(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월12일
(11) 등록번호 10-1481854
(24) 등록일자 2015년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 13/11 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7011005
(22) 출원일자(국제) 2008년11월18일
심사청구일자 2013년11월12일
(85) 번역문제출일자 2010년05월19일
(65) 공개번호 10-2010-0096102
(43) 공개일자 2010년09월01일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2008/070960
(87) 국제공개번호 WO 2009/069513
국제공개일자 2009년06월04일
(30) 우선권주장
JP-P-2007-304689 2007년11월26일 일본(JP)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020060135451 A
KR1020070054088 A
R. Maddock et al., "Reliability based coded modulation with low density parity check codes," IEEE Trans. on Comm., Vol. 54, No. 3, March 2006.
전체 청구항 수 : 총 2 항

(73) 특허권자
소니 주식회사
일본국 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1
(72) 발명자
요꼬까와 다까시
일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니 주식회사 내
야마모또 마끼꼬
일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니 주식회사 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장수길, 박충범, 이중희

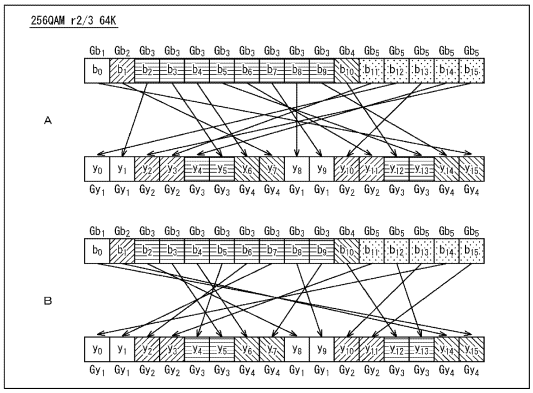
심사관 : 권성락

(54) 발명의 명칭 **데이터 처리 장치, 및 데이터 처리 방법, 및 부호화 장치, 및 부호화 방법**

(57) 요 약

본 발명은, 에러에 대한 내성을 향상시킬 수 있는 데이터 처리 장치, 및 데이터 처리 방법, 및 부호화 장치, 및 부호화 방법에 관한 것이다. DVB-S.2로 규정되어 있는, 부호 길이가 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호의 mb비트의 부호 비트가 교체되어, 교체 후의 부호 비트가 b개인 심볼의 심볼 비트로 된다. m이 8이고, b가 2일 때, 8×2비트의 부호 비트와, 연속하는 2개의 심볼의 8×2비트의 심볼 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 각각 b_i와 y_i로 하면, b_0은 y_{15}에, b_1은 y_7에, b_2는 y_1에, b_3은 y_5에, b_4는 y_6에, b_5는 y_{13}에, b_6은 y_{11}에, b_7은 y_9에, b_8은 y_8에, b_9는 y_{14}에, b_{10}은 y_{12}에, b_{11}은 y_3에, b_{12}는 y_0에, b_{13}은 y_{10}에, b_{14}는 y_4에, b_{15}는 y_2에, 각각 할당하는 교체가 행해진다. 본 발명은, 예를 들어 LDPC 부호를 전송하는 전송 시스템 등에 적용할 수 있다.

대 표 도



(72) 발명자

오까다 사또시

일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니 주식회사 내

이께가야 료지

일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니 주식회사 내

(30) 우선권주장

JP-P-2007-304690 2007년11월26일 일본(JP)

JP-P-2008-070467 2008년03월18일 일본(JP)

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

LDPC(Low Density Parity Check) 부호에 의한 부호화를 행하는 부호화 장치로서,

부호 길이가 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호에 의한 부호화를 행하는 부호화 수단을 구비하고,

상기 LDPC 부호의 검사 행렬은, 그 검사 행렬의, 상기 부호 길이, 및 상기 부호화율에 따른 정보 길이에 대응하는 정보 행렬의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 상기 정보 행렬의 1의 요소를, 열 방향으로 360열마다의 주기로 배치하여 구성되고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은,

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039

1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379

127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002

2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393

1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325

706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335

4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20748

412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860

777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419

4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938

2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025

1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920

856 1690 12787

6532 7357 9151

4210 16615 18152

11494 14036 17470

2474 10291 10323

1778 6973 10739

4347 9570 18748

2189 11942 20666

3868 7526 17706

8780 14796 18268

160 16232 17399

1285 2003 18922

4658 17331 20361

2765 4862 5875

4565 5521 8759

3484 7305 15829

5024 17730 17879

7031 12346 15024

179 6365 11352

2490 3143 5098

2643 3101 21259

4315 4724 13130

594 17365 18322

5983 8597 9627

10837 15102 20876

10448 20418 21478

3848 12029 15228

708 5652 13146

5998 7534 16117

2098 13201 18317

9186 14548 17776

5246 10398 18597

3083 4944 21021

13726 18495 19921

6736 10811 17545

10084 12411 14432

1064 13555 17033

679 9878 13547

3422 9910 20194

3640 3701 10046

5862 10134 11498

5923 9580 15060

1073 3012 16427

5527 20113 20883

7058 12924 15151

9764 12230 17375

772 7711 12723

555 13816 15376

10574 11268 17932

15442 17266 20482

390 3371 8781

10512 12216 17180

4309 14068 15783

3971 11673 20009

9259 14270 17199

2947 5852 20101

3965 9722 15363

1429 5689 16771

6101 6849 12781

3676 9347 18761

350 11659 18342

5961 14803 16123

2113 9163 13443

2155 9808 12885

2861 7988 11031

7309 9220 20745

6834 8742 11977

2133 12908 14704

10170 13809 18153

13464 14787 14975

799 1107 3789

3571 8176 10165

5433 13446 15481

3351 6767 12840

8950 8974 11650

1430 4250 21332

6283 10628 15050

8632 14404 16916

6509 10702 16278

15900 16395 17995

8031 18420 19733

3747 4634 17087

4453 6297 16262

2792 3513 17031

14846 20893 21563

17220 20436 21337

275 4107 10497

3536 7520 10027

14089 14943 19455

1965 3931 21104

2439 11565 17932

154 15279 21414

10017 11269 16546

7169 10161 16928

10284 16791 20655

36 3175 8475

2605 16269 19290

8947 9178 15420

5687 9156 12408

8096 9738 14711

4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

로 이루어지는, 부호화 장치.

청구항 4

LDPC(Low Density Parity Check) 부호에 의한 부호화를 행하는 부호화 장치의 부호화 방법으로서,

상기 부호화 장치가, 부호 길이가 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호에 의한 부호화를 행하는 스텝을 포함하고,

상기 LDPC 부호의 검사 행렬은, 그 검사 행렬의, 상기 부호 길이, 및 상기 부호화율에 따른 정보 길이에 대응하는 정보 행렬의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 상기 정보 행렬의 1의 요소를, 열 방향으로 360열마다의 주기로 배치하여 구성되고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은,

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039

1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 2137

127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002

2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393

1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325

706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 2133

4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 2

748

412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860

777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419

4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938

2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025

1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920

856 1690 12787

6532 7357 9151

4210 16615 18152

11494 14036 17470

2474 10291 10323

1778 6973 10739

4347 9570 18748

2189 11942 20666

3868 7526 17706

8780 14796 18268

160 16232 17399

1285 2003 18922

4658 17331 20361

2765 4862 5875

4565 5521 8759

3484 7305 15829

5024 17730 17879

7031 12346 15024

179 6365 11352

2490 3143 5098

2643 3101 21259

4315 4724 13130

594 17365 18322

5983 8597 9627

10837 15102 20876

10448 20418 21478

3848 12029 15228

708 5652 13146

5998 7534 16117

2098 13201 18317

9186 14548 17776

5246 10398 18597

3083 4944 21021

13726 18495 19921

6736 10811 17545

10084 12411 14432

1064 13555 17033

679 9878 13547

3422 9910 20194

3640 3701 10046

5862 10134 11498

5923 9580 15060

1073 3012 16427

5527 20113 20883

7058 12924 15151

9764 12230 17375

772 7711 12723

555 13816 15376

10574 11268 17932

15442 17266 20482

390 3371 8781

10512 12216 17180

4309 14068 15783

3971 11673 20009

9259 14270 17199

2947 5852 20101

3965 9722 15363

1429 5689 16771

6101 6849 12781

3676 9347 18761

350 11659 18342

5961 14803 16123

2113 9163 13443

2155 9808 12885

2861 7988 11031

7309 9220 20745

6834 8742 11977

2133 12908 14704

10170 13809 18153

13464 14787 14975

799 1107 3789

3571 8176 10165

5433 13446 15481
3351 6767 12840
8950 8974 11650
1430 4250 21332
6283 10628 15050
8632 14404 16916
6509 10702 16278
15900 16395 17995
8031 18420 19733
3747 4634 17087
4453 6297 16262
2792 3513 17031
14846 20893 21563
17220 20436 21337
275 4107 10497
3536 7520 10027
14089 14943 19455
1965 3931 21104
2439 11565 17932
154 15279 21414
10017 11269 16546
7169 10161 16928
10284 16791 20655
36 3175 8475
2605 16269 19290
8947 9178 15420
5687 9156 12408
8096 9738 14711

4935 8093 19266
2667 10062 15972
6389 11318 14417
8800 18137 18434
5824 5927 15314
6056 13168 15179
3284 13138 18919
13115 17259 17332

로 이루어지는, 부호화 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 데이터 처리 장치, 및 데이터 처리 방법, 및 부호화 장치, 및 부호화 방법에 관한 것으로, 특히 예를 들어 에러에 대한 내성을 향상시킬 수 있도록 하는 데이터 처리 장치, 및 데이터 처리 방법, 및 부호화 장치, 및 부호화 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] LDPC(Low Density Parity Check) 부호는 높은 오류 정정 능력을 가지며, 최근에는, 예를 들어 유럽에서 행해지고 있는 DVB(Digital Video Broadcasting)-S.2 등의 위성 디지털 방송을 포함하는 전송 방식에 널리 채용되기 시작하고 있다(예를 들어, 비특허문헌 1을 참조). 또한, LDPC 부호는 차세대의 지상 디지털 방송에도 채용이 검토되고 있다.

[0003] LDPC 부호는, 최근의 연구에 의해, 터보 부호 등과 마찬가지로, 부호 길이를 길게 해 감에 따라서, 셰넌 한계에 가까운 성능을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, LDPC 부호는 최소 거리가 부호 길이에 비례한다는 성질이 있으므로, 그 특징으로서, 블록 오류 확률 특성이 좋고, 또한 터보 부호 등의 복호 특성에 있어서 관측되는, 소위 에러 플로어 현상이 거의 발생하지 않는 것도 이점으로서 들 수 있다.

[0004] 이하, 이러한 LDPC 부호에 대해 구체적으로 설명한다. 또한, LDPC 부호는 선형 부호이며, 반드시 2원일 필요는 없지만, 여기서는 2원인 것으로서 설명한다.

[0005] LDPC 부호는 그 LDPC 부호를 정의하는 검사 행렬(parity check matrix)이 희소한 것인 것을 최대의 특징으로 한다. 여기서, 희소 행렬이라 함은, 행렬의 요소의 "1"의 개수가 매우 적은 행렬(대부분의 요소가 0인 행렬)이다.

[0006] 도 1은 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 예를 나타내고 있다.

[0007] 도 1의 검사 행렬 H에서는, 각 열의 가중치(열 가중치)("1"의 수)(weight)가 "3"이며, 또한 각 행의 가중치(행 가중치)가 "6"으로 되어 있다.

[0008] LDPC 부호에 의한 부호화(LDPC 부호화)에서는, 예를 들어 검사 행렬 H에 기초하여 생성 행렬 G를 생성하고, 이 생성 행렬 G를 2원의 정보 비트에 대해 승산함으로써, 부호어(LDPC 부호)가 생성된다.

[0009] 구체적으로는, LDPC 부호화를 행하는 부호화 장치는, 우선 검사 행렬 H의 전치 행렬 H^T와의 사이에, 식 $GH^T=0$이 성립하는 생성 행렬 G를 산출한다. 여기서, 생성 행렬 G가 K×N 행렬인 경우에는, 부호화 장치는 생성 행렬 G에 대해 K 비트로 이루어지는 정보 비트의 비트열(벡터 u)을 승산하고, N비트로 이루어지는 부호어 c(=uG)를 생성한다. 이 부호화 장치에 의해 생성된 부호어(LDPC 부호)는 소정의 통신로를 거쳐서 수신측에 있어서 수신된다.

[0010] LDPC 부호의 복호는 Gallager가 확률 복호(Probabilistic Decoding)라 칭하며 제안한 알고리즘이며, 변수 노드(variable node(메시지 노드(message node)라고도 불림))와, 체크 노드(check node)로 이루어지는, 소위 타너 그래프(Tanner graph) 상에서의 확률 전파(belief propagation)에 의한 메시지 패싱 알고리즘에 의해 행하는 것이 가능하다. 여기서, 이하, 적절하게 변수 노드와 체크 노드를 간단히 노드라고도 한다.

[0011] 도 2는 LDPC 부호의 복호의 수순을 나타내고 있다.

[0012] 또한, 이하, 적절하게 수신측에서 수신한 LDPC 부호(1 부호어)의 i번째의 부호 비트의, 값의 "0" 근사값을 대수 우도비(log likelihood ratio)로 표현한 실수값을, 수신값 u_{0i}라 한다. 또한, 체크 노드로부터 출력되는 메시지를 u_j라 하고, 변수 노드로부터 출력되는 메시지를 v_i라 한다.

[0013] 우선, LDPC 부호의 복호에 있어서는, 도 2에 나타낸 바와 같이, 스텝 S11에 있어서, LDPC 부호가 수신되고, 메시지(체크 노드 메시지) u_j가 "0"으로 초기화됨과 함께, 반복 처리의 카운터로서의 정수를 취하는 변수 k가 "0"으로 초기화되고, 스텝 S12로 진행한다. 스텝 S12에 있어서, LDPC 부호를 수신하여 얻어지는 수신값 u_{0i}에 기초하여, 수학식 1에 나타내는 연산(변수 노드 연산)을 행함으로써 메시지(변수 노드 메시지) v_i가 구해지고, 또한 이 메시지 v_i에 기초하여 수학식 2에 나타내는 연산(체크 노드 연산)을 행함으로써 메시지 u_j가 구해진다.

수학식 1

[0014] $$v_i = u_{0i} + \sum_{j=1}^{d_v-1} u_j$$

수학식 2

[0015] $$\tanh\left(\frac{u_j}{2}\right)=\prod_{i=1}^{d_c-1}\tanh\left(\frac{v_i}{2}\right)$$

[0016] 여기서, 수학식 1과 수학식 2에 있어서의 d_v와 d_c는, 각각 검사 행렬 H의 종 방향(열)과 횡 방향(행)의 "1"의 개수를 나타내는 임의로 선택 가능해지는 파라미터이며, 예를 들어 (3, 6) 부호의 경우에는 d_v=3, d_c=6이 된다.

[0017] 또한, 수학식 1의 변수 노드 연산, 및 수학식 2의 체크 노드 연산에 있어서는, 각각 메시지를 출력하고자 하는 가지(edge)(변수 노드와 체크 노드를 연결하는 선)로부터 입력된 메시지를, 연산의 대상으로 하지 않으므로, 연산의 범위가 1 내지 d_v-1 또는 1 내지 d_c-1로 되어 있다. 또한, 수학식 2의 체크 노드 연산은 실제로는 2 입력 v_1, v_2에 대한 1 출력으로 정의되는 수학식 3에 나타내는 함수 $R(v_1, v_2)$의 테이블을 미리 작성해 두고, 이를 수학식 4에 나타낸 바와 같이 연속적(재귀적)으로 사용함으로써 행해진다.

수학식 3

[0018] $$x=2\tanh^{-1}\{\tanh(v_1/2)\tanh(v_2/2)\}=R(v_1, v_2)$$

수학식 4

[0019] $$u_j=R(v_1, R(v_2, R(v_3, \cdots R(v_{d_c-2}, v_{d_c-1}))))$$

[0020] 스텝 S12에서는, 또한 변수 k가 "1"만큼 인크리먼트되고, 스텝 S13으로 진행한다. 스텝 S13에서는, 변수 k가 소정의 반복 복호 횟수 C보다 큰지 여부가 판정된다. 스텝 S13에 있어서, 변수 k가 C보다 크지 않다고 판정된 경우, 스텝 S12로 복귀되고, 이하, 마찬가지의 처리가 반복된다.

[0021] 또한, 스텝 S13에 있어서, 변수 k가 C보다 크다고 판정된 경우, 스텝 S14로 진행하고, 수학식 5에 나타내는 연산을 행함으로써 최종적으로 출력하는 복호 결과로서의 메시지 v_i가 구해져 출력되고, LDPC 부호의 복호 처리가 종료된다.

수학식 5

[0022] $$v_i=u_{0i}+\sum_{j=1}^{d_v}u_j$$

[0023] 여기서, 수학식 5의 연산은, 수학식 1의 변수 노드 연산과는 달리, 변수 노드에 접속하고 있는 모든 가지로부터의 메시지 u_j를 사용하여 행해진다.

[0024] 도 3은 (3, 6) LDPC 부호(부호화율 1/2, 부호 길이 12)의 검사 행렬 H의 예를 나타내고 있다.

[0025] 도 3의 검사 행렬 H에서는, 도 1과 마찬가지로, 열의 가중치가 3으로, 행의 가중치가 6으로, 각각 되어 있다.

[0026] 도 4는 도 3의 검사 행렬 H의 타너 그래프를 도시하고 있다.

[0027] 여기서, 도 4에 있어서, "+"로 나타내어지는 것이 체크 노드이며, "="로 나타내어지는 것이 변수 노드이다. 체크 노드와 변수 노드는 각각 검사 행렬 H의 행과 열에 대응한다. 체크 노드와 변수 노드와의 사이의 결선은 가지(edge)이며, 검사 행렬의 요소의 "1"에 상당한다.

[0028] 즉, 검사 행렬의 제j행 제i열의 요소가 1인 경우에는, 도 4에 있어서, 위로부터 i번째의 변수 노드("="의 노

드)와, 위로부터 j번째의 체크 노드("+"의 노드)가 가지에 의해 접속된다. 가지는 변수 노드에 대응하는 부호 비트가 체크 노드에 대응하는 구속 조건을 갖는 것을 나타낸다.

[0029] LDPC 부호의 복호 방법인 섬 프로덕트 알고리즘(Sum Product Algorithm)에 의해서는 변수 노드 연산과 체크 노드 연산이 반복해서 행해진다.

[0030] 도 5는 변수 노드에서 행해지는 변수 노드 연산을 나타내고 있다.

[0031] 변수 노드에서는, 계산하려고 하고 있는 가지에 대응하는 메시지 v_i는 변수 노드에 연결되어 있는 나머지 가지로부터의 메시지 u_1 및 u_2와, 수신값 u_{0i}를 사용한 수학식 1의 변수 노드 연산에 의해 구해진다. 다른 가지에 대응하는 메시지도 마찬가지로 구해진다.

[0032] 도 6은 체크 노드에서 행해지는 체크 노드 연산을 나타내고 있다.

[0033] 여기서, 수학식 2의 체크 노드 연산은 식 $a\times b=\exp\{\ln(|a|)+\ln(|b|)\}\times sign(a)\times sign(b)$의 관계를 이용하여, 수학식 6으로 재기입할 수 있다. 단, sign(x)은 $x\geq 0$일 때 1이며, $x<0$일 때 -1이다.

수학식 6

$$
\begin{aligned}
u_j &= 2\tanh^{-1}\left(\prod_{i=1}^{d_c-1}\tanh\left(\frac{v_i}{2}\right)\right)\\
&= 2\tanh^{-1}\left[\exp\left\{\sum_{i=1}^{d_c-1}\ln\left(\left|\tanh\left(\frac{v_i}{2}\right)\right|\right)\right\}\times\prod_{i=1}^{d_c-1}sign\left(\tanh\left(\frac{v_i}{2}\right)\right)\right]\\
&= 2\tanh^{-1}\left[\exp\left\{-\left(\sum_{i=1}^{d_c-1}-\ln\left(\tanh\left(\frac{|v_i|}{2}\right)\right)\right)\right\}\right]\times\prod_{i=1}^{d_c-1}sign(v_i)
\end{aligned}
$$

[0034]

[0035] 또한, $x\geq 0$에 있어서, 함수 $\phi(x)$를, 식 $\phi(x)=\ln(\tanh(x/2))$로 정의하면, 식 $\phi^{-1}(x)=2\tanh^{-1}(e^{-x})$이 성립하므로, 수학식 6은 수학식 7로 변형할 수 있다.

수학식 7

$$
u_j=\phi^{-1}\left(\sum_{i=1}^{d_c-1}\phi(|v_i|)\right)\times\prod_{i=1}^{d_c-1}sign(v_i)
$$

[0036]

[0037] 체크 노드에서는 수학식 2의 체크 노드 연산이 수학식 7에 따라서 행해진다.

[0038] 즉, 체크 노드에서는, 도 6과 같이, 계산하려고 하고 있는 가지에 대응하는 메시지 u_j는 체크 노드에 연결되어 있는 나머지 가지로부터의 메시지 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5를 사용한 수학식 7의 체크 노드 연산에 의해 구해진다. 다른 가지에 대응하는 메시지도 마찬가지로 구해진다.

[0039] 또한, 수학식 7의 함수 $\phi(x)$는 $\phi(x)=\ln((e^x+1)/(e^x-1))$로도 나타낼 수 있고, $x>0$에 있어서, $\phi(x)=\phi^{-1}(x)$이다. 함수 $\phi(x)$ 및 $\phi^{-1}(x)$을 하드웨어에 실장할 때는, LUT(Look Up Table)를 사용하여 실장되는 경우가 있지만, 양자 모두 동일한 LUT가 된다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0040] (비특허문헌 0001) DVB-S.2: ETSI EN 302 307 V1.1.2(2006-06)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0041] LDPC 부호는 위성 디지털 방송의 규격인 DVB-S.2나, 차세대의 지상 디지털 방송의 규격인 DVB-T.2로 채용되어 있다. 또한, LDPC 부호는 차세대의 CATV(Cable Television) 디지털 방송의 규격인 DVB-C.2에서의 채용이 예정되어 있다.

[0042] DVB-S.2 등의 DVB의 규격에 준거한 디지털 방송에서는, LDPC 부호가 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 등의 직교 변조(디지털 변조)의 심볼로 되고(심볼화되고), 그 심볼이 신호점에 맵핑되어 송신된다.

[0043] LDPC 부호의 심볼화에서는, LDPC 부호의 부호 비트의 교체가 2비트 이상의 부호 비트 단위로 행해지고, 그 교체 후의 부호 비트가 심볼의 비트로 된다.

[0044] LDPC 부호의 심볼화를 위한, 부호 비트의 교체의 방식으로서는, 다양한 방식으로 제안되어 있지만, 이미 제안되어 있는 방식보다도, 에러에 대한 내성이 더욱 향상되는 방식의 제안이 요청되고 있다.

[0045] 또한, LDPC 부호 자체에 대해서도, DVB-S.2 등의 DVB의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호보다도, 에러에 대한 내성을 향상시키는 LDPC 부호의 제안이 요청되고 있다.

[0046] 본 발명은, 이러한 상황을 감안하여 이루어진 것이며, 에러에 대한 내성을 향상시킬 수 있도록 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0047] 본 발명의 제1 측면의 데이터 처리 장치, 또는 데이터 처리 방법은, 부호 길이가 N비트인 LDPC(Low Density Parity Check) 부호의 부호 비트를 로우 방향과 칼럼 방향으로 기억하는 기억 수단의 상기 칼럼 방향으로 기입되고, 상기 로우 방향으로 판독되는 상기 LDPC 부호의 부호 비트의 m비트가 1개의 심볼로 되고, 또한 소정의 양의 정수를 b로 하고, 상기 기억 수단은, 상기 로우 방향으로 mb비트를 기억함과 함께, 상기 칼럼 방향으로 N/(mb)비트를 기억하고, 상기 LDPC 부호의 부호 비트는, 상기 기억 수단의 상기 칼럼 방향으로 기입되고, 그 후, 상기 로우 방향으로 판독되고, 상기 기억 수단의 상기 로우 방향으로 판독되는 mb비트의 부호 비트가 b개인 상기 심볼로 되는 경우에 상기 mb비트의 부호 비트를 교체하여, 교체 후의 부호 비트를, 상기 심볼을 나타내는 심볼 비트로 하는 교체 수단, 또는 교체 스텝을 구비하고, 상기 LDPC 부호는, DVB-S.2 또는 DVB-T.2의 규격으로 규정된, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 상기 m비트가 8비트이고, 또한 상기 정수 b가 2이며, 상기 부호 비트의 8비트가, 1개의 상기 심볼로서, 256QAM으로 정하는 256개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑되고, 상기 기억 수단이, 로우 방향으로 8×2비트를 기억하는 16개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(8×2)비트를 기억하고, 상기 기억 수단의 로우 방향으로 판독되는 8×2비트의 부호 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 비트 b_i로 함과 함께, 연속하는 2개의 상기 심볼의 8×2비트의 심볼 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 비트 y_i로 하여, 비트 b_0을 비트 y_{15}에, 비트 b_1을 비트 y_7에, 비트 b_2를 비트 y_1에, 비트 b_3을 비트 y_5에, 비트 b_4를 비트 y_6에, 비트 b_5를 비트 y_{13}에, 비트 b_6을 비트 y_{11}에, 비트 b_7을 비트 y_9에, 비트 b_8을 비트 y_8에, 비트 b_9를 비트 y_{14}에, 비트 b_{10}을 비트 y_{12}에, 비트 b_{11}을 비트 y_3에, 비트 b_{12}를 비트 y_0에, 비트 b_{13}을 비트 y_{10}에, 비트 b_{14}를 비트 y_4에, 비트 b_{15}를 비트 y_2에, 각각 할당하는 교체를 행하는 데이터 처리 장치, 또는 데이터 처리 방법이다.

[0048] 이상과 같은 제1 측면에 있어서는, LDPC 부호가, DVB-S.2 또는 DVB-T.2의 규격으로 규정된, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 상기 m비트가 8비트이고, 또한, 상기 정수 b가 2이며, 상기 부호 비트의 8비트가, 1개의 상기 심볼로서, 256QAM으로 정하는 256개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑되고, 상기 기억 수단이, 로우 방향으로 8×2비트를 기억하는 16개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(8×2)비트를 기억하는 경우에 있어서, 상기 기억 수단의 로우 방향으로 판독되는 8×2비트의 부호 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 비트 b_i로 함과 함께, 연속하는 2개의 상기 심볼의 8×2비트의 심볼 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 비트 y_i로 하여, 비트 b_0을 비트 y_{15}에, 비트 b_1을 비트 y_7에, 비트 b_2를 비트 y_1에, 비트 b_3을 비트 y_5에,

비트 b_4를 비트 y_6에, 비트 b_5를 비트 y_{13}에, 비트 b_6을 비트 y_{11}에, 비트 b_7을 비트 y_9에, 비트 b_8을 비트 y_8에, 비트 b_9를 비트 y_{14}에, 비트 b_{10}을 비트 y_{12}에, 비트 b_{11}을 비트 y_3에, 비트 b_{12}를 비트 y_0에, 비트 b_{13}을 비트 y_{10}에, 비트 b_{14}를 비트 y_4에, 비트 b_{15}를 비트 y_2에, 각각 할당하는 교체가 행해진다.

[0049] 본 발명의 제2 측면의 부호화 장치, 또는 부호화 방법은, 부호 길이가 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호에 의한 부호화를 행하는 부호화 수단, 또는 스텝을 구비하고, 상기 LDPC 부호의 검사 행렬은, 그 검사 행렬의, 상기 부호 길이, 및 상기 부호화율에 따른 정보 길이에 대응하는 정보 행렬의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 상기 정보 행렬의 1의 요소를, 열 방향으로 360열마다의 주기로 배치하여 구성되고, 상기 검사 행렬 초기값 테이블은,

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039

1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379

127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002

2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393

1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325

706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335

4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20748

412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860

777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419

4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938

2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025

1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920

856 1690 12787

6532 7357 9151

4210 16615 18152

11494 14036 17470

2474 10291 10323

[0050] 1778 6973 10739

4347 9570 18748

2189 11942 20666

3868 7526 17706

8780 14796 18268

160 16232 17399

1285 2003 18922

4658 17331 20361

2765 4862 5875

4565 5521 8759

3484 7305 15829

5024 17730 17879

7031 12346 15024

179 6365 11352

2490 3143 5098

2643 3101 21259

4315 4724 13130

594 17365 18322

5983 8597 9627

10837 15102 20876

10448 20418 21478

3848 12029 15228

708 5652 13146

5998 7534 16117

2098 13201 18317

9186 14548 17776

5246 10398 18597

3083 4944 21021

13726 18495 19921

[0051]

6736 10811 17545

10084 12411 14432

1064 13555 17033

679 9878 13547

3422 9910 20194

3640 3701 10046

5862 10134 11498

5923 9580 15060

1073 3012 16427

5527 20113 20883

7058 12924 15151

9764 12230 17375

772 7711 12723

555 13816 15376

10574 11268 17932

15442 17266 20482

390 3371 8781

10512 12216 17180

4309 14068 15783

3971 11673 20009

9259 14270 17199

2947 5852 20101

3965 9722 15363

1429 5689 16771

6101 6849 12781

3676 9347 18761

350 11659 18342

[0052] 5961 14803 16123

2113 9163 13443

2155 9808 12885

2861 7988 11031

7309 9220 20745

6834 8742 11977

2133 12908 14704

10170 13809 18153

13464 14787 14975

799 1107 3789

3571 8176 10165

5433 13446 15481

3351 6767 12840

8950 8974 11650

1430 4250 21332

6283 10628 15050

8632 14404 16916

6509 10702 16278

15900 16395 17995

8031 18420 19733

3747 4634 17087

4453 6297 16262

2792 3513 17031

14846 20893 21563

17220 20436 21337

275 4107 10497

3536 7520 10027

14089 14943 19455

1965 3931 21104

[0053]

2439 11565 17932

154 15279 21414

10017 11269 16546

7169 10161 16928

10284 16791 20655

36 3175 8475

2605 16269 19290

8947 9178 15420

5687 9156 12408

8096 9738 14711

4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

[0054]

[0055] 로 이루어지는 부호화 장치, 또는 부호화 방법이다.

[0056] 이상과 같은 제2 측면에 있어서는, 부호 길이가 64800비트이며, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호에 의한 부호화가 행해진다. 상기 LDPC 부호의 검사 행렬은, 그 검사 행렬의, 상기 부호 길이, 및 상기 부호화율에 따른 정보 길이에 대응하는 정보 행렬의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 상기 정보 행렬의 1의 요소를, 열 방향으로 360열마다의 주기로 배치하여 구성되고, 상기 검사 행렬 초기값 테이블은,

[0057] 317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039

1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379

127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002

2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393

1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325

706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335

4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20748

412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860

777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419

4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938

2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025

1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920

856 1690 12787

6532 7357 9151

4210 16615 18152

11494 14036 17470

2474 10291 10323

1778 6973 10739

4347 9570 18748

2189 11942 20666

3868 7526 17706

8780 14796 18268

160 16232 17399

1285 2003 18922

4658 17331 20361

2765 4862 5875

4565 5521 8759

[0058] 3484 7305 15829

5024 17730 17879

7031 12346 15024

179 6365 11352

2490 3143 5098

2643 3101 21259

4315 4724 13130

594 17365 18322

5983 8597 9627

10837 15102 20876

10448 20418 21478

3848 12029 15228

708 5652 13146

5998 7534 16117

2098 13201 18317

9186 14548 17776

5246 10398 18597

3083 4944 21021

13726 18495 19921

6736 10811 17545

10084 12411 14432

1064 13555 17033

679 9878 13547

3422 9910 20194

3640 3701 10046

5862 10134 11498

5923 9580 15060

1073 3012 16427

[0059] 5527 20113 20883

7058 12924 15151

9764 12230 17375

772 7711 12723

555 13816 15376

10574 11268 17932

15442 17266 20482

390 3371 8781

10512 12216 17180

4309 14068 15783

3971 11673 20009

9259 14270 17199

2947 5852 20101

3965 9722 15363

1429 5689 16771

6101 6849 12781

3676 9347 18761

350 11659 18342

5961 14803 16123

2113 9163 13443

2155 9808 12885

2861 7988 11031

7309 9220 20745

6834 8742 11977

2133 12908 14704

10170 13809 18153

13464 14787 14975

799 1107 3789

[0060] 3571 8176 10165

5433 13446 15481
3351 6767 12840
8950 8974 11650
1430 4250 21332
6283 10628 15050
8632 14404 16916
6509 10702 16278
15900 16395 17995
8031 18420 19733
3747 4634 17087
4453 6297 16262
2792 3513 17031
14846 20893 21563
17220 20436 21337
275 4107 10497
3536 7520 10027
14089 14943 19455
1965 3931 21104
2439 11565 17932
154 15279 21414
10017 11269 16546
7169 10161 16928
10284 16791 20655
36 3175 8475
2605 16269 19290
8947 9178 15420
5687 9156 12408

[0061] 8096 9738 14711

4935 8093 19266
2667 10062 15972
6389 11318 14417
8800 18137 18434
5824 5927 15314
6056 13168 15179
3284 13138 18919

[0062] 13115 17259 17332

[0063] 로 이루어진다.

[0064] 또한, 데이터 처리 장치는 독립된 장치이어도 좋고, 1개의 장치를 구성하고 있는 내부 블록이어도 좋다.

발명의 효과

[0065] 본 발명에 따르면, 에러에 대한 내성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0066] 도 1은 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.

도 2는 LDPC 부호의 복호 수순을 설명하는 흐름도이다.

도 3은 LDPC 부호의 검사 행렬의 예를 나타내는 도면이다.

도 4는 검사 행렬의 타너 그래프를 도시하는 도면이다.

도 5는 변수 노드를 도시하는 도면이다.

도 6은 체크 노드를 도시하는 도면이다.

도 7은 본 발명을 적용한 전송 시스템의 일 실시 형태의 구성예를 도시하는 도면이다.

도 8은 송신 장치(11)의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 9는 검사 행렬을 나타내는 도면이다.

도 10은 패리티 행렬을 나타내는 도면이다.

도 11은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬과 열 가중치를 나타내는 도면이다.

도 12는 16QAM의 신호점 배치를 도시하는 도면이다.

도 13은 64QAM의 신호점 배치를 도시하는 도면이다.

도 14는 64QAM의 신호점 배치를 도시하는 도면이다.

도 15는 64QAM의 신호점 배치를 도시하는 도면이다.

도 16은 디멀티플렉서(25)의 처리를 설명하는 도면이다.

도 17은 디멀티플렉서(25)의 처리를 설명하는 도면이다.

도 18은 LDPC 부호의 복호에 대한 타너 그래프를 도시하는 도면이다.

도 19는 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T와, 그 패리티 행렬 H_T에 대응하는 타너 그래프를 도시하는 도면이다.

도 20은 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T를 나타내는 도면이다.

도 21은 변환 검사 행렬을 나타내는 도면이다.

도 22는 칼럼 트위스트 인터리버(24)의 처리를 설명하는 도면이다.

도 23은 칼럼 트위스트 인터리브에 필요한 메모리(31)의 칼럼수와, 기입 개시의 위치의 어드레스를 도시하는 도면이다.

도 24는 칼럼 트위스트 인터리브에 필요한 메모리(31)의 칼럼수와, 기입 개시의 위치의 어드레스를 도시하는 도면이다.

도 25는 송신 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 26은 시뮬레이션에 의해 채용한 통신로의 모델을 도시하는 도면이다.

도 27은 시뮬레이션에 의해 얻어진 에러 레이트와, 플러터의 도플러 주파수 f_d와의 관계를 나타내는 도면이다.

도 28은 시뮬레이션에 의해 얻어진 에러 레이트와, 플러터의 도플러 주파수 f_d와의 관계를 나타내는 도면이다.

도 29는 LDPC 부호화부(21)의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 30은 LDPC 부호화부(21)의 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 31은 부호화율 2/3, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 32는 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 33은 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 34는 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 35는 부호화율 3/4, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 36은 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 37은 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 38은 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 39는 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 40은 부호화율 4/5, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 41은 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 42는 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 43은 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 44는 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 45는 부호화율 5/6, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 46은 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 47은 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 48은 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 49는 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 50은 부호화율 8/9, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 51은 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 52는 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 53은 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 54는 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 55는 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 56은 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 57은 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 58은 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 59는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H를 구하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 60은 현행 방식의 교체 처리를 설명하는 도면이다.

도 61은 현행 방식의 교체 처리를 설명하는 도면이다.

도 62는 부호 길이 64800, 부호화율 2/3의 LDPC 부호를 256QAM으로 변조하고, 배수 b가 2인 경우의, 부호 비트 그룹과 심볼 비트 그룹을 도시하는 도면이다.

도 63은 부호 길이 64800, 부호화율 2/3의 LDPC 부호를 256QAM으로 변조하고, 배수 b가 2인 경우의, 할당 룰을

도시하는 도면이다.

도 64는 부호 길이 64800, 부호화율 2/3의 LDPC 부호를 256QAM으로 변조하고, 배수 b가 2인 경우의, 할당해 룰에 따른 부호 비트의 교체를 도시하는 도면이다.

도 65는 신 교체 방식의 교체 처리를 행한 경우와, 현행 방식의 교체 처리를 행한 경우의 BER을 도시하는 도면이다.

도 66은 성능 임계값으로서의 E_b/N_0이 규격 부호보다 좋은 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 67은 성능 임계값으로서의 E_b/N_0이 규격 부호보다 좋은 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 68은 성능 임계값으로서의 E_b/N_0이 규격 부호보다 좋은 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 69는 규격 부호, 및 제안 부호에 대한, E_s/N_0과 BER의 관계를 나타내는 도면이다.

도 70은 수신 장치(12)의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 71은 수신 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 72는 LDPC 부호의 검사 행렬의 예를 나타내는 도면이다.

도 73은 검사 행렬에 행 치환과 열 치환을 실시한 행렬(변환 검사 행렬)을 나타내는 도면이다.

도 74는 5×5 단위로 분할한 변환 검사 행렬을 나타내는 도면이다.

도 75는 노드 연산을 P개 통합하여 행하는 복호 장치의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 76은 LDPC 복호부(56)의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 77은 본 발명을 적용한 컴퓨터의 일 실시 형태의 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 78은 부호화율 2/3, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 79는 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 80은 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 81은 부호화율 2/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 82는 부호화율 3/4, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 83은 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 84는 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 85는 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 86은 부호화율 3/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 87은 부호화율 4/5, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 88은 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 89는 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 90은 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 91은 부호화율 4/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 92는 부호화율 5/6, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 93은 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 94는 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 95는 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 96은 부호화율 5/6, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 97은 부호화율 8/9, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 98은 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 99는 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 100은 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 101은 부호화율 8/9, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 102는 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 103은 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 104는 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 105는 부호화율 9/10, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 106은 부호화율 1/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 107은 부호화율 1/4, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 108은 부호화율 1/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 109는 부호화율 1/3, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 110은 부호화율 2/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 111은 부호화율 2/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 112는 부호화율 1/2, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 113은 부호화율 1/2, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 114는 부호화율 1/2, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 115는 부호화율 3/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 116은 부호화율 3/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 117은 부호화율 3/5, 부호 길이 64800의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 118은 부호화율 1/4, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 119는 부호화율 1/3, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 120은 부호화율 2/5, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 121은 부호화율 1/2, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 122는 부호화율 3/5, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 123은 부호화율 3/5, 부호 길이 16200의 검사 행렬 초기값 테이블의 다른 예를 나타내는 도면이다.

도 124는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H를 구하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 125는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 126은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 127은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 128은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 129는 BER의 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면이다.

도 130은 BER의 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면이다.

도 131은 BER의 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면이다.

도 132는 BER의 시뮬레이션 결과를 도시하는 도면이다.

도 133은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 134는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 135는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 136은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 137은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 138은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 139는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 140은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 141은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 142는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 143은 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 144는 부호 비트의 교체의 예를 도시하는 도면이다.

도 145는 디인터리버(53)를 구성하는 멀티플렉서(54)의 처리를 설명하는 도면이다.

도 146은 칼럼 트위스트 디인터리버(55)의 처리를 설명하는 도면이다.

도 147은 수신 장치(12)의 다른 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 148은 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제1 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 149는 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제2 구성예를 도시하는 블록도이다.

도 150은 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제3 구성예를 도시하는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0067] 도 7은 본 발명을 적용한 전송 시스템(시스템이라 함은, 복수의 장치가 논리적으로 집합한 것을 말하고, 각 구성의 장치가 동일 하우징 내에 있는지 여부는 관계없음)의 일 실시 형태의 구성예를 도시하고 있다.

[0068] 도 7에 있어서, 전송 시스템은 송신 장치(11)와 수신 장치(12)로 구성된다.

[0069] 송신 장치(11)는, 예를 들어 텔레비전 방송 프로그램의 송신(방송)(전송)을 행한다. 즉, 송신 장치(11)는, 예를 들어 텔레비전 방송 프로그램으로서의 화상 데이터나 음성 데이터 등의, 송신의 대상인 대상 데이터를 LDPC 부호로 부호화하고, 예를 들어 위성 회선이나, 지상파, CATV망, 인터넷 등의 네트워크 등의 통신로(13)를 통해 송신한다.

[0070] 수신 장치(12)는, 예를 들어 텔레비전 방송 프로그램을 수신하는 튜너나, 텔레비전 수상기, STB(Set Top Box), IPTV(Internet Protocol Television)를 수신하는 PC(Personal Computer) 등이며, 송신 장치(11)로부터 통신로(13)를 통해 송신되어 오는 LDPC 부호를 수신하고, 대상 데이터로 복호하여 출력한다.

[0071] 여기서, 도 7의 전송 시스템에서 사용되는 LDPC 부호는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 통신로에서 매우 높은 능력을 발휘하는 것이 알려져 있다.

[0072] 그러나, 지상파 등의 통신로(13)에서는, 버스트(burst) 오류나 이레이저(erasure)를 발생시키는 경우가 있다. 예를 들어, OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템에서는 D/U(Desired to Undesired Ratio)가 0dB(Undesired=echo의 파워가 Desired=메인 패스의 파워와 동등함)의 멀티패스 환경에 있어서, 에코(echo)(메인 패스 이외의 패스)의 지연(delay)에 따라서 특정 심볼의 파워가 0으로 되어 버리는(erasure) 경우가 있다.

[0073] 또한, 플러터(flutter)(지연이 0이고 도플러(doppler) 주파수를 갖는 echo가 가산되는 통신로)에서도, D/U가 0dB인 경우에는, 도플러 주파수에 의해 특정 시각의 OFDM의 심볼 전체의 파워가 0이 되는(erasure) 경우가 발생한다.

[0074] 또한, 수신 장치(12)측의, 송신 장치(11)로부터의 신호를 수신하는 안테나 등의 수신부(도시하지 않음)로부터 수신 장치(12)까지의 배선의 상황이나, 수신 장치(12)의 전원의 불안정성에 의해 버스트 오류가 발생하는 경우가 있다.

[0075] 한편, LDPC 부호의 복호에 있어서는, 검사 행렬 H의 열, 나아가서는, LDPC 부호의 부호 비트에 대응하는 변수 노드에 있어서, 전술한 도 5에 나타낸 바와 같이 LDPC 부호의 부호 비트(의 수신값 u_{0i})의 가산을 수반하는 수학식 1의 변수 노드 연산이 행해지므로, 그 변수 노드 연산에 사용되는 부호 비트에 에러가 발생하면, 구해지는 메시지의 정밀도가 저하된다.

[0076] 그리고, LDPC 부호의 복호에서는, 체크 노드에 있어서, 그 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드에서 구해지는 메시지를 사용하여, 수학식 7의 체크 노드 연산이 행해지므로, 연결되어 있는 복수의 변수 노드(에 대응하는 LDPC 부호의 부호 비트)가 동시에 에러(이레이저를 포함함)로 되는 체크 노드의 수가 많아지면, 복호의 성능이 열화된다.

[0077] 즉, 예를 들어 체크 노드는 그 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드의 2개 이상이 동시에 이레이저가 되면, 전체 변수 노드로 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를 복귀시킨다. 이 경우, 등확률인 메시지를 복귀시키는 체크 노드는 1회의 복호 처리(1세트의 변수 노드 연산 및 체크 노드 연산)에 기여하지 않게 되고, 그 결과, 복호 처리의 반복 횟수를 많이 필요로 하게 되어, 복호의 성능이 열화되고, 또한 LDPC 부호의 복호를 행하는 수신 장치(12)의 소비 전력이 증대한다.

[0078] 따라서, 도 7의 전송 시스템에서는, AWGN 통신로에서의 성능을 유지하면서, 버스트 오류나 이레이저에의 내성을 향상시키도록 되어 있다.

[0079] 도 8은 도 7의 송신 장치(11)의 구성예를 도시하고 있다.

[0080] 도 8에 있어서, 송신 장치(11)는 LDPC 부호화부(21), 비트 인터리버(22), 맵핑부(26), 및 직교 변조부(27)로 구성된다.

[0081] LDPC 부호화부(21)에는 대상 데이터가 공급된다.

[0082] LDPC 부호화부(21)는 그에 공급되는 대상 데이터에 대해, LDPC 부호의 패리티 비트에 대응하는 부분인 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬에 따른 LDPC 부호화를 행하고, 대상 데이터를 정보 비트로 하는 LDPC 부호를 출력한다.

[0083] 즉, LDPC 부호화부(21)는 대상 데이터를, 예를 들어 DVB-S.2, 또는 DVB-T.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호로 부호화하는 LDPC 부호화를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 출력한다.

[0084] 여기서, DVB-T.2의 규격으로는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호가 채용될 예정이다. DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호는 IRA(Irregular Repeat Accumulate) 부호이며, 그 LDPC 부호의 검사 행렬에 있어서의 패리티 행렬은 계단 구조로 되어 있다. 패리티 행렬, 및 계단 구조에 대해서는 후술한다. 또한, IRA 부호에 대해서는, 예를 들어 "Irregular Repeat-Accumulate Codes," H.Jin, A.Khandekar, and R.J.McEliece, in Proceedings of 2nd International Symposium on Turbo codes and Related Topics, pp.1-8, Sept.2000에 기재되어 있다.

[0085] LDPC 부호화부(21)가 출력하는 LDPC 부호는 비트 인터리버(22)에 공급된다.

[0086] 비트 인터리버(22)는 데이터를 인터리브하는 데이터 처리 장치이며, 패리티 인터리버(parity interleaver)(23), 칼럼 트위스트 인터리버(column twist interleaver)(24) 및 디멀티플렉서(DEMUX)(25)로 구성된다.

[0087] 패리티 인터리버(23)는 LDPC 부호화부(21)로부터의 LDPC 부호의 패리티 비트를, 다른 패리티 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브를 행하고, 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를 칼럼 트위스트 인터리버(24)에 공급한다.

[0088] 칼럼 트위스트 인터리버(24)는 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호에 대해 칼럼 트위스트 인터리브를 행하고, 그 칼럼 트위스트 인터리브 후의 LDPC 부호를 디멀티플렉서(25)에 공급한다.

[0089] 즉, LDPC 부호는, 후술하는 맵핑부(26)에 있어서, 그 LDPC 부호의 2비트 이상의 부호 비트를, 직교 변조의 1개의 심볼을 나타내는 신호점에 맵핑하여 송신된다.

[0090] 칼럼 트위스트 인터리버(24)에서는, LDPC 부호화부(21)에서 사용되는 검사 행렬의 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 LDPC 부호의 복수의 부호 비트가 1개의 심볼에 포함되지 않도록, 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호의 부호 비트를 재배열하는 재배열 처리로서, 예를 들어 후술하는 칼럼 트위스트 인터리브가 행해진다.

[0091] 디멀티플렉서(25)는 칼럼 트위스트 인터리버(24)로부터의 LDPC 부호에 대해, 심볼이 되는 LDPC 부호의 2 이상의 부호 비트의 위치를 교체하는 교체 처리를 행함으로써, AWGN에 대한 내성을 강화한 LDPC 부호를 얻는다. 그리고, 디멀티플렉서(25)는, 교체 처리에 의해 얻어지는, LDPC 부호의 2 이상의 부호 비트를 심볼로서 맵핑부(26)에 공급한다.

[0092] 맵핑부(26)는 디멀티플렉서(25)로부터의 심볼을, 직교 변조부(27)에 의해 행해지는 직교 변조(다치 변조)의 변조 방식으로 정하는 각 신호점에 맵핑한다.

[0093] 즉, 맵핑부(26)는 디멀티플렉서(25)로부터의 LDPC 부호를, 반송파와 동상의 I 성분을 나타내는 I축과, 반송파와 직교하는 Q 성분을 나타내는 Q축으로 규정되는 IQ 평면(IQ 콘스터레이션) 상의 변조 방식으로 정하는 신호점에 맵핑한다.

[0094] 여기서, 직교 변조부(27)에 의해 행해지는 직교 변조의 변조 방식으로서는, 예를 들어 DVB-T의 규격으로 규정되어 있는 변조 방식을 포함하는 변조 방식, 즉 예를 들어 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)나, 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM 등이 있다. 직교 변조부(27)에 있어서, 어느 쪽의 변조 방식에 의한 직교 변조가 행해질지는, 예를 들어 송신 장치(11)의 오퍼레이터의 조작에 따라 미리 설정된다. 또한, 직교 변조부(27)에서는, 그 외, 예를 들어 4PAM(Pulse Amplitude Modulation) 그 밖의 직교 변조를 행하는 것이 가능하다.

[0095] 맵핑부(26)에 의해 신호점에 맵핑된 심볼은 직교 변조부(27)에 공급된다.

[0096] 직교 변조부(27)는 맵핑부(26)로부터의 신호점(에 맵핑된 심볼)에 따라서 반송파의 직교 변조를 행하고, 그 결과 얻어지는 변조 신호를, 통신로(13)(도 7)를 통해 송신한다.

[0097] 다음에, 도 9는 도 8의 LDPC 부호화부(21)에서 LDPC 부호화에 사용되는 검사 행렬 H를 나타내고 있다.

[0098] 검사 행렬 H는 LDGM(Low-Density Generation Matrix) 구조로 되어 있고, LDPC 부호의 부호 비트 중, 정보 비트에 대응하는 부분의 정보 행렬 H_A와, 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬 H_T에 의해, 식 $H=[H_A|H_T]$(정보 행렬 H_A의 요소를 좌측의 요소로 하고, 패리티 행렬 H_T의 요소를 우측의 요소로 하는 행렬)로 나타낼 수 있다.

[0099] 여기서, 1개의 LDPC 부호(1 부호어)의 부호 비트 중 정보 비트의 비트수와, 패리티 비트의 비트수를, 각각 정보 길이 K와, 패리티 길이 M이라 함과 함께, 1개의 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수를 부호 길이 N(=K+M)이라 한다.

[0100] 어느 부호 길이 N의 LDPC 부호에 대한 정보 길이 K와 패리티 길이 M은 부호화율에 따라 결정된다. 또한, 검사 행렬 H는 행×열이 M×N이 행렬로 된다. 그리고, 정보 행렬 H_A는 M×K의 행렬로 되고, 패리티 행렬 H_T는 M×M의 행렬로 된다.

[0101] 도 10은 DVB-S.2(및 DVB-T.2)의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T를 나타내고 있다.

[0102] DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T는, 도 10에 나타낸 바와 같이, 1의 요소가, 말하자면 계단 형상으로 배열되는 계단 구조로 되어 있다. 패리티 행렬 H_T의 행 가중치는, 1행째에 대해서는 1로, 나머지 모든 행에 대해서는 2로 되어 있다. 또한, 열 가중치는, 최후의 1열에 대해서는 1로, 나머지 모든 열에서 2로 되어 있다.

[0103] 이상과 같이, 패리티 행렬 H_T가 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬 H의 LDPC 부호는, 그 검사 행렬 H를 사용하여 용이하게 생성할 수 있다.

[0104] 즉, LDPC 부호(1 부호어)를 행 벡터 c로 나타냄과 함께, 그 행 벡터를 전치하여 얻어지는 열 벡터를 c^T로 나타

낸다. 또한, LDPC 부호인 행 벡터 c 중, 정보 비트의 부분을 행 벡터 A로 나타냄과 함께, 패리티 비트의 부분을 행 벡터 T로 나타내는 것으로 한다.

[0105] 여기서, 이 경우, 행 벡터 c는 정보 비트로서의 행 벡터 A와, 패리티 비트로서의 행 벡터 T에 의해, 식 c=[A|T](행 벡터 A의 요소를 좌측의 요소로 하고,행 벡터 T의 요소를 우측의 요소로 하는 행 벡터)로 나타낼 수 있다.

[0106] 검사 행렬 H와, LDPC 부호로서의 행 벡터 c=[A|T]라 함은, 식 $Hc^T=0$을 만족할 필요가 있고, 이러한 식 $Hc^T=0$을 만족하는 행 벡터 c=[A|T]를 구성하는 패리티 비트로서의 행 벡터 T는 검사 행렬 $H=[H_A|H_T]$의 패리티 행렬 H_T가,

도 10에 도시한 계단 구조로 되어 있는 경우에는, 식 $Hc^T=0$에서의 열 벡터 Hc^T의 1행째의 요소부터 순서대로, 각 행의 요소를 0으로 해 가도록 함으로써, 순차적으로 구할 수 있다.

[0107] 도 11은 DVB-S.2(및 DVB-T.2)의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H와, 열 가중치를 나타내고 있다.

[0108] 즉, 도 11의 A는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 나타내고 있다.

[0109] 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX열에 대해서는, 열 가중치가 X로, 그 후의 K3열에 대해서는, 열 가중치가 3으로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로 각각 되어 있다.

[0110] 여기서, KX+K3+M-1+1은 부호 길이 N과 동일하다.

[0111] DVB-S.2의 규격에 있어서, 열수 KX, K3 및 M(패리티 길이), 및 열 가중치 X는, 도 11의 B에 나타낸 바와 같이 규정되어 있다.

[0112] 즉, 도 11의 B는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 각 부호화율에 관한, 열수 KX, K3 및 M, 및 열 가중치 X를 나타내고 있다.

[0113] DVB-S.2의 규격으로는, 64800비트와 16200비트의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있다.

[0114] 그리고, 도 11의 B에 나타낸 바와 같이, 부호 길이 N이 64800비트의 LDPC 부호에 대해서는, 11개의 부호화율(nominal rate) 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 및 9/10이 규정되어 있고, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호에 대해서는, 10개의 부호화율 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 및 8/9이 규정되어 있다.

[0115] LDPC 부호에 대해서는, 검사 행렬 H의 열 가중치가 큰 열에 대응하는 부호 비트일수록, 에러 레이트가 낮은 것이 알려져 있다.

[0116] 도 11에 나타낸, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 검사 행렬 H에서는, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있고, 따라서 그 검사 행렬 H에 대응하는 LDPC 부호에 대해서는, 선두의 부호 비트일수록, 에러에 강하고(에러에 대한 내성이 있고), 종료의 부호 비트일수록, 에러에 약한 경향이 있다.

[0117] 다음에, 도 12는 도 8의 직교 변조부(27)에서 16QAM이 행해지는 경우의 16개의 심볼(에 대응하는 신호점)의 IQ 평면 상의 배치를 도시하고 있다.

[0118] 즉, 도 12의 A는 16QAM의 심볼을 도시하고 있다.

[0119] 16QAM에서는, 1심볼은 4비트로 나타내어지고, $16(=2^4)$개의 심볼이 존재한다. 그리고, 16개의 심볼은 IQ 평면의 원점을 중심으로 하여, I 방향×Q 방향이 4×4의 정사각형 형상으로 되도록 배치되어 있다.

[0120] 현재, 1심볼이 나타내는 비트열의, 최상위 비트로부터 i+1비트째의 비트를 비트 y_i로 나타내는 것으로 하면, 16QAM의 1심볼이 나타내는 4비트는 최상위 비트부터 순서대로, 비트 y_0, y_1, y_2, y_3으로 나타낼 수 있다. 변조 방식이 16QAM인 경우에는, LDPC 부호의 부호 비트의 4비트가, 4비트 y_0 내지 y_3의 심볼(심볼값)로 (심볼화)된다.

[0121] 도 12의 B는 16QAM의 심볼이 나타내는 4비트(이하, 심볼 비트라고도 함) y_0 내지 y_3 각각에 대한 비트 경계를 도시하고 있다.

[0122] 여기서, 심볼 비트 y_i(도 12에서는, i=0, 1, 2, 3)에 대한 비트 경계라 함은, 그 심볼 비트 y_i가 0으로 되어 있

는 심볼과, 1로 되어 있는 심볼과의 경계를 의미한다.

[0123] 도 12의 B에 나타낸 바와 같이, 16QAM의 심볼이 나타내는 4 심볼 비트 y_0 내지 y_3 중 최상위의 심볼 비트 y_0에 대해서는, IQ 평면의 Q축의 1군데만이 비트 경계로 되고, 2번째(최상위 비트로부터 2번째)의 심볼 비트 y_1에 대해서는, IQ 평면의 I축의 1군데만이 비트 경계로 된다.

[0124] 또한, 3번째의 심볼 비트 y_2에 대해서는, 4×4개의 심볼 중, 좌측으로부터 1열째와 2열째 사이, 및 3열째와 4열째 사이의 2군데가 비트 경계로 된다.

[0125] 또한, 4번째의 심볼 비트 y_3에 대해서는, 4×4개의 심볼 중, 위로부터 1행째와 2행째 사이, 및 3행째와 4행째 사이의 2군데가 비트 경계로 된다.

[0126] 심볼이 나타내는 심볼 비트 y_i는, 비트 경계로부터 이격되어 있는 심볼이 많을수록 잘못되기 어렵고(에러 확률이 낮고), 비트 경계에 가까운 심볼이 많을수록 잘못되기 쉽다(에러 확률이 높음).

[0127] 현재, 잘못되기 어려운(에러에 강함) 비트를「강한 비트」라 함과 함께, 잘못되기 쉬운(에러에 약함) 비트를「약한 비트」라 하는 것으로 하면, 16QAM의 심볼의 4 심볼 비트 y_0 내지 y_3에 대해서는, 최상위의 심볼 비트 y_0 및 2번째의 심볼 비트 y_1이 강한 비트로 되어 있고, 3번째의 심볼 비트 y_2 및 4번째의 심볼 비트 y_3이 약한 비트로 되어 있다.

[0128] 도 13 내지 도 15는 도 8의 직교 변조부(27)에 의해 64QAM이 행해지는 경우의, 64개의 심볼(에 대응하는 신호점)의 IQ 평면 상의 배치를 도시하고 있다.

[0129] 64QAM에서는, 1심볼은 6비트를 나타내고, 64(=2^6)개의 심볼이 존재한다. 그리고, 64개의 심볼은 IQ 평면의 원점을 중심으로 하여, I 방향×Q 방향이 8×8인 정사각형 형상으로 되도록 배치되어 있다.

[0130] 64QAM의 1심볼의 심볼 비트는 최상위 비트부터 순서대로, 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5로 나타낼 수 있다. 변조 방식이 64QAM인 경우에는, LDPC 부호의 부호 비트의 6비트는, 6비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_5의 심볼로 된다.

[0131] 여기서, 도 13은 64QAM의 심볼의 심볼 비트 y_0 내지 y_5 중, 최상위의 심볼 비트 y_0과, 2번째의 심볼 비트 y_1 각각에 대한 비트 경계를, 도 14는 3번째의 심볼 비트 y_2와, 4번째의 심볼 비트 y_3 각각에 대한 비트 경계를, 도 15는 5번째의 심볼 비트 y_4와, 6번째의 심볼 비트 y_5 각각에 대한 비트 경계를, 각각 도시하고 있다.

[0132] 도 13에 나타낸 바와 같이, 최상위의 심볼 비트 y_0과, 2번째의 심볼 비트 y_1 각각에 대한 비트 경계는 1군데로 되어 있다. 또한, 도 14에 나타낸 바와 같이, 3번째의 심볼 비트 y_2와, 4번째의 심볼 비트 y_3 각각에 대한 비트 경계는 2군데로 되어 있고, 도 15에 나타낸 바와 같이, 5번째의 심볼 비트 y_4와, 6번째의 심볼 비트 y_5 각각에 대한 비트 경계는 4군데로 되어 있다.

[0133] 따라서, 64QAM의 심볼의 심볼 비트 y_0 내지 y_5에 대해서는, 최상위 심볼 비트 y_0 및 2번째의 심볼 비트 y_1이 강한 비트로 되어 있고, 3번째의 심볼 비트 y_2 및 4번째의 심볼 비트 y_3이 그 다음에 강한 비트로 되어 있다. 그리고, 5번째의 심볼 비트 y_4와, 6번째의 심볼 비트 y_5는 약한 비트로 되어 있다.

[0134] 도 12, 또한 도 13 내지 도 15로부터, 직교 변조의 심볼의 심볼 비트에 대해서는, 상위 비트가 강한 비트로 되고, 하위 비트가 약한 비트로 되는 경향이 있는 것을 알 수 있다.

[0135] 여기서, 도 11에서 설명한 바와 같이, LDPC 부호화부(21)(도 8)가 출력하는 LDPC 부호에 대해서는, 에러에 강한 부호 비트와, 에러에 약한 부호 비트가 있다.

[0136] 또한, 도 12 내지 도 15에서 설명한 바와 같이, 직교 변조부(27)에 의해 행해지는 직교 변조의 심볼의 심볼 비트에 대해서는, 강한 비트와 약한 비트가 있다.

[0137] 따라서, LDPC 부호의 에러에 약한 부호 비트를, 직교 변조의 심볼의 약한 심볼 비트에 할당하면, 전체적으로, 에러에 대한 내성이 저하된다.

[0138] 따라서, LDPC 부호의 에러에 약한 부호 비트를, 직교 변조의 심볼의 강한 비트(심볼 비트)에 할당하는

경향으로, LDPC 부호의 부호 비트를 인터리브하는 인터리버가 제안되어 있다.

[0139] 도 8의 디멀티플렉서(25)는 그 인터리버의 처리를 행할 수 있다.

[0140] 도 16은 도 8의 디멀티플렉서(25)의 처리를 설명하는 도면이다.

[0141] 즉, 도 16의 A는 디멀티플렉서(25)의 기능적인 구성예를 도시하고 있다.

[0142] 디멀티플렉서(25)는 메모리(31) 및 교체부(32)로 구성된다.

[0143] 메모리(31)에는 LDPC 부호화부(21)로부터의 LDPC 부호가 공급된다.

[0144] 메모리(31)는 로우(row)(횡) 방향으로 mb비트를 기억함과 함께, 칼럼(column)(종) 방향으로 N/(mb) 비트를 기억하는 기억 용량을 갖고, 거기에 공급되는 LDPC 부호의 부호 비트를 칼럼 방향으로 기입하고, 로우 방향으로 판독하여, 교체부(32)에 공급한다.

[0145] 여기서, N(=정보 길이 K+패리티 길이 M)은, 상술한 바와 같이 LDPC 부호의 부호 길이를 나타낸다.

[0146] 또한, m은 1심볼이 되는 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수를 나타내고, b는 소정의 양의 정수로, m을 정수배하는 데 사용되는 배수이다. 디멀티플렉서(25)는 상술한 바와 같이 LDPC 부호의 부호 비트를 심볼로 하지만(심볼화하지만), 배수 b는 디멀티플렉서(25)가, 말하자면 한번의 심볼화에 의해 얻는 심볼의 개수를 나타낸다.

[0147] 도 16의 A는 변조 방식이 64QAM인 경우의 디멀티플렉서(25)의 구성예를 나타내고 있고, 따라서 1심볼이 되는 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수 m은 6비트이다.

[0148] 또한, 도 16의 A에서는, 배수 b는 1로 되어 있고, 따라서 메모리(31)는 칼럼 방향×로우 방향이 N/(6×1)×(6×1)비트인 기억 용량을 갖는다.

[0149] 여기서, 메모리(31)의, 로우 방향이 1비트의, 칼럼 방향으로 연장되는 기억 영역을, 이하 적절하게 칼럼이라 한다. 도 16의 A에서는, 메모리(31)는 6(=6×1)개의 칼럼으로 구성된다.

[0150] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트를, 메모리(31)를 구성하는 칼럼 상측으로부터 하측 방향(칼럼 방향)으로 기입하는 것이, 좌측으로부터 우측 방향의 칼럼을 향하여 행해진다.

[0151] 그리고, 부호 비트의 기입이 가장 우측 칼럼의 가장 하부까지 종료되면, 메모리(31)를 구성하는 모든 칼럼의 1행째부터, 로우 방향으로, 6비트(mb비트) 단위로, 부호 비트가 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0152] 교체부(32)는 메모리(31)로부터의 6비트의 부호 비트의 위치를 교체하는 교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 6비트를 64QAM의 1심볼을 나타내는 6심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5로서 출력한다.

[0153] 즉, 메모리(31)로부터는, 로우 방향으로, mb비트(여기서는, 6비트)의 부호 비트가 판독되지만, 그 메모리(31)로부터 판독되는 mb비트의 부호 비트의, 최상위 비트로부터 i비트째를(i=0, 1,…, mb-1), 비트 b_i로 나타내는 것으로 하면, 메모리(31)로부터 로우 방향으로 판독되는 6비트의 부호 비트는 최상위 비트부터 순서대로 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5로 나타낼 수 있다.

[0154] 도 11에서 설명한 열 가중치의 관계에서, 비트 b_0의 방향에 있는 부호 비트는 에러에 강한 부호 비트로 되어 있고, 비트 b_5의 방향에 있는 부호 비트는 에러에 약한 부호 비트로 되어 있다.

[0155] 교체부(32)에서는, 메모리(31)로부터의 6비트의 부호 비트 b_0 내지 b_5 중, 에러에 약한 부호 비트가 64QAM의 1심볼의 심볼 비트 y_0 내지 y_5 중, 강한 비트에 할당되도록, 메모리(31)로부터의 6비트의 부호 비트 b_0 내지 b_5의 위치를 교체하는 교체 처리를 행할 수 있다.

[0156] 여기서, 메모리(31)로부터의 6비트의 부호 비트 b_0 내지 b_5를 어떻게 교체 하여, 64QAM의 1심볼을 나타내는 6심볼 비트 y_0 내지 y_5의 각각에 할당하는지의 교체 방식으로서는, 각 사로부터 다양한 방식이 제안되어 있다.

[0157] 도 16의 B는 제1 교체 방식을, 도 16의 C는 제2 교체 방식을, 도 16의 D는 제3 교체 방식을 각각 도시하고 있다.

[0158] 도 16의 B 내지 도 16의 D에 있어서(후술하는 도 17에 있어서도 마찬가지), 비트 b_i와 y_j를 연결하는 선분은 부

호 비트 b_i를 심볼의 심볼 비트 y_j에 할당하는(심볼 비트 y_j의 위치로 교체함) 것을 의미한다.

[0159] 제1 교체 방식으로서는, 도 16의 B의 3종류의 교체 방법 중 어느 하나를 채용하는 것이 제안되어 있고, 제2 교체 방식으로서는, 도 16의 C의 2종류의 교체 방법 중 어느 하나를 채용하는 것이 제안되어 있다.

[0160] 제3 교체 방식으로서는, 도 16의 D의 6종류의 교체 방법을 순서대로 선택하여 사용하는 것이 제안되어 있다.

[0161] 도 17은 변조 방식이 64QAM이고(따라서, 1심볼에 맵핑되는 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수 m은, 도 16과 마찬가지로 6비트임), 또한 배수 b가 2인 경우의 디멀티플렉서(25)의 구성예와, 제4 교체 방식을 도시하고 있다.

[0162] 배수 b가 2인 경우, 메모리(31)는 칼럼 방향×로우 방향이 N/(6×2)×(6×2)비트의 기억 용량을 갖고, 12(=6×2)개의 칼럼으로 구성된다.

[0163] 도 17의 A는, 메모리(31)에의 LDPC 부호의 기입순을 도시하고 있다.

[0164] 디멀티플렉서(25)에서는, 도 16에서 설명한 바와 같이, LDPC 부호의 부호 비트를, 메모리(31)를 구성하는 칼럼 상측으로부터 하측 방향(칼럼 방향)으로 기입하는 것이, 좌측으로부터 우측 방향의 칼럼을 향하여 행해진다.

[0165] 그리고, 부호 비트의 기입이 가장 우측의 칼럼의 가장 하부까지 종료되면, 메모리(31)를 구성하는 모든 칼럼의 1행째로부터, 로우 방향으로 12비트(mb비트) 단위로 부호 비트가 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0166] 교체부(32)는 메모리(31)로부터의 12비트의 부호 비트의 위치를, 제4 교체 방식으로 교체하는 교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 12비트를, 64QAM의 2심볼(b개의 심볼)을 나타내는 12비트, 즉, 64QAM의 1심볼을 나타내는 6심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5와, 다음 1심볼을 나타내는 6심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5로서 출력한다.

[0167] 여기서, 도 17의 B는 도 17의 A의 교체부(32)에 의한 교체 처리의 제4 교체 방식을 도시하고 있다.

[0168] 또한, 배수 b가 2인 경우(3 이상인 경우도 마찬가지), 교체 처리에서는, mb비트의 부호 비트가 연속하는 b개의 심볼의 mb비트의 심볼 비트에 할당된다. 도 17을 포함하여, 이하에서는 설명의 편의상, 연속하는 b개의 심볼의 mb비트의 심볼 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를, 비트(심볼 비트) y_i로 나타낸다.

[0169] 또한, 어떠한 교체 방법이 적절한지, 즉 AWGN 통신로에서의 에러 레이트를 더욱 향상시킬지는, LDPC 부호의 부호화율이나 부호 길이, 변조 방식 등에 따라 상이하다.

[0170] 다음에, 도 18 내지 도 20을 참조하여, 도 8의 패리티 인터리버(23)에 의한 패리티 인터리브에 대해 설명한다.

[0171] 도 18은 LDPC 부호의 검사 행렬의 타너 그래프(의 일부)를 도시하고 있다.

[0172] 체크 노드는, 도 18에 나타낸 바와 같이, 그 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드(에 대응하는 부호 비트)의 2개 등의 복수가 동시에 이레이저 등의 에러가 되면, 그 체크 노드에 연결되어 있는 전체 변수 노드로, 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를 복귀시킨다. 이로 인해, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 복수의 변수 노드가 동시에 이레이저 등이 되면, 복호의 성능이 열화된다.

[0173] 그런데, 도 8의 LDPC 부호화부(21)가 출력하는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호는 IRA 부호이며, 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T는, 도 10에 나타낸 바와 같이 계단 구조로 되어 있다.

[0174] 도 19는 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T와, 그 패리티 행렬 H_T에 대응하는 타너 그래프를 도시하고 있다.

[0175] 즉, 도 19의 A는 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T를 나타내고 있고, 도 19의 B는 도 19의 A의 패리티 행렬 H_T에 대응하는 타너 그래프를 도시하고 있다.

[0176] 패리티 행렬 H_T가 계단 구조로 되어 있는 경우, 그 패리티 행렬 H_T의 타너 그래프에 있어서, LDPC 부호의, 패리티 행렬 H_T의 값이 1로 되어 있는 요소의 열에 대응하는, 인접하는 부호 비트(패리티 비트)를 사용하여 메시지가 구해지는 변수 노드는 동일한 체크 노드에 연결되어 있다.

[0177] 따라서, 버스트 오류나 이레이저 등에 의해, 상술한 인접하는 패리티 비트가 동시에 에러로 되면, 그 에러로 된 복수의 패리티 비트 각각에 대응하는 복수의 변수 노드(패리티 비트를 사용하여 메시지를 구하는 변수 노드)에 연결되어 있는 체크 노드는 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를, 그 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드로 복귀시키므로 복호의 성능이 열화된다. 그리고, 버스트 길이(버스트에 의해 에러로 되는 비트수)가

큰 경우에는, 복호의 성능은 더욱 열화된다.

[0178] 따라서, 패리티 인터리버(23)(도 8)는 상술한 복호의 성능의 열화를 방지하기 위해, LDPC 부호화부(21)로부터의, LDPC 부호의 패리티 비트를, 다른 패리티 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브를 행한다.

[0179] 도 20은, 도 8의 패리티 인터리버(23)가 행하는 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T를 나타내고 있다.

[0180] 여기서, LDPC 부호화부(21)가 출력하는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H의 정보 행렬 H_A는, 순회 구조로 되어 있다.

[0181] 순회 구조라 함은 어느 열이 다른 열을 사이클릭 시프트(로테이션)한 것과 일치하고 있는 구조를 말하고, 예를 들어 P열마다, 그 P열의 각 행의 1의 위치가 그 P열의 최초의 열을, 패리티 길이 M을 제산하여 얻어지는 값 q에 비례하는 값만큼, 열 방향으로 사이클릭 시프트한 위치로 되어 있는 구조도 포함된다. 이하, 적절하게 순회 구조에 있어서의 P열을 순회 구조의 단위의 열수라 한다.

[0182] LDPC 부호화부(21)가 출력하는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호로서는, 도 11에서 설명한 바와 같이, 부호 길이 N이 64800비트와 16200비트인, 2종류의 LDPC 부호가 있다.

[0183] 현재, 부호 길이 N이 64800비트와 16200비트인 2종류의 LDPC 부호 중, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호에 주목하면, 그 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호의 부호화율은, 도 11에서 설명한 바와 같이 11개 있다.

[0184] 이 11개의 부호화율 각각의, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호에 대해서는, 어느 것에 대해서도, DVB-S.2의 규격으로는, 순회 구조의 단위의 열수 P가, 패리티 길이 M의 약수 중, 1과 M을 제외한 약수 중 하나인 360으로 규정되어 있다.

[0185] 또한, 11개의 부호화율 각각의, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호에 대해서는, 패리티 길이 M은, 부호화율에 따라 다른 값 q를 사용하여, 식 $M=q\times P=q\times 360$으로 나타내어지는 소수 이외의 값으로 되어 있다. 따라서, 값 q도, 순회 구조의 단위의 열수 P와 마찬가지로, 패리티 길이 M의 약수 중, 1과 M을 제외한 약수 중 다른 하나이며, 패리티 길이 M을 순회 구조의 단위의 열수 P로 제산함으로써 얻어진다(패리티 길이 M의 약수인 P 및 q의 곱은 패리티 길이 M이 됨).

[0186] 패리티 인터리버(23)는, 상술한 바와 같이, 정보 길이를 K로 하고, 또한 0 이상 P 미만의 정수를 x로 함과 함께, 0 이상 q 미만의 정수를 y로 하면, 패리티 인터리브로서, LDPC 부호화부(21)로부터의 LDPC 부호의 K+1 내지 K+M(=N)번째의 부호 비트인 패리티 비트 중, K+qx+y+1번째의 부호 비트를, K+Py+x+1번째의 부호 비트의 위치에 인터리브한다.

[0187] 이러한 패리티 인터리브에 의하면, 동일한 체크 노드에 연결되는 변수 노드(에 대응하는 패리티 비트)가, 순회 구조의 단위의 열수 P, 즉 여기서는, 360비트만큼 이격되므로, 버스트 길이가 360비트 미만인 경우에는, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드의 복수가 동시에 에러로 되는 사태를 피할 수 있고, 그 결과, 버스트 오류에 대한 내성을 개선할 수 있다.

[0188] 또한, K+qx+y+1번째의 부호 비트를 K+Py+x+1번째의 부호 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호는 원래의 검사 행렬 H의, K+qx+y+1번째의 열을 K+Py+x+1번째의 열로 치환하는 열 치환을 행하여 얻어지는 검사 행렬(이하, 변환 검사 행렬이라고도 함)의 LDPC 부호에 일치한다.

[0189] 또한, 변환 검사 행렬의 패리티 행렬에는, 도 20에 나타낸 바와 같이 P열(도 20에서는, 360열)을 단위로 하는 의사 순회 구조가 나타난다.

[0190] 여기서, 의사 순회 구조라 함은, 일부를 제외한 부분이 순회 구조로 되어 있는 구조를 의미한다. DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 실시하여 얻어지는 변환 검사 행렬은 그 우측 코너 부분의 360행×360열의 부분(후술하는 시프트 행렬)에, 1의 요소가 1개만큼 모자라고(0의 요소로 되어 있고), 그로 인해 (완전한)순회 구조가 아닌, 의사 순회 구조가 되어 있다.

[0191] 또한, 도 20의 변환 검사 행렬은, 원래의 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환 외에, 변환 검사 행렬이 후술하는 구성 행렬로 구성되도록 하기 위한 행의 치환(행 치환)도 실시된 행렬로 되어 있다.

[0192] 다음에, 도 21 내지 도 24를 참조하여, 도 8의 칼럼 트위스트 인터리버(24)에 의한 재배열 처리로서의 칼럼 트

위스트 인터리브에 대하여 설명한다.

[0193] 도 8의 송신 장치(11)에서는, 주파수의 이용 효율의 향상을 위해, 상술한 바와 같이 LDPC 부호의 부호 비트의 2비트 이상을 1개의 심볼로서 송신한다. 즉, 예를 들어 부호 비트의 2비트를 1개의 심볼로 하는 경우에는, 변조 방식으로서, 예를 들어 QPSK가 사용되고, 부호 비트의 4비트를 1개의 심볼로 하는 경우에는, 변조 방식으로서, 예를 들어 16QAM이 사용된다.

[0194] 이와 같이, 부호 비트의 2비트 이상을, 1개의 심볼로서 송신하는 경우, 어느 심볼에 이레이저 등이 발생하면, 그 심볼의 (심볼 비트에 할당된) 부호 비트는 모두 에러(이레이저)로 된다.

[0195] 따라서, 복호의 성능을 향상시키기 위해, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 변수 노드(에 대응하는 부호 비트)의 복수가 동시에 이레이저로 될 확률을 저하시키기 위해서는, 1개의 심볼의 부호 비트에 대응하는 변수 노드가 동일한 체크 노드에 연결되는 것을 피할 필요가 있다.

[0196] 한편, 상술한 바와 같이, LDPC 부호화부(21)가 출력하는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H에서는, 정보 행렬 H_A가 순회 구조를 갖고, 패리티 행렬 H_T가 계단 구조를 갖고 있다. 그리고, 도 20에서 설명한 바와 같이, 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호의 검사 행렬인 변환 검사 행렬에서는, 패리티 행렬에도 순회 구조(정확하게는, 상술한 바와 같이, 의사 순회 구조)가 나타난다.

[0197] 도 21은 변환 검사 행렬을 나타내고 있다.

[0198] 즉, 도 21의 A는 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율(r)이 3/4인 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 변환 검사 행렬을 나타내고 있다.

[0199] 도 21의 A에서는, 변환 검사 행렬에 있어서, 값이 1로 되어 있는 요소의 위치가 점(・)으로 나타내어져 있다.

[0200] 도 21의 B는, 도 21의 A의 변환 검사 행렬의 LDPC 부호, 즉, 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 디멀티플렉서(25)(도 8)가 행하는 처리를 도시하고 있다.

[0201] 도 21의 B에서는, 변조 방식을 16QAM으로 하여, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)를 구성하는 4칼럼에, 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호의 부호 비트가 칼럼 방향으로 기입되어 있다.

[0202] 메모리(31)를 구성하는 4칼럼에, 칼럼 방향으로 기입된 부호 비트는 로우 방향으로 4비트 단위로 판독되어 1심볼이 된다.

[0203] 이 경우, 1심볼이 되는 4비트의 부호 비트 B_0, B_1, B_2, B_3은, 도 21의 A의 변환 검사 행렬의, 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 부호 비트로 되어 있는 것이 있고, 이 경우, 그 부호 비트 B_0, B_1, B_2, B_3 각각에 대응하는 변수 노드는 동일한 체크 노드에 연결되어 있다.

[0204] 따라서, 1심볼의 4비트의 부호 비트 B_0, B_1, B_2, B_3이 변환 검사 행렬의 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 부호 비트로 되어 있는 경우에는, 그 심볼에 이레이저가 발생하면, 부호 비트 B_0, B_1, B_2, B_3 각각에 대응하는 변수 노드가 연결되어 있는 동일한 체크 노드에 있어서, 적절한 메시지를 구할 수 없고, 그 결과, 복호의 성능이 열화된다.

[0205] 부호화율이 3/4 이외의 부호화율에 대해서도, 마찬가지로, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 복수의 변수 노드에 대응하는 복수의 부호 비트가 16QAM의 1개의 심볼로 되는 경우가 있다.

[0206] 따라서, 칼럼 트위스트 인터리버(24)는 변환 검사 행렬의 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 복수의 부호 비트가 1개의 심볼에 포함되지 않도록, 패리티 인터리버(23)로부터의 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호의 부호 비트를 인터리브하는 칼럼 트위스트 인터리브를 행한다.

[0207] 도 22는 칼럼 트위스트 인터리브를 설명하는 도면이다.

[0208] 즉, 도 22는 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)를 도시하고 있다.

[0209] 메모리(31)는, 도 16에서 설명한 바와 같이, 칼럼(종) 방향으로 mb비트를 기억함과 함께, 로우(횡) 방향으로 N/(mb) 비트를 기억하는 기억 용량을 갖고, mb개의 칼럼으로 구성된다. 그리고, 칼럼 트위스트 인터리버(24)는 메모리(31)에 대하여 LDPC 부호의 부호 비트를 칼럼 방향으로 기입하고, 로우 방향으로 판독할 때의 기입 개시의 위치를 제어함으로써, 칼럼 트위스트 인터리브를 행한다.

[0210] 즉, 칼럼 트위스트 인터리버(24)에서는, 복수의 칼럼 각각에 대하여, 부호 비트의 기입을 개시하는 기입 개시의 위치를 적절하게 변경함으로써, 로우 방향으로 판독되는, 1심볼로 되는 복수의 부호 비트가 변환 검사 행렬의 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 부호 비트로 되지 않도록 한다(검사 행렬의 임의의 1행에 있는 1에 대응하는 복수의 부호 비트가 동일한 심볼에 포함되지 않도록, LDPC 부호의 부호 비트를 재배열함).

[0211] 여기서, 도 22는 변조 방식이 16QAM이고, 또한 도 16에서 설명한 배수 b가 1인 경우의, 메모리(31)의 구성예를 도시하고 있다. 따라서, 1심볼로 되는 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수 m은 4비트이며, 또한 메모리(31)는 4(=mb)개의 칼럼으로 구성되어 있다.

[0212] 칼럼 트위스트 인터리버(24)는, (도 16의 디멀티플렉서(25) 대신에) LDPC 부호의 부호 비트를, 메모리(31)를 구성하는 4개의 칼럼 상측으로부터 하측 방향(칼럼 방향)으로 기입하는 것을, 좌측으로부터 우측 방향의 칼럼을 향해 행한다.

[0213] 그리고, 부호 비트의 기입이 가장 우측 칼럼까지 종료되면, 칼럼 트위스트 인터리버(24)는 메모리(31)를 구성하는 모든 칼럼의 1행째로부터, 로우 방향으로, 4비트(mb비트) 단위로 부호 비트를 판독하고, 칼럼 트위스트 인터리브 후의 LDPC 부호로서, 디멀티플렉서(25)의 교체부(32)(도 16, 도 17)에 출력한다.

[0214] 단, 칼럼 트위스트 인터리버(24)에서는, 각 칼럼의 선두(가장 상측)의 위치의 어드레스를 0으로 하여, 칼럼 방향의 각 위치의 어드레스를 오름차순의 정수로 나타내는 것으로 하면, 가장 좌측의 칼럼에 대해서는, 기입 개시의 위치를 어드레스가 0인 위치로 하고, (좌측으로부터) 2번째의 칼럼에 대해서는, 기입 개시의 위치를 어드레스가 2인 위치로 하고, 3번째의 칼럼에 대해서는, 기입 개시의 위치를 어드레스가 4인 위치로 하고, 4번째의 칼럼에 대해서는, 기입 개시의 위치를 어드레스가 7인 위치로 한다.

[0215] 또한, 기입 개시의 위치가, 어드레스가 0인 위치 이외의 위치의 칼럼에 대해서는, 부호 비트를 가장 하측의 위치까지 기입한 후에는, 선두(어드레스가 0의 위치)로 복귀되고, 기입 개시의 위치의 직전의 위치까지의 기입이 행해진다. 그리고, 그 후, 다음(우측)의 칼럼으로의 기입이 행해진다.

[0216] 이상과 같은 칼럼 트위스트 인터리브를 행함으로써, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800인 모든 부호화율의 LDPC 부호에 대하여, 동일 체크 노드에 연결되어 있는 복수의 변수 노드에 대응하는 복수의 부호 비트가 16QAM의 1개의 심볼로 되는 것(동일한 심볼에 포함되는 것)을 피할 수 있고, 그 결과, 이레이저가 있는 통신로에서의 복호의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0217] 도 23은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800인, 11개의 부호화율 각각의 LDPC 부호에 대하여, 칼럼 트위스트 인터리브에 필요한 메모리(31)의 칼럼수와, 기입 개시의 위치의 어드레스를 변조 방식마다 도시하고 있다.

[0218] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 QPSK가 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 2비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 2×1(=mb) 비트를 기억하는 2개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(2×1)비트를 기억한다.

[0219] 그리고, 메모리(31)의 2개의 칼럼 중 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 각각 된다.

[0220] 또한, 예를 들어 디멀티플렉서(25)(도 8)의 교체 처리의 교체 방식으로서, 도 16의 제1 내지 제3 교체 방식 중 어느 하나가 채용되는 경우 등에, 배수 b는 1이 된다.

[0221] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 QPSK가 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 2비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는, 로우 방향으로 2×2비트를 기억하는 4개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(2×2)비트를 기억한다.

[0222] 그리고, 메모리(31)의 4개의 칼럼 중 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0223] 또한, 예를 들어 디멀티플렉서(25)(도 8)의 교체 처리의 교체 방식으로서, 도 17의 제4 교체 방식이 채용되는 경우 등에, 배수 b는 2가 된다.

[0224] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 16QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 4비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 4×1비트를 기억하는 4개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(4

×1)비트를 기억한다.

[0225] 그리고, 메모리(31)의 4개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0226] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 16QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 4비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 4×2비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(4×2)비트를 기억한다.

[0227] 그리고, 메모리(31)의 8개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0228] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 64QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 6비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 6×1비트를 기억하는 6개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(6×1)비트를 기억한다.

[0229] 그리고, 메모리(31)의 6개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 13인 위치로, 각각 된다.

[0230] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 64QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 6비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 6×2비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(6×2)비트를 기억한다.

[0231] 그리고, 메모리(31)의 12개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 각각 된다.

[0232] 배수 b가 1이고, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 256QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 8비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 8×1비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(8×1)비트를 기억한다.

[0233] 그리고, 메모리(31)의 8개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0234] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 256QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 8비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 8×2비트를 기억하는 16개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(8×2)비트를 기억한다.

[0235] 그리고, 메모리(31)의 16개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 15인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시

의 위치는 어드레스가 16인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 22인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 22인 위치로, 13번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 27인 위치로, 14번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 27인 위치로, 15번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 28인 위치로, 16번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 32인 위치로, 각각 된다.

[0236] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 1024QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 10비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 10×1비트를 기억하는 10개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(10×1)비트를 기억한다.

[0237] 그리고, 메모리(31)의 10개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 6인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 11인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 13인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 15인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 17인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 18인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 각각 된다.

[0238] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 1024QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 10비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 10×2비트를 기억하는 20개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(10×2)비트를 기억한다.

[0239] 그리고, 메모리(31)의 20개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 6인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 6인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 13인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 14인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 14인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 16인 위치로, 13번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 21인 위치로, 14번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 21인 위치로, 15번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 23인 위치로, 16번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 25인 위치로, 17번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 25인 위치로, 18번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 26인 위치로, 19번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 28인 위치로, 20번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 30인 위치로, 각각 된다.

[0240] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 4096QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 12비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 12×1비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(12×1)비트를 기억한다.

[0241] 그리고, 메모리(31)의 12개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 각각 된다.

[0242] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 4096QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 12비트인 경우, 도 23에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 12×2비트를 기억하는 24개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(12×2)비트를 기억한다.

[0243] 그리고, 메모리(31)의 24개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8

인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 12인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 13인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 16인 위치로, 13번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 17인 위치로, 14번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 19인 위치로, 15번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 21인 위치로, 16번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 22인 위치로, 17번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 23인 위치로, 18번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 26인 위치로, 19번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 37인 위치로, 20번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 39인 위치로, 21번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 40인 위치로, 22번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 41인 위치로, 23번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 41인 위치로, 24번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 41인 위치로, 각각 된다.

[0244] 도 24는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200인, 10개의 부호화율 각각의 LDPC 부호에 대하여, 칼럼 트위스트 인터리브에 필요한 메모리(31)의 칼럼수와, 기입 개시의 위치의 어드레스를 변조 방식마다 나타내고 있다.

[0245] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 QPSK가 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 2비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 2×1비트를 기억하는 2개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(2×1)비트를 기억한다.

[0246] 그리고, 메모리(31)의 2개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 각각 된다.

[0247] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 QPSK가 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 2비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 2×2비트를 기억하는 4개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(2×2)비트를 기억한다.

[0248] 그리고, 메모리(31)의 4개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 각각 된다.

[0249] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 16QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 4비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 4×1비트를 기억하는 4개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(4×1)비트를 기억한다.

[0250] 그리고, 메모리(31)의 4개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 각각 된다.

[0251] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 16QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 4비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 4×2비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(4×2)비트를 기억한다.

[0252] 그리고, 메모리(31)의 8개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 21인 위치로, 각각 된다.

[0253] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 64QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 6비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 6×1비트를 기억하는 6개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(6×1)비트를 기억한다.

[0254] 그리고, 메모리(31)의 6개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0255] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 64QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 6비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 6×2비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(6×2)비트를 기억한다.

[0256] 그리고, 메모리(31)의 12개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 6인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0257] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 256QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 8비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 8×1비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(8×1)비트를 기억한다.

[0258] 그리고, 메모리(31)의 8개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 20인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 21인 위치로, 각각 된다.

[0259] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 1024QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 10비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 10×1비트를 기억하는 10개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(10×1)비트를 기억한다.

[0260] 그리고, 메모리(31)의 10개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 4인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0261] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 1024QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 10비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 10×2비트를 기억하는 20개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(10×2)비트를 기억한다.

[0262] 그리고, 메모리(31)의 20개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 13번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 5인 위치로, 14번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 15번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 16번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 17번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 18번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 19번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 8인 위치로, 20번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 각각 된다.

[0263] 배수 b가 1이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 4096QAM이 채용됨으로써, 1심볼의 비트수 m이 12비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 12×1비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(12×1)비트를 기억한다.

[0264] 그리고, 메모리(31)의 12개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼

럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 6인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 각각 된다.

[0265] 배수 b가 2이며, 또한 변조 방식으로서, 예를 들어 4096QAM이 채용됨으로써 1심볼의 비트수 m이 12비트인 경우, 도 24에 의하면, 메모리(31)는 로우 방향으로 12×2비트를 기억하는 24개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(12×2)비트를 기억한다.

[0266] 그리고, 메모리(31)의 24개의 칼럼 중, 1번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 2번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 3번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 4번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 5번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 6번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 7번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 0인 위치로, 8번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 9번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 10번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 1인 위치로, 11번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 12번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 13번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 2인 위치로, 14번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 3인 위치로, 15번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 7인 위치로, 16번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 17번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 18번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 9인 위치로, 19번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 20번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 21번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 22번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 23번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 10인 위치로, 24번째의 칼럼의 기입 개시의 위치는 어드레스가 11인 위치로, 각각 된다.

[0267] 다음에, 도 25의 흐름도를 참조하여 도 8의 송신 장치(11)에 의해 행해지는 송신 처리에 대하여 설명한다.

[0268] LDPC 부호화부(21)는, 그곳에 대상 데이터가 공급되는 것을 대기하여, 스텝 S101에 있어서 대상 데이터를 LDPC 부호로 부호화하고, 그 LDPC 부호를 비트 인터리버(22)에 공급하고, 처리는 스텝 S102로 진행한다.

[0269] 비트 인터리버(22)는, 스텝 S102에 있어서, LDPC 부호화부(21)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 비트 인터리브를 행하고, 그 비트 인터리브 후의 LDPC 부호를 심볼화한 심볼을 맵핑부(26)에 공급하고, 처리는 스텝 S103으로 진행한다.

[0270] 즉, 스텝 S102에서는, 비트 인터리버(22)에 있어서 패리티 인터리버(23)가, LDPC 부호화부(21)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 패리티 인터리브를 행하고, 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를 칼럼 트위스트 인터리버(24)에 공급한다.

[0271] 칼럼 트위스트 인터리버(24)는, 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 칼럼 트위스트 인터리브를 행하고, 디멀티플렉서(25)에 공급한다.

[0272] 디멀티플렉서(25)는 칼럼 트위스트 인터리버(24)에 의한 칼럼 트위스트 인터리브 후의 LDPC 부호의 부호 비트를 교체하고, 교체 후의 부호 비트를 심볼의 심볼 비트(심볼을 나타내는 비트)로 하는 교체 처리를 행한다.

[0273] 여기서, 디멀티플렉서(25)에 의한 교체 처리는, 도 16 및 도 17에 도시된 제1 내지 제4 교체 방식에 따라서 행할 수 있는 것 외에, 할당 룰에 따라서 행할 수 있다. 할당 룰은, LDPC 부호의 부호 비트를, 심볼을 나타내는 심볼 비트에 할당하기 위한 룰이며, 그 상세에 대해서는 후술한다.

[0274] 디멀티플렉서(25)에 의한 교체 처리에 의해 얻어진 심볼은 디멀티플렉서(25)로부터 맵핑부(26)로 공급된다.

[0275] 맵핑부(26)는 스텝 S103에 있어서, 디멀티플렉서(25)로부터의 심볼을 직교 변조부(27)에 의해 행해지는 직교 변조의 변조 방식으로 정하는 신호점에 맵핑하여, 직교 변조부(27)에 공급하고, 처리는 스텝 S104로 진행한다.

[0276] 직교 변조부(27)는, 스텝 S104에 있어서, 맵핑부(26)로부터의 신호점에 따라서 반송파의 직교 변조를 행하고, 처리는 스텝 S105로 진행하여, 직교 변조의 결과로부터 얻어지는 변조 신호를 송신하고, 처리를 종료한다.

[0277] 또한, 도 25의 송신 처리는 반복하여 파이프 라인에서 행해진다.

[0278] 이상과 같이, 패리티 인터리브나, 칼럼 트위스트 인터리브를 행함으로써, LDPC 부호의 복수의 부호 비트를 1개의 심볼로서 송신하는 경우의, 이레이저나 버스트 오류에 대한 내성을 향상시킬 수 있다.

[0279] 여기서, 도 8에서는 설명의 편의를 위해, 패리티 인터리브를 행하는 블록인 패리티 인터리버(23)와, 칼럼 트위스트 인터리브를 행하는 블록인 칼럼 트위스트 인터리버(24)를 별개로 구성하도록 하였지만, 패리티 인터리버(23)와 칼럼 트위스트 인터리버(24)는 일체적으로 구성할 수 있다.

[0280] 즉, 패리티 인터리브와, 칼럼 트위스트 인터리브는 모두 메모리에 대한 부호 비트의 기입 및 판독에 의해 행할 수 있고, 부호 비트의 기입을 행하는 어드레스(기입 어드레스)를, 부호 비트의 판독을 행하는 어드레스(판독 어드레스)로 변환하는 행렬에 의해 나타낼 수 있다.

[0281] 따라서, 패리티 인터리브를 나타내는 행렬과, 칼럼 트위스트 인터리브를 나타내는 행렬을 승산하여 얻어지는 행렬을 구해 두면, 그 행렬에 의해 부호 비트를 변환함으로써 패리티 인터리브를 행하고, 또한 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를 칼럼 트위스트 인터리브한 결과를 얻을 수 있다.

[0282] 또한, 패리티 인터리버(23)와 칼럼 트위스트 인터리버(24)에 더하여, 디멀티플렉서(25)도 일체적으로 구성하는 것이 가능하다.

[0283] 즉, 디멀티플렉서(25)에 의해 행해지는 교체 처리도, LDPC 부호를 기억하는 메모리(31)의 기입 어드레스를 판독 어드레스로 변환하는 행렬에 의해 나타낼 수 있다.

[0284] 따라서, 패리티 인터리브를 나타내는 행렬, 칼럼 트위스트 인터리브를 나타내는 행렬 및 교체 처리를 나타내는 행렬을 승산하여 얻어지는 행렬을 구해 두면, 그 행렬에 의해 패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브 및 교체 처리를 일괄하여 행할 수 있다.

[0285] 또한, 패리티 인터리브와, 칼럼 트위스트 인터리브에 대해서는, 그 중 어느 한쪽만을 행하도록 하거나, 또는 모두 행하지 않도록 하는 것이 가능하다.

[0286] 다음에, 도 26 내지 도 28을 참조하면서, 도 8의 송신 장치(11)에 대하여 행한 에러 레이트(bit error rate)를 계측하는 시뮬레이션에 대하여 설명한다.

[0287] 시뮬레이션은, D/U가 0dB인 플러터(flutter)가 있는 통신로를 채용하여 행하였다.

[0288] 도 26은 시뮬레이션에 의해 채용한 통신로의 모델을 나타내고 있다.

[0289] 즉, 도 26의 A는 시뮬레이션에 의해 채용한 플러터의 모델을 나타내고 있다.

[0290] 또한, 도 26의 B는, 도 26의 A의 모델로 나타내어지는 플러터가 있는 통신로의 모델을 나타내고 있다.

[0291] 또한, 도 26의 B에 있어서, H는, 도 26의 A의 플러터의 모델을 나타낸다. 또한, 도 26의 B에 있어서, N은 ICI(Inter Carrier Interference)를 나타내고, 시뮬레이션에서는 그 파워의 기대값 $E[N^2]$을 AWGN으로 근사하였다.

[0292] 도 27 및 도 28은 시뮬레이션에 의해 얻어진 에러 레이트와, 플러터의 도플러 주파수 f_d의 관계를 나타내고 있다.

[0293] 또한, 도 27은 변조 방식이 16QAM이고, 부호화율(r)이 3/4이고, 교체 방식이 제1 교체 방식인 경우의, 에러 레이트와 도플러 주파수 f_d의 관계를 나타내고 있다. 또한, 도 28은 변조 방식이 64QAM이고, 부호화율(r)이 5/6이고, 교체 방식이 제1 교체 방식인 경우의, 에러 레이트와 도플러 주파수 f_d의 관계를 나타내고 있다.

[0294] 또한, 도 27 및 도 28에 있어서, 굵은 선은 패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브 및 교체 처리 모두를 행한 경우의, 에러 레이트와 도플러 주파수 f_d의 관계를 나타내고 있고, 가는 선은 패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브 및 교체 처리 중 교체 처리만을 행한 경우의, 에러 레이트와 도플러 주파수 f_d의 관계를 나타내고 있다.

[0295] 도 27 및 도 28의 어느 것에 있어서도, 패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브 및 교체 처리 모두를 행한 경우가 교체 처리만을 행한 경우보다, 에러 레이트가 향상되는(작아지는) 것을 알 수 있다.

[0296] 다음에, 도 8의 LDPC 부호화부(21)에 대하여, 더 설명한다.

[0297] 도 11에서 설명한 바와 같이, DVB-S.2의 규격으로는 64800비트와 16200비트의 2가지의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있다.

[0298] 그리고, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호에 대해서는, 11개의 부호화율 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 및 9/10이 규정되어 있으며, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호에 대해서는 10개의 부호화율 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 및 8/9이 규정되어 있다(도 11의 B).

[0299] LDPC 부호화부(21)는, 이러한 부호 길이 N이 64800비트나 16200비트인 각 부호화율의 LDPC 부호에 의한 부호화(오류 정정 부호화)를, 부호 길이 N마다 및 부호화율마다 준비된 검사 행렬 H에 따라서 행한다.

[0300] 도 29는 도 8의 LDPC 부호화부(21)의 구성예를 나타내고 있다.

[0301] LDPC 부호화부(21)는 부호화 처리부(601)와 기억부(602)로 구성된다.

[0302] 부호화 처리부(601)는 부호화율 설정부(611), 초기값 테이블 판독부(612), 검사 행렬 생성부(613), 정보 비트 판독부(614), 부호화 패리티 연산부(615) 및 제어부(616)로 구성되고, LDPC 부호화부(21)에 공급되는 대상 데이터의 LDPC 부호화를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 비트 인터리버(22)(도 8)에 공급한다.

[0303] 즉, 부호화율 설정부(611)는, 예를 들어 오퍼레이터의 조작 등에 따라서 LDPC 부호의 부호 길이 N과 부호화율을 설정한다.

[0304] 초기값 테이블 판독부(612)는 부호화율 설정부(611)가 설정한 부호 길이 N 및 부호화율에 대응하는, 후술하는 검사 행렬 초기값 테이블을 기억부(602)로부터 판독한다.

[0305] 검사 행렬 생성부(613)는 초기값 테이블 판독부(612)가 판독한 검사 행렬 초기값 테이블에 기초하여, 부호화율 설정부(611)가 설정한 부호 길이 N 및 부호화율에 따른 정보 길이 K(=부호 길이 N-패리티 길이 M)에 대응하는 정보 행렬 H_A의 1의 요소를 열 방향으로 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다의 주기로 배치하여 검사 행렬 H를 생성하여, 기억부(602)에 저장한다.

[0306] 정보 비트 판독부(614)는, LDPC 부호화부(21)에 공급되는 대상 데이터로부터 정보 길이 K분의 정보 비트를 판독한다(추출함).

[0307] 부호화 패리티 연산부(615)는 검사 행렬 생성부(613)가 생성한 검사 행렬 H를 기억부(602)로부터 판독하고, 정보 비트 판독부(614)가 판독한 정보 비트에 대한 패리티 비트를 소정의 식에 기초하여 산출하여, 부호어(LDPC 부호)를 생성한다.

[0308] 제어부(616)는 부호화 처리부(601)를 구성하는 각 블록을 제어한다.

[0309] 기억부(602)에는 64800비트와 16200비트의 2가지의 부호 길이 N 각각에 대한, 도 11에 나타낸 복수의 부호화율 각각에 대응하는 복수의 검사 행렬 초기값 테이블 등이 저장되어 있다. 또한, 기억부(602)는 부호화 처리부(601)의 처리상 필요한 데이터를 일시 기억한다.

[0310] 도 30은, 도 29의 LDPC 부호화부(21)의 처리를 설명하는 흐름도이다.

[0311] 스텝 S201에 있어서, 부호화율 설정부(611)는 LDPC 부호화를 행하는 부호 길이 N 및 부호화율 r을 결정(설정)한다.

[0312] 스텝 S202에 있어서, 초기값 테이블 판독부(612)는 부호화율 설정부(611)에 의해 결정된 부호 길이 N 및 부호화율 r에 대응하는, 미리 정해진 검사 행렬 초기값 테이블을 기억부(602)로부터 판독한다.

[0313] 스텝 S203에 있어서, 검사 행렬 생성부(613)는 초기값 테이블 판독부(612)가 기억부(602)로부터 판독한 검사 행렬 초기값 테이블을 사용하여, 부호화율 설정부(611)에 의해 결정된 부호 길이 N 및 부호화율 r의 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 구하고(생성하고), 기억부(602)에 공급하여 저장한다.

[0314] 스텝 S204에 있어서, 정보 비트 판독부(614)는 LDPC 부호화부(21)에 공급되는 대상 데이터로부터, 부호화율 설정부(611)에 의해 결정된 부호 길이 N 및 부호화율 r에 대응하는 정보 길이 K(=N×r)의 정보 비트를 판독함과 함께, 검사 행렬 생성부(613)가 구한 검사 행렬 H를 기억부(602)로부터 판독하여 부호화 패리티 연산부(615)에 공급한다.

[0315] 스텝 S205에 있어서, 부호화 패리티 연산부(615)는 수학식 8을 만족하는 부호어 c의 패리티 비트를 순차 연산한다.

수학식 8

[0316] $$Hc^T=0$$

[0317] 수학식 8에 있어서, c는 부호어(LDPC 부호)로서의 행 벡터를 나타내고, c^T는, 행 벡터 c의 전치를 나타낸다.

[0318] 여기서, 상술한 바와 같이, LDPC 부호(1 부호어)로서의 행 벡터 c 중, 정보 비트의 부분을 행 벡터 A로 나타냄과 함께, 패리티 비트의 부분을 행 벡터 T로 나타내는 경우에는 행 벡터 c는 정보 비트로서의 행 벡터 A와, 패리티 비트로서의 행 벡터 T에 의해, 식 c=[A|T]로 나타낼 수 있다.

[0319] 검사 행렬 H와, LDPC 부호로서의 행 벡터 c=[A|T]는 식 $Hc^T=0$을 만족할 필요가 있고, 이러한 식 $Hc^T=0$을 만족하는 행 벡터 c=[A|T]를 구성하는 패리티 비트로서의 행 벡터 T는 검사 행렬 $H=[H_A|H_T]$의 패리티 행렬 H_T가 도 10에 도시한 계단 구조로 되어 있는 경우에는 식 $Hc^T=0$에서의 열 벡터 Hc^T의 1행째의 요소로부터 순서대로 각 행의 요소를 0으로 해 가도록 함으로써 순차적으로 구할 수 있다.

[0320] 부호화 패리티 연산부(615)는 정보 비트 A에 대하여, 패리티 비트 T를 구하면, 그 정보 비트 A와 패리티 비트 T에 의해 나타내어지는 부호어 c=[A|T]를 정보 비트 A의 LDPC 부호화 결과로서 출력한다.

[0321] 또한, 부호어 c는 64800비트 또는 16200비트이다.

[0322] 그 후, 스텝 S206에 있어서, 제어부(616)는 LDPC 부호화를 종료하는지 여부를 판정한다. 스텝 S206에 있어서, LDPC 부호화를 종료하지 않는다고 판정된 경우, 즉 예를 들어 LDPC 부호화해야 할 대상 데이터가 아직 있는 경우, 처리는 스텝 S201로 복귀되어, 이하 스텝 S201 내지 S206의 처리가 반복된다.

[0323] 또한, 스텝 S206에 있어서, LDPC 부호화를 종료한다고 판정된 경우, 즉 예를 들어 LDPC 부호화해야 할 대상 데이터가 없는 경우, LDPC 부호화부(21)는 처리를 종료한다.

[0324] 이상과 같이, 각 부호 길이 N 및 각 부호화율 r에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블이 준비되어 있고, LDPC 부호화부(21)는 소정의 부호 길이 N의, 소정의 부호화율 r의 LDPC 부호화를 그 소정의 부호 길이 N 및 소정의 부호화율 r에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 생성되는 검사 행렬 H를 사용하여 행한다.

[0325] 검사 행렬 초기값 테이블은, 검사 행렬 H의, LDPC 부호(검사 행렬 H에 의해 정의되는 LDPC 부호)의 부호 길이 N 및 부호화율 r에 따른 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A(도 9)의 1의 요소의 위치를 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 각 부호 길이 N 및 각 부호화율 r의 검사 행렬 H마다 미리 작성된다.

[0326] 도 31 내지 도 58은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 몇개의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0327] 즉, 도 31은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0328] 도 32 내지 도 34는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0329] 또한, 도 33은 도 32에 이어지는 도면이며, 도 34는 도 33에 이어지는 도면이다.

[0330] 도 35는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 3/4인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0331] 도 36 내지 도 39는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 3/4인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0332] 또한, 도 37은 도 36에 이어지는 도면이며, 도 38은 도 37에 이어지는 도면이다. 또한, 도 39는 도 38에 이어지는 도면이다.

[0333] 도 40은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 4/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0334] 도 41 내지 도 44는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 4/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0335] 또한, 도 42는 도 41에 이어지는 도면이며, 도 43은 도 42에 이어지는 도면이다. 또한, 도 44는 도 43에 이어지는 도면이다.

[0336] 도 45는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 5/6인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0337] 도 46 내지 도 49는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 5/6인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0338] 또한, 도 47은 도 46에 이어지는 도면이며, 도 48은 도 47에 이어지는 도면이다. 또한, 도 49는 도 48에 이어지는 도면이다.

[0339] 도 50은, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 8/9인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0340] 도 51 내지 도 54는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 8/9인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0341] 또한, 도 52는 도 51에 이어지는 도면이며, 도 53은 도 52에 이어지는 도면이다. 또한, 도 54는 도 53에 이어지는 도면이다.

[0342] 도 55 내지 도 58은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 9/10인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0343] 또한, 도 56은 도 55에 이어지는 도면이며, 도 57은 도 56에 이어지는 도면이다. 또한, 도 58은 도 57에 이어지는 도면이다.

[0344] 검사 행렬 생성부(613)(도 29)는 검사 행렬 초기값 테이블을 사용하여, 이하와 같이 검사 행렬 H를 구한다.

[0345] 즉, 도 59는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H를 구하는 방법을 나타내고 있다.

[0346] 또한, 도 59의 검사 행렬 초기값 테이블은, 도 31에 나타낸, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0347] 검사 행렬 초기값 테이블은, 상술한 바와 같이 LDPC 부호의 부호 길이 N 및 부호화율 r에 따른 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A(도 9)의 1의 요소의 위치를 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 그 i행째에는 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째의 1의 요소의 행 번호(검사 행렬 H의 1행째의 행 번호를 0으로 하는 행 번호)가, 그 1+360×(i-1)열째의 열이 갖는 열 가중치의 수만큼 배열되어 있다.

[0348] 여기서, 검사 행렬 H의, 패리티 길이 M에 대응하는 패리티 행렬 H_T(도 9)는 도 19에 나타낸 바와 같이 결정되어 있으므로, 검사 행렬 초기값 테이블에 의하면, 검사 행렬 H의, 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A(도 9)가 구해진다.

[0349] 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 k+1은 정보 길이 K에 따라 다르다.

[0350] 정보 길이 K와, 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 k+1과의 사이에는 수학식 9의 관계가 성립된다.

수학식 9

[0351] $$K=(k+1)\times 360$$

[0352] 여기서, 수학식 9의 360은, 도 20에서 설명한 순회 구조의 단위의 열수 P이다.

[0353] 도 59의 검사 행렬 초기값 테이블에서는, 1행째부터 3행째까지, 13개의 수치가 배열되고, 4행째부터 k+1행째(도

59에서는 30행째)까지, 3개의 수치가 배열되어 있다.

[0354] 따라서, 도 59의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H의 열 가중치는, 1열째부터 1+360×(3-1)-1열째까지는 13이며, 1+360×(3-1)열째부터 K열째까지는 3이다.

[0355] 도 59의 검사 행렬 초기값 테이블의 1행째는, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622로 되어 있으며, 이는 검사 행렬 H의 1열째에 있어서, 행 번호가, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622의 행의 요소가 1인 것(또한, 다른 요소가 0인 것)을 나타내고 있다.

[0356] 또한, 도 59의 검사 행렬 초기값 테이블의 2행째는, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108로 되어 있으며, 이는 검사 행렬 H의 361(=1+360×(2-1))열째에 있어서, 행 번호가, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108의 행의 요소가 1인 것을 나타내고 있다.

[0357] 이상과 같이, 검사 행렬 초기값 테이블은 검사 행렬 H의 정보 행렬 H_A의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타낸다.

[0358] 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열, 즉 2+360×(i-1)열째부터 360×i열째까지의 각 열은, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 1+360×(i-1)열째의 1의 요소를, 패리티 길이 M에 따라서 하측 방향(열의 하측 방향)으로, 주기적으로 사이클릭 시프트하여 배치한 것으로 되어 있다.

[0359] 즉, 예를 들어, 2+360×(i-1)열째는 1+360×(i-1)열째를 M/360(=q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것으로 되어 있으며, 다음 3+360×(i-1)열째는 1+360×(i-1)열째를 2×M/360(=2×q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것(2+360×(i-1)열째를 M/360(=q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것)으로 되어 있다.

[0360] 현재, 검사 행렬 초기값 테이블의 i행째(상측으로부터 i번째)의 j열째(좌측으로부터 j번째)의 수치를 $h_{i,j}$로 나타냄과 함께, 검사 행렬 H의 w열째의, j개째의 1의 요소의 행 번호를 H_{w-j}로 나타내는 것으로 하면, 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열인 w열째의 1의 요소의 행 번호 H_{w-j}는 수학식 10으로 구할 수 있다.

수학식 10

[0361] $$H_{w-j}=\mathrm{mod}(h_{i,j}+\mathrm{mod}((w-1),P)\times q, M)$$

[0362] 여기서, mod(x, y)는 x를 y로 나눈 나머지를 의미한다.

[0363] 또한, P는 상술한 순회 구조의 단위의 열수이며, 예를 들어 DVB-S.2의 규격에서는, 상술한 바와 같이 360이다. 또한, q는 패리티 길이 M을 순회 구조의 단위의 열수 P(=360)로 제산함으로써 얻어지는 값 M/360이다.

[0364] 검사 행렬 생성부(613)(도 29)는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째의 1의 요소의 행 번호를 특정한다.

[0365] 또한, 검사 행렬 생성부(613)(도 29)는 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열인 w열째의, 1의 요소의 행 번호 H_{w-j}를 수학식 10에 따라서 구하고, 이상에 의해 얻어진 행 번호의 요소를 1로 하는 검사 행렬 H를 생성한다.

[0366] 그런데, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 부호화율이 2/3인 LDPC 부호는 에러 플로어가 다른 부호화율의 LDPC 부호에 비교하여 떨어져 있는(높은) 것이 알려져 있다.

[0367] 여기서, S/N(E_s/N_0)이 높아짐에 따라, 오류율(BER)의 저하가 둔해지고, 오류율이 저하되지 않게 되는 현상(에러 플로어 현상)이 발생하지만, 그 저하되지 않게 되었을 때의 오류율이 에러 플로어이다.

[0368] 에러 플로어가 높으면, 일반적으로, 통신로(13)(도 7)에 있어서의 에러에 대한 내성이 저하되므로, 에러에 대한 내성을 향상시키기 위한 대책을 실시하는 것이 바람직하다.

[0369] 에러에 대한 내성을 향상시키기 위한 대책으로서는, 예를 들어 디멀티플렉서(25)(도 8)에 의해 행해지는 교체 처리가 있다.

[0370] 교체 처리에 있어서, LDPC 부호의 부호 비트를 교체하는 교체 방식으로서는, 예를 들어 상술한 제1 내지 제4 교체 방식이 있지만, 이들의 제1 내지 제4 교체 방식을 포함하는 이미 제안되어 있는 방식보다 에러에 대한 내성이 더 향상되는 방식의 제안이 요청되고 있다.

[0371] 따라서, 디멀티플렉서(25)(도 8)에서는, 도 25에서 설명한 바와 같이 할당 룰에 따라서 교체 처리를 행할 수 있도록 되어 있다.

[0372] 이하, 할당 룰에 따른 교체 처리에 대하여 설명하지만, 그 전에 이미 제안되어 있는 교체 방식(이하, 현행 방식이라고도 함)에 의한 교체 처리에 대하여 설명한다.

[0373] 도 60 및 도 61을 참조하여, 디멀티플렉서(25)에 의해, 가령 현행 방식으로 교체 처리가 행해진다고 한 경우의, 그 교체 처리에 대하여 설명한다.

[0374] 도 60은 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0375] 즉, 도 60의 A는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 16QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0376] 변조 방식이 16QAM인 경우, 부호 비트의 4(=m)비트가 1개의 심볼로서 16QAM으로 정하는 16개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0377] 또한, 부호 길이 N이 64800비트이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는 로우 방향으로 4×2(=mb)비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(4×2)비트를 기억한다.

[0378] 디멀티플렉서(25)에서는 LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 64800비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 4×2(=mb)비트 단위로 판독되어 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0379] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7을, 예를 들어 도 60의 A에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 4×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7에 할당하도록 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0380] 즉, 교체부(32)는,

[0381] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[0382] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0383] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_4에,

[0384] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_2에,

[0385] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_5에,

[0386] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_3에,

[0387] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_6에,

[0388] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[0389] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0390] 도 60의 B는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 64QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0391] 변조 방식이 64QAM인 경우, 부호 비트의 6(=m)비트가 1개의 심볼로서 64QAM으로 정하는 64개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0392] 또한, 부호 길이 N이 64800비트이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는 로우

방향으로 6×2(=mb)비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(6×2)비트를 기억한다.

[0393] 디멀티플렉서(25)에서는 LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 64800비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 6×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0394] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}을, 예를 들어 도 60의 B에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 6×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}에 할당하도록 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0395] 즉, 교체부(32)는,

[0396] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{11}에,

[0397] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_7에,

[0398] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_3에,

[0399] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{10}에,

[0400] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0401] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_2에,

[0402] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0403] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0404] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_1에,

[0405] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_8에,

[0406] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_4에,

[0407] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_0에,

[0408] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0409] 도 60의 C는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0410] 변조 방식이 256QAM인 경우, 부호 비트의 8(=m)비트가 1개의 심볼로서 256QAM으로 정하는 256개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0411] 또한, 부호 길이 N이 64800비트이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는, 로우 방향으로 8×2(=mb)비트를 기억하는 16개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 64800/(8×2)비트를 기억한다.

[0412] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 64800비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 8×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0413] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}를, 예를 들어 도 60의 C에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 8×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}, y_{13}, y_{14}, y_{15}에 할당하도록 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를 교체한다.

[0414] 즉, 교체부(32)는,

[0415] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{15}에,

[0416] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0417] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_{13}에,

[0418] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_3에,

[0419] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_8에,

[0420] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_{11}에,

[0421] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0422] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0423] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_{10}에,

[0424] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_6에,

[0425] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_4에,

[0426] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_7에,

[0427] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_{12}에,

[0428] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_2에,

[0429] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_{14}에,

[0430] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_0에,

[0431] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0432] 도 61은 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0433] 즉, 도 61의 A는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 16QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0434] 변조 방식이 16QAM인 경우, 부호 비트의 4(=m)비트가 1개의 심볼로서 16QAM으로 정하는 16개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0435] 또한, 부호 길이 N이 16200비트이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는 로우 방향으로 4×2(=mb)비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(4×2)비트를 기억한다.

[0436] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 16200비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 4×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0437] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7을, 예를 들어 도 61의 A에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 4×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7에 할당하도록 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0438] 즉, 교체부(32)는, 상술한 도 60의 A의 경우와 마찬가지로, 부호 비트 b_0 내지 b_7을 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하는 교체를 행한다.

[0439] 도 61의 B는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 64QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0440] 변조 방식이 64QAM인 경우, 부호 비트의 6(=m)비트가 1개의 심볼로서 64QAM으로 정하는 64개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0441] 또한, 부호 길이 N이 16200비트이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는 로우 방향으로 6×2(=mb)비트를 기억하는 12개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(6×2)비트를 기억한다.

[0442] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 16200비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 6×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0443] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}을, 예를 들어 도 61의 B에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 6×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}에 할당하도록 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0444] 즉, 교체부(32)는, 상술한 도 60의 B의 경우와 마찬가지로 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 심볼 비트 y_0 내지 y_{11}에 할당하는 교체를 행한다.

[0445] 도 61의 C는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이고, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 1인 경우의, 현행 방식의 교체 처리의 일례를 나타내고 있다.

[0446] 변조 방식이 256QAM인 경우, 부호 비트의 8(=m)비트가 1개의 심볼로서 256QAM으로 정하는 256개의 신호점 중 어느 하나에 맵핑된다.

[0447] 또한, 부호 길이 N이 16200비트이고, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)(도 16, 도 17)는 로우 방향으로 8×1(=mb)비트를 기억하는 8개의 칼럼을 갖고, 칼럼 방향으로 16200/(8×1)비트를 기억한다.

[0448] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트가 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되어, 16200비트의 부호 비트(1 부호어)의 기입이 종료되면, 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 8×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0449] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7을, 예를 들어 도 61의 C에 나타낸 바와 같이 1(=b)개의 심볼의 8×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7에 할당하도록 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0450] 즉, 교체부(32)는,

[0451] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[0452] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_3에,

[0453] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_1에,

[0454] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_5에,

[0455] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_2에,

[0456] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_6에,

[0457] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_4에,

[0458] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[0459] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0460] 다음에, 할당 룰에 따른 교체 처리(이하, 신 교체 방식에서의 교체 처리라고도 함)에 대하여 설명한다.

[0461] 도 62 내지 도 64는 신 교체 방식을 설명하는 도면이다.

[0462] 신 교체 방식에서는, 디멀티플렉서(25)의 교체부(32)는, mb비트의 부호 비트의 교체를, 미리 정한 할당 룰에 따라서 행한다.

[0463] 할당 룰이라 함은, LDPC 부호의 부호 비트를 심볼 비트에 할당하기 위한 룰이다. 할당 룰에서는 부호 비트의 부호 비트 그룹과, 그 부호 비트 그룹의 부호 비트를 할당하는 심볼 비트의 심볼 비트 그룹과의 조합인 그룹 세트와, 그 그룹 세트의 부호 비트 그룹, 및 심볼 비트 그룹 각각의 부호 비트, 및 심볼 비트의 비트수(이하, 그룹 비트수라고도 함)가 규정되어 있다.

[0464] 여기서, 부호 비트에는, 상술한 바와 같이 에러 확률에 차이가 있고, 심볼 비트에도 에러 확률에 차이가 있다. 부호 비트 그룹이라 함은, 부호 비트를 에러 확률에 따라서 그룹을 분류하는 그룹이며, 심볼 비트 그룹이라 함은, 심볼 비트를 에러 확률에 따라서 그룹을 분류하는 그룹이다.

[0465] 도 62는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 부호 비트 그룹과 심볼 비트 그룹을 나타내고 있다.

[0466] 이 경우, 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}는, 에러 확률의 차이에 따라서 도 62의 A에 나타낸 바와 같이 5개의 부호 비트 그룹 Gb_1, Gb_2, Gb_3, Gb_4, Gb_5로 그룹을 분류할 수 있다.

[0467] 여기서, 부호 비트 그룹 Gb_i는 그 서픽스 i가 작을수록, 그 부호 비트 그룹 Gb_i에 속하는 부호 비트의 에러 확률이 좋은(작은) 그룹이다.

[0468] 도 62의 A에서는 부호 비트 그룹 Gb_1에는 부호 비트 b_0이, 부호 비트 그룹 Gb_2에는 부호 비트 b_1이, 부호 비트 그룹 Gb_3에는 부호 비트 b_2 내지 b_9가, 부호 비트 그룹 Gb_4에는 부호 비트 b_{10}이, 부호 비트 그룹 Gb_5에는 부호 비트 b_{11} 내지 b_{15}가, 각각 속한다.

[0469] 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우, 8×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{15}는 에러 확률의 차이에 따라서, 도 62의 B에 나타낸 바와 같이 4개의 심볼 비트 그룹 Gy_1, Gy_2, Gy_3, Gy_4로 그룹을 분류할 수 있다.

[0470] 여기서, 심볼 비트 그룹 Gy_i는 부호 비트 그룹과 마찬가지로, 그 서픽스 i가 작을수록 그 심볼 비트 그룹 Gy_i에 속하는 심볼 비트의 에러 확률이 좋은 그룹이다.

[0471] 도 62의 B에서는 심볼 비트 그룹 Gy_1에는 심볼 비트 y_0, y_1, y_8, y_9가, 심볼 비트 그룹 Gy_2에는 심볼 비트 y_2, y_3, y_{10}, y_{11}이, 심볼 비트 그룹 Gy_3에는 심볼 비트 y_4, y_5, y_{12}, y_{13}이, 심볼 비트 그룹 Gy_4에는 심볼 비트 y_6, y_7, y_{14}, y_{15}가, 각각 속한다.

[0472] 도 63은 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 할당 룰을 나타내고 있다.

[0473] 도 63의 할당 룰에서는 부호 비트 그룹 Gb_1과, 심볼 비트 그룹 Gy_4의 조합이 1개의 그룹 세트로서, 도면 중 좌측으로부터 1번째로 규정되어 있다. 그리고, 그 그룹 세트의 그룹 비트수가 1비트로 규정되어 있다.

[0474] 여기서, 이하에서는 그룹 세트와, 그 그룹 비트수를 통합하여 그룹 세트 정보라 한다. 그리고, 예를 들어 부호 비트 그룹 Gb_1과 심볼 비트 그룹 Gy_4의 그룹 세트와, 그 그룹 세트의 그룹 비트수인 1비트를, 그룹 세트 정보 (Gb_1, Gy_4, 1)로 기재한다.

[0475] 도 63의 할당 룰에서는, 그룹 세트 정보 (Gb_1, Gy_4, 1) 외에, 그룹 세트 정보 (Gb_2, Gy_4, 1), (Gb_3, Gy_1, 3), (Gb_3, Gy_2, 1), (Gb_3, Gy_3, 2), (Gb_3, Gy_4, 2), (Gb_4, Gy_3, 1), (Gb_5, Gy_1, 1), (Gb_5, Gy_2, 3), (Gb_5, Gy_3, 1)이 규정되어 있다.

[0476] 예를 들어, 그룹 세트 정보 (Gb_1, Gy_4, 1)은 부호 비트 그룹 Gb_1에 속하는 부호 비트의 1비트를 심볼 비트 그룹 Gy_4에 속하는 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것을 의미한다.

[0477] 따라서, 도 63의 할당 룰에서는,

[0478] 그룹 세트 정보 (Gb_1, Gy_4, 1)에 의해, 에러 확률이 1번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_1의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 4번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_4의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0479] 그룹 세트 정보 (Gb_2, Gy_4, 1)에 의해, 에러 확률이 2번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_2의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 4번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_4의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0480] 그룹 세트 정보 (Gb_3, Gy_1, 3)에 의해, 에러 확률이 3번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_3의 부호 비트의 3비트를 에러 확률이 1번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_1의 심볼 비트의 3비트에 할당하는 것,

[0481] 그룹 세트 정보 (Gb_3, Gy_2, 1)에 의해, 에러 확률이 3번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_3의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 2번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_2의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0482] 그룹 세트 정보 (Gb_3, Gy_3, 2)에 의해, 에러 확률이 3번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_3의 부호 비트의 2비트를 에러 확률이 3번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_3의 심볼 비트의 2비트에 할당하는 것,

[0483] 그룹 세트 정보 (Gb_3, Gy_4, 2)에 의해, 에러 확률이 3번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_3의 부호 비트의 2비트를 에러 확률이 4번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_4의 심볼 비트의 2비트에 할당하는 것,

[0484] 그룹 세트 정보 (Gb_4, Gy_3, 1)에 의해, 에러 확률이 4번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_4의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 3번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_3의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0485] 그룹 세트 정보 (Gb_5, Gy_1, 1)에 의해, 에러 확률이 5번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_5의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 1번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_1의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0486] 그룹 세트 정보 (Gb_5, Gy_2, 3)에 의해, 에러 확률이 5번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_5의 부호 비트의 3비트를 에러 확률이 2번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_2의 심볼 비트의 3비트에 할당하는 것,

[0487] 및, 그룹 세트 정보 (Gb_5, Gy_3, 1)에 의해, 에러 확률이 5번째로 좋은 부호 비트 그룹 Gb_5의 부호 비트의 1비트를 에러 확률이 3번째로 좋은 심볼 비트 그룹 Gy_3의 심볼 비트의 1비트에 할당하는 것,

[0488] 이 규정되어 있다.

[0489] 상술한 바와 같이, 부호 비트 그룹은 부호 비트를 에러 확률에 따라서 그룹을 분류하는 그룹이며, 심볼 비트 그룹은 심볼 비트를 에러 확률에 따라서 그룹을 분류하는 그룹이다. 따라서, 할당 룰은 부호 비트의 에러 확률과, 그 부호 비트를 할당하는 심볼 비트의 에러 확률의 조합을 규정하고 있다고 할 수도 있다.

[0490] 이와 같이, 부호 비트의 에러 확률과, 그 부호 비트를 할당하는 심볼 비트의 에러 확률의 조합을 규정하는 할당 룰은, 예를 들어 BER을 계측하는 시뮬레이션 등에 의해 에러에 대한 내성(노이즈에 대한 내성)을 더 좋게 하도록 결정된다.

[0491] 또한, 어느 한 부호 비트 그룹의 부호 비트의 할당처를, 동일한 심볼 비트 그룹의 비트 중에서 변경해도 에러에 대한 내성에는 (거의) 영향을 미치지 않는다.

[0492] 따라서, 에러에 대한 내성을 향상시키기 위해서는, 에러 플로어를 포함하는 BER(Bit Error Rate)을 더 작게 하는 그룹 세트 정보, 즉 부호 비트의 부호 비트 그룹과, 그 부호 비트 그룹의 부호 비트를 할당하는 심볼 비트의 심볼 비트 그룹과의 조합(그룹 세트)과, 그 그룹 세트의 부호 비트 그룹, 및 심볼 비트 그룹 각각의 부호 비트, 및 심볼 비트의 비트수(그룹 비트수)를 할당 룰로서 규정하고, 그 할당 룰에 따라서 부호 비트를 심볼 비트에 할당하도록 부호 비트의 교체를 행하면 된다.

[0493] 단, 할당 룰에 따라서, 어느 부호 비트를 어느 심볼에 할당할지의 구체적인 할당 방법은 송신 장치(11) 및 수신 장치(12)(도 7) 사이에 미리 정해 둘 필요가 있다.

[0494] 도 64는 도 63의 할당 룰에 따른 부호 비트의 교체의 예를 나타내고 있다.

[0495] 즉, 도 64의 A는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식

이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 도 63의 할당 룰에 따른 부호 비트의 교체의 제1 예를 나타내고 있다.

[0496] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(8×2))×(8×2)비트의 메모리(31)에 기입된 부호 비트가 로우 방향으로 8×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)(도 16, 도 17)에 공급된다.

[0497] 교체부(32)는, 도 63의 할당 룰에 따라서 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를, 예를 들어 도 64의 A에 나타낸 바와 같이 연속하는 2(=b)개의 심볼의 8×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{15}에 할당하도록 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를 교체한다.

[0498] 즉, 교체부(32)는,

[0499] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{15}에,

[0500] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_7에,

[0501] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_1에,

[0502] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_5에,

[0503] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0504] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_{13}에,

[0505] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_{11}에,

[0506] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_9에,

[0507] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_8에,

[0508] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{14}에,

[0509] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_{12}에,

[0510] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_3에,

[0511] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_0에,

[0512] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{10}에,

[0513] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_4에,

[0514] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_2에,

[0515] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0516] 도 64의 B는 LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호이며, 또한 변조 방식이 256QAM이고, 배수 b가 2인 경우의, 도 63의 할당 룰에 따른 부호 비트의 교체의 제2 예를 나타내고 있다.

[0517] 도 64의 B에 의하면, 교체부(32)는 도 63의 할당 룰에 따라서 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}에 대하여,

[0518] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{15}에,

[0519] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_{14}에,

[0520] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_8에,

[0521] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_5에,

[0522] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0523] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_4에,

[0524] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_2에,

[0525] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_1에,

[0526] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_9에,

[0527] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_7에,

[0528] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_{12}에,

[0529] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_3에,

[0530] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_{13}에,

[0531] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{10}에,

[0532] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_0에,

[0533] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_{11}에,

[0534] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0535] 여기서, 도 64의 A 및 도 64의 B에 나타낸, 부호 비트 b_i의, 심볼 비트 y_i에의 할당하는 방법은, 모두 도 63의 할당 룰에 따르고 있다(할당 룰을 준수하고 있음).

[0536] 도 65는, 도 62 내지 도 64에서 설명한 신 교체 방식의 교체 처리를 행한 경우와, 현행 방식 중, 도 60의 C에서 설명한 교체 처리를 행한 경우의, BER(Bit Error Rate)의 시뮬레이션의 결과를 도시하고 있다.

[0537] 즉, 도 65는 부호 길이 N이 64800이고, 부호화율이 2/3인, DVB-S.2의 규격으로 규정된 LDPC 부호를 대상으로 하고, 변조 방식으로서, 256QAM을 채용함과 함께, 배수 b로서, 2를 채용한 경우의 BER을 도시하고 있다.

[0538] 또한, 도 65에 있어서, 횡축은 E_s/N_0을 나타내고, 종축은 BER을 나타낸다. 또한, 동그라미 표시가 신 교체 방식의 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고, 애스터리스크(별표)가 현행 방식의 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타낸다.

[0539] 도 65로부터, 신 교체 방식의 교체 처리에서는, 현행 방식의 교체 처리에 비교하여, 에러 플로어가 비약적으로 저하되고 있고, 에러에 대한 내성이 향상되어 있는 것을 알 수 있다.

[0540] 또한, 본 실시 형태에서는, 설명의 편의상, 디멀티플렉서(25)에 있어서, 교체부(32)가 메모리(31)로부터 판독된 부호 비트를 대상으로 하여, 교체 처리를 행하도록 하였지만, 교체 처리는 메모리(31)에 대한 부호 비트의 기입이나 판독을 제어함으로써 행할 수 있다.

[0541] 즉, 교체 처리는, 예를 들어 메모리(31)로부터의 부호 비트의 판독을 교체 후의 부호 비트의 순서로 행하도록, 부호 비트를 판독하는 어드레스(판독 어드레스)를 제어함으로써 행할 수 있다.

[0542] 다음에, 에러에 대한 내성을 향상시키기 위한 대책으로서는, 에러 플로어를 낮게 하는 교체 방식의 교체 처리를 채용하는 것 외에, 에러 플로어를 낮게 하는 LDPC 부호를 채용하는 방법이 있다.

[0543] 따라서, LDPC 부호화부(21)(도 8)에서는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 2/3인 LDPC 부호에 대해서는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 검사 행렬 초기값 테이블과는 다른, 적절한 검사 행렬 H가 구해지는 검사 행렬 초기값 테이블을 채용하고, 그 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H를 사용하여, 성능이 좋은 LDPC 부호로의 부호화를 행할 수 있다.

[0544] 여기서, 적절한 검사 행렬 H라 함은, 검사 행렬 H로부터 얻어지는 LDPC 부호의 변조 신호를, 낮은 E_s/N_0(1심볼당

신호 전력대 잡음 전력비), 또는 E_b/N_o(1비트당 신호 전력대 잡음 전력비)로 송신하였을 때에, BER(Bit Error Rate)을 보다 작게 하는, 소정의 조건을 만족하는 검사 행렬이다. 또한, 성능이 좋은 LDPC 부호라 함은, 적절한 검사 행렬 H로부터 얻어지는 LDPC 부호이다.

[0545] 적절한 검사 행렬 H는, 예를 들어 소정의 조건을 만족하는 다양한 검사 행렬로부터 얻어지는 LDPC 부호의 변조 신호를, 낮은 E_s/N_o로 송신하였을 때의 BER을 계측하는 시뮬레이션을 행함으로써 구할 수 있다.

[0546] 적절한 검사 행렬 H가 만족해야 할 소정의 조건으로서는, 예를 들어 밀도 전개(Density Evolution)라 불리는 부호의 성능의 해석법으로 얻어지는 해석 결과가 양호한 것, 검사 행렬 H에 있어서, 사이클 4라 불리는, 1의 요소의 루프가 존재하지 않는 것, 사이클 6이 존재하지 않는 것, 등이 있다.

[0547] 여기서, 밀도 전개와, 그 실장에 대해서는, 예를 들어 "On the Design of Low-Density Parity-Check Codes within 0.0045 dB of the Shannon Limit", S.Y.Chung, G.D.Forney, T.J.Richardson, R.Urbanke, IEEE Communications Leggers, VOL.5, NO.2, Feb 2001에 기재되어 있다.

[0548] 예를 들어, AWGN 채널 상에서, 노이즈의 분산값을 0부터 점점 크게 해 가면, LDPC 부호의 에러 확률의 기대값은, 최초에는 0이지만, 노이즈의 분산값이 어느 임계값(threshold) 이상이 되면, 0이 아니게 된다.

[0549] 밀도 전개에 의하면, 그 에러 확률의 기대값이 0이 아니게 되는, 노이즈의 분산값의 임계값(이하, 성능 임계값이라고도 함)을 비교함으로써, LDPC 부호의 성능(검사 행렬의 적절함)의 좋고 나쁨을 정할 수 있다. 여기서, 성능 임계값으로서는, BER이 떨어지기 시작할(작아질) 때의 E_b/N_0을 채용하는 것으로 한다.

[0550] DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800이고, 부호화율 r이 2/3인 LDPC 부호(이하, 규격 부호라고도 함)를 밀도 전개로 해석하여 얻어지는, 규격 부호에 대한 성능 임계값을 V로 나타낸다고 하면, 시뮬레이션에서는, 성능 임계값이, V에 소정의 마진 △를 더한 V+△ 이하의 값으로 되는, 부호 길이 N이 64800이고, 부호화율 r이 2/3인 LDPC 부호(검사 행렬)를, 성능이 좋은 LDPC 부호로서 선택하였다.

[0551] 도 66 내지 도 68은 성능 임계값으로서의 E_b/N_0이 V+△ 이하인 LDPC 부호(부호 길이 N이 64800이고, 부호화율 r이 2/3인 LDPC 부호) 중 1개의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0552] 또한, 도 67은 도 66에 이어지는 도면이며, 도 68은 도 67에 이어지는 도면이다.

[0553] 도 66 내지 도 68의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H에서는, 사이클 4 및 사이클 6은 존재하지 않는다.

[0554] 도 69는 도 66 내지 도 68의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H의 LDPC 부호(이하, 제안 부호라고도 함)에 대한 BER의 시뮬레이션의 결과를 도시하고 있다.

[0555] 즉, 도 69는 변조 방식이 256QAM인 경우의, 규격 부호의 E_s/N_0에 대한 BER(도면 중, 동그라미 표시로 나타냄)과, 제안 부호의 E_s/N_0에 대한 BER(도면 중, 직사각형으로 나타냄)을 도시하고 있다.

[0556] 도 69로부터, 제안 부호는 규격 부호보다도 성능이 좋은 것, 즉, 특히 에러 플로어가 크게 개선되어 있는 것을 알 수 있다.

[0557] 또한, 적절한 검사 행렬 H가 만족해야 할 소정의 조건은, LDPC 부호의 복호 성능의 향상이나, LDPC 부호의 복호 처리의 용이화(단순화) 등의 관점에서 적절하게 결정할 수 있다.

[0558] 다음에, 도 70은, 도 7의 수신 장치(12)의 구성예를 도시하는 블록도이다.

[0559] 도 70에 있어서, 수신 장치(12)는 송신 장치(11)(도 7)로부터의 변조 신호를 수신하는 데이터 처리 장치이며, 직교 복조부(51), 디맵핑부(52), 디인터리버(53), 및 LDPC 복호부(56)로 구성된다.

[0560] 직교 복조부(51)는 송신 장치(11)로부터의 변조 신호를 수신하고, 직교 복조를 행하여, 그 결과 얻어지는 신호점(I 및 Q축 방향 각각의 값)을 디맵핑부(52)에 공급한다.

[0561] 디맵핑부(52)는 직교 복조부(51)로부터의 신호점을, LDPC 부호의 부호 비트를 심볼화한 심볼로 하는 디맵핑을 행하고, 디인터리버(53)에 공급한다.

[0562] 디인터리버(53)는 멀티플렉서(MUX)(54) 및 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로 구성되고, 디맵핑부(52)로부터의 심

볼의 심볼 비트의 디인터리브를 행한다.

[0563] 즉, 멀티플렉서(54)는 디맵핑부(52)로부터의 심볼의 심볼 비트를 대상으로 하여, 도 8의 디멀티플렉서(25)가 행하는 교체 처리에 대응하는 역교체 처리(교체 처리의 역의 처리), 즉, 교체 처리에 의해 교체된 LDPC 부호의 부호 비트(심볼 비트)의 위치를 원래의 위치로 복귀시키는 역교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에 공급한다.

[0564] 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는 멀티플렉서(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 도 8의 칼럼 트위스트 인터리버(24)가 행하는 재배열 처리로서의 칼럼 트위스트 인터리브에 대응하는 칼럼 트위스트 디인터리브(칼럼 트위스트 인터리브의 역의 처리), 즉, 재배열 처리로서의 칼럼 트위스트 인터리브에 의해 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를 원래의 배열로 복귀시키는 역재배열 처리로서의, 예를 들어 칼럼 트위스트 디인터리브를 행한다.

[0565] 구체적으로는, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는 도 22 등에 나타낸 메모리(31)와 마찬가지로 구성되는, 디인터리브용 메모리에 대하여, LDPC 부호의 부호 비트를 기입하고, 또한 판독함으로써, 칼럼 트위스트 디인터리브를 행한다.

[0566] 단, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에서는, 부호 비트의 기입은 메모리(31)로부터의 부호 비트의 판독시의 판독 어드레스를 기입 어드레스로서 사용하여, 디인터리브용 메모리의 로우 방향으로 행해진다. 또한, 부호 비트의 판독은 메모리(31)에의 부호 비트의 기입시의 기입 어드레스를 판독 어드레스로서 사용하여, 디인터리브용 메모리의 칼럼 방향으로 행해진다.

[0567] 칼럼 트위스트 디인터리브의 결과 얻어지는 LDPC 부호는 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로부터 LDPC 복호부(56)에 공급된다.

[0568] 여기서, 디맵핑부(52)로부터 디인터리버(53)에 공급되는 LDPC 부호에는, 패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브 및 교체 처리가, 그 순서로 실시되고 있지만, 디인터리버(53)에서는, 교체 처리에 대응하는 역교체 처리, 및 칼럼 트위스트 인터리브에 대응하는 칼럼 트위스트 디인터리브밖에 행해지지 않고, 따라서 패리티 인터리브에 대응하는 패리티 디인터리브(패리티 인터리브의 역의 처리), 즉 패리티 인터리브에 의해 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를 원래의 배열로 복귀시키는 패리티 디인터리브는 행해지지 않는다.

[0569] 따라서, 디인터리버(53)[의 칼럼 트위스트 디인터리버(55)]로부터, LDPC 복호부(56)에는, 역교체 처리 및 칼럼 트위스트 디인터리브가 행해지고, 또한 패리티 디인터리브가 행해지고 있지 않은 LDPC 부호가 공급된다.

[0570] LDPC 복호부(56)는 디인터리버(53)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 도 8의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를 대상 데이터의 복호 결과로서 출력한다.

[0571] 도 71은 도 70의 수신 장치(12)가 행하는 수신 처리를 설명하는 흐름도이다.

[0572] 직교 복조부(51)는, 스텝 S111에 있어서, 송신 장치(11)로부터의 변조 신호를 수신하고, 처리는 스텝 S112로 진행하여, 그 변조 신호의 직교 복조를 행한다. 직교 복조부(51)는 직교 복조의 결과 얻어지는 신호점을 디맵핑부(52)에 공급하고, 처리는 스텝 S112로부터 스텝 S113으로 진행한다.

[0573] 스텝 S113에서는, 디맵핑부(52)는 직교 복조부(51)로부터의 신호점을 심볼로 하는 디맵핑을 행하고, 디인터리버(53)에 공급하고, 처리는 스텝 S114로 진행한다.

[0574] 스텝 S114에서는, 디인터리버(53)는 디맵핑부(52)로부터의 심볼의 심볼 비트의 디인터리브를 행하고, 처리는 스텝 S115로 진행한다.

[0575] 즉, 스텝 S114에서는, 디인터리버(53)에 있어서, 멀티플렉서(54)가 디맵핑부(52)로부터의 심볼의 심볼 비트를 대상으로 하여, 역교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호의 부호 비트를 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에 공급한다.

[0576] 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는 멀티플렉서(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 칼럼 트위스트 디인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 LDPC 복호부(56)에 공급한다.

[0577] 스텝 S115에서는, LDPC 복호부(56)가 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 도 8의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 적어

도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를 대상 데이터의 복호 결과로서 출력하고, 처리는 종료된다.

[0578] 또한, 도 71의 수신 처리는 반복하여 행해진다.

[0579] 또한, 도 70에서도, 도 8의 경우와 마찬가지로, 설명의 편의를 위해, 역교체 처리를 행하는 멀티플렉서(54)와, 칼럼 트위스트 디인터리브를 행하는 칼럼 트위스트 디인터리버(55)를 별개로 구성하도록 하였지만, 멀티플렉서(54)와 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는 일체적으로 구성할 수 있다.

[0580] 또한, 도 8의 송신 장치(11)에 있어서, 칼럼 트위스트 인터리브를 행하지 않는 경우에는, 도 70의 수신 장치(12)에 있어서, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는 설치할 필요가 없다.

[0581] 다음에, 도 70의 LDPC 복호부(56)에서 행해지는 LDPC 복호에 대하여, 더 설명한다.

[0582] 도 70의 LDPC 복호부(56)에서는, 상술한 바와 같이 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로부터의, 역교체 처리, 및 칼럼 트위스트 디인터리브가 행해지고, 또한 패리티 디인터리브가 행해지고 있지 않은 LDPC 부호의 LDPC 복호가, 도 8의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행해진다.

[0583] 여기서, LDPC 복호를, 변환 검사 행렬을 사용하여 행함으로써, 회로 규모를 억제하면서, 동작 주파수를 충분히 실현 가능한 범위로 억제하는 것이 가능해지는 LDPC 복호가 앞서 제안되어 있다(예를 들어, 일본 특허 공개 제2004-343170호 공보를 참조).

[0584] 따라서, 우선, 도 72 내지 도 75를 참조하여, 앞서 제안되어 있는, 변환 검사 행렬을 사용한 LDPC 복호에 대하여 설명한다.

[0585] 도 72는 부호 길이 N이 90이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 예를 나타내고 있다.

[0586] 또한, 도 72에서는(후술하는 도 73 및 도 74에 있어서도 마찬가지), 0을 피리어드(.)로 표현하고 있다.

[0587] 도 72의 검사 행렬 H에서는, 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있다.

[0588] 도 73은 도 72의 검사 행렬 H에, 수학식 11의 행 치환과, 수학식 12의 열 치환을 실시하여 얻어지는 검사 행렬 H'를 나타내고 있다.

수학식 11

[0589] **행 치환:6s+t+1행째 →5t+s+1행째**

수학식 12

[0590] **열 치환:6x+y+61열째 →5y+x+61열째**

[0591] 단, 수학식 11 및 수학식 12에 있어서, s, t, x, y는, 각각, 0≤s<5, 0≤t<6, 0≤x<5, 0≤t<6의 범위의 정수이다.

[0592] 수학식 11의 행 치환에 의하면, 6으로 나누어 나머지가 1이 되는 1, 7, 13, 19, 25행째를 각각 1, 2, 3, 4, 5행째로, 6으로 나누어 나머지가 2가 되는 2, 8, 14, 20, 26행째를 각각 6, 7, 8, 9, 10행째로와 같은 상태로 치환이 행해진다.

[0593] 또한, 수학식 12의 열 치환에 의하면, 61열째 이후(패리티 행렬)에 대하여, 6으로 나누어 나머지가 1이 되는 61, 67, 73, 79, 85열째를, 각각 61, 62, 63, 64, 65열째로, 6으로 나누어 나머지가 2가 되는 62, 68, 74, 80, 86열째를 각각 66, 67, 68, 69, 70열째로와 같은 상태로 치환이 행해진다.

[0594] 이와 같이 하여, 도 72의 검사 행렬 H에 대하여, 행과 열의 치환을 행하여 얻어진 행렬(matrix)이, 도 73의 검사 행렬 H'이다.

[0595] 여기서, 검사 행렬 H의 행 치환을 행해도, LDPC 부호의 부호 비트의 배열에는 영향을 미치지 않는다.

[0596] 또한, 수학식 12의 열 치환은, 상술한 K+qx+y+1번째의 부호 비트를, K+Py+x+1번째의 부호 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브의, 정보 길이 K를 60으로, 순회 구조의 단위의 열수 P를 5로, 패리티 길이 M(여기서는, 30)의 약수 q(=M/P)를 6으로, 각각 하였을 때의 패리티 인터리브에 상당한다.

[0597] 도 73의 검사 행렬(이하, 적절하게 치환 검사 행렬이라 함) H'에 대하여, 도 72의 검사 행렬(이하, 적절하게 원래의 검사 행렬이라 함) H의 LDPC 부호에, 수학식 12와 동일한 치환을 행한 것을 곱하면, 0 벡터가 출력된다. 즉, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호(1 부호어)로서의 행 벡터 c에, 수학식 12의 열 치환을 실시하여 얻어지는 행 벡터를 c'로 나타내는 것으로 하면, 검사 행렬의 성질로부터, Hc^T는 0 벡터가 되기 때문에, $H'c'^T$도 당연히 0 벡터가 된다.

[0598] 이상으로부터, 도 73의 변환 검사 행렬 H'는 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호 c에, 수학식 12의 열 치환을 행하여 얻어지는 LDPC 부호 c'의 검사 행렬로 되어 있다.

[0599] 따라서, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호 c에, 수학식 12의 열 치환을 행하고, 그 열 치환 후의 LDPC 부호 c'를, 도 73의 변환 검사 행렬 H'를 사용하여 복호(LDPC 복호)하고, 그 복호 결과에, 수학식 12의 열 치환의 역치환을 실시함으로써, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호를, 그 검사 행렬 H를 사용하여 복호하는 경우와 마찬가지의 복호 결과를 얻을 수 있다.

[0600] 도 74는 5×5의 행렬의 단위로 간격을 둔, 도 73의 변환 검사 행렬 H'를 나타내고 있다.

[0601] 도 74에 있어서는, 변환 검사 행렬 H'는 5×5의 단위 행렬, 그 단위 행렬의 1 중 1개 이상이 0으로 된 행렬(이하, 적절하게 준단위 행렬이라 함), 단위 행렬 또는 준단위 행렬을 사이클릭 시프트(cyclic shift)한 행렬(이하, 적절하게 시프트 행렬이라 함), 단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬 중 2 이상의 합(이하, 적절하게 합 행렬이라 함), 5×5의 0 행렬의 조합으로 나타내어지고 있다.

[0602] 도 74의 변환 검사 행렬 H'는 5×5의 단위 행렬, 준단위 행렬, 시프트 행렬, 합 행렬, 0 행렬로 구성되어 있다고 할 수 있다. 따라서, 변환 검사 행렬 H'를 구성하는, 이들 5×5의 행렬을, 이하, 적절하게 구성 행렬이라 한다.

[0603] P×P의 구성 행렬로 나타내어지는 검사 행렬로 나타내어지는 LDPC 부호의 복호에는, 체크 노드 연산, 및 변수 노드 연산을 P개 동시에 행하는 아키텍쳐(architecture)를 사용할 수 있다.

[0604] 도 75는, 그러한 복호를 행하는 복호 장치의 구성예를 도시하는 블록도이다.

[0605] 즉, 도 75는, 도 72의 원래의 검사 행렬 H에 대하여, 적어도 수학식 12의 열 치환을 행하여 얻어지는 도 74의 변환 검사 행렬 H'를 사용하여, LDPC 부호의 복호를 행하는 복호 장치의 구성예를 도시하고 있다.

[0606] 도 75의 복호 장치는, 6개의 FIFO(300_1 내지 300_6)로 이루어지는 가지 데이터 저장용 메모리(300), FIFO(300_1 내지 300_6)를 선택하는 셀렉터(301), 체크 노드 계산부(302), 2개의 사이클릭 시프트 회로(303 및 308), 18개의 FIFO(304_1 내지 304_{18})로 이루어지는 가지 데이터 저장용 메모리(304), FIFO(304_1 내지 304_{18})를 선택하는 셀렉터(305), 수신 정보를 저장하는 수신 데이터용 메모리(306), 변수 노드 계산부(307), 복호어 계산부(309), 수신 데이터 재배열부(310), 복호 데이터 재배열부(311)로 이루어진다.

[0607] 우선, 가지 데이터 저장용 메모리(300과 304)에의 데이터의 저장 방법에 대하여 설명한다.

[0608] 가지 데이터 저장용 메모리(300)는 도 74의 변환 검사 행렬 H'의 행수 30을 구성 행렬의 행수 5로 제산한 수인 6개의 FIFO(300_1 내지 300_6)로 구성되어 있다. FIFO(300_y)(y=1, 2,…, 6)는 복수의 단수의 기억 영역으로 이루어지고, 각 단수의 기억 영역에는 구성 행렬의 행수 및 열수인 5개의 가지에 대응하는 메시지를 동시에 판독 혹은 기입할 수 있도록 되어 있다. 또한, FIFO(300_y)의 기억 영역의 단수는 도 74의 변환 검사 행렬의 행 방향의 1의 수(해밍 가중치)의 최대수인 9로 되어 있다.

[0609] FIFO(300_1)에는, 도 74의 변환 검사 행렬 H'의 제1행째부터 제5행째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터(변수 노드로부터의 메시지 v_i)가, 각 행 모두 횡방향으로 채워진 형태로(0을 무시한 형태로) 저장된다. 즉, 제j행 제i열을 (j, i)로 나타내는 것으로 하면, FIFO(300_1)의 제1단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (1, 1)로부터

(5, 5)의 5×5의 단위 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 제2단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (1, 21)로부터 (5, 25)의 시프트 행렬(5×5의 단위 행렬을 우측 방향으로 3개만큼 사이클릭 시프트한 시프트 행렬)의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 제3 내지 제8단의 기억 영역도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H'와 대응시켜 데이터가 저장된다. 그리고, 제9단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (1, 86)으로부터 (5, 90)의 시프트 행렬(5×5의 단위 행렬 중 1행째의 1을 0으로 치환하여 1개만큼 좌측으로 사이클릭 시프트한 시프트 행렬)의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다.

[0610] FIFO(300_2)에는, 도 74의 변환 검사 행렬 H'의 제6행째부터 제10행째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 즉, FIFO(300_2)의 제1단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (6, 1)로부터 (10, 5)의 합 행렬(5×5의 단위 행렬을 우측으로 1개만큼 사이클릭 시프트한 제1 시프트 행렬과, 우측으로 2개만큼 사이클릭 시프트한 제2 시프트 행렬의 합인 합 행렬)을 구성하는 제1 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 또한, 제2단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (6, 1)로부터 (10, 5)의 합 행렬을 구성하는 제2 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다.

[0611] 즉, 가중치가 2 이상인 구성 행렬에 대해서는, 그 구성 행렬을, 가중치가 1인 P×P의 단위 행렬, 그 요소인 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 또는 단위 행렬 혹은 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 시프트 행렬 중 복수의 합의 형태로 표현하였을 때의, 그 가중치가 1의 단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터(단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬에 속하는 가지에 대응하는 메시지)는 동일 어드레스(FIFO(300_1 내지 300_6) 중 동일한 FIFO)에 저장된다.

[0612] 이하, 제3 내지 제9단의 기억 영역에 대해서도, 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜 데이터가 저장된다.

[0613] FIFO(300_3 내지 300_6)도 마찬가지로 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜 데이터를 저장한다.

[0614] 가지 데이터 저장용 메모리(304)는 변환 검사 행렬 H'의 열수 90을, 구성 행렬의 열수인 5로 나눈 18개의 FIFO(304_1 내지 304_{18})로 구성되어 있다. FIFO(304_x)(x=1, 2,…, 18)는 복수의 단수의 기억 영역으로 이루어지고, 각 단의 기억 영역에는 변환 구성 행렬 H'의 행수 및 열수인 5개의 가지에 대응하는 메시지를 동시에 판독 혹은 기입할 수 있도록 되어 있다.

[0615] FIFO(304_1)에는, 도 74의 변환 검사 행렬 H'의 제1열째부터 제5열째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터(체크 노드로부터의 메시지 u_j)가, 각 열 모두 종방향으로 채워진 형태로(0을 무시한 형태로) 저장된다. 즉, FIFO(304_1)의 제1단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (1, 1)로부터 (5, 5)의 5×5의 단위 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 제2단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (6, 1)로부터 (10, 5)의 합 행렬(5×5의 단위 행렬을 우측으로 1개만큼 사이클릭 시프트한 제1 시프트 행렬과, 우측으로 2개만큼 사이클릭 시프트한 제2 시프트 행렬과의 합인 합 행렬)을 구성하는 제1 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 또한, 제3단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (6, 1)로부터 (10, 5)의 합 행렬을 구성하는 제2 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다.

[0616] 즉, 가중치가 2 이상인 구성 행렬에 대해서는, 그 구성 행렬을, 가중치가 1인 P×P의 단위 행렬, 그 요소인 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 또는 단위 행렬 혹은 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 시프트 행렬 중 복수의 합의 형태로 표현하였을 때의, 그 가중치가 1인 단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬의 1의 위치에 대응하는 데이터(단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬에 속하는 가지에 대응하는 메시지)는 동일 어드레스(FIFO(304_1 내지 304_{18}) 중 동일한 FIFO)에 저장된다.

[0617] 이하, 제4 및 제5단의 기억 영역에 대해서도, 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜, 데이터가 저장된다. 이 FIFO(304_1)의 기억 영역의 단수는 변환 검사 행렬 H'의 제1열 내지 제5열에 있어서의 행 방향의 1의 수(해밍 가중치)의 최대수인 5로 되어 있다.

[0618] FIFO(304_2와 304_3)도 마찬가지로 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜 데이터를 저장하고, 각각의 길이(단수)는 5이다. FIFO(304_4 내지 304_{12})도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜 데이터를 저장하고, 각각의 길이는 3이다. FIFO(304_{13} 내지 304_{18})도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H'에 대응시켜 데이터를 저장하고, 각각의 길이는 2이다.

[0619] 다음에, 도 75의 복호 장치의 동작에 대하여 설명한다.

[0620] 가지 데이터 저장용 메모리(300)는 6개의 FIFO(300_1 내지 300_6)로 이루어지고, 전단의 사이클릭 시프트 회로(308)로부터 공급되는 5개의 메시지 D311이 변환 검사 행렬 H' 어느 행에 속하는지의 정보(Matrix 데이터) D312에 따라서, 데이터를 저장하는 FIFO를, FIFO(300_1 내지 300_6) 중에서 선택하고, 선택한 FIFO에 5개의 메시지 D311을 통합하여 순서대로 저장해 간다. 또한, 가지 데이터 저장용 메모리(300)는 데이터를 판독할 때는, FIFO(300_1)로부터 5개의 메시지 $D300_1$을 순서대로 판독하고, 다음단의 셀렉터(301)에 공급한다. 가지 데이터 저장용 메모리(300)는 FIFO(300_1)로부터의 메시지의 판독의 종료 후, FIFO(300_2 내지 300_6)로부터도, 순서대로, 메시지를 판독하고, 셀렉터(301)에 공급한다.

[0621] 셀렉터(301)는 셀렉트 신호 D301에 따라서, FIFO(300_1 내지 300_6) 중, 현재 데이터가 판독되어 있는 FIFO로부터의 5개의 메시지를 선택하고, 메시지 D302로서, 체크 노드 계산부(302)에 공급한다.

[0622] 체크 노드 계산부(302)는 5개의 체크 노드 계산기(302_1 내지 302_5)로 이루어지고, 셀렉터(301)를 통하여 공급되는 메시지 D302($D302_1$ 내지 $D302_5$)(수학식 7의 메시지 v_i)를 사용하여, 수학식 7에 따라서 체크 노드 연산을 행하고, 그 체크 노드 연산의 결과 얻어지는 5개의 메시지 D303($D303_1$ 내지 $D303_5$)(수학식 7의 메시지 u_j)을 사이클릭 시프트 회로(303)에 공급한다.

[0623] 사이클릭 시프트 회로(303)는 체크 노드 계산부(302)에서 구해진 5개의 메시지 $D303_1$ 내지 $D303_5$를, 대응하는 가지가 변환 검사 행렬 H'에 있어서 바탕이 되는 단위 행렬을 몇 사이클릭 시프트한 것인지의 정보(Matrix 데이터) D305를 바탕으로 사이클릭 시프트하고, 그 결과를 메시지 D304로서, 가지 데이터 저장용 메모리(304)에 공급한다.

[0624] 가지 데이터 저장용 메모리(304)는 18개의 FIFO(304_1 내지 304_{18})로 이루어지고, 전단의 사이클릭 시프트 회로(303)로부터 공급되는 5개의 메시지 D304가 변환 검사 행렬 H'의 어느 행에 속하는지의 정보 D305에 따라서 데이터를 저장하는 FIFO를, FIFO(304_1 내지 3041_8) 중에서 선택하고, 선택한 FIFO에 5개의 메시지 D304를 통합하여 순서대로 저장해 간다. 또한, 가지 데이터 저장용 메모리(304)는 데이터를 판독할 때에는, FIFO(304_1)로부터 5개의 메시지 $D306_1$을 순서대로 판독하고, 다음단의 셀렉터(305)에 공급한다. 가지 데이터 저장용 메모리(304)는 FIFO(304_1)로부터의 데이터의 판독의 종료 후, FIFO(304_2 내지 304_{18})로부터도, 순서대로 메시지를 판독하고, 셀렉터(305)에 공급한다.

[0625] 셀렉터(305)는 셀렉트 신호 D307에 따라서, FIFO(304_1 내지 304_{18}) 중, 현재 데이터가 판독되어 있는 FIFO로부터의 5개의 메시지를 선택하고, 메시지 D308로서, 변수 노드 계산부(307)와 복호어 계산부(309)에 공급한다.

[0626] 한편, 수신 데이터 재배열부(310)는 통신로를 통하여 수신한 LDPC 부호 D313을, 수학식 12의 열 치환을 행함으로써 재배열하고, 수신 데이터 D314로서, 수신 데이터용 메모리(306)에 공급한다. 수신 데이터용 메모리(306)는 수신 데이터 재배열부(310)로부터 공급되는 수신 데이터 D314로부터, 수신 LLR(대수 우도비)을 계산하여 기억하고, 그 수신 LLR을 5개씩 통합하여 수신값 D309로서, 변수 노드 계산부(307)와 복호어 계산부(309)에 공급한다.

[0627] 변수 노드 계산부(307)는 5개의 변수 노드 계산기(307_1 내지 307_5)로 이루어지고, 셀렉터(305)를 통하여 공급되는 메시지 D308($D308_1$ 내지 $D308_5$)(수학식 1의 메시지 u_j)과, 수신 데이터용 메모리(306)로부터 공급되는 5개의 수신값 D309(수학식 1의 수신값 u_{0i})를 사용하여, 수학식 1에 따라서 변수 노드 연산을 행하고, 그 연산의 결과 얻어지는 메시지 D310($D310_1$ 내지 $D310_5$)(수학식 1의 메시지 v_i)을 사이클릭 시프트 회로(308)에 공급한다.

[0628] 사이클릭 시프트 회로(308)는 변수 노드 계산부(307)에서 계산된 메시지$D310_1$ 내지 $D310_5$를, 대응하는 가지가 변환 검사 행렬 H'에 있어서 바탕이 되는 단위 행렬을 몇 사이클릭 시프트한 것인지의 정보를 기초로 사이클릭 시프트하고, 그 결과를 메시지 D311로서, 가지 데이터 저장용 메모리(300)에 공급한다.

[0629] 이상의 동작을 1순회함으로써, LDPC 부호의 1회의 복호를 행할 수 있다. 도 75의 복호 장치는 소정의 횟수만큼 LDPC 부호를 복호한 후, 복호어 계산부(309) 및 복호 데이터 재배열부(311)에 있어서, 최종적인 복호 결과를 구하여 출력한다.

[0630] 즉, 복호어 계산부(309)는 5개의 복호어 계산기(309_1 내지 309_5)로 이루어지고, 셀렉터(305)가 출력하는 5개의 메시지 D308($D308_1$ 내지 $D308_5$)(수학식 5의 메시지 u_j)과, 수신 데이터용 메모리(306)로부터 공급되는 5개의 수신값 D309(수학식 5의 수신값 u_{0i})를 사용하고, 복수회의 복호의 최종단으로서, 수학식 5에 기초하여, 복호 결과(복호어)를 계산하여, 그 결과 얻어지는 복호 데이터 D315를 복호 데이터 재배열부(311)에 공급한다.

[0631] 복호 데이터 재배열부(311)는 복호어 계산부(309)로부터 공급되는 복호 데이터 D315를 대상으로, 수학식 12의 열 치환의 역치환을 행함으로써, 그 순서를 재배열하고, 최종적인 복호 결과 D316으로서 출력한다.

[0632] 이상과 같이, 검사 행렬(원래의 검사 행렬)에 대하여, 행 치환과 열 치환 중 한쪽 또는 양쪽을 실시하고, P×P의 단위 행렬, 그 요소의 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 단위 행렬 혹은 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 시프트 행렬, 단위 행렬, 준단위 행렬, 혹은 시프트 행렬의 복수의 합인 합 행렬, P×P의 0 행렬의 조합, 즉 구성 행렬의 조합으로 나타낼 수 있는 검사 행렬(변환 검사 행렬)로 변환함으로써, LDPC 부호의 복호를, 체크 노드 연산과 변수 노드 연산을 P개 동시에 행하는 아키텍쳐(architecture)를 채용하는 것이 가능해지고, 이에 의해 노드 연산을 P개 동시에 행함으로써 동작 주파수를 실현 가능한 범위로 억제하여, 다수의 반복 복호를 행할 수 있다.

[0633] 도 70의 수신 장치(12)를 구성하는 LDPC 복호부(56)는, 도 75의 복호 장치와 마찬가지로, 체크 노드 연산과 변수 노드 연산을 P개 동시에 행함으로써, LDPC 복호를 행하도록 되어 있다.

[0634] 즉, 현재, 설명을 간단하게 하기 위해, 도 8의 송신 장치(11)를 구성하는 LDPC 부호화부(21)가 출력하는 LDPC 부호의 검사 행렬이, 예를 들어 도 72에 나타낸, 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬 H라고 하면, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23)에서는, K+qx+y+1번째의 부호 비트를, K+Py+x+1번째의 부호 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브가, 정보 길이 K를 60으로, 순회 구조의 단위의 열수 P를 5로, 패리티 길이 M의 약수 q(=M/P)를 6으로, 각각 하여 행해진다.

[0635] 이 패리티 인터리브는, 상술한 바와 같이, 수학식 12의 열 치환에 상당하므로, LDPC 복호부(56)에서는, 수학식 12의 열 치환을 행할 필요가 없다.

[0636] 이로 인해, 도 70의 수신 장치(12)에서는, 상술한 바와 같이 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로부터, LDPC 복호부(56)에 대하여 패리티 디인터리브가 행해지고 있지 않은 LDPC 부호, 즉, 수학식 12의 열 치환이 행해진 상태의 LDPC 부호가 공급되고, LDPC 복호부(56)에서는, 수학식 12의 열 치환을 행하지 않는 것을 제외하면, 도 75의 복호 장치와 마찬가지의 처리가 행해진다.

[0637] 즉, 도 76은 도 70의 LDPC 복호부(56)의 구성예를 도시하고 있다.

[0638] 도 76에 있어서, LDPC 복호부(56)는 도 75의 수신 데이터 재배열부(310)가 설치되어 있지 않은 것을 제외하면, 도 75의 복호 장치와 마찬가지로 구성되어 있고, 수학식 12의 열 치환이 행해지지 않는 것을 제외하고, 도 75의 복호 장치와 마찬가지의 처리를 행하므로, 그 설명은 생략한다.

[0639] 이상과 같이, LDPC 복호부(56)는 수신 데이터 재배열부(310)를 설치하지 않고 구성할 수 있으므로, 도 75의 복호 장치보다도 규모를 삭감할 수 있다.

[0640] 또한, 도 72 내지 도 76에서는, 설명을 간단하게 하기 위해, LDPC 부호의 부호 길이 N을 90으로, 정보 길이 K를 60으로, 순회 구조의 단위의 열수(구성 행렬의 행수 및 열수) P를 5로, 패리티 길이 M의 약수 q(=M/P)를 6으로, 각각 하였지만, 부호 길이 N, 정보 길이 K, 순회 구조의 단위의 열수 P, 및 약수 q(=M/P)의 각각은, 상술한 값에 한정되는 것은 아니다.

[0641] 즉, 도 8의 송신 장치(11)에 있어서, LDPC 부호화부(21)가 출력하는 것은, 예를 들어 부호 길이 N을 64800 또는 16200으로, 정보 길이 K를 N-Pq(=N-M)로, 순회 구조의 단위의 열수 P를 360으로, 약수 q를 M/P로, 각각 하는 LDPC 부호이지만, 도 76의 LDPC 복호부(56)는 그러한 LDPC 부호를 대상으로 하여, 체크 노드 연산과 변수 노드 연산을 P개 동시에 행함으로써, LDPC 복호를 행하는 경우에도 적용 가능하다.

[0642] 다음에, 상술한 일련의 처리는 하드웨어에 의해 행할 수도 있고, 소프트웨어에 의해 행할 수도 있다. 일련의 처리를 소프트웨어에 의해 행하는 경우에는, 그 소프트웨어를 구성하는 프로그램이 범용의 컴퓨터 등에 인스톨된다.

[0643] 따라서, 도 77은, 상술한 일련의 처리를 실행하는 프로그램이 인스톨되는 컴퓨터의 일 실시 형태의 구성예를 도

시하고 있다.

[0644] 프로그램은 컴퓨터에 내장되어 있는 기록 매체로서의 하드 디스크(705)나 ROM(703)에 미리 기록해 둘 수 있다.

[0645] 혹은 또한, 프로그램은, 플렉시블 디스크, CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory), MO(Magneto Optical) 디스크, DVD(Digital Versatile Disc), 자기 디스크, 반도체 메모리 등의 리무버블 기록 매체(711)에, 일시적 혹은 영속적으로 저장(기록)해 둘 수 있다. 이러한 리무버블 기록 매체(711)는 소위 팩키지 소프트 웨어로서 제공할 수 있다.

[0646] 또한, 프로그램은, 상술한 바와 같은 리무버블 기록 매체(711)로부터 컴퓨터에 인스톨하는 것 외에, 다운로드 사이트로부터, 디지털 위성 방송용 인공위성을 통하여 컴퓨터에 무선으로 전송하거나, LAN(Local Area Network), 인터넷과 같은 네트워크를 통하여 컴퓨터에 유선으로 전송하고, 컴퓨터에서는, 그렇게 하여 전송되어 오는 프로그램을 통신부(708)에서 수신하여, 내장하는 하드 디스크(705)에 인스톨할 수 있다.

[0647] 컴퓨터는, CPU(Central Processing Unit)(702)를 내장하고 있다. CPU(702)에는 버스(701)를 통하여 입출력 인터페이스(710)가 접속되어 있고, CPU(702)는 입출력 인터페이스(710)를 통하여 유저에 의해 키보드나, 마우스, 마이크 등으로 구성되는 입력부(707)가 조작 등 됨으로써 명령이 입력되면, 그에 따라서, ROM(Read Only Memory)(703)에 저장되어 있는 프로그램을 실행한다. 혹은, 또한, CPU(702)는 하드 디스크(705)에 저장되어 있는 프로그램, 위성 혹은 네트워크로부터 전송되고, 통신부(708)로 수신되어 하드 디스크(705)에 인스톨된 프로그램, 또는 드라이브(709)에 장착된 리무버블 기록 매체(711)로부터 판독되어 하드 디스크(705)에 인스톨된 프로그램을 RAM(Random Access Memory)(704)에 로드하여 실행한다. 이에 의해, CPU(702)는 상술한 흐름도에 따른 처리, 혹은 상술한 블록도의 구성에 의해 행해지는 처리를 행한다. 그리고, CPU(702)는, 그 처리 결과를 필요에 따라서, 예를 들어 입출력 인터페이스(710)를 통하여 LCD(Liquid Crystal Display)나 스피커 등으로 구성되는 출력부(706)로부터 출력, 혹은 통신부(708)로부터 송신, 나아가 하드 디스크(705)에 기록 등을 하게 한다.

[0648] 여기서, 본 명세서에 있어서, 컴퓨터에 각종 처리를 행하게 하기 위한 프로그램을 기술하는 처리 스텝은 반드시 흐름도로서 기재된 순서를 따라 시계열로 처리할 필요는 없고, 병렬적 혹은 개별로 실행되는 처리(예를 들어, 병렬 처리 혹은 오브젝트에 의한 처리)도 포함하는 것이다.

[0649] 또한, 프로그램은, 1개의 컴퓨터에 의해 처리되는 것이어도 되고, 복수의 컴퓨터에 의해 분산 처리되는 것이어도 된다. 또한, 프로그램은 먼 곳의 컴퓨터에 전송되어 실행되는 것이어도 된다.

[0650] 다음에, 송신 장치(11)의 LDPC 부호화부(21)에 의한 LDPC 부호화의 처리에 대하여, 더 설명한다.

[0651] 예를 들어, DVB-S.2의 규격으로는, 64800비트와 16200비트의 2가지의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있다.

[0652] 그리고, 부호 길이 N이 64800비트의 LDPC 부호에 대해서는, 11개의 부호화율 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 및 9/10가 규정되어 있고, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호에 대해서는, 10개의 부호화율 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 및 8/9이 규정되어 있다.

[0653] LDPC 부호화부(21)는 이러한 부호 길이 N이 64800비트나 16200비트의 각 부호화율의 LDPC 부호에 의한 부호화(오류 정정 부호화)를, 부호 길이 N마다, 및 부호화율마다 준비된 검사 행렬 H에 따라서 행한다.

[0654] 즉, LDPC 부호화부(21)는, 검사 행렬 H를 생성하기 위한, 후술하는 검사 행렬 초기값 테이블을 부호 길이 N마다, 및 부호화율마다 기억하고 있다.

[0655] 여기서, DVB-S.2의 규격으로는, 상술한 바와 같이 64800비트와 16200비트의 2가지의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있고, 부호 길이 N이 64800비트의 LDPC 부호에 대해서는, 11개의 부호화율이, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호에 대해서는, 10개의 부호화율이, 각각 규정되어 있다.

[0656] 따라서, 송신 장치(11)가 DVB-S.2의 규격에 준거한 처리를 행하는 장치인 경우, LDPC 부호화부(21)에는, 부호 길이 N이 64800비트의 LDPC 부호에 대한, 11개의 부호화율 각각에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블과, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호에 대한, 10개의 부호화율 각각에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블이 기억된다.

[0657] LDPC 부호화부(21)는, 예를 들어 오퍼레이터의 조작 등에 따라서, LDPC 부호의 부호 길이 N과 부호화율 r을 설정한다. 여기서, 이하, 적절하게 LDPC 부호화부(21)에서 설정된 부호 길이 N과 부호화율 r을, 각각 설정 부호 길이 N과 설정 부호화율 r이라고도 한다.

[0658] LDPC 부호화부(21)는, 설정 부호 길이 N 및 설정 부호화율 r에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블에 기초하여, 설정 부호 길이 N 및 설정 부호화율 r에 따른 정보 길이 K(=Nr=부호 길이 N-패리티 길이 M)에 대응하는 정보 행렬 H_A의 1의 요소를 열 방향으로 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다의 주기로 배치하여 검사 행렬 H를 생성한다.

[0659] 그리고, LDPC 부호화부(21)는 송신 장치(11)에 공급되는, 화상 데이터나 음성 데이터 등의, 송신의 대상인 대상 데이터로부터, 정보 길이 K분의 정보 비트를 추출한다. 또한, LDPC 부호화부(21)는 검사 행렬 H에 기초하여 정보 비트에 대한 패리티 비트를 산출하고, 1 부호 길이분의 부호어(LDPC 부호)를 생성한다.

[0660] 즉, LDPC 부호화부(21)는 다음 식을 만족하는 부호어 c의 패리티 비트를 순차 연산한다.

[0661] $Hc^T=0$

[0662] 여기서, 상기 식에 있어서, c는 부호어(LDPC 부호)로서의 행 벡터를 나타내고, c^T는 행 벡터 c의 전치를 나타낸다.

[0663] LDPC 부호(1 부호어)로서의 행 벡터 c 중, 정보 비트의 부분을 행 벡터 A로 나타냄과 함께, 패리티 비트의 부분을 행 벡터 T로 나타내는 경우에는, 행 벡터 c는 정보 비트로서의 행 벡터 A와, 패리티 비트로서의 행 벡터 T에 의해, 식 c =[A|T]로 나타낼 수 있다.

[0664] 또한, 검사 행렬 H는 LDPC 부호의 부호 비트 중, 정보 비트에 대응하는 부분의 정보 행렬 H_A와, 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬 H_T에 의해, 식 $H=[H_A|H_T]$(정보 행렬 H_A의 요소를 좌측의 요소로 하고, 패리티 행렬 H_T의 요소를 우측의 요소로 하는 행렬)로 나타낼 수 있다.

[0665] 또한, 예를 들어 DVB-S.2의 규격에서는, 검사 행렬 $H=[H_A|H_T]$의 패리티 행렬 H_T가 계단 구조로 되어 있다.

[0666] 검사 행렬 H와, LDPC 부호로서의 행 벡터 c=[A|T]는 식 $Hc^T=0$을 충족시킬 필요가 있고, 이러한 식 $Hc^T=0$을 충족시키는 행 벡터 c=[A|T]를 구성하는 패리티 비트로서의 행 벡터 T는 검사 행렬 $H=[H_A|H_T]$의 패리티 행렬 H_T가 계단 구조로 되어 있는 경우에는, 식 $Hc^T=0$에 있어서의 열 벡터 Hc^T의 1행째의 요소로부터 순서대로, 각 행의 요소를 0으로 해 가도록 함으로써, 순차적으로 구할 수 있다.

[0667] LDPC 부호화부(21)는 정보 비트 A에 대하여, 패리티 비트 T를 구하면, 그 정보 비트 A와 패리티 비트 T에 의해 나타내어지는 부호어 c=[A|T]를, 정보 비트 A의 LDPC 부호화 결과로서 출력한다.

[0668] 이상과 같이, LDPC 부호화부(21)는 각 부호 길이 N, 및 각 부호화율 r에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블을 기억하고 있고, 설정 부호 길이 N의, 설정 부호화율 r의 LDPC 부호화를, 그 설정 부호 길이 N, 및 설정 부호화율 r에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 생성되는 검사 행렬 H를 사용하여 행한다.

[0669] 검사 행렬 초기값 테이블은 검사 행렬 H의, LDPC 부호(검사 행렬 H에 의해 정의되는 LDPC 부호)의 부호 길이 N 및 부호화율 r에 따른 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A의 1의 요소의 위치를 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 각 부호 길이 N 및 각 부호화율 r의 검사 행렬 H마다 미리 작성된다.

[0670] 도 78 내지 도 123은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는 검사 행렬 초기값 테이블을 포함하는, 여러가지 검사 행렬 H를 생성하기 위한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0671] 즉, 도 78은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0672] 도 79 내지 도 81은, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0673] 또한, 도 80은 도 79에 이어지는 도면이며, 도 81은 도 80에 이어지는 도면이다.

[0674] 도 82는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 3/4인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0675] 도 83 내지 도 86은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 3/4인 검

사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0676] 또한, 도 84는 도 83에 이어지는 도면이며, 도 85는 도 84에 이어지는 도면이다. 또한, 도 86은 도 85에 이어지는 도면이다.

[0677] 도 87은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 4/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0678] 도 88 내지 도 91은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 4/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0679] 또한, 도 89는 도 88에 이어지는 도면이며, 도 90은 도 89에 이어지는 도면이다. 또한, 도 91은 도 90에 이어지는 도면이다.

[0680] 도 92는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 5/6인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0681] 도 93 내지 도 96은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 5/6인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0682] 또한, 도 94는 도 93에 이어지는 도면이며, 도 95는 도 94에 이어지는 도면이다. 또한, 도 96은 도 95에 이어지는 도면이다.

[0683] 도 97은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 8/9인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0684] 도 98 내지 도 101은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 8/9인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0685] 또한, 도 99는 도 98에 이어지는 도면이며, 도 100은 도 99에 이어지는 도면이다. 또한, 도 101은 도 100에 이어지는 도면이다.

[0686] 도 102 내지 도 105는, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 9/10인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0687] 또한, 도 103은 도 102에 이어지는 도면이며, 도 104는 도 103에 이어지는 도면이다. 또한, 도 105는 도 104에 이어지는 도면이다.

[0688] 도 106 및 도 107은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 1/4인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0689] 또한, 도 107은 도 106에 이어지는 도면이다.

[0690] 도 108 및 도 109는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 1/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0691] 또한, 도 109는 도 108에 이어지는 도면이다.

[0692] 도 110 및 도 111은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 2/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0693] 또한, 도 111은 도 110에 이어지는 도면이다.

[0694] 도 112 내지 도 114는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 1/2인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0695] 또한, 도 113은 도 112에 이어지는 도면이며, 도 114는 도 113에 이어지는 도면이다.

[0696] 도 115 내지 도 117은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율 r이 3/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0697] 또한, 도 116은 도 115에 이어지는 도면이며, 도 117은 도 116에 이어지는 도면이다.

[0698] 도 118은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 1/4인 검사 행렬 H에

대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0699] 도 119는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 1/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0700] 도 120은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 2/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0701] 도 121은 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 1/2인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0702] 도 122는 DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 3/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0703] 도 123은 도 122의 검사 행렬 초기값 테이블 대신에 사용할 수 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 3/5인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0704] 송신 장치(11)의 LDPC 부호화부(21)는 검사 행렬 초기값 테이블을 사용하여, 이하와 같이, 검사 행렬 H를 구한다.

[0705] 즉, 도 124는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H를 구하는 방법을 나타내고 있다.

[0706] 또한, 도 124의 검사 행렬 초기값 테이블은, 도 78에 나타낸, DVB-S.2의 규격으로 규정되어 있는, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율 r이 2/3인 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.

[0707] 검사 행렬 초기값 테이블은, 상술한 바와 같이, LDPC 부호의 부호 길이 N 및 부호화율 r에 따른 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A의 1의 요소의 위치를, 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 그 i행째에는, 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째의 1의 요소의 행 번호(검사 행렬 H의 1행째의 행 번호를 0으로 하는 행 번호)가, 그 1+360×(i-1)열째의 열이 갖는 열 가중치의 수만큼 배열되어 있다.

[0708] 여기서, 검사 행렬 H의, 패리티 길이 M에 대응하는 패리티 행렬 H_T는, 계단 구조로 되어 있고, 미리 결정되어 있는 것으로 한다. 검사 행렬 초기값 테이블에 의하면, 검사 행렬 H 중, 정보 길이 K에 대응하는 정보 행렬 H_A가 구해진다.

[0709] 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 k+1은, 정보 길이 K에 따라 상이하다.

[0710] 정보 길이 K와, 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 k+1과의 사이에는, 다음 식의 관계가 성립된다.

[0711] $K=(k+1)\times 360$

[0712] 여기서, 상기 식의 360은, 순회 구조의 단위의 열수 P이다.

[0713] 도 124의 검사 행렬 초기값 테이블에서는, 1행째부터 3행째까지 13개의 수치가 배열되고, 4행째부터 k+1행째(도 124에서는 30행째)까지 3개의 수치가 배열되어 있다.

[0714] 따라서, 도 124의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H의 열 가중치는, 1열째부터 1+360×(3-1)-1열째까지는 13이며, 1+360×(3-1)열째부터 K열째까지는 3이다.

[0715] 도 124의 검사 행렬 초기값 테이블의 1행째는, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622로 되어 있고, 이것은, 검사 행렬 H의 1열째에 있어서, 행 번호가, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622의 행의 요소가 1인 것(또한, 다른 요소가 0인 것)을 나타내고 있다.

[0716] 또한, 도 124의 검사 행렬 초기값 테이블의 2행째는, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108로 되어 있고, 이것은, 검사 행렬 H의 361(=1+360×(2-1))열째에 있어서, 행 번호가, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108의 행의 요소가 1인 것을 나타내고 있다.

[0717] 이상과 같이, 검사 행렬 초기값 테이블은, 검사 행렬 H의 정보 행렬 H_A의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타낸다.

[0718] 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열, 즉, 2+360×(i-1)열째부터 360×i열째까지의 각 열은, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 1+360×(i-1)열째의 1의 요소를, 패리티 길이 M에 따라서 하측 방향(열의 하측 방향)으로, 주기적으로 사이클릭 시프트하여 배치한 것으로 되어 있다.

[0719] 즉, 예를 들어, 2+360×(i-1)열째는, 1+360×(i-1)열째를 M/360(=q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것으로 되어 있고, 다음의 3+360×(i-1)열째는, 1+360×(i-1)열째를 2×M/360(=2×q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것(2+360×(i-1)열째를 M/360(=q)만큼 하측 방향으로 사이클릭 시프트한 것)으로 되어 있다.

[0720] 현재, 검사 행렬 초기값 테이블의 i행째(상측으로부터 i번째)의 j열째(좌측으로부터 j번째)의 수치를 $h_{i,j}$로 나타냄과 함께, 검사 행렬 H의 w열째의 j개째의 1의 요소의 행 번호를 H_{w-j}로 나타내는 것으로 하면, 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열인 w열째의 1의 요소의 행 번호 H_{w-j}는, 다음 식으로 구할 수 있다.

[0721] $$H_{w-j}=\mathrm{mod}\{h_{i,j}+\mathrm{mod}((w-1),P)\times q,\ M\}$$

[0722] 여기서, mod(x, y)는 x를 y로 나눈 나머지를 의미한다.

[0723] 또한, P는, 상술한 순회 구조의 단위의 열수이며, 예를 들어, DVB-S.2의 규격에서는 360이다. 또한, q는, 패리티 길이 M을, 순회 구조의 단위의 열수 P(=360)로 제산함으로써 얻어지는 값 M/360이다.

[0724] LDPC 부호화부(21)는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해, 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째의 1의 요소의 행 번호를 특정한다.

[0725] 또한, LDPC 부호화부(21)는 검사 행렬 H의 1+360×(i-1)열째 이외의 열인 w열째의 1의 요소의 행 번호 H_{w-j}를 구하고, 이상에 의해 얻어진 행 번호의 요소를 1로 하는 검사 행렬 H를 생성한다.

[0726] 다음에, 송신 장치(11)에 있어서의 디멀티플렉서(25)의 교체부(32)에 의한 교체 처리에서의 LDPC 부호의 부호 비트의 교체 방법, 즉, LDPC 부호의 부호 비트와, 심볼을 나타내는 심볼 비트와의 할당 패턴(이하, 비트 할당 패턴이라고도 함)의 변형에 대하여 설명한다.

[0727] 디멀티플렉서(25)에서는, LDPC 부호의 부호 비트가, 칼럼 방향×로우 방향이 (N/(mb))×(mb)비트인 메모리(31)의 칼럼 방향으로 기입되고, 그 후, mb비트 단위로 로우 방향으로 판독된다. 또한, 디멀티플렉서(25)에서는, 교체부(32)에 있어서, 메모리(31)의 로우 방향으로 판독되는 mb비트의 부호 비트가 교체되고, 교체 후의 부호 비트가, (연속하는) b개의 심볼의 mb비트의 심볼 비트로 된다.

[0728] 즉, 교체부(32)는, 메모리(31)의 로우 방향으로 판독되는 mb비트의 부호 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 부호 비트 b_i로 함과 함께, (연속하는) b개의 심볼의 mb비트의 심볼 비트의 최상위 비트로부터 i+1비트째를 심볼 비트 y_i로 하여, 소정의 비트 할당 패턴에 따라서 mb비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{mb-1}을 교체한다.

[0729] 도 125는, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 1인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0730] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(12×1))×(12×1)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 12×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0731] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 12×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을, 도 125에 나타낸 바와 같이, 1(=b)개의 심볼의 12×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{11}에 할당하도록, 12×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0732] 즉, 도 125에 의하면, 교체부(32)는, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도,

[0733] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_8에,

[0734] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_0에,

[0735] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_6에,

[0736] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_1에,

[0737] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_4에,

[0738] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_5에,

[0739] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_2에,

[0740] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_3에,

[0741] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_7에,

[0742] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{10}에,

[0743] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_{11}에,

[0744] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_9에,

[0745] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0746] 도 126은, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0747] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(12×2))×(12×2) 비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 12×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0748] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 12×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{23}을, 도 126에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 12×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{23}에 할당하도록, 12×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{23}을 교체한다.

[0749] 즉, 도 126에 의하면, 교체부(32)는, 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도,

[0750] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_8에,

[0751] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_0에,

[0752] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0753] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_1에,

[0754] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_4에,

[0755] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_5에,

[0756] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_2에,

[0757] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_3에,

[0758] 부호 비트 b_{16}을 심볼 비트 y_7에,

[0759] 부호 비트 b_{18}을 심볼 비트 y_{10}에,

[0760] 부호 비트 b_{20}을 심볼 비트 y_{11}에,

[0761] 부호 비트 b_{22}를 심볼 비트 y_9에,

[0762] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_{20}에,

[0763] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{12}에,

[0764] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_{18}에,

[0765] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_{13}에,

[0766] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{16}에,

[0767] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_{17}에,

[0768] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{14}에,

[0769] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_{15}에,

[0770] 부호 비트 b_{17}을 심볼 비트 y_{19}에,

[0771] 부호 비트 b_{19}를 심볼 비트 y_{22}에,

[0772] 부호 비트 b_{21}을 심볼 비트 y_{23}에,

[0773] 부호 비트 b_{23}을 심볼 비트 y_{21}에,

[0774] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0775] 여기서, 도 126의 비트 할당 패턴은, 배수 b가 1인 경우의 도 125의 비트 할당 패턴을 그대로 이용하고 있다. 즉, 도 126에 있어서, 부호 비트 b_0, b_2,…, b_{22}의 심볼 비트 y_i에의 할당 방법, 및 부호 비트 b_1, b_3,…, b_{23}의 심볼 비트 y_i에의 할당 방법은, 모두 도 125의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}의 심볼 비트 y_i에의 할당 방법과 마찬가지로 되어 있다.

[0776] 도 127은, 변조 방식이 1024QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/4, 5/6, 또는 8/9인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우와, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호 길이가 3/4, 5/6, 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0777] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/4, 5/6, 또는 8/9인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 1024QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(10×2))×(10×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 10×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0778] 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/4, 5/6, 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 1024QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(10×2))×(10×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 10×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0779] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 10×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{19}를, 도 127에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 10×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{19}에 할당하도록, 10×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{19}를 교체한다.

[0780] 즉, 도 127에 의하면, 교체부(32)는, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 3/4인 LDPC 부호, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 8/9인 LDPC 부호, 및 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 3/4인 LDPC 부호, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도,

[0781] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_8에,

[0782] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_3에,

[0783] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_7에,

[0784] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{10}에,

[0785] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_{19}에,

[0786] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_4에,

[0787] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0788] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0789] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_{17}에,

[0790] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_6에,

[0791] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_{14}에,

[0792] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_{11}에,

[0793] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_2에,

[0794] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{18}에,

[0795] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_{16}에,

[0796] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_{15}에,

[0797] 부호 비트 b_{16}을 심볼 비트 y_0에,

[0798] 부호 비트 b_{17}을 심볼 비트 y_1에,

[0799] 부호 비트 b_{18}을 심볼 비트 y_{13}에,

[0800] 부호 비트 b_{19}를 심볼 비트 y_{12}에,

[0801] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0802] 도 128은, 변조 방식이 4096QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 5/6 또는 8/9인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우와, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호 길이가 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0803] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 5/6 또는 8/9인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(12×2))×(12×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 12×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0804] 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 5/6 또는 9/10인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 4096QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(12×2))×(12×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 12×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0805] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 12×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{23}을, 도 128에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 12×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{23}에 할당하도록, 12×2(=mb)비트의 부호

비트 b_0 내지 b_{23}을 교체한다.

[0806] 즉, 도 128에 의하면, 교체부(32)는, 부호 길이 N이 16200비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 8/9인 LDPC 부호, 및 부호 길이 N이 64800비트인 LDPC 부호 중, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호, 및 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도,

[0807] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{10}에,

[0808] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_{15}에,

[0809] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_4에,

[0810] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{19}에,

[0811] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_{21}에,

[0812] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_{16}에,

[0813] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_{23}에,

[0814] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_{18}에,

[0815] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_{11}에,

[0816] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{14}에,

[0817] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_{22}에,

[0818] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_5에,

[0819] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_6에,

[0820] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{17}에,

[0821] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_{13}에,

[0822] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_{20}에,

[0823] 부호 비트 b_{16}을 심볼 비트 y_1에,

[0824] 부호 비트 b_{17}을 심볼 비트 y_3에,

[0825] 부호 비트 b_{18}을 심볼 비트 y_9에,

[0826] 부호 비트 b_{19}를 심볼 비트 y_2에,

[0827] 부호 비트 b_{20}을 심볼 비트 y_7에,

[0828] 부호 비트 b_{21}을 심볼 비트 y_8에,

[0829] 부호 비트 b_{22}를 심볼 비트 y_{12}에,

[0830] 부호 비트 b_{23}을 심볼 비트 y_0에,

[0831] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0832] 도 125 내지 도 128에 나타낸 비트 할당 패턴에 의하면, 복수 종류의 LDPC 부호에 대하여 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있고, 게다가, 그 복수 종류의 LDPC 부호 중 어느 것에 대해서도, 에러에 대한 내성을 원하는 성능으로 할 수 있다.

[0833] 즉, 도 129 내지 도 132는, 도 125 내지 도 128의 비트 할당 패턴에 따른 교체 처리를 행한 경우의 BER(Bit Error Rate)의 시뮬레이션의 결과를 나타내고 있다.

[0834] 또한, 도 129 내지 도 132에 있어서, 횡축은 E_s/N_0(1심볼당의 신호 전력 대 잡음 전력비)을 나타내고, 종축은 BER을 나타낸다.

[0835] 또한, 실선이, 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고, 일점쇄선이, 교체 처리를 행하지 않은 경우의 BER을 나타낸다.

[0836] 도 129는, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대하여, 변조 방식으로서 4096QAM을 채용하고, 배수 b를 1로 하여, 도 125의 비트 할당 패턴에 따른 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고 있다.

[0837] 도 130은, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대하여, 변조 방식으로서 4096QAM을 채용하고, 배수 b를 2로 하여, 도 126의 비트 할당 패턴에 따른 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고 있다.

[0838] 또한, 도 129 및 도 130에 있어서, 삼각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타내고, 애스터리스크(별표)를 부여하고 있는 그래프가, 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다.

[0839] 도 131은, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 3/4, 5/6 및 8/9 각각의 LDPC 부호와, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 3/4, 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대하여, 변조 방식으로서 1024QAM을 채용하고, 배수 b를 2로 하여, 도 127의 비트 할당 패턴에 따른 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고 있다.

[0840] 또한, 도 131에 있어서, 애스터리스크를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타내고, 상향의 삼각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다. 또한, 정사각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 3/4인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다.

[0841] 또한, 도 131에 있어서, 동그라미 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 8/9인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타내고, 하향의 삼각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다. 또한, 플러스의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 3/4인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다.

[0842] 도 132는, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 5/6 및 8/9 각각의 LDPC 부호와, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대하여, 변조 방식으로서 4096QAM을 채용하고, 배수 b를 2로 하여, 도 128의 비트 할당 패턴에 따른 교체 처리를 행한 경우의 BER을 나타내고 있다.

[0843] 또한, 도 132에 있어서, 애스터리스크를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 9/10인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타내고, 상향의 삼각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다.

[0844] 또한, 도 132에 있어서, 동그라미 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 8/9인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타내고, 하향의 삼각형의 표시를 부여하고 있는 그래프가, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 5/6인 LDPC 부호에 대한 BER을 나타낸다.

[0845] 도 129 내지 도 132에 의하면, 복수 종류의 LDPC 부호에 대하여 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있고, 게다가, 동일한 비트 할당 패턴을 채용한 복수 종류의 LDPC 부호 중 어느 것에 대해서도, 에러에 대한 내성을 원하는 성능으로 할 수 있는 것을 알 수 있다.

[0846] 즉, 부호 길이나 부호화율이 상이한 복수 종류의 LDPC 부호 각각에 대하여, 그 LDPC 부호에 전용의 비트 할당 패턴을 채용하는 경우에는, 에러에 대한 내성을 매우 고성능으로 할 수 있지만, 상이한 종류의 LDPC 부호마다 비트 할당 패턴의 변경이 필요하게 된다.

[0847] 한편, 도 125 내지 도 128의 비트 할당 패턴에 의하면, 부호 길이나 부호화율이 상이한 복수 종류의 LDPC 부호 각각에 대하여 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있어, 복수 종류의 LDPC 부호 각각에 대하여, 그 LDPC 부호에 전용의 비트 할당 패턴을 채용하는 경우와 같이, 상이한 종류의 LDPC 부호마다 비트 할당 패턴의 변경을 할

필요가 없어진다.

[0848] 또한, 도 125 내지 도 128의 비트 할당 패턴에 의하면, 복수 종류의 LDPC 부호 각각에 대하여, 그 LDPC 부호에 전용의 비트 할당 패턴을 채용하는 경우에는 다소 미치지 않지만, 그래도, 에러에 대한 내성을 고성능으로 할 수 있다.

[0849] 즉, 예를 들어, 변조 방식이 4096QAM인 경우에는, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도, 도 125 또는 도 126의 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있다. 그리고, 이와 같이, 동일한 비트 할당 패턴을 채용하여도, 에러에 대한 내성을 고성능으로 할 수 있다.

[0850] 또한, 예를 들어, 변조 방식이 1024QAM인 경우에는, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 3/4, 5/6 및 8/9 각각의 LDPC 부호와, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 3/4, 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도, 도 127의 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있다. 그리고, 이와 같이, 동일한 비트 할당 패턴을 채용하여도, 에러에 대한 내성을 고성능으로 할 수 있다.

[0851] 또한, 예를 들어, 변조 방식이 4096QAM인 경우에는, 부호 길이 N이 16200이며, 부호화율이 5/6 및 8/9 각각의 LDPC 부호와, 부호 길이 N이 64800이며, 부호화율이 5/6 및 9/10 각각의 LDPC 부호에 대해서는, 어느 LDPC 부호에 대해서도, 도 128의 동일한 비트 할당 패턴을 채용할 수 있다. 그리고, 이와 같이, 동일한 비트 할당 패턴을 채용하여도, 에러에 대한 내성을 고성능으로 할 수 있다.

[0852] 비트 할당 패턴의 종류에 대하여, 더 설명한다.

[0853] 도 133은, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이, 예를 들어, 도 78 내지 도 123에 나타낸 검사 행렬 초기값 테이블로부터 생성되는 검사 행렬 H로 정의되는 LDPC 부호의 부호화율 중 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 QPSK이며, 배수 b가 1인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0854] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 QPSK이며, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (N/(2×1))×(2×1)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 2×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0855] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 2×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 및 b_1을, 도 133에 나타낸 바와 같이, 1(=b)개의 심볼의 2×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 및 y_1에 할당하도록, 2×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 및 b_1을 교체한다.

[0856] 즉, 도 133에 의하면, 교체부(32)는,

[0857] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_0에,

[0858] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0859] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0860] 또한, 이 경우, 교체는 행하여지지 않고, 부호 비트 b_0 및 b_1이, 각각 그대로 심볼 비트 y_0 및 y_1로 된다고 고려할 수도 있다.

[0861] 도 134는, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0862] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (N/(4×2))×(4×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 4×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0863] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을, 도 134에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 4×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하도록, 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0864] 즉, 도 134에 의하면, 교체부(32)는,

[0865] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[0866] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0867] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_4에,

[0868] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_2에,

[0869] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_5에,

[0870] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_3에,

[0871] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_6에,

[0872] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[0873] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0874] 도 135는, 변조 방식이 64QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0875] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 64QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (N/(6×2))×(6×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 6×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0876] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을, 도 135에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 6×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{11}에 할당하도록, 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0877] 즉, 도 135에 의하면, 교체부(32)는,

[0878] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{11}에,

[0879] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_7에,

[0880] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_3에,

[0881] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{10}에,

[0882] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0883] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_2에,

[0884] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0885] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0886] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_1에,

[0887] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_8에,

[0888] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_4에,

[0889] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_0에,

[0890] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0891] 도 136은, 변조 방식이 256QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0892] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 256QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(8×2))×(8×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 8×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0893] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를, 도 136에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 8×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{15}에 할당하도록, 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를 교체한다.

[0894] 즉, 도 136에 의하면, 교체부(32)는,

[0895] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{15}에,

[0896] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0897] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_{13}에,

[0898] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_3에,

[0899] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_8에,

[0900] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_{11}에,

[0901] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0902] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0903] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_{10}에,

[0904] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_6에,

[0905] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_4에,

[0906] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_7에,

[0907] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_{12}에,

[0908] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_2에,

[0909] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_{14}에,

[0910] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_0에,

[0911] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0912] 도 137은, 변조 방식이 256QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 배수 b가 1인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0913] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5 이외의 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 256QAM이며, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(8×1))×(8×1)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 8×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0914] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을, 도 137에 나타낸 바와 같이, 1(=b)개의 심볼의 8×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하도록, 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0915] 즉, 도 137에 의하면, 교체부(32)는,

[0916] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[0917] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_3에,

[0918] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_1에,

[0919] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_5에,

[0920] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_2에,

[0921] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_6에,

[0922] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_4에,

[0923] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[0924] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0925] 도 138은, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 QPSK이며, 배수 b가 1인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0926] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200 또는 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 QPSK이며, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (N/(2×1))×(2×1)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 2×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0927] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 2×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 및 b_1을, 도 138에 나타낸 바와 같이, 1(=b)개의 심볼의 2×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 및 y_1에 할당하도록, 2×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 및 b_1을 교체한다.

[0928] 즉, 도 138에 의하면, 교체부(32)는,

[0929] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_0에,

[0930] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0931] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0932] 또한, 이 경우, 교체는 행하여지지 않고, 부호 비트 b_0 및 b_1이, 각각 그대로 심볼 비트 y_0 및 y_1로 된다고 고려할 수도 있다.

[0933] 도 139는, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0934] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(4×2))×(4×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 4×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0935] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을, 도 139에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 4×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하도록, 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0936] 즉, 도 139에 의하면, 교체부(32)는,

[0937] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_0에,

[0938] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_5에,

[0939] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_1에,

[0940] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_2에,

[0941] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_4에,

[0942] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_7에,

[0943] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_3에,

[0944] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_6에,

[0945] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0946] 도 140은, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0947] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 16QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(4×2))×(4×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 4×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0948] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을, 도 140에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 4×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하도록, 4×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[0949] 즉, 도 140에 의하면, 교체부(32)는,

[0950] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[0951] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_1에,

[0952] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_4에,

[0953] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_2에,

[0954] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_5에,

[0955] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_3에,

[0956] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_6에,

[0957] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[0958] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0959] 도 141은, 변조 방식이 64QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0960] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 64QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(6×2))×(6×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 6×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0961] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을, 도 141에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 6×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{11}에 할당하도록, 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0962] 즉, 도 141에 의하면, 교체부(32)는,

[0963] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_2에,

[0964] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_7에,

[0965] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_6에,

[0966] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_9에,

[0967] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_0에,

[0968] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_3에,

[0969] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_1에,

[0970] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_8에,

[0971] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_4에,

[0972] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{11}에,

[0973] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_5에,

[0974] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_{10}에,

[0975] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0976] 도 142는, 변조 방식이 64QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0977] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 64QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(6×2))×(6×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 6×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0978] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을, 도 142에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 6×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{11}에 할당하도록, 6×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{11}을 교체한다.

[0979] 즉, 도 142에 의하면, 교체부(32)는,

[0980] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_{11}에,

[0981] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_7에,

[0982] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_3에,

[0983] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_{10}에,

[0984] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_6에,

[0985] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_2에,

[0986] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_9에,

[0987] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_5에,

[0988] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_1에,

[0989] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_8에,

[0990] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_4에,

[0991] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_0에,

[0992] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[0993] 도 143은, 변조 방식이 256QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC

부호이며, 배수 b가 2인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[0994] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 64800비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 256QAM이며, 배수 b가 2인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (64800/(8×2))×(8×2)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 8×2(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[0995] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를, 도 143에 나타낸 바와 같이, 연속하는 2(=b)개의 심볼의 8×2(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{15}에 할당하도록, 8×2(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{15}를 교체한다.

[0996] 즉, 도 143에 의하면, 교체부(32)는,

[0997] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_2에,

[0998] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_{11}에,

[0999] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_3에,

[1000] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_4에,

[1001] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_0에,

[1002] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_9에,

[1003] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_1에,

[1004] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_8에,

[1005] 부호 비트 b_8을 심볼 비트 y_{10}에,

[1006] 부호 비트 b_9를 심볼 비트 y_{13}에,

[1007] 부호 비트 b_{10}을 심볼 비트 y_7에,

[1008] 부호 비트 b_{11}을 심볼 비트 y_{14}에,

[1009] 부호 비트 b_{12}를 심볼 비트 y_6에,

[1010] 부호 비트 b_{13}을 심볼 비트 y_{15}에,

[1011] 부호 비트 b_{14}를 심볼 비트 y_5에,

[1012] 부호 비트 b_{15}를 심볼 비트 y_{12}에,

[1013] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[1014] 도 144는, 변조 방식이 256QAM이며, 또한, LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 배수 b가 1인 경우에 채용할 수 있는 비트 할당 패턴의 예를 나타내고 있다.

[1015] LDPC 부호가, 부호 길이 N이 16200비트이며, 부호화율이 3/5인 LDPC 부호이며, 또한, 변조 방식이 256QAM이며, 배수 b가 1인 경우, 디멀티플렉서(25)에서는, 칼럼 방향×로우 방향이 (16200/(8×1))×(8×1)비트인 메모리(31)에 기입된 부호 비트가, 로우 방향으로 8×1(=mb)비트 단위로 판독되어, 교체부(32)에 공급된다.

[1016] 교체부(32)는, 메모리(31)로부터 판독되는 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을, 도 144에 나타낸 바와 같이, 1(=b)개의 심볼의 8×1(=mb)비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_7에 할당하도록, 8×1(=mb)비트의 부호 비트 b_0 내지 b_7을 교체한다.

[1017] 즉, 도 144에 의하면, 교체부(32)는,

[1018] 부호 비트 b_0을 심볼 비트 y_7에,

[1019] 부호 비트 b_1을 심볼 비트 y_3에,

[1020] 부호 비트 b_2를 심볼 비트 y_1에,

[1021] 부호 비트 b_3을 심볼 비트 y_5에,

[1022] 부호 비트 b_4를 심볼 비트 y_2에,

[1023] 부호 비트 b_5를 심볼 비트 y_6에,

[1024] 부호 비트 b_6을 심볼 비트 y_4에,

[1025] 부호 비트 b_7을 심볼 비트 y_0에,

[1026] 각각 할당하는 교체를 행한다.

[1027] 다음에, 수신 장치(12)를 구성하는 디인터리버(53)에 대하여 설명한다.

[1028] 도 145는, 디인터리버(53)를 구성하는 멀티플렉서(54)의 처리를 설명하는 도면이다.

[1029] 즉, 도 145의 A는, 멀티플렉서(54)의 기능적인 구성예를 나타내고 있다.

[1030] 멀티플렉서(54)는, 역교체부(1001) 및 메모리(1002)로 구성된다.

[1031] 멀티플렉서(54)는, 전단의 디맵핑부(52)로부터 공급되는 심볼의 심볼 비트를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 디멀티플렉서(25)가 행하는 교체 처리에 대응하는 역교체 처리(교체 처리의 반대의 처리), 즉, 교체 처리에 의해 교체된 LDPC 부호의 부호 비트(심볼 비트)의 위치를 원래의 위치로 복귀시키는 역교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를, 후단의 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에 공급한다.

[1032] 즉, 멀티플렉서(54)에 있어서, 역교체부(1001)에는, (연속하는) b개의 심볼의 단위로, 그 b개의 심볼의 mb비트의 심볼 비트 y_0, y_1,…, y_{mb-1}이 공급된다.

[1033] 역교체부(1001)는, mb비트의 심볼 비트 y_0 내지 y_{mb-1}을, 원래의 mb비트의 부호 비트 b_0, b_1,…, b_{mb-1}의 배열(송신 장치(11)측의 디멀티플렉서(25)를 구성하는 교체부(32)에서의 교체가 행하여지기 전의 부호 비트 b_0 내지 b_{mb-1}의 배열)로 복귀시키는 역교체를 행하고, 그 결과 얻어지는 mb비트의 부호 비트 b_0 내지 b_{mb-1}을 출력한다.

[1034] 메모리(1002)는, 송신 장치(11)측의 디멀티플렉서(25)를 구성하는 메모리(31)와 마찬가지로, 로우(row)(횡) 방향으로 mb비트를 기억함과 함께, 칼럼(column)(종) 방향으로 N/(mb)비트를 기억하는 기억 용량을 갖는다. 즉, 메모리(1002)는, N/(mb)비트를 기억하는 mb개의 칼럼으로 구성된다.

[1035] 단, 메모리(1002)에서는, 송신 장치(11)의 디멀티플렉서(25)의 메모리(31)로부터의 부호 비트의 판독이 행하여지는 방향으로, 역교체부(1001)가 출력하는 LDPC 부호의 부호 비트의 기입이 행하여지고, 메모리(31)에의 부호 비트의 기입이 행하여지는 방향으로, 메모리(1002)에 기입된 부호 비트의 판독이 행하여진다.

[1036] 즉, 수신 장치(12)의 멀티플렉서(54)에서는, 도 145의 A에 나타낸 바와 같이, 역교체부(1001)가 출력하는 LDPC 부호의 부호 비트를, mb비트 단위로, 로우 방향으로 기입하는 것이, 메모리(1002)의 1행째부터 하측의 행을 향하여 순차적으로 행하여진다.

[1037] 그리고, 1 부호 길이분의 부호 비트의 기입이 종료되면, 멀티플렉서(54)에서는, 메모리(1002)로부터, 부호 비트를, 칼럼 방향으로 판독하여, 후단의 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에 공급한다.

[1038] 여기서, 도 145의 B는, 메모리(1002)로부터의 부호 비트의 판독을 나타내는 도면이다.

[1039] 멀티플렉서(54)에서는, LDPC 부호의 부호 비트를, 메모리(1002)를 구성하는 칼럼의 상측으로부터 하측 방향(칼럼 방향)으로 판독하는 것이, 좌측으로부터 우측 방향의 칼럼을 향하여 행하여진다.

[1040] 다음에, 도 146을 참조하여, 수신 장치(12)에 있어서의 디인터리버(53)를 구성하는 칼럼 트위스트 디인터리버(55)의 처리를 설명한다.

[1041] 도 146은, 멀티플렉서(54)의 메모리(1002)의 구성예를 나타내고 있다.

[1042] 메모리(1002)는, 칼럼(종) 방향으로 mb비트를 기억함과 함께, 로우(횡) 방향으로 N/(mb)비트를 기억하는 기억 용량을 갖고, mb개의 칼럼으로 구성된다.

[1043] 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는, 메모리(1002)에 대하여, LDPC 부호의 부호 비트를, 로우 방향으로 기입하고, 칼럼 방향으로 판독할 때의 판독 개시의 위치를 제어함으로써, 칼럼 트위스트 디인터리브를 행한다.

[1044] 즉, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에서는, 복수의 칼럼 각각에 대하여, 부호 비트의 판독을 개시하는 판독 개시의 위치를 적절히 변경함으로써, 칼럼 트위스트 인터리브로 재배열된 부호 비트의 배열을 원래의 배열로 복귀시키는 역재배열 처리를 행한다.

[1045] 여기서, 도 146은, 변조 방식이 16QAM이며, 또한, 배수 b가 1인 경우의, 메모리(1002)의 구성예를 나타내고 있다. 따라서, 1심볼의 비트수 m은 4비트이며, 또한, 메모리(1002)는 4(=mb)개의 칼럼으로 구성된다.

[1046] 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는, (멀티플렉서(54) 대신에,) 교체부(1001)가 출력하는 LDPC 부호의 부호 비트의 로우 방향으로의 기입을, 메모리(1002)의 1행째부터 하측의 행을 향하여 순차적으로 행한다.

[1047] 그리고, 1 부호 길이분의 부호 비트의 기입이 종료되면, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는, 부호 비트를, 메모리(1002) 상측으로부터 하측 방향(칼럼 방향)으로 판독하는 것을, 좌측으로부터 우측 방향의 칼럼을 향하여 행한다.

[1048] 단, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는, 송신 장치(11)측의 칼럼 트위스트 인터리버(24)가 부호 비트를 기입하는 기입 개시의 위치를, 부호 비트의 판독 개시의 위치로 하여, 메모리(1002)로부터의 부호 비트의 판독을 행한다.

[1049] 즉, 각 칼럼의 선두(가장 상측)의 위치의 어드레스를 0으로 하고, 칼럼 방향의 각 위치의 어드레스를, 오름차순의 정수로 나타내는 것으로 하면, 변조 방식이 16QAM이며, 또한, 배수 b가 1인 경우에는, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에서는, 가장 좌측의 칼럼에 대해서는 판독 개시의 위치를 어드레스가 0인 위치로 하고, (좌측으로부터) 2번째의 칼럼에 대해서는 판독 개시의 위치를 어드레스가 2인 위치로 하고, 3번째의 칼럼에 대해서는 판독 개시의 위치를 어드레스가 4인 위치로 하고, 4번째의 칼럼에 대해서는 판독 개시의 위치를 어드레스가 7인 위치로 한다.

[1050] 또한, 판독 개시의 위치가, 어드레스가 0인 위치 이외의 위치의 칼럼에 대해서는, 부호 비트의 판독을, 가장 하측의 위치까지 행한 후에는, 선두(어드레스가 0인 위치)로 복귀하여, 판독 개시의 위치의 직전의 위치까지의 판독이 행하여진다. 그리고, 그 후, 다음(우측)의 칼럼으로부터의 판독이 행하여진다.

[1051] 이상과 같은 칼럼 트위스트 디인터리브를 행함으로써, 칼럼 트위스트 인터리브로 배열된 부호 비트의 배열이 원래의 배열로 복귀된다.

[1052] 다음에, 도 147은, 수신 장치(12)의 다른 구성예를 나타내는 블록도이다.

[1053] 도 147에 있어서, 수신 장치(12)는, 송신 장치(11)로부터의 변조 신호를 수신하는 데이터 처리 장치이며, 직교 복조부(51), 디맵핑부(52), 디인터리버(53) 및LDPC 복호부(1021)로 구성된다.

[1054] 직교 복조부(51)는, 송신 장치(11)로부터의 변조 신호를 수신하여, 직교 복조를 행하고, 그 결과 얻어지는 심볼(I 및 Q축 방향 각각의 값)을 디맵핑부(52)에 공급한다.

[1055] 디맵핑부(52)는, 직교 복조부(51)로부터의 심볼을 LDPC 부호의 부호 비트로 하는 디맵핑을 행하여, 디인터리버(53)에 공급한다.

[1056] 디인터리버(53)는, 멀티플렉서(MUX)(54), 칼럼 트위스트 디인터리버(55) 및 패리티 디인터리버(1011)로 구성되고, 디맵핑부(52)로부터의 LDPC 부호의 부호 비트의 디인터리브를 행한다.

[1057] 즉, 멀티플렉서(54)는, 디맵핑부(52)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 디멀티플렉서(25)가 행하는 교체 처리에 대응하는 역교체 처리(교체 처리의 반대의 처리), 즉, 교체 처리에 의해 교체된 부호 비트의 위치를 원래의 위치로 복귀시키는 역교체 처리를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에 공급한다.

[1058] 칼럼 트위스트 디인터리버(55)는, 멀티플렉서(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 칼럼 트위스트 인터리버(24)가 행하는 재배열 처리로서의 칼럼 트위스트 인터리브에 대응하는 칼럼 트위스트 디인터

리브를 행한다.

[1059] 칼럼 트위스트 디인터리브의 결과 얻어지는 LDPC 부호는, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)로부터 패리티 디인터리버(1011)에 공급된다.

[1060] 패리티 디인터리버(1011)는, 칼럼 트위스트 디인터리버(55)에서의 칼럼 트위스트 디인터리브 후의 부호 비트를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23)가 행하는 패리티 인터리브에 대응하는 패리티 디인터리브(패리티 인터리브의 반대의 처리), 즉, 패리티 인터리브에 의해 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를 원래의 배열로 복귀시키는 패리티 디인터리브를 행한다.

[1061] 패리티 디인터리브의 결과 얻어지는 LDPC 부호는, 패리티 디인터리버(1011)로부터 LDPC 복호부(1021)에 공급된다.

[1062] 따라서, 도 147의 수신 장치(12)에서는, LDPC 복호부(1021)에는, 역교체 처리, 칼럼 트위스트 디인터리브 및 패리티 디인터리브가 행하여진 LDPC 부호, 즉, 검사 행렬 H에 따른 LDPC 부호화에 의해 얻어지는 LDPC 부호가 공급된다.

[1063] LDPC 복호부(1021)는, 디인터리버(53)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H 그 자체, 또는 그 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를 대상 데이터의 복호 결과로서 출력한다.

[1064] 여기서, 도 147의 수신 장치(12)에서는, 디인터리버(53)(의 패리티 디인터리버(1011))로부터 LDPC 복호부(1021)에 대하여, 검사 행렬 H에 따른 LDPC 부호화에 의해 얻어지는 LDPC 부호가 공급되기 때문에, 그 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H 그 자체를 사용하여 행하는 경우에는, LDPC 복호부(1021)는, 예를 들어, 메시지(체크 노드 메시지, 변수 노드 메시지)의 연산을 1개의 노드씩 순차적으로 행하는 풀 시리얼 디코딩(full serial decoding) 방식에 의한 LDPC 복호를 행하는 복호 장치나, 메시지의 연산을 모든 노드에 대하여 동시(병렬)에 행하는 풀 패럴렐 디코딩(full parallel decoding) 방식에 의한 LDPC 복호를 행하는 복호 장치로 구성할 수 있다.

[1065] 또한, LDPC 복호부(1021)에 있어서, LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 부호화부(21)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여, 패리티 인터리브에 상당하는 열 치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행하는 경우에는, 체크 노드 연산 및 변수 노드 연산을, P(또는 P의 1 이외의 약수)개 동시에 행하는 아키텍쳐(architecture)의 복호 장치이며, 변환 검사 행렬을 얻기 위한 열 치환과 같은 열 치환을 LDPC 부호로 실시함으로써, 그 LDPC 부호의 부호 비트를 재배열하는 수신 데이터 재배열부(310)를 갖는 복호 장치로 구성할 수 있다.

[1066] 또한, 도 147에서는, 설명의 편의를 위해, 역교체 처리를 행하는 멀티플렉서(54), 칼럼 트위스트 디인터리브를 행하는 칼럼 트위스트 디인터리버(55), 및 패리티 디인터리브를 행하는 패리티 디인터리버(1011) 각각을 별개로 구성하도록 하였지만, 멀티플렉서(54), 칼럼 트위스트 디인터리버(55), 및 패리티 디인터리버(1011)의 2 이상은, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23), 칼럼 트위스트 인터리버(24) 및 디멀티플렉서(25)와 마찬가지로 일체적으로 구성할 수 있다.

[1067] 다음에, 도 148은, 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제1 구성예를 나타내는 블록도이다.

[1068] 도 148에 있어서, 수신 시스템은, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)로 구성된다.

[1069] 취득부(1101)는, 프로그램의 화상 데이터나 음성 데이터 등의 대상 데이터를, 적어도 LDPC 부호화함으로써 얻어지는 LDPC 부호를 포함하는 신호를, 예를 들어, 지상 디지털 방송, 위성 디지털 방송, CATV망, 인터넷 그 밖의 네트워크 등의 도시하지 않은 전송로를 통하여 취득하여, 전송로 복호 처리부(1102)에 공급한다.

[1070] 여기서, 취득부(1101)가 취득하는 신호가, 예를 들어, 방송국으로부터, 지상파나, 위성파, CATV(Cable Television)망 등을 통하여 방송되어 오는 경우에는, 취득부(1101)는, 튜너나 STB(Set Top Box) 등으로 구성된다. 또한, 취득부(1101)가 취득하는 신호가, 예를 들어, web 서버로부터, IPTV(Internet Protocol Television)와 같이 멀티 캐스트로 송신되어 오는 경우에는, 취득부(11)는, 예를 들어, NIC(Network Interface Card) 등의 네트워크 I/F(Inter face)로 구성된다.

[1071] 전송로 복호 처리부(1102)는, 취득부(1101)가 전송로를 통하여 취득한 신호에 대하여, 전송로에서 발생하는 오류를 정정하는 처리를 적어도 포함하는 전송로 복호 처리를 실시하고, 그 결과 얻어지는 신호를 정보원 복호 처리부(1103)에 공급한다.

[1072] 즉, 취득부(1101)가 전송로를 통하여 취득한 신호는, 전송로에서 발생하는 오류를 정정하기 위한 오류 정정 부호화를 적어도 행함으로써 얻어진 신호이며, 전송로 복호 처리부(1102)는, 그러한 신호에 대하여, 예를 들어, 오류 정정 처리 등의 전송로 복호 처리를 실시한다.

[1073] 여기서, 오류 정정 부호화로서는, 예를 들어, LDPC 부호화나, 리드 솔로몬 부호화 등이 있다. 여기서는, 오류 정정 부호화로서, 적어도 LDPC 부호화가 행하여지고 있다.

[1074] 또한, 전송로 복호 처리에는, 변조 신호의 복조 등이 포함되는 경우가 있다.

[1075] 정보원 복호 처리부(1103)는, 전송로 복호 처리가 실시된 신호에 대하여, 압축된 정보를 원래의 정보로 신장하는 처리를 적어도 포함하는 정보원 복호 처리를 실시한다.

[1076] 즉, 취득부(1101)가 전송로를 통하여 취득한 신호에는, 정보로서의 화상이나 음성 등의 데이터량을 적게 하기 위해, 정보를 압축하는 압축 부호화가 실시되어 있는 경우가 있고, 그 경우, 정보원 복호 처리부(1103)는, 전송로 복호 처리가 실시된 신호에 대하여, 압축된 정보를 원래의 정보로 신장하는 처리(신장 처리) 등의 정보원 복호 처리를 실시한다.

[1077] 또한, 취득부(1101)가 전송로를 통하여 취득한 신호에, 압축 부호화가 실시되어 있지 않은 경우에는, 정보원 복호 처리부(1103)에서는, 압축된 정보를 원래의 정보로 신장하는 처리는 행하여지지 않는다.

[1078] 여기서, 신장 처리로서는, 예를 들어, MPEG 디코드 등이 있다. 또한, 전송로 복호 처리에는, 신장 처리 외에 디스크램블 등이 포함되는 경우가 있다.

[1079] 이상과 같이 구성되는 수신 시스템에서는, 취득부(1101)에 있어서, 예를 들어, 화상이나 음성 등의 데이터에 대하여, MPEG 부호화 등의 압축 부호화가 실시되고, 또한, LDPC 부호화 등의 오류 정정 부호화가 실시된 신호가, 전송로를 통하여 취득되어, 전송로 복호 처리부(1102)에 공급된다.

[1080] 전송로 복호 처리부(1102)에서는, 취득부(1101)로부터의 신호에 대하여, 예를 들어, 직교 복조부(51)나, 디맵핑부(52), 디인터리버(53), LDPC 복호부(56)(또는 LDPC 복호부(1021))와 같은 처리가 전송로 복호 처리로서 실시되고, 그 결과 얻어지는 신호가 정보원 복호 처리부(1103)에 공급된다.

[1081] 정보원 복호 처리부(1103)에서는, 전송로 복호 처리부(1102)로부터의 신호에 대하여, MPEG 디코드 등의 정보원 복호 처리가 실시되고, 그 결과 얻어지는 화상, 또는 음성이 출력된다.

[1082] 이상과 같은 도 148의 수신 시스템은, 예를 들어, 디지털 방송으로서의 텔레비전 방송을 수신하는 텔레비전 튜너 등에 적용할 수 있다.

[1083] 또한, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)는, 각각 1개의 독립된 장치(하드웨어(IC(Integrated Circuit) 등)), 또는 소프트웨어 모듈)로서 구성하는 것이 가능하다.

[1084] 또한, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)에 대해서는, 취득부(1101)와 전송로 복호 처리부(1102)의 세트나, 전송로 복호 처리부(1102)와 정보원 복호 처리부(1103)의 세트, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)의 세트를 1개의 독립된 장치로서 구성하는 것이 가능하다.

[1085] 도 149는, 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제2 구성예를 나타내는 블록도이다.

[1086] 또한, 도면 중, 도 148의 경우와 대응하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 부여하고 있고, 이하에서는, 그 설명은 적절히 생략한다.

[1087] 도 149의 수신 시스템은, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)를 갖는 점에서, 도 148의 경우와 공통되고, 출력부(1111)가 새롭게 설치되어 있는 점에서, 도 148의 경우와 상이하다.

[1088] 출력부(1111)는, 예를 들어, 화상을 표시하는 표시 장치나, 음성을 출력하는 스피커이며, 정보원 복호 처리부(1103)로부터 출력되는 신호로서의 화상이나 음성 등을 출력한다. 즉, 출력부(1111)는, 화상을 표시하거나, 혹은 음성을 출력한다.

[1089] 이상과 같은 도 149의 수신 시스템은, 예를 들어, 디지털 방송으로서의 텔레비전 방송을 수신하는 TV(텔레비전 수상기)나, 라디오 방송을 수신하는 라디오 수신기 등에 적용할 수 있다.

[1090] 또한, 취득부(1101)에 있어서 취득된 신호에, 압축 부호화가 실시되어 있지 않은 경우에는, 전송로 복호 처리부(1102)가 출력하는 신호가 출력부(1111)에 공급된다.

[1091] 도 150은, 수신 장치(12)에 적용 가능한 수신 시스템의 제3 구성예를 나타내는 블록도이다.

[1092] 또한, 도면 중, 도 148의 경우와 대응하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 부여하고 있고, 이하에서는, 그 설명은 적절히 생략한다.

[1093] 도 150의 수신 시스템은, 취득부(1101) 및 전송로 복호 처리부(1102)를 갖는 점에서, 도 148의 경우와 공통된다.

[1094] 단, 도 150의 수신 시스템은, 정보원 복호 처리부(1103)가 설치되어 있지 않고, 기록부(1121)가 새롭게 설치되어 있는 점에서, 도 148의 경우와 상이하다.

[1095] 기록부(1121)는, 전송로 복호 처리부(1102)가 출력하는 신호(예를 들어, MPEG의 TS의 TS 패킷)를 광 디스크나, 하드 디스크(자기 디스크), 플래시 메모리 등의 기록(기억) 매체에 기록한다(기억시킴).

[1096] 이상과 같은 도 150의 수신 시스템은, 텔레비전 방송을 녹화하는 레코더 등에 적용할 수 있다.

[1097] 또한, 도 150에 있어서, 수신 시스템은, 정보원 복호 처리부(1103)를 설치하여 구성하고, 정보원 복호 처리부(1103)에서, 정보원 복호 처리가 실시된 후의 신호, 즉, 디코드에 의해 얻어지는 화상이나 음성을 기록부(1121)에서 기록할 수 있다.

[1098] 또한, 본 발명의 실시 형태는, 상술한 실시 형태에 한정되는 것이 아니라, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위에 있어서 다양한 변경이 가능하다.

부호의 설명

[1099] 11 : 송신 장치

12 : 수신 장치

21 : LDPC 부호화부

22 : 비트 인터리버

23 : 패리티 인터리버

24 : 칼럼 트위스트 인터리버

25 : 디멀티플렉서

26 : 맵핑부

27 : 직교 변조부

31 : 메모리

32 : 교체부

51 : 직교 복조부

52 : 디맵핑부

53 : 디인터리버

54 : 멀티플렉서

55 : 칼럼 트위스트 디인터리버

56 : LDPC 복호부

300 : 가지 데이터 저장용 메모리

301 : 셀렉터

302 : 체크 노드 계산부

303 : 사이클릭 시프트 회로

304 : 가지 데이터 저장용 메모리

305 : 셀렉터

306 : 수신 데이터용 메모리

307 : 변수 노드 계산부

308 : 사이클릭 시프트 회로

309 : 복호어 계산부

310 : 수신 데이터 재배열부

311 : 복호 데이터 재배열부

601 : 부호화 처리부

602 : 기억부

611 : 부호화율 설정부

612 : 초기값 테이블 판독부

613 : 검사 행렬 생성부

614 : 정보 비트 판독부

615 : 부호화 패리티 연산부

616 : 제어부

701 : 버스

702 : CPU

703 : ROM

704 : RAM

705 : 하드 디스크

706 : 출력부

707 : 입력부

708 : 통신부

709 : 드라이브

710 : 입출력 인터페이스

711 : 리무버블 기록 매체

1001 : 역교체부

1002 : 메모리

1011 : 패리티 디인터리버

1021 : LDPC 복호부

1101 : 취득부

1101 : 전송로 복호 처리부

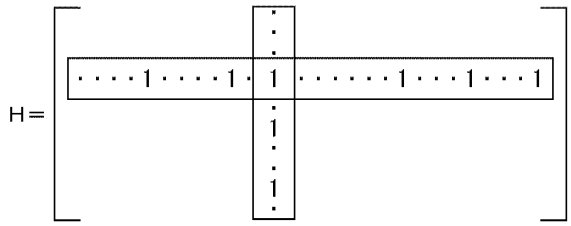
1103 : 정보원 복호 처리부

1111 : 출력부

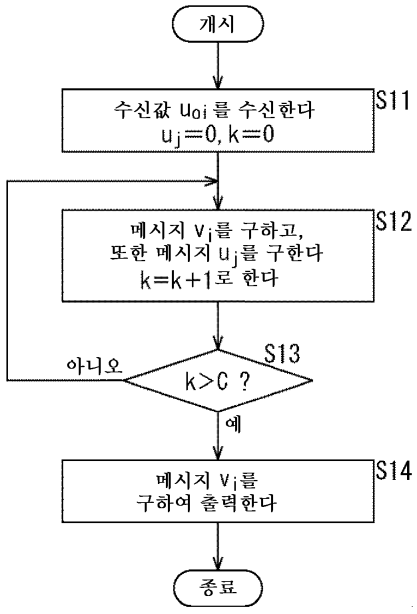
1121 : 기록부

도면

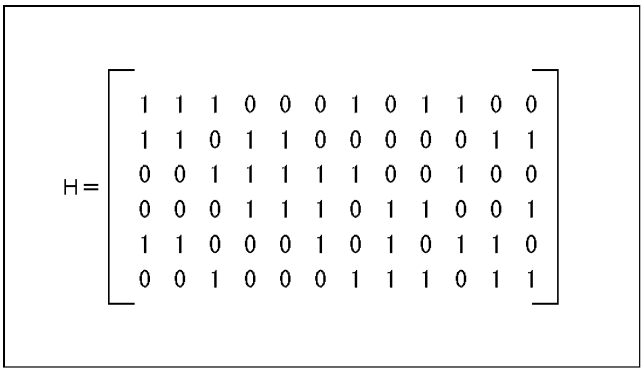
도면1



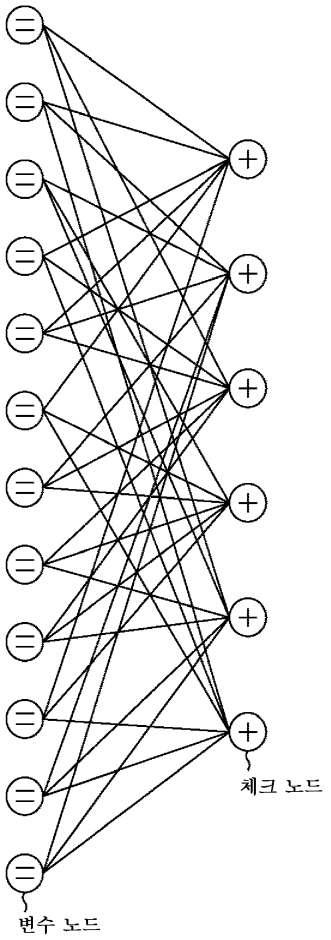
도면2



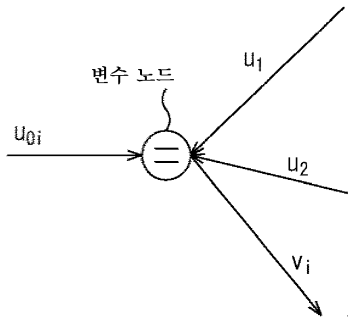
도면3



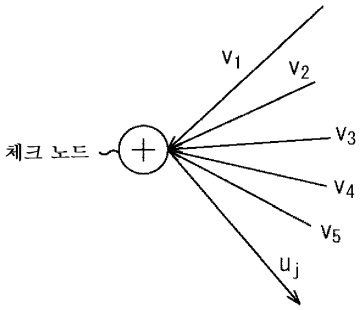
도면4



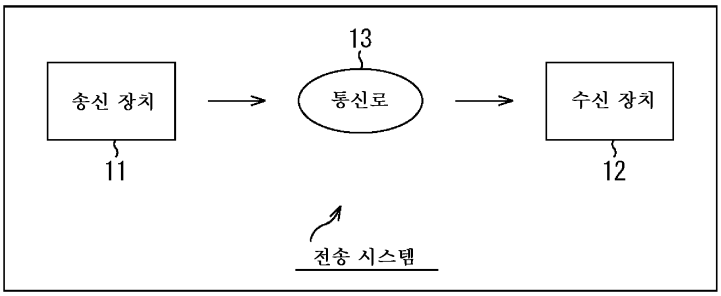
도면5



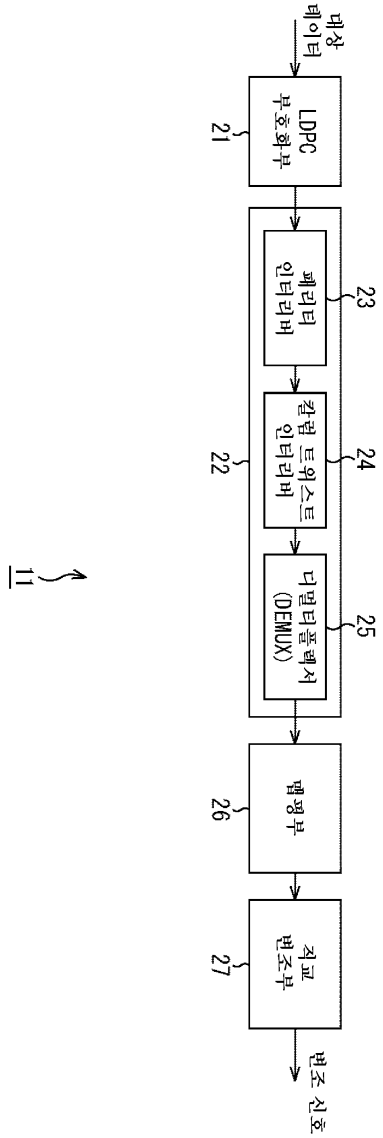
도면6



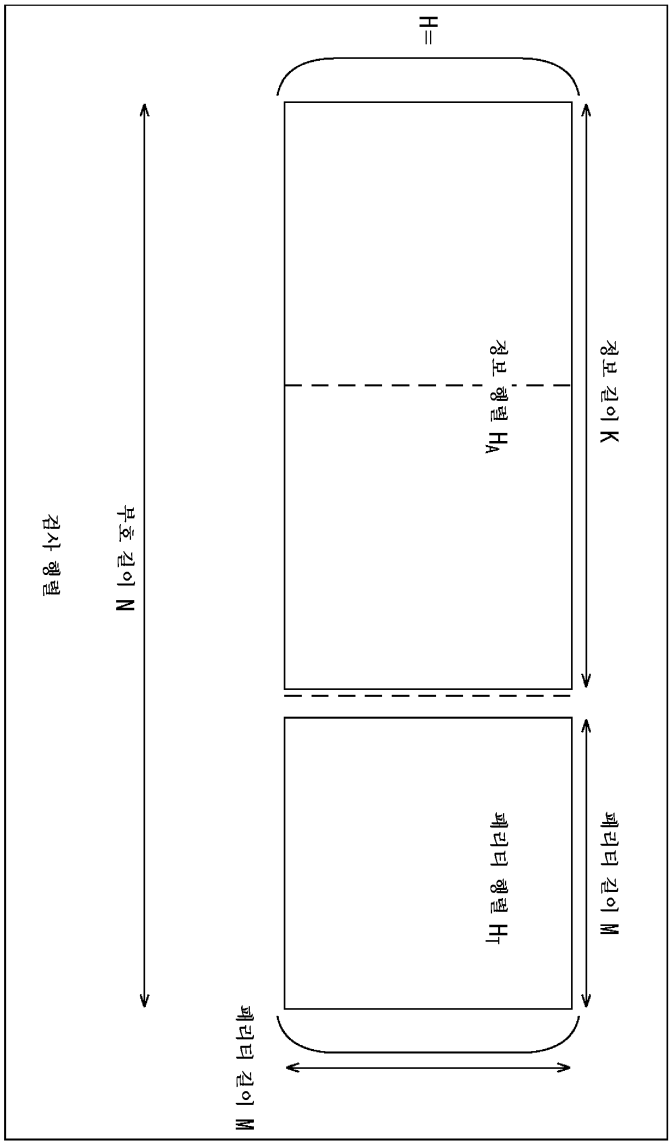
도면7



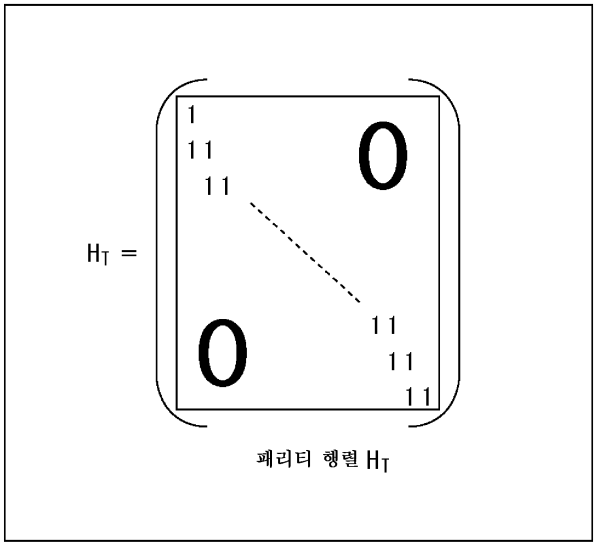
도면8


11
대상 데이터
LDPC 부호화부
21
패리티 인터리버
23
컬럼 트위스트 인터리버
24
22
디멀티플렉서 (DEMUX)
25
맵핑부
26
직교 변조부
27
변조 신호

도면9

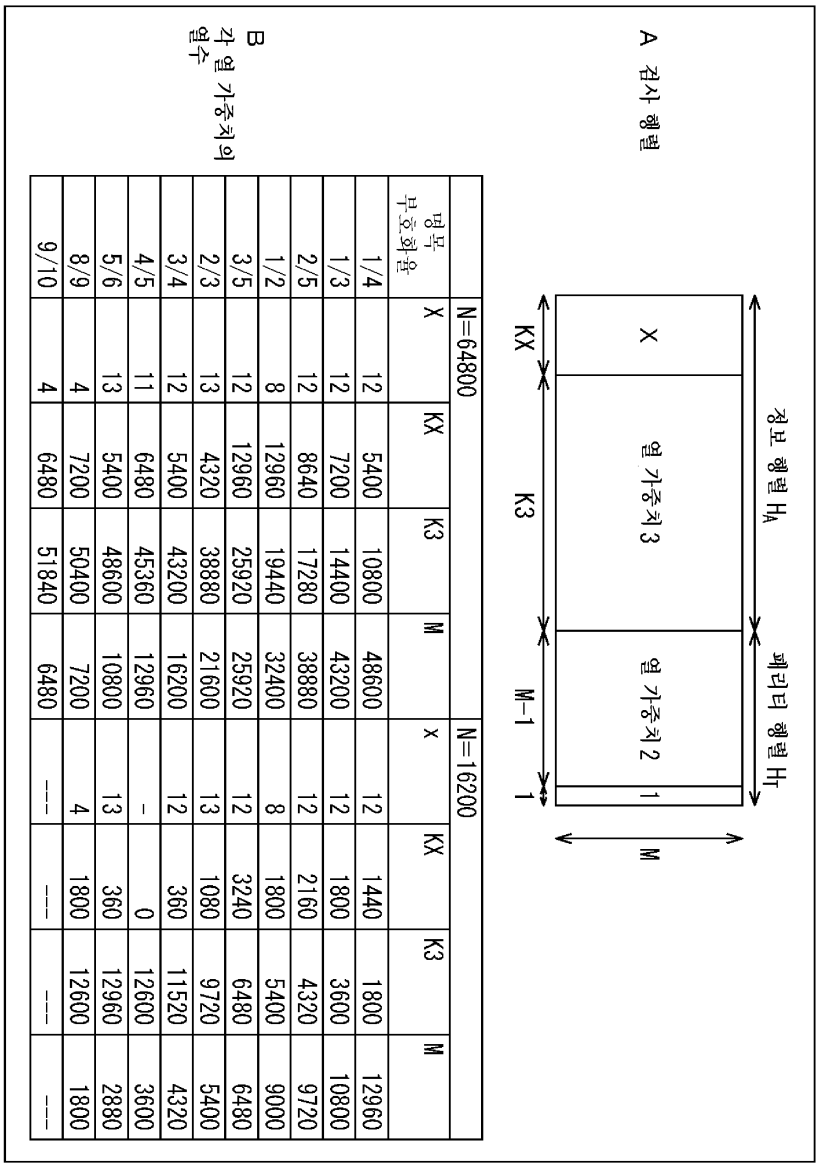


도면10



패리티 행렬 H_T

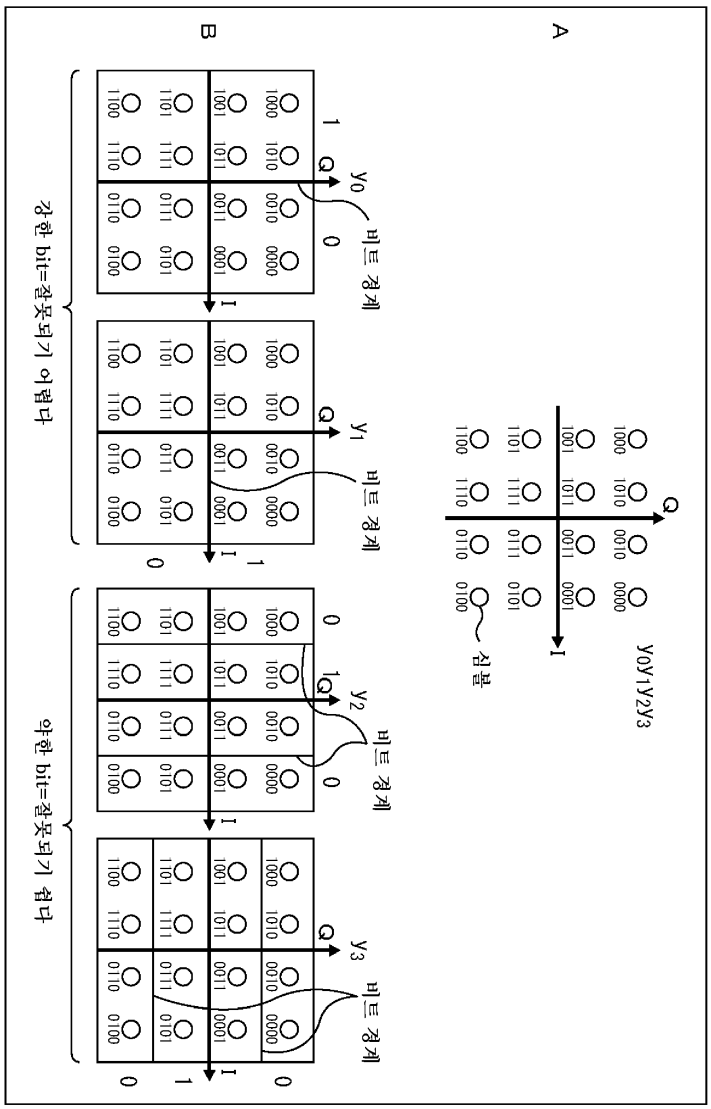
도면11



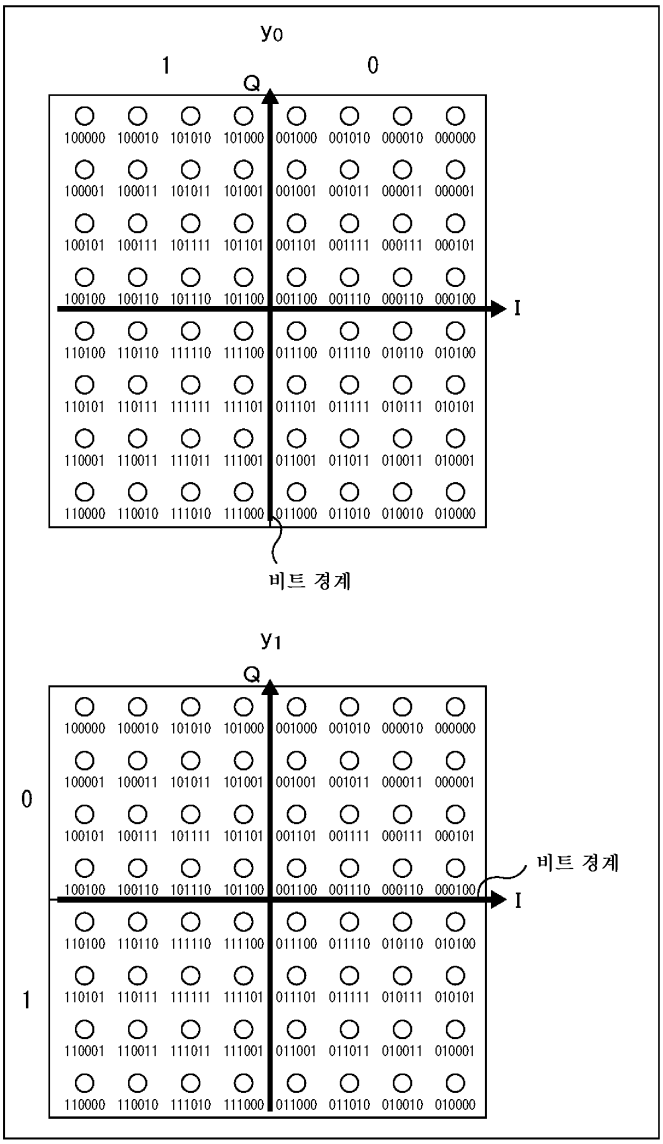
B 각 열 가중치의 열수

	N=64800				N=16200			
명목 부호화율	X	KX	K3	M	x	KX	K3	M
1/4	12	5400	10800	48600	12	1440	1800	12960
1/3	12	7200	14400	43200	12	1800	3600	10800
2/5	12	8640	17280	38880	12	2160	4320	9720
1/2	8	12960	19440	32400	8	1800	5400	9000
3/5	12	12960	25920	25920	12	3240	6480	6480
2/3	13	4320	38880	21600	13	1080	9720	5400
3/4	12	5400	43200	16200	12	360	11520	4320
4/5	11	6480	45360	12960	-	0	12600	3600
5/6	13	5400	48600	10800	13	360	12960	2880
8/9	4	7200	50400	7200	4	1800	12600	1800
9/10	4	6480	51840	6480	---	---	---	---

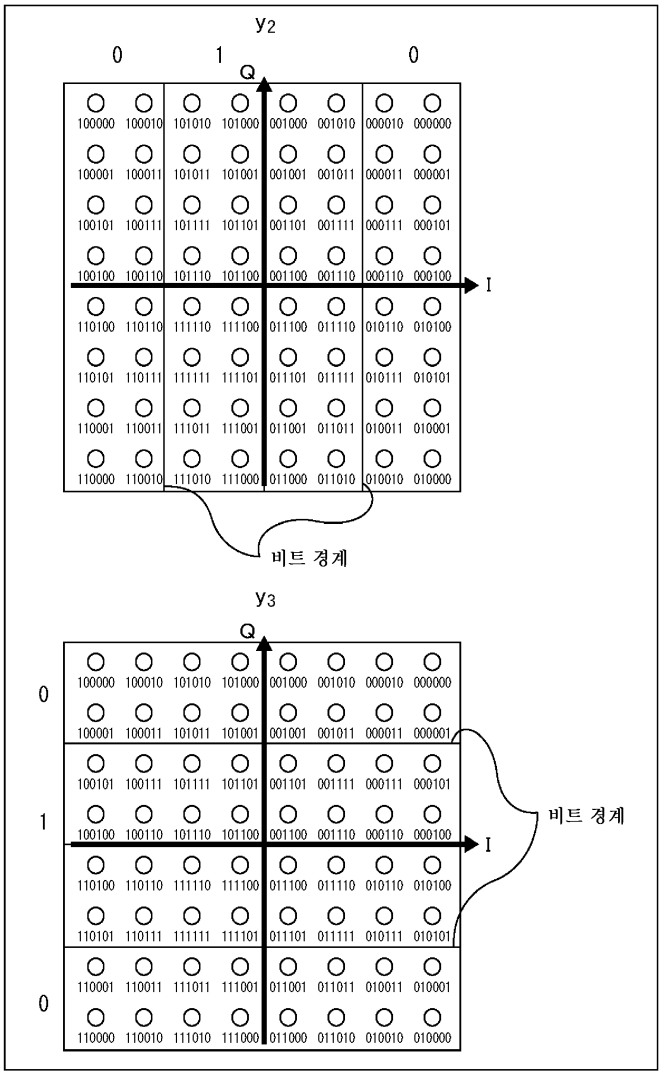
도면12



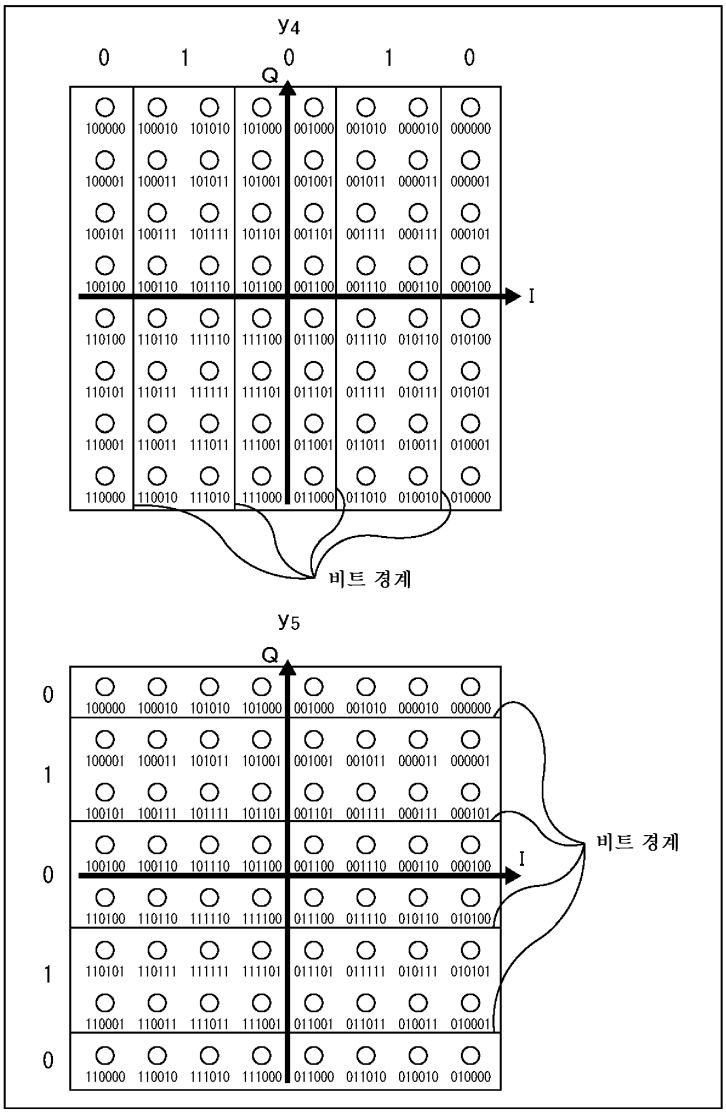
도면13



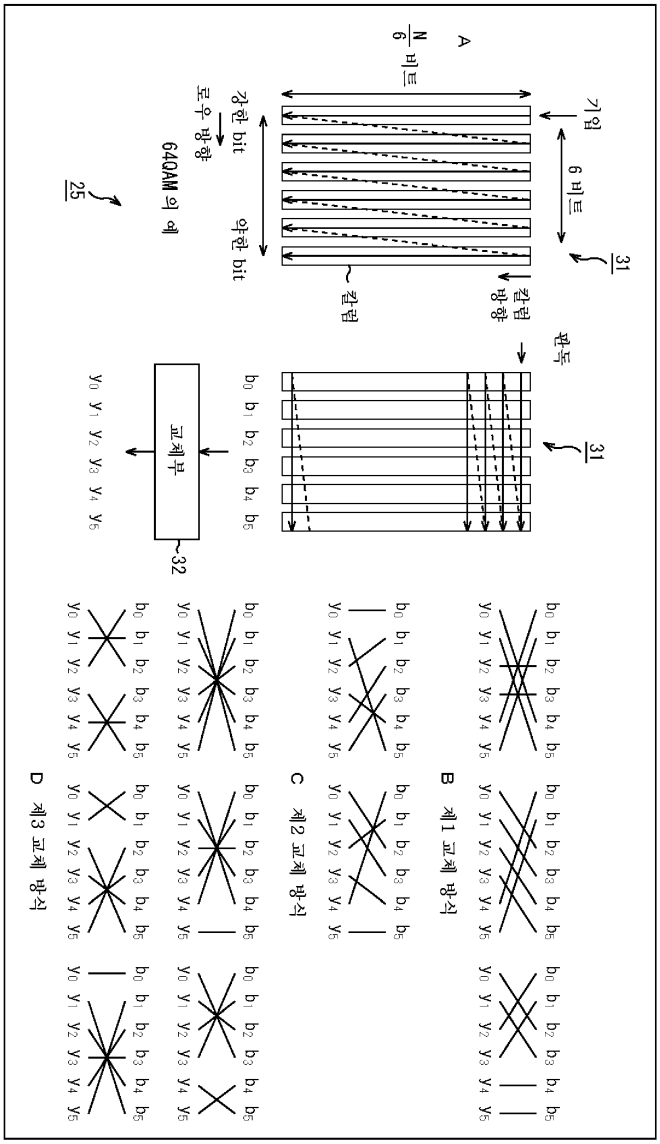
도면14



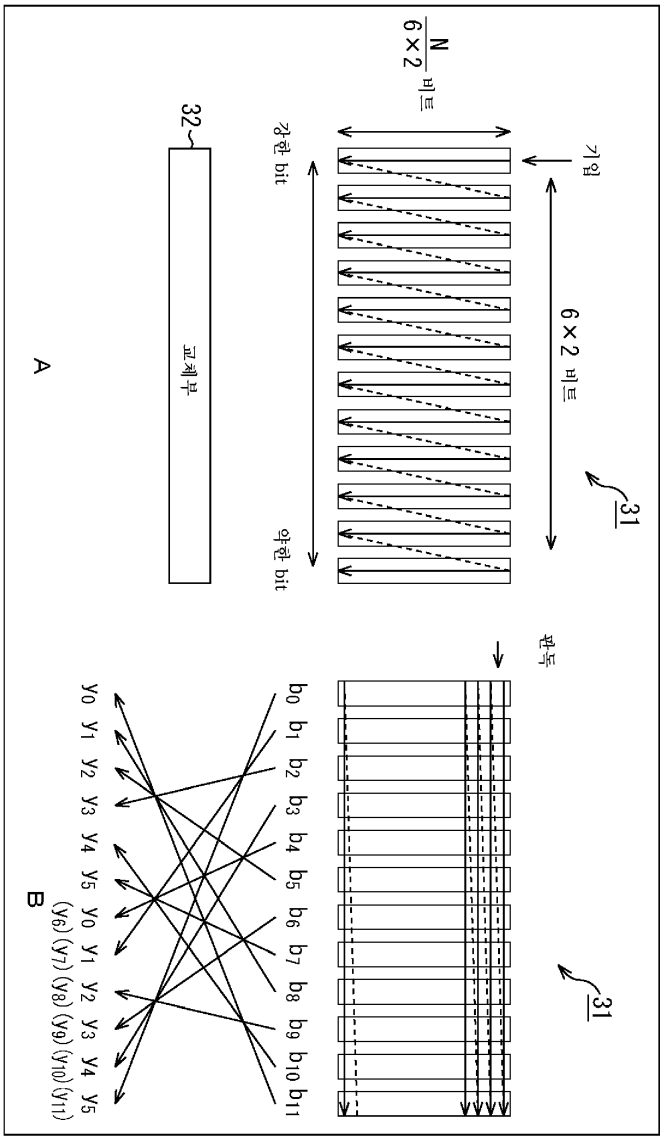
도면15



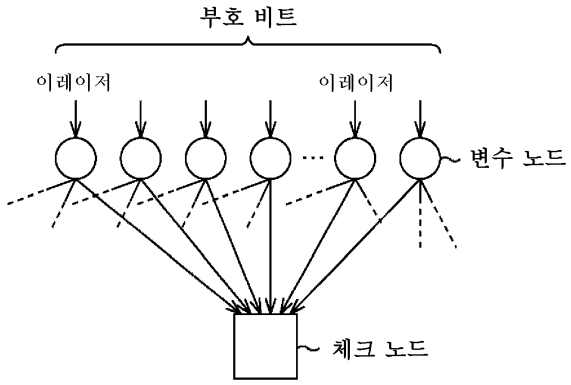
도면16


A
N/6 비트
기입
6 비트
31
칼럼 방향
칼럼
강한 bit
약한 bit
로우 방향
64QAM 의 예
25
판독
31
교체부
32
B 제1 교체 방식
C 제2 교체 방식
D 제3 교체 방식

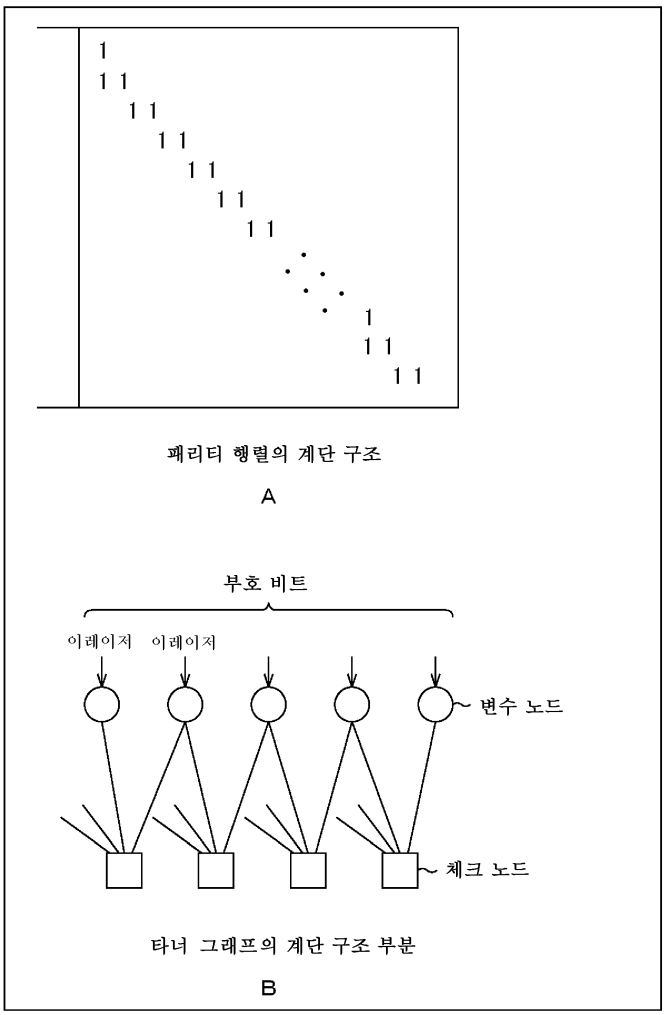
도면17


A
교체부
32
강한 bit
약한 bit
기입
6×2 비트
N/6×2 비트
31
판독
B
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y0 y1 y2 y3 y4 y5
(y6) (y7) (y8) (y9) (y10) (y11)

도면18


부호 비트
이레이저
이레이저
변수 노드
체크 노드

도면19



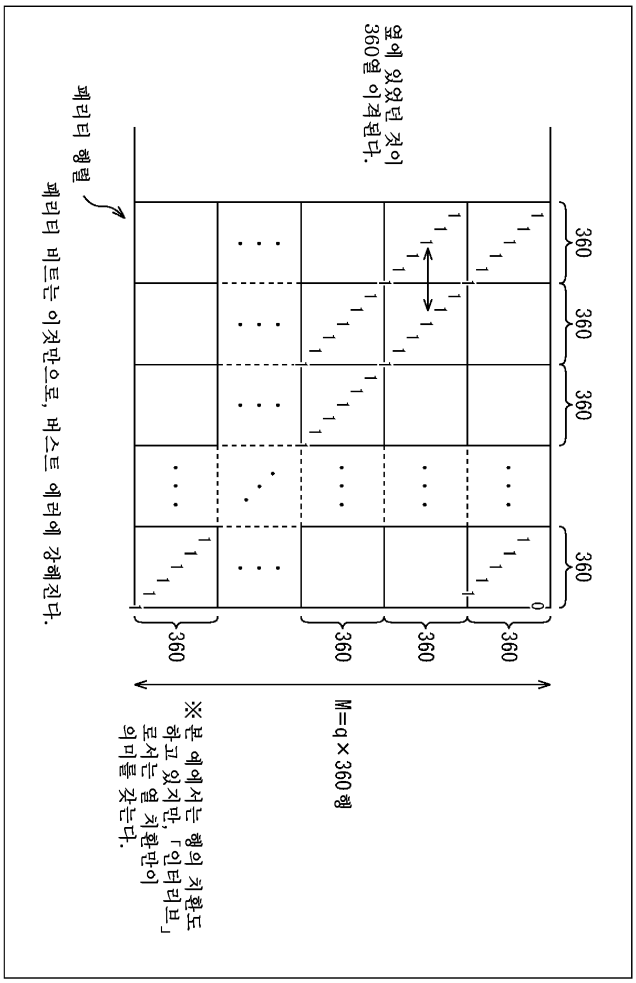
패리티 행렬의 계단 구조

A

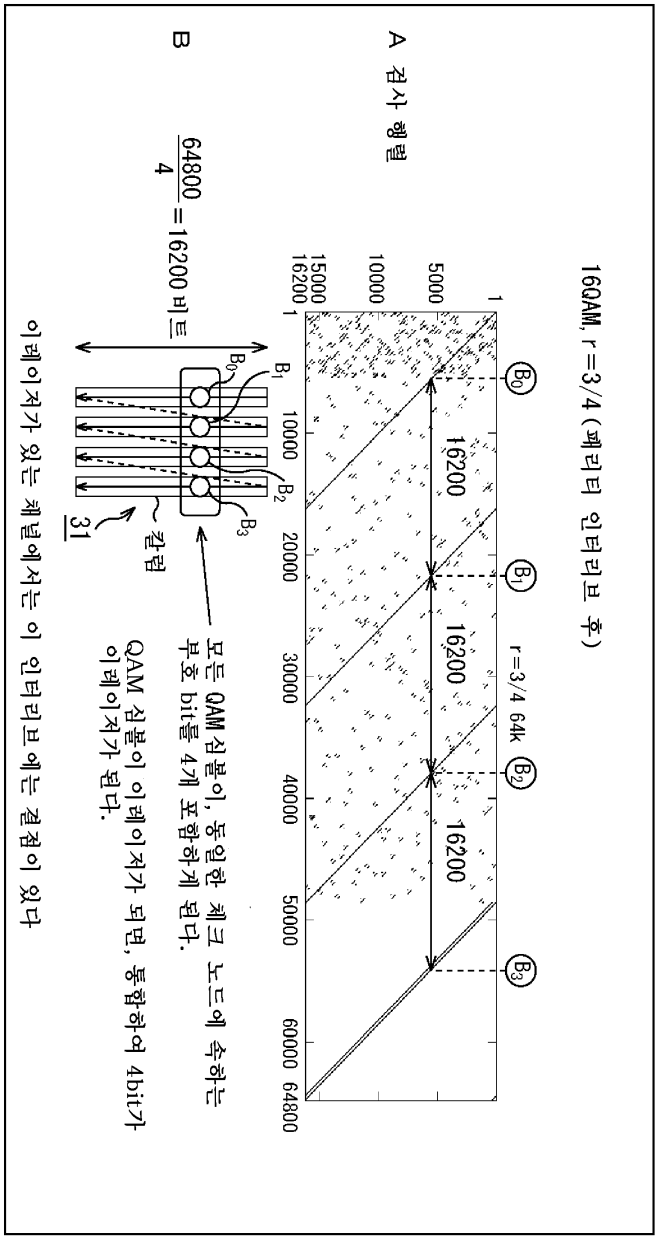
타너 그래프의 계단 구조 부분

B

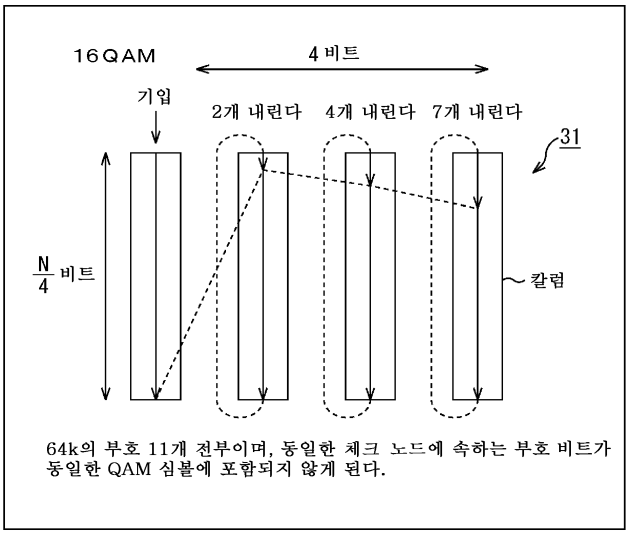
도면20


옆에 있었던 것이
360열 이격된다.
패리티 행렬
패리티 비트는 이것만으로, 버스트 에러에 강해진다.
360
360
360
360
360
360
360
360
360
M=q×360행
※ 본 예에서는 행의 치환도
하고 있지만, 「인터리브」
로서는 열 치환만이
의미를 갖는다.

도면21

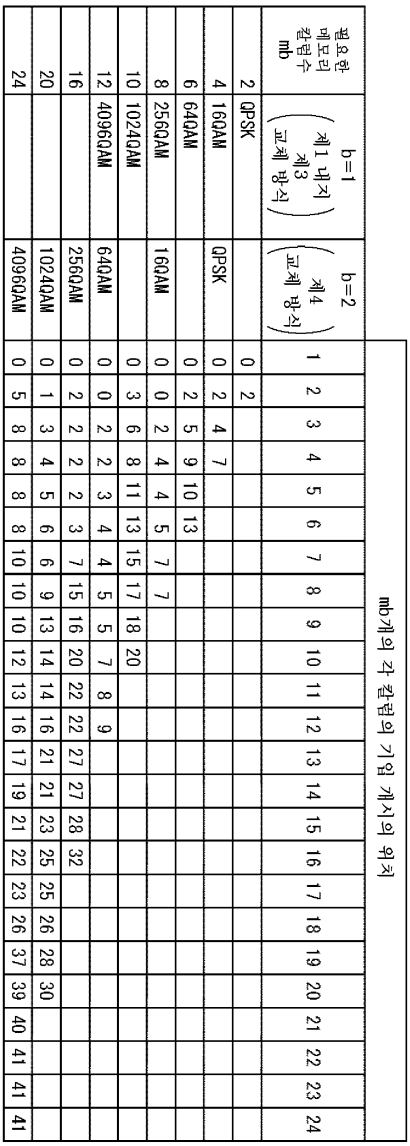

16QAM, r=3/4 (패리티 인터리브 후)
A 검사 행렬
B
64800/4 =16200 비트
B0
B1
B2
B3
r=3/4 64k
16200
16200
16200
1
5000
10000
15000
16200
1
10000
20000
30000
40000
50000
60000
64800
칼럼
31
모든 QAM 심볼이, 동일한 체크 노드에 속하는 부호 bit를 4개 포함하게 된다.
QAM 심볼이 이레이저가 되면, 통합하여 4bit가 이레이저가 된다.
이레이저가 있는 채널에서는 이 인터리브에는 결점이 있다

도면22



64k의 부호 11개 전부이며, 동일한 체크 노드에 속하는 부호 비트가 동일한 QAM 심볼에 포함되지 않게 된다.

도면23

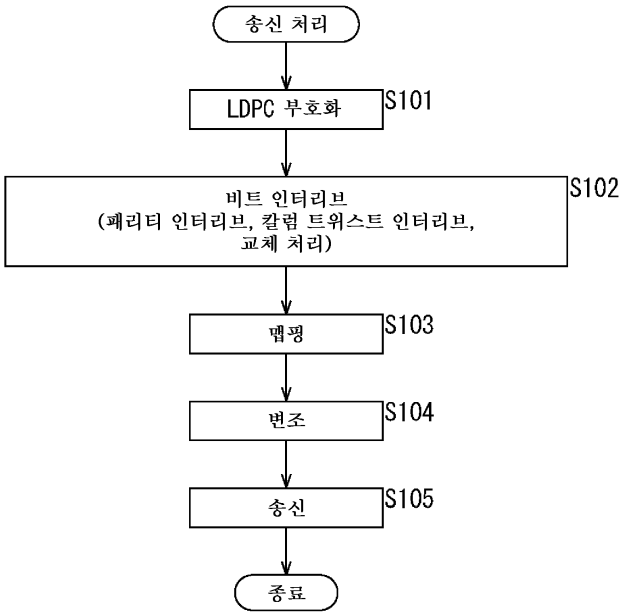


필요한 메모리 칼럼수 mb	b=1 (제1 내지 제3 교체 방식)	b=2 (제4 교체 방식)	mb개의 각 칼럼의 기입 개시의 위치																					
2	QPSK		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4	16QAM	QPSK	0	2																						
6	64QAM		0	2	5	9	10	13																		
8	256QAM	16QAM	0	0	2	4	4	5	7	7																
10	1024QAM		0	3	6	8	11	13	15	17	18	20														
12	4096QAM	64QAM	0	0	2	2	3	4	4	5	5	7	8	9												
16		256QAM	0	2	2	2	2	3	7	15	16	20	22	22	27	27	28	32								
20		1024QAM	0	1	3	4	5	6	6	9	13	14	14	16	21	21	23	25	25	26	28	30				
24		4096QAM	0	5	8	8	8	8	10	10	10	12	13	16	17	19	21	22	23	26	37	39	40	41	41	41

도면24

필요한 메모리 칼럼수 mb	b=1 (제1 내지 제3 교체 방식)	b=2 (제4 교체 방식)	mb개의 각 칼럼의 기입 개시의 위치																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	QPSK		0	0																						
4	16QAM	QPSK	0	2	3	3																				
6	64QAM		0	0	2	3	7	7																		
8	256QAM	16QAM	0	0	0	1	7	20	20	21																
10	1024QAM		0	1	2	2	3	3	4	4	5	7														
12	4096QAM	64QAM	0	0	0	2	2	2	3	3	3	6	7	7												
20		1024QAM	0	0	0	2	2	2	2	3	3	5	5	5	5	7	7	7	7	8	8	10				
24		4096QAM	0	0	0	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	7	7	9	9	9	10	10	10	10	11

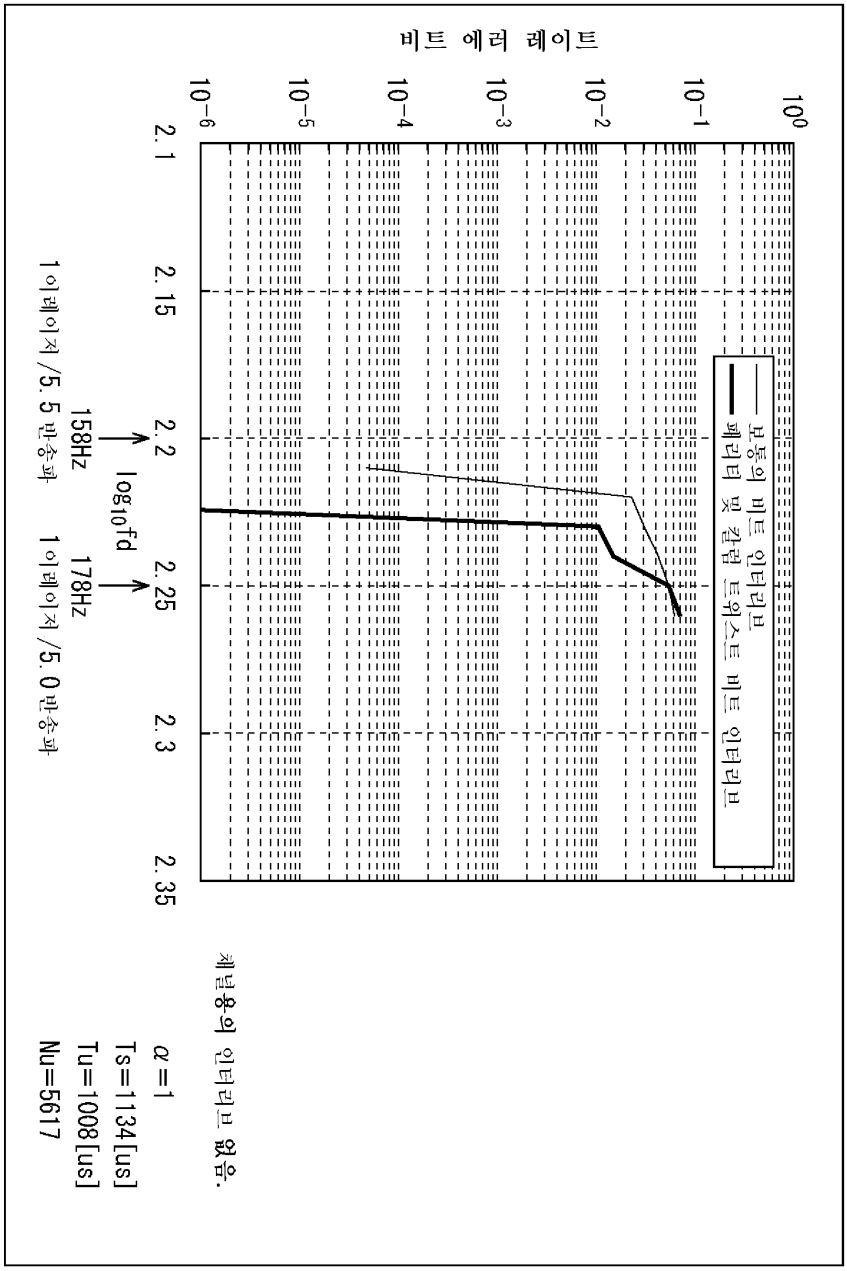
도면25


송신 처리
LDPC 부호화
S101
비트 인터리브
(패리티 인터리브, 칼럼 트위스트 인터리브,
교체 처리)
S102
맵핑
S103
변조
S104
송신
S105
종료

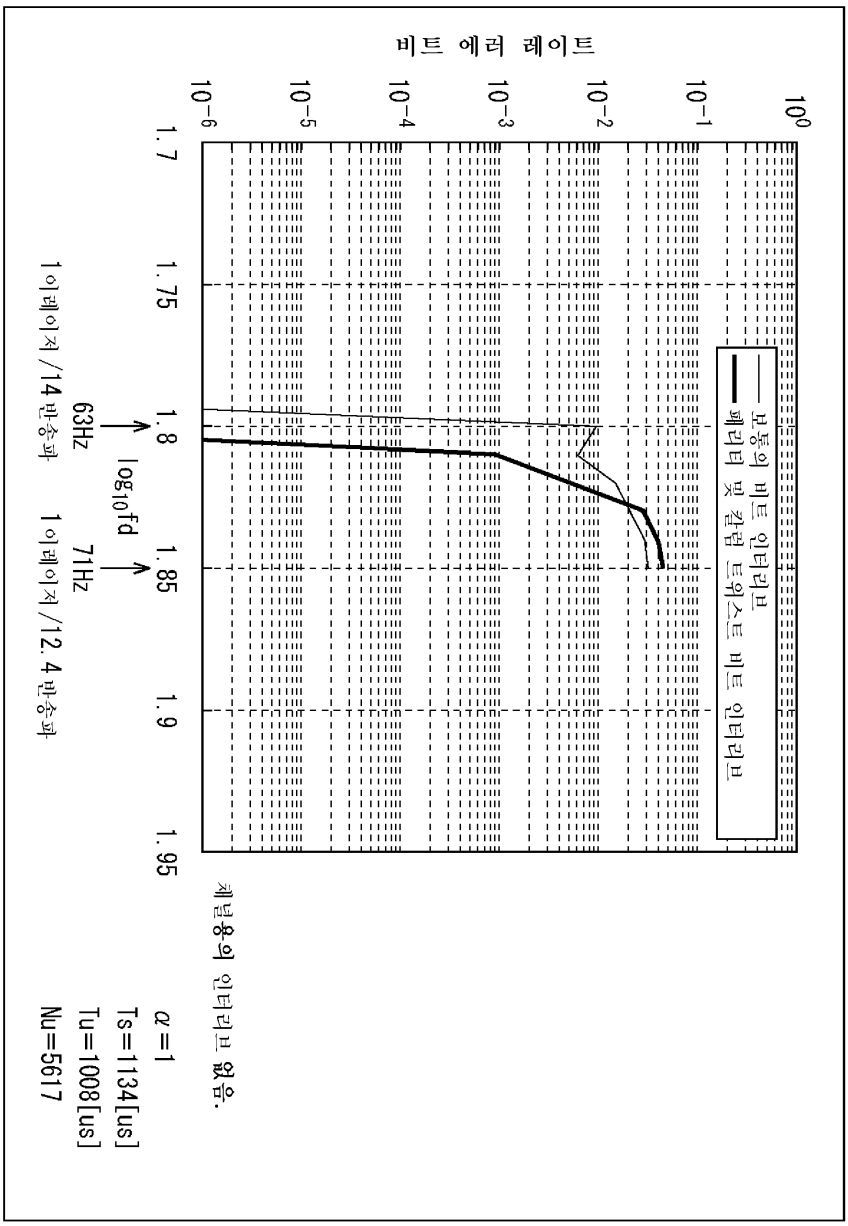
도면26

플러티의 등가 저감 모델
A
$\alpha \cdot e^{j(2\pi \cdot f_d \cdot t)}$
$1/\alpha^2 = D/U$
f_d : doppler freq.
t : time
이 채널에서 OFDM 심볼을 보내고, 송신측에서 FFT 후에
1 반송파만큼 ■ 모델로 시뮬레이션을 행하였다.
B
X
H
N
Y
$Y = \left[1 + \alpha \cdot \exp\left(j2\pi \cdot m \cdot f_d \cdot Ts + j2\pi \cdot \frac{(Nu-1) \cdot f_d \cdot Tu}{Nu}\right) \cdot \frac{\mathrm{sinc}(\pi \cdot f_d \cdot Tu)}{\mathrm{sinc}(\pi \cdot f_d \cdot Tu/Nu)}\right] \cdot X + N$
H
$E[N^2] = \alpha^2 \cdot \left(1 - \left|\frac{\mathrm{sinc}(\pi \cdot f_d \cdot Tu)}{\mathrm{sinc}(\pi \cdot f_d \cdot Tu/Nu)}\right|^2\right)$
|C|의 파워 : AWGN으로 근사
m : 심볼 수
Ts : 심볼 길이 (sec)
Tu : 유효 심볼 길이 (sec)
Nu : OFDM 반송파의 수

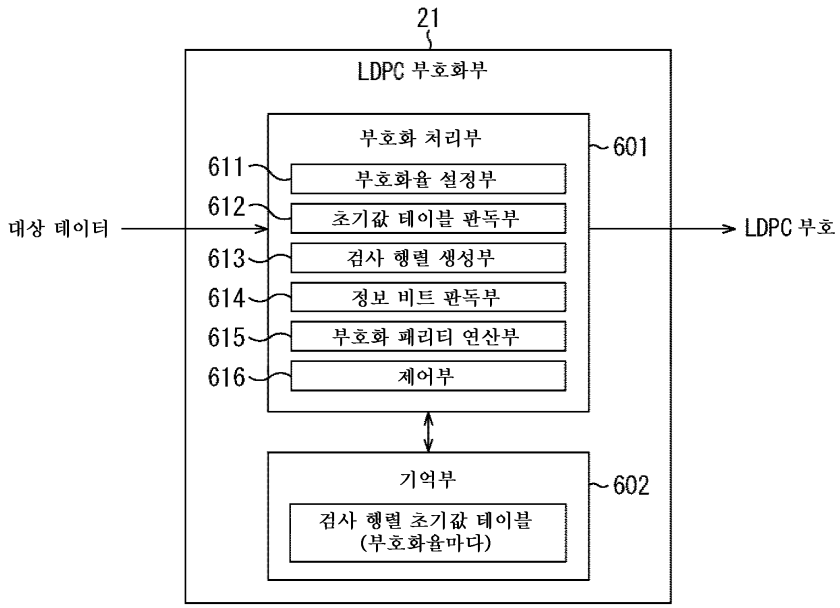
도면27


비트 에러 레이트
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
보통의 비트 인터리브
패리티 및 칼럼 트위스트 비트 인터리브
2.1
2.15
2.2
2.25
2.3
2.35
$\log_{10}fd$
158Hz
178Hz
1 이레이저 /5.5 반송파
1 이레이저 /5.0 반송파
채널용의 인터리브 없음.
α =1
Ts=1134[us]
Tu=1008[us]
Nu=5617

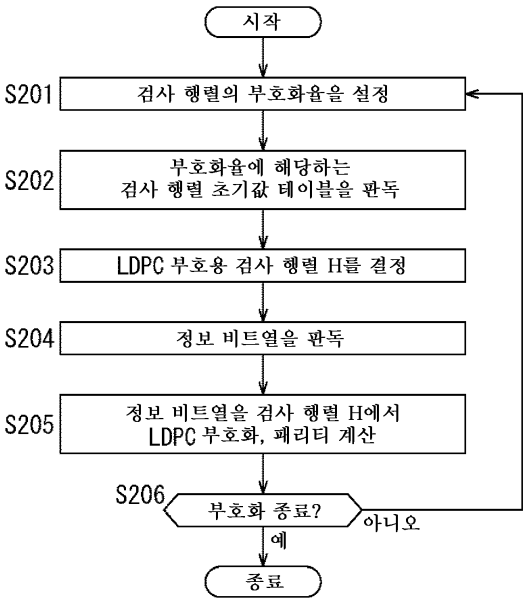
도면28


비트 에러 레이트
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
보통의 비트 인터리브
패리티 및 칼럼 트위스트 비트 인터리브
1.7
1.75
1.8
1.85
1.9
1.95
$\log_{10}$fd
63Hz
71Hz
1 이레이저 /14 반송파
1 이레이저 /12.4 반송파
채널용의 인터리브 없음.
α =1
Ts=1134[us]
Tu=1008[us]
Nu=5617

도면29


21
LDPC 부호화부
부호화 처리부
601
611
부호화율 설정부
612
초기값 테이블 판독부
613
검사 행렬 생성부
614
정보 비트 판독부
615
부호화 패리티 연산부
616
제어부
대상 데이터
LDPC 부호
기억부
602
검사 행렬 초기값 테이블
(부호화율마다)

도면30


시작
S201
검사 행렬의 부호화율을 설정
S202
부호화율에 해당하는
검사 행렬 초기값 테이블을 판독
S203
LDPC 부호용 검사 행렬 H를 결정
S204
정보 비트열을 판독
S205
정보 비트열을 검사 행렬 H에서
LDPC 부호화, 패리티 계산
S206
부호화 종료?
아니오
예
종료

도면31

r2/3 16K

0 2084 1613 1548 1286 1460 3196 4297 2481 3369 3451 4620 2622
1 122 1516 3448 2880 1407 1847 3799 3529 373 971 4358 3108
2 259 3399 929 2650 864 3996 3833 107 5287 164 3125 2350
3 342 3529
4 4198 2147
5 1880 4836
6 3864 4910
7 243 1542
8 3011 1436
9 2167 2512
10 4606 1003
11 2835 705
12 3426 2365
13 3848 2474
14 1360 1743
0 163 2536
1 2583 1180
2 1542 509
3 4418 1005
4 5212 5117
5 2155 2922
6 347 2696
7 226 4296
8 1560 487
9 3926 1640
10 149 2928
11 2364 563
12 635 688
13 231 1684
14 1129 3894

$r=\frac{2}{3}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면32

$r=\frac{2}{3}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r2/3 64K

```
0 10491 16043 506 12826 8065 8226 2767 240 18673 9279 10579 20928
1 17819 8313 6433 6224 5120 5824 12812 17187 9940 13447 13825 18483
2 17957 6024 8681 18628 12794 5915 14576 10970 12064 20437 4455 7151
3 19777 6183 9972 14536 8182 17749 11341 5556 4379 17434 15477 18532
4 4651 19689 1608 659 16707 14335 6143 3058 14618 17894 20684 5306
5 9778 2552 12096 12369 15198 16890 4851 3109 1700 18725 1997 15882
6 486 6111 13743 11537 5591 7433 15227 14145 1483 3887 17431 12430
7 20647 14311 11734 4180 8110 5525 12141 15761 18661 18441 10569 8192
8 3791 14759 15264 19918 10132 9062 10010 12786 10675 9682 19246 5454
9 19525 9485 7777 19999 8378 9209 3163 20232 6690 16518 716 7353
10 4588 6709 20202 10905 915 4317 11073 13576 16433 368 3508 21171
11 14072 4033 19959 12608 631 19494 14160 8249 10223 21504 12395 4322
12 13800 14161
13 2948 9647
14 14693 16027
15 20506 11082
16 1143 9020
17 13501 4014
18 1548 2190
19 12216 21556
20 2095 19897
21 4189 7958
22 15940 10048
23 515 12614
24 8501 8450
25 17595 16784
26 5913 8495
27 16394 10423
28 7409 6981
29 6678 15939
30 20344 12987
31 2510 14588
32 17918 6655
33 6703 19451
34 496 4217
35 7290 5766
36 10521 8925
37 20379 11905
38 4090 5838
39 19082 17040
```

도면33

40 20233 12352
41 19365 19546
42 6249 19030
43 11037 19193
44 19760 11772
45 19644 7428
46 16076 3521
47 11779 21062
48 13062 9682
49 8934 5217
50 11087 3319
51 18892 4356
52 7894 3898
53 5963 4360
54 7346 11726
55 5182 5609
56 2412 17295
57 9845 20494
58 6687 1864
59 20564 5216
0 18226 17207
1 9380 8266
2 7073 3065
3 18252 13437
4 9161 15642
5 10714 10153
6 11585 9078
7 5359 9418
8 9024 9515
9 1206 16354
10 14994 1102
11 9375 20796
12 15964 6027
13 14789 6452
14 8002 18591
15 14742 14089
16 253 3045
17 1274 19286
18 14777 2044
19 13920 9900
20 452 7374

도면34

21 18206 9921
22 6131 5414
23 10077 9726
24 12045 5479
25 4322 7990
26 15616 5550
27 15561 10661
28 20718 7387
29 2518 18804
30 8984 2600
31 6516 17909
32 11148 98
33 20559 3704
34 7510 1569
35 16000 11692
36 9147 10303
37 16650 191
38 15577 18685
39 17167 20917
40 4256 3391
41 20092 17219
42 9218 5056
43 18429 8472
44 12093 20753
45 16345 12748
46 16023 11095
47 5048 17595
48 18995 4817
49 16483 3536
50 1439 16148
51 3661 3039
52 19010 18121
53 8968 11793
54 13427 18003
55 5303 3083
56 531 16668
57 4771 6722
58 5695 7960
59 3589 14630

도면35

r3/4 16K

```
3 3198 478 4207 1481 1009 2616 1924 3437 554 683 1801
4 2681 2135
5 3107 4027
6 2637 3373
7 3830 3449
8 4129 2060
9 4184 2742
10 3946 1070
11 2239 984
0 1458 3031
1 3003 1328
2 1137 1716
3 132 3725
4 1817 638
5 1774 3447
6 3632 1257
7 542 3694
8 1015 1945
9 1948 412
10 995 2238
11 4141 1907
0 2480 3079
1 3021 1088
2 713 1379
3 997 3903
4 2323 3361
5 1110 986
6 2532 142
7 1690 2405
8 1298 1881
9 615 174
10 1648 3112
11 1415 2808
```

$r=\frac{3}{4}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면36

$r=\frac{3}{4}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r3/4 64K

0 6385 7901 14611 13389 11200 3252 5243 2504 2722 821 7374
1 11359 2698 357 13824 12772 7244 6752 15310 852 2001 11417
2 7862 7977 6321 13612 12197 14449 15137 13860 1708 6399 13444
3 1560 11804 6975 13292 3646 3812 8772 7306 5795 14327 7866
4 7626 11407 14599 9689 1628 2113 10809 9283 1230 15241 4870
5 1610 5699 15876 9446 12515 1400 6303 5411 14181 13925 7358
6 4059 8836 3405 7853 7992 15336 5970 10368 10278 9675 4651
7 4441 3963 9153 2109 12683 7459 12030 12221 629 15212 406
8 6007 8411 5771 3497 543 14202 875 9186 6235 13908 3563
9 3232 6625 4795 546 9781 2071 7312 3399 7250 4932 12652
10 8820 10088 11090 7069 6585 13134 10158 7183 488 7455 9238
11 1903 10818 119 215 7558 11046 10615 11545 14784 7961 15619
12 3655 8736 4917 15874 5129 2134 15944 14768 7150 2692 1469
13 8316 3820 505 8923 6757 806 7957 4216 15589 13244 2622
14 14463 4852 15733 3041 11193 12860 13673 8152 6551 15108 8758
15 3149 11981
16 13416 6906
17 13098 13352
18 2009 14460
19 7207 4314
20 3312 3945
21 4418 6248
22 2669 13975
23 7571 9023
24 14172 2967
25 7271 7138
26 6135 13670
27 7490 14559
28 8657 2466
29 8599 12834
30 3470 3152
31 13917 4365
32 6024 13730
33 10973 14182
34 2464 13167
35 5281 15049
36 1103 1849
37 2058 1069
38 9654 6095
39 14311 7667

도면37

40 15617 8146
41 4588 11218
42 13660 6243
43 8578 7874
44 11741 2686
0 1022 1264
1 12604 9965
2 8217 2707
3 3156 11793
4 354 1514
5 6978 14058
6 7922 16079
7 15087 12138
8 5053 6470
9 12687 14932
10 15458 1763
11 8121 1721
12 12431 549
13 4129 7091
14 1426 8415
15 9783 7604
16 6295 11329
17 1409 12061
18 8065 9087
19 2918 8438
20 1293 14115
21 3922 13851
22 3851 4000
23 5865 1768
24 2655 14957
25 5565 6332
26 4303 12631
27 11653 12236
28 16025 7632
29 4655 14128
30 9584 13123
31 13987 9597
32 15409 12110
33 8754 15490
34 7416 15325
35 2909 15549

도면38

```
36 2995 8257
37 9406 4791
38 11111 4854
39 2812 8521
40 8476 14717
41 7820 15360
42 1179 7939
43 2357 8678
44 7703 6216
0 3477 7067
1 3931 13845
2 7675 12899
3 1754 8187
4 7785 1400
5 9213 5891
6 2494 7703
7 2576 7902
8 4821 15682
9 10426 11935
10 1810 904
11 11332 9264
12 11312 3570
13 14916 2650
14 7679 7842
15 6089 13084
16 3938 2751
17 8509 4648
18 12204 8917
19 5749 12443
20 12613 4431
21 1344 4014
22 8488 13850
23 1730 14896
24 14942 7126
25 14983 8863
26 6578 8564
27 4947 396
28 297 12805
29 13878 6692
30 11857 11186
31 14395 11493
```

도면39

```
32 16145 12251
33 13462 7428
34 14526 13119
35 2535 11243
36 6465 12690
37 6872 9334
38 15371 14023
39 8101 10187
40 11963 4848
41 15125 6119
42 8051 14465
43 11139 5167
44 2883 14521
```

도면40

r4/5 16K

```
5 896 1565
6 2493 184
7 212 3210
8 727 1339
9 3428 612
0 2663 1947
1 230 2695
2 2025 2794
3 3039 283
4 862 2889
5 376 2110
6 2034 2286
7 951 2068
8 3108 3542
9 307 1421
0 2272 1197
1 1800 3280
2 331 2308
3 465 2552
4 1038 2479
5 1383 343
6 94 236
7 2619 121
8 1497 2774
9 2116 1855
0 722 1584
1 2767 1881
2 2701 1610
3 3283 1732
4 168 1099
5 3074 243
6 3460 945
7 2049 1746
8 566 1427
9 3545 1168
```

$r=\frac{4}{5}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면41

$r=\frac{4}{5}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r4/5 64K

0 149 11212 5575 6360 12559 8108 8505 408 10026 12828
1 5237 490 10677 4998 3869 3734 3092 3509 7703 10305
2 8742 5553 2820 7085 12116 10485 564 7795 2972 2157
3 2699 4304 8350 712 2841 3250 4731 10105 517 7516
4 12067 1351 11992 12191 11267 5161 537 6166 4246 2363
5 6828 7107 2127 3724 5743 11040 10756 4073 1011 3422
6 11259 1216 9526 1466 10816 940 3744 2815 11506 11573
7 4549 11507 1118 1274 11751 5207 7854 12803 4047 6484
8 8430 4115 9440 413 4455 2262 7915 12402 8579 7052
9 3885 9126 5665 4505 2343 253 4707 3742 4166 1556
10 1704 8936 6775 8639 8179 7954 8234 7850 8883 8713
11 11716 4344 9087 11264 2274 8832 9147 11930 6054 5455
12 7323 3970 10329 2170 8262 3854 2087 12899 9497 11700
13 4418 1467 2490 5841 817 11453 533 11217 11962 5251
14 1541 4525 7976 3457 9536 7725 3788 2982 6307 5997
15 11484 2739 4023 12107 6516 551 2572 6628 8150 9852
16 6070 1761 4627 6534 7913 3730 11866 1813 12306 8249
17 12441 5489 8748 7837 7660 2102 11341 2936 6712 11977
18 10155 4210
19 1010 10483
20 8900 10250
21 10243 12278
22 7070 4397
23 12271 3887
24 11980 6836
25 9514 4356
26 7137 10281
27 11881 2526
28 1969 11477
29 3044 10921
30 2236 8724
31 9104 6340
32 7342 8582
33 11675 10405
34 6467 12775
35 3186 12198
0 9621 11445
1 7486 5611
2 4319 4879
3 2196 344

도면42

4 7527 6650
5 10693 2440
6 6755 2706
7 5144 5998
8 11043 8033
9 4846 4435
10 4157 9228
11 12270 6562
12 11954 7592
13 7420 2592
14 8810 9636
15 689 5430
16 920 1304
17 1253 11934
18 9559 6016
19 312 7589
20 4439 4197
21 4002 9555
22 12232 7779
23 1494 8782
24 10749 3969
25 4368 3479
26 6316 5342
27 2455 3493
28 12157 7405
29 6598 11495
30 11805 4455
31 9625 2090
32 4731 2321
33 3578 2608
34 8504 1849
35 4027 1151
0 5647 4935
1 4219 1870
2 10968 8054
3 6970 5447
4 3217 5638
5 8972 669
6 5618 12472
7 1457 1280
8 8868 3883

도면43

9 8866 1224
10 8371 5972
11 266 4405
12 3706 3244
13 6039 5844
14 7200 3283
15 1502 11282
16 12318 2202
17 4523 965
18 9587 7011
19 2552 2051
20 12045 10306
21 11070 5104
22 6627 6906
23 9889 2121
24 829 9701
25 2201 1819
26 6689 12925
27 2139 8757
28 12004 5948
29 8704 3191
30 8171 10933
31 6297 7116
32 616 7146
33 5142 9761
34 10377 8138
35 7616 5811
0 7285 9863
1 7764 10867
2 12343 9019
3 4414 8331
4 3464 642
5 6960 2039
6 786 3021
7 710 2086
8 7423 5601
9 8120 4885
10 12385 11990
11 9739 10034
12 424 10162
13 1347 7597

도면44

```
14 1450 112
15 7965 8478
16 8945 7397
17 6590 8316
18 6838 9011
19 6174 9410
20 255 113
21 6197 5835
22 12902 3844
23 4377 3505
24 5478 8672
25 4453 2132
26 9724 1380
27 12131 11526
28 12323 9511
29 8231 1752
30 497 9022
31 9288 3080
32 2481 7515
33 2696 268
34 4023 12341
35 7108 5553
```

도면45

r5/6 16K

```
3 2409 499 1481 908 559 716 1270 333 2508 2264 1702 2805
4 2447 1926
5 414 1224
6 2114 842
7 212 573
0 2383 2112
1 2286 2348
2 545 819
3 1264 143
4 1701 2258
5 964 166
6 114 2413
7 2243 81
0 1245 1581
1 775 169
2 1696 1104
3 1914 2831
4 532 1450
5 91 974
6 497 2228
7 2326 1579
0 2482 256
1 1117 1261
2 1257 1658
3 1478 1225
4 2511 980
5 2320 2675
6 435 1278
7 228 503
0 1885 2369
1 57 483
2 838 1050
3 1231 1990
4 1738 68
5 2392 951
6 163 645
7 2644 1704
```

$r=\frac{5}{6}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면46

$r=\frac{5}{6}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r5/6 64K

0 4362 416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723
1 2479 1786 8978 3011 4339 9313 6397 2957 7288 5484 6031 10217
2 10175 9009 9889 3091 4985 7267 4092 8874 5671 2777 2189 8716
3 9052 4795 3924 3370 10058 1128 9996 10165 9360 4297 434 5138
4 2379 7834 4835 2327 9843 804 329 8353 7167 3070 1528 7311
5 3435 7871 348 3693 1876 6585 10340 7144 5870 2084 4052 2780
6 3917 3111 3476 1304 10331 5939 5199 1611 1991 699 8316 9960
7 6883 3237 1717 10752 7891 9764 4745 3888 10009 4176 4614 1567
8 10587 2195 1689 2968 5420 2580 2883 6496 111 6023 1024 4449
9 3786 8593 2074 3321 5057 1450 3840 5444 6572 3094 9892 1512
10 8548 1848 10372 4585 7313 6536 6379 1766 9462 2456 5606 9975
11 8204 10593 7935 3636 3882 394 5968 8561 2395 7289 9267 9978
12 7795 74 1633 9542 6867 7352 6417 7568 10623 725 2531 9115
13 7151 2482 4260 5003 10105 7419 9203 6691 8798 2092 8263 3755
14 3600 570 4527 200 9718 6771 1995 8902 5446 768 1103 6520
15 6304 7621
16 6498 9209
17 7293 6786
18 5950 1708
19 8521 1793
20 6174 7854
21 9773 1190
22 9517 10268
23 2181 9349
24 1949 5560
25 1556 555
26 8600 3827
27 5072 1057
28 7928 3542
29 3226 3762
0 7045 2420
1 9645 2641
2 2774 2452
3 5331 2031
4 9400 7503
5 1850 2338
6 10456 9774
7 1692 9276
8 10037 4038
9 3964 338

도면47

10 2640 5087
11 858 3473
12 5582 5683
13 9523 916
14 4107 1559
15 4506 3491
16 8191 4182
17 10192 6157
18 5668 3305
19 3449 1540
20 4766 2697
21 4069 6675
22 1117 1016
23 5619 3085
24 8483 8400
25 8255 394
26 6338 5042
27 6174 5119
28 7203 1989
29 1781 5174
0 1464 3559
1 3376 4214
2 7238 67
3 10595 8831
4 1221 6513
5 5300 4652
6 1429 9749
7 7878 5131
8 4435 10284
9 6331 5507
10 6662 4941
11 9614 10238
12 8400 8025
13 9156 5630
14 7067 8878
15 9027 3415
16 1690 3866
17 2854 8469
18 6206 630
19 363 5453
20 4125 7008

도면48

21 1612 6702
22 9069 9226
23 5767 4060
24 3743 9237
25 7018 5572
26 8892 4536
27 853 6064
28 8069 5893
29 2051 2885
0 10691 3153
1 3602 4055
2 328 1717
3 2219 9299
4 1939 7898
5 617 206
6 8544 1374
7 10676 3240
8 6672 9489
9 3170 7457
10 7868 5731
11 6121 10732
12 4843 9132
13 580 9591
14 6267 9290
15 3009 2268
16 195 2419
17 8016 1557
18 1516 9195
19 8062 9064
20 2095 8968
21 753 7326
22 6291 3833
23 2614 7844
24 2303 646
25 2075 611
26 4687 362
27 8684 9940
28 4830 2065
29 7038 1363
0 1769 7837
1 3801 1689

도면49

```
2 10070 2359
3 3667 9918
4 1914 6920
5 4244 5669
6 10245 7821
7 7648 3944
8 3310 5488
9 6346 9666
10 7088 6122
11 1291 7827
12 10592 8945
13 3609 7120
14 9168 9112
15 6203 8052
16 3330 2895
17 4264 10563
18 10556 6496
19 8807 7645
20 1999 4530
21 9202 6818
22 3403 1734
23 2106 9023
24 6881 3883
25 3895 2171
26 4062 6424
27 3755 9536
28 4683 2131
29 7347 8027
```

도면50

$r=\frac{8}{9}$, N=16200 의 검사 행렬 초기값 테이블

r8/9 16K

```
0 1558 712 805
1 1450 873 1337
2 1741 1129 1184
3 294 806 1566
4 482 605 923
0 926 1578
1 777 1374
2 608 151
3 1195 210
4 1484 692
0 427 488
1 828 1124
2 874 1366
3 1500 835
4 1496 502
0 1006 1701
1 1155 97
2 657 1403
3 1453 624
4 429 1495
0 809 385
1 367 151
2 1323 202
3 960 318
4 1451 1039
0 1098 1722
1 1015 1428
2 1261 1564
3 544 1190
4 1472 1246
0 508 630
1 421 1704
2 284 898
3 392 577
4 1155 556
0 631 1000
1 732 1368
2 1328 329
3 1515 506
4 1104 1172
```

도면51

$r=\frac{8}{9}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r8/9 64K

0 6235 2848 3222
1 5800 3492 5348
2 2757 927 90
3 6961 4516 4739
4 1172 3237 6264
5 1927 2425 3683
6 3714 6309 2495
7 3070 6342 7154
8 2428 613 3761
9 2906 264 5927
10 1716 1950 4273
11 4613 6179 3491
12 4865 3286 6005
13 1343 5923 3529
14 4589 4035 2132
15 1579 3920 6737
16 1644 1191 5998
17 1482 2381 4620
18 6791 6014 6596
19 2738 5918 3786
0 5156 6166
1 1504 4356
2 130 1904
3 6027 3187
4 6718 759
5 6240 2870
6 2343 1311
7 1039 5465
8 6617 2513
9 1588 5222
10 6561 535
11 4765 2054
12 5966 6892
13 1969 3869
14 3571 2420
15 4632 981
16 3215 4163
17 973 3117
18 3802 6198
19 3794 3948

도면52

0 3196 6126
1 573 1909
2 850 4034
3 5622 1601
4 6005 524
5 5251 5783
6 172 2032
7 1875 2475
8 497 1291
9 2566 3430
10 1249 740
11 2944 1948
12 6528 2899
13 2243 3616
14 867 3733
15 1374 4702
16 4698 2285
17 4760 3917
18 1859 4058
19 6141 3527
0 2148 5066
1 1306 145
2 2319 871
3 3463 1061
4 5554 6647
5 5837 339
6 5821 4932
7 6356 4756
8 3930 418
9 211 3094
10 1007 4928
11 3584 1235
12 6982 2869
13 1612 1013
14 953 4964
15 4555 4410
16 4925 4842
17 5778 600
18 6509 2417
19 1260 4903
0 3369 3031

도면53

1 3557 3224
2 3028 583
3 3258 440
4 6226 6655
5 4895 1094
6 1481 6847
7 4433 1932
8 2107 1649
9 2119 2065
10 4003 6388
11 6720 3622
12 3694 4521
13 1164 7050
14 1965 3613
15 4331 66
16 2970 1796
17 4652 3218
18 1762 4777
19 5736 1399
0 970 2572
1 2062 6599
2 4597 4870
3 1228 6913
4 4159 1037
5 2916 2362
6 395 1226
7 6911 4548
8 4618 2241
9 4120 4280
10 5825 474
11 2154 5558
12 3793 5471
13 5707 1595
14 1403 325
15 6601 5183
16 6369 4569
17 4846 896
18 7092 6184
19 6764 7127
0 6358 1951
1 3117 6960

도면54

2 2710 7062
3 1133 3604
4 3694 657
5 1355 110
6 3329 6736
7 2505 3407
8 2462 4806
9 4216 214
10 5348 5619
11 6627 6243
12 2644 5073
13 4212 5088
14 3463 3889
15 5306 478
16 4320 6121
17 3961 1125
18 5699 1195
19 6511 792
0 3934 2778
1 3238 6587
2 1111 6596
3 1457 6226
4 1446 3885
5 3907 4043
6 6839 2873
7 1733 5615
8 5202 4269
9 3024 4722
10 5445 6372
11 370 1828
12 4695 1600
13 680 2074
14 1801 6690
15 2669 1377
16 2463 1681
17 5972 5171
18 5728 4284
19 1696 1459

도면55

$r=\frac{9}{10}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r9/10 64K

```
0 5611 2563 2900
1 5220 3143 4813
2 2481 834 81
3 6265 4064 4265
4 1055 2914 5638
5 1734 2182 3315
6 3342 5678 2246
7 2185 552 3385
8 2615 236 5334
9 1546 1755 3846
10 4154 5561 3142
11 4382 2957 5400
12 1209 5329 3179
13 1421 3528 6063
14 1480 1072 5398
15 3843 1777 4369
16 1334 2145 4163
17 2368 5055 260
0 6118 5405
1 2994 4370
2 3405 1669
3 4640 5550
4 1354 3921
5 117 1713
6 5425 2866
7 6047 683
8 5616 2582
9 2108 1179
10 933 4921
11 5953 2261
12 1430 4699
13 5905 480
14 4289 1846
15 5374 6208
16 1775 3476
17 3216 2178
0 4165 884
1 2896 3744
2 874 2801
3 3423 5579
```

도면56

4 3404 3552
5 2876 5515
6 516 1719
7 765 3631
8 5059 1441
9 5629 598
10 5405 473
11 4724 5210
12 155 1832
13 1689 2229
14 449 1164
15 2308 3088
16 1122 669
17 2268 5758
0 5878 2609
1 782 3359
2 1231 4231
3 4225 2052
4 4286 3517
5 5531 3184
6 1935 4560
7 1174 131
8 3115 956
9 3129 1088
10 5238 4440
11 5722 4280
12 3540 375
13 191 2782
14 906 4432
15 3225 1111
16 6296 2583
17 1457 903
0 855 4475
1 4097 3970
2 4433 4361
3 5198 541
4 1146 4426
5 3202 2902
6 2724 525
7 1083 4124
8 2326 6003

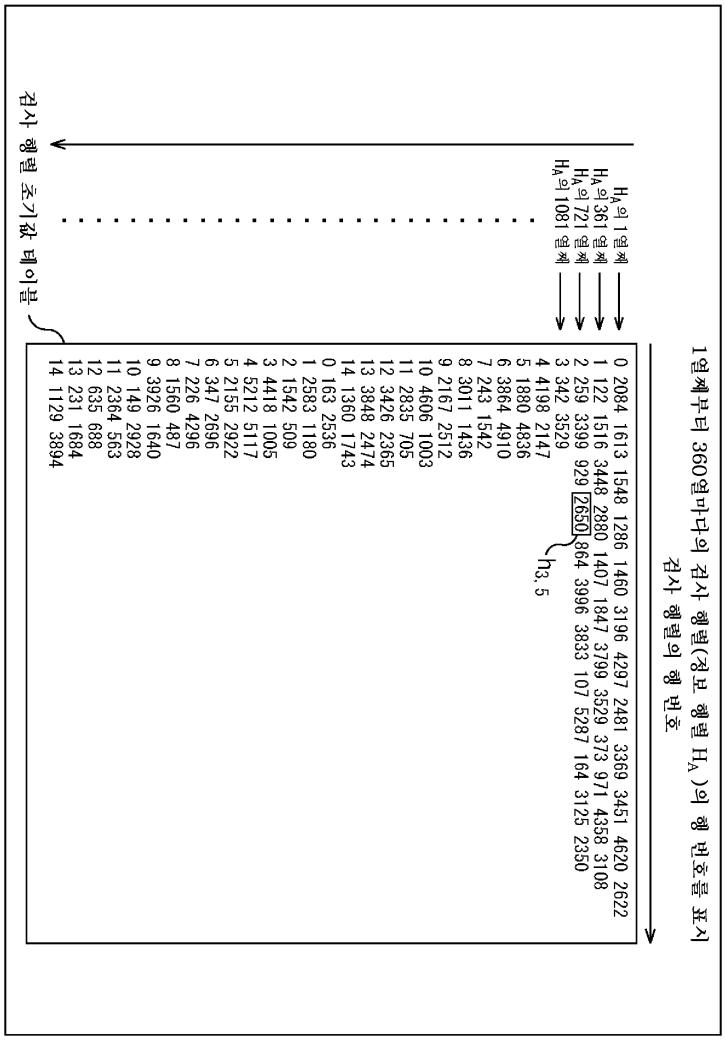
도면57

9 5605 5990	
10 4376 1579	
11 4407 984	
12 1332 6163	
13 5359 3975	
14 1907 1854	
15 3601 5748	
16 6056 3266	
17 3322 4085	
0 1768 3244	
1 2149 144	
2 1589 4291	
3 5154 1252	
4 1855 5939	
5 4820 2706	
6 1475 3360	
7 4266 693	
8 4156 2018	
9 2103 752	
10 3710 3853	
11 5123 931	
12 6146 3323	
13 1939 5002	
14 5140 1437	
15 1263 293	
16 5949 4665	
17 4548 6380	
0 3171 4690	
1 5204 2114	
2 6384 5565	
3 5722 1757	
4 2805 6264	
5 1202 2616	
6 1018 3244	
7 4018 5289	
8 2257 3067	
9 2483 3073	
10 1196 5329	
11 649 3918	
12 3791 4581	
13 5028 3803	

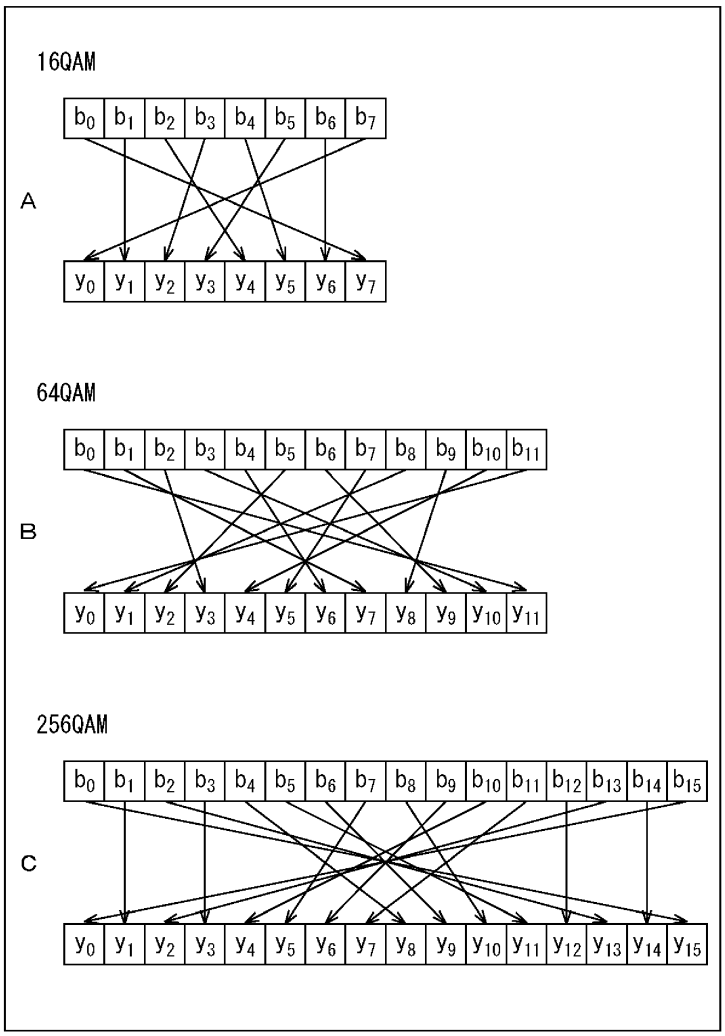
도면58

14 3119 3506
15 4779 431
16 3888 5510
17 4387 4084
0 5836 1692
1 5126 1078
2 5721 6165
3 3540 2499
4 2225 6348
5 1044 1484
6 6323 4042
7 1313 5603
8 1303 3496
9 3516 3639
10 5161 2293
11 4682 3845
12 3045 643
13 2818 2616
14 3267 649
15 6236 593
16 646 2948
17 4213 1442
0 5779 1596
1 2403 1237
2 2217 1514
3 5609 716
4 5155 3858
5 1517 1312
6 2554 3158
7 5280 2643
8 4990 1353
9 5648 1170
10 1152 4366
11 3561 5368
12 3581 1411
13 5647 4661
14 1542 5401
15 5078 2687
16 316 1755
17 3392 1991

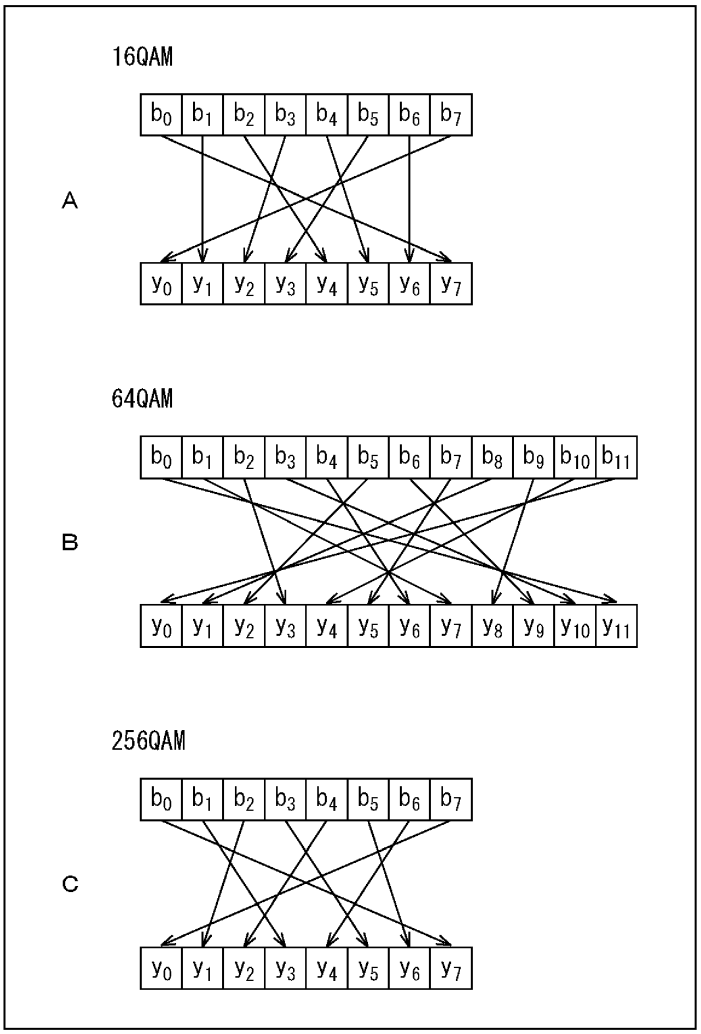
도면59


1열째부터 360열마다의 검사 행렬(정보 행렬 H_A)의 행 번호를 표시
검사 행렬의 행 번호
H_A의 1열째
H_A의 361 열째
H_A의 721 열째
H_A의 1081 열째
0 2084 1613 1548 1286 1460 3196 4297 2481 3369 3451 4620 2622
1 122 1516 3448 2880 1407 1847 3799 3529 373 971 4358 3108
2 259 3399 929 2650 864 3996 3833 107 5287 164 3125 2350
3 342 3529
4 4198 2147
5 1880 4836
6 3864 4910
7 243 1542
8 3011 1436
9 2167 2512
10 4606 1003
11 2835 705
12 3426 2365
13 3848 2474
14 1360 1743
0 163 2536
1 2583 1180
2 1542 509
3 4418 1005
4 5212 5117
5 2155 2922
6 347 2696
7 226 4296
8 1560 487
9 3926 1640
10 149 2928
11 2364 563
12 635 688
13 231 1684
14 1129 3894
$h_{3,5}$
검사 행렬 초기값 테이블

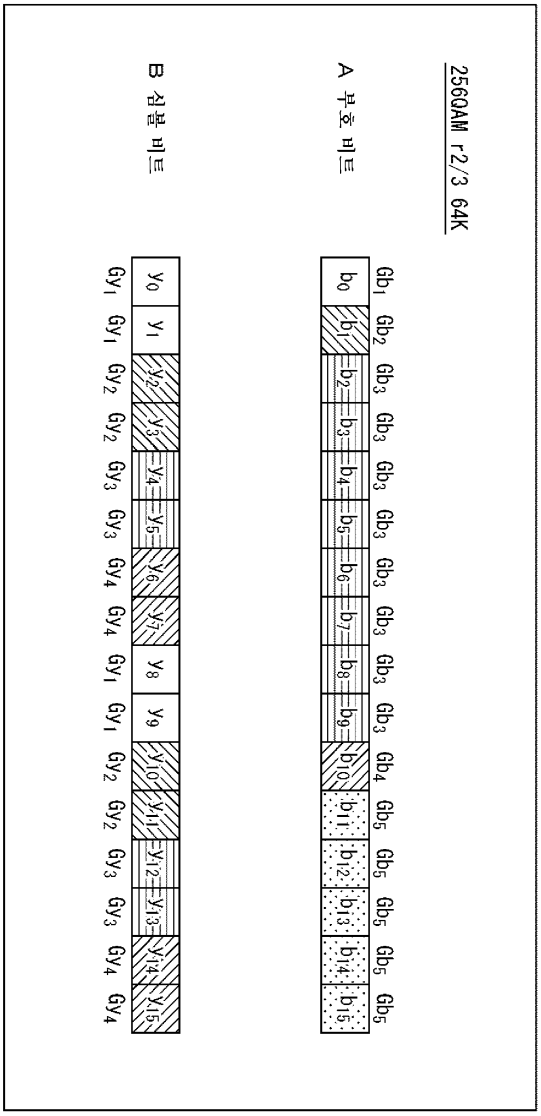
도면60


16QAM
A
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7
64QAM
B
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11
256QAM
C
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13 b14 b15
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11 y12 y13 y14 y15

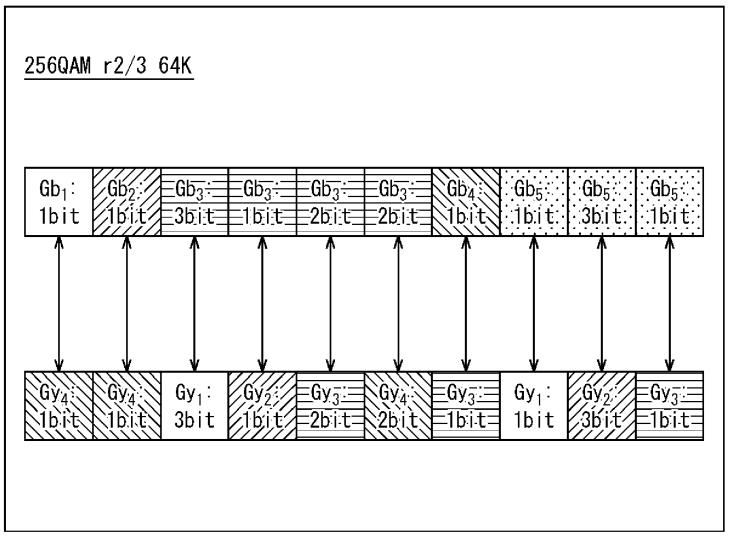
도면61


16QAM
A
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7
64QAM
B
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11
256QAM
C
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7

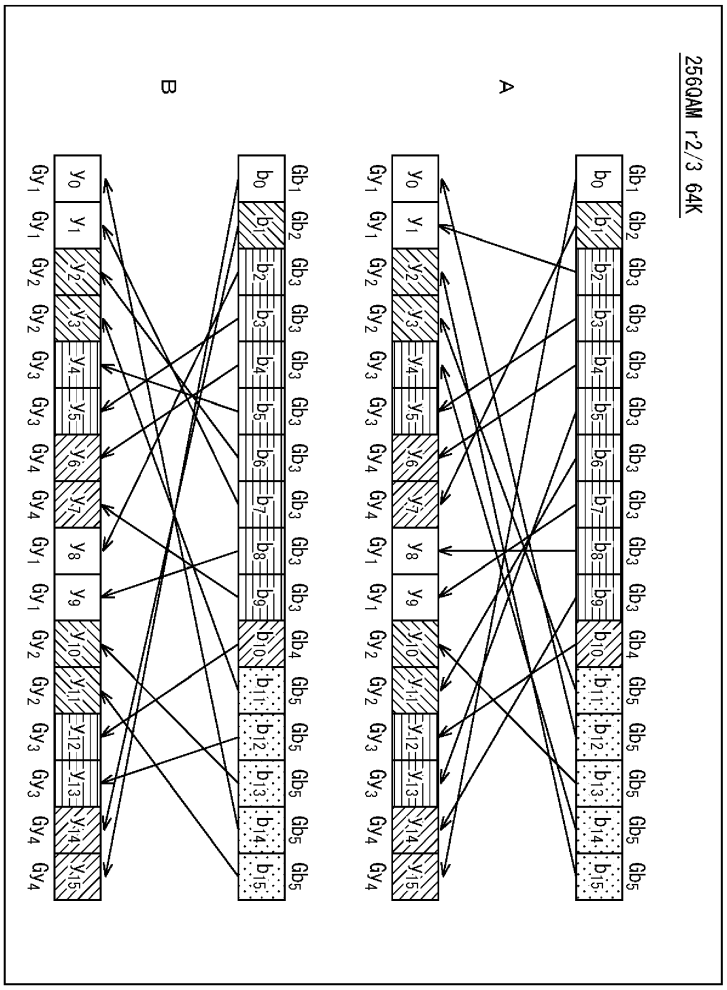
도면62



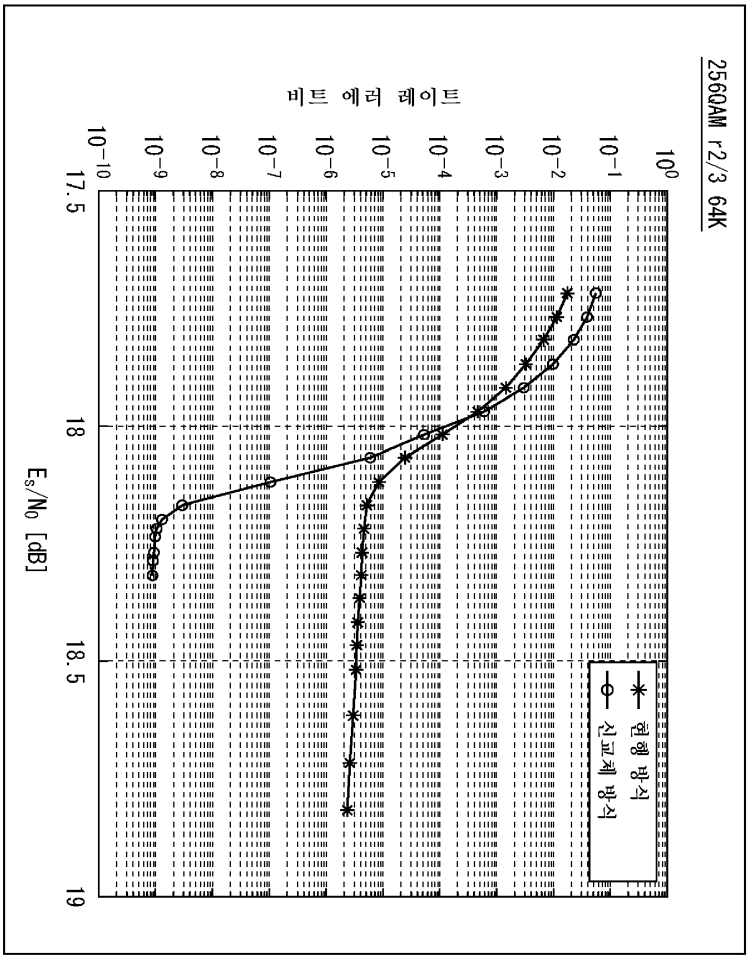
도면63


256QAM r2/3 64K
Gb1: 1bit
Gb2: 1bit
Gb3: 3bit
Gb3: 1bit
Gb3: 2bit
Gb3: 2bit
Gb4: 1bit
Gb5: 1bit
Gb5: 3bit
Gb5: 1bit
Gy4: 1bit
Gy4: 1bit
Gy1: 3bit
Gy2: 1bit
Gy3: 2bit
Gy4: 2bit
Gy3: 1bit
Gy1: 1bit
Gy2: 3bit
Gy3: 1bit

도면64


256QAM r2/3 64K
A
B

도면65


256QAM r2/3 64K
비트 에러 레이트
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
10^{-10}
17.5
18
18.5
19
E_s/N_0 [dB]
현행 방식
신교체 방식

도면66

r2/3 64K

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20748
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920
856 1690 12787
6532 7357 9151
4210 16615 18152
11494 14036 17470
2474 10291 10323
1778 6973 10739
4347 9570 18748
2189 11942 20666
3868 7526 17706
8780 14796 18268
160 16232 17399
1285 2003 18922
4658 17331 20361
2765 4862 5875
4565 5521 8759
3484 7305 15829
5024 17730 17879
7031 12346 15024
179 6365 11352
2490 3143 5098
2643 3101 21259
4315 4724 13130
594 17365 18322
5983 8597 9627
10837 15102 20876
10448 20418 21478
3848 12029 15228
708 5652 13146
5998 7534 16117
2098 13201 18317
9186 14548 17776
5246 10398 18597

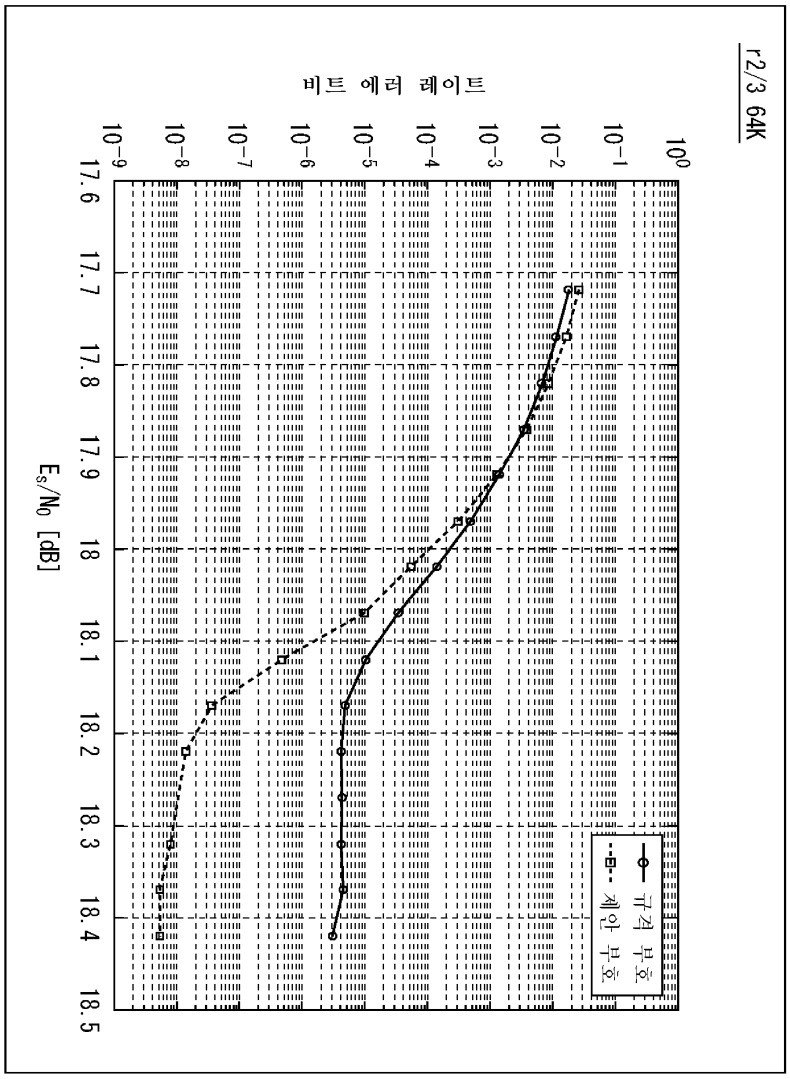
도면67

3083	4944	21021
13726	18495	19921
6736	10811	17545
10084	12411	14432
1064	13555	17033
679	9878	13547
3422	9910	20194
3640	3701	10046
5862	10134	11498
5923	9580	15060
1073	3012	16427
5527	20113	20883
7058	12924	15151
9764	12230	17375
772	7711	12723
555	13816	15376
10574	11268	17932
15442	17266	20482
390	3371	8781
10512	12216	17180
4309	14068	15783
3971	11673	20009
9259	14270	17199
2947	5852	20101
3965	9722	15363
1429	5689	16771
6101	6849	12781
3676	9347	18761
350	11659	18342
5961	14803	16123
2113	9163	13443
2155	9808	12885
2861	7988	11031
7309	9220	20745
6834	8742	11977
2133	12908	14704
10170	13809	18153
13464	14787	14975
799	1107	3789
3571	8176	10165
5433	13446	15481
3351	6767	12840
8950	8974	11650
1430	4250	21332

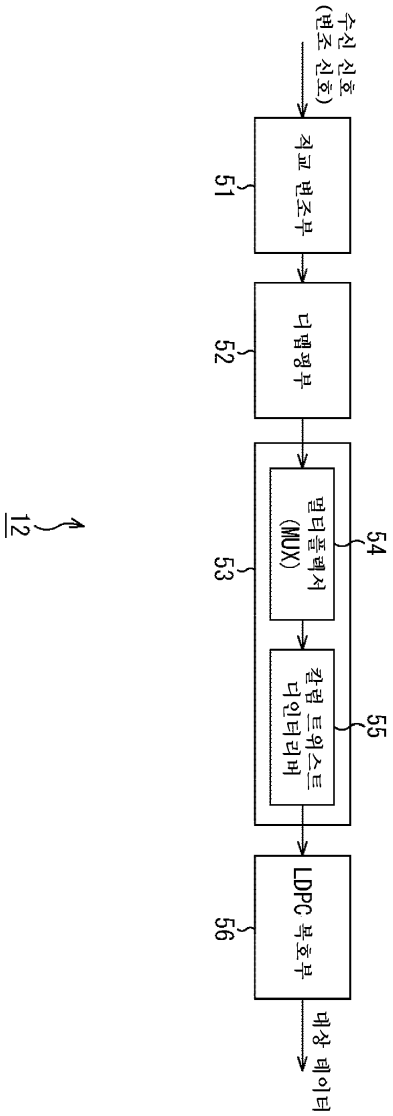
도면68

6283 10628 15050
8632 14404 16916
6509 10702 16278
15900 16395 17995
8031 18420 19733
3747 4634 17087
4453 6297 16262
2792 3513 17031
14846 20893 21563
17220 20436 21337
275 4107 10497
3536 7520 10027
14089 14943 19455
1965 3931 21104
2439 11565 17932
154 15279 21414
10017 11269 16546
7169 10161 16928
10284 16791 20655
36 3175 8475
2605 16269 19290
8947 9178 15420
5687 9156 12408
8096 9738 14711
4935 8093 19266
2667 10062 15972
6389 11318 14417
8800 18137 18434
5824 5927 15314
6056 13168 15179
3284 13138 18919
13115 17259 17332

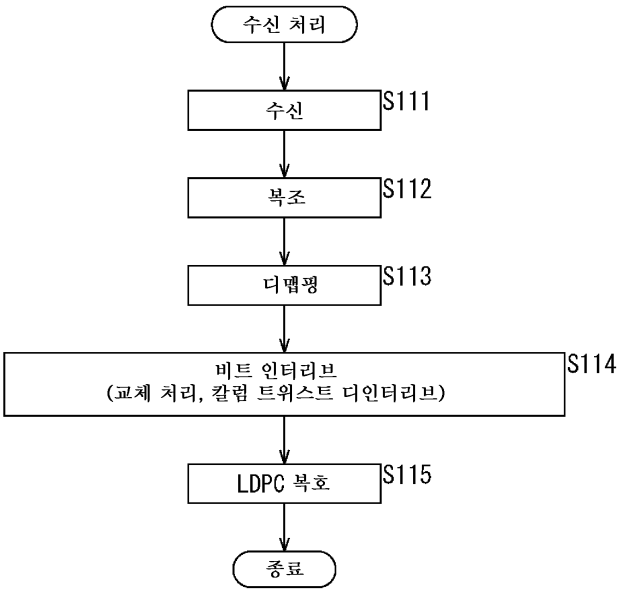
도면69


r2/3 64K
비트 에러 레이트
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
17.6
17.7
17.8
17.9
18
18.1
18.2
18.3
18.4
18.5
E_s/N_0 [dB]
규격 부호
제안 부호

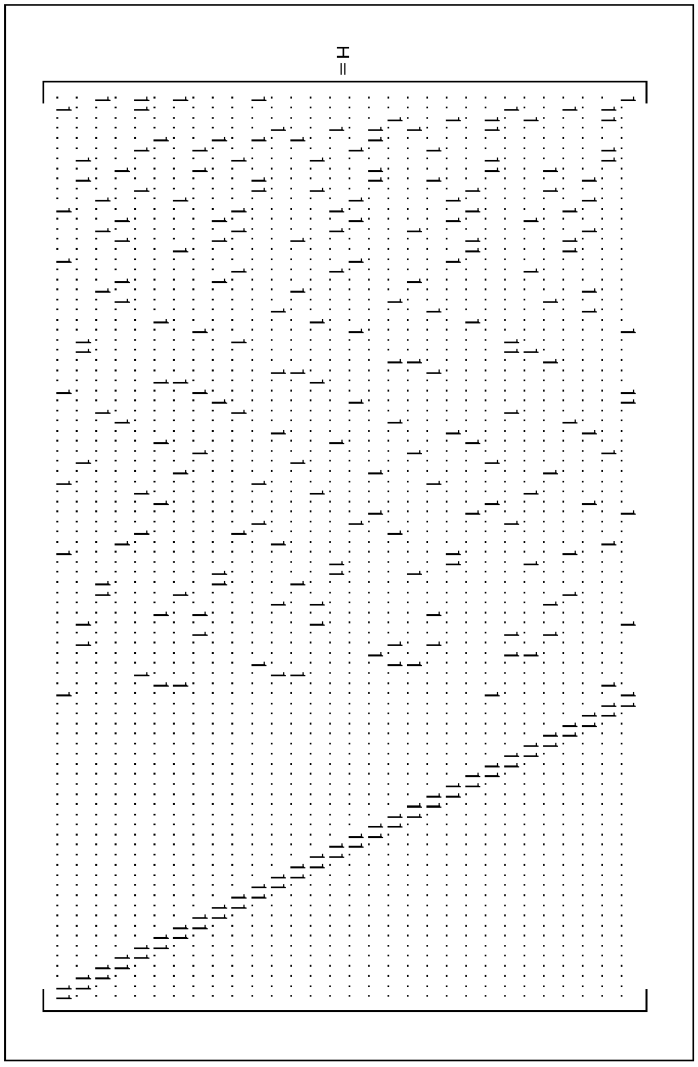
도면70


12
수신 신호
(변조 신호)
직교 변조부
51
디맵핑부
52
53
멀티플렉서
(MUX)
54
칼럼 트위스트
디인터리버
55
LDPC 복호부
56
대상 데이터

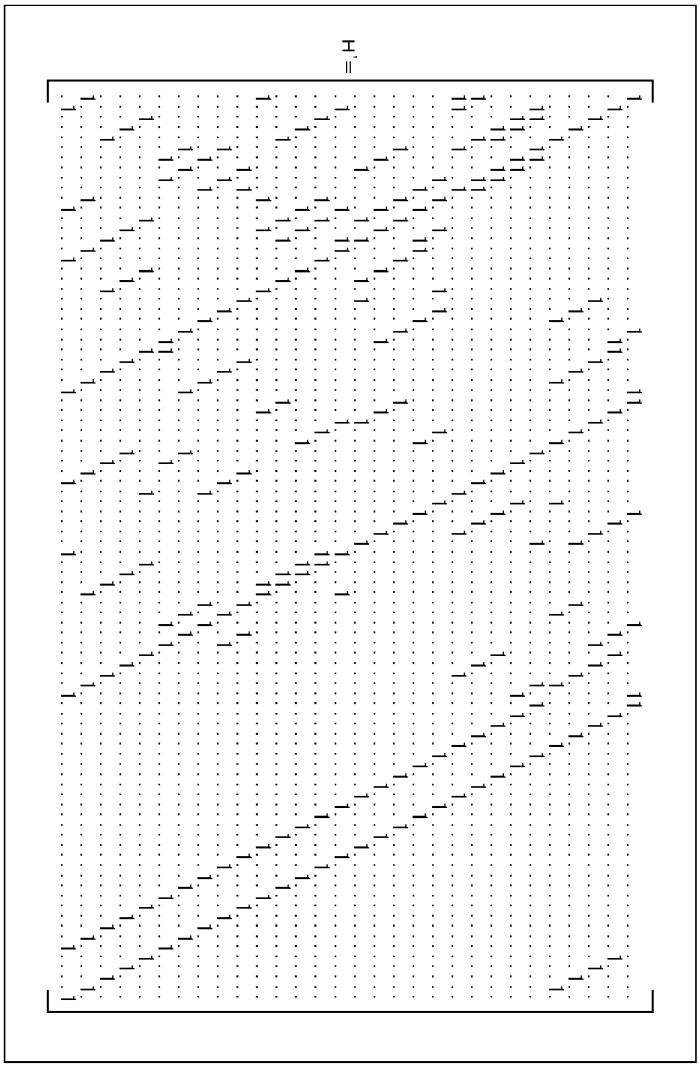
도면71


수신 처리
수신
S111
복조
S112
디맵핑
S113
비트 인터리브
(교체 처리, 칼럼 트위스트 디인터리브)
S114
LDPC 복호
S115
종료

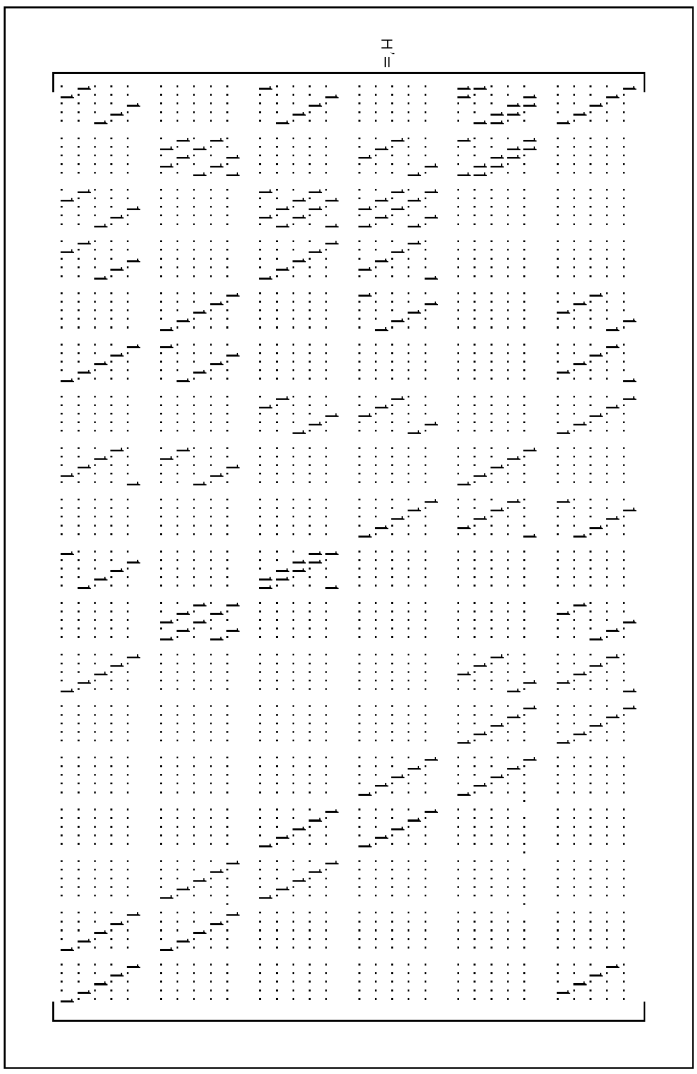
도면72



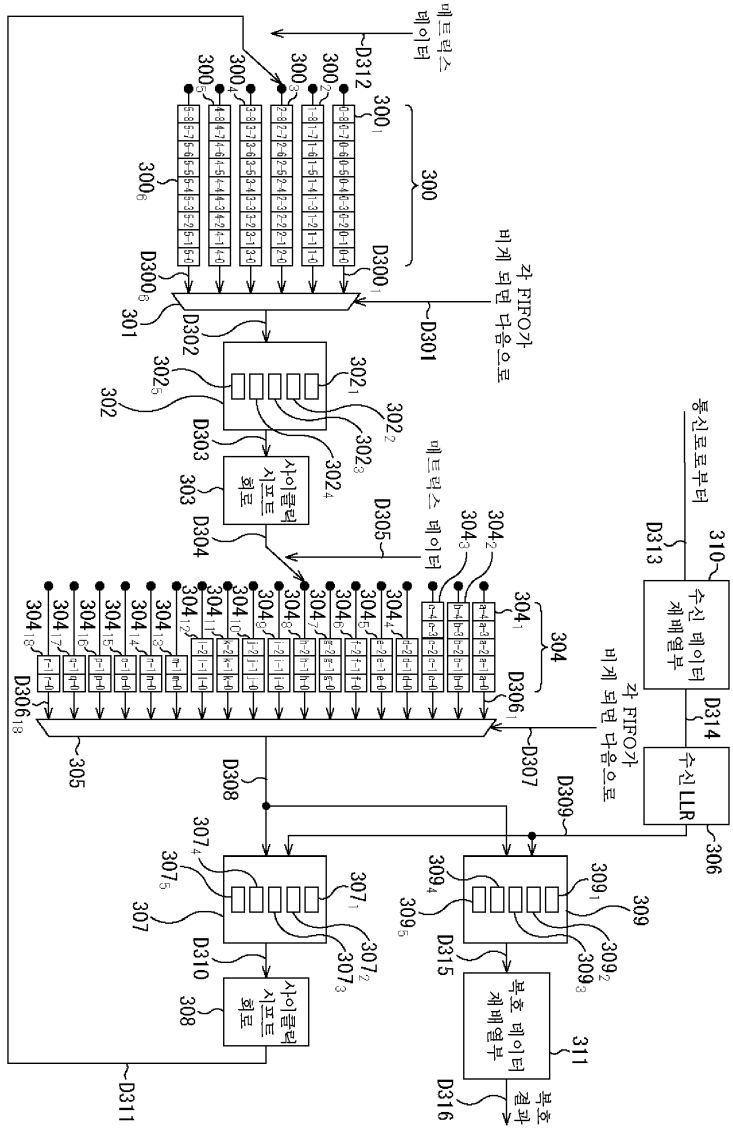
도면73



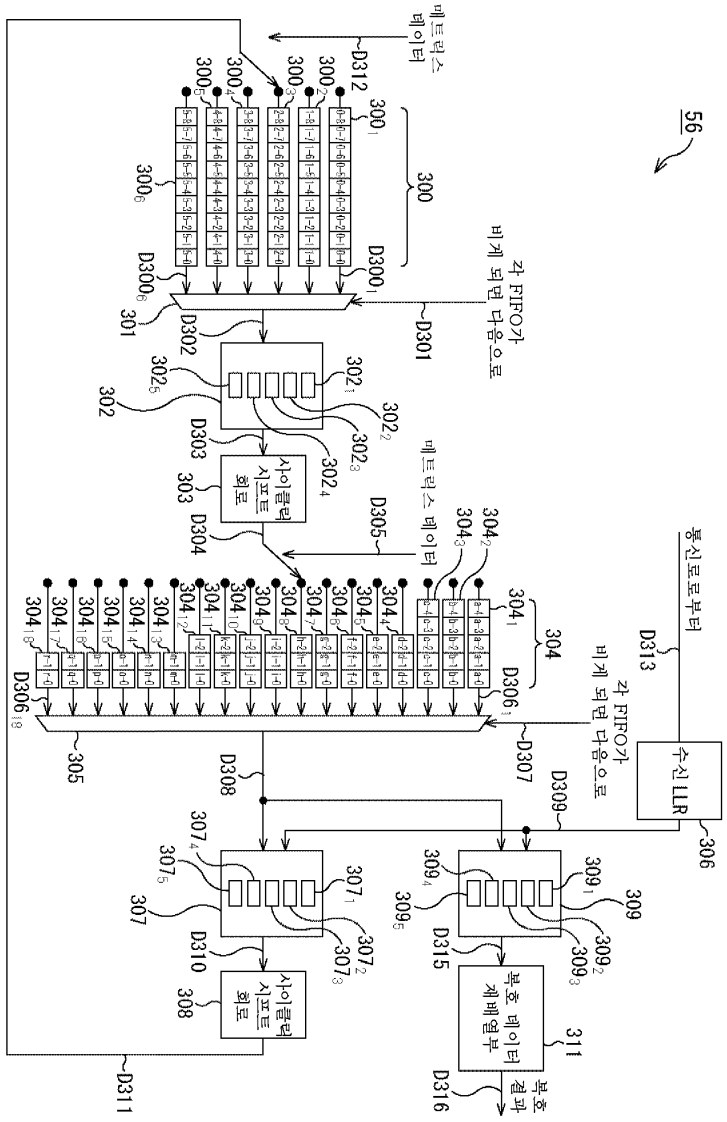
도면74



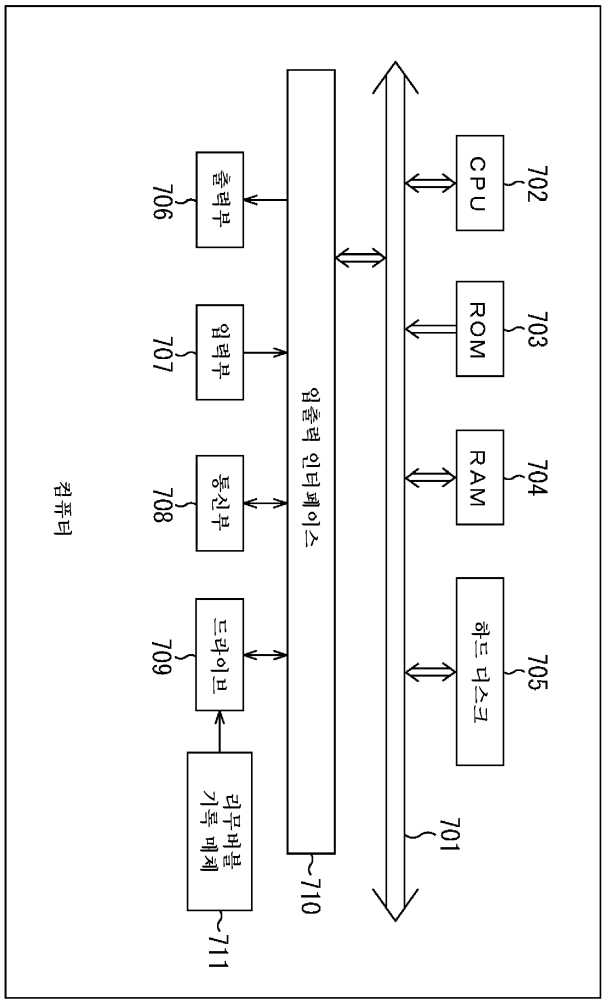
도면75


메트릭스 데이터
D312
300
300₁
300₂
300₃
300₄
300₅
300₆
D300₁
D300₆
301
D301
각 FIFO가 비게 되면 다음으로
D302
302
302₁
302₂
302₃
302₄
302₅
D303
303
사이클릭 시프트 회로
D304
메트릭스 데이터
D305
304
304₁
304₂
304₃
304₁₈
D306₁
D306₁₈
305
D307
D308
통신로로부터
310
D313
수신 데이터 재배열부
D314
수신 LLR
306
각 FIFO가 비게 되면 다음으로
D309
309
309₁
309₂
309₃
309₄
309₅
D315
복호 데이터 재배열부
311
D316
복호 결과
307
307₁
307₂
307₃
307₄
307₅
D310
308
사이클릭 시프트 회로
D311

도면76


56
메트릭스 데이터
D312
300
300₁
300₂
300₃
300₄
300₅
300₆
D300₁
D300₆
301
D301
각 FIFO가 비게 되면 다음으로
D302
302
302₁
302₂
302₃
302₄
302₅
D303
303
사이클릭 시프트 회로
D304
메트릭스 데이터
D305
304
304₁
304₂
304₃
D306₁
D306₁₉
305
D307
통신로부터
D313
각 FIFO가 비게 되면 다음으로
수신 LLR
306
D308
D309
307
307₁
307₂
307₃
307₄
307₅
D310
308
사이클릭 시프트 회로
309
309₁
309₂
309₃
309₄
309₅
D315
복호 데이터 계배열부
311
복호 결과
D316
D311

도면77


컴퓨터
CPU
ROM
RAM
하드 디스크
입출력 인터페이스
출력부
입력부
통신부
드라이브
리무버블 기록 매체
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711

도면78

r2/3 16K

```
0 2084 1613 1548 1286 1460 3196 4297 2481 3369 3451 4620 2622
1 122 1516 3448 2880 1407 1847 3799 3529 373 971 4358 3108
2 259 3399 929 2650 864 3996 3833 107 5287 164 3125 2350
3 342 3529
4 4198 2147
5 1880 4836
6 3864 4910
7 243 1542
8 3011 1436
9 2167 2512
10 4606 1003
11 2835 705
12 3426 2365
13 3848 2474
14 1360 1743
0 163 2536
1 2583 1180
2 1542 509
3 4418 1005
4 5212 5117
5 2155 2922
6 347 2696
7 226 4296
8 1560 487
9 3926 1640
10 149 2928
11 2364 563
12 635 688
13 231 1684
14 1129 3894
```

$r=\frac{2}{3}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면79

$r=\frac{2}{3}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r2/3 64K

0 10491 16043 506 12826 8065 8226 2767 240 18673 9279 10579 20928
1 17819 8313 6433 6224 5120 5824 12812 17187 9940 13447 13825 18483
2 17957 6024 8681 18628 12794 5915 14576 10970 12064 20437 4455 7151
3 19777 6183 9972 14536 8182 17749 11341 5556 4379 17434 15477 18532
4 4651 19689 1608 659 16707 14335 6143 3058 14618 17894 20684 5306
5 9778 2552 12096 12369 15198 16890 4851 3109 1700 18725 1997 15882
6 486 6111 13743 11537 5591 7433 15227 14145 1483 3887 17431 12430
7 20647 14311 11734 4180 8110 5525 12141 15761 18661 18441 10569 8192
8 3791 14759 15264 19918 10132 9062 10010 12786 10675 9682 19246 5454
9 19525 9485 7777 19999 8378 9209 3163 20232 6690 16518 716 7353
10 4588 6709 20202 10905 915 4317 11073 13576 16433 368 3508 21171
11 14072 4033 19959 12608 631 19494 14160 8249 10223 21504 12395 4322
12 13800 14161
13 2948 9647
14 14693 16027
15 20506 11082
16 1143 9020
17 13501 4014
18 1548 2190
19 12216 21556
20 2095 19897
21 4189 7958
22 15940 10048
23 515 12614
24 8501 8450
25 17595 16784
26 5913 8495
27 16394 10423
28 7409 6981
29 6678 15939
30 20344 12987
31 2510 14588
32 17918 6655
33 6703 19451
34 496 4217
35 7290 5766
36 10521 8925
37 20379 11905
38 4090 5838
39 19082 17040

도면80

40 20233 12352
41 19365 19546
42 6249 19030
43 11037 19193
44 19760 11772
45 19644 7428
46 16076 3521
47 11779 21062
48 13062 9682
49 8934 5217
50 11087 3319
51 18892 4356
52 7894 3898
53 5963 4360
54 7346 11726
55 5182 5609
56 2412 17295
57 9845 20494
58 6687 1864
59 20564 5216
0 18226 17207
1 9380 8266
2 7073 3065
3 18252 13437
4 9161 15642
5 10714 10153
6 11585 9078
7 5359 9418
8 9024 9515
9 1206 16354
10 14994 1102
11 9375 20796
12 15964 6027
13 14789 6452
14 8002 18591
15 14742 14089
16 253 3045
17 1274 19286
18 14777 2044
19 13920 9900
20 452 7374

도면81

21 18206 9921
22 6131 5414
23 10077 9726
24 12045 5479
25 4322 7990
26 15616 5550
27 15561 10661
28 20718 7387
29 2518 18804
30 8984 2600
31 6516 17909
32 11148 98
33 20559 3704
34 7510 1569
35 16000 11692
36 9147 10303
37 16650 191
38 15577 18685
39 17167 20917
40 4256 3391
41 20092 17219
42 9218 5056
43 18429 8472
44 12093 20753
45 16345 12748
46 16023 11095
47 5048 17595
48 18995 4817
49 16483 3536
50 1439 16148
51 3661 3039
52 19010 18121
53 8968 11793
54 13427 18003
55 5303 3083
56 531 16668
57 4771 6722
58 5695 7960
59 3589 14630

도면82

r3/4 16K

3 3198 478 4207 1481 1009 2616 1924 3437 554 683 1801
4 2681 2135
5 3107 4027
6 2637 3373
7 3830 3449
8 4129 2060
9 4184 2742
10 3946 1070
11 2239 984
0 1458 3031
1 3003 1328
2 1137 1716
3 132 3725
4 1817 638
5 1774 3447
6 3632 1257
7 542 3694
8 1015 1945
9 1948 412
10 995 2238
11 4141 1907
0 2480 3079
1 3021 1088
2 713 1379
3 997 3903
4 2323 3361
5 1110 986
6 2532 142
7 1690 2405
8 1298 1881
9 615 174
10 1648 3112
11 1415 2808

$r=\frac{3}{4}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면83

$r=\frac{3}{4}$, N=64800 의 검사 행렬 초기값 테이블

r3/4 64K

0 6385 7901 14611 13389 11200 3252 5243 2504 2722 821 7374
1 11359 2698 357 13824 12772 7244 6752 15310 852 2001 11417
2 7862 7977 6321 13612 12197 14449 15137 13860 1708 6399 13444
3 1560 11804 6975 13292 3646 3812 8772 7306 5795 14327 7866
4 7626 11407 14599 9689 1628 2113 10809 9283 1230 15241 4870
5 1610 5699 15876 9446 12515 1400 6303 5411 14181 13925 7358
6 4059 8836 3405 7853 7992 15336 5970 10368 10278 9675 4651
7 4441 3963 9153 2109 12683 7459 12030 12221 629 15212 406
8 6007 8411 5771 3497 543 14202 875 9186 6235 13908 3563
9 3232 6625 4795 546 9781 2071 7312 3399 7250 4932 12652
10 8820 10088 11090 7069 6585 13134 10158 7183 488 7455 9238
11 1903 10818 119 215 7558 11046 10615 11545 14784 7961 15619
12 3655 8736 4917 15874 5129 2134 15944 14768 7150 2692 1469
13 8316 3820 505 8923 6757 806 7957 4216 15589 13244 2622
14 14463 4852 15733 3041 11193 12860 13673 8152 6551 15108 8758
15 3149 11981
16 13416 6906
17 13098 13352
18 2009 14460
19 7207 4314
20 3312 3945
21 4418 6248
22 2669 13975
23 7571 9023
24 14172 2967
25 7271 7138
26 6135 13670
27 7490 14559
28 8657 2466
29 8599 12834
30 3470 3152
31 13917 4365
32 6024 13730
33 10973 14182
34 2464 13167
35 5281 15049
36 1103 1849
37 2058 1069
38 9654 6095
39 14311 7667

도면84

40 15617 8146
41 4588 11218
42 13660 6243
43 8578 7874
44 11741 2686
0 1022 1264
1 12604 9965
2 8217 2707
3 3156 11793
4 354 1514
5 6978 14058
6 7922 16079
7 15087 12138
8 5053 6470
9 12687 14932
10 15458 1763
11 8121 1721
12 12431 549
13 4129 7091
14 1426 8415
15 9783 7604
16 6295 11329
17 1409 12061
18 8065 9087
19 2918 8438
20 1293 14115
21 3922 13851
22 3851 4000
23 5865 1768
24 2655 14957
25 5565 6332
26 4303 12631
27 11653 12236
28 16025 7632
29 4655 14128
30 9584 13123
31 13987 9597
32 15409 12110
33 8754 15490
34 7416 15325
35 2909 15549

도면85

```
36 2995 8257
37 9406 4791
38 11111 4854
39 2812 8521
40 8476 14717
41 7820 15360
42 1179 7939
43 2357 8678
44 7703 6216
0 3477 7067
1 3931 13845
2 7675 12899
3 1754 8187
4 7785 1400
5 9213 5891
6 2494 7703
7 2576 7902
8 4821 15682
9 10426 11935
10 1810 904
11 11332 9264
12 11312 3570
13 14916 2650
14 7679 7842
15 6089 13084
16 3938 2751
17 8509 4648
18 12204 8917
19 5749 12443
20 12613 4431
21 1344 4014
22 8488 13850
23 1730 14896
24 14942 7126
25 14983 8863
26 6578 8564
27 4947 396
28 297 12805
29 13878 6692
30 11857 11186
31 14395 11493
```

도면86

```
32 16145 12251
33 13462 7428
34 14526 13119
35 2535 11243
36 6465 12690
37 6872 9334
38 15371 14023
39 8101 10187
40 11963 4848
41 15125 6119
42 8051 14465
43 11139 5167
44 2883 14521
```

도면87

r4/5 16K

```
5 896 1565
6 2493 184
7 212 3210
8 727 1339
9 3428 612
0 2663 1947
1 230 2695
2 2025 2794
3 3039 283
4 862 2889
5 376 2110
6 2034 2286
7 951 2068
8 3108 3542
9 307 1421
0 2272 1197
1 1800 3280
2 331 2308
3 465 2552
4 1038 2479
5 1383 343
6 94 236
7 2619 121
8 1497 2774
9 2116 1855
0 722 1584
1 2767 1881
2 2701 1610
3 3283 1732
4 168 1099
5 3074 243
6 3460 945
7 2049 1746
8 566 1427
9 3545 1168
```

$r=\frac{4}{5}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면88

$r=\frac{4}{5}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r4/5 64K

```
0 149 11212 5575 6360 12559 8108 8505 408 10026 12828
1 5237 490 10677 4998 3869 3734 3092 3509 7703 10305
2 8742 5553 2820 7085 12116 10485 564 7795 2972 2157
3 2699 4304 8350 712 2841 3250 4731 10105 517 7516
4 12067 1351 11992 12191 11267 5161 537 6166 4246 2363
5 6828 7107 2127 3724 5743 11040 10756 4073 1011 3422
6 11259 1216 9526 1466 10816 940 3744 2815 11506 11573
7 4549 11507 1118 1274 11751 5207 7854 12803 4047 6484
8 8430 4115 9440 413 4455 2262 7915 12402 8579 7052
9 3885 9126 5665 4505 2343 253 4707 3742 4166 1556
10 1704 8936 6775 8639 8179 7954 8234 7850 8883 8713
11 11716 4344 9087 11264 2274 8832 9147 11930 6054 5455
12 7323 3970 10329 2170 8262 3854 2087 12899 9497 11700
13 4418 1467 2490 5841 817 11453 533 11217 11962 5251
14 1541 4525 7976 3457 9536 7725 3788 2982 6307 5997
15 11484 2739 4023 12107 6516 551 2572 6628 8150 9852
16 6070 1761 4627 6534 7913 3730 11866 1813 12306 8249
17 12441 5489 8748 7837 7660 2102 11341 2936 6712 11977
18 10155 4210
19 1010 10483
20 8900 10250
21 10243 12278
22 7070 4397
23 12271 3887
24 11980 6836
25 9514 4356
26 7137 10281
27 11881 2526
28 1969 11477
29 3044 10921
30 2236 8724
31 9104 6340
32 7342 8582
33 11675 10405
34 6467 12775
35 3186 12198
0 9621 11445
1 7486 5611
2 4319 4879
3 2196 344
```

도면89

4 7527 6650
5 10693 2440
6 6755 2706
7 5144 5998
8 11043 8033
9 4846 4435
10 4157 9228
11 12270 6562
12 11954 7592
13 7420 2592
14 8810 9636
15 689 5430
16 920 1304
17 1253 11934
18 9559 6016
19 312 7589
20 4439 4197
21 4002 9555
22 12232 7779
23 1494 8782
24 10749 3969
25 4368 3479
26 6316 5342
27 2455 3493
28 12157 7405
29 6598 11495
30 11805 4455
31 9625 2090
32 4731 2321
33 3578 2608
34 8504 1849
35 4027 1151
0 5647 4935
1 4219 1870
2 10968 8054
3 6970 5447
4 3217 5638
5 8972 669
6 5618 12472
7 1457 1280
8 8868 3883

도면90

9 8866 1224
10 8371 5972
11 266 4405
12 3706 3244
13 6039 5844
14 7200 3283
15 1502 11282
16 12318 2202
17 4523 965
18 9587 7011
19 2552 2051
20 12045 10306
21 11070 5104
22 6627 6906
23 9889 2121
24 829 9701
25 2201 1819
26 6689 12925
27 2139 8757
28 12004 5948
29 8704 3191
30 8171 10933
31 6297 7116
32 616 7146
33 5142 9761
34 10377 8138
35 7616 5811
0 7285 9863
1 7764 10867
2 12343 9019
3 4414 8331
4 3464 642
5 6960 2039
6 786 3021
7 710 2086
8 7423 5601
9 8120 4885
10 12385 11990
11 9739 10034
12 424 10162
13 1347 7597

도면91

14 1450 112
15 7965 8478
16 8945 7397
17 6590 8316
18 6838 9011
19 6174 9410
20 255 113
21 6197 5835
22 12902 3844
23 4377 3505
24 5478 8672
25 4453 2132
26 9724 1380
27 12131 11526
28 12323 9511
29 8231 1752
30 497 9022
31 9288 3080
32 2481 7515
33 2696 268
34 4023 12341
35 7108 5553

도면92

r5/6 16K

```
3 2409 499 1481 908 559 716 1270 333 2508 2264 1702 2805
4 2447 1926
5 414 1224
6 2114 842
7 212 573
0 2383 2112
1 2286 2348
2 545 819
3 1264 143
4 1701 2258
5 964 166
6 114 2413
7 2243 81
0 1245 1581
1 775 169
2 1696 1104
3 1914 2831
4 532 1450
5 91 974
6 497 2228
7 2326 1579
0 2482 256
1 1117 1261
2 1257 1658
3 1478 1225
4 2511 980
5 2320 2675
6 435 1278
7 228 503
0 1885 2369
1 57 483
2 838 1050
3 1231 1990
4 1738 68
5 2392 951
6 163 645
7 2644 1704
```

$r=\frac{5}{6}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

도면93

$r=\frac{5}{6}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r5/6 64K

0 4362 416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723
1 2479 1786 8978 3011 4339 9313 6397 2957 7288 5484 6031 10217
2 10175 9009 9889 3091 4985 7267 4092 8874 5671 2777 2189 8716
3 9052 4795 3924 3370 10058 1128 9996 10165 9360 4297 434 5138
4 2379 7834 4835 2327 9843 804 329 8353 7167 3070 1528 7311
5 3435 7871 348 3693 1876 6585 10340 7144 5870 2084 4052 2780
6 3917 3111 3476 1304 10331 5939 5199 1611 1991 699 8316 9960
7 6883 3237 1717 10752 7891 9764 4745 3888 10009 4176 4614 1567
8 10587 2195 1689 2968 5420 2580 2883 6496 111 6023 1024 4449
9 3786 8593 2074 3321 5057 1450 3840 5444 6572 3094 9892 1512
10 8548 1848 10372 4585 7313 6536 6379 1766 9462 2456 5606 9975
11 8204 10593 7935 3636 3882 394 5968 8561 2395 7289 9267 9978
12 7795 74 1633 9542 6867 7352 6417 7568 10623 725 2531 9115
13 7151 2482 4260 5003 10105 7419 9203 6691 8798 2092 8263 3755
14 3600 570 4527 200 9718 6771 1995 8902 5446 768 1103 6520
15 6304 7621
16 6498 9209
17 7293 6786
18 5950 1708
19 8521 1793
20 6174 7854
21 9773 1190
22 9517 10268
23 2181 9349
24 1949 5560
25 1556 555
26 8600 3827
27 5072 1057
28 7928 3542
29 3226 3762
0 7045 2420
1 9645 2641
2 2774 2452
3 5331 2031
4 9400 7503
5 1850 2338
6 10456 9774
7 1692 9276
8 10037 4038
9 3964 338

도면94

10 2640 5087	
11 858 3473	
12 5582 5683	
13 9523 916	
14 4107 1559	
15 4506 3491	
16 8191 4182	
17 10192 6157	
18 5668 3305	
19 3449 1540	
20 4766 2697	
21 4069 6675	
22 1117 1016	
23 5619 3085	
24 8483 8400	
25 8255 394	
26 6338 5042	
27 6174 5119	
28 7203 1989	
29 1781 5174	
0 1464 3559	
1 3376 4214	
2 7238 67	
3 10595 8831	
4 1221 6513	
5 5300 4652	
6 1429 9749	
7 7878 5131	
8 4435 10284	
9 6331 5507	
10 6662 4941	
11 9614 10238	
12 8400 8025	
13 9156 5630	
14 7067 8878	
15 9027 3415	
16 1690 3866	
17 2854 8469	
18 6206 630	
19 363 5453	
20 4125 7008	

도면95

21 1612 6702
22 9069 9226
23 5767 4060
24 3743 9237
25 7018 5572
26 8892 4536
27 853 6064
28 8069 5893
29 2051 2885
0 10691 3153
1 3602 4055
2 328 1717
3 2219 9299
4 1939 7898
5 617 206
6 8544 1374
7 10676 3240
8 6672 9489
9 3170 7457
10 7868 5731
11 6121 10732
12 4843 9132
13 580 9591
14 6267 9290
15 3009 2268
16 195 2419
17 8016 1557
18 1516 9195
19 8062 9064
20 2095 8968
21 753 7326
22 6291 3833
23 2614 7844
24 2303 646
25 2075 611
26 4687 362
27 8684 9940
28 4830 2065
29 7038 1363
0 1769 7837
1 3801 1689

도면96

2 10070 2359
3 3667 9918
4 1914 6920
5 4244 5669
6 10245 7821
7 7648 3944
8 3310 5488
9 6346 9666
10 7088 6122
11 1291 7827
12 10592 8945
13 3609 7120
14 9168 9112
15 6203 8052
16 3330 2895
17 4264 10563
18 10556 6496
19 8807 7645
20 1999 4530
21 9202 6818
22 3403 1734
23 2106 9023
24 6881 3883
25 3895 2171
26 4062 6424
27 3755 9536
28 4683 2131
29 7347 8027

도면97

$r=\frac{8}{9}$, N=16200의 검사 행렬 초기값 테이블

r8/9 16K

```
0 1558 712 805
1 1450 873 1337
2 1741 1129 1184
3 294 806 1566
4 482 605 923
0 926 1578
1 777 1374
2 608 151
3 1195 210
4 1484 692
0 427 488
1 828 1124
2 874 1366
3 1500 835
4 1496 502
0 1006 1701
1 1155 97
2 657 1403
3 1453 624
4 429 1495
0 809 385
1 367 151
2 1323 202
3 960 318
4 1451 1039
0 1098 1722
1 1015 1428
2 1261 1564
3 544 1190
4 1472 1246
0 508 630
1 421 1704
2 284 898
3 392 577
4 1155 556
0 631 1000
1 732 1368
2 1328 329
3 1515 506
4 1104 1172
```

도면98

$r=\frac{8}{9}$, N=64800의 검사 행렬 초기값 테이블

r8/9 64K

0 6235 2848 3222
1 5800 3492 5348
2 2757 927 90
3 6961 4516 4739
4 1172 3237 6264
5 1927 2425 3683
6 3714 6309 2495
7 3070 6342 7154
8 2428 613 3761
9 2906 264 5927
10 1716 1950 4273
11 4613 6179 3491
12 4865 3286 6005
13 1343 5923 3529
14 4589 4035 2132
15 1579 3920 6737
16 1644 1191 5998
17 1482 2381 4620
18 6791 6014 6596
19 2738 5918 3786
0 5156 6166
1 1504 4356
2 130 1904
3 6027 3187
4 6718 759
5 6240 2870
6 2343 1311
7 1039 5465
8 6617 2513
9 1588 5222
10 6561 535
11 4765 2054
12 5966 6892
13 1969 3869
14 3571 2420
15 4632 981
16 3215 4163
17 973 3117
18 3802 6198
19 3794 3948

도면99

0 3196 6126
1 573 1909
2 850 4034
3 5622 1601
4 6005 524
5 5251 5783
6 172 2032
7 1875 2475
8 497 1291
9 2566 3430
10 1249 740
11 2944 1948
12 6528 2899
13 2243 3616
14 867 3733
15 1374 4702
16 4698 2285
17 4760 3917
18 1859 4058
19 6141 3527
0 2148 5066
1 1306 145
2 2319 871
3 3463 1061
4 5554 6647
5 5837 339
6 5821 4932
7 6356 4756
8 3930 418
9 211 3094
10 1007 4928
11 3584 1235
12 6982 2869
13 1612 1013
14 953 4964
15 4555 4410
16 4925 4842
17 5778 600
18 6509 2417
19 1260 4903
0 3369 3031

도면100

1 3557 3224
2 3028 583
3 3258 440
4 6226 6655
5 4895 1094
6 1481 6847
7 4433 1932
8 2107 1649
9 2119 2065
10 4003 6388
11 6720 3622
12 3694 4521
13 1164 7050
14 1965 3613
15 4331 66
16 2970 1796
17 4652 3218
18 1762 4777
19 5736 1399
0 970 2572
1 2062 6599
2 4597 4870
3 1228 6913
4 4159 1037
5 2916 2362
6 395 1226
7 6911 4548
8 4618 2241
9 4120 4280
10 5825 474
11 2154 5558
12 3793 5471
13 5707 1595
14 1403 325
15 6601 5183
16 6369 4569
17 4846 896
18 7092 6184
19 6764 7127
0 6358 1951
1 3117 6960

도면101

2 2710 7062
3 1133 3604
4 3694 657
5 1355 110
6 3329 6736
7 2505 3407
8 2462 4806
9 4216 214
10 5348 5619
11 6627 6243
12 2644 5073
13 4212 5088
14 3463 3889
15 5306 478
16 4320 6121
17 3961 1125
18 5699 1195
19 6511 792
0 3934 2778
1 3238 6587
2 1111 6596
3 1457 6226
4 1446 3885
5 3907 4043
6 6839 2873
7 1733 5615
8 5202 4269
9 3024 4722
10 5445 6372
11 370 1828
12 4695 1600
13 680 2074
14 1801 6690
15 2669 1377
16 2463 1681
17 5972 5171
18 5728 4284
19 1696 1459

도면102

$r=\frac{9}{10}$, N=64800 의 검사 행렬 초기값 테이블

r9/10 64K

```
0 5611 2563 2900
1 5220 3143 4813
2 2481 834 81
3 6265 4064 4265
4 1055 2914 5638
5 1734 2182 3315
6 3342 5678 2246
7 2185 552 3385
8 2615 236 5334
9 1546 1755 3846
10 4154 5561 3142
11 4382 2957 5400
12 1209 5329 3179
13 1421 3528 6063
14 1480 1072 5398
15 3843 1777 4369
16 1334 2145 4163
17 2368 5055 260
0 6118 5405
1 2994 4370
2 3405 1669
3 4640 5550
4 1354 3921
5 117 1713
6 5425 2866
7 6047 683
8 5616 2582
9 2108 1179
10 933 4921
11 5953 2261
12 1430 4699
13 5905 480
14 4289 1846
15 5374 6208
16 1775 3476
17 3216 2178
0 4165 884
1 2896 3744
2 874 2801
3 3423 5579
```

도면103

4 3404 3552
5 2876 5515
6 516 1719
7 765 3631
8 5059 1441
9 5629 598
10 5405 473
11 4724 5210
12 155 1832
13 1689 2229
14 449 1164
15 2308 3088
16 1122 669
17 2268 5758
0 5878 2609
1 782 3359
2 1231 4231
3 4225 2052
4 4286 3517
5 5531 3184
6 1935 4560
7 1174 131
8 3115 956
9 3129 1088
10 5238 4440
11 5722 4280
12 3540 375
13 191 2782
14 906 4432
15 3225 1111
16 6296 2583
17 1457 903
0 855 4475
1 4097 3970
2 4433 4361
3 5198 541
4 1146 4426
5 3202 2902
6 2724 525
7 1083 4124
8 2326 6003

도면104

9 5605 5990
10 4376 1579
11 4407 984
12 1332 6163
13 5359 3975
14 1907 1854
15 3601 5748
16 6056 3266
17 3322 4085
0 1768 3244
1 2149 144
2 1589 4291
3 5154 1252
4 1855 5939
5 4820 2706
6 1475 3360
7 4266 693
8 4156 2018
9 2103 752
10 3710 3853
11 5123 931
12 6146 3323
13 1939 5002
14 5140 1437
15 1263 293
16 5949 4665
17 4548 6380
0 3171 4690
1 5204 2114
2 6384 5565
3 5722 1757
4 2805 6264
5 1202 2616
6 1018 3244
7 4018 5289
8 2257 3067
9 2483 3073
10 1196 5329
11 649 3918
12 3791 4581
13 5028 3803

도면105

14 3119 3506
15 4779 431
16 3888 5510
17 4387 4084
0 5836 1692
1 5126 1078
2 5721 6165
3 3540 2499
4 2225 6348
5 1044 1484
6 6323 4042
7 1313 5603
8 1303 3496
9 3516 3639
10 5161 2293
11 4682 3845
12 3045 643
13 2818 2616
14 3267 649
15 6236 593
16 646 2948
17 4213 1442
0 5779 1596
1 2403 1237
2 2217 1514
3 5609 716
4 5155 3858
5 1517 1312
6 2554 3158
7 5280 2643
8 4990 1353
9 5648 1170
10 1152 4366
11 3561 5368
12 3581 1411
13 5647 4661
14 1542 5401
15 5078 2687
16 316 1755
17 3392 1991

도면106

r1/4 64K

23606 36098 1140 28859 18148 18510 6226 540 42014 20879 23802 47088
16419 24928 16609 17248 7693 24997 42587 16858 34921 21042 37024 20692
1874 40094 18704 14474 14004 11519 13106 28826 38669 22363 30255 31105
22254 40564 22645 22532 6134 9176 39998 23892 8937 15608 16854 31009
8037 40401 13550 19526 41902 28782 13304 32796 24679 27140 45980 10021
40540 44498 13911 22435 32701 18405 39929 25521 12497 9851 39223 34823
15233 45333 5041 44979 45710 42150 19416 1892 23121 15860 8832 10308
10468 44296 3611 1480 37581 32254 13817 6883 32892 40258 46538 11940
6705 21634 28150 43757 895 6547 20970 28914 30117 25736 41734 11392
22002 5739 27210 27828 34192 37992 10915 6998 3824 42130 4494 35739
8515 1191 13642 30950 25943 12673 16726 34261 31828 3340 8747 39225
18979 17058 43130 4246 4793 44030 19454 29511 47929 15174 24333 19354
16694 8381 29642 46516 32224 26344 9405 18292 12437 27316 35466 41992
15642 5871 46489 26723 23396 7257 8974 3156 37420 44823 35423 13541
42858 32008 41282 38773 26570 2702 27260 46974 1469 20887 27426 38553
22152 24261 8297
19347 9978 27802
34991 6354 33561
29782 30875 29523
9278 48512 14349
38061 4165 43878
8548 33172 34410
22535 28811 23950
20439 4027 24186
38618 8187 30947
35538 43880 21459
7091 45616 15063
5505 9315 21908
36046 32914 11836
7304 39782 33721
16905 29962 12980
11171 23709 22460
34541 9937 44500
14035 47316 8815
15057 45482 24461
30518 36877 879
7583 13364 24332
448 27056 4682
12083 31378 21670
1159 18031 2221
17028 38715 9350
17343 24530 29574

도면107

46128 31039 32818
20373 36967 18345
46685 20622 32806

도면108

r1/3 64K

34903 20927 32093 1052 25611 16093 16454 5520 506 37399 18518 21120
11636 14594 22158 14763 15333 6838 22222 37856 14985 31041 18704 32910
17449 1665 35639 16624 12867 12449 10241 11650 25622 34372 19878 26894
29235 19780 36056 20129 20029 5457 8157 35554 21237 7943 13873 14980
9912 7143 35911 12043 17360 37253 25588 11827 29152 21936 24125 40870
40701 36035 39556 12366 19946 29072 16365 35495 22686 11106 8756 34863
19165 15702 13536 40238 4465 40034 40590 37540 17162 1712 20577 14138
31338 19342 9301 39375 3211 1316 33409 28670 12282 6118 29236 35787
11504 30506 19558 5100 24188 24738 30397 33775 9699 6215 3397 37451
34689 23126 7571 1058 12127 27518 23064 11265 14867 30451 28289 2966
11660 15334 16867 15160 38343 3778 4265 39139 17293 26229 42604 13486
31497 1365 14828 7453 26350 41346 28643 23421 8354 16255 11055 24279
15687 12467 13906 5215 41328 23755 20800 6447 7970 2803 33262 39843
5363 22469 38091 28457 36696 34471 23619 2404 24229 41754 1297 18563
3673 39070 14480 30279 37483 7580 29519 30519 39831 20252 18132 20010
34386 7252 27526 12950 6875 43020 31566 39069 18985 15541 40020 16715
1721 37332 39953 17430 32134 29162 10490 12971 28581 29331 6489 35383
736 7022 42349 8783 6767 11871 21675 10325 11548 25978 431 24085
1925 10602 28585 12170 15156 34404 8351 13273 20208 5800 15367 21764
16279 37832 34792 21250 34192 7406 41488 18346 29227 26127 25493 7048
39948 28229 24899
17408 14274 38993
38774 15968 28459
41404 27249 27425
41229 6082 43114
13957 4979 40654
3093 3438 34992
34082 6172 28760
42210 34141 41021
14705 17783 10134
41755 39884 22773
14615 15593 1642
29111 37061 39860
9579 33552 633
12951 21137 39608
38244 27361 29417
2939 10172 36479
29094 5357 19224
9562 24436 28637

도면109

40177 2326 13504
6834 21583 42516
40651 42810 25709
31557 32138 38142
18624 41867 39296
37560 14295 16245
6821 21679 31570
25339 25083 22081
8047 697 35268
9884 17073 19995
26848 35245 8390
18658 16134 14807
12201 32944 5035
25236 1216 38986
42994 24782 8681
28321 4932 34249
4107 29382 32124
22157 2624 14468
38788 27081 7936
4368 26148 10578
25353 4122 39751

도면110

r2/5 64K

31413 18834 28884 947 23050 14484 14809 4968 455 33659 16666 19008
13172 19939 13354 13719 6132 20086 34040 13442 27958 16813 29619 16553
1499 32075 14962 11578 11204 9217 10485 23062 30936 17892 24204 24885
32490 18086 18007 4957 7285 32073 19038 7152 12486 13483 24808 21759
32321 10839 15620 33521 23030 10646 26236 19744 21713 36784 8016 12869
35597 11129 17948 26160 14729 31943 20416 10000 7882 31380 27858 33356
14125 12131 36199 4058 35992 36594 33698 15475 1566 18498 12725 7067
17406 8372 35437 2888 1184 30068 25802 11056 5507 26313 32205 37232
15254 5365 17308 22519 35009 718 5240 16778 23131 24092 20587 33385
27455 17602 4590 21767 22266 27357 30400 8732 5596 3060 33703 3596
6882 873 10997 24738 20770 10067 13379 27409 25463 2673 6998 31378
15181 13645 34501 3393 3840 35227 15562 23615 38342 12139 19471 15483
13350 6707 23709 37204 25778 21082 7511 14588 10010 21854 28375 33591
12514 4695 37190 21379 18723 5802 7182 2529 29936 35860 28338 10835
34283 25610 33026 31017 21259 2165 21807 37578 1175 16710 21939 30841
27292 33730 6836 26476 27539 35784 18245 16394 17939 23094 19216 17432
11655 6183 38708 28408 35157 17089 13998 36029 15052 16617 5638 36464
15693 28923 26245 9432 11675 25720 26405 5838 31851 26898 8090 37037
24418 27583 7959 35562 37771 17784 11382 11156 37855 7073 21685 34515
10977 13633 30969 7516 11943 18199 5231 13825 19589 23661 11150 35602
19124 30774 6670 37344 16510 26317 23518 22957 6348 34069 8845 20175
34985 14441 25668 4116 3019 21049 37308 24551 24727 20104 24850 12114
38187 28527 13108 13985 1425 21477 30807 8613 26241 33368 35913 32477
5903 34390 24641 26556 23007 27305 38247 2621 9122 32806 21554 18685
17287 27292 19033
25796 31795 12152
12184 35088 31226
38263 33386 24892
23114 37995 29796
34336 10551 36245
35407 175 7203
14654 38201 22605
28404 6595 1018
19932 3524 29305
31749 20247 8128
18026 36357 26735
7543 29767 13588
13333 25965 8463
14504 36796 19710
4528 25299 7318
35091 25550 14798

도면111

7824 215 1248
30848 5362 17291
28932 30249 27073
13062 2103 16206
7129 32062 19612
9512 21936 38833
35849 33754 23450
18705 28656 18111
22749 27456 32187
28229 31684 30160
15293 8483 28002
14880 13334 12584
28646 2558 19687
6259 4499 26336
11952 28386 8405
10609 961 7582
10423 13191 26818
15922 36654 21450
10492 1532 1205
30551 36482 22153
5156 11330 34243
28616 35369 13322
8962 1485 21186
23541 17445 35561
33133 11593 19895
33917 7863 33651
20063 28331 10702
13195 21107 21859
4364 31137 4804
5585 2037 4830
30672 16927 14800

도면112

r1/2 64K

54 9318 14392 27561 26909 10219 2534 8597
55 7263 4635 2530 28130 3033 23830 3651
56 24731 23583 26036 17299 5750 792 9169
57 5811 26154 18653 11551 15447 13685 16264
58 12610 11347 28768 2792 3174 29371 12997
59 16789 16018 21449 6165 21202 15850 3186
60 31016 21449 17618 6213 12166 8334 18212
61 22836 14213 11327 5896 718 11727 9308
62 2091 24941 29966 23634 9013 15587 5444
63 22207 3983 16904 28534 21415 27524 25912
64 25687 4501 22193 14665 14798 16158 5491
65 4520 17094 23397 4264 22370 16941 21526
66 10490 6182 32370 9597 30841 25954 2762
67 22120 22865 29870 15147 13668 14955 19235
68 6689 18408 18346 9918 25746 5443 20645
69 29982 12529 13858 4746 30370 10023 24828
70 1262 28032 29888 13063 24033 21951 7863
71 6594 29642 31451 14831 9509 9335 31552
72 1358 6454 16633 20354 24598 624 5265
73 19529 295 18011 3080 13364 8032 15323
74 11981 1510 7960 21462 9129 11370 25741
75 9276 29656 4543 30699 20646 21921 28050
76 15975 25634 5520 31119 13715 21949 19605
77 18688 4608 31755 30165 13103 10706 29224
78 21514 23117 12245 26035 31656 25631 30699
79 9674 24966 31285 29908 17042 24588 31857
80 21856 27777 29919 27000 14897 11409 7122
81 29773 23310 263 4877 28622 20545 22092
82 15605 5651 21864 3967 14419 22757 15896
83 30145 1759 10139 29223 26086 10556 5098
84 18815 16575 2936 24457 26738 6030 505
85 30326 22298 27562 20131 26390 6247 24791
86 928 29246 21246 12400 15311 32309 18608
87 20314 6025 26689 16302 2296 3244 19613
88 6237 11943 22851 15642 23857 15112 20947
89 26403 25168 19038 18384 8882 12719 7093
0 14567 24965
1 3908 100
2 10279 240

도면113

3	24102 764
4	12383 4173
5	13861 15918
6	21327 1046
7	5288 14579
8	28158 8069
9	16583 11098
10	16681 28363
11	13980 24725
12	32169 17989
13	10907 2767
14	21557 3818
15	26676 12422
16	7676 8754
17	14905 20232
18	15719 24646
19	31942 8589
20	19978 27197
21	27060 15071
22	6071 26649
23	10393 11176
24	9597 13370
25	7081 17677
26	1433 19513
27	26925 9014
28	19202 8900
29	18152 30647
30	20803 1737
31	11804 25221
32	31683 17783
33	29694 9345
34	12280 26611
35	6526 26122
36	26165 11241
37	7666 26962
38	16290 8480
39	11774 10120
40	30051 30426
41	1335 15424
42	6865 17742
43	31779 12489
44	32120 21001
45	14508 6996

도면114

46	979 25024
47	4554 21896
48	7989 21777
49	4972 20661
50	6612 2730
51	12742 4418
52	29194 595
53	19267 20113

도면115

r3/5 64K

22422 10282 11626 19997 11161 2922 3122 99 5625 17064 8270 179
25087 16218 17015 828 20041 25656 4186 11629 22599 17305 22515 6463
11049 22853 25706 14388 5500 19245 8732 2177 13555 11346 17265 3069
16581 22225 12563 19717 23577 11555 25496 6853 25403 5218 15925 21766
16529 14487 7643 10715 17442 11119 5679 14155 24213 21000 1116 15620
5340 8636 16693 1434 5635 6516 9482 20189 1066 15013 25361 14243
18506 22236 20912 8952 5421 15691 6126 21595 500 6904 13059 6802
8433 4694 5524 14216 3685 19721 25420 9937 23813 9047 25651 16826
21500 24814 6344 17382 7064 13929 4004 16552 12818 8720 5286 2206
22517 2429 19065 2921 21611 1873 7507 5661 23006 23128 20543 19777
1770 4636 20900 14931 9247 12340 11008 12966 4471 2731 16445 791
6635 14556 18865 22421 22124 12697 9803 25485 7744 18254 11313 9004
19982 23963 18912 7206 12500 4382 20067 6177 21007 1195 23547 24837
756 11158 14646 20534 3647 17728 11676 11843 12937 4402 8261 22944
9306 24009 10012 11081 3746 24325 8060 19826 842 8836 2898 5019
7575 7455 25244 4736 14400 22981 5543 8006 24203 13053 1120 5128
3482 9270 13059 15825 7453 23747 3656 24585 16542 17507 22462 14670
15627 15290 4198 22748 5842 13395 23918 16985 14929 3726 25350 24157
24896 16365 16423 13461 16615 8107 24741 3604 25904 8716 9604 20365
3729 17245 18448 9862 20831 25326 20517 24618 13282 5099 14183 8804
16455 17646 15376 18194 25528 1777 6066 21855 14372 12517 4488 17490
1400 8135 23375 20879 8476 4084 12936 25536 22309 16582 6402 24360
25119 23586 128 4761 10443 22536 8607 9752 25446 15053 1856 4040
377 21160 13474 5451 17170 5938 10256 11972 24210 17833 22047 16108
13075 9648 24546 13150 23867 7309 19798 2988 16858 4825 23950 15125
20526 3553 11525 23366 2452 17626 19265 20172 18060 24593 13255 1552
18839 21132 20119 15214 14705 7096 10174 5663 18651 19700 12524 14033
4127 2971 17499 16287 22368 21463 7943 18880 5567 8047 23363 6797
10651 24471 14325 4081 7258 4949 7044 1078 797 22910 20474 4318
21374 13231 22985 5056 3821 23718 14178 9978 19030 23594 8895 25358
6199 22056 7749 13310 3999 23697 16445 22636 5225 22437 24153 9442
7978 12177 2893 20778 3175 8645 11863 24623 10311 25767 17057 3691
20473 11294 9914 22815 2574 8439 3699 5431 24840 21908 16088 18244
8208 5755 19059 8541 24924 6454 11234 10492 16406 10831 11436 9649
16264 11275 24953 2347 12667 19190 7257 7174 24819 2938 2522 11749
3627 5969 13862 1538 23176 6353 2855 17720 2472 7428 573 15036
0 18539 18661
1 10502 3002
2 9368 10761

도면116

3 12299 7828
4 15048 13362
5 18444 24640
6 20775 19175
7 18970 10971
8 5329 19982
9 11296 18655
10 15046 20659
11 7300 22140
12 22029 14477
13 11129 742
14 13254 13813
15 19234 13273
16 6079 21122
17 22782 5828
18 19775 4247
19 1660 19413
20 4403 3649
21 13371 25851
22 22770 21784
23 10757 14131
24 16071 21617
25 6393 3725
26 597 19968
27 5743 8084
28 6770 9548
29 4285 17542
30 13568 22599
31 1786 4617
32 23238 11648
33 19627 2030
34 13601 13458
35 13740 17328
36 25012 13944
37 22513 6687
38 4934 12587
39 21197 5133
40 22705 6938
41 7534 24633
42 24400 12797
43 21911 25712
44 12039 1140
45 24306 1021

도면117

```
46 14012 20747
47 11265 15219
48 4670 15531
49 9417 14359
50 2415 6504
51 24964 24690
52 14443 8816
53 6926 1291
54 6209 20806
55 13915 4079
56 24410 13196
57 13505 6117
58 9869 8220
59 1570 6044
60 25780 17387
61 20671 24913
62 24558 20591
63 12402 3702
64 8314 1357
65 20071 14616
66 17014 3688
67 19837 946
68 15195 12136
69 7758 22808
70 3564 2925
71 3434 7769
```

도면118

r1/4 16K

```
6295 9626 304 7695 4839 4936 1660 144 11203 5567 6347 12557
10691 4988 3859 3734 3071 3494 7687 10313 5964 8069 8296 11090
10774 3613 5208 11177 7676 3549 8746 6583 7239 12265 2674 4292
11869 3708 5981 8718 4908 10650 6805 3334 2627 10461 9285 11120
7844 3079 10773
3385 10854 5747
1360 12010 12202
6189 4241 2343
9840 12726 4977
```

도면119

r1/3 16K

```
416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723 6912
8978 3011 4339 9312 6396 2957 7288 5485 6031 10218 2226 3575
3383 10059 1114 10008 10147 9384 4290 434 5139 3536 1965 2291
2797 3693 7615 7077 743 1941 8716 6215 3840 5140 4582 5420
6110 8551 1515 7404 4879 4946 5383 1831 3441 9569 10472 4306
1505 5682 7778
7172 6830 6623
7281 3941 3505
10270 8669 914
3622 7563 9388
9930 5058 4554
4844 9609 2707
6883 3237 1714
4768 3878 10017
10127 3334 8267
```

도면120

```
r2/5 16K
5650 4143 8750 583 6720 8071 635 1767 1344 6922 738 6658
5696 1685 3207 415 7019 5023 5608 2605 857 6915 1770 8016
3992 771 2190 7258 8970 7792 1802 1866 6137 8841 886 1931
4108 3781 7577 6810 9322 8226 5396 5867 4428 8827 7766 2254
4247 888 4367 8821 9660 324 5864 4774 227 7889 6405 8963
9693 500 2520 2227 1811 9330 1928 5140 4030 4824 806 3134
1652 8171 1435
3366 6543 3745
9286 8509 4645
7397 5790 8972
6597 4422 1799
9276 4041 3847
8683 7378 4946
5348 1993 9186
6724 9015 5646
4502 4439 8474
5107 7342 9442
1387 8910 2660
```

도면121

```
r1/2 16K
20 712 2386 6354 4061 1062 5045 5158
21 2543 5748 4822 2348 3089 6328 5876
22 926 5701 269 3693 2438 3190 3507
23 2802 4520 3577 5324 1091 4667 4449
24 5140 2003 1263 4742 6497 1185 6202
0 4046 6934
1 2855 66
2 6694 212
3 3439 1158
4 3850 4422
5 5924 290
6 1467 4049
7 7820 2242
8 4606 3080
9 4633 7877
10 3884 6868
11 8935 4996
12 3028 764
13 5988 1057
14 7411 3450
```

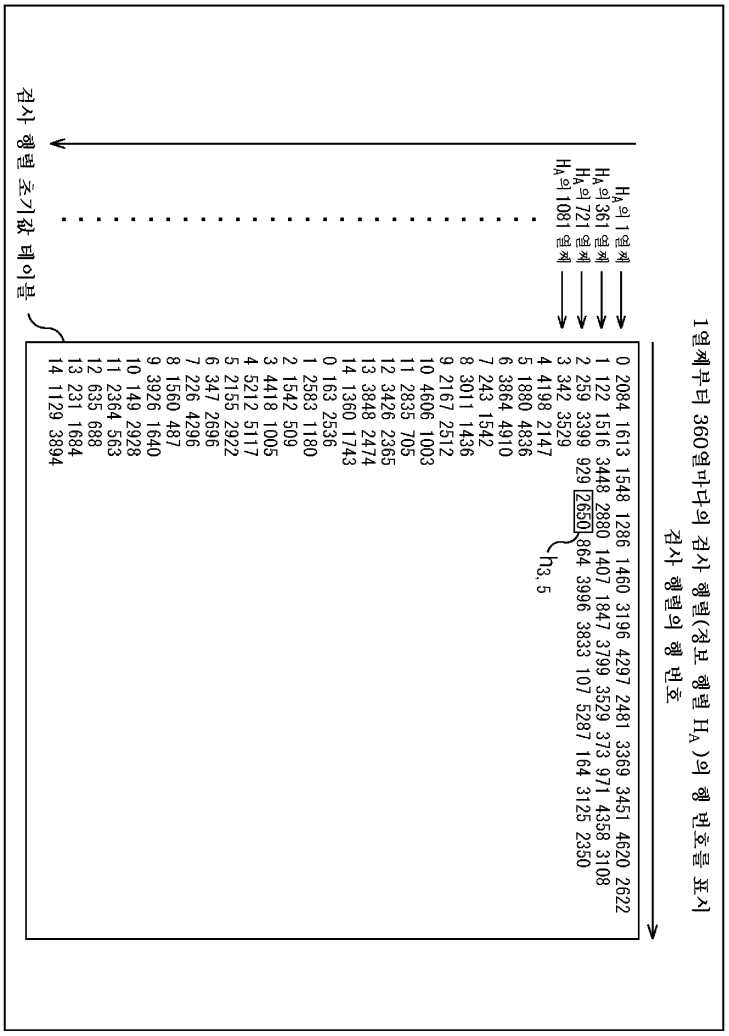
도면122

r3/5 16K
2765 5713 6426 3596 1374 4811 2182 544 3394 2840 4310 771
4951 211 2208 723 1246 2928 398 5739 265 5601 5993 2615
210 4730 5777 3096 4282 6238 4939 1119 6463 5298 6320 4016
4167 2063 4757 3157 5664 3956 6045 563 4284 2441 3412 6334
4201 2428 4474 59 1721 736 2997 428 3807 1513 4732 6195
2670 3081 5139 3736 1999 5889 4362 3806 4534 5409 6384 5809
5516 1622 2906 3285 1257 5797 3816 817 875 2311 3543 1205
4244 2184 5415 1705 5642 4886 2333 287 1848 1121 3595 6022
2142 2830 4069 5654 1295 2951 3919 1356 884 1786 396 4738
0 2161 2653
1 1380 1461
2 2502 3707
3 3971 1057
4 5985 6062
5 1733 6028
6 3786 1936
7 4292 956
8 5692 3417
9 266 4878
10 4913 3247
11 4763 3937
12 3590 2903
13 2566 4215
14 5208 4707
15 3940 3388
16 5109 4556
17 4908 4177

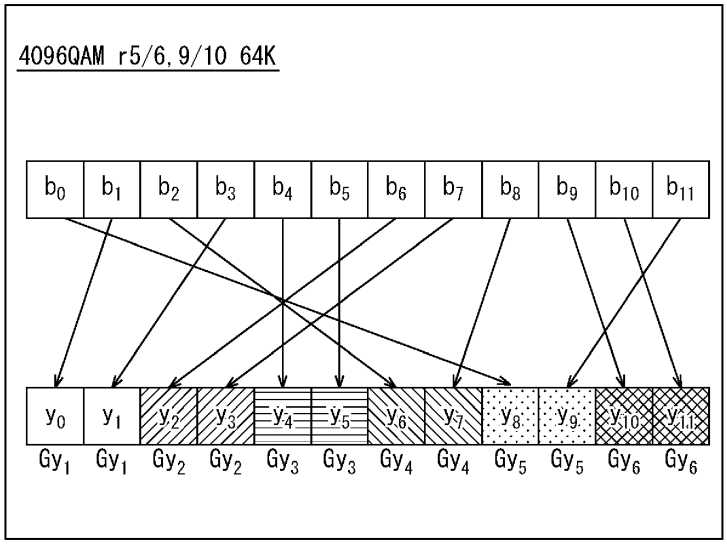
도면123

r3/5 16K
71 1478 1901 2240 2649 2725 3592 3708 3965 4080 5733 6198
393 1384 1435 1878 2773 3182 3586 5465 6091 6110 6114 6327
160 1149 1281 1526 1566 2129 2929 3095 3223 4250 4276 4612
289 1446 1602 2421 3559 3796 5590 5750 5763 6168 6271 6340
947 1227 2008 2020 2266 3365 3588 3867 4172 4250 4865 6290
3324 3704 4447
1206 2565 3089
529 4027 5891
141 1187 3206
1990 2972 5120
752 796 5976
1129 2377 4030
6077 6108 6231
61 1053 1781
2820 4109 5307
2088 5834 5988
3725 3945 4010
1081 2780 3389
659 2221 4822
3033 6060 6160
756 1489 2350
3350 3624 5470
357 1825 5242
585 3372 6062
561 1417 2348
971 3719 5567
1005 1675 2062

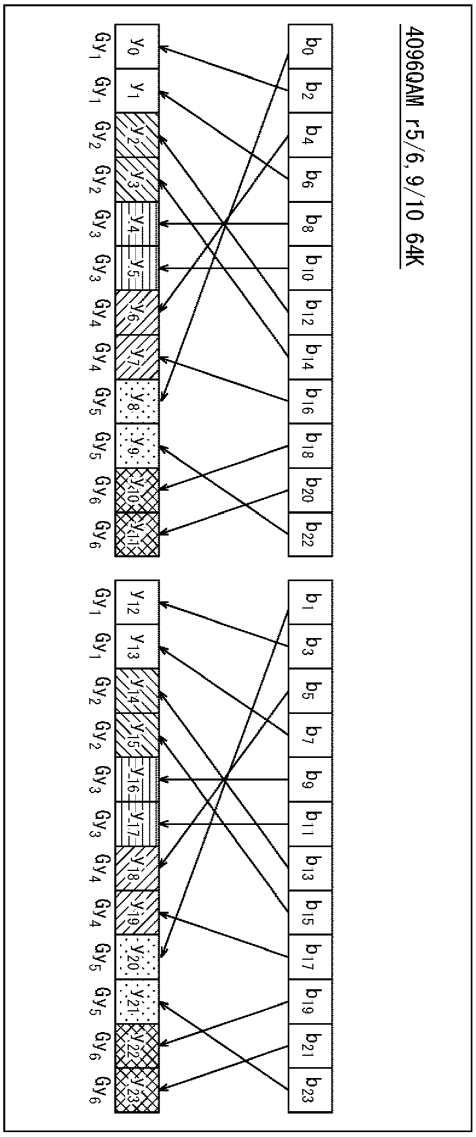
도면124


1열째부터 360열마다의 검사 행렬(정보 행렬 H_A)의 행 번호를 표시
검사 행렬의 행 번호
H_A의 1열째
H_A의 361열째
H_A의 721열째
H_A의 1081열째
$h_{3,5}$
검사 행렬 초기값 테이블
0 2084 1613 1548 1286 1460 3196 4297 2481 3369 3451 4620 2622
1 122 1516 3448 2880 1407 1847 3799 3529 373 971 4358 3108
2 259 3399 929 2650 864 3996 3833 107 5287 164 3125 2350
3 342 3529
4 4198 2147
5 1880 4836
6 3864 4910
7 243 1542
8 3011 1436
9 2167 2512
10 4606 1003
11 2835 705
12 3426 2365
13 3848 2474
14 1360 1743
0 163 2536
1 2583 1180
2 1542 509
3 4418 1005
4 5212 5117
5 2155 2922
6 347 2696
7 226 4296
8 1560 487
9 3926 1640
10 149 2928
11 2364 563
12 635 688
13 231 1684
14 1129 3894

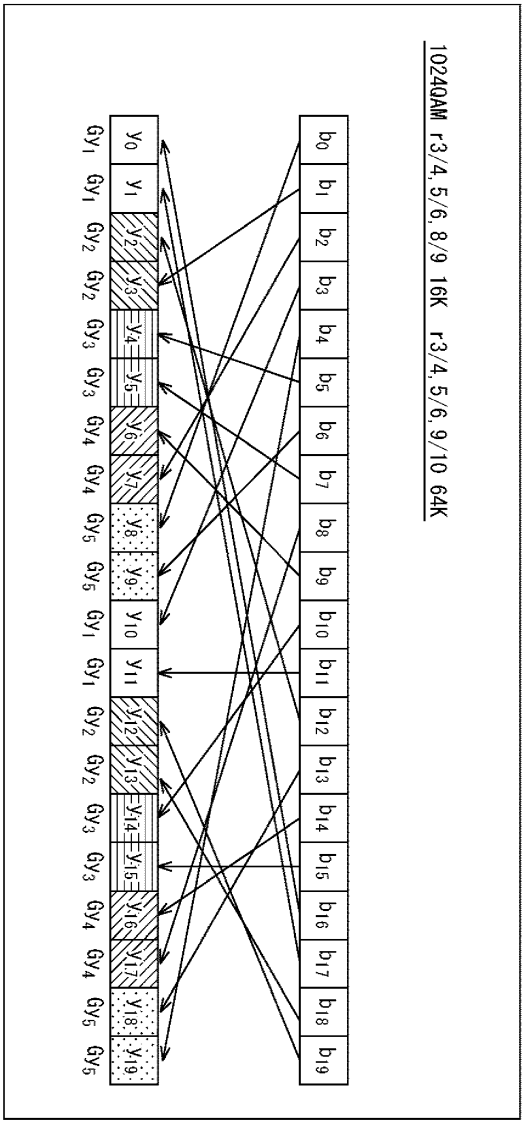
도면125


4096QAM r5/6, 9/10 64K
b_0 b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6 b_7 b_8 b_9 b_{10} b_{11}
y_0 y_1 y_2 y_3 y_4 y_5 y_6 y_7 y_8 y_9 y_{10} y_{11}
Gy_1 Gy_1 Gy_2 Gy_2 Gy_3 Gy_3 Gy_4 Gy_4 Gy_5 Gy_5 Gy_6 Gy_6

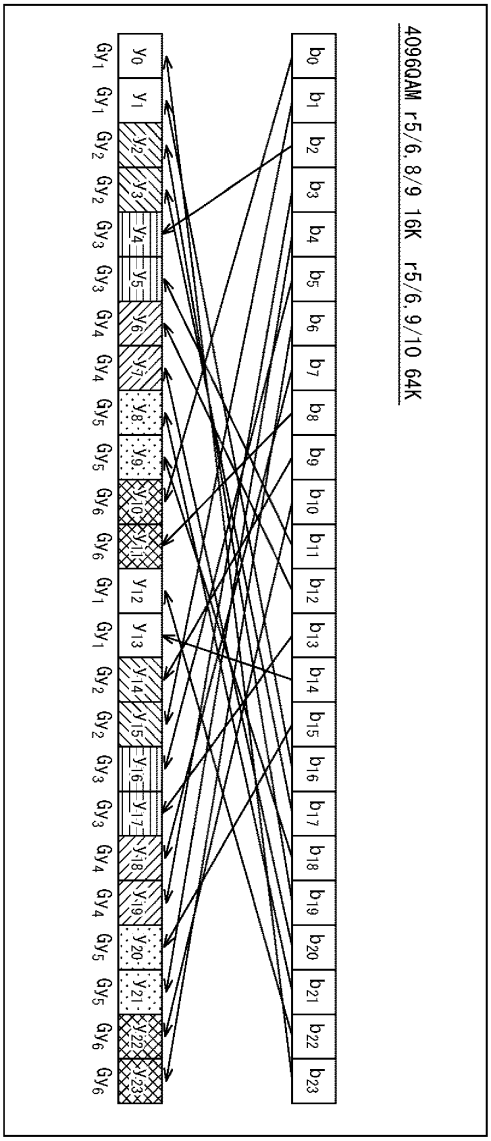
도면126



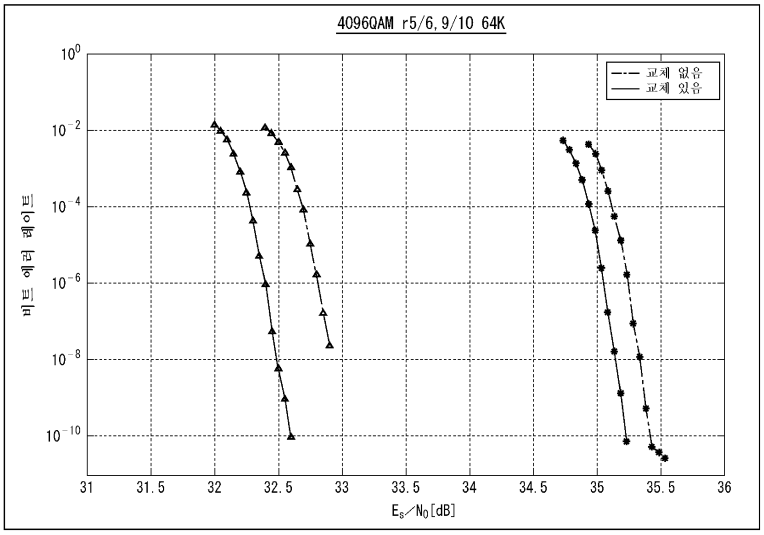
도면127


1024QAM r3/4, 5/6, 8/9 16K r3/4, 5/6, 9/10 64K
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13 b14 b15 b16 b17 b18 b19
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11 y12 y13 y14 y15 y16 y17 y18 y19
Gy1 Gy1 Gy2 Gy2 Gy3 Gy3 Gy4 Gy4 Gy5 Gy5 Gy1 Gy1 Gy2 Gy2 Gy3 Gy3 Gy4 Gy4 Gy5 Gy5

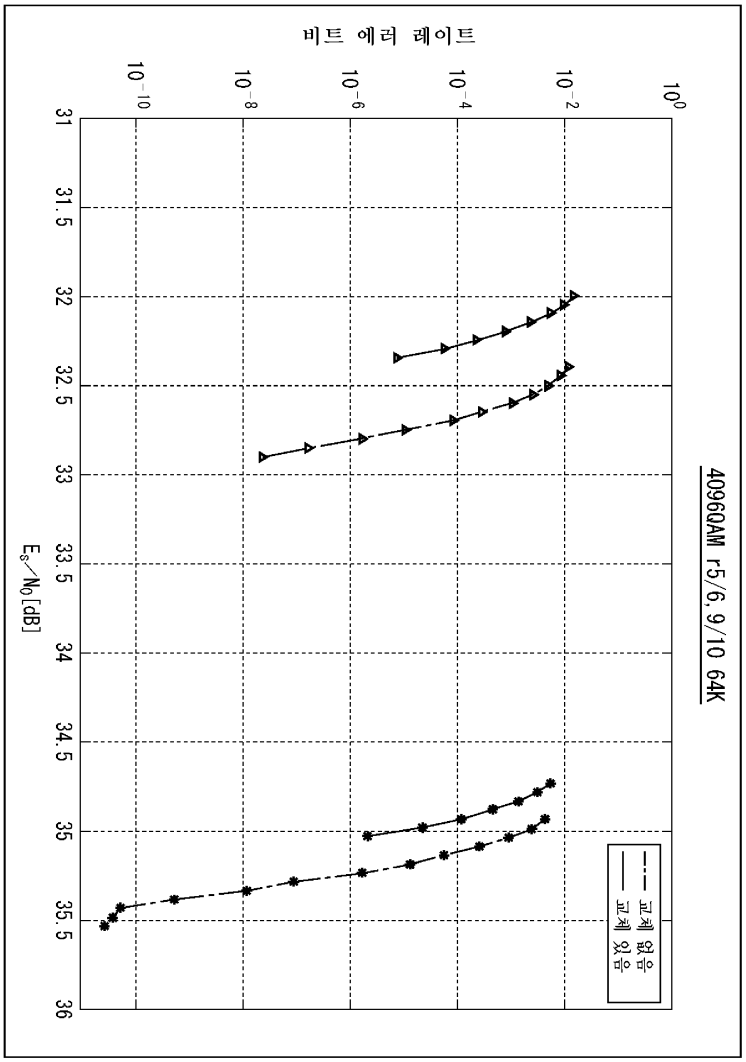
도면128


4096QAM r5/6, 8/9 16K r5/6, 9/10 64K
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13 b14 b15 b16 b17 b18 b19 b20 b21 b22 b23
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11 y12 y13 y14 y15 y16 y17 y18 y19 y20 y21 y22 y23
Gy1 Gy1 Gy2 Gy2 Gy3 Gy3 Gy4 Gy4 Gy5 Gy5 Gy6 Gy6 Gy1 Gy1 Gy2 Gy2 Gy3 Gy3 Gy4 Gy4 Gy5 Gy5 Gy6 Gy6

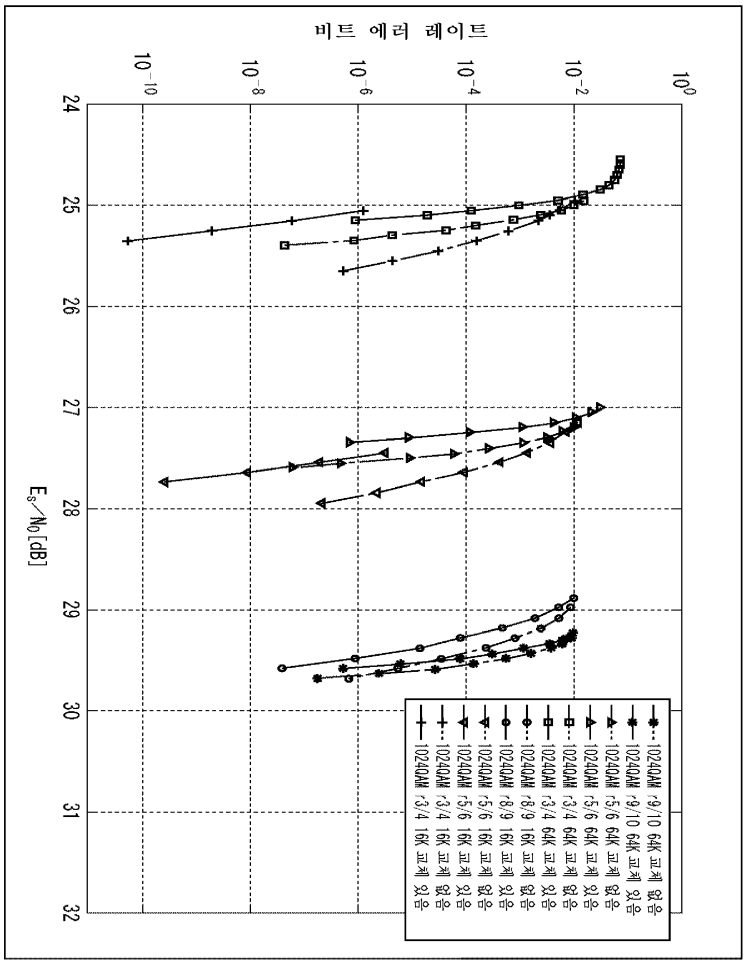
도면129


4096QAM r5/6, 9/10 64K
비트 에러 레이트
교체 없음
교체 있음
Es/N0[dB]

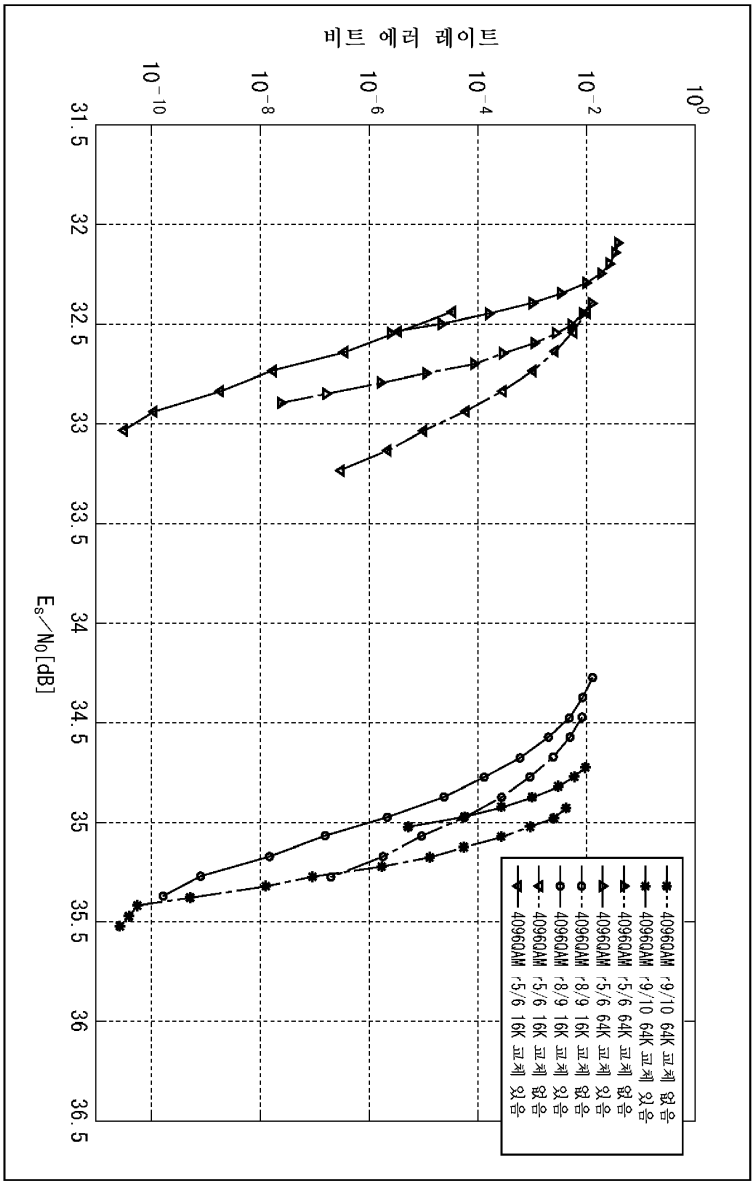
도면130


비트 에러 레이트
4096QAM r5/6, 9/10 64K
Es/N0[dB]
교체 없음
교체 있음

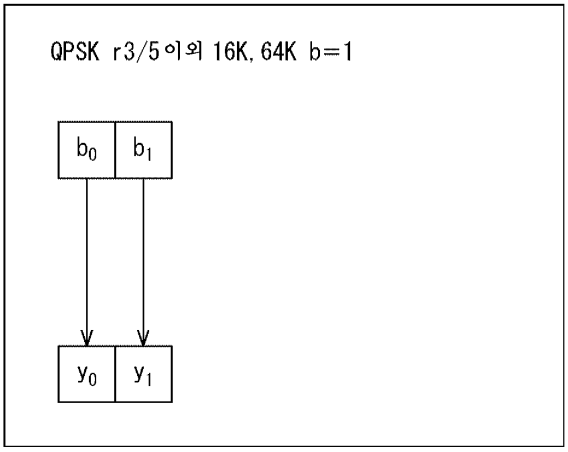
도면131


비트 에러 레이트
10^{-10}
10^{-8}
10^{-6}
10^{-4}
10^{-2}
10^{0}
24
25
26
27
28
29
30
31
32
E_s/N_0[dB]
1024QAM r9/10 64K 교체 없음
1024QAM r9/10 64K 교체 있음
1024QAM r5/6 64K 교체 없음
1024QAM r5/6 64K 교체 있음
1024QAM r3/4 64K 교체 없음
1024QAM r3/4 64K 교체 있음
1024QAM r8/9 16K 교체 없음
1024QAM r8/9 16K 교체 있음
1024QAM r5/6 16K 교체 없음
1024QAM r5/6 16K 교체 있음
1024QAM r3/4 16K 교체 없음
1024QAM r3/4 16K 교체 있음

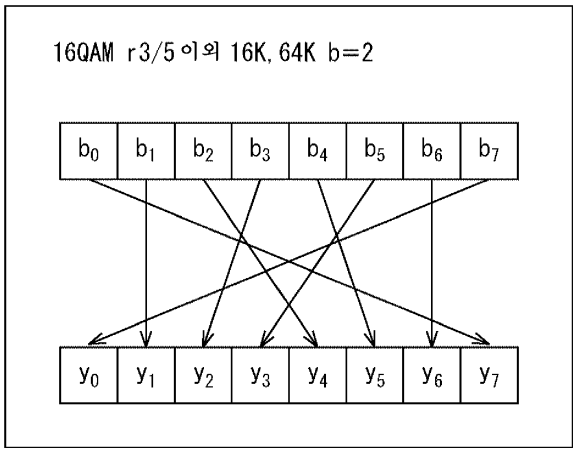
도면132


비트 에러 레이트
10^{0}
10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
10^{-10}
31.5
32
32.5
33
33.5
34
34.5
35
35.5
36
36.5
E_S/N_0[dB]
4096QAM r9/10 64K 교체 없음
4096QAM r9/10 64K 교체 있음
4096QAM r5/6 64K 교체 없음
4096QAM r5/6 64K 교체 있음
4096QAM r8/9 16K 교체 없음
4096QAM r8/9 16K 교체 있음
4096QAM r5/6 16K 교체 없음
4096QAM r5/6 16K 교체 있음

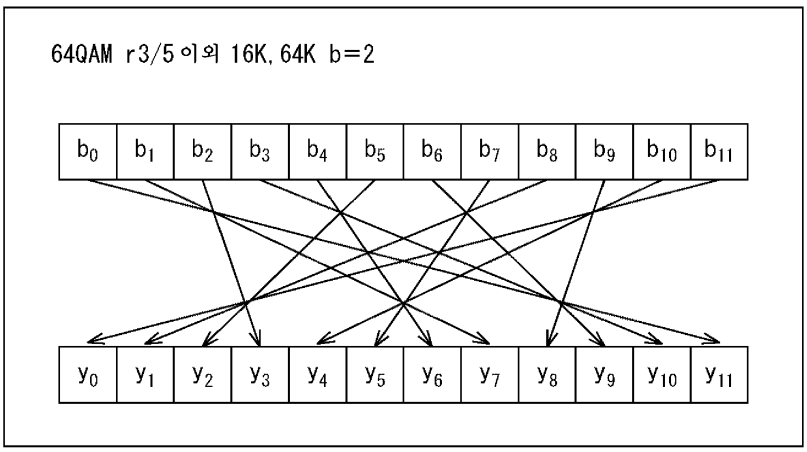
도면133



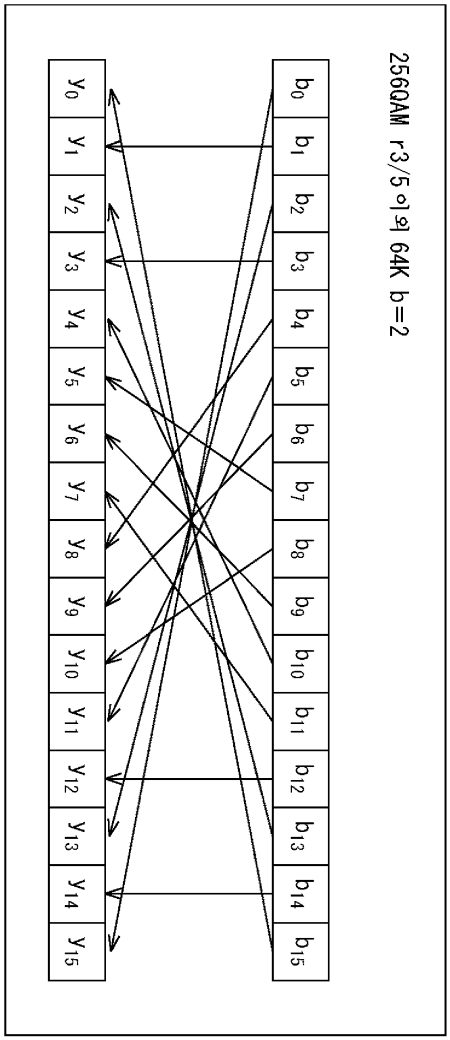
도면134



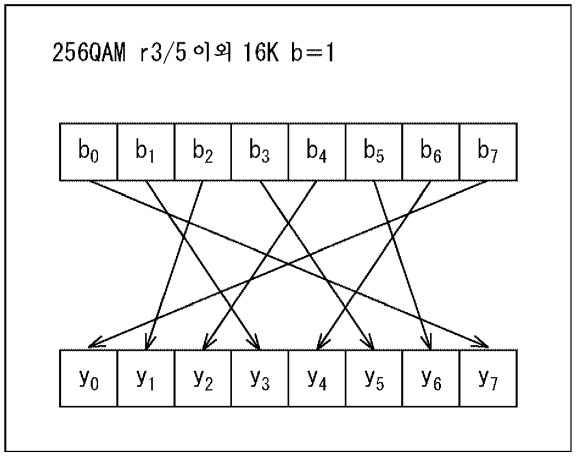
도면135



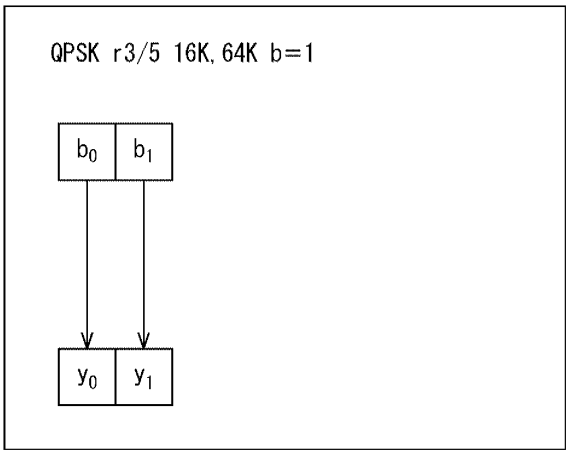
도면136


256QAM r3/5 이외 64K b=2
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7 y8 y9 y10 y11 y12 y13 y14 y15
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12 b13 b14 b15

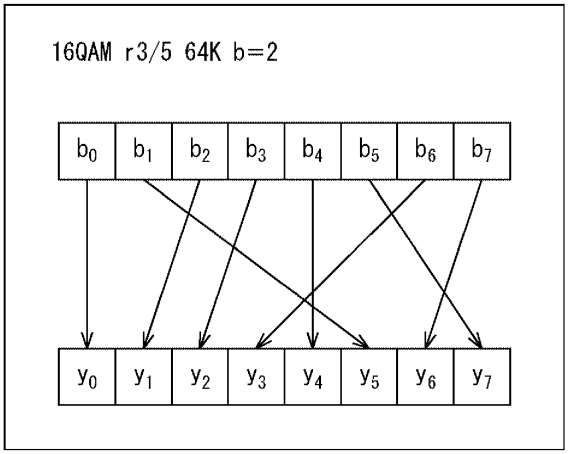
도면137


256QAM r3/5 이외 16K b=1
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7

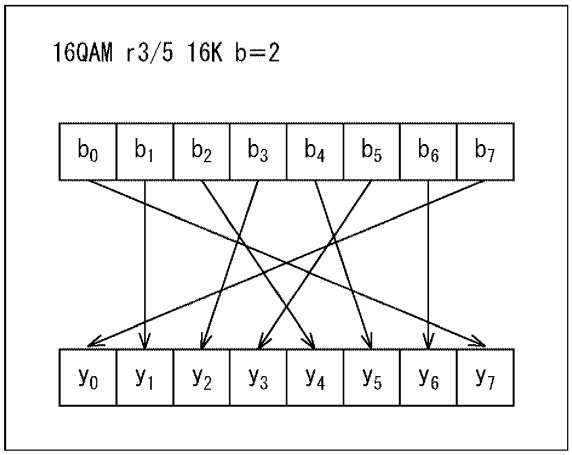
도면138



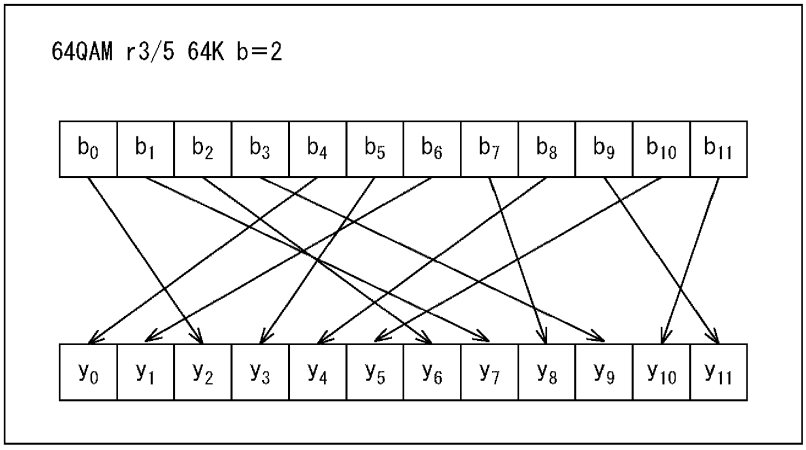
도면139



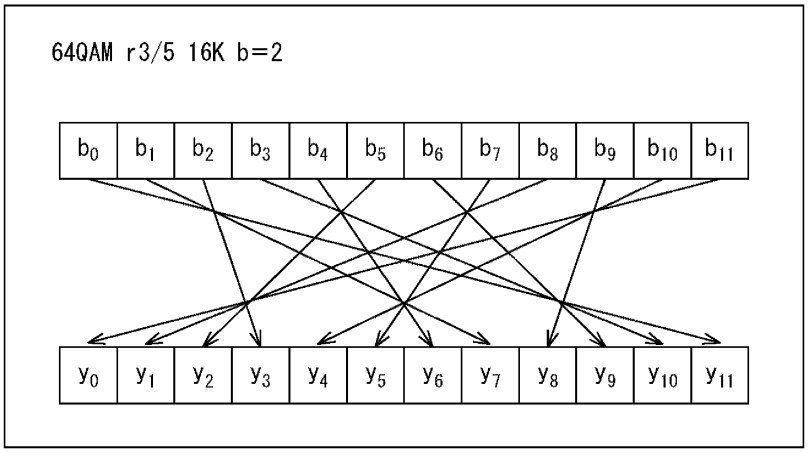
도면140



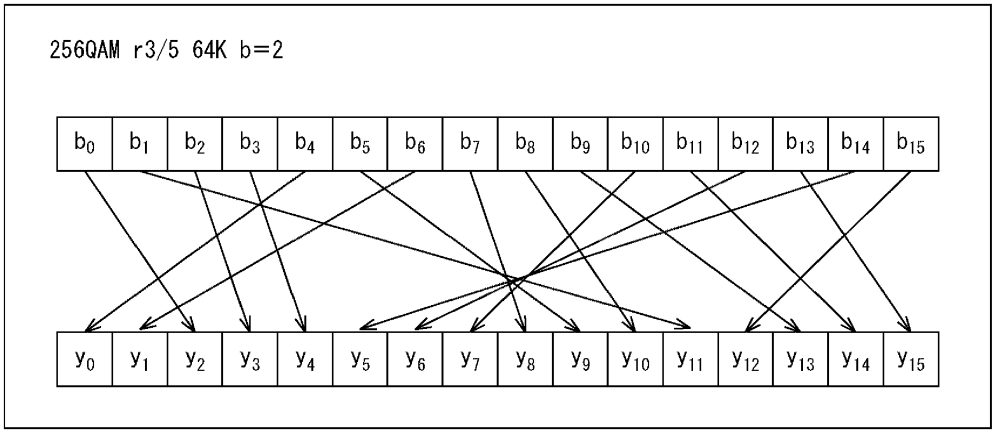
도면141



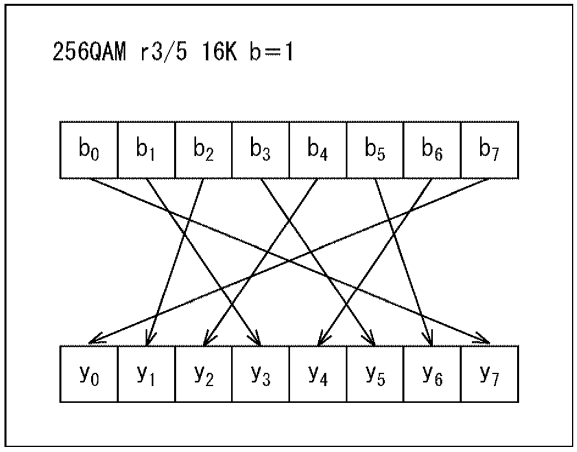
도면142



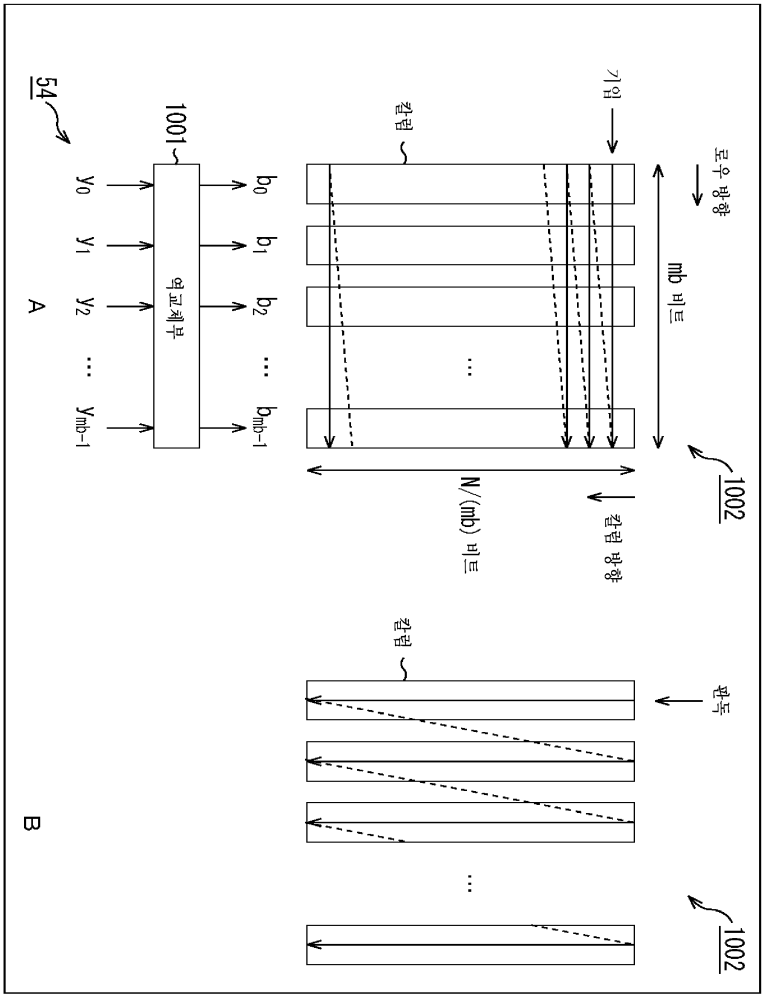
도면143



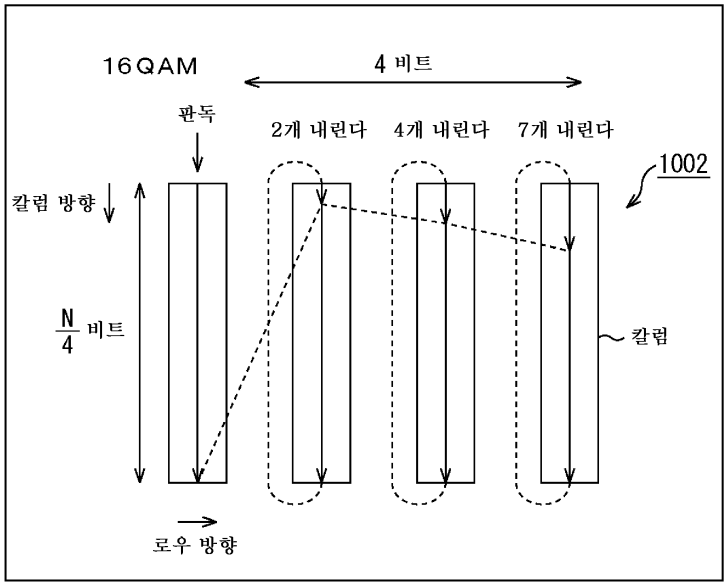
도면144


256QAM r3/5 16K b=1
b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7
y0 y1 y2 y3 y4 y5 y6 y7

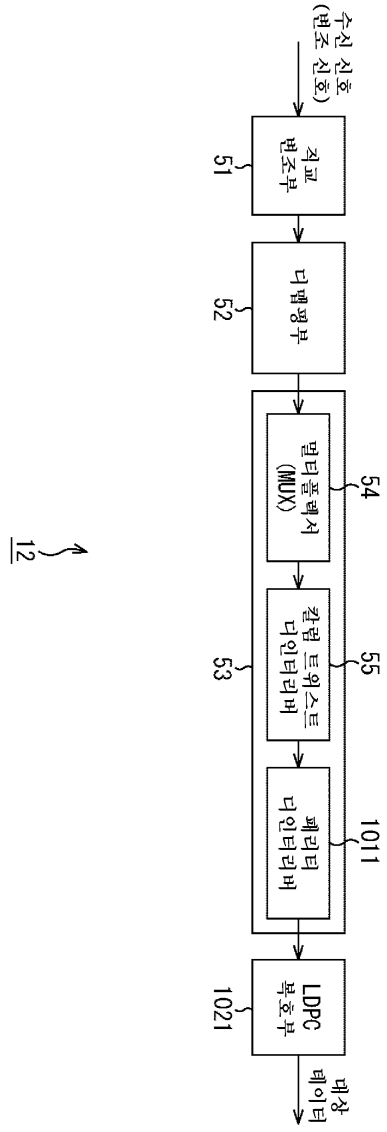
도면145


54
A
1001
y0 y1 y2 ... ymb-1
열교체부
b0 b1 b2 ... bmb-1
B
열
기입
로우 방향
mb 비트
N/(mb) 비트
열 방향
판독
1002

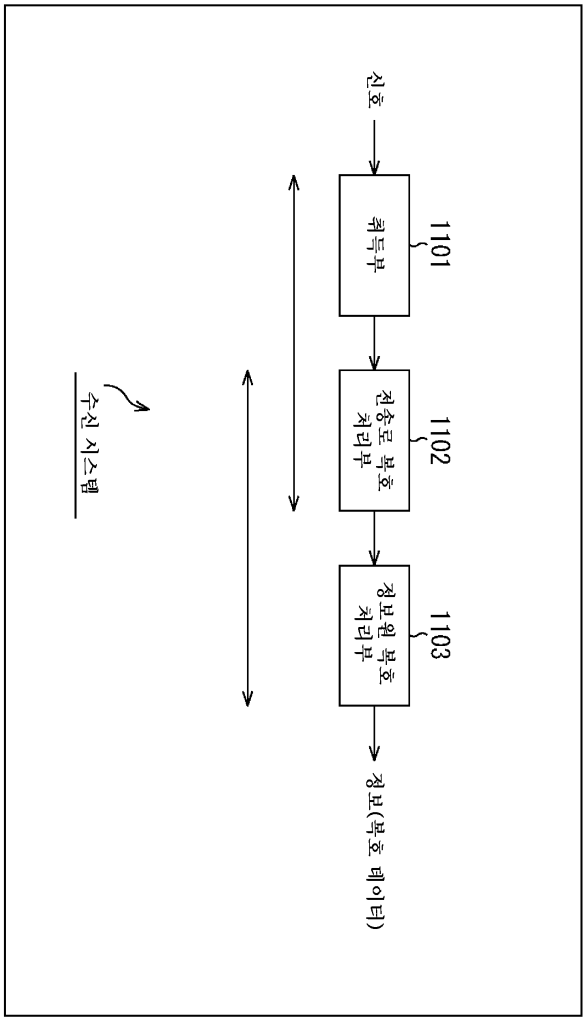
도면146



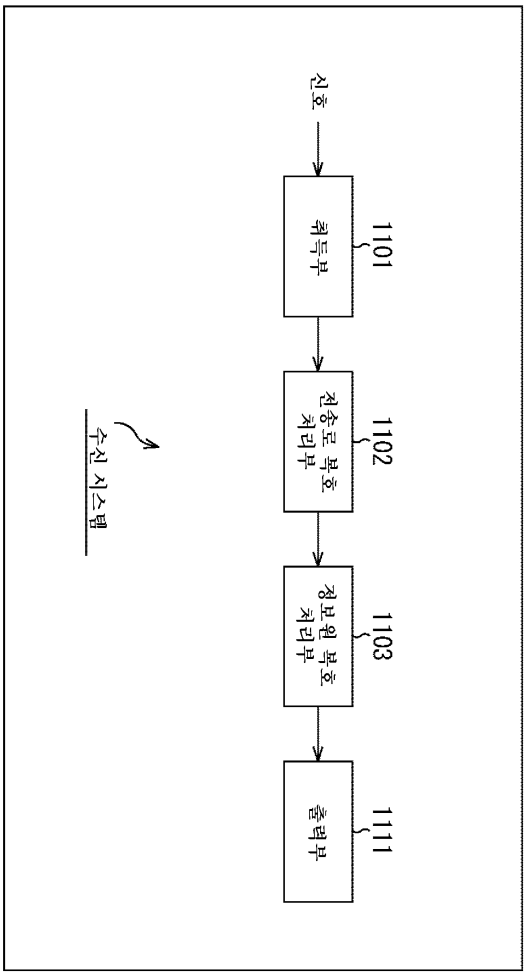
도면147


12
수신 신호
(변조 신호)
직교
변조부
51
디맵핑부
52
53
멀티플렉서
(MUX)
54
컬럼 트위스트
디인터리버
55
패리티
디인터리버
1011
LDPC
복호부
1021
대상
데이터

도면148



도면149



도면150

