 32b가 나타내는 것처럼, BER/BLER 특성도 부호화율 $3/4$ 쪽이 양호하다. 따라서, 정보길이(정보 사이즈)가 1024인 경우에는, 부호화율 $4/5$ 를 이용하지 않고, 부호화율 $3/4$ 을 이용하도록 함으로써, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율이 저하하지 않도록 할 수 있다.
- [1170] 다시말하면, 제1 부호화율($3/4$) < 제2 부호화율($4/5$)일 경우에, 제1 부호화율($3/4$)에 대응하는 제1 실효 부호화율(0.5735)이, 제2 부호화율($4/5$)에 대응하는 제2 실효 부호화율(0.5626)과 동일 정도일 경우에, 제2 부호화율이 지정되었을 경우, 부호화율 조정부(633)는, 부호화율을 제1 부호화율로 조정하도록 한다. 이에 의해, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율이 저하하지 않도록 할 수 있다.

- [1171] 또, 예를 들면, 정보길이(정보 사이즈)가 512비트이고, 설정 부호화율 신호가 부호화율 1/2을 나타낼 경우, 대응표로부터, 부호화율 1/2은 서포트되지 않기 때문에, 부호화율 조정부(633)는, 부호화율 1/2보다 큰 부호화율 중, 값이 가장 작은 2/3를 부호화율로 설정한다. 도 32a에 나타난 것처럼, 부호화율 1/2의 BER/BLER 특성은 극히 양호하므로, 부호화율을 2/3로 해도, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율이 저하하지 않도록 할 수 있다.
- [1172] 다시말하면, 극히 BER/BLER 특성이 양호한 제1 부호화율이 지정되었을 경우, 부호화율 조정부(633)는, 제1 부호화율보다 큰 부호화율이며, 소정의 회선 품질을 확보할 수 있는 제2 부호화율로, 부호화율을 조정하도록 한다.
- [1173] 이와 같이, 본 실시형태에서는, 정보길이(정보 사이즈)에 기초하여, 통신 장치(600A)가 서포트하는 부호화율의 수를 변경하도록 했다. 예를 들면, 도 33에 나타내는 예에서는, 정보길이(정보 사이즈)가 512비트 미만이면, 통신 장치(600A)는, 2개의 부호화율만을 서포트하고, 정보길이(정보 사이즈)가 512비트 이상 4096비트 미만이면, 3개의 부호화율을 서포트하고, 정보길이(정보 사이즈)가 4096이상이면, 4개의 부호화율을 서포트하도록 했다. 서포트하는 부호화율을 변경함으로써, 오류정정 능력의 향상과 정보의 전송 효율의 향상의 양립을 꾀할 수 있다.
- [1174] 이상과 같이, 본 실시형태에 의하면, 부호화율 조정부(633)는, 정보길이(정보 사이즈)에 따라, 통신 장치(600A)가 서포트하는 부호화율의 수를 변경하여, 부호화율을, 서포트하는 부호화율의 어느것인가로 조정하도록 했다. 이에 의해, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율이 저하하지 않도록 할 수 있다.
- [1175] 또, 통신 장치(600A)는, 실효 부호화율이 동일 정도의 부호화율 중, 값이 작은 부호화율을 서포트하도록 한다. 또, 통신 장치(600A)는, BER/BLER 특성이 극히 양호한 부호화율을 서포트하는 부호화율에 포함시키지않고, 소정의 회선 품질을 확보할 수 있는 부호화율만을 서포트하도록 한다. 이것에 의해, 소정의 회선 품질을 확보하면서, 전송 효율의 저하를 회피할 수 있다.
- [1176] 이상과 같이, 정보길이(정보 사이즈)에 따라, 서포트하는 부호화율의 수를 변경함으로써, 오류정정 능력의 향상과 정보의 전송 효율의 향상의 양립을 꾀할 수 있다.
- [1177] 정보길이(정보 사이즈)에 따라, 서포트하는 부호화율의 수를 변경하는 경우, 도 29에 나타난 것처럼, 통신 장치(600A)가, 부호화율을 조정하여, 터미네이션 계열길이를 설정하고, 이 부호화율의 정보와 정보길이(정보 사이즈)의 정보(또는, 터미네이션 계열길이의 정보)를 동시에 통신 상대의 통신 장치(700)에 송신하면, 통신 장치(700)는 정상적으로 복호할 수 있다.
- [1178] 당연하지만, 본 실시형태를 실시형태 5와 병용해도 좋다. 즉, 부호화율 및 정보 사이즈(Information size)에 따라 터미네이션수를 변경해도 좋다.
- [1179] 한편, 도 30에 나타난 것처럼, 통신 장치(600A)가 정보길이(정보 사이즈)를 결정하기 전에, 통신 장치(600)의 통신 상대의 통신 장치가 부호화율을 설정하는 경우, 또는, 도 35에 나타내는 것처럼, 통신 장치(600A)가 정보길이(정보 사이즈)를 결정하기 전에, 통신 장치(600A)가 부호화율을 설정하는 경우, 통신 장치(600A)의 통신 상대의 통신 장치는, 정보길이(정보 사이즈)에 기초하여 부호화율을 조정할 필요가 있다. 도 36은, 이 경우의 통신 장치(700A)의 구성을 나타내는 블록도이다.
- [1180] 도 36의 통신 장치(700A)에 있어서, 도 28과 공통되는 구성 부분에는, 도 28과 동일한 부호를 붙이며 설명을 생략한다. 도 36의 통신 장치(700A)는, 도 28의 통신 장치(700)에 비해서, 부호화율 조정부(730)를 추가한 구성을 취한다.
- [1181] 이하에서는, 통신 장치(600A)가, 정보길이(정보 사이즈)가 4096비트 미만에서는, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4을 서포트하고, 정보길이(정보 사이즈)가 4097비트에서는, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 4/5를 서포트하는 경우에 대해서 설명한다.
- [1182] 이 때, 정보길이(정보 사이즈)가 결정되기 전에, 송신하는 정보 계열의 부호화율이 4/5로 결정되어, 통신 장치(600A)와 통신 장치(700A)가 이 부호화율의 정보를 공유하고 있는 것으로 한다. 정보길이(정보 사이즈)가 512비트일 경우, 상술한 것처럼, 통신 장치(600A)의 부호화율 조정부(633)는, 부호화율을 3/4으로 조정한다. 이 규칙을 미리 통신 장치(600A)와 통신 장치(700A) 사이에 결정해 두면, 통신 장치(600A)와 통신 장치(700A)는 정상적으로 통신을 행할 수 있다.
- [1183] 구체적으로는, 부호화율 조정부(730)는, 부호화율 조정부(633)와 마찬가지로, 부호화율의 정보 및 정보길이(정보 사이즈)의 정보가 포함되는 제어 신호가 입력하면, 정보길이(정보 사이즈)에 기초하여, 부호화율을

조정한다. 예를 들면, 부호화율 조정부(730)는, 정보길이(정보 사이즈)가 512비트이고, 부호화율이 4/5일 경우, 부호화율 조정부(730)는, 부호화율을 3/4으로 조정한다. 이에 의해, 오류정정 능력을 열화시키지 않으면서 또, 정보의 전송 효율이 저하하지 않도록 할 수가 있다.

[1184] 또한, 다른 부호화율 조정 방법으로서 부호화율에 관계없이 터미네이션수를 일정하게 하는 방법도 생각할 수 있다. 도 21의 예에서는, 정보길이(정보 사이즈)가 6144이상일 경우에는, 터미네이션수가 340비트로 일률적이다. 따라서, 정보길이(정보 사이즈)가 6144비트 이상일 경우에는, 부호화율 조정부(633) 및 부호화율 조정부(730)는, 부호화율에 상관없이, 터미네이션수를 일정하게 하도록 해도 좋다. 또, 정보길이(정보 사이즈)가 6144 미만일 경우에는, 부호화율 조정부(633) 및 부호화율 조정부(730)는, 예를 들면, 터미네이션수 340비트가 적합한 다른 패리티 검사 다항식을 이용해서, 각 부호화율에 대응하도록 해도 좋다. 또, 완전히 다른 부호를 이용해도 좋다. 예를 들면, 블록 부호를 이용해도 좋다.

[1185] (실시형태 7)

[1186] 상기 각 실시형태에서는, 부호화기·복호화기에 있어서, 부호화율 1/2이상의 복수의 부호화율에 대응하는 회로를 공통화할 수 있는 LDPC-CC에 대해서 설명했다. 구체적으로는, 회로를 공통화할 수 있는, 부호화율 $(n-1)/n$ ($n=2, 3, 4, 5$)에 대응가능한 LDPC-CC에 대해 설명했다.

[1187] 본 실시형태에서는, 부호화율 1/3에 대한 대응방법에 대해서 설명한다.

[1188] 도 37은, 본 실시형태에 따른 부호화기의 구성의 일례를 나타내는 블록도이다. 도 37의 부호화기(800)에 있어서, 부호화율 설정부(810)는, 부호화율을 제어부(820), 패리티 연산부(830) 및 패리티 연산부(840)를 향해 출력한다.

[1189] 제어부(820)는, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 4/5를 지정했을 경우, 패리티 연산부(840)에 정보가 입력되지 않도록 제어한다. 또, 제어부(820)는, 부호화율 1/3이 설정되었을 때, 패리티 연산부(830)에 입력되는 정보와 동일한 정보가 패리티 연산부(840)에 입력되도록 제어한다.

[1190] 패리티 연산부(830)는, 예를 들면, 식 $(44-i)$, 식 $(45-i)$, 식 $(46-i)$, 식 $(47-i)$ 로 정의되는($i=1, 2, 3$), 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 4/5의 패리티를 구하는 부호화기이다.

[1191] 그리고, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 4/5를 지정했을 경우, 패리티 연산부(830)는, 대응하는 패리티 검사 다항식에 기초하는 부호화를 행하고, 패리티를 출력한다.

[1192] 그리고, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 1/3을 지정했을 경우, 패리티 연산부(830)는, 부호화율 1/2(식 $(44-1)$, 식 $(44-2)$, 식 $(44-3)$ 으로 정의됨), 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식에 기초하는 부호화를 행하고, 패리티 P를 출력한다.

[1193] 패리티 연산부(840)는, 부호화율 1/2의 패리티를 구하는 부호화기이다. 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 1/2, 2/3, 3/4, 4/5를 지정했을 경우에는, 패리티 연산부(840)는, 패리티를 출력하지 않는다.

[1194] 그리고, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 1/3을 지정했을 경우, 패리티 연산부(840)는, 패리티 연산부(830)에 입력되는 정보와 동일한 정보가 입력하면, 부호화율 1/2, 시변주기 3인 LDPC-CC의 패리티 검사 다항식에 기초하는 부호화를 행하여, 패리티 Pa를 출력한다.

[1195] 이와 같이 하여, 부호화기(800)는, 정보, 패리티 P, 패리티 Pa를 출력하게 되므로, 부호화기(800)는, 부호화율 1/3을 서포트할 수 있게 된다.

[1196] 도 38은, 본 실시형태에 따른 복호화기의 구성의 일례를 나타내는 블록도이다. 도 38의 복호화기(900)는, 도 37의 부호화기(800)에 대응하는 복호화기이다.

[1197] 제어부(910)는, 부호화율을 나타내는 부호화율 정보 및 대수우도비가 입력되면, 부호화율이 1/2, 2/3, 3/4, 4/5인 경우, BP복호부(930)에 대수우도비가 입력되지 않도록 제어한다. 또, 제어부(910)는, 부호화율이 1/3인 경우, BP복호부(920)에 입력되는 대수우도비와 동일한 대수우도비가 BP복호부(930)에 입력되도록 제어한다.

[1198] BP복호부(920)는, 전부의 부호화율에서 동작한다. 구체적으로는, BP복호부(920)는, 부호화율이 1/3인 경우, 패리티 연산부(830)에서 이용된 부호화율 1/2의 패리티 검사 다항식을 이용해, BP복호를 행한다. 또, 부호화율이 1/3인 경우, BP복호부(920)는, BP복호를 행함으로써 얻어진 각 비트에 대응하는 대수우도비를 BP복호부(930)를

향해 출력한다. 한편, 부호화율이 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ 인 경우, BP복호부(920)는, 패리티 연산부(830)에서 이용된 부호화율 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ 의 패리티 검사 다항식을 이용해, BP복호를 행한다. BP복호부(920)는, 소정의 회수만큼 반복 복호를 행한 후, 얻어진 대수우도비를 출력한다.

[1199] BP복호부(930)는, 부호화율이 $1/3$ 일 때에만 동작한다. 구체적으로는, BP복호부(930)는, 패리티 연산부(840)에서 이용된 부호화율 $1/2$ 의 패리티 검사 다항식을 이용해, BP복호를 행하고, BP복호를 행함으로써 얻어진 각 비트에 대응하는 대수우도비를 BP복호부(920)를 향해 출력하고, 소정의 회수만큼 반복 복호를 행한 후, 얻어진 대수우도비를 출력한다.

[1200] 이와 같이 하여, 복호화기(900)는, 대수우도비를 교환하면서 반복 복호하여, 터보 복호 같은 복호를 행하여, 부호화율 $1/3$ 의 복호를 행한다.

[1201] (실시형태 8)

[1202] 실시형태 2에서는, 복수의 부호화율 $(r-1)/r$ (r 은 2이상 q 이하의 정수)에 대응가능한 시변주기 g (g 는 자연수)인 LDPC-CC를 작성하는 부호화기에 대해 설명했다. 본 실시형태에서는, 복수의 부호화율 $(r-1)/r$ (r 은 2이상 q 이하의 정수)에 대응가능한 시변주기 g (g 는 자연수)인 LDPC-CC를 작성하는 다른 부호화기의 구성예를 나타낸다.

[1203] 도 39는, 본 실시형태에 따른 부호화기의 구성예이다. 또한, 도 39의 부호화기에 있어서, 도 37과 공통된 구성 부분에는, 도 37과 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략한다.

[1204] 도 37의 부호화기(800)는, 패리티 연산부(830)가, 부호화율 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ 의 패리티를 구하는 부호화기이고, 패리티 연산부(840)는, 부호화율 $1/2$ 의 패리티를 구하는 부호화기임에 비해, 도 39의 부호화기(800A)는, 패리티 연산부(830A) 및 패리티 연산부(840A)가 공히, 예를 들면, 부호화율 $2/3$, 시변주기 3인 LDPC-CC의 부호화를 행하면서 또, 패리티 연산부(830A)와 패리티 연산부(840A)는, 다른 패리티 검사 다항식으로 정의되는 부호이다 라고 하는 점이다.

[1205] 제어부(820A)는, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 $2/3$ 를 지정했을 경우, 패리티 연산부(840A)에 정보가 입력되지 않도록 제어한다. 또, 제어부(820A)는, 부호화율 $1/2$ 이 설정되었을 때, 패리티 연산부(830A)에 입력되는 정보와 동일한 정보가 패리티 연산부(840A)에 입력되도록 제어한다.

[1206] 패리티 연산부(830A)는, 예를 들면, 식 $(45-1)$, 식 $(45-2)$, 식 $(45-3)$ 으로 정의되는 부호화율 $2/3$ 의 패리티를 구하는 부호화기이다. 그리고, 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 $1/2$ 및 $2/3$ 를 지정했을 경우, 패리티 연산부(830A)는 패리티 P를 출력한다.

[1207] 패리티 연산부(840A)는, 패리티 연산부(830A)와 다른 패리티 검사 다항식으로 정의되는 부호화율 $2/3$ 의 패리티를 구하는 부호화기이다. 부호화율 설정부(810)가, 부호화율 $1/2$ 를 지정했을 경우에만, 패리티 연산부(840A)는 패리티 Pa를 출력한다.

[1208] 이것에 의해, 부호화율 $1/2$ 가 지정되었을 경우, 부호화기(800A)는, 정보 2비트에 대해서, 패리티 P, 패리티 Pa를 출력하므로, 부호화기(800A)는, 부호화율 $1/2$ 을 실현할 수 있다.

[1209] 또한, 당연하지만, 도 39에 있어서, 패리티 연산부(830A) 및 패리티 연산부(840A)의 부호화율은, $2/3$ 에 한하지 않고, 부호화율 $3/4$, $4/5$, \dots 라도 좋고, 패리티 연산부(830A) 및 패리티 연산부(840A)의 부호화율이 모두 동일하면 좋다.

[1210] 이상, 본 발명의 실시형태에 대해서 설명했다. 또한, 실시형태 1부터 실시형태 4까지에서 설명한 LDPC-CC에 관한 발명과, 실시형태 5 이하에서 설명한 정보 사이즈와 터미네이션 사이즈의 관계에 관한 발명은, 각각 독립적으로 성립한다.

[1211] 또, 본 발명은 상기 전부의 실시형태로 한정되지 않고, 여러 가지로 변경해서 실시하는 것이 가능하다. 예를 들면, 상기 실시형태에서는, 주로, 부호화기 및 복호화기로 실현되는 경우에 대해서 설명하고 있지만, 이것에 한하는 것은 아니고, 진동선 통신 장치로 실현되는 경우에 있어서도 적용 가능하다.

[1212] 또, 이 부호화 방법 및 복호화 방법을 소프트웨어로서 행하는 것도 가능하다. 예를 들면, 상기 부호화 방법 및 통신 방법을 실행하는 프로그램을 미리 ROM(Read Only Memory)에 저장해 두고, 그 프로그램을 CPU(Central Processor Unit)를 이용해 동작시키도록 해도 좋다.

- [1213] 또, 상기 부호화 방법 및 복호화 방법을 실행하는 프로그램을 컴퓨터로 판독가능한 기억 매체에 저장하고, 기억 매체에 저장된 프로그램을 컴퓨터의 RAM(Random Access Memory)에 기록하고, 컴퓨터를 그 프로그램에 따라 동작 시키도록 해도 좋다.
- [1214] 또, 본 발명은, 무선통신에 한하지 않고, 전등선 통신(PLC : Power Line Communication), 가시광선 통신, 광통신에 있어서도 유용한 것은 말할 필요도 없다.
- [1215] 2009년 3월 2일에 출원한 특허출원 2009-048535에 포함되는 명세서, 도면 및 요약서의 개시 내용은, 모두 본원에 원용된다.
- [1216] (산업상이용가능성)
- [1217] 본 발명에 따른 부호화기, 복호화기 및 부호화 방법은, LDPC-CC를 이용한 부호화기 및 복호화기에 있어서, 터미네이션을 행하는 경우에 있어서도, 오류정정 능력을 열화시키지않으면서 또, 정보의 전송효율 저하를 회피할 수 있다.

부호의 설명

- [1218] 100 : LDPC-CC 부호화기
- 110 : 데이터 연산부
- 120, 230, 632, 830, 830A, 840, 840A : 패리티 연산부
- 130, 260 : 웨이트 제어부
- 140 : mod2 가산기
- 111-1~111-M, 121-1~121-M, 221-1~221-M, 231-1~231-M : 쉬프트 레지스터
- 112-0~112-M, 122-0~122-M, 222-0~222-M, 232-0~232-M : 웨이트 곱셈기
- 200, 630, 630A, 800, 800A : 부호화기
- 210 : 정보 생성부
- 220-1 : 제 1 정보 연산부
- 220-2 : 제 2 정보 연산부
- 220-3 : 제 3 정보 연산부
- 240 : 가산부
- 250, 610, 810 : 부호화율 설정부
- 300, 720, 900 : 복호화기
- 310 : 대수 우도비 설정부
- 320 : 행렬 처리 연산부
- 321 : 기억부
- 322 : 행처리 연산부
- 323 : 열처리 연산부
- 400, 500, 600, 600A, 700, 700A : 통신 장치
- 410 : 부호화율 결정부
- 420, 640 : 변조부

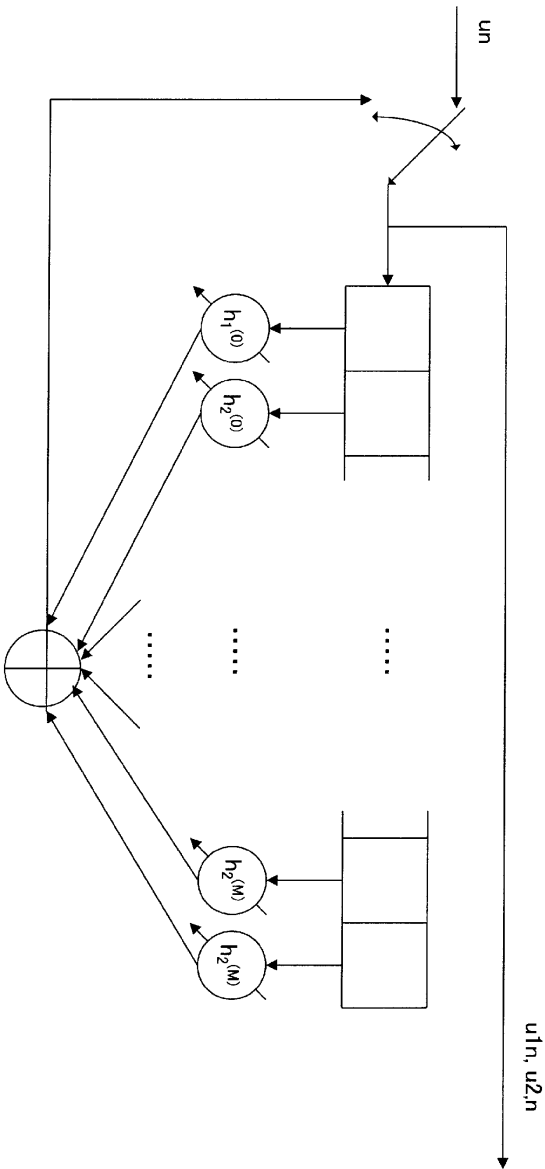
- 510 : 수신부
- 520 : 대수 우도비 생성부
- 530, 710 : 제어 정보 생성부
- 620 : 송신정보 생성 및 정보길이 검출부
- 631 : 터미네이션 계열길이 결정부
- 633, 730 : 부호화율 조정부
- 820, 820A, 910 : 제어부
- 920, 930 : BP복호부

도면

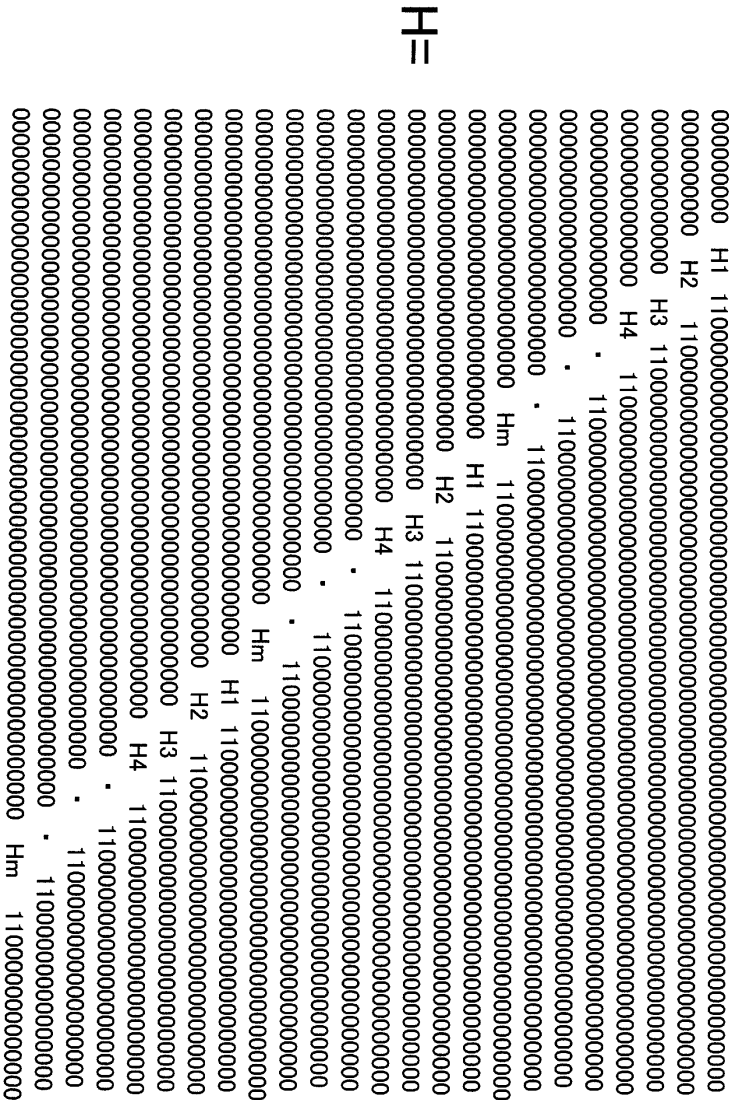
도면1

$$\mathbf{H}_{[0,n]}^T = \begin{pmatrix} h_1^{(0)}(0) & h_1^{(1)}(1) & \cdots & h_1^{(M)}(M) & 0 & \cdots & 0 \\ h_2^{(0)}(0) & h_2^{(1)}(1) & \cdots & h_2^{(M)}(M) & 0 & \cdots & h_2^{(0)}(n) \\ 0 & h_1^{(0)}(1) & \cdots & \vdots & h_1^{(M)}(M+1) & \cdots & h_1^{(M)}(n) \\ & h_2^{(0)}(1) & \cdots & \vdots & h_2^{(M)}(M+1) & \cdots & h_2^{(M)}(n) \\ & 0 & \ddots & & \vdots & & \vdots \\ & & \ddots & & & & 0 \\ & & & & & & h_2^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

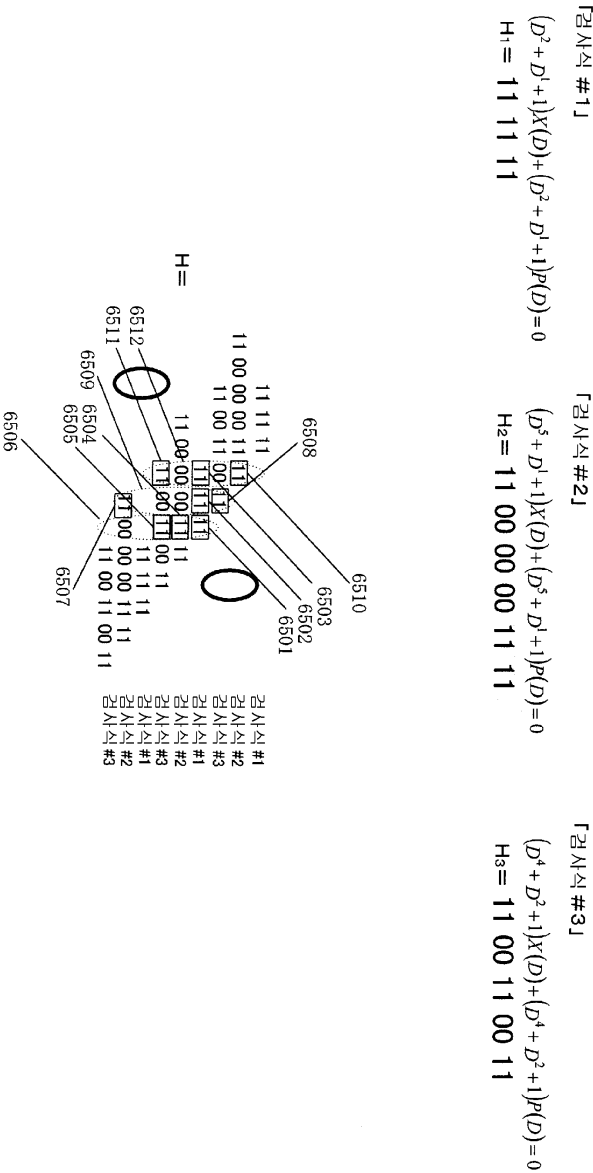
도면2



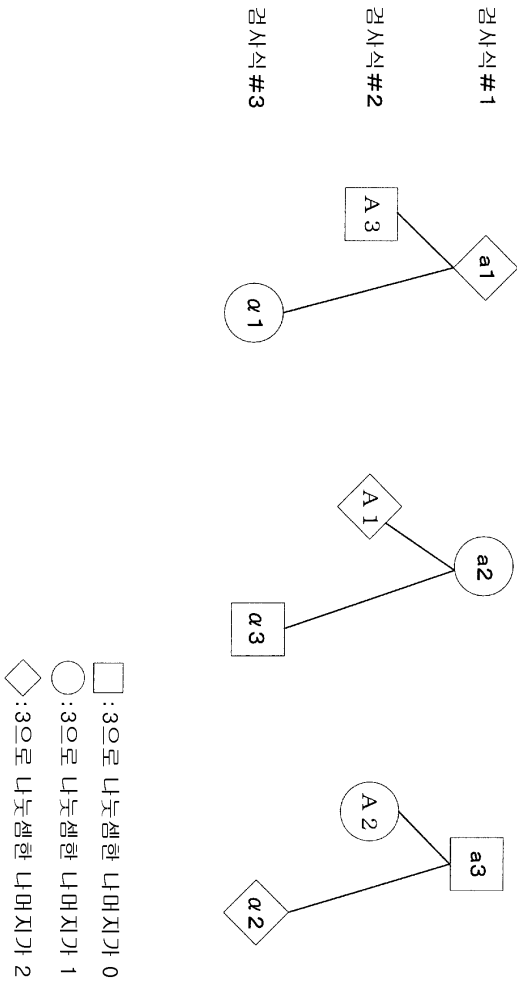
도면3



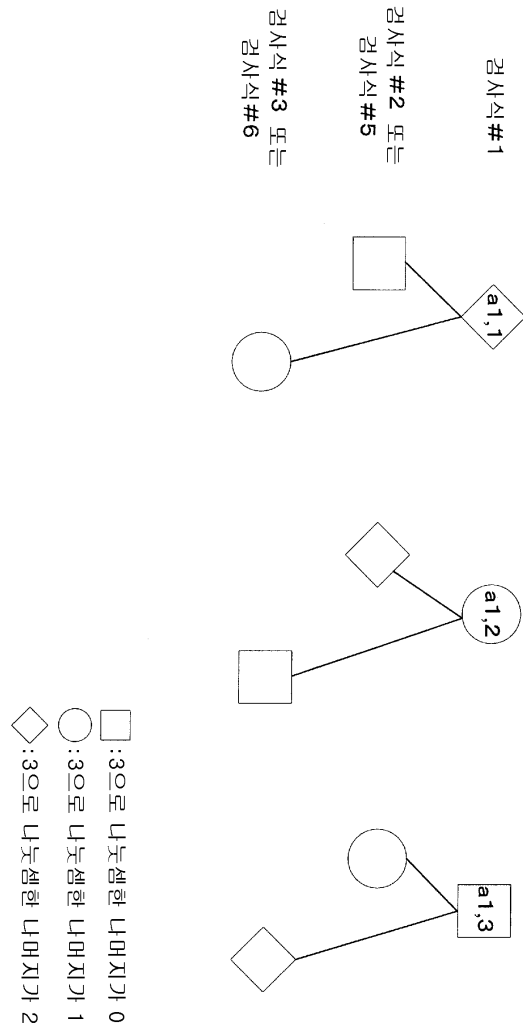
도면4a



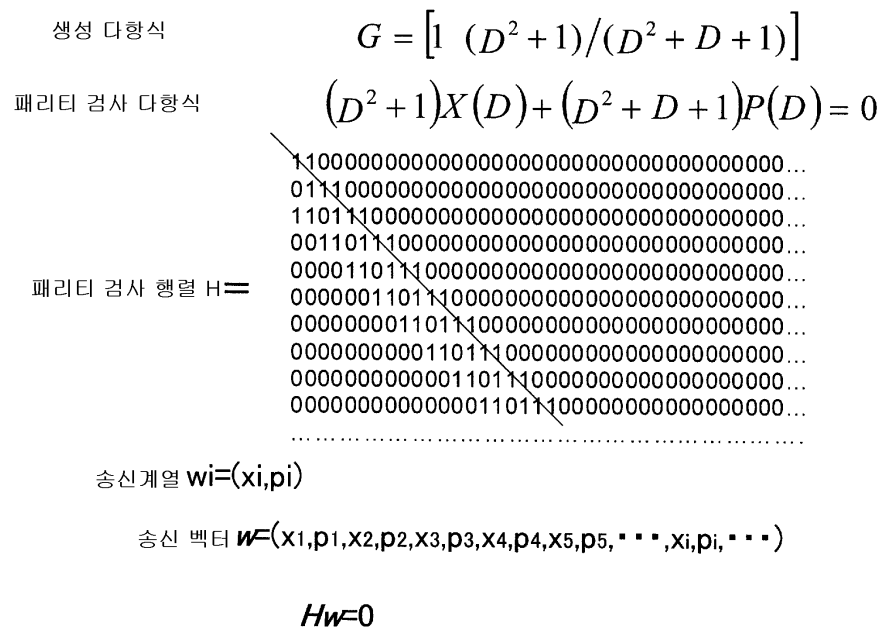
도면4b



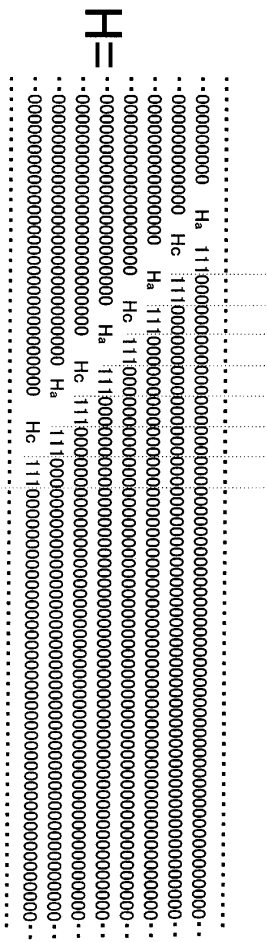
도면4c



도면5



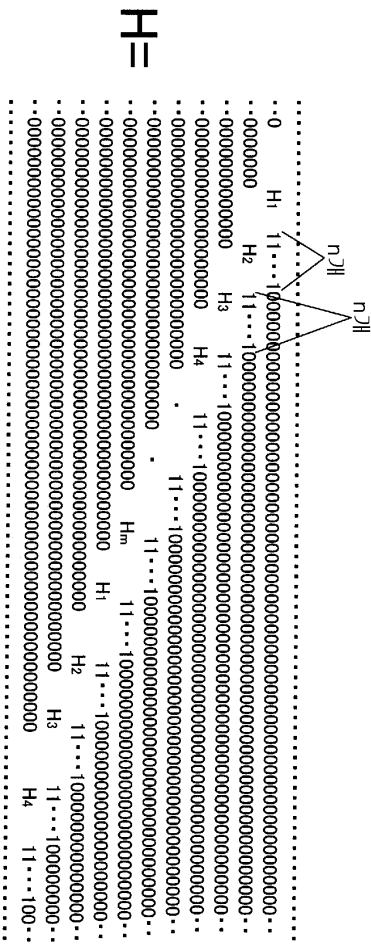
도면6



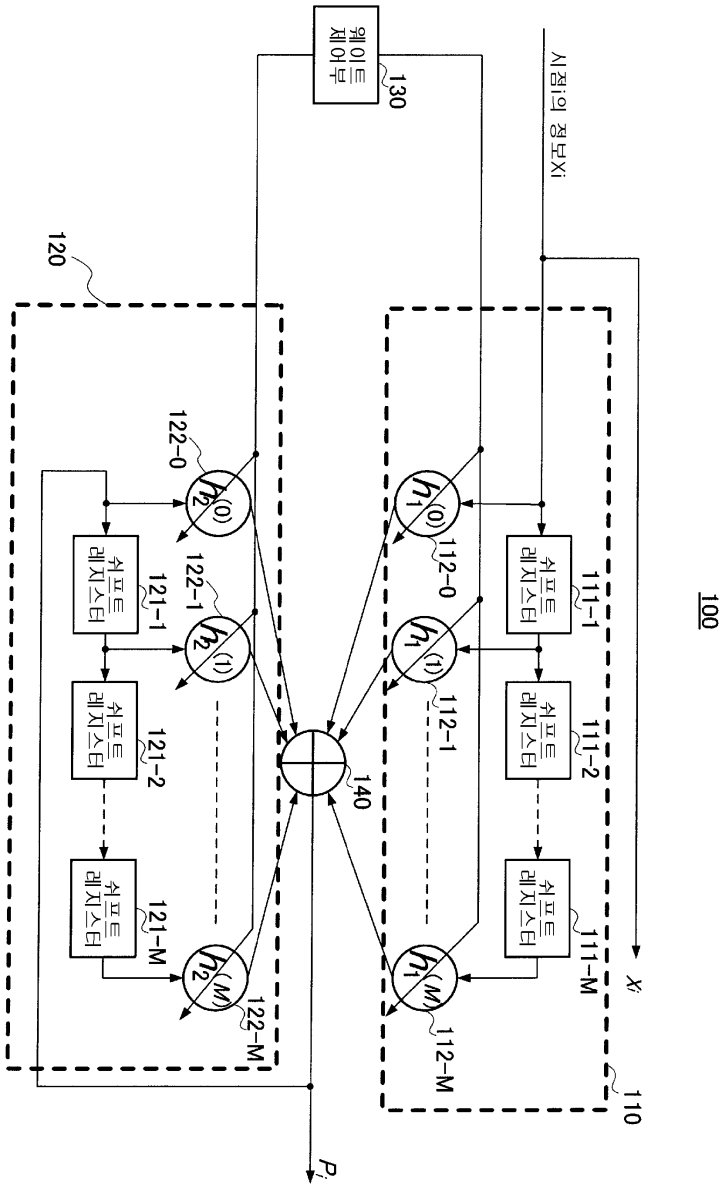
도면7

[illegible]

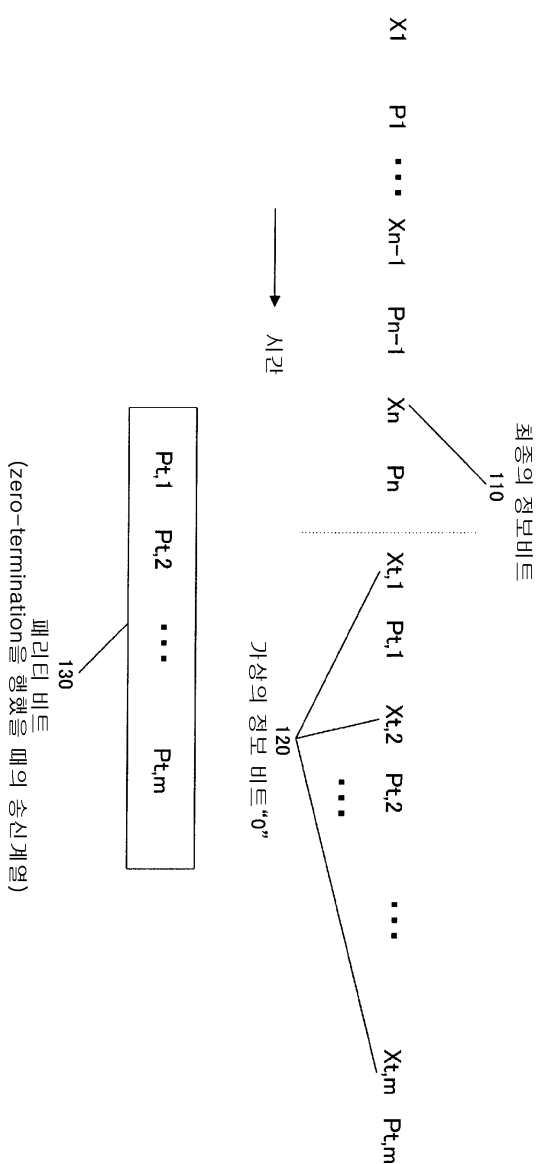
도면8



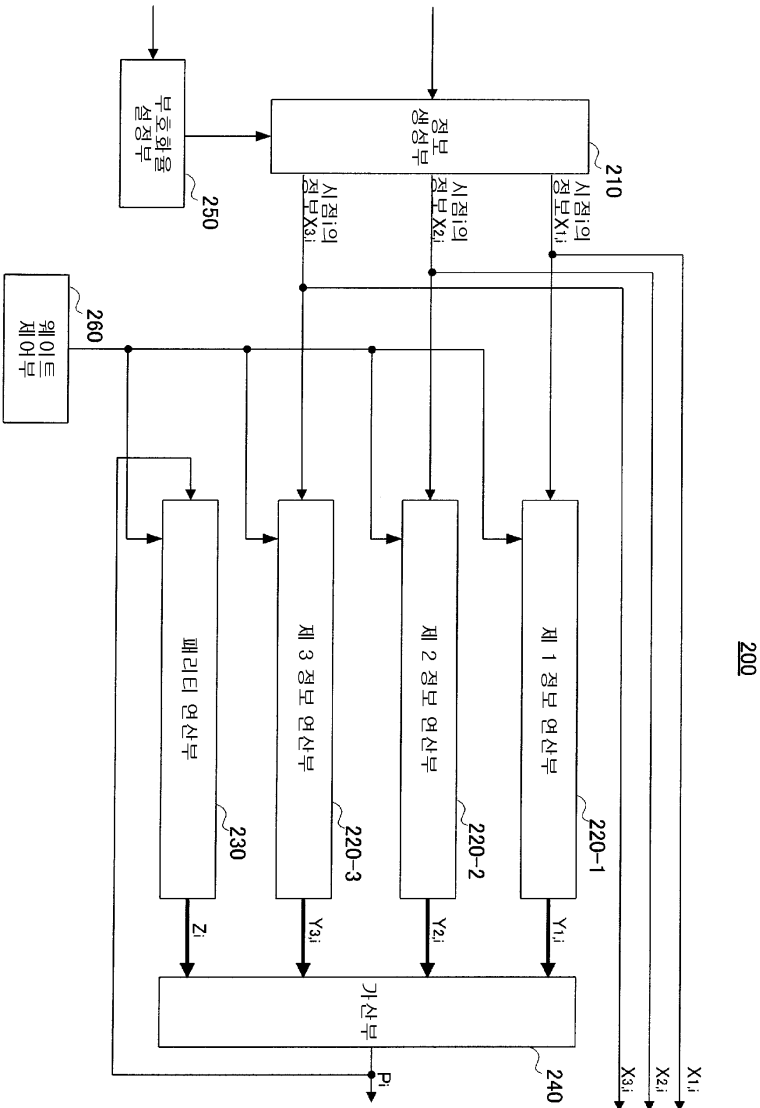
도면9



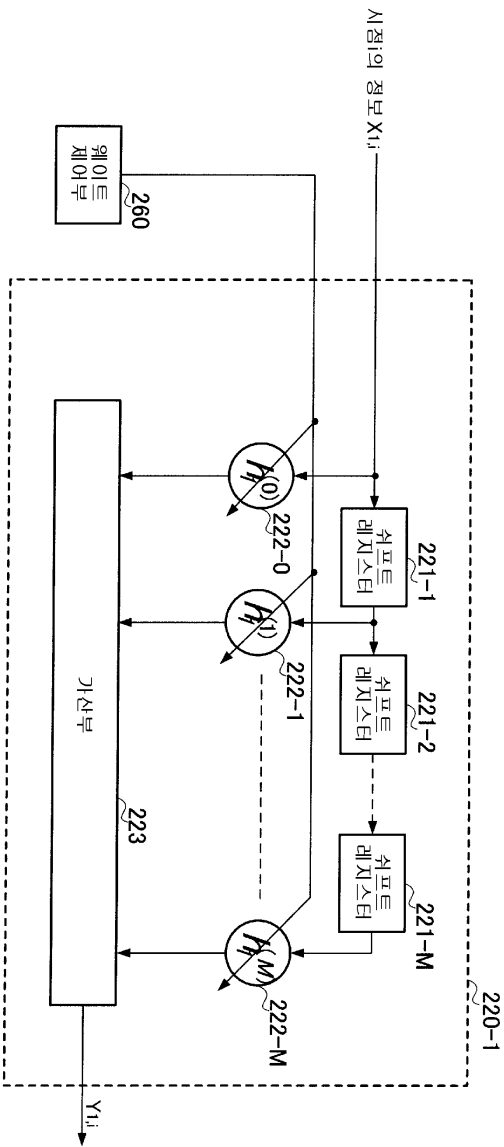
도면10



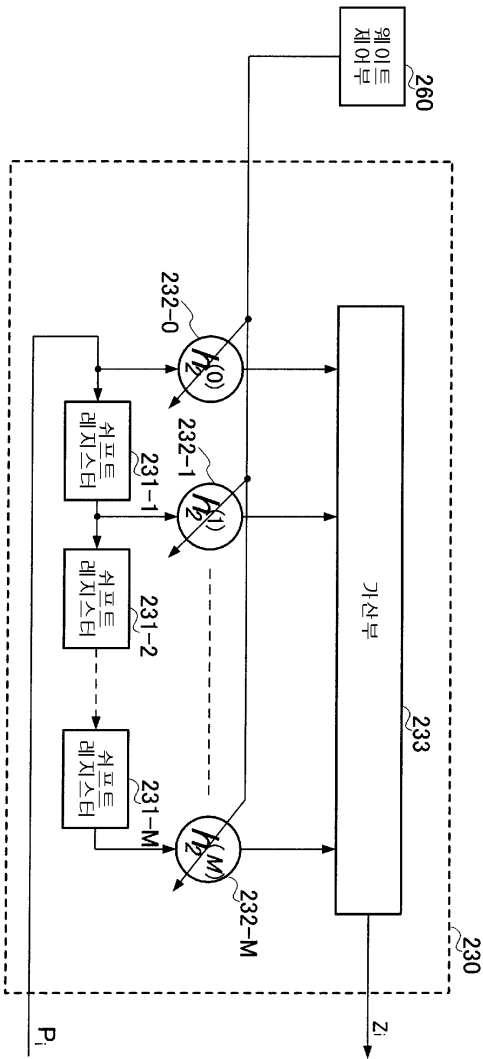
도면11



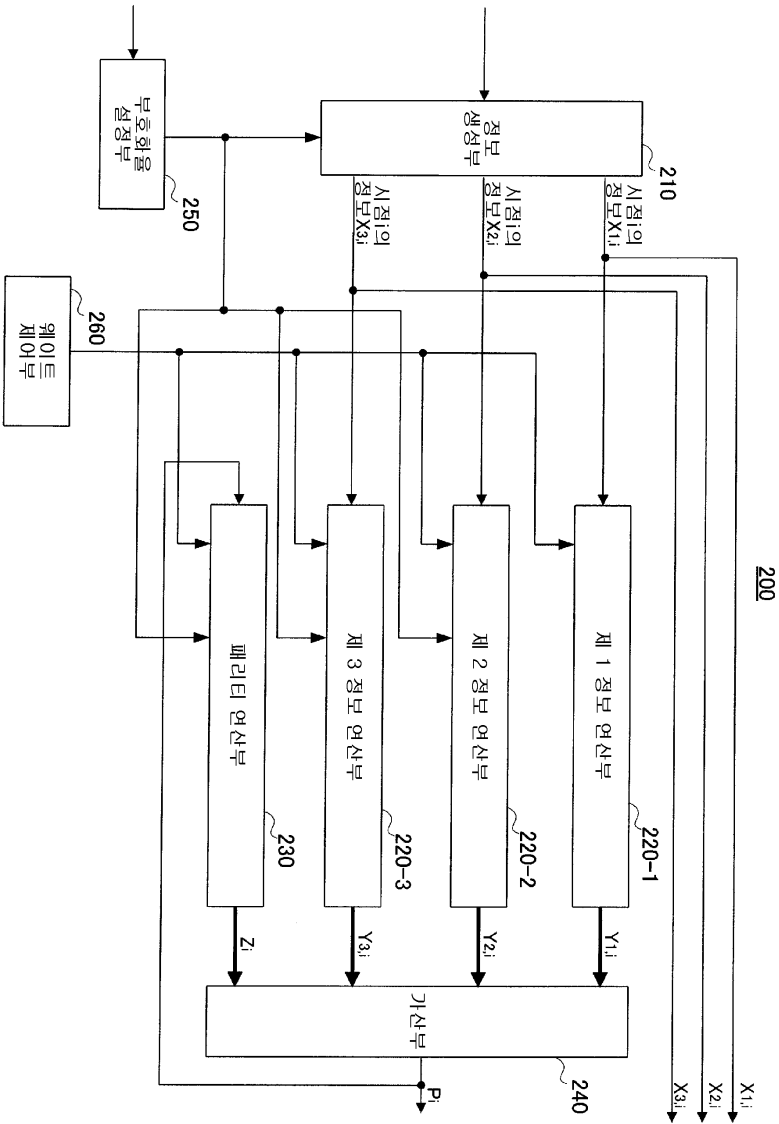
도면12



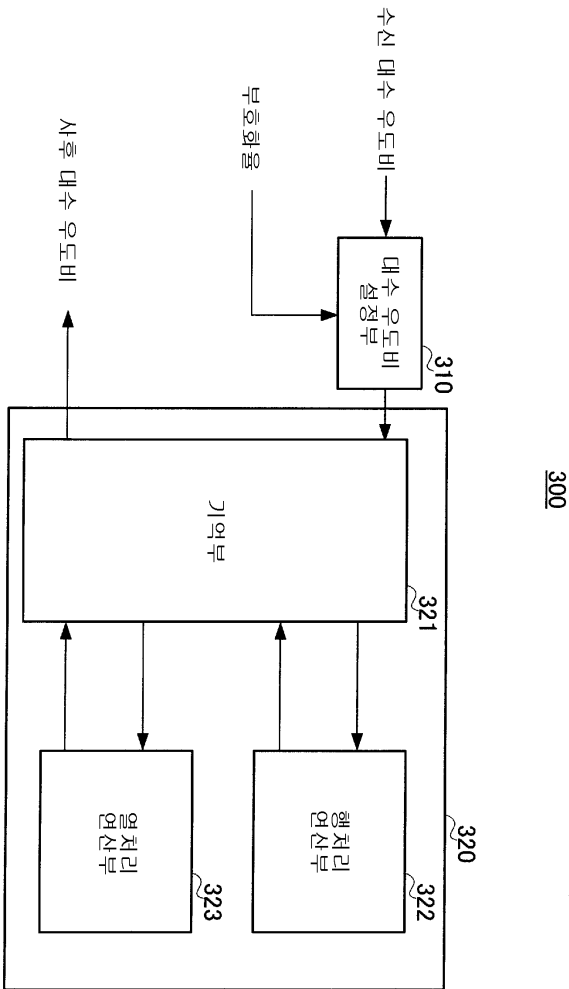
도면13



도면14



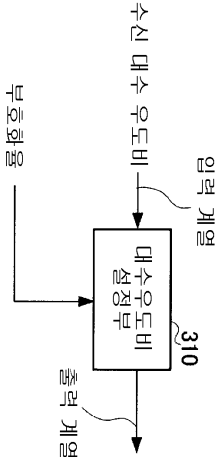
도면15



부호화를 1/2의 경우

입력 계열

..., LLRX_{1,i-2}, LLRP_{i-2}, LLRX_{1,i-1}, LLRP_{i-1}, LLRX_{1,i}, LLRP_i, LLRX_{1,i+1}, LLRP_{i+1}, LLRX_{1,i+2}, LLRP_{i+2},...



출력 계열

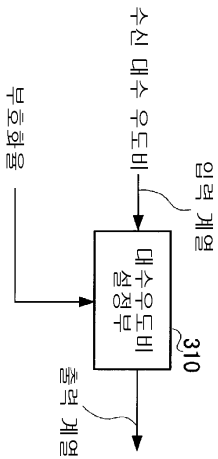
..., LLRX_{1,i-2}, LLRX_{2,i-2}, LLRX_{3,i-2}, LLRP_{i-2}, LLRX_{1,i-1}, LLRX_{2,i-1}, LLRX_{3,i-1}, LLRP_{i-1}, LLRX_{1,i}, LLRX_{2,i}, LLRX_{3,i}, LLRP_i, LLRX_{1,i+1}, LLRX_{2,i+1}, LLRX_{3,i+1}, LLRP_{i+1}, LLRX_{1,i+2}, LLRX_{2,i+2}, LLRX_{3,i+2}, LLRP_{i+2},...



:삽입되는 LLR0이며, 값은 고정값의 대수우도비가 된다

부호화율 2/3의 경우

입력 계열
..., $LLR_{X1,i-2}, LLR_{X2,i-2}, LLR_{P,i-2}, LLR_{X1,i-1}, LLR_{X2,i-1}, LLR_{P,i-1},$
 $LLR_{X1,i}, LLR_{X2,i}, LLR_{P,i}, LLR_{X1,i+1}, LLR_{X2,i+1}, LLR_{P,i+1},$
 $LLR_{X1,i+2}, LLR_{X2,i+2}, LLR_{P,i+2}, \dots$

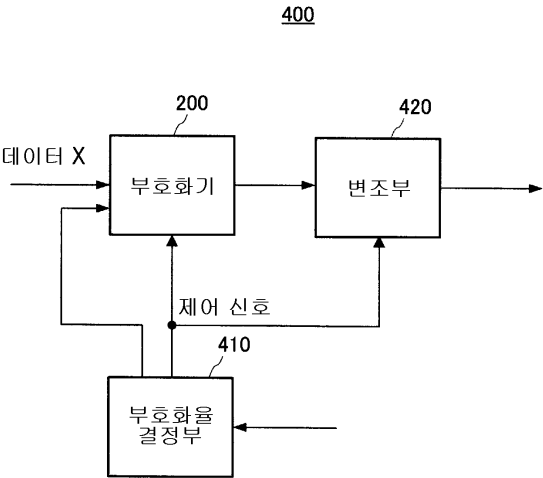


출력 계열
..., $LLR_{X1,i-2}, LLR_{X2,i-2}, LLR_{X3,i-2}, LLR_{P,i-2}, LLR_{X1,i-1}, LLR_{X2,i-1}, LLR_{X3,i-1}, LLR_{P,i-1},$
 $LLR_{X1,i}, LLR_{X2,i}, LLR_{X3,i}, LLR_{P,i}, LLR_{X1,i+1}, LLR_{X2,i+1}, LLR_{X3,i+1}, LLR_{P,i+1},$
 $LLR_{X1,i+2}, LLR_{X2,i+2}, LLR_{X3,i+2}, LLR_{P,i+2}, \dots$

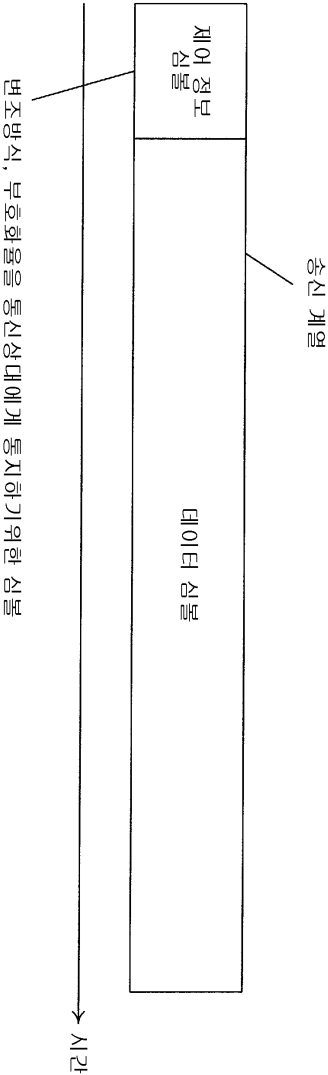
○: 삽입되는 LLR이며, 값은 고정값의 대수우도비가 된다

도면17

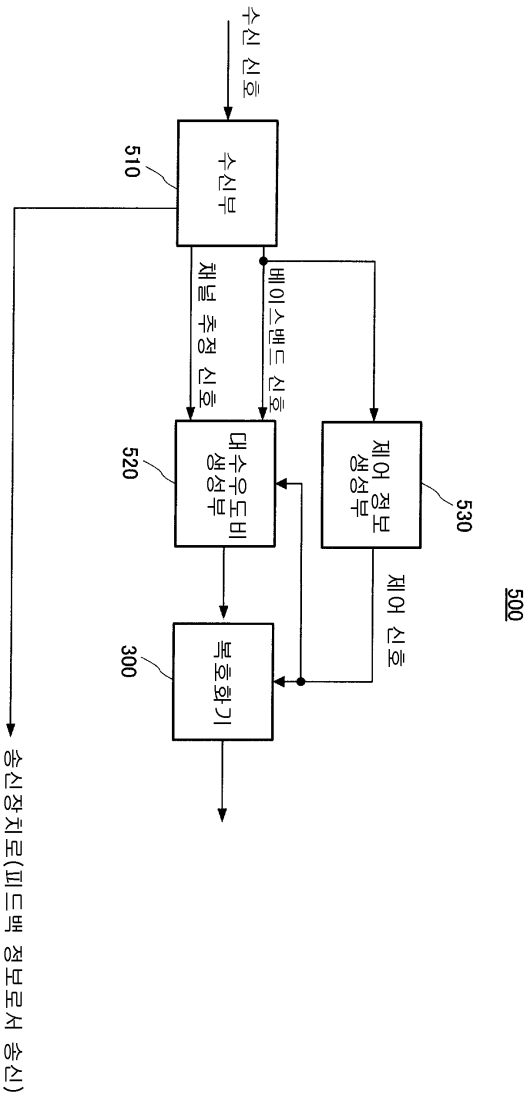
도면18



도면19



도면20



도면21

부호화율 R=(n-1)/n	Termination number (Information size=512bits)	Termination number (Information size=1024bits)	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=6144bits)	Termination number (Information size=8192bits)
1/2	380 (Real R=0.3646)	340 (Real R=0.4288)	340 (Real R=0.4616)	340 (Real R=0.4800)	340 (Real R=0.4865)	340 (Real R=0.4898)
2/3	460 (Real R=0.4169)	500 (Real R=0.5029)	420 (Real R=0.5864)	340 (Real R=0.6317)	340 (Real R=0.6429)	340 (Real R=0.6487)
3/4	400 (Real R=0.4729)	420 (Real R=0.5735)	420 (Real R=0.6500)	340 (Real R=0.7060)	340 (Real R=0.7201)	340 (Real R=0.7273)
4/5	400 (Real R=0.4923)	540 (Real R=0.5626)	540 (Real R=0.6606)	470 (Real R=0.7327)	340 (Real R=0.7660)	340 (Real R=0.7743)

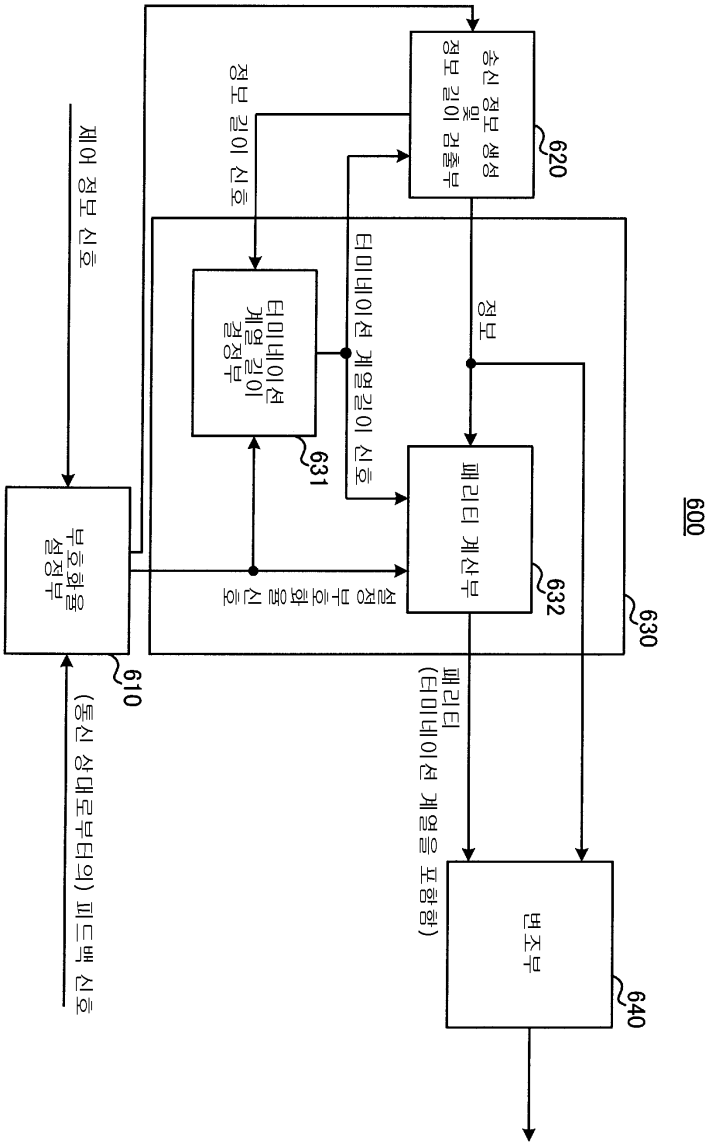
22면도

부호 회용 R=(n-1)/n	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=2304bits)	Termination number (Information size=25920bits)	Termination number (Information size=3072bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=4608bits)	Termination number (Information size=5120bits)	Termination number (Information size=6144bits)
1/2	440 Real R=0.4514	440 Real R=0.4564	440 Real R=0.4604	440 Real R=0.4665	440 Real R=0.4745	440 Real R=0.4772	440 Real R=0.4794	440 Real R=0.4827
2/3	540 Real R=0.5669	420 Real R=0.5944	380 Real R=0.6066	380 Real R=0.6158	380 Real R=0.6278	380 Real R=0.6319	380 Real R=0.6352	380 Real R=0.6402
3/4	540 Real R=0.6261	460 Real R=0.6523	380 Real R=0.6748	380 Real R=0.6863	380 Real R=0.7012	380 Real R=0.7063	380 Real R=0.7104	380 Real R=0.7167
4/5	680 Real R=0.6320	620 Real R=0.6582	620 Real R=0.6701	620 Real R=0.6887	620 Real R=0.7135	660 Real R=0.7291	380 Real R=0.7561	380 Real R=0.7622

도면23

Coding rate	Number of Transmission Bits for Tail - bit Coding
1/2	$m_t = 440$ bits
2/3	$I_s < 2303$: $m_t = 540$ bits $2304 \leq I_s < 2559$: $m_t = 420$ bits $2560 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits
3/4	$I_s < 2303$: $m_t = 540$ bits $2304 \leq I_s < 2559$: $m_t = 460$ bits $2560 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits
4/5	$I_s < 2303$: $m_t = 680$ bits $2304 \leq I_s < 4607$: $m_t = 620$ bits $4608 \leq I_s < 5119$: $m_t = 560$ bits $5120 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits

도면24



도면25

(a) 부호화를 1/2의 경우	
$512 \leq \alpha \leq 1023$	$1024 \leq \alpha$
380 bits	340 bits

(b) 부호화를 2/3의 경우	
$512 \leq \alpha \leq 4095$	$4096 \leq \alpha$
500 bits	340 bits

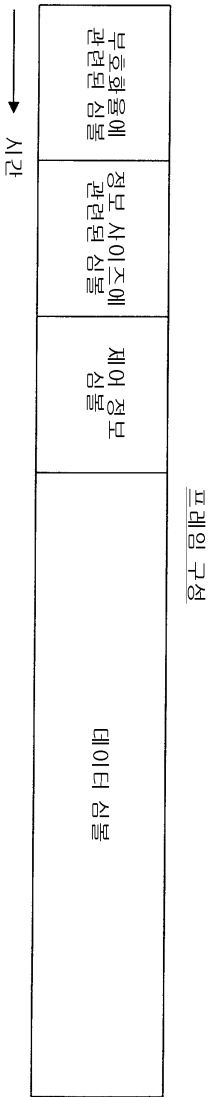
(c) 부호화를 3/4의 경우	
$512 \leq \alpha \leq 4095$	$4096 \leq \alpha$
420 bits	340 bits

(d) 부호화를 4/5의 경우	
$512 \leq \alpha \leq 6143$	$6144 \leq \alpha$
540 bits	340 bits

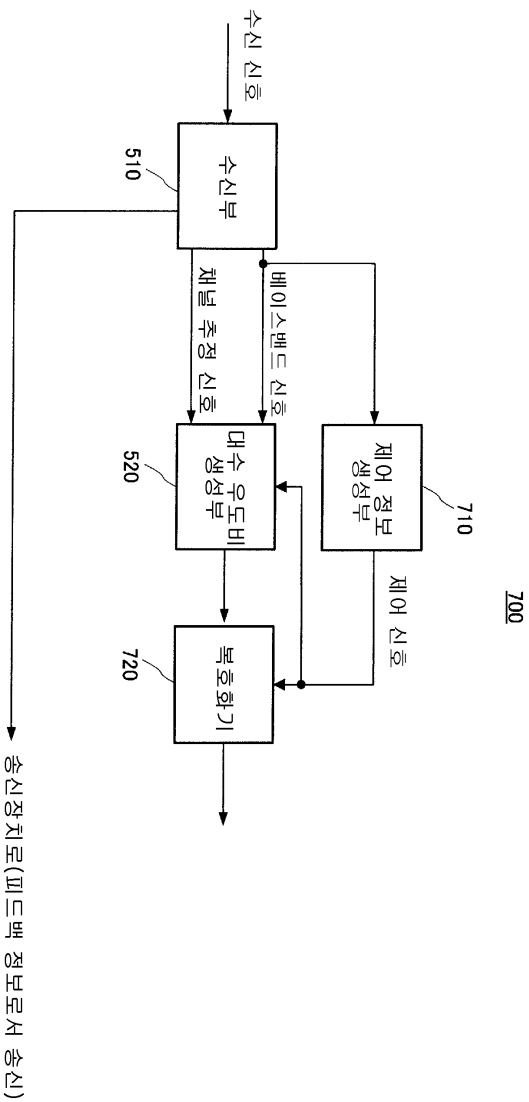
도면26

부호화를 2/3의 경우		
$512 \leq \alpha \leq 2047$	$2048 \leq \alpha \leq 4095$	$4096 \leq \alpha$
500 bits	420 bits	340 bits

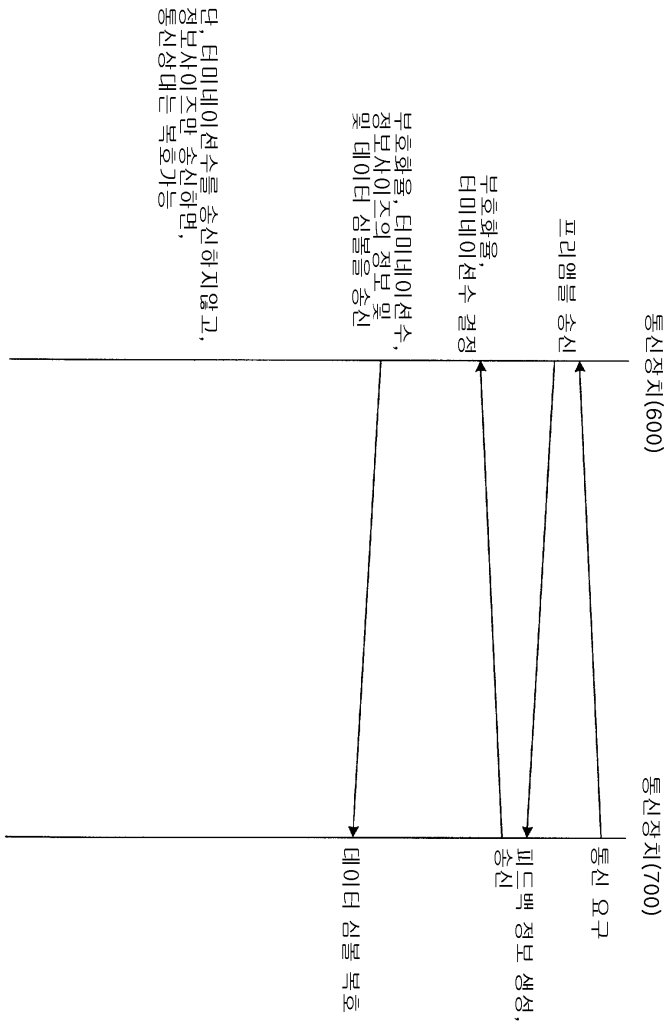
도면27



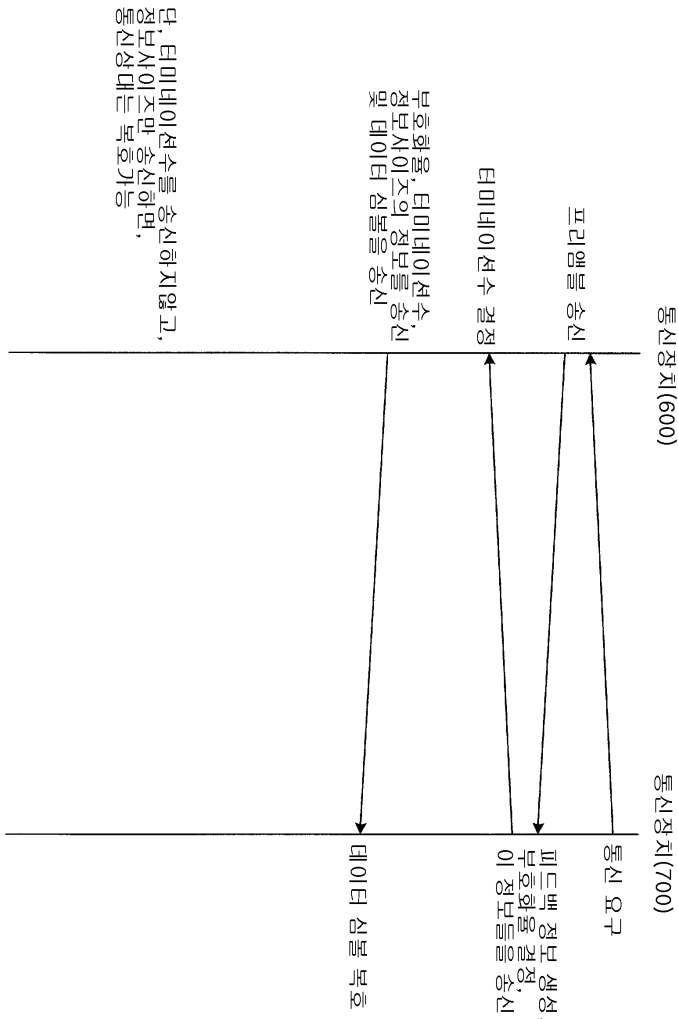
도면28



도면29



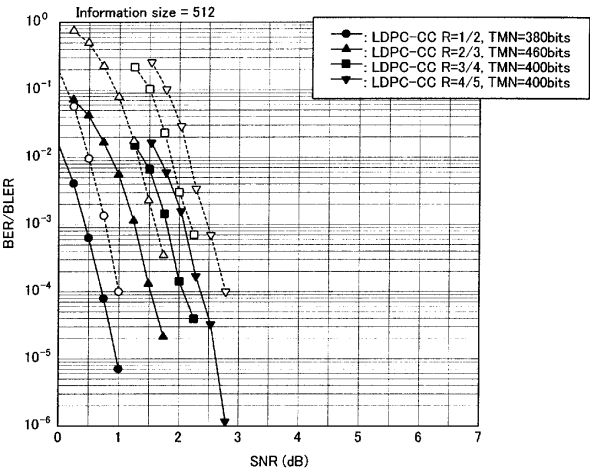
도면30



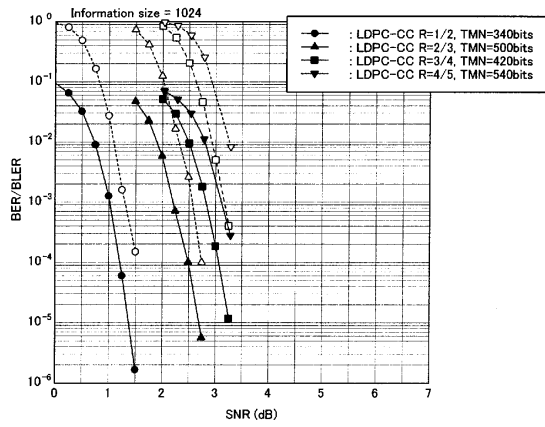
도면31

부호화율 $R=(n-1)/n$	Termination number (Information size=612bits)	Termination number (Information size=1024bits)	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=6144bits)	Termination number (Information size=8192bits)
1/2	380 (Real $R=0.3646$)	340 (Real $R=0.4288$)	340 (Real $R=0.4616$)	340 (Real $R=0.4800$)	340 (Real $R=0.4865$)	340 (Real $R=0.4898$)
2/3	460 (Real $R=0.4169$)	500 (Real $R=0.5029$)	420 (Real $R=0.5864$)	340 (Real $R=0.6317$)	340 (Real $R=0.6429$)	340 (Real $R=0.6487$)
3/4	400 (Real $R=0.4729$)	420 (Real $R=0.5735$)	420 (Real $R=0.6500$)	340 (Real $R=0.7060$)	340 (Real $R=0.7201$)	340 (Real $R=0.7273$)
4/5	400 (Real $R=0.4923$)	540 (Real $R=0.5626$)	540 (Real $R=0.6606$)	470 (Real $R=0.7327$)	340 (Real $R=0.7660$)	340 (Real $R=0.7743$)

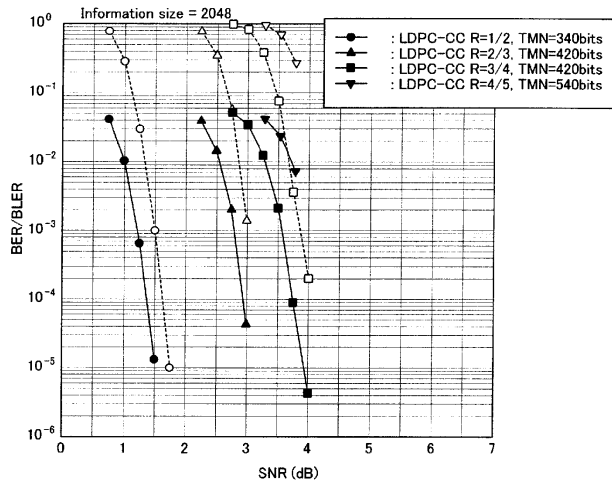
도면32a



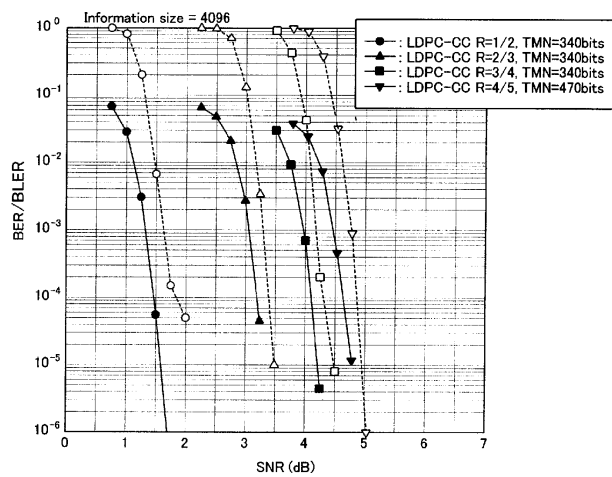
도면32b



도면32c



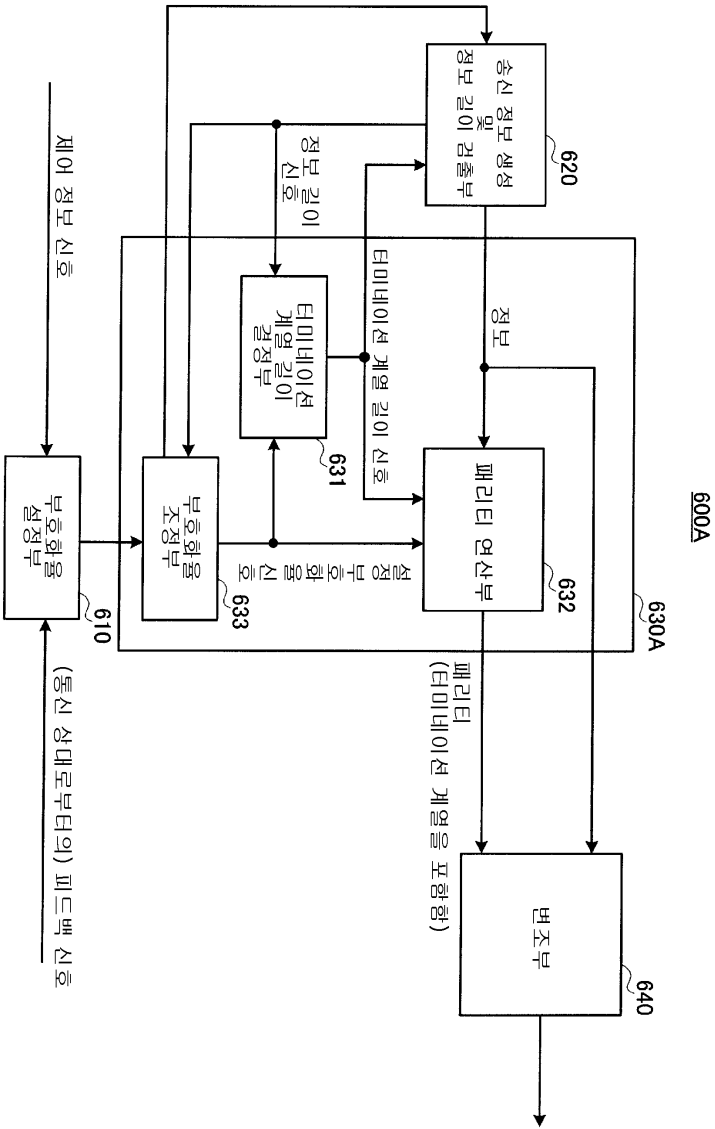
도면32d



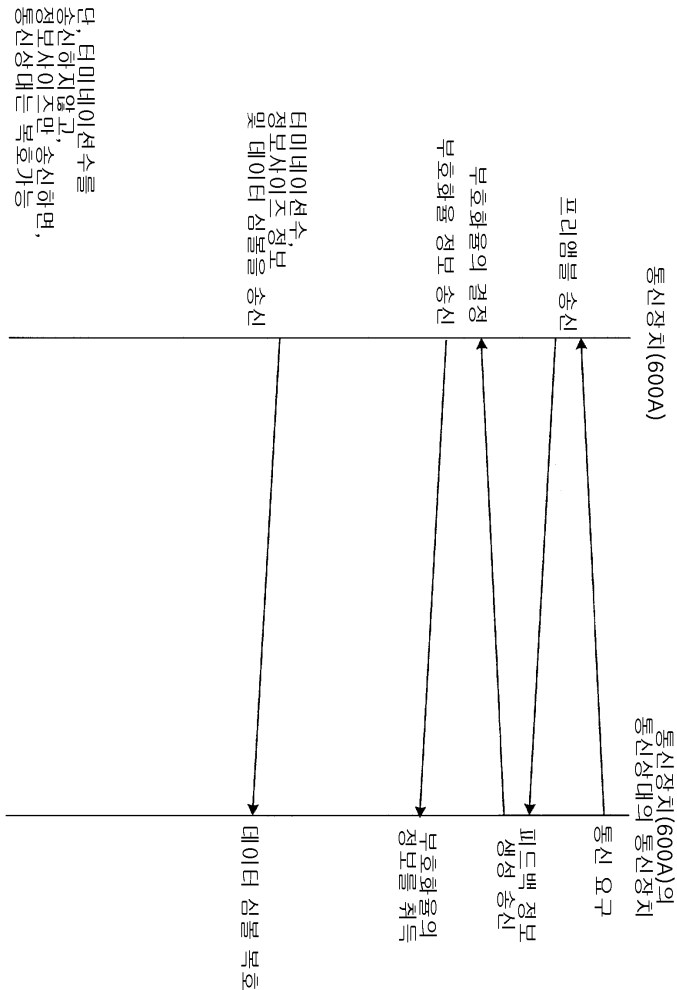
도면33

부호화율 $R=(n-1)/n$	Information size=612bits	Information size=1024bits	Information size=2048bits	Information size=4096bits	Information size=6144bits	Information size=8192bits
1/2	서포트 없음 $R=2/3$ 로 조정	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음
2/3	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음
3/4	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음
4/5	서포트 없음 $R=3/4$ 으로 조정	서포트 없음 $R=3/4$ 으로 조정	서포트 없음 $R=3/4$ 으로 조정	서포트 있음	서포트 있음	서포트 있음

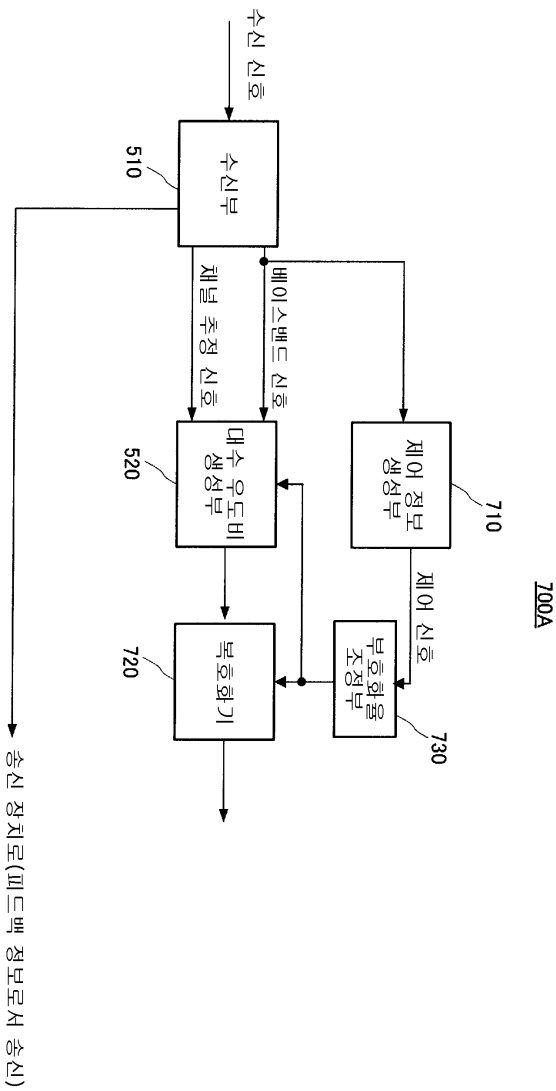
도면34



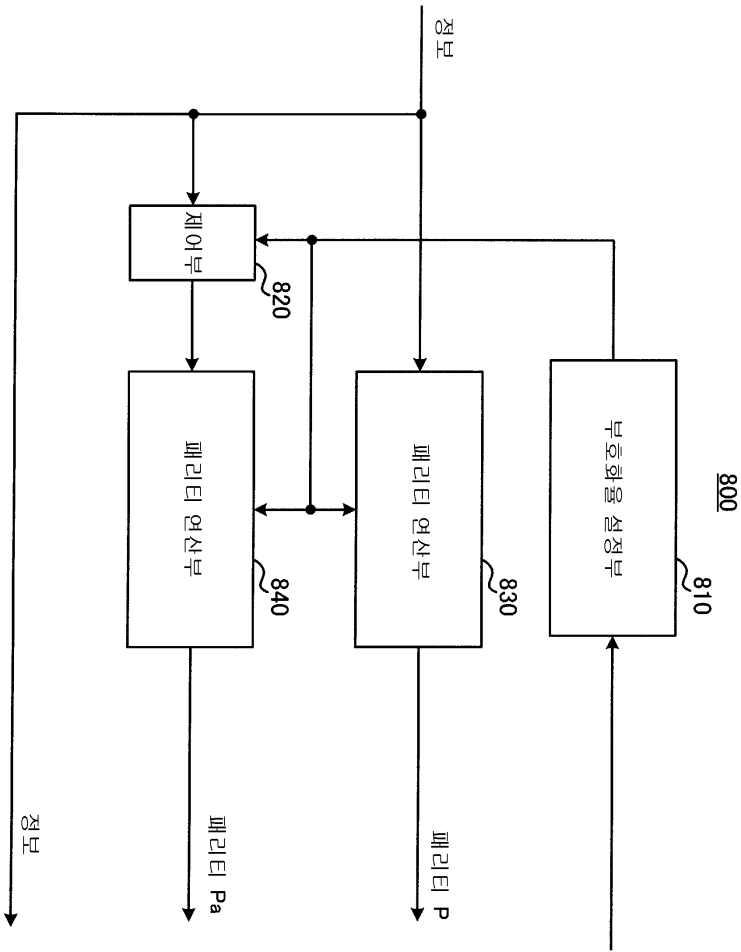
도면35



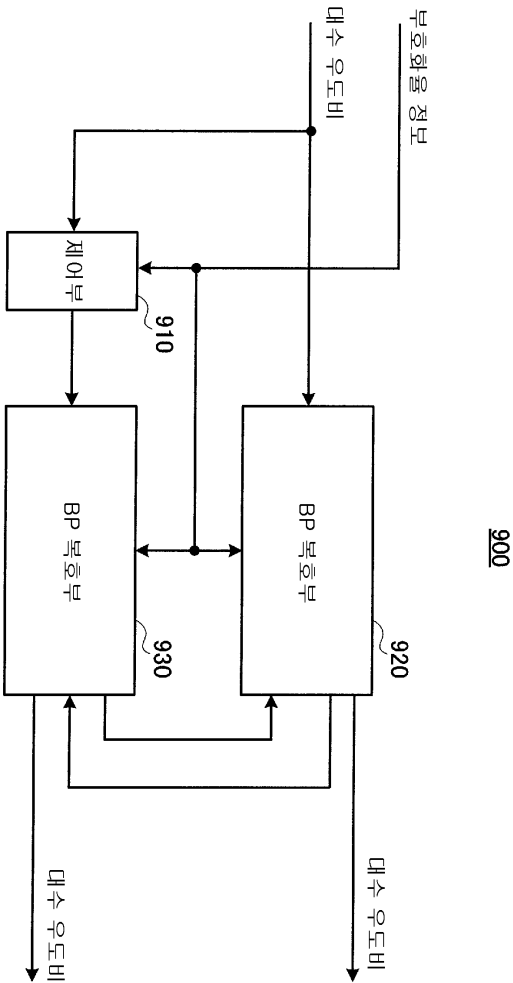
도면36



도면37



도면38



도면39

