



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0061328
(43) 공개일자 2016년05월31일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 13/25 (2015.01) H03M 13/03 (2006.01)
H03M 13/11 (2006.01) H03M 13/15 (2015.01)
H03M 13/27 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
H03M 13/255 (2013.01)
H03M 13/036 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-7006918</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2014년09월12일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2016년03월16일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2014/074200</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2015/045901
국제공개일자 2015년04월02일</p> <p>(30) 우선권주장
JP-P-2013-199089 2013년09월26일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
소니 주식회사
일본국 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1</p> <p>(72) 발명자
시노하라 유지
일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니
주식회사 내
야마모토 마키코
일본 1080075 도쿄도 미나토쿠 코난 1-7-1 소니
주식회사 내</p> <p>(74) 대리인
장수길, 이중희</p> |
|---|---|

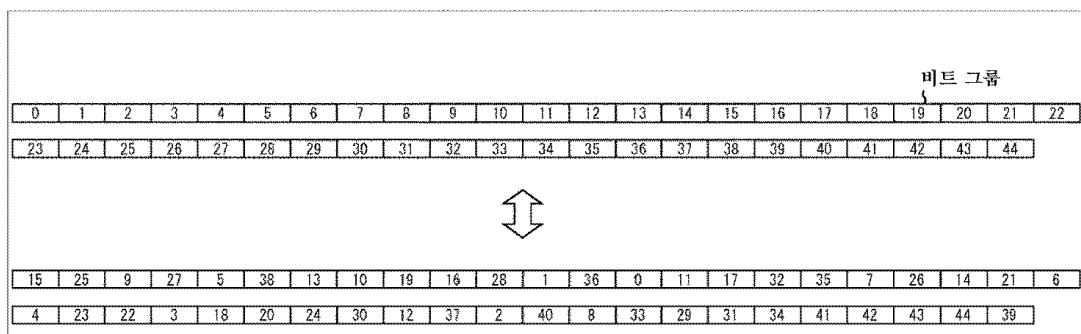
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 데이터 처리 장치 및 데이터 처리 방법

(57) 요약

본 기술은, LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있도록 하는 데이터 처리 장치 및 데이터 처리 방법에 관한 것이다. 그룹 와이즈 인터리브에서는, 부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호가, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브된다. 그룹 와이즈 디인터리브에서는, 그룹 와이즈 인터리브 후의 LDPC 부호의 배열이 원래의 배열로 되돌린다. 본 기술은, 예를 들어 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송 등을 행하는 경우에 적용할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

H03M 13/1165 (2013.01)

H03M 13/152 (2013.01)

H03M 13/253 (2013.01)

H03M 13/2778 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부를 구비하고,

상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고,

상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹

15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

의 배열로 인터리브하는 데이터 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 LDPC 부호를, 10비트 단위로, 변조 방식으로 정하는 1024개의 신호점 중 어느 하나에 매핑하는 매핑부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호 화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 3588 3770 3821 4384 4470 4884 5012 5036 5084
5101 5271 5281 5353

505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 2875 3007 3254 3519 3687 4331 4439 4532 4940
5011 5076 5113 5367

268 346 650 919 1260 4389 4653 4721 4838 5054 5157 5162 5275 5362

220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 5003 5037

381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 5173 5242

88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 4901 5047

749 1502 2201 3189

2873 3245 3427

2158 2605 3165

1 3438 3606

10 3019 5221

371 2901 2923

9 3935 4683

1937 3502 3735

507 3128 4994

25 3854 4550

1178 4737 5366

2 223 5304

1146 5175 5197

1816 2313 3649

740 1951 3844

1320 3703 4791

1754 2905 4058

7 917 5277

3048 3954 5396

4804 4824 5105

2812 3895 5226

0 5318 5358

1483 2324 4826

2266 4752 5387

인 데이터 처리 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 11/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

108 297 703 742 1345 1443 1495 1628 1812 2341 2559 2669 2810 2877 3442 3690 3755 3904 4264

180 211 477 788 824 1090 1272 1578 1685 1948 2050 2195 2233 2546 2757 2946 3147 3299 3544

627 741 1135 1157 1226 1333 1378 1427 1454 1696 1757 1772 2099 2208 2592 3354 3580 4066 4242

9 795 959 989 1006 1032 1135 1209 1382 1484 1703 1855 1985 2043 2629 2845 3136 3450 3742

230 413 801 829 1108 1170 1291 1759 1793 1827 1976 2000 2423 2466 2917 3010 3600 3782 4143

56 142 236 381 1050 1141 1372 1627 1985 2247 2340 3023 3434 3519 3957 4013 4142 4164 4279

298 1211 2548 3643

73 1070 1614 1748

1439 2141 3614

284 1564 2629

607 660 855

1195 2037 2753

49 1198 2562

296 1145 3540

1516 2315 2382

154 722 4016

759 2375 3825

162 194 1749

2335 2422 2632

6 1172 2583

726 1325 1428

985 2708 2769

255 2801 3181

2979 3720 4090

208 1428 4094

199 3743 3757

1229 2059 4282

458 1100 1387

1199 2481 3284

1161 1467 4060

959 3014 4144

2666 3960 4125

2809 3834 4318

인 데이터 처리 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 12/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

3 394 1014 1214 1361 1477 1534 1660 1856 2745 2987 2991 3124 3155
59 136 528 781 803 928 1293 1489 1944 2041 2200 2613 2690 2847
155 245 311 621 1114 1269 1281 1783 1995 2047 2672 2803 2885 3014
79 870 974 1326 1449 1531 2077 2317 2467 2627 2811 3083 3101 3132
4 582 660 902 1048 1482 1697 1744 1928 2628 2699 2728 3045 3104
175 395 429 1027 1061 1068 1154 1168 1175 2147 2359 2376 2613 2682
1388 2241 3118 3148
143 506 2067 3148
1594 2217 2705
398 988 2551
1149 2588 2654
678 2844 3115
1508 1547 1954
1199 1267 1710
2589 3163 3207
1 2583 2974
2766 2897 3166
929 1823 2742
1113 3007 3239
1753 2478 3127
0 509 1811
1672 2646 2984
965 1462 3230
3 1077 2917
1183 1316 1662
968 1593 3239
64 1996 2226
1442 2058 3181
513 973 1058
1263 3185 3229
681 1394 3017
419 2853 3217
3 2404 3175
2417 2792 2854
1879 2940 3235
647 1704 3060

인 데이터 처리 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 13/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

37 144 161 199 220 496 510 589 731 808 834 965 1249 1264 1311 1377 1460 1520 1598 1707 1958 2055 2099
2154

20 27 165 462 546 583 742 796 1095 1110 1129 1145 1169 1190 1254 1363 1383 1463 1718 1835 1870 1879
2108 2128

288 362 463 505 638 691 745 861 1006 1083 1124 1175 1247 1275 1337 1353 1378 1506 1588 1632 1720 1868
1980 2135

405 464 478 511 566 574 641 766 785 802 836 996 1128 1239 1247 1449 1491 1537 1616 1643 1668 1950 1975
2149

86 192 245 357 363 374 700 713 852 903 992 1174 1245 1277 1342 1369 1381 1417 1463 1712 1900 1962 2053
2118

101 327 378 550

186 723 1318 1550

118 277 504 1835

199 407 1776 1965

387 1253 1328 1975

62 144 1163 2017

100 475 572 2136

431 865 1568 2055

283 640 981 1172

220 1038 1903 2147

483 1318 1358 2118

92 961 1709 1810

112 403 1485 2042

431 1110 1130 1365

587 1005 1206 1588

704 1113 1943

375 1487 2100

1507 1950 2110
 962 1613 2038
 554 1295 1501
 488 784 1446
 871 1935 1964
 54 1475 1504
 1579 1617 2074
 1856 1967 2131
 330 1582 2107
 40 1056 1809
 1310 1353 1410
 232 554 1939
 168 641 1099
 333 437 1556
 153 622 745
 719 931 1188
 237 638 1607
 인 데이터 처리 장치.

청구항 7

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브 스텝을 구비하고,
 상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고,
 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39
 의 배열로 인터리브하는 데이터 처리 방법.

청구항 8

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부를 구비하고,
 상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고,
 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39
 의 배열로 인터리브하는
 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는, 그룹 와이즈 인터리브 후의 상기 LDPC 부호의 배열을 원래의 배열로 되돌리는 그룹 와이즈 디인터리브부를 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 LDPC 부호를, 10비트 단위로, 변조 방식으로 정하는 1024개의 신호점 중 어느 하나에 매핑하는 매핑부를 더 구비하는

상기 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는 상기 매핑된 데이터를 디매핑하는 디매핑부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호 화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 3588 3770 3821 4384 4470 4884 5012 5036 5084
5101 5271 5281 5353

505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 2875 3007 3254 3519 3687 4331 4439 4532 4940
5011 5076 5113 5367

268 346 650 919 1260 4389 4653 4721 4838 5054 5157 5162 5275 5362

220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 5003 5037

381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 5173 5242

88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 4901 5047

749 1502 2201 3189

2873 3245 3427

2158 2605 3165

1 3438 3606

10 3019 5221

371 2901 2923

9 3935 4683

1937 3502 3735

507 3128 4994

25 3854 4550

1178 4737 5366

2 223 5304

1146 5175 5197

1816 2313 3649

740 1951 3844

1320 3703 4791

1754 2905 4058

7 917 5277

3048 3954 5396

4804 4824 5105

2812 3895 5226

0 5318 5358

1483 2324 4826

2266 4752 5387

인

상기 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는 상기 LDPC 부호를 복호하는 복호부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 11

제8항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 11/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

108 297 703 742 1345 1443 1495 1628 1812 2341 2559 2669 2810 2877 3442 3690 3755 3904 4264

180 211 477 788 824 1090 1272 1578 1685 1948 2050 2195 2233 2546 2757 2946 3147 3299 3544

627 741 1135 1157 1226 1333 1378 1427 1454 1696 1757 1772 2099 2208 2592 3354 3580 4066 4242

9 795 959 989 1006 1032 1135 1209 1382 1484 1703 1855 1985 2043 2629 2845 3136 3450 3742

230 413 801 829 1108 1170 1291 1759 1793 1827 1976 2000 2423 2466 2917 3010 3600 3782 4143

56 142 236 381 1050 1141 1372 1627 1985 2247 2340 3023 3434 3519 3957 4013 4142 4164 4279

298 1211 2548 3643

73 1070 1614 1748

1439 2141 3614

284 1564 2629

607 660 855

1195 2037 2753

49 1198 2562
 296 1145 3540
 1516 2315 2382
 154 722 4016
 759 2375 3825
 162 194 1749
 2335 2422 2632
 6 1172 2583
 726 1325 1428
 985 2708 2769
 255 2801 3181
 2979 3720 4090
 208 1428 4094
 199 3743 3757
 1229 2059 4282
 458 1100 1387
 1199 2481 3284
 1161 1467 4060
 959 3014 4144
 2666 3960 4125
 2809 3834 4318

인

상기 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는 상기 LDPC 부호를 복호하는 복호부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 12

제8항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 12/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

3 394 1014 1214 1361 1477 1534 1660 1856 2745 2987 2991 3124 3155

59 136 528 781 803 928 1293 1489 1944 2041 2200 2613 2690 2847

155 245 311 621 1114 1269 1281 1783 1995 2047 2672 2803 2885 3014
79 870 974 1326 1449 1531 2077 2317 2467 2627 2811 3083 3101 3132
4 582 660 902 1048 1482 1697 1744 1928 2628 2699 2728 3045 3104
175 395 429 1027 1061 1068 1154 1168 1175 2147 2359 2376 2613 2682
1388 2241 3118 3148
143 506 2067 3148
1594 2217 2705
398 988 2551
1149 2588 2654
678 2844 3115
1508 1547 1954
1199 1267 1710
2589 3163 3207
1 2583 2974
2766 2897 3166
929 1823 2742
1113 3007 3239
1753 2478 3127
0 509 1811
1672 2646 2984
965 1462 3230
3 1077 2917
1183 1316 1662
968 1593 3239
64 1996 2226
1442 2058 3181
513 973 1058
1263 3185 3229
681 1394 3017
419 2853 3217
3 2404 3175
2417 2792 2854
1879 2940 3235
647 1704 3060
인
상기 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는 상기 LDPC 부호를 복호하는 복호부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 13

제8항에 있어서,

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 13/15인 LDPC 부호의 검사 행렬에 기초하여, LDPC 부호화를 행하는 부호화부를 더 구비하고,

상기 LDPC 부호는, 정보 비트와 패리티 비트를 포함하고,

상기 검사 행렬은, 상기 정보 비트에 대응하는 정보 행렬부 및 상기 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬부를 포함하고,

상기 정보 행렬부는, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 나타내지고,

상기 검사 행렬 초기값 테이블은, 상기 정보 행렬부의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타내는 테이블로서,

37 144 161 199 220 496 510 589 731 808 834 965 1249 1264 1311 1377 1460 1520 1598 1707 1958 2055 2099
2154

20 27 165 462 546 583 742 796 1095 1110 1129 1145 1169 1190 1254 1363 1383 1463 1718 1835 1870 1879
2108 2128

288 362 463 505 638 691 745 861 1006 1083 1124 1175 1247 1275 1337 1353 1378 1506 1588 1632 1720 1868
1980 2135

405 464 478 511 566 574 641 766 785 802 836 996 1128 1239 1247 1449 1491 1537 1616 1643 1668 1950 1975
2149

86 192 245 357 363 374 700 713 852 903 992 1174 1245 1277 1342 1369 1381 1417 1463 1712 1900 1962 2053
2118

101 327 378 550

186 723 1318 1550

118 277 504 1835

199 407 1776 1965

387 1253 1328 1975

62 144 1163 2017

100 475 572 2136

431 865 1568 2055

283 640 981 1172

220 1038 1903 2147

483 1318 1358 2118

92 961 1709 1810

112 403 1485 2042

431 1110 1130 1365

587 1005 1206 1588

704 1113 1943

375 1487 2100

1507 1950 2110
 962 1613 2038
 554 1295 1501
 488 784 1446
 871 1935 1964
 54 1475 1504
 1579 1617 2074
 1856 1967 2131
 330 1582 2107
 40 1056 1809
 1310 1353 1410
 232 554 1939
 168 641 1099
 333 437 1556
 153 622 745
 719 931 1188
 237 638 1607

인

상기 송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는 상기 LDPC 부호를 복호하는 복호부를 더 구비하는 데이터 처리 장치.

청구항 14

부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부를 구비하고,

상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고,

상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹

15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

의 배열로 인터리브하는

송신 장치

로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는, 그룹 와이즈 인터리브 후의 상기 LDPC 부호의 배열을 원래의 배열로 되돌리는 그룹 와이즈 디인터리브 스텝을 구비하는 데이터 처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 기술은, 데이터 처리 장치 및 데이터 처리 방법에 관한 것으로, 특히, 예를 들어 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있도록 하는 데이터 처리 장치 및 데이터 처리 방법에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 본 명세서 및 도면 중에 게재하는 정보의 일부는, 소니 가부시끼가이샤와 공동 개발을 행하는 Samsung Electronics Co., Ltd.(이하, Samsung이라 표기)로부터 제공을 받은 것이다(도면 중에 명시).
- [0003] LDPC(Low Density Parity Check) 부호는, 높은 오류 정정 능력을 가지며, 최근에는, 예를 들어 유럽 등의 DVB(Digital Video Broadcasting)-S.2나, DVB-T.2, DVB-C.2, 미국 등의 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 3.0 등의 디지털 방송을 포함하는 전송 방식에 널리 채용되고 있다(예를 들어, 비특허문헌 1을 참조).
- [0004] LDPC 부호는, 최근의 연구에 의해, 터보 부호 등과 마찬가지로, 부호 길이를 길게 해 감에 따라, 세션 한계에 가까운 성능이 얻어지는 것을 점차 알게 되었다. 또한, LDPC 부호는, 최소 거리가 부호 길이에 비례한다는 성질이 있는 점에서, 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.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) DVB-S.2: ETSI EN 302 307 V1.2.1(2009-08)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에서는, 예를 들어 LDPC 부호가, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 등의 직교 변조(디지털 변조)의 심벌로 되고(심벌화되고), 그 심벌이, 직교 변조의 신호점에 매핑되어 송신된다.
- [0007] 이상과 같은 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송은, 세계적으로 확대되고 있으며, 양호한 통신 품질을 확보할 것이 요청되고 있다.
- [0008] 본 기술은, 이러한 상황을 감안하여 이루어진 것으로, LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있도록 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 기술의 제1 데이터 처리 장치/데이터 처리 방법은, 부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부/스텝을 구비하고, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 i+1번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i로 하고, 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹
- [0010] 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39
- [0011] 의 배열로 인터리브하는 데이터 처리 장치/ 방법이다.
- [0012] 본 기술의 제1 데이터 처리 장치/데이터 처리 방법에 있어서는, 부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브가 행해진다. 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열이, 비트 그룹
- [0013] 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39
- [0014] 의 배열로 인터리브된다.
- [0015] 본 기술의 제2 데이터 처리 장치/데이터 처리 방법은, 부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15,

12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부를 구비하고, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고, 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹

[0016] 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

[0017] 의 배열로 인터리브하는 송신 장치로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는, 그룹 와이즈 인터리브 후의 상기 LDPC 부호의 배열을 원래의 배열로 되돌리는 그룹 와이즈 디인터리브부/스택을 구비하는 데이터 처리 장치/데이터 처리 방법이다.

[0018] 본 기술의 제2 데이터 처리 장치/데이터 처리 방법에 있어서는, 부호 길이가 16200비트이고 부호화율이 10/15, 11/15, 12/15 또는 13/15인 LDPC 부호를, 360비트의 비트 그룹 단위로 인터리브하는 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 그룹 와이즈 인터리브부를 구비하고, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 선두로부터 $i+1$ 번째 비트 그룹을, 비트 그룹 i 로 하고, 상기 그룹 와이즈 인터리브에서는, 상기 16200비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열을, 비트 그룹

[0019] 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

[0020] 의 배열로 인터리브하는 송신 장치로부터 송신되어 오는 데이터로부터 얻어지는, 그룹 와이즈 인터리브 후의 상기 LDPC 부호의 배열이 원래의 배열로 되돌려진다.

[0021] 또한, 데이터 처리 장치는, 독립된 장치여도 되고, 1개의 장치를 구성하고 있는 내부 블록이어도 된다.

발명의 효과

[0022] 본 기술에 의하면, LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있다.

[0023] 또한, 여기에 기재된 효과는 반드시 한정되는 것은 아니고, 본 개시 중에 기재된 어느 하나의 효과여도 된다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 LDPC 부호의 검사 행렬 H 를 설명하는 도면이다.

도 2는 LDPC 부호의 복호 수순을 설명하는 흐름도이다.

도 3은 LDPC 부호의 검사 행렬의 예를 나타내는 도면이다.

도 4는 검사 행렬의 태너 그래프를 나타내는 도면이다.

도 5는 배리어블 노드를 나타내는 도면이다.

도 6은 체크 노드를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 기술을 적용한 전송 시스템의 일 실시 형태의 구성예를 나타내는 도면이다.

도 8은 송신 장치(11)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 9는 비트 인터리버(116)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 10은 검사 행렬을 나타내는 도면이다.

도 11은 패리티 행렬을 나타내는 도면이다.

도 12는 DVB-T.2의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 13은 DVB-T.2의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 14는 LDPC 부호의 복호에 관한 태너 그래프를 나타내는 도면이다.

도 15는 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T 와, 그 패리티 행렬 H_T 에 대응하는 태너 그래프를 나타내는 도면이다.

도 16은 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H 의 패리티 행렬 H_p 를 나타내는 도면이다.

도 17은 비트 인터리버(116) 및 매퍼(117)에서 행해지는 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 18은 LDPC 인코더(115)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 19는 LDPC 인코더(115)의 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 20은 부호화율 1/4, 부호 길이 16200인 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.

도 21은 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H 를 구하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 22는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 23은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 24는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 25는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 26은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 27은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 28은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 29는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 30은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 31은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 32는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 33은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 34는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 35는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 36은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 37은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 38은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 39는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블

을 나타내는 도면이다.

도 40은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 41은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 42는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 43은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 44는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 45는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 46은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 47는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 48은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 49는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 50은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 51은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 52는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 53은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 54는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

도 55는 열 가중치가 3이고, 행 가중치가 6이라고 하는 디그리 시퀀스의 양상블의 태너 그래프의 예를 나타내는 도면이다.

도 56은 멀티 엡지 타입의 양상블의 태너 그래프의 예를 나타내는 도면이다.

도 57는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15, 9/15, 11/15, 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.

도 58은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15, 9/15, 11/15, 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 59는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15, 9/15, 11/15, 13/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 60은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 예측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 61은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 62는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 63은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 64는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 8/15, 10/15, 12/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.

도 65는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 8/15, 10/15, 12/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 66은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 8/15, 10/15, 12/15인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 67은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 68은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 69는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 70은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 71은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.

도 72는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 73은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 74는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 75는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.

도 76은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 77은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 78은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 79는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 8/15, 10/15, 12/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 80은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 8/15, 10/15, 12/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 81은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 82는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 8/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 83은 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 10/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 84는 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 12/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 85는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15, 9/15, 11/15, 13/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 86은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15, 9/15, 11/15, 13/15인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬을 설명하는 도면이다.

도 87은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 88은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 89는 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 90은 부호 길이 N 이 16k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제2 신 LDPC 부호에 관한 BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 91은 콘스텔레이션의 종류의 예를 나타내는 도면이다.

도 92는 변조 방식이 16QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.

도 93은 변조 방식이 64QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.

도 94는 변조 방식이 256QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.

도 95는 변조 방식이 1024QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.

도 96은 변조 방식이 16QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 97은 변조 방식이 64QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 98은 변조 방식이 256QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 99는 변조 방식이 1024QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC 및 1D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

도 100은 변조 방식이 QPSK인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 공통으로 사용되는 UC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.

도 101은 변조 방식이 16QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.

도 102는 변조 방식이 64QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.

도 103은 변조 방식이 256QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의

좌표를 나타내는 도면이다.

도 104는 변조 방식이 1024QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 1D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.

도 105는 심벌 y 와, 그 심벌 y 에 대응하는 1D NUC의 신호점 z_q 의 좌표로서의 복소수의 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 및 허수 파트 $\text{Im}(z_q)$ 각각의 관계를 나타내는 도면이다.

도 106은 블록 인터리버(25)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 107은 부호 길이 N 과 변조 방식의 조합에 대한 파트 1 및 2의 칼럼수 C , 및, 파트 칼럼 길이 $R1$ 및 $R2$ 를 나타내는 도면이다.

도 108은 블록 인터리버(25)에서 행해지는 블록 인터리브를 설명하는 도면이다.

도 109는 그룹 와이즈 인터리버(24)에서 행해지는 그룹 와이즈 인터리브를 설명하는 도면이다.

도 110은 부호 길이 N 이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제1 예를 나타내는 도면이다.

도 111은 부호 길이 N 이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제2 예를 나타내는 도면이다.

도 112는 부호 길이 N 이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제3 예를 나타내는 도면이다.

도 113은 부호 길이 N 이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제4 예를 나타내는 도면이다.

도 114는 부호 길이 N 이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제1 예를 나타내는 도면이다.

도 115는 부호 길이 N 이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제2 예를 나타내는 도면이다.

도 116은 부호 길이 N 이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제3 예를 나타내는 도면이다.

도 117은 부호 길이 N 이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제4 예를 나타내는 도면이다.

도 118은 수신 장치(12)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 119는 비트 디인터리버(165)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 120은 디매퍼(164), 비트 디인터리버(165) 및 LDPC 디코더(166)가 행하는 처리를 설명하는 흐름도이다.

도 121은 LDPC 부호의 검사 행렬의 예를 나타내는 도면이다.

도 122는 검사 행렬에 행 치환과 열치환을 실시한 행렬(변환 검사 행렬)을 나타내는 도면이다.

도 123은 5×5 단위로 분할한 변환 검사 행렬을 나타내는 도면이다.

도 124는 노드 연산을 P 개 묶어서 행하는 복호 장치의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 125는 LDPC 디코더(166)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 126은 블록 디인터리버(54)의 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 127은 비트 디인터리버(165)의 다른 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 128은 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제1 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 129는 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제2 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 130은 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제3 구성예를 나타내는 블록도이다.

도 131은 본 기술을 적용한 컴퓨터의 일 실시 형태의 구성예를 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 본 기술의 실시 형태에 대해서 설명하지만, 그 전에, LDPC 부호에 대해서 설명한다.

[0026] <LDPC 부호>

[0027] 또한, LDPC 부호는, 선형 부호이며, 반드시 2진일 필요는 없지만, 여기에서는, 2진인 것으로 해서 설명한다.

- [0028] LDPC 부호는, 그 LDPC 부호를 정의하는 검사 행렬(parity check matrix)이 성긴 것임을 최대의 특징으로 한다. 여기서, 성긴 행렬이란, 행렬의 요소 "1"의 개수가 매우 적은 행렬(대부분의 요소가 0인 행렬)이다.
- [0029] 도 1은, LDPC 부호의 검사 행렬 H의 예를 나타내는 도면이다.
- [0030] 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.
- [0031] LDPC 부호에 의한 부호화(LDPC 부호화)에서는, 예를 들어 검사 행렬 H에 기초하여 생성 행렬 G를 생성하고, 이 생성 행렬 G를 2진 정보 비트에 대하여 승산함으로써, 부호어(LDPC 부호)가 생성된다.
- [0032] 구체적으로는, LDPC 부호화를 행하는 부호화 장치는, 우선, 검사 행렬 H의 전치 행렬 H^T 와 사이에, 식 $GH^T=0$ 이 성립하는 생성 행렬 G를 산출한다. 여기서, 생성 행렬 G가, $K \times N$ 행렬인 경우에는, 부호화 장치는, 생성 행렬 G에 대하여 K 비트를 포함하는 정보 비트의 비트 열(벡터 u)을 승산하고, N 비트를 포함하는 부호어 $c(=uG)$ 를 생성한다. 이 부호화 장치에 의해 생성된 부호어(LDPC 부호)는 소정의 통신로를 통해서 수신측에 있어서 수신된다.
- [0033] LDPC 부호의 복호는, Gallager가 확률 복호(Probabilistic Decoding)라고 칭하여 제안한 알고리즘이며, 배리어블 노드(variable node(메시지 노드(message node)라고도 불림))와, 체크 노드(check node)를 포함하는, 소위 테너 그래프(Tanner graph) 상에서의 확률 전파(belief propagation)에 의한 메시지 패싱 알고리즘에 의해 행하는 것이 가능하다. 여기서, 이하, 적절히, 배리어블 노드와 체크 노드를, 단순히, 노드라고도 한다.
- [0034] 도 2는, LDPC 부호의 복호 수순을 나타내는 흐름도이다.
- [0035] 또한, 이하, 적절히, 수신측에서 수신한 LDPC 부호(1부호어)의 i번째 부호 비트의, 값의 "0"다음을 대수 우도비(log likelihood ratio)로 표현한 실수값(수신 LLR)을 수신값 u_{0i} 라고도 한다. 또한, 체크 노드로부터 출력되는 메시지를 u_j 라 하고, 배리어블 노드로부터 출력되는 메시지를 v_i 라 한다.
- [0036] 우선, LDPC 부호의 복호에 있어서는, 도 2에 도시한 바와 같이, 스텝 S11에 있어서, LDPC 부호가 수신되고, 메시지(체크 노드 메시지) u_j 가 "0"으로 초기화됨과 함께, 반복 처리의 카운터로서의 정수를 취하는 변수 k가 "0"으로 초기화되고, 스텝 S12로 진행한다. 스텝 S12에 있어서, LDPC 부호를 수신해서 얻어지는 수신값 u_{0i} 에 기초하여, 수학적 식 1에 나타내는 연산(배리어블 노드 연산)을 행함으로써 메시지(배리어블 노드 메시지) v_i 가 구해지고 또한 이 메시지 v_i 에 기초하여, 수학적 식 2에 나타내는 연산(체크 노드 연산)을 행함으로써 메시지 u_j 가 구해진다.

수학적 식 1

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

[0037]

수학적 식 2

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

[0038]

- [0039] 여기서, 수학적 식 1과 수학적 식 2에 있어서의 d_v 와 d_c 는, 각각, 검사 행렬 H의 세로 방향(열)과 가로 방향(행)의 "1"의 개수를 나타내는 임의로 선택 가능하게 되는 파라미터이다. 예를 들어, 도 1에 도시한 바와 같은 열 가중치가 3이고, 행 가중치가 6인 검사 행렬 H에 대한 LDPC 부호((3,6) LDPC 부호)의 경우에는, $d_v=3$, $d_c=6$ 으로 된

다.

[0040] 또한, 수학적 식 1의 배리어블 노드 연산 및 수학적 식 2의 체크 노드 연산에 있어서는, 각각, 메시지를 출력하려고 하는 가지(edge)(배리어블 노드와 체크 노드를 연결하는 선)로부터 입력된 메시지를, 연산의 대상으로 하지 않기 때문에, 연산의 범위가, 1 내지 d_v-1 또는 1 내지 d_c-1 로 되어 있다. 또한, 수학적 식 2의 체크 노드 연산은, 실제로는, 2 입력 v_1, v_2 에 대한 1 출력으로 정의되는 수학적 식 3에 나타내는 함수 $R(v_1, v_2)$ 의 테이블을 미리 작성해 두고, 이것을 수학적 식 4에 나타내는 바와 같이 연속적(재귀적)으로 사용함으로써 행해진다.

수학적 식 3

$$[0041] \quad x = 2 \tanh^{-1} \{ \tanh(v_1/2) \tanh(v_2/2) \} = R(v_1, v_2)$$

수학적 식 4

$$[0042] \quad u_j = R(v_1, R(v_2, R(v_3, \dots R(v_{d_c-2}, v_{d_c-1})))$$

[0043] 스텝 S12에서는 또한 변수 k 가 "1"만큼 인크리먼트되고, 스텝 S13으로 진행한다. 스텝 S13에서는, 변수 k 가 소정의 반복 복호 횟수 C 보다 큰지의 여부가 판정된다. 스텝 S13에 있어서, 변수 k 가 C 보다 크지 않다고 판정된 경우, 스텝 S12로 돌아가서, 이하, 마찬가지로 처리가 반복된다.

[0044] 또한, 스텝 S13에 있어서, 변수 k 가 C 보다 크다고 판정된 경우, 스텝 S14로 진행하고, 수학적 식 5에 나타내는 연산을 행함으로써 최종적으로 출력하는 복호 결과로서의 메시지 v_i 가 구해져서 출력되고, LDPC 부호의 복호 처리가 종료된다.

수학적 식 5

$$[0045] \quad v_i = u_{0i} + \sum_{j=1}^{d_v} u_j$$

[0046] 여기서, 수학적 식 5의 연산은, 수학적 식 1의 배리어블 노드 연산과는 달리, 배리어블 노드에 접속되어 있는 모든 가지로부터의 메시지 u_j 를 사용해서 행해진다.

[0047] 도 3은, (3,6) LDPC 부호(부호화율 1/2, 부호 길이 12)의 검사 행렬 H 의 예를 나타내는 도면이다.

[0048] 도 3의 검사 행렬 H 에서는, 도 1과 마찬가지로, 열의 가중치가 3, 행의 가중치가 6으로, 각각 되어 있다.

[0049] 도 4는, 도 3의 검사 행렬 H 의 태너 그래프를 나타내는 도면이다.

[0050] 여기서, 도 4에 있어서, 플러스 "+"로 표시되는 것이, 체크 노드이고, 이퀄 "="로 표시되는 것이, 배리어블 노드이다. 체크 노드와 배리어블 노드는, 각각 검사 행렬 H 의 행과 열에 대응한다. 체크 노드와 배리어블 노드 사이의 결선은, 가지(edge)이며, 검사 행렬의 요소 "1"에 상당한다.

[0051] 즉, 검사 행렬의 제 j 행 제 i 열의 요소가 1인 경우에는, 도 4에 있어서, 위에서부터 i 번째 배리어블 노드("="의 노드)와, 위에서부터 j 번째 체크 노드("+의 노드)가, 가지에 의해 접속된다. 가지는, 배리어블 노드에 대응하는 부호 비트가, 체크 노드에 대응하는 구속 조건을 갖는 것을 나타낸다.

[0052] LDPC 부호의 복호 방법인 섬 프로덕트 알고리즘(Sum Product Algorithm)에서는, 배리어블 노드 연산과 체크 노드 연산이 반복해서 행해진다.

[0053] 도 5는, 배리어블 노드에서 행해지는 배리어블 노드 연산을 나타내는 도면이다.

[0054] 배리어블 노드에서는, 계산하려고 하는 가지에 대응하는 메시지 v_i 는, 배리어블 노드에 연결되어 있는 나머지 가지로부터의 메시지 u_1 및 u_2 와, 수신값 u_{0i} 를 사용한 수학적 식 1의 배리어블 노드 연산에 의해 구해진다. 다른 가지에 대응하는 메시지도 마찬가지로 구해진다.

[0055] 도 6은, 체크 노드에서 행해지는 체크 노드 연산을 나타내는 도면이다.

[0056] 여기서, 수학적 식 2의 체크 노드 연산은, 식 $a \times b = \exp\{\ln(|a|) + \ln(|b|)\} \times \text{sign}(a) \times \text{sign}(b)$ 의 관계를 이용하여, 수학적 식 6으로 바꿔 쓸 수 있다. 단, $\text{sign}(x)$ 는 $x \geq 0$ 일 때 1이며, $x < 0$ 일 때 -1이다.

수학적 식 6

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

[0057]

[0058] $x \geq 0$ 에 있어서, 함수 $\phi(x)$ 를 수학적 식 $\phi(x) = \ln(\tanh(x/2))$ 라 정의하면, 수학적 식 $\phi^{-1}(x) = 2 \tanh^{-1}(e^{-x})$ 가 성립되기 때문에, 수학적 식 6은 수학적 식 7로 변형될 수 있다.

수학적 식 7

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

[0059]

[0060] 체크 노드에서는, 수학적 식 2의 체크 노드 연산이, 수학적 식 7에 따라서 행해진다.

[0061] 즉, 체크 노드에서는, 도 6과 같이, 계산하려고 하는 가지에 대응하는 메시지 u_j 는, 체크 노드에 연결되어 있는 나머지 가지로부터의 메시지 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 를 사용한 수학적 식 7의 체크 노드 연산에 의해 구해진다. 다른 가지에 대응하는 메시지도 마찬가지로 구해진다.

[0062] 또한, 수학적 식 7의 함수 $\phi(x)$ 는 식 $\phi(x) = \ln((e^x + 1)/(e^x - 1))$ 로 표시할 수 있고, $x > 0$ 에 있어서, $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$ 이다. 함수 $\phi(x)$ 및 $\phi^{-1}(x)$ 를 하드웨어에 실장할 때에는, LUT(Look Up Table)를 사용해서 실장되는 경우가 있지만, 양자 모두 동일한 LUT로 된다.

[0063] <본 기술을 적용한 전송 시스템의 구성예>

[0064] 도 7은, 본 기술을 적용한 전송 시스템(시스템이란, 복수의 장치가 논리적으로 집합한 것을 의미하며, 각 구성의 장치가 동일 하우징 안에 있는지 여부는, 묻지 않음)의 일 실시 형태의 구성예를 나타내는 도면이다.

[0065] 도 7에 있어서, 전송 시스템은, 송신 장치(11)와 수신 장치(12)로 구성된다.

[0066] 송신 장치(11)는, 예를 들어 텔레비전 방송의 프로그램 등의 송신(방송)(전송)을 행한다. 즉, 송신 장치(11)는, 예를 들어 프로그램으로서의 화상 데이터나 음성 데이터 등의, 송신의 대상인 대상 데이터를 LDPC 부호로 부호화하고, 예를 들어 위성 회선이나, 지상파, 케이블(유선 회선) 등의 통신로(13)를 통해서 송신한다.

- [0067] 수신 장치(12)는, 송신 장치(11)로부터 통신로(13)를 통해서 송신되어 오는 LDPC 부호를 수신하고, 대상 데이터로 복호해서 출력한다.
- [0068] 여기서, 도 7의 전송 시스템에서 사용되는 LDPC 부호는, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 통신로에서 매우 높은 능력을 발휘하는 것이 알려져 있다.
- [0069] 한편, 통신로(13)에서는, 버스트(burst) 오류나 이레이저(erasure)을 발생하는 경우가 있다. 예를 들어, 특히, 통신로(13)가 지상파인 경우, 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, 특정한 심벌의 파워가 0으로 되어 버리는(erasure) 경우가 있다.
- [0070] 또한, 플러터(flutter)(지연이 0이고 도플러(doppler) 주파수가 걸린 echo가 가산되는 통신로)에서도, D/U가 0dB인 경우에는, 도플러 주파수에 의해, 특정한 시각의 OFDM의 심벌 전체의 파워가 0으로 되는(erasure) 경우가 발생한다.
- [0071] 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 전원 불안정성에 의해, 버스트 오류가 발생하는 경우가 있다.
- [0072] 한편, LDPC 부호의 복호에 있어서는, 검사 행렬 H의 열, 나아가서는, LDPC 부호의 부호 비트에 대응하는 배리어블 노드에 있어서, 전술한 도 5에 도시한 바와 같이, LDPC 부호의 부호 비트(의 수신값 u_{0i})의 가산을 수반하는 수학적 1의 배리어블 노드 연산이 행해지기 때문에, 그 배리어블 노드 연산에 사용되는 부호 비트에 에러가 발생하면, 구해지는 메시지의 정밀도가 저하된다.
- [0073] 그리고, LDPC 부호의 복호에서는, 체크 노드에 있어서, 그 체크 노드에 연결되어 있는 배리어블 노드에서 구해지는 메시지를 사용하여, 수학적 7의 체크 노드 연산이 행해지기 때문에, 연결되어 있는 복수의 배리어블 노드(에 대응하는 LDPC 부호의 부호 비트)가 동시에 에러(이레이저를 포함함)로 되는 체크 노드의 수가 많아지면, 복호의 성능이 열화된다.
- [0074] 즉, 예를 들어 체크 노드는, 그 체크 노드에 연결되어 있는 배리어블 노드의 2개 이상이 동시에 이레이저가 되면, 전체 배리어블 노드에, 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를 되돌린다. 이 경우, 등확률인 메시지를 되돌리는 체크 노드는, 1회의 복호 처리(1세트의 배리어블 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 증대된다.
- [0075] 따라서, 도 7의 전송 시스템에서는, AWGN 통신로(AWGN 채널)에서의 성능을 유지하면서, 버스트 오류나 이레이저에의 내성을 향상시키는 것이 가능하게 되어 있다.
- [0076] <송신 장치(11)의 구성예>
- [0077] 도 8은 도 7의 송신 장치(11)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0078] 송신 장치(11)에서는, 대상 데이터로서의 1 이상의 인풋 스트림(Input Streams)이 모드 어댑테이션/멀티플렉서(Mode Adaptation/Multiplexer)(111)에 공급된다.
- [0079] 모드 어댑테이션/멀티플렉서(111)는, 모드 선택 및 거기에 공급되는 1 이상의 인풋 스트림의 다중화 등의 처리를 필요에 따라서 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, 패더(padder)(112)에 공급한다.
- [0080] 패더(112)는, 모드 어댑테이션/멀티플렉서(111)로부터의 데이터에 대하여 필요한 제로 채우기(Null의 삽입)를 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, BB 스캐램블러(BB Scrambler)(113)에 공급한다.
- [0081] BB 스캐램블러(113)는, 패더(112)로부터의 데이터에, BB 스캐램블(Base-Band Scrambling)을 실시하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, BCH 인코더(BCH encoder)(114)에 공급한다.
- [0082] BCH 인코더(114)는, BB 스캐램블러(113)로부터의 데이터를 BCH 부호화하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, LDPC 부호화의 대상인 LDPC 대상 데이터로 하여, LDPC 인코더(LDPC encoder)(115)에 공급한다.
- [0083] LDPC 인코더(115)는, BCH 인코더(114)로부터의 LDPC 대상 데이터에 대해서, LDPC 부호의 패리티 비트에 대응하는 부분인 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬을 따른 LDPC 부호화를 행하고, LDPC 대상 데이터를

정보 비트로 하는 LDPC 부호를 출력한다.

- [0084] 즉, LDPC 인코더(115)는, LDPC 대상 데이터를, 예를 들어 DVB-S.2나, DVB-T.2, DVB-C.2 등의 소정의 규격에 규정되어 있는(검사 행렬에 대응하는) LDPC 부호나, ATSC3.0으로 채용 예정인(검사 행렬에 대응하는) LDPC 부호 등에 부호화하는 LDPC 부호화를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를 출력한다.
- [0085] 여기서, DVB-T.2의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호나, ATSC3.0으로 채용 예정인 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.
- [0086] LDPC 인코더(115)가 출력하는 LDPC 부호는, 비트 인터리버(Bit Interleaver)(116)에 공급된다.
- [0087] 비트 인터리버(116)는, LDPC 인코더(115)로부터의 LDPC 부호에 대해서, 후술하는 비트 인터리브를 행하고, 그 비트 인터리브 후의 LDPC 부호를, 매퍼(Mapper)(117)에 공급한다.
- [0088] 매퍼(117)는, 비트 인터리버(116)로부터의 LDPC 부호를, 그 LDPC 부호의 1비트 이상의 부호 비트의 단위(심벌 단위)로, 직교 변조의 하나의 심벌을 나타내는 신호점에 매핑해서 직교 변조(다치 변조)를 행한다.
- [0089] 즉, 매퍼(117)는, 비트 인터리버(116)로부터의 LDPC 부호를, 반송파와 동상의 I성분을 나타내는 I축과, 반송파와 직교하는 Q성분을 나타내는 Q축으로 규정되는 IQ 평면(IQ 콘스텔레이션) 상의, LDPC 부호의 직교 변조를 행하는 변조 방식으로 정하는 신호점에 매핑해서 직교 변조를 행한다.
- [0090] 매퍼(117)에서 행해지는 직교 변조의 변조 방식으로 정하는 신호점의 수가, 2^m 개인 경우, LDPC 부호의 m 비트의 부호 비트를, 심벌(1 심벌)이라 하고, 매퍼(117)에서는, 비트 인터리버(116)로부터의 LDPC 부호가, 심벌 단위로, 2^m 개의 신호점 중, 심벌을 나타내는 신호점에 매핑된다.
- [0091] 여기서, 매퍼(117)에서 행해지는 직교 변조의 변조 방식으로는, 예를 들어 DVB-T.2의 규격 등에 규정되어 있는 변조 방식이나, ATSC3.0으로 채용 예정인 변조 방식, 그 밖의 변조 방식, 즉, 예를 들어 BPSK(Binary Phase Shift Keying)나, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 8PSK(Phase-Shift Keying), 16APSK(Amplitude Phase-Shift Keying), 32APSK, 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM, 4PAM(Pulse Amplitude Modulation) 등이 있다. 매퍼(117)에 있어서, 어느 변조 방식에 의한 직교 변조가 행해질지는, 예를 들어 송신 장치(11)의 오퍼레이터 조작 등에 따라서, 미리 설정된다.
- [0092] 매퍼(117)에서의 처리에 의해 얻어지는 데이터(심벌을 신호점에 매핑한 매핑 결과)는 시간 인터리버(Time Interleaver)(118)에 공급된다.
- [0093] 시간 인터리버(118)는, 매퍼(117)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위로의 시간 인터리브(시간 방향의 인터리브)를 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, SISO/MISO 인코더(SISO/MISO(Single Input Single Output/Multiple Input Single Output) encoder)(119)에 공급한다.
- [0094] SISO/MISO 인코더(119)는, 시간 인터리버(118)로부터의 데이터에, 시공간 부호화를 실시하고, 주파수 인터리버(Frequency Interleaver)(120)에 공급한다.
- [0095] 주파수 인터리버(120)는, SISO/MISO 인코더(119)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위로의 주파수 인터리브(주파수 방향의 인터리브)를 행하고, 프레임 빌더/리소스 할로케이션부(Frame Builder & Resource Allocation)(131)에 공급한다.
- [0096] 한편, BCH 인코더(121)에는, 예를 들어 BB 시그널링(Base Band Signalling)(BB Header) 등의 전송 제어용 제어 데이터(signalling)가 공급된다.
- [0097] BCH 인코더(121)는, 거기에 공급되는 제어 데이터를, BCH 인코더(114)와 마찬가지로 BCH 부호화하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, LDPC 인코더(122)에 공급한다.
- [0098] LDPC 인코더(122)는, BCH 인코더(121)로부터의 데이터를, LDPC 대상 데이터로 하여, LDPC 인코더(115)와 마찬가지로 LDPC 부호화하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를, 매퍼(123)에 공급한다.
- [0099] 매퍼(123)는, 매퍼(117)과 마찬가지로, LDPC 인코더(122)로부터의 LDPC 부호를, 그 LDPC 부호의 1비트 이상의

부호 비트의 단위(심벌 단위)로, 직교 변조의 하나의 심벌을 나타내는 신호점에 매핑해서 직교 변조를 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, 주파수 인터리버(124)에 공급한다.

- [0100] 주파수 인터리버(124)는, 주파수 인터리버(120)와 마찬가지로, 매퍼(123)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위의 주파수 인터리브를 행하고, 프레임 빌더/리소스 할로케이션부(131)에 공급한다.
- [0101] 프레임 빌더/리소스 할로케이션부(131)는, 주파수 인터리버(120 및 124)로부터의 데이터(심벌)의 필요한 위치에, 파일럿(Pilot)의 심벌을 삽입하고, 그 결과 얻어지는 데이터(심벌)로부터, 소정의 수의 심벌로 구성되는 프레임(예를 들어, PL(Physical Layer) 프레임이나, T2 프레임, C2 프레임 등)을 구성하여, OFDM 생성부(OFDM generation)(132)에 공급한다.
- [0102] OFDM 생성부(132)는, 프레임 빌더/리소스 할로케이션부(131)로부터의 프레임으로부터, 그 프레임에 대응하는 OFDM 신호를 생성하고, 통신로(13)(도 7)를 통해서 송신한다.
- [0103] 또한, 송신 장치(11)는, 예를 들어 시간 인터리버(118), SISO/MISO 인코더(119), 주파수 인터리버(120) 및 주파수 인터리버(124) 등의, 도 8에 도시한 블록의 일부를 설치하지 않고 구성할 수 있다.
- [0104] <비트 인터리버(116)의 구성예>
- [0105] 도 9는 도 8의 비트 인터리버(116)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0106] 비트 인터리버(116)는, 데이터를 인터리브하는 기능을 가지며, 패리티 인터리버(Parity Interleaver)(23), 그룹 와이즈 인터리버(Group-Wise Interleaver)(24) 및 블록 인터리버(Block Interleaver)(25)로 구성된다.
- [0107] 패리티 인터리버(23)는, LDPC 인코더(115)로부터의 LDPC 부호의 패리티비트를, 다른 패리티 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브를 행하고, 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를, 그룹 와이즈 인터리버(24)에 공급한다.
- [0108] 그룹 와이즈 인터리버(24)는, 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호에 대해서, 그룹 와이즈 인터리브를 행하고, 그 그룹 와이즈 인터리브 후의 LDPC 부호를, 블록 인터리버(25)에 공급한다.
- [0109] 여기서, 그룹 와이즈 인터리브에서는, 1부호분의 LDPC 부호를, 그 선두로부터, 후술하는 순회 구조의 단위의 열 수 P와 똑같은 360비트 단위로 구분한, 그 1 구분의 360비트를, 비트 그룹으로서, 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호가, 비트 그룹 단위로 인터리브된다.
- [0110] 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 경우에는, 그룹 와이즈 인터리브를 행하지 않는 경우에 비교하여 에러율을 향상시킬 수 있고, 그 결과, 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있다.
- [0111] 블록 인터리버(25)는, 그룹 와이즈 인터리버(24)로부터의 LDPC 부호를 역다중화하기 위한 블록 인터리브를 행함으로써, 1부호분의 LDPC 부호를, 매핑의 단위인 m 비트의 심벌로 심벌화하고, 매퍼(117)(도 8)에 공급한다.
- [0112] 여기서, 블록 인터리브에서는, 예를 들어 칼럼(column)(세로) 방향으로 소정의 비트수를 기억하는 기억 영역으로서의 칼럼이, 로우(row)(가로) 방향으로, 심벌의 비트수 m과 똑같은 수만큼 배열한 기억 영역에 대하여, 그룹 와이즈 인터리버(24)로부터의 LDPC 부호가, 칼럼 방향으로 기입되고, 로우 방향으로 관독됨으로써, 1부호분의 LDPC 부호가, m 비트의 심벌로 된다.
- [0113] <LDPC 부호의 검사 행렬>
- [0114] 도 10은, 도 8의 LDPC 인코더(115)로 LDPC 부호화에 사용되는 검사 행렬 H를 나타내는 도면이다.
- [0115] 검사 행렬 H는, LDGM(Low-Density Generation Matrix) 구조로 되어 있으며, LDPC 부호의 부호 비트 중, 정보 비트에 대응하는 부분의 정보 행렬 H_A 와, 패리티 비트에 대응하는 패리티 행렬 H_T 에 의해, 식 $H=[H_A|H_T]$ (정보 행렬 H_A 의 요소를 좌측의 요소로 하고, 패리티 행렬 H_T 의 요소를 우측의 요소로 하는 행렬)로 나타낼 수 있다.
- [0116] 여기서, 1부호의 LDPC 부호(1부호어)의 부호 비트 중 정보 비트의 비트수와, 패리티 비트의 비트수를, 각각, 정보 길이 K와, 패리티 길이 M으로 함과 함께, 1개의 LDPC 부호의 부호 비트의 비트수를, 부호 길이 $N(=K+M)$ 이라 한다.
- [0117] 어떤 부호 길이 N인 LDPC 부호에 관한 정보 길이 K와 패리티 길이 M은, 부호화율에 의해 결정된다. 또한, 검사 행렬 H는, 행×열이 $M \times N$ 의 행렬로 된다. 그리고, 정보 행렬 H_A 는, $M \times K$ 의 행렬로 되고, 패리티 행렬 H_T 는, $M \times$

M의 행렬로 된다.

- [0118] 도 11은, 도 8의 LDPC 인코더(115)로 LDPC 부호화에 사용되는 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T 의 예를 나타내는 도면이다.
- [0119] LDPC 인코더(115)로 LDPC 부호화에 사용되는 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T 는, 예를 들어 DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T 와 마찬가지로 되어 있다.
- [0120] DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 패리티 행렬 H_T 는, 도 11에 도시한 바와 같이, 1의 요소가, 말하자면 계단 형상으로 배열하는 계단 구조의 행렬(lower bidiagonal matrix)로 되어 있다. 패리티 행렬 H_T 의 행 가중치는 1행째에 대해서는 1이고, 나머지 모든 행에 대해서는 2로 되어 있다. 또한, 열 가중치는, 최후의 1열에 대해서는 1이고, 나머지 모든 열에서 2로 되어 있다.
- [0121] 이상과 같이, 패리티 행렬 H_T 가 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬 H의 LDPC 부호는, 그 검사 행렬 H를 사용하여, 용이하게 생성할 수 있다.
- [0122] 즉, LDPC 부호(1부호어)를, 행 벡터 c로 나타냄과 함께, 그 행 벡터를 전치해서 얻어지는 열 벡터를, c^T 로 나타낸다. 또한, LDPC 부호인 행 벡터 c 중, 정보 비트의 부분을, 행 벡터 A로 나타냄과 함께, 패리티 비트의 부분을, 행 벡터 T로 나타내기로 한다.
- [0123] 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.
- [0124] 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_T 가, 도 11에 도시한 계단 구조로 되어 있는 경우에는, 식 $Hc^T=0$ 에 있어서의 열 벡터 Hc^T 의 1행째의 요소로부터 순서대로, 각 행의 요소를 0으로 해가게 함으로써, 축차적으로(순서대로) 구할 수 있다.
- [0125] 도 12는, DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0126] DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 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.
- [0127] 여기서, $KX+K3+M-1+1$ 은, 부호 길이 N과 똑같다.
- [0128] 도 13은, DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 각 부호화를 r에 관한, 열수 KX, K3 및 M, 및, 열 가중치 X를 나타내는 도면이다.
- [0129] DVB-T.2 등의 규격에서는, 64800비트와 16200비트의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있다.
- [0130] 그리고, 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 9/10가 규정되어 있고, 부호 길이 N이 16200비트의 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.
- [0131] 여기서, 이하, 64800비트의 부호 길이 N을, 64k 비트라고도 하며, 16200비트의 부호 길이 N을, 16k 비트라고도 한다.
- [0132] LDPC 부호에 대해서는, 검사 행렬 H의 열 가중치가 큰 열에 대응하는 부호 비트일수록, 에러율이 낮은 경향이 있다.
- [0133] 도 12 및 도 13에 나타낸, DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 검사 행렬 H에서는, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 그 검사 행렬 H에 대응하는 LDPC 부호에 대해서는, 선두의 부호 비트일수록, 에러에 강하게(에러에 대한 내성이 있어), 종료의 부호 비트일수록, 에러에 약한 경향이 있다.
- [0134] <패리티 인터리브>
- [0135] 도 14 내지 도 16을 참조하여, 도 9의 패리티 인터리버(23)에 의한 패리티 인터리브에 대해서 설명한다.

- [0136] 도 14는, LDPC 부호의 검사 행렬의 테너 그래프(의 일부)의 예를 나타내는 도면이다.
- [0137] 체크 노드는, 도 14에 도시한 바와 같이, 그 체크 노드에 연결되어 있는 배리어블 노드(에 대응하는 부호 비트)의 2개 등의 복수가 동시에 이레이저 등의 에러로 되면, 그 체크 노드에 연결되어 있는 전체 배리어블 노드로, 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를 되돌린다. 이로 인해, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 복수의 배리어블 노드가 동시에 이레이저 등이 되면, 복호의 성능이 열화된다.
- [0138] 그런데, 도 8의 LDPC 인코더(115)가 출력하는 LDPC 부호는, DVB-S.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호와 마찬가지로, IRA 부호이며, 검사 행렬 H 의 패리티 행렬 H_T 는, 도 11에 도시한 바와 같이, 계단 구조로 되어 있다.
- [0139] 도 15는, 도 11에 도시한 바와 같이, 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T 와, 그 패리티 행렬 H_T 에 대응하는 테너 그래프의 예를 나타내는 도면이다.
- [0140] 도 15의 A는, 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T 의 예를 나타내고 있고, 도 15의 B는, 도 15의 A의 패리티 행렬 H_T 에 대응하는 테너 그래프를 나타내고 있다.
- [0141] 계단 구조로 되어 있는 패리티 행렬 H_T 에서는, 각 행에 있어서, 1의 요소가 인접한다(1행째를 제외함). 이로 인해, 패리티 행렬 H_T 의 테너 그래프에 있어서, 패리티 행렬 H_T 의 값이 1로 되어 있는 인접하는 2개의 요소의 열에 대응하는, 인접하는 2개의 배리어블 노드는, 동일한 체크 노드에 연결되어 있다.
- [0142] 따라서, 버스트 오류나 이레이저 등에 의해, 전술한 인접하는 2개의 배리어블 노드에 대응하는 패리티 비트가 동시에 에러로 되면, 그 에러로 된 2개의 패리티 비트에 대응하는 2개의 배리어블 노드(패리티 비트를 사용해서 메시지를 구하는 배리어블 노드)에 연결되어 있는 체크 노드는, 값이 0일 확률과 1일 확률이 등확률인 메시지를, 그 체크 노드에 연결되어 있는 배리어블 노드로 되돌리기 때문에, 복호의 성능이 열화된다. 그리고, 버스트 길이(연속해서 에러가 되는 패리티 비트의 비트 수)가 커지면, 등확률인 메시지를 되돌리는 체크 노드가 증가하고, 복호의 성능은, 더욱 열화된다.
- [0143] 따라서, 패리티 인터리버(23)(도 9)는 전술한 복호의 성능 열화를 방지하기 위해서, LDPC 인코더(115)로부터의, LDPC 부호의 패리티 비트를, 다른 패리티 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브를 행한다.
- [0144] 도 16은, 도 9의 패리티 인터리버(23)가 행하는 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H 의 패리티 행렬 H_T 를 나타내는 도면이다.
- [0145] 여기서, LDPC 인코더(115)가 출력하는 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H 의 정보 행렬 H_A 는, DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호에 대응하는 검사 행렬 H 의 정보 행렬과 마찬가지로, 순회 구조로 되어 있다.
- [0146] 순회 구조란, 어떤 열이, 다른 열을 사이클릭 시프트한 것과 일치하고 있는 구조를 말하며, 예를 들어 P열마다, 그 P열의 각 행의 1의 위치가, 그 P열의 최초의 열을, 패리티 길이 M 을 나누어서 얻어지는 값 q 에 비례하는 값만큼, 열방향으로 사이클릭 시프트한 위치로 되어 있는 구조도 포함된다. 이하, 적절히, 순회 구조에 있어서의 P열을, 순회 구조의 단위의 열수라고 한다.
- [0147] DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호로서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 바와 같이, 부호 길이 N 이 64800비트와 16200비트인, 2종류의 LDPC 부호가 있고, 그 2종류의 LDPC 부호 중 어느 것에 대해서도, 순회 구조의 단위의 열수 P 가, 패리티 길이 M 의 약수 중, 1과 M 을 제외한 약수의 하나인 360으로 규정되어 있다.
- [0148] 또한, 패리티 길이 M 은, 부호화율에 따라 상이한 값 q 를 사용하여, 식 $M=q \times P=q \times 360$ 으로 표현되는 소수 이외의 값으로 되어 있다. 따라서, 값 q 도, 순회 구조의 단위의 열수 P 와 마찬가지로, 패리티 길이 M 의 약수 중, 1과 M 을 제외한 약수의 다른 1개이며, 패리티 길이 M 을, 순회 구조의 단위의 열수 P 로 나눔으로써 얻어진다(패리티 길이 M 의 약수인 P 및 q 의 곱은, 패리티 길이 M 이 된다).
- [0149] 패리티 인터리버(23)는, 전술한 바와 같이, 정보 길이를 K 라 하고, 또한 0 이상 P 미만의 정수를 x 라 함과 함께, 0 이상 q 미만의 정수를 y 라 하면, 패리티 인터리브로서, N 비트의 LDPC 부호의 부호 비트 중, $K+qx+y+1$ 번째 부호 비트를, $K+Py+x+1$ 번째 부호 비트의 위치에 인터리브한다.
- [0150] $K+qx+y+1$ 번째 부호 비트 및 $K+Py+x+1$ 번째 부호 비트는, 모두, $K+1$ 번째 이후의 부호 비트이기 때문에, 패리티 비트이며, 따라서, 패리티 인터리브에 의하면, LDPC 부호의 패리티 비트 위치가 이동된다.

- [0151] 이러한 패리티 인터리브에 의하면, 동일한 체크 노드에 연결되는 배리어블 노드(에 대응하는 패리티 비트)가 순회 구조의 단위의 열수 P , 즉, 여기에서는, 360비트만큼 이격되므로, 버스트 길이가 360비트 미만인 경우에는, 동일한 체크 노드에 연결되어 있는 배리어블 노드의 복수가 동시에 에러로 되는 사태를 피할 수 있고, 그 결과, 버스트 오류에 대한 내성을 개선할 수 있다.
- [0152] 또한, $K+qx+y+1$ 번째 부호 비트를, $K+Py+x+1$ 번째 부호 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호는, 원래의 검사 행렬 H 의, $K+qx+y+1$ 번째 열을, $K+Py+x+1$ 번째 열로 치환하는 열치환을 행하여 얻어지는 검사 행렬(이하, 변환 검사 행렬이라고도 함)의 LDPC 부호에 일치한다.
- [0153] 또한, 변환 검사 행렬의 패리티 행렬에는, 도 16에 도시한 바와 같이, P 열(도 16에서는, 360열)을 단위로 하는 의사 순회 구조가 나타난다.
- [0154] 여기서, 의사 순회 구조란, 일부를 제외한 부분이 순회 구조로 되어 있는 구조를 의미한다.
- [0155] DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 실시하여 얻어지는 변환 검사 행렬은, 변환 검사 행렬의 우측 코너 부분에 $360\text{행} \times 360\text{열}$ 의 부분(후술하는 시프트 행렬)에, 1의 요소가 1개만큼 부족하고(0의 요소로 되어 있으며), 그 점에서, (완전한) 순회 구조가 아니라, 소위, 의사 순회 구조로 되어 있다.
- [0156] LDPC 인코더(115)가 출력하는 LDPC 부호의 검사 행렬에 대한 변환 검사 행렬은, DVB-T.2 등의 규격에 규정되어 있는 LDPC 부호의 검사 행렬에 대한 변환 검사 행렬과 마찬가지로, 의사 순회 구조로 되어 있다.
- [0157] 또한, 도 16의 변환 검사 행렬은, 원래의 검사 행렬 H 에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환 외에, 변환 검사 행렬이, 후술하는 구성 행렬로 구성되도록 하기 위한 행의 치환(행 치환)도 실시된 행렬로 되어 있다.
- [0158] 도 17은, 도 8의 LDPC 인코더(115), 비트 인터리버(116) 및 매퍼(117)에서 행해지는 처리를 설명하는 흐름도이다.
- [0159] LDPC 인코더(115)는, BCH 인코더(114)로부터, LDPC 대상 데이터가 공급되는 것을 대기하여, 스텝 S101에 있어서, LDPC 대상 데이터를, LDPC 부호로 부호화하고, 그 LDPC 부호를, 비트 인터리버(116)에 공급하고, 처리는, 스텝 S102로 진행한다.
- [0160] 비트 인터리버(116)는, 스텝 S102에 있어서, LDPC 인코더(115)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 비트 인터리브를 행하고, 그 비트 인터리브에 의해 얻어지는 심벌을, 매퍼(117)에 공급하고, 처리는, 스텝 S103으로 진행한다.
- [0161] 즉, 스텝 S102에서는, 비트 인터리버(116)(도 9)에 있어서, 패리티 인터리버(23)가, LDPC 인코더(115)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 패리티 인터리브를 행하고, 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를, 그룹 와이즈 인터리버(24)에 공급한다.
- [0162] 그룹 와이즈 인터리버(24)는, 패리티 인터리버(23)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 그룹 와이즈 인터리브를 행하고, 블록 인터리버(25)에 공급한다.
- [0163] 블록 인터리버(25)는, 그룹 와이즈 인터리버(24)에 의한 그룹 와이즈 인터리브 후의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 블록 인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 m 비트의 심벌을, 매퍼(117)에 공급한다.
- [0164] 매퍼(117)는, 스텝 S103에 있어서, 블록 인터리버(25)로부터의 심벌을, 매퍼(117)에서 행해지는 직교 변조의 변조 방식으로 정하는 2^m 개의 신호점 중 어느 하나에 매핑해서 직교 변조하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, 시간 인터리버(118)에 공급한다.
- [0165] 이상과 같이, 패리티 인터리브나, 그룹 와이즈 인터리브를 행함으로써, LDPC 부호의 복수의 부호 비트를 1개의 심벌로서 송신하는 경우의 에러율을 향상(개선)시킬 수 있다.
- [0166] 여기서, 도 9에서는, 설명의 편의를 위해, 패리티 인터리브를 행하는 블록인 패리티 인터리버(23)와, 그룹 와이즈 인터리브를 행하는 블록인 그룹 와이즈 인터리버(24)를, 별개로 구성하도록 하였지만, 패리티 인터리버(23)와 그룹 와이즈 인터리버(24)는, 일체적으로 구성할 수 있다.
- [0167] 즉, 패리티 인터리브와, 그룹 와이즈 인터리브와는, 모두, 메모리에 대한 부호 비트의 기입 및 관독에 의해 행할 수 있고, 부호 비트의 기입을 행하는 어드레스(기입 어드레스)를 부호 비트의 관독을 행하는 어드레스(관독

어드레스)로 변환하는 행렬에 의해 나타낼 수 있다.

- [0168] 따라서, 패리티 인터리브를 나타내는 행렬과, 그룹 와이즈 인터리브를 나타내는 행렬을 승산해서 얻어지는 행렬을 구해 두면, 그들 행렬에 의해, 부호 비트를 변환함으로써, 패리티 인터리브를 행하고 또한 그 패리티 인터리브 후의 LDPC 부호를 그룹 와이즈 인터리브한 결과를 얻을 수 있다.
- [0169] 또한, 패리티 인터리버(23)와 그룹 와이즈 인터리버(24) 외에, 블록 인터리버(25)도, 일체적으로 구성하는 것이 가능하다.
- [0170] 즉, 블록 인터리버(25)에서 행해지는 블록 인터리브도, LDPC 부호를 기억하는 메모리의 기입 어드레스를, 판독 어드레스로 변환하는 행렬에 의해 나타낼 수 있다.
- [0171] 따라서, 패리티 인터리브를 나타내는 행렬, 그룹 와이즈 인터리브를 나타내는 행렬 및 블록 인터리브를 나타내는 행렬을 승산해서 얻어지는 행렬을 구해 두면, 그들 행렬에 의해, 패리티 인터리브, 그룹 와이즈 인터리브 및 블록 인터리브를, 일괄하여 행할 수 있다.
- [0172] <LDPC 인코더(115)의 구성예>
- [0173] 도 18은, 도 8의 LDPC 인코더(115)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0174] 또한, 도 8의 LDPC 인코더(122)도, 마찬가지로 구성된다.
- [0175] 도 12 및 도 13에서 설명한 바와 같이, DVB-S.2 등의 규격에서는, 64800비트와 16200비트의 2가지의 부호 길이 N의 LDPC 부호가 규정되어 있다.
- [0176] 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 16200비트의 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 12 및 도 13).
- [0177] LDPC 인코더(115)는, 예를 들어 이러한, 부호 길이 N이 64800비트나 16200비트의 각 부호화율의 LDPC 부호에 의한 부호화(오류 정정 부호화)을 부호 길이 N마다 및 부호화율마다 준비된 검사 행렬 H에 따라서 행할 수 있다.
- [0178] LDPC 인코더(115)는, 부호화 처리부(601)와 기억부(602)로 구성된다.
- [0179] 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 인코더(115)에 공급되는 LDPC 대상 데이터의 LDPC 부호화를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를, 비트 인터리버(116)(도 8)에 공급한다.
- [0180] 즉, 부호화율 설정부(611)는, 예를 들어 오퍼레이터의 조작 등에 따라서, LDPC 부호의 부호 길이 N과 부호화율을 설정한다.
- [0181] 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.
- [0182] 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_A 의 1의 요소를 열방향으로 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다의 주기로 배치해서 검사 행렬 H를 생성하고, 기억부(602)에 저장한다.
- [0183] 정보 비트 판독부(614)는, LDPC 인코더(115)에 공급되는 LDPC 대상 데이터로부터, 정보 길이 K분의 정보 비트를 판독한다(추출한다).
- [0184] 부호화 패리티 연산부(615)는, 검사 행렬 생성부(613)가 생성한 검사 행렬 H를 기억부(602)로부터 판독하고, 그 검사 행렬 H를 사용하여, 정보 비트 판독부(614)가 판독한 정보 비트에 대한 패리티 비트를 소정의 식에 기초하여 산출함으로써, 부호어(LDPC 부호)를 생성한다.
- [0185] 제어부(616)는, 부호화 처리부(601)를 구성하는 각 블록을 제어한다.
- [0186] 기억부(602)에는, 예를 들어 64800비트나 16200비트 등의 부호 길이 N 각각에 관한, 도 12 및 도 13에 나타낸 복수의 부호화율 등 각각에 대응하는 복수의 검사 행렬 초기값 테이블 등이 저장되어 있다. 또한, 기억부(602)는, 부호화 처리부(601)의 처리 상 필요한 데이터를 일시 기억한다.

- [0187] 도 19는, 도 18의 LDPC 인코더(115)의 처리의 예를 설명하는 흐름도이다.
- [0188] 스텝 S201에 있어서, 부호화율 설정부(611)는, LDPC 부호화를 행하는 부호 길이 N 및 부호화율 r 을 결정(설정)한다.
- [0189] 스텝 S202에 있어서, 초기값 테이블 판독부(612)는, 부호화율 설정부(611)에 의해 결정된 부호 길이 N 및 부호화율 r 에 대응하는, 미리 정해진 검사 행렬 초기값 테이블을, 기억부(602)로부터 판독한다.
- [0190] 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 r 의 LDPC 부호의 검사 행렬 H 를 구하고(생성하고), 기억부(602)에 공급해서 저장한다.
- [0191] 스텝 S204에 있어서, 정보 비트 판독부(614)는, LDPC 인코더(115)에 공급되는 LDPC 대상 데이터로부터, 부호화율 설정부(611)에 의해 결정된 부호 길이 N 및 부호화율 r 에 대응하는 정보 길이 $K(=N \times r)$ 의 정보 비트를 판독함과 함께, 검사 행렬 생성부(613)가 구한 검사 행렬 H 를, 기억부(602)로부터 판독하고, 부호화 패리티 연산부(615)에 공급한다.
- [0192] 스텝 S205에 있어서, 부호화 패리티 연산부(615)는, 정보 비트 판독부(614)로부터의 정보 비트와 검사 행렬 H 를 사용하여, 수학식 8을 만족하는 부호어 c 의 패리티 비트를 순차 연산한다.

수학식 8

- [0193] $Hc^T=0$
- [0194] 수학식 8에 있어서, c 는, 부호어(LDPC 부호)로서의 행 벡터를 나타내고, c^T 는, 행 벡터 c 의 전치를 나타낸다.
- [0195] 여기서, 전술한 바와 같이, LDPC 부호(1부호어)로서의 행 벡터 c 중, 정보 비트의 부분을, 행 벡터 A 로 나타냄과 함께, 패리티 비트의 부분을, 행 벡터 T 로 나타내는 경우에는, 행 벡터 c 는, 정보 비트로서의 행 벡터 A 와, 패리티 비트로서의 행 벡터 T 에 의해, 식 $c=[A|T]$ 로 나타낼 수 있다.
- [0196] 검사 행렬 H 와, 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 T 는, 검사 행렬 $H=[H_A|H_T]$ 의 패리티 행렬 H_T 가, 도 11에 도시한 계단 구조로 되어 있는 경우에는, 식 $Hc^T=0$ 에 있어서의 열 벡터 Hc^T 의 1행째의 요소로부터 순서대로, 각 행의 요소를 0으로 해 감으로써, 축차적으로 구할 수 있다.
- [0197] 부호화 패리티 연산부(615)는, 정보 비트 판독부(614)로부터의 정보 비트 A 에 대하여 패리티 비트 T 를 구하고, 그 정보 비트 A 와 패리티 비트 T 에 의해 표시되는 부호어 $c=[A|T]$ 를, 정보 비트 A 의 LDPC 부호화 결과로서 출력한다.
- [0198] 그 후, 스텝 S206에 있어서, 제어부(616)는, LDPC 부호화를 종료할 것인지 여부를 판정한다. 스텝 S206에 있어서, LDPC 부호화를 종료하지 않는다고 판정된 경우, 즉, 예를 들어 LDPC 부호화해야 할 LDPC 대상 데이터가, 아직 있는 경우, 처리는, 스텝 S201(또는, 스텝 S204)로 돌아가서, 이하, 스텝 S201(또는, 스텝 S204) 내지 S206의 처리가 반복된다.
- [0199] 또한, 스텝 S206에 있어서, LDPC 부호화를 종료한다고 판정된 경우, 즉, 예를 들어 LDPC 부호화해야 할 LDPC 대상 데이터가 없는 경우, LDPC 인코더(115)는, 처리를 종료한다.
- [0200] 이상과 같이, 각 부호 길이 N 및 각 부호화율 r 에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블이 준비되어 있고, LDPC 인코더(115)는, 소정의 부호 길이 N 의, 소정의 부호화율 r 의 LDPC 부호화를, 그 소정의 부호 길이 N 및 소정의 부호화율 r 에 대응하는 검사 행렬 초기값 테이블로부터 생성되는 검사 행렬 H 를 사용하여 행한다.
- [0201] <검사 행렬 초기값 테이블의 예>
- [0202] 검사 행렬 초기값 테이블은, 검사 행렬 H 의, LDPC 부호(검사 행렬 H 에 의해 정의되는 LDPC 부호)의 부호 길이 N 및 부호화율 r 에 따른 정보 길이 K 에 대응하는 정보 행렬 H_A (도 10)의 1의 요소의 위치를 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 각 부호 길이 N 및 각 부호화율 r 의 검사 행렬 H 마다, 미리 작성된다.

- [0203] 도 20은, 검사 행렬 초기값 테이블의 예를 나타내는 도면이다.
- [0204] 즉, 도 20은, DVB-T.2의 규격에 규정되어 있는, 부호 길이 N 이 16200비트이고, 부호화율(DVB-T.2의 표기 상의 부호화율) r 이 $1/4$ 인 검사 행렬 H 에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.
- [0205] 검사 행렬 생성부(613)(도 18)는 검사 행렬 초기값 테이블을 사용하여, 이하와 같이, 검사 행렬 H 를 구한다.
- [0206] 도 21은, 검사 행렬 초기값 테이블로부터 검사 행렬 H 를 구하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [0207] 즉, 도 21은, DVB-T.2의 규격에 규정되어 있는, 부호 길이 N 이 16200비트이고, 부호화율 r 이 $2/3$ 인 검사 행렬 H 에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내고 있다.
- [0208] 검사 행렬 초기값 테이블은, 전술한 바와 같이, LDPC 부호의 부호 길이 N 및 부호화율 r 에 따른 정보 길이 K 에 대응하는 정보 행렬 H_A (도 10)의 1의 요소의 위치를, 360열(순회 구조의 단위의 열수 P)마다 나타내는 테이블이며, 그 i 행째에는, 검사 행렬 H 의 $1+360 \times (i-1)$ 열째의 1의 요소의 행 번호(검사 행렬 H 의 1행째의 행 번호를 0으로 하는 행 번호)가 그 $1+360 \times (i-1)$ 열째의 열이 갖는 열 가중치의 수만큼 배열되어 있다.
- [0209] 여기서, 검사 행렬 H 의, 패리티 길이 M 에 대응하는 패리티 행렬 H_T (도 10)는 도 15에 도시한 바와 같이 결정되어 있으므로, 검사 행렬 초기값 테이블에 의하면, 검사 행렬 H 의, 정보 길이 K 에 대응하는 정보 행렬 H_A (도 10)가 구해진다.
- [0210] 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 $k+1$ 은, 정보 길이 K 에 따라 다르다.
- [0211] 정보 길이 K 와, 검사 행렬 초기값 테이블의 행수 $k+1$ 의 사이에는, 수학적 9의 관계가 성립된다.

수학적 9

- [0212] $K=(k+1) \times 360$
- [0213] 여기서, 수학적 9의 360은, 도 16에서 설명한 순회 구조의 단위의 열수 P 이다.
- [0214] 도 21의 검사 행렬 초기값 테이블에서는, 1행째부터 3행째까지, 13개의 수치가 배열하고, 4행째부터 $k+1$ 행째(도 21에서는, 30행째)까지, 3개의 수치가 배열되어 있다.
- [0215] 따라서, 도 21의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H 의 열 가중치는, 1열째부터, $1+360 \times (3-1)-1$ 열째까지는, 13이며, $1+360 \times (3-1)$ 열째부터, K 열째까지는, 3이다.
- [0216] 도 21의 검사 행렬 초기값 테이블의 1행째는, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622로 되어 있고, 이것은, 검사 행렬 H 의 1열째에 있어서, 행 번호가, 0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622의 행 요소가 1인 것(또한, 다른 요소가 0인 것)을 나타내고 있다.
- [0217] 또한, 도 21의 검사 행렬 초기값 테이블의 2행째는, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108로 되어 있고, 이것은, 검사 행렬 H 의 $(361)(=1+360 \times (2-1))$ 열째에 있어서, 행 번호가, 1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108의 행 요소가 1인 것을 나타내고 있다.
- [0218] 이상과 같이, 검사 행렬 초기값 테이블은, 검사 행렬 H 의 정보 행렬 H_A 의 1의 요소의 위치를 360열마다 나타낸다.
- [0219] 검사 행렬 H 의 $1+360 \times (i-1)$ 열째 이외의 열, 즉, $2+360 \times (i-1)$ 열째부터, $360 \times i$ 열째까지의 각 열은, 검사 행렬 초기값 테이블에 의해 정해지는 $1+360 \times (i-1)$ 열째 1의 요소를, 패리티 길이 M 에 따라서 아래 방향(열의 아래 방향)으로, 주기적으로 사이클릭 시프트해서 배치한 것으로 되어 있다.
- [0220] 즉, 예를 들어 $2+360 \times (i-1)$ 열째는, $1+360 \times (i-1)$ 열째를, $M/360(=q)$ 만큼 아래 방향으로 사이클릭 시프트한 것으로 되어 있고, 다음 $3+360 \times (i-1)$ 열째는, $1+360 \times (i-1)$ 열째를, $2 \times M/360(=2 \times q)$ 만큼 아래 방향으로 사이클릭 시프트한 것($2+360 \times (i-1)$ 열째를, $M/360(=q)$ 만큼 아래 방향으로 사이클릭 시프트한 것)으로 되어 있다.
- [0221] 여기서, 검사 행렬 초기값 테이블의 i 행째(위에서부터 i 번째)의 j 열째(왼쪽에서부터 j 번째)의 수치를, $h_{i,j}$ 로 나

타넴과 함께, 검사 행렬 H 의 w 열째, j 개째 1의 요소의 행 번호를, H_{w-j} 로 나타내기로 하면, 검사 행렬 H 의 $1+360 \times (i-1)$ 열째 이외의 열인 w 열째의, 1의 요소의 행 번호 H_{w-j} 는, 수학식 10으로 구할 수 있다.

수학식 10

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

[0222]

여기서, $\text{mod}(x,y)$ 는 x 를 y 로 나눈 나머지를 의미한다.

[0223]

또한, P 는, 전술한 순회 구조의 단위의 열수이며, 예를 들어 DVB-S.2, DVB-T.2 및 DVB-C.2의 규격에서는, 전술한 바와 같이, 360이다. 또한, q 는, 패리티 길이 M 을, 순회 구조의 단위의 열수 $P(=360)$ 로 나눔으로써 얻어지는 값 $M/360$ 이다.

[0224]

검사 행렬 생성부(613)(도 18)는 검사 행렬 초기값 테이블에 의해, 검사 행렬 H 의 $1+360 \times (i-1)$ 열째의 1의 요소의 행 번호를 특정한다.

[0225]

또한, 검사 행렬 생성부(613)(도 18)는 검사 행렬 H 의 $1+360 \times (i-1)$ 열째 이외의 열인 w 열째의, 1의 요소의 행 번호 H_{w-j} 를, 수학식 10에 따라서 구하고, 이상에 의해 얻어진 행 번호의 요소를 1로 하는 검사 행렬 H 를 생성한다.

[0226]

<신 LDPC 부호>

[0227]

그런데, 현재, ATSC3.0이라 불리는, 지상파의 디지털 TV 방송의 규격이 책정 중이다.

[0228]

따라서, ATSC3.0 그 밖의 데이터 전송에 있어서 사용할 수 있는, 새로운 LDPC 부호(이하, 신 LDPC 부호라고도 함)에 대해서 설명한다.

[0229]

또한, 신 LDPC 부호에 대해서는, DVB-T.2 등과의 친화성(compatibility)을 가능한 한 유지하는 관점에서, DVB-T.2 등에 규정되어 있는 LDPC 부호와 마찬가지로, 검사 행렬 H 의 패리티 행렬 H_T 는, 계단 구조로 한다(도 11).

[0230]

또한, 신 LDPC 부호에 대해서는, DVB-T.2 등에 규정되어 있는 LDPC 부호와 마찬가지로, 검사 행렬 H 의 정보 행렬 H_A 는, 순회 구조로 하고, 순회 구조의 단위의 열수 P 는, 360으로 한다.

[0231]

LDPC 인코더(115)(도 8, 도 18)는 이하와 같은, 부호 길이 N 이 16k 비트 또는 64k 비트이고, 부호화율 r 이 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15, 또는, 13/15 중 어느 하나인 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H 를 사용하여, 신 LDPC 부호에의 LDPC 부호화를 행할 수 있다.

[0232]

이 경우, LDPC 인코더(115)(도 8)의 기억부(602)에는, 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블이 기억된다.

[0233]

도 22, 도 23 및 도 24는, 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 7/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (64k,7/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H 에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

[0234]

또한, 도 23은, 도 22에 이어지는 도면이고, 도 24는, 도 23에 이어지는 도면이다.

[0235]

도 25, 도 26 및 도 27은, 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 9/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (64k,9/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H 에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

[0236]

또한, 도 26은, 도 25에 이어지는 도면이고, 도 27은, 도 26에 이어지는 도면이다.

[0237]

도 28, 도 29 및 도 30은, 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 11/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (64k,11/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H 에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

[0238]

또한, 도 29는, 도 28에 이어지는 도면이고, 도 30은, 도 29에 이어지는 도면이다.

[0239]

도 31, 도 32 및 도 33은, 부호 길이 N 이 64k 비트이고, 부호화율 r 이 13/15인 제1 신 LDPC 부호(이하,

[0240]

(64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.

- [0241] 또한, 도 32는, 도 31에 이어지는 도면이고, 도 33은, 도 32에 이어지는 도면이다.
- [0242] 도 34는, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 6/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,6/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0243] 도 35는, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 8/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,8/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0244] 도 36은, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 10/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,10/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0245] 도 37은, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 12/15인 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0246] 도 38은, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 10/15인 다른 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0247] 도 39는, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 12/15인 다른 제1 신 LDPC 부호(이하, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0248] 도 40 및 도 41은, 부호 길이 N이 64k 비트이고, 부호화율 r이 6/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (64k,6/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0249] 또한, 도 41은, 도 40에 이어지는 도면이다.
- [0250] 도 42, 도 43 및 도 44는, 부호 길이 N이 64k 비트이고, 부호화율 r이 8/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (64k,8/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0251] 또한, 도 43은, 도 42에 이어지는 도면이고, 도 44는, 도 43에 이어지는 도면이다.
- [0252] 도 45, 도 46 및 도 47은, 부호 길이 N이 64k 비트이고, 부호화율 r이 10/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (64k,10/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0253] 또한, 도 46은, 도 45에 이어지는 도면이고, 도 47은, 도 46에 이어지는 도면이다.
- [0254] 도 48, 도 49 및 도 50은, 부호 길이 N이 64k 비트이고, 부호화율 r이 12/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0255] 또한, 도 49는, 도 48에 이어지는 도면이고, 도 50은, 도 49에 이어지는 도면이다.
- [0256] 도 51은, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 7/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (16k,7/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0257] 도 52는, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 9/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (16k,9/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0258] 도 53은, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 11/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (16k,11/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0259] 도 54는, 부호 길이 N이 16k 비트이고, 부호화율 r이 13/15인 제2 신 LDPC 부호(이하, (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호라고도 함)의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블을 나타내는 도면이다.
- [0260] 또한, 도 40 내지 도 54의 제2 LDPC 부호(의 검사 행렬 H에 대한 검사 행렬 초기값 테이블)은 Samsung으로부터 제공받은 LDPC 부호이다.
- [0261] 제1 신 LDPC 부호 및 다른 제1 신 LDPC 부호는, 성능이 좋은 LDPC 부호로 되어 있다.

- [0262] 여기서, 성능이 좋은 LDPC 부호란, 적절한 검사 행렬 H 로부터 얻어지는 LDPC 부호이다.
- [0263] 또한, 적절한 검사 행렬 H 란, 검사 행렬 H 로부터 얻어지는 LDPC 부호를, 낮은 E_s/N_0 , 또는 E_b/N_0 (1비트당 신호 전력 대 잡음 전력비)으로 송신했을 때에, BER (및 FER)을 보다 작게 하는, 소정의 조건을 만족하는 검사 행렬이다.
- [0264] 적절한 검사 행렬 H 는, 예를 들어 소정의 조건을 만족하는 다양한 검사 행렬로부터 얻어지는 LDPC 부호를, 낮은 E_s/N_0 으로 송신했을 때의 BER을 예측하는 시뮬레이션을 행함으로써 구할 수 있다.
- [0265] 적절한 검사 행렬 H 가 만족해야 할 소정의 조건으로서, 예를 들어 텐시티 에볼루션(Density Evolution)이라 불리는 부호의 성능 해석법으로 얻어지는 해석 결과가 양호할 것, 사이클 4라고 불리는, 1의 요소 루프가 존재하지 않을 것, 등이 있다.
- [0266] 여기서, 정보 행렬 H_A 에 있어서, 사이클 4와 같이, 1의 요소가 밀집해 있으면, LDPC 부호의 복호 성능이 열화되는 것이 알려져 있고, 이로 인해, 적절한 검사 행렬 H 가 만족해야 할 소정의 조건으로서, 사이클 4가 존재하지 않을 것이 요구된다.
- [0267] 또한, 적절한 검사 행렬 H 가 만족해야 할 소정의 조건은, LDPC 부호의 복호 성능의 향상이나, LDPC 부호의 복호 처리의 용이화(단순화) 등의 관점에서 적절히 결정할 수 있다.
- [0268] 도 55 및 도 56은, 적절한 검사 행렬 H 가 만족해야 할 소정의 조건으로서의 해석 결과가 얻어지는 텐시티 에볼루션을 설명하는 도면이다.
- [0269] 텐시티 에볼루션이란, 후술하는 디그리 시퀀스(degree sequence)에 의해 특징지어지는 부호 길이 N 이 ∞ 인 LDPC 부호 전체(앙상블(ensemble))에 대하여 그 에러 확률의 기대값을 계산하는, 부호의 해석법이다.
- [0270] 예를 들어, AWGN 채널 상에서, 노이즈의 분산값을 0으로부터 점점 크게 해 가면, 어떤 앙상블의 에러 확률의 기대값은, 처음에는 0이지만, 노이즈의 분산값이, 어떤 임계값(threshold) 이상이 되면, 0이 아니게 된다.
- [0271] 텐시티 에볼루션에 의하면, 그 에러 확률의 기대값이 0이 아니게 되는, 노이즈의 분산값의 임계값(이하, 성능 임계값이라고도 함)을 비교함으로써, 앙상블의 성능(검사 행렬의 적절함)의 좋고 나쁨을 정할 수 있다.
- [0272] 또한, 구체적인 LDPC 부호에 대하여 그 LDPC 부호가 속하는 앙상블을 결정하고, 그 앙상블에 대하여 텐시티 에볼루션을 행하면, 그 LDPC 부호가 대략적인 성능을 예상할 수 있다.
- [0273] 따라서, 성능이 좋은 LDPC 부호는, 성능이 좋은 앙상블을 찾으면, 그 앙상블에 속하는 LDPC 부호 중에서 찾을 수 있다.
- [0274] 여기서, 전술한 디그리 시퀀스란, LDPC 부호의 부호 길이 N 에 대하여 각 값의 가중치를 갖는 배리어블 노드나 체크 노드가 어느 정도의 비율만큼 있는지를 나타낸다.
- [0275] 예를 들어, 부호화율이 1/2인 regular(3,6) LDPC 부호는, 모든 배리어블 노드의 가중치(열 가중치)가 3이고, 모든 체크 노드의 가중치(행 가중치)가 6이라고 하는 디그리 시퀀스에 의해 특징지어지는 앙상블에 속한다.
- [0276] 도 55는, 그와 같은 앙상블의 태너 그래프(Tanner graph)를 나타내고 있다.
- [0277] 도 55의 태너 그래프에서는, 도면 중 동그라미 표시($\bigcirc$ 표시)로 나타내는 배리어블 노드가, 부호 길이 N 과 똑같은 N 개만큼 존재하고, 도면 중 사각형($\square$ 표시)으로 나타내는 체크 노드가, 부호 길이 N 에 부호화율 1/2을 승산한 승산값과 똑같은 $N/2$ 개만큼 존재한다.
- [0278] 각 배리어블 노드에는, 열 가중치와 똑같은 3개의 가지(edge)가 접속되어 있으며, 따라서, N 개의 배리어블 노드에 접속되어 있는 가지는, 전부, $3N$ 개만큼 존재한다.
- [0279] 또한, 각 체크 노드에는, 행 가중치와 똑같은 6개의 가지가 접속되어 있으며, 따라서, $N/2$ 개의 체크 노드에 접속되어 있는 가지는, 전부, $3N$ 개만큼 존재한다.
- [0280] 또한, 도 55의 태너 그래프에서는, 1개의 인터리버가 존재한다.
- [0281] 인터리버는, N 개의 배리어블 노드에 접속되어 있는 $3N$ 개의 가지를 랜덤하게 재배열하고, 그 재배열 후의 각 가지를, $N/2$ 개의 체크 노드에 접속되어 있는 $3N$ 개의 가지 중 어느 하나에 연결시킨다.

- [0282] 인터리버에서의, N개의 배리어블 노드에 접속되어 있는 3N개의 가지를 재배열하는 재배열 패턴은, $(3N)! (= (3N) \times (3N-1) \times \dots \times 1)$ 가지만큼 있다. 따라서, 모든 배리어블 노드의 가중치가 3이고, 모든 체크 노드의 가중치가 6이라고 하는 디그리 시퀀스에 의해 특징지어지는 양상블은, $(3N)!$ 개의 LDPC 부호의 집합으로 된다.
- [0283] 성능이 좋은 LDPC 부호(적절한 검사 행렬)를 구하는 시뮬레이션에서는, 텐시티 에블루션에 있어서, 멀티 엣지 타입(multi-edge type)의 양상블을 사용하였다.
- [0284] 멀티 엣지 타입에서는, 배리어블 노드에 접속되어 있는 가지와, 체크 노드에 접속되어 있는 가지가 공유하는 인터리버가, 복수(multi edge)로 분할되고, 이에 의해, 양상블의 특징짓기가, 보다 엄밀하게 행해진다.
- [0285] 도 56은, 멀티 엣지 타입의 양상블의 태너 그래프의 예를 나타내고 있다.
- [0286] 도 56의 태너 그래프에서는, 제1 인터리버와 제2 인터리버의 2개의 인터리버가 존재한다.
- [0287] 또한, 도 56의 태너 그래프에서는, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 1개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 0개인 배리어블 노드가 v1개만큼, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 1개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 2개인 배리어블 노드가 v2개만큼, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 0개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 2개인 배리어블 노드가 v3개만큼, 각각 존재한다.
- [0288] 또한, 도 56의 태너 그래프에서는, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 2개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 0개인 체크 노드가 c1개만큼, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 2개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 2개인 체크 노드가 c2개만큼, 제1 인터리버에 연결되는 가지가 0개이고, 제2 인터리버에 연결되는 가지가 3개의 체크 노드가 c3개만큼, 각각 존재한다.
- [0289] 여기서, 텐시티 에블루션과, 그 실장에 대해서는, 예를 들어 "On the Design of Low-Density Parity-Check Codes within 0.0045dB of the Shannon Limit", S.Y.Chung, G.D. Forney, T.J.Richardson, R.Urbanke, IEEE Communications Letters, VOL.5, NO.2, Feb 2001에 기재되어 있다.
- [0290] 제1 신 LDPC 부호 및, 다른 제1 신 LDPC 부호(의 검사 행렬 초기값 테이블)를 구하는 시뮬레이션에서는, 멀티 엣지 타입의 텐시티 에블루션에 의해, BER이 떨어지기 시작하는(작아져 가는) E_b/N_0 (1비트당 신호 전력 대 잡음 전력비)인 성능 임계값이, 소정값 이하가 되는 양상블을 찾아내고, 그 양상블에 속하는 LDPC 부호 중에서 QPSK 등의 1 이상의 직교 변조를 사용한 경우의 BER을 작게 하는 LDPC 부호를, 성능이 좋은 LDPC 부호로서 선택하였다.
- [0291] 전술한 제1 신 LDPC 부호 및, 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블은, 이상과 같은 시뮬레이션에 의해 구해졌다.
- [0292] 따라서, 이러한 검사 행렬 초기값 테이블로부터 얻어지는 제1 신 LDPC 부호 및, 다른 제1 신 LDPC 부호에 의하면, 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질을 확보할 수 있다.
- [0293] 도 57은, 도 22 내지 도 33의 (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H(이하, 「(64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H」와 같이 기재하기도 함)의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.
- [0294] 여기서, 최소 사이클 길이(girth)란, 검사 행렬 H에 있어서, 1의 요소에 의해 구성되는 루프의 길이(루프 길이)의 최솟값을 의미한다.
- [0295] (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H에는, 어느 쪽에도, 사이클 4(루프 길이가 4인, 1의 요소 루프)는 존재하지 않는다.
- [0296] 또한, (64k,7/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, -0.093751로, (64k,9/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 1.658523로, (64k,11/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 3.351930으로, (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 5.301749로, 각각 되어 있다.
- [0297] 도 58은, 도 22 내지 도 33의 (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0298] (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX1열에 대해서는, 열 가중치가 X1로, 그 후의 KX2열에 대해서는, 열 가중치가 X2로, 그 후의 KY1열에 대해서는,

열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.

- [0299] 여기서, $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ 은, (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 부호 길이 $N=64800$ 비트와 같다.
- [0300] 도 59는, (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 58의 열수 KX1, KX2, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X1, X2, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0301] (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한(에러에 대한 내성이 있는) 경향이 있다.
- [0302] 도 60은, (64k,7/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0303] 도 61은, (64k,9/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0304] 도 62는, (64k,11/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0305] 도 63은, (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0306] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0307] 도 60 내지 도 63에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER/FER을 나타낸다. 또한, 실선이 BER을 나타내고, 점선이 FER을 나타낸다.
- [0308] 도 60 내지 도 63에 의하면, (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER/FER이 얻어지고 있으며, 따라서, (64k,7/15), (64k,9/15), (64k,11/15) 및 (64k,13/15)인 제1 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0309] 도 64는, 도 34 내지 도 37의 (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.
- [0310] (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H에는, 어느 쪽에도, 사이클 4는, 존재하지 않는다.
- [0311] 또한, (16k,6/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 0.01로, (16k,8/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 0.805765로, (16k,10/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 2.471011로, (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 4.269922로, 각각 되어 있다.
- [0312] 도 65는, 도 34 내지 도 37의 (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0313] (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX1열에 대해서는, 열 가중치가 X1로, 그 후의 KX2열에 대해서는, 열 가중치가 X2로, 그 후의 KY1열에 대해서는, 열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.
- [0314] 여기서, $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ 은, (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 부호 길이 $N=16200$ 비트와 같다.
- [0315] 도 66은, (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 65의 열수 KX1, KX2, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X1, X2, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0316] (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라

서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한 경향이 있다.

- [0317] 도 67은, (16k,6/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0318] 도 68은, (16k,8/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0319] 도 69는, (16k,10/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0320] 도 70은, (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0321] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0322] 도 67 내지 도 70에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER/FER을 나타낸다. 또한, 실선이 BER을 나타내고, 점선이 FER을 나타낸다.
- [0323] 도 67 내지 도 70에 의하면, (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER/FER이 얻어지고 있으며, 따라서, (16k,6/15), (16k,8/15), (16k,10/15) 및 (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0324] 도 71은, 도 38의 (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.
- [0325] (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H에는, 사이클 4는, 존재하지 않는다.
- [0326] (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 1.35로 되어 있다.
- [0327] 도 72는, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0328] (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX열에 대해서는, 열 가중치가 X로, 그 후의 KY1열에 대해서는, 열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.
- [0329] 여기서, KX+KY1+KY2+M-1+1은, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 부호 길이 N=16200비트와 같다.
- [0330] 도 73은, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 72의 열수 KX, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0331] (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한 경향이 있다.
- [0332] 도 74는, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 BPSK를 채용하여 행한, BER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0333] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0334] 도 74에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER을 나타낸다.
- [0335] 도 74에 의하면, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER이 얻어지고 있으며, 따라서, (16k,10/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0336] 도 75는, 도 39의 (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 최소 사이클 길이와 성능 임계값을 나타내는 도면이다.

- [0337] (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 초기값 테이블로부터 구해지는 검사 행렬 H에는, 사이클 4는, 존재하지 않는다.
- [0338] 또한, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 성능 임계값은, 4.237556으로 되어 있다.
- [0339] 도 76은, 도 39의 (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0340] (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX1열에 대해서는, 열 가중치가 X1로, 그 후의 KX2열에 대해서는, 열 가중치가 X2로, 그 후의 KY1열에 대해서는, 열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.
- [0341] 여기서, KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1은, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 부호 길이 N=16200비트와 같다.
- [0342] 도 77은, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 76의 열수 KX1, KX2, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X1, X2, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0343] (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한 경향이 있다.
- [0344] 도 78은, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0345] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0346] 도 78에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER/FER을 나타낸다. 또한, 실선이 BER을 나타내고, 점선이 FER을 나타낸다.
- [0347] 도 78에 의하면, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER/FER이 얻어지고 있으며, 따라서, (16k,12/15)인 다른 제1 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0348] 도 79는, 도 40 내지 도 50의 (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0349] (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX1열에 대해서는, 열 가중치가 X1로, 그 후의 KX2열에 대해서는, 열 가중치가 X2로, 그 후의 KY1열에 대해서는, 열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.
- [0350] 여기서, KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1은, (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호의 부호 길이 N=64800비트와 같다.
- [0351] 도 80은, (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 79의 열수 KX1, KX2, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X1, X2, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0352] (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한 경향이 있다.
- [0353] 도 81은, (64k,6/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0354] 도 82는, (64k,8/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0355] 도 83은, (64k,10/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.

- [0356] 도 84는, (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0357] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0358] 도 81 내지 도 84에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER/FER을 나타낸다. 또한, 실선이 BER을 나타내고, 점선이 FER을 나타낸다.
- [0359] 도 81 내지 도 84에 의하면, (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER/FER이 얻어지고 있으며, 따라서, (64k,6/15), (64k,8/15), (64k,10/15) 및 (64k,12/15)인 제2 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0360] 도 85는, 도 51 내지 도 54의 (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H를 설명하는 도면이다.
- [0361] (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 1열째로부터의 KX1열에 대해서는, 열 가중치가 X1로, 그 후의 KX2열에 대해서는, 열 가중치가 X2로, 그 후의 KY1열에 대해서는, 열 가중치가 Y1로, 그 후의 KY2열에 대해서는, 열 가중치가 Y2로, 그 후의 M-1열에 대해서는, 열 가중치가 2로, 최후의 1열에 대해서는, 열 가중치가 1로, 각각 되어 있다.
- [0362] 여기서, KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1은, (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호의 부호 길이 N=16200비트와 같다.
- [0363] 도 86은, (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H의, 도 85의 열수 KX1, KX2, KY1, KY2 및 M, 및, 열 가중치 X1, X2, Y1 및 Y2를 나타내는 도면이다.
- [0364] (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호의 검사 행렬 H에 대해서는, 도 12 및 도 13에서 설명한 검사 행렬과 마찬가지로, 선두측(좌측)의 열일수록, 열 가중치가 큰 경향이 있으며, 따라서, 신 LDPC 부호의 선두 부호 비트일수록, 에러에 강한 경향이 있다.
- [0365] 도 87은, (16k,7/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0366] 도 88은, (16k,9/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0367] 도 89는, (16k,11/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0368] 도 90은, (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서 QPSK를 채용하여 행한, BER/FER을 계측하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0369] 시뮬레이션에서는, LDPC 부호를 복호할 때의 반복 복호 횟수 C로서, 50회를 채용함과 함께, 통신로(13)(도 7)로서, AWGN 채널을 상정하였다.
- [0370] 도 87 내지 도 90에 있어서, 횡축은, E_s/N_0 을 나타내고, 종축은, BER/FER을 나타낸다. 또한, 실선이 BER을 나타내고, 점선이 FER을 나타낸다.
- [0371] 도 87 내지 도 90에 의하면, (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호에 대해서, 양호한 BER/FER이 얻어지고 있으며, 따라서, (16k,7/15), (16k,9/15), (16k,11/15) 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호를 사용한 데이터 전송에 있어서, 양호한 통신 품질이 확보되는 것을 확인할 수 있다.
- [0372] 또한, 도 79 내지 도 90은, Samsung으로부터 제공받은 데이터에 기초한다.
- [0373] <콘스텔레이션>
- [0374] 도 91은, 도 7의 전송 시스템에서 채용하는 콘스텔레이션의 종류의 예를 나타내는 도면이다.
- [0375] 도 7의 전송 시스템에서는, 예를 들어 ATSC3.0으로 채용 예정인 콘스텔레이션을 채용할 수 있다.

- [0376] 도 91은, ATSC3.0으로 채용 예정인 (IQ) 콘스텔레이션의 종류를 나타내고 있다.
- [0377] ATSC3.0에서는, 변조 방식과 LDPC 부호의 조합인 MODCOD에 대하여 그 MODCOD에서 사용하는 콘스텔레이션이 설정된다.
- [0378] 여기서, ATSC3.0에서는, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM 및 1024QAM(1kQAM)의 5종류의 변조 방식이 채용 예정이다.
- [0379] 또한, ATSC3.0에서는, 16k 비트와 64k 비트의 2종류의 부호 길이 N 각각에 대해서, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12, 15 및 13/15의 8종류의 부호화율 r의 LDPC 부호, 즉, 16종류의 LDPC 부호의 채용이 예정되어 있다.
- [0380] ATSC3.0에서는, 16종류의 LDPC 부호를, 부호화율 r에 의해, (부호 길이 N에 따르지 않는) 8종류로 분류하고, 그 8종류의 LDPC 부호(부호화율 r이, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12, 15 및 13/15인 LDPC 부호 각각)와, 5종류의 변조 방식인 40(=8×5)종류의 조합을, 콘스텔레이션의 설정이 가능한 MODCOD로서 채용할 것이 예정되어 있다.
- [0381] 따라서, ATSC3.0에서는, MODCOD는, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r과, 5종류의 변조 방식의 조합을 나타낸다.
- [0382] 도 91에 있어서, "NUC Shape"의 란에 기재되어 있는, 예를 들어 "NUC_16_6/15" 등이, 그 "NUC Shape"의 란의 행에 대응하는 MODCOD에 사용하는 콘스텔레이션을 나타낸다.
- [0383] 여기서, 예를 들어 "NUC_16_6/15"는, 변조 방식이 16QAM이고, LDPC 부호의 부호화율 r이 6/15인 MODCOD에서 사용하는 콘스텔레이션을 나타낸다.
- [0384] 도 91에 의하면, 변조 방식이 QPSK인 경우에는, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r에 대해서, 동일한 콘스텔레이션이 사용된다.
- [0385] 또한, 도 91에 의하면, 변조 방식이, 16QAM, 64QAM, 256QAM 또는 1024QAM인 경우에는, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각마다 다른 콘스텔레이션이 사용된다.
- [0386] 따라서, ATSC3.0에서는, QPSK에 대해서는, 1종의 콘스텔레이션이 준비되고, 16QAM, 64QAM, 256QAM 및 1024QAM에 대해서는, 각각, 8종류의 콘스텔레이션이 준비되어 있다.
- [0387] 여기서, 콘스텔레이션에는, 신호점의 배치가 균일하게 되어 있는 UC(Uniform Constellation)와, 균일하게 되어 있지 않은 NUC(Non Uniform Constellation)가 있다.
- [0388] 또한, NUC에는, 예를 들어 1D NUC(1-dimensional M^2 -QAM non-uniform constellation)라 불리는 콘스텔레이션이나, 2D NUC(2-dimensional QAM non-uniform constellation)라 불리는 콘스텔레이션 등이 있다.
- [0389] QPSK의 콘스텔레이션으로서는, UC가 채용된다. 또한, 16QAM, 64QAM 및 256QAM의 콘스텔레이션으로서는, 예를 들어 2D NUC가 채용되고 1024QAM의 콘스텔레이션으로서는, 예를 들어 1D NUC가 채용된다.
- [0390] 도 92는, 변조 방식이 16QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.
- [0391] 도 93은, 변조 방식이 64QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.
- [0392] 도 94는, 변조 방식이 256QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.
- [0393] 도 95는, 변조 방식이 1024QAM인 경우의 LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 각각에 대한 콘스텔레이션의 예를 나타내는 도면이다.
- [0394] 도 92 내지 도 95에 있어서, 횡축 및 종축은, 각각, I축 및 Q축이며, $\text{Re}\{x_1\}$ 및 $\text{Im}\{x_1\}$ 은, 각각, 신호점 x_1 의 좌표로서의, 신호점 x_1 의 실수 파트 및 허수 파트를 나타낸다.
- [0395] 또한, 도 92 내지 도 95에 있어서, "for CR"의 뒤에 기재되어 있는 수치는, LDPC 부호의 부호화율 r을 나타낸다.

- [0396] 또한, LDPC 부호의 부호화율 r 이, 7/15, 9/15, 11/15 및 13/15인 콘스텔레이션은, Samsung으로부터 제공받은 데이터에 기초한다.
- [0397] 도 96은, 변조 방식이 16QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0398] 도 97은, 변조 방식이 64QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0399] 도 98은, 변조 방식이 256QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC, 1D NUC 및 2D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0400] 도 99는, 변조 방식이 1024QAM인 경우의 콘스텔레이션으로서, UC 및 1D NUC 각각을 사용한 경우의 BER을 측정하는 시뮬레이션의 시뮬레이션 결과를 나타내는 도면이다.
- [0401] 도 96 내지 도 99에 있어서, 횡축은, SNR(Signal to Noise Ratio)을 나타내고, 종축은, BER을 나타낸다.
- [0402] 변조 방식이, 16QAM, 64QAM 또는 256QAM인 경우에는, 도 96 내지 도 98에 도시한 바와 같이, UC보다 1D NUC쪽이, BER이 개선되고 또한 1D NUC보다 2D NUC쪽이, BER이 개선되는 것을 확인할 수 있다.
- [0403] 또한, 변조 방식이, 1024QAM인 경우에는, 도 99에 도시한 바와 같이, UC보다 1D NUC쪽이, BER이 개선되는 것을 확인할 수 있다.
- [0404] 도 100은, 변조 방식이 QPSK인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r ($=6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12, 15$ 및 $13/15$)에 대해서 공통으로 사용되는 UC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.
- [0405] 도 100에 있어서, "Input cell word y "는, QPSK의 UC에 매핑하는 2비트의 심벌을 나타내고, "Constellation point z_q "는, 신호점 z_q 의 좌표를 나타낸다. 또한, 신호점 z_q 의 인덱스 q 는, 심벌의 이산 시간(어느 심벌과 다음 심벌 사이의 시간 간격)을 나타낸다.
- [0406] 도 100에서는, 신호점 z_q 의 좌표는, 복소수의 형태로 표현되고 있고, i 는, 허수 단위($\sqrt{-1}$)을 나타낸다.
- [0407] 도 101은, 변조 방식이 16QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.
- [0408] 도 102는, 변조 방식이 64QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.
- [0409] 도 103은, 변조 방식이 256QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.
- [0410] 도 101 내지 도 103에 있어서, $NUC_2^m_r$ 은, 변조 방식이 2^m QAM이고, LDPC 부호의 부호화율이 r 인 경우에 사용되는 2D NUC의 신호점의 좌표를 나타낸다.
- [0411] 도 101 내지 도 103에서는, 도 100과 마찬가지로, 신호점 z_q 의 좌표는, 복소수의 형태로 표현되고 있고, i 는, 허수 단위를 나타낸다.
- [0412] 도 101 내지 도 103에 있어서, $w\#k$ 는, 콘스텔레이션의 제1 사분면의 신호점의 좌표를 나타낸다.
- [0413] 2D NUC에 있어서, 콘스텔레이션의 제2 사분면의 신호점은, 제1 사분면의 신호점을, Q축에 대하여 대칭으로 이동한 위치에 배치되고, 콘스텔레이션의 제3 사분면의 신호점은, 제1 사분면의 신호점을, 원점에 대하여 대칭으로 이동한 위치에 배치된다. 그리고, 콘스텔레이션의 제4 사분면의 신호점은, 제1 사분면의 신호점을, I축에 대하여 대칭으로 이동한 위치에 배치된다.
- [0414] 여기서, 변조 방식이 2^m QAM인 경우에는, m 비트를 1개의 심벌로서, 그 1개의 심벌이, 그 심벌에 대응하는 신호점에 매핑된다.
- [0415] m 비트의 심벌은, 예를 들어 0 내지 2^m-1 의 정수값으로 표현되지만, 여기서, $b=2^m/4$ 라 하면, 0 내지 2^m-1 의 정수값으로 표현되는 심벌 $y(0), y(1), \dots, y(2^m-1)$ 은 심벌 $y(0)$ 내지 $y(b-1)$, $y(b)$ 내지 $y(2b-1)$, $y(2b)$ 내지

$y(3b-1)$ 및 $y(3b)$ 내지 $y(4b-1)$ 의 4개로 분류할 수 있다.

- [0416] 도 101 내지 도 103에 있어서, $w\#k$ 의 접미사 k 는, 0 내지 $b-1$ 의 범위 정수 값을 취하고, $w\#k$ 는, 심벌 $y(0)$ 내지 $y(b-1)$ 의 범위인 심벌 $y(k)$ 에 대응하는 신호점의 좌표를 나타낸다.
- [0417] 그리고, 심벌 $y(b)$ 내지 $y(2b-1)$ 의 범위인 심벌 $y(k+b)$ 에 대응하는 신호점의 좌표는, $-\text{conj}(w\#k)$ 로 표현되고, 심벌 $y(2b)$ 내지 $y(3b-1)$ 의 범위인 심벌 $y(k+2b)$ 에 대응하는 신호점의 좌표는, $\text{conj}(w\#k)$ 로 표현된다. 또한, 심벌 $y(3b)$ 내지 $y(4b-1)$ 의 범위인 심벌 $y(k+3b)$ 에 대응하는 신호점의 좌표는, $-w\#k$ 로 표현된다.
- [0418] 여기서, $\text{conj}(w\#k)$ 는 $w\#k$ 의 복소 공액을 나타낸다.
- [0419] 예를 들어, 변조 방식이 16QAM인 경우에는, $m=4$ 비트의 심벌 $y(0)$, $y(1)$, $\dots$, $y(15)$ 는 $b=2^4/4=4$ 로서, 심벌 $y(0)$ 내지 $y(3)$, $y(4)$ 내지 $y(7)$, $y(8)$ 내지 $y(11)$ 및 $y(12)$ 내지 $y(15)$ 의 4개로 분류된다.
- [0420] 그리고, 심벌 $y(0)$ 내지 $y(15)$ 중, 예를 들어 심벌 $y(12)$ 는 심벌 $y(3b)$ 내지 $y(4b-1)$ 의 범위인 심벌 $y(k+3b)=y(0+3\times 4)$ 이고, $k=0$ 이기 때문에, 심벌 $y(12)$ 에 대응하는 신호점의 좌표는, $-w\#k=-w_0$ 으로 된다.
- [0421] 여기서, LDPC 부호의 부호화율 r 이, 예를 들어 9/15라 하면, 도 101에 의하면, 변조 방식이 16QAM이고, 부호화율 r 이, 9/15인 경우(NUC_16_9/15)의 w_0 은, $0.4909+1.2007i$ 이므로, 심벌 $y(12)$ 에 대응하는 신호점의 좌표 $-w_0$ 은, $-(0.4909+1.2007i)$ 로 된다.
- [0422] 도 104는, 변조 방식이 1024QAM인 경우에, LDPC 부호의 8종류의 부호화율 r 에 대해서 사용되는 1D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 도면이다.
- [0423] 도 104에 있어서, NUC_1k_r의 열은, 변조 방식이 1024QAM이고, LDPC 부호의 부호화율이 r 인 경우에 사용되는 1D NUC의 신호점의 좌표를 나타내는 $u\#k$ 가 취하는 값을 나타낸다.
- [0424] $u\#k$ 는, 1D NUC의 신호점 z_q 의 좌표로서의 복소수의 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 및 허수 파트 $\text{Im}(z_q)$ 를 나타낸다.
- [0425] 도 105는, 심벌 y 와, 그 심벌 y 에 대응하는 1D NUC의 신호점 z_q 의 좌표를 나타내는 복소수의 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 및 허수 파트 $\text{Im}(z_q)$ 각각으로서의 $u\#k$ 와의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0426] 여기서, 1024QAM의 10비트의 심벌 y 를, 그 선두의 비트(최상위 비트)로부터, $y_{0,q}$, $y_{1,q}$, $y_{2,q}$, $y_{3,q}$, $y_{4,q}$, $y_{5,q}$, $y_{6,q}$, $y_{7,q}$, $y_{8,q}$, $y_{9,q}$ 로 나타내기로 한다.
- [0427] 도 105의 A는, 심벌 y 의 홀수번째의 5비트 $y_{0,q}$, $y_{2,q}$, $y_{4,q}$, $y_{6,q}$, $y_{8,q}$ 와, 그 심벌 y 에 대응하는 신호점 z_q 의 (좌표의) 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 를 나타내는 $u\#k$ 의 대응 관계를 나타내고 있다.
- [0428] 도 105의 B는, 심벌 y 의 짝수번째의 5비트 $y_{1,q}$, $y_{3,q}$, $y_{5,q}$, $y_{7,q}$, $y_{9,q}$ 와, 그 심벌 y 에 대응하는 신호점 z_q 의 (좌표의) 허수 파트 $\text{Im}(z_q)$ 를 나타내는 $u\#k$ 의 대응 관계를 나타내고 있다.
- [0429] 1024QAM의 10비트의 심벌 $y=(y_{0,q}, y_{1,q}, y_{2,q}, y_{3,q}, y_{4,q}, y_{5,q}, y_{6,q}, y_{7,q}, y_{8,q}, y_{9,q})$ 가, 예를 들어 $(0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$ 인 경우, 홀수번째의 5비트($y_{0,q}, y_{2,q}, y_{4,q}, y_{6,q}, y_{8,q}$)는 $(0,1,0,1,0)$ 이고, 짝수번째의 5비트($y_{1,q}, y_{3,q}, y_{5,q}, y_{7,q}, y_{9,q}$)는 $(0,0,1,1,0)$ 이다.
- [0430] 도 105의 A에서는, 홀수번째의 5비트 $(0,1,0,1,0)$ 은 u_3 에 대응지어져 있으며, 따라서, 심벌 $y=(0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$ 에 대응하는 신호점 z_q 의 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 는 u_3 이 된다.
- [0431] 또한, 도 105의 B에서는, 짝수번째의 5비트 $(0,0,1,1,0)$ 은 u_{11} 에 대응지어져 있으며, 따라서, 심벌 $y=(0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$ 에 대응하는 신호점 z_q 의 허수 파트 $\text{Im}(z_q)$ 는 u_{11} 이 된다.
- [0432] 한편, LDPC 부호의 부호화율 r 이, 예를 들어 7/15라 하면, 전술한 도 104에 의하면, 변조 방식이 1024QAM이고, LDPC 부호의 부호화율 r 7/15인 경우에 사용되는 1D NUC(NUC_1k_7/15)에 대해서는, u_3 은, 1.04이고, u_{11} 은, 6.28이다.
- [0433] 따라서, 심벌 $y=(0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$ 에 대응하는 신호점 z_q 의 실수 파트 $\text{Re}(z_q)$ 는 $u_3=1.04$ 로 되고, $\text{Im}(z_q)$ 는 $u_{11}=6.28$ 로 된다. 그 결과, 심벌 $y=(0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$ 에 대응하는 신호점 z_q 의 좌표는, $1.04+6.28i$ 로 표현

된다.

- [0434] 또한, 1D NUC의 신호점은, I축에 평행한 직선 상이나 Q축에 평행한 직선 상에 격자 형상으로 배열한다. 단, 신호점끼리의 간격은, 일정하게 되지는 않는다. 또한, 신호점(에 매핑된 데이터)의 송신에 맞추어, 콘스텔레이션 상의 신호점의 평균 전력은 정규화된다. 정규화는, 콘스텔레이션 상의 신호점(의 좌표)의 모두에 관한 절댓값의 제곱 평균값을 P_{ave} 로 나타내기로 하면, 그 제곱 평균값 P_{ave} 의 평방근 $\sqrt{P_{ave}}$ 의 역수 $1/(\sqrt{P_{ave}})$ 를 콘스텔레이션 상의 각 신호점 z_q 에 승산함으로써 행해진다.
- [0435] 도 92 내지 도 105에서 설명한 콘스텔레이션에 의하면, 양호한 에러율이 얻어지는 것이 확인되었다.
- [0436] <블록 인터리버(25)>
- [0437] 도 106은, 도 9의 블록 인터리버(25)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0438] 블록 인터리버(25)는, 파트 1(part 1)이라 불리는 기억 영역과, 파트 2(part 2)라고 불리는 기억 영역을 갖는다.
- [0439] 파트 1 및 2는, 모두, 로우(가로) 방향으로, 1비트를 기억하고, 칼럼(세로) 방향으로 소정의 비트수를 기억하는 기억 영역으로서의 칼럼(column)이 로우 방향으로, 심벌의 비트수 m 과 똑같은 수 C 만큼 배열해서 구성된다.
- [0440] 파트 1의 칼럼이 칼럼 방향으로 기억하는 비트수(이하, 파트 칼럼 길이라고도 함)를 $R1$ 로 나타냄과 함께, 파트 2의 칼럼 파트 칼럼 길이를, $R2$ 로 나타내기로 하면, $(R1+R2) \times C$ 는, 블록 인터리브의 대상인 LDPC 부호의 부호 길이 N (본 실시 형태에서는, 64800비트 또는 16200비트)과 같다.
- [0441] 또한, 파트 칼럼 길이 $R1$ 은, 순회 구조의 단위의 열수 P 인 360비트의 배수와 같고, 파트 칼럼 길이 $R2$ 는, 파트 1의 파트 칼럼 길이 $R1$ 과 파트 2의 파트 칼럼 길이 $R2$ 의 합(이하, 칼럼 길이라고도 함) $R1+R2$ 를, 순회 구조의 단위의 열수 P 인 360비트로 나누었을 때의 나머지와 같다.
- [0442] 여기서, 칼럼 길이 $R1+R2$ 는, 블록 인터리브의 대상인 LDPC 부호의 부호 길이 N 을, 심벌의 비트수 m 으로 나눈 값과 같다.
- [0443] 예를 들어, 부호 길이 N 이 16200비트의 LDPC 부호에 대해서, 변조 방식으로서, 16QAM을 채용하는 경우에는, 심벌의 비트수 m 은, 4비트이기 때문에, 칼럼 길이 $R1+R2$ 는, $4050(=16200/4)$ 비트가 된다.
- [0444] 또한, 칼럼 길이 $R1+R2=4050$ 을, 순회 구조의 단위의 열수 P 인 360비트로 나누었을 때의 나머지는, 90이기 때문에, 파트 2의 파트 칼럼 길이 $R2$ 는, 90비트로 된다.
- [0445] 그리고, 파트 1의 파트 칼럼 길이 $R1$ 은, $R1+R2-R2=4050-90=3960$ 비트로 된다.
- [0446] 도 107은, 부호 길이 N 과 변조 방식의 조합에 대한 파트 1 및 2의 칼럼수 C , 및, 파트 칼럼 길이(행수) $R1$ 및 $R2$ 를 나타내는 도면이다.
- [0447] 도 107에는, 부호 길이 N 이 16200비트 및 64800비트의 LDPC 부호 각각과, 변조 방식이, 16QAM, 64QAM, 256QAM 및 1024QAM인 경우의 각각의 조합에 대한 파트 1 및 2의 칼럼수 C , 및, 파트 칼럼 길이 $R1$ 및 $R2$ 가 나타나 있다.
- [0448] 도 108은, 도 106의 블록 인터리버(25)에서 행해지는 블록 인터리브를 설명하는 도면이다.
- [0449] 블록 인터리버(25)는, 파트 1 및 2에 대하여 LDPC 부호를 기입해서 판독함으로써, 블록 인터리브를 행한다.
- [0450] 즉, 블록 인터리브에서는, 도 108의 A에 도시한 바와 같이, 1부호어의 LDPC 부호의 부호 비트를, 파트 1의 칼럼 위에서부터 아래 방향(칼럼 방향)으로 기입하는 것이, 왼쪽에서부터 오른쪽 방향의 칼럼을 향해서 행해진다.
- [0451] 그리고, 부호 비트의 기입이, 파트 1의 칼럼의 가장 오른쪽 칼럼(C 번째 칼럼)의 가장 아래까지 종료되면, 나머지 부호 비트를 파트 2의 칼럼 위에서부터 아래 방향(칼럼 방향)으로 기입하는 것이, 왼쪽에서부터 오른쪽 방향의 칼럼을 향해서 행해진다.
- [0452] 그 후, 부호 비트의 기입이, 파트 2의 칼럼의 가장 오른쪽 칼럼(C 번째 칼럼)의 가장 아래까지 종료되면, 도 108의 B에 도시한 바와 같이, 파트 1의 C 개 모든 칼럼의 1행째부터, 로우 방향으로, $C=m$ 비트 단위로, 부호 비트가 판독된다.
- [0453] 그리고, 파트 1의 C 개 모든 칼럼으로부터의 부호 비트의 판독은, 아래의 행을 향해서 순차 행해지고, 그 판독이

마지막 행인 R1행째까지 종료되면, 파트 2의 C개 모든 칼럼의 1행째부터, 로우 방향으로, $C=m$ 비트 단위로, 부호 비트가 판독된다.

[0454] 파트 2의 C개 모든 칼럼으로부터의 부호 비트의 판독은, 아래의 행을 향해서 순차 행해지고, 마지막 행인 R2행째까지 행해진다.

[0455] 이상과 같이 하여, 파트 1 및 2로부터 m 비트 단위로 판독되는 부호 비트는, 심벌로서, 맵퍼(117)(도 8)에 공급된다.

[0456] <그룹 와이즈 인터리브>

[0457] 도 109는, 도 9의 그룹 와이즈 인터리버(24)에서 행해지는 그룹 와이즈 인터리브를 설명하는 도면이다.

[0458] 그룹 와이즈 인터리브에서는, 1부호어의 LDPC 부호를, 그 선두로부터, 순회 구조의 단위의 열수 P와 똑같은 360비트 단위로 구분한, 그 1 구분의 360비트를, 비트 그룹으로 하여, 1부호어의 LDPC 부호가, 비트 그룹 단위로, 소정의 패턴(이하, GW 패턴이라고도 함)에 따라서 인터리브된다.

[0459] 여기서, 1부호어의 LDPC 부호를 비트 그룹으로 구분했을 때의 선두로부터 i+1번째 비트 그룹을, 이하, 비트 그룹 i 모두 기재한다.

[0460] 예를 들어, 부호 길이 N이 1800비트의 LDPC 부호는, 비트 그룹 0,1,2,3,4인 5($=1800/360$)개의 비트 그룹으로 구분된다. 또한, 예를 들어 부호 길이 N이 16200비트의 LDPC 부호는, 비트 그룹 0,1,...,44인 45($=16200/360$)개의 비트 그룹으로 구분되고, 부호 길이 N이 64800비트의 LDPC 부호는, 비트 그룹 0,1,...,179인 180($=64800/360$)개의 비트 그룹으로 구분된다.

[0461] 또한, 이하에서는, GW 패턴을, 비트 그룹을 나타내는 숫자의 배열로 나타내기로 한다. 예를 들어, 부호 길이 N이 1800비트의 LDPC 부호에 대해서, 예를 들어 GW 패턴 4,2,0,3,1은, 비트 그룹 0,1,2,3,4의 배열을, 비트 그룹 4,2,0,3,1의 배열로 인터리브(재배열)하는 것을 나타낸다.

[0462] GW 패턴은, 적어도, LDPC 부호의 부호 길이 N마다 설정할 수 있다.

[0463] 도 110은, 부호 길이 N이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제1 예를 나타내는 도면이다.

[0464] 도 110의 GW 패턴에 의하면, 64k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 179의 배열이, 비트 그룹

[0465] 178, 140, 44, 100, 107, 89, 169, 166, 36, 52, 33, 160, 14, 165, 109, 35, 74, 136, 99, 97, 28, 59, 7, 29, 164, 119, 41, 55, 17, 115, 138, 93, 96, 24, 31, 179, 120, 91, 98, 43, 6, 56, 148, 68, 45, 103, 5, 4, 10, 58, 1, 76, 112, 124, 110, 66, 0, 85, 64, 163, 75, 105, 117, 87, 159, 146, 34, 57, 145, 143, 101, 53, 123, 48, 79, 13, 134, 71, 135, 81, 125, 30, 131, 139, 46, 12, 157, 23, 127, 61, 82, 84, 32, 22, 94, 170, 167, 126, 176, 51, 102, 171, 18, 104, 73, 152, 72, 25, 83, 80, 149, 142, 77, 137, 177, 19, 20, 173, 153, 54, 69, 49, 11, 156, 133, 162, 63, 122, 106, 42, 174, 88, 62, 78, 86, 116, 155, 129, 3, 9, 47, 50, 144, 114, 154, 121, 161, 92, 37, 38, 39, 108, 95, 70, 113, 141, 15, 147, 151, 111, 2, 118, 158, 60, 132, 168, 150, 21, 16, 175, 27, 90, 128, 130, 67, 172, 65, 26, 40, 8

[0466] 의 배열로 인터리브된다.

[0467] 도 111은, 부호 길이 N이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제2 예를 나타내는 도면이다.

[0468] 도 111의 GW 패턴에 의하면, 64k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 179의 배열이, 비트 그룹

[0469] 32, 84, 49, 56, 54, 99, 76, 178, 65, 48, 87, 125, 121, 51, 130, 70, 90, 2, 73, 123, 174, 20, 46, 31, 3, 89, 16, 66, 30, 158, 19, 137, 0, 12, 153, 147, 91, 33, 122, 57, 36, 129, 135, 24, 168, 141, 52, 71, 80, 96, 50, 44, 10, 93, 81, 22, 152, 29, 41, 95, 172, 107, 173, 42, 144, 63, 163, 43, 150, 60, 69, 58, 101, 68, 62, 9, 166, 78, 177, 146, 118, 82, 6, 21, 161, 4, 169, 18, 106, 176, 162, 175, 117, 8, 128, 97, 100, 111, 23, 114, 45, 34, 165, 28, 59, 131, 143, 83, 25, 61, 105, 35, 104, 156, 38, 102, 85, 142, 164, 26, 17, 160, 109, 40, 11, 47, 72, 124, 79, 7, 136, 159, 67, 1, 5, 14, 94, 110, 98, 145, 75, 149, 119, 74, 55, 155, 115, 113, 53, 151, 39, 92, 171, 154, 179, 139, 148, 103, 86, 37, 27, 77, 157, 108, 167, 13, 127, 126, 120, 133, 138, 134, 140, 116, 64, 88, 170, 132, 15, 112

[0470] 의 배열로 인터리브된다.

- [0471] 도 112는, 부호 길이 N이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제3 예를 나타내는 도면이다.
- [0472] 도 112의 GW 패턴에 의하면, 64k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 179의 배열이, 비트 그룹
- [0473] 90, 64, 100, 166, 105, 61, 29, 56, 66, 40, 52, 21, 23, 69, 31, 34, 10, 136, 94, 4, 123, 39, 72, 129, 106, 16, 14, 134, 152, 142, 164, 37, 67, 17, 48, 99, 135, 54, 2, 0, 146, 115, 20, 76, 111, 83, 145, 177, 156, 174, 28, 25, 139, 33, 128, 1, 179, 45, 153, 38, 62, 110, 151, 32, 70, 101, 143, 77, 130, 50, 84, 127, 103, 109, 5, 63, 92, 124, 87, 160, 108, 26, 60, 98, 172, 102, 88, 170, 6, 13, 171, 97, 95, 91, 81, 137, 119, 148, 86, 35, 30, 140, 65, 82, 49, 46, 133, 71, 42, 43, 175, 141, 55, 93, 79, 107, 173, 78, 176, 96, 73, 57, 36, 44, 154, 19, 11, 165, 58, 18, 53, 126, 138, 117, 51, 113, 114, 162, 178, 3, 150, 8, 22, 131, 157, 118, 116, 85, 41, 27, 80, 12, 112, 144, 68, 167, 59, 75, 122, 132, 149, 24, 120, 47, 104, 147, 121, 74, 155, 125, 15, 7, 89, 161, 163, 9, 159, 168, 169, 158
- [0474] 의 배열로 인터리브된다.
- [0475] 도 113은, 부호 길이 N이 64k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제4 예를 나타내는 도면이다.
- [0476] 도 113의 GW 패턴에 의하면, 64k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 179의 배열이, 비트 그룹
- [0477] 0, 154, 6, 53, 30, 97, 105, 121, 12, 156, 94, 77, 47, 78, 13, 19, 82, 60, 85, 162, 62, 58, 116, 127, 48, 177, 80, 138, 8, 145, 132, 134, 90, 28, 83, 170, 87, 59, 49, 11, 39, 101, 31, 139, 148, 22, 37, 15, 166, 1, 42, 120, 106, 119, 35, 70, 122, 56, 24, 140, 136, 126, 144, 167, 29, 163, 112, 175, 10, 73, 41, 99, 98, 107, 117, 66, 17, 57, 7, 151, 51, 33, 158, 141, 150, 110, 137, 123, 9, 18, 14, 71, 147, 52, 164, 45, 111, 108, 21, 91, 109, 160, 74, 169, 88, 63, 174, 89, 2, 130, 124, 146, 84, 176, 149, 159, 155, 44, 43, 173, 179, 86, 168, 165, 95, 135, 27, 69, 23, 65, 125, 104, 178, 171, 46, 55, 26, 75, 129, 54, 153, 114, 152, 61, 68, 103, 16, 40, 128, 3, 38, 72, 92, 81, 93, 100, 34, 79, 115, 133, 102, 76, 131, 36, 32, 5, 64, 143, 20, 172, 50, 157, 25, 113, 118, 161, 142, 96, 4, 67
- [0478] 의 배열로 인터리브된다.
- [0479] 도 114는, 부호 길이 N이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제1 예를 나타내는 도면이다.
- [0480] 도 114의 GW 패턴에 의하면, 16k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열이, 비트 그룹
- [0481] 15, 23, 9, 19, 5, 29, 4, 25, 8, 41, 13, 2, 22, 12, 26, 6, 37, 17, 38, 7, 20, 1, 39, 34, 18, 31, 10, 44, 32, 24, 14, 42, 11, 30, 27, 3, 36, 40, 33, 21, 28, 43, 0, 16, 35
- [0482] 의 배열로 인터리브된다.
- [0483] 도 115는, 부호 길이 N이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제2 예를 나타내는 도면이다.
- [0484] 도 115의 GW 패턴에 의하면, 16k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열이, 비트 그룹
- [0485] 6, 14, 24, 36, 30, 12, 33, 16, 37, 20, 21, 3, 11, 26, 34, 5, 7, 0, 1, 18, 2, 22, 19, 9, 32, 28, 27, 23, 42, 15, 13, 17, 35, 25, 8, 29, 38, 40, 10, 44, 31, 4, 43, 39, 41
- [0486] 의 배열로 인터리브된다.
- [0487] 도 116은, 부호 길이 N이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제3 예를 나타내는 도면이다.
- [0488] 도 116의 GW 패턴에 의하면, 16k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열이, 비트 그룹
- [0489] 21, 0, 34, 5, 16, 7, 1, 25, 9, 24, 19, 11, 6, 15, 39, 38, 42, 30, 18, 14, 13, 23, 20, 33, 3, 10, 4, 8, 26, 27, 41, 40, 31, 2, 35, 37, 43, 22, 17, 12, 29, 36, 28, 32, 44
- [0490] 의 배열로 인터리브된다.
- [0491] 도 117은, 부호 길이 N이 16k 비트의 LDPC 부호에 대한 GW 패턴의 제4 예를 나타내는 도면이다.
- [0492] 도 117의 GW 패턴에 의하면, 16k 비트의 LDPC 부호의 비트 그룹 0 내지 44의 배열이, 비트 그룹
- [0493] 15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17, 32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

- [0494] 의 배열로 인터리브된다.
- [0495] 그런데, 그룹 와이즈 인터리브에 대해서는, GW 패턴을, LDPC 부호의 부호 길이 N 외에, LDPC 부호의 부호화율 r 이나 변조 방식의 조합마다 설정함으로써, 각 조합에 대해서, 에러율을 보다 향상시킬 수 있다.
- [0496] 그러나, GW 패턴을, LDPC 부호의 부호 길이 N 과, 부호화율 r 과, 변조 방식의 모든 종류 조합 각각에 대하여 별개로 설정한 것은, 송신 장치(11)에서 채용하는 LDPC 부호나 변조 방식을 변경할 때마다, GW 패턴도 변경해야만 해서, 처리가 번잡해진다.
- [0497] 따라서, 그룹 와이즈 인터리브에 대해서는, 예를 들어 LDPC 부호의 부호화율 r 을, 저레이트(예를 들어, 6/15, 7/15/, 8/15, 9/15)와, 고레이트(예를 들어, 10/15, 11/15/, 12/15, 13/15)로 나누고, LDPC 부호의 부호 길이 N 이, 16k 비트 및 64k 비트 중 어느 하나이거나, LDPC 부호의 부호화율 r 이, 저레이트 및 고레이트 중 어느 하나이거나, 변조 방식이, 16QAM, 64QAM, 256QAM 및 1024QAM 중 어느 하나인 것의 조합마다, GW 패턴을 설정할 수 있다.
- [0498] 여기서, 전술한 부호 길이 N , 부호화율 r 및 변조 방식의 조합을, (부호 길이 N , 부호화율 r , 변조 방식)으로 나타내기로 하면, 부호 길이 N , 부호화율 r 및 변조 방식의 조합으로서는, 예를 들어 (16k, 저레이트, 16QAM), (16k, 저레이트, 64QAM), (16k, 저레이트, 256QAM), (16k, 저레이트, 1024QAM), (16k, 고레이트, 16QAM), (16k, 고레이트, 64QAM), (16k, 고레이트, 256QAM), (16k, 고레이트, 1024QAM), (64k, 저레이트, 16QAM), (64k, 저레이트, 64QAM), (64k, 저레이트, 256QAM), (64k, 저레이트, 1024QAM), (64k, 고레이트, 16QAM), (64k, 고레이트, 64QAM), (64k, 고레이트, 256QAM) 및 (64k, 고레이트, 1024QAM)의 16가지의 조합을 상정할 수 있다.
- [0499] LDPC 부호의 부호 길이 N 이 64k로 되어 있는 조합(64k, 저레이트, 16QAM), (64k, 저레이트, 64QAM), (64k, 저레이트, 256QAM), (64k, 저레이트, 1024QAM), (64k, 고레이트, 16QAM), (64k, 고레이트, 64QAM), (64k, 고레이트, 256QAM) 및 (64k, 고레이트, 1024QAM)에 대해서는, 각각, 도 110 내지 도 113의 4 패턴의 GW 패턴 중, 에러율을 가장 향상시키는 GW 패턴을 적용할 수 있다.
- [0500] 예를 들어, 도 110의 GW 패턴은, 조합(64k, 고레이트, 16QAM)으로, 도 111의 GW 패턴은, 조합(64k, 저레이트, 64QAM)으로, 도 112의 GW 패턴은, 조합(64k, 고레이트, 256QAM)으로, 도 113의 GW 패턴은, 조합(64k, 저레이트, 1024QAM)으로, 각각 적용할 수 있다.
- [0501] LDPC 부호의 부호 길이 N 이 16k로 되어 있는 조합(16k, 저레이트, 16QAM), (16k, 저레이트, 64QAM), (16k, 저레이트, 256QAM), (16k, 저레이트, 1024QAM), (16k, 고레이트, 16QAM), (16k, 고레이트, 64QAM), (16k, 고레이트, 256QAM) 및 (16k, 고레이트, 1024QAM)에 대해서는, 각각, 도 114 내지 도 117의 4 패턴의 GW 패턴 중, 에러율을 가장 향상시키는 GW 패턴을 적용할 수 있다.
- [0502] 예를 들어, 도 114의 GW 패턴은, 조합(16k, 저레이트, 16QAM)에, 도 115의 GW 패턴은, 조합(16k, 고레이트, 64QAM)에, 도 116의 GW 패턴은, 조합(16k, 저레이트, 256QAM)에, 도 117의 GW 패턴은, 조합(16k, 고레이트, 1024QAM)에, 각각 적용할 수 있다.
- [0503] 본건 발명자가 행한 시뮬레이션에 의하면, 도 110의 GW 패턴에 대해서는, (64k, 10/15)인 제2 신 LDPC 부호, (64k, 11/15)인 제1 신 LDPC 부호, (64k, 12/15)인 제2 신 LDPC 부호 및 (64k, 13/15)인 제1 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 16QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0504] 도 111의 GW 패턴에 대해서는, (64k, 6/15)인 제2 신 LDPC 부호, (64k, 7/15)인 제1 신 LDPC 부호, (64k, 8/15)인 제2 신 LDPC 부호 및 (64k, 9/15)인 제1 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 64QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0505] 도 112의 GW 패턴에 대해서는, (64k, 10/15)인 제2 신 LDPC 부호, (64k, 11/15)인 제1 신 LDPC 부호, (64k, 12/15)인 제2 신 LDPC 부호 및 (64k, 13/15)인 제1 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 256QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0506] 도 113의 GW 패턴에 대해서는, (64k, 6/15)인 제2 신 LDPC 부호, (64k, 7/15)인 제1 신 LDPC 부호, (64k, 8/15)인 제2 신 LDPC 부호 및 (64k, 9/15)인 제1 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 1024QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0507] 도 114의 GW 패턴에 대해서는, (16k, 6/15)인 제1 신 LDPC 부호, (16k, 7/15)인 제2 신 LDPC 부호, (16k, 8/15)인

제1 신 LDPC 부호 및 (16k,9/15)인 제2 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 16QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.

- [0508] 도 115의 GW 패턴에 대해서는, (16k,10/15)인 제1 신 LDPC 부호, (16k,11/15)인 제2 신 LDPC 부호, (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 64QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0509] 도 116의 GW 패턴에 대해서는, (16k,6/15)인 제1 신 LDPC 부호, (16k,7/15)인 제2 신 LDPC 부호, (16k,8/15)인 제1 신 LDPC 부호 및 (16k,9/15)인 제2 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 256QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0510] 도 117의 GW 패턴에 대해서는, (16k,10/15)인 제1 신 LDPC 부호, (16k,11/15)인 제2 신 LDPC 부호, (16k,12/15)인 제1 신 LDPC 부호 및 (16k,13/15)인 제2 신 LDPC 부호 각각과, 도 92 내지 도 105에서 콘스텔레이션을 설명한 변조 방식 중 1024QAM의 조합에 대하여 특히, 양호한 에러율을 달성할 수 있음이 확인되었다.
- [0511] <수신 장치(12)의 구성예>
- [0512] 도 118은, 도 7의 수신 장치(12)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0513] OFDM 처리부(OFDM operation)(151)는, 송신 장치(11)(도 7)로부터의 OFDM 신호를 수신하고, 그 OFDM 신호의 신호 처리를 행한다. OFDM 처리부(151)가 신호 처리를 행함으로써 얻어지는 데이터는, 프레임 관리부(Frame Management)(152)에 공급된다.
- [0514] 프레임 관리부(152)는, OFDM 처리부(151)로부터 공급되는 데이터로 구성되는 프레임의 처리(프레임 해석)를 행하고, 그 결과 얻어지는 대상 데이터의 신호와, 제어 데이터의 신호를, 주파수 디인터리버(Frequency Deinterleaver)(161과 153)에, 각각 공급한다.
- [0515] 주파수 디인터리버(153)는, 프레임 관리부(152)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위로의 주파수 디인터리브를 행하고, 디매퍼(Demapper)(154)에 공급한다.
- [0516] 디매퍼(154)는, 주파수 디인터리버(153)로부터의 데이터(콘스텔레이션 상의 데이터)를 송신 장치(11)측에서 행해지는 직교 변조에서 정해지는 신호점의 배치(콘스텔레이션)에 기초하여 디매핑(신호점 배치 복호)해서 직교 복조하고, 그 결과 얻어지는 데이터(LDPC 부호(의 우도))를 LDPC 디코더(LDPC decoder)(155)에 공급한다.
- [0517] LDPC 디코더(155)는, 디매퍼(154)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 대상 데이터(여기서는, BCH 부호)를 BCH 디코더(BCH decoder)(156)에 공급한다.
- [0518] BCH 디코더(156)는, LDPC 디코더(155)로부터의 LDPC 대상 데이터의 BCH 복호를 행하고, 그 결과 얻어지는 제어 데이터(시그널링)를 출력한다.
- [0519] 한편, 주파수 디인터리버(161)는, 프레임 관리부(152)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위로의 주파수 디인터리브를 행하고, SISO/MISO 디코더(SISO/MISO decoder)(162)에 공급한다.
- [0520] SISO/MISO 디코더(162)는, 주파수 디인터리버(161)로부터의 데이터의 시공간 복호를 행하고, 시간 디인터리버(Time Deinterleaver)(163)에 공급한다.
- [0521] 시간 디인터리버(163)는, SISO/MISO 디코더(162)로부터의 데이터에 대해서, 심벌 단위로의 시간 디인터리브를 행하고, 디매퍼(Demapper)(164)에 공급한다.
- [0522] 디매퍼(164)는, 시간 디인터리버(163)로부터의 데이터(콘스텔레이션 상의 데이터)를 송신 장치(11)측에서 행해지는 직교 변조에서 정해지는 신호점의 배치(콘스텔레이션)에 기초하여 디매핑(신호점 배치 복호)하여 직교 복조하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, 비트 디인터리버(Bit Deinterleaver)(165)에 공급한다.
- [0523] 비트 디인터리버(165)는, 디매퍼(164)로부터의 데이터의 비트 디인터리브를 행하고, 그 비트 디인터리브 후의 데이터인 LDPC 부호(의 우도)를 LDPC 디코더(166)에 공급한다.
- [0524] LDPC 디코더(166)는, 비트 디인터리버(165)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 대상 데이터(여기서는, BCH 부호)를 BCH 디코더(167)에 공급한다.
- [0525] BCH 디코더(167)는, LDPC 디코더(155)로부터의 LDPC 대상 데이터의 BCH 복호를 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, BB 디스크램블러(BB DeScrambler)(168)에 공급한다.

- [0526] BB 디스크램블러(168)는, BCH 디코더(167)로부터의 데이터에, BB 디스크램블을 실시하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, 널 삭제부(Null Deletion)(169)에 공급한다.
- [0527] 널 삭제부(169)는, BB 디스크램블러(168)로부터의 데이터로부터, 도 8의 패더(112)에 의해 삽입된 Null을 삭제하고, 디멀티플렉서(Demultiplexer)(170)에 공급한다.
- [0528] 디멀티플렉서(170)는, 널 삭제부(169)로부터의 데이터에 다중화되어 있는 1이상의 스트림(대상 데이터) 각각을 분리하고, 필요한 처리를 실시하여, 아웃풋 스트림(Output stream)으로서 출력한다.
- [0529] 또한, 수신 장치(12)는, 도 118에 도시한 블록의 일부를 설치하지 않고 구성할 수 있다. 즉, 예를 들어 송신 장치(11)(도 8)를 시간 인터리버(118), SISO/MISO 인코더(119), 주파수 인터리버(120) 및 주파수 인터리버(124)를 설치하지 않고 구성하는 경우에는, 수신 장치(12)는, 송신 장치(11)의 시간 인터리버(118), SISO/MISO 인코더(119), 주파수 인터리버(120) 및 주파수 인터리버(124)에 각각 대응하는 블록인 시간 디인터리버(163), SISO/MISO 디코더(162), 주파수 디인터리버(161) 및 주파수 디인터리버(153)를 설치하지 않고 구성할 수 있다.
- [0530] <비트 디인터리버(165)의 구성예>
- [0531] 도 119는, 도 118의 비트 디인터리버(165)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0532] 비트 디인터리버(165)는, 블록 디인터리버(54) 및 그룹 와이즈 디인터리버(55)로 구성되고, 디매퍼(164)(도 118)로부터의 데이터인 심벌의 심벌 비트의 (비트) 디인터리브를 행한다.
- [0533] 즉, 블록 디인터리버(54)는, 디매퍼(164)로부터의 심벌의 심벌 비트를 대상으로 하여, 도 9의 블록 인터리버(25)가 행하는 블록 인터리브에 대응하는 블록 디인터리브(블록 인터리브의 역처리), 즉, 블록 인터리브에 의해 재배열된 LDPC 부호의 부호 비트(의 우도)의 위치를 원래의 위치로 되돌리는 블록 디인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를, 그룹 와이즈 디인터리버(55)에 공급한다.
- [0534] 그룹 와이즈 디인터리버(55)는, 블록 디인터리버(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 도 9의 그룹 와이즈 인터리버(24)가 행하는 그룹 와이즈 인터리브에 대응하는 그룹 와이즈 디인터리브(그룹 와이즈 인터리브의 역처리), 즉, 예를 들어 도 110 내지 도 117에서 설명한 그룹 와이즈 인터리브에 의해 비트 그룹 단위로 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를, 비트 그룹 단위로 재배열함으로써, 원래의 배열로 되돌리는 그룹 와이즈 디인터리브를 행한다.
- [0535] 여기서, 디매퍼(164)로부터, 비트 디인터리버(165)에 공급되는 LDPC 부호에, 패리티 인터리브, 그룹 와이즈 인터리브 및 블록 인터리브가 실시되어 있는 경우, 비트 디인터리버(165)에서는, 패리티 인터리브에 대응하는 패리티 디인터리브(패리티 인터리브의 역처리, 즉, 패리티 인터리브에 의해 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를, 원래의 배열로 되돌리는 패리티 디인터리브), 블록 인터리브에 대응하는 블록 디인터리브 및 그룹 와이즈 인터리브에 대응하는 그룹 와이즈 디인터리브 전부를 행할 수 있다.
- [0536] 단, 도 119의 비트 디인터리버(165)에서는, 블록 인터리브에 대응하는 블록 디인터리브를 행하는 블록 디인터리버(54) 및 그룹 와이즈 인터리브에 대응하는 그룹 와이즈 디인터리브를 행하는 그룹 와이즈 디인터리버(55)는, 설치되어 있지만, 패리티 인터리브에 대응하는 패리티 디인터리브를 행하는 블록은, 설치되어 있지 않고, 패리티 디인터리브는, 행해지지 않는다.
- [0537] 따라서, 비트 디인터리버(165)(의 그룹 와이즈 디인터리버(55))로부터, LDPC 디코더(166)에는, 블록 디인터리브 및 그룹 와이즈 디인터리브가 행해지고 또한 패리티 디인터리브가 행해지지 않는 LDPC 부호가 공급된다.
- [0538] LDPC 디코더(166)는, 비트 디인터리버(165)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 도 8의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용해서 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, LDPC 대상 데이터의 복호 결과로서 출력한다.
- [0539] 도 120은, 도 119의 디매퍼(164), 비트 디인터리버(165) 및 LDPC 디코더(166)가 행하는 처리를 설명하는 흐름도이다.
- [0540] 스텝 S111에 있어서, 디매퍼(164)는, 시간 디인터리버(163)로부터의 데이터(신호점에 매핑된 콘스텔레이션 상의 데이터)를 디매핑하여 직교 복조하고, 비트 디인터리버(165)에 공급하고, 처리는, 스텝 S112로 진행한다.
- [0541] 스텝 S112에서는, 비트 디인터리버(165)는, 디매퍼(164)로부터의 데이터의 디인터리브(비트 디인터리브)를 행하고, 처리는, 스텝 S113으로 진행한다.

- [0542] 즉, 스텝 S112에서는, 비트 디인터리버(165)에 있어서, 블록 디인터리버(54)가, 디매퍼(164)로부터의 데이터(심별)를 대상으로 하여, 블록 디인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호의 부호 비트를, 그룹 와이즈 디인터리버(55)에 공급한다.
- [0543] 그룹 와이즈 디인터리버(55)는, 블록 디인터리버(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 그룹 와이즈 디인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호(의 우도)를 LDPC 디코더(166)에 공급한다.
- [0544] 스텝 S113에서는, LDPC 디코더(166)가, 그룹 와이즈 디인터리버(55)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 도 8의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H를 사용해서 행하고, 즉, 검사 행렬 H에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용해서 행하고, 그 결과 얻어지는 데이터를, LDPC 대상 데이터의 복호 결과로서, BCH 디코더(167)에 출력한다.
- [0545] 또한, 도 119에서도, 도 9의 경우와 마찬가지로, 설명의 편의를 위해, 블록 디인터리브를 행하는 블록 디인터리버(54)와, 그룹 와이즈 디인터리브를 행하는 그룹 와이즈 디인터리버(55)를, 별개로 구성하도록 하였지만, 블록 디인터리버(54)와 그룹 와이즈 디인터리버(55)는, 일체적으로 구성할 수 있다.
- [0546] <LDPC 복호>
- [0547] 도 118의 LDPC 디코더(166)에서 행해지는 LDPC 복호에 대해서, 재차 설명한다.
- [0548] 도 118의 LDPC 디코더(166)에서는, 전술한 바와 같이, 그룹 와이즈 디인터리버(55)로부터의, 블록 디인터리브 및 그룹 와이즈 디인터리브가 행해지고 또한 패리티 디인터리브가 행해지지 않은 LDPC 부호의 LDPC 복호가, 도 8의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용해서 행해진다.
- [0549] 여기서, LDPC 복호를, 변환 검사 행렬을 사용해서 행함으로써, 회로 규모를 억제하면서, 동작 주파수를 충분히 실현 가능한 범위로 억제하는 것이 가능하게 되는 LDPC 복호가 우선 제안되고 있다(예를 들어, 일본 특허 제 4224777호를 참조).
- [0550] 따라서, 우선, 도 121 내지 도 124를 참조하여, 우선 제안되고 있는, 변환 검사 행렬을 사용한 LDPC 복호에 대해서 설명한다.
- [0551] 도 121은, 부호 길이 N이 90이고, 부호화율이 2/3인 LDPC 부호의 검사 행렬 H의 예를 나타내는 도면이다.
- [0552] 또한, 도 121에서는(후술하는 도 122 및 도 123에 있어서도 마찬가지), 0을, 피리어드(.)로 표현하고 있다.
- [0553] 도 121의 검사 행렬 H에서는, 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있다.
- [0554] 도 122는, 도 121의 검사 행렬 H에, 수학식 11의 행 치환과, 수학식 12의 열치환을 실시하여 얻어지는 검사 행렬 H'를 나타내는 도면이다.

수학식 11

- [0555] 행 치환: $6s+t+1$ 행째 $\rightarrow 5t+s+1$ 행째

수학식 12

- [0556] 열 치환: $6x+y+61$ 열째 $\rightarrow 5y+x+61$ 열째

- [0557] 단, 수학식 11 및 수학식 12에 있어서, s, t, x, y는, 각각, $0 \leq s < 5$, $0 \leq t < 6$, $0 \leq x < 5$, $0 \leq y < 6$ 의 범위의 정수이다.
- [0558] 수학식 11의 행 치환에 의하면, 6으로 나누어서 나머지가 1이 되는 1, 7, 13, 19, 25행째를, 각각, 1, 2, 3, 4, 5행째로, 6으로 나누어서 나머지가 2가 되는 2, 8, 14, 20, 26행째를, 각각, 6, 7, 8, 9, 10행째로, 라고 하는 방식으로 치환이 행해진다.
- [0559] 또한, 수학식 12의 열치환에 의하면, 61열째 이후(패리티 행렬)에 대하여 6으로 나누어서 나머지가 1이 되는

61, 67, 73, 79, 85열째를, 각각, 61, 62, 63, 64, 65열째로, 6으로 나누어서 나머지가 2가 되는 62, 68, 74, 80, 86열째를, 각각, 66, 67, 68, 69, 70열째로, 라고 하는 방식으로 치환이 행해진다.

- [0560] 이와 같이 하여, 도 121의 검사 행렬 H에 대하여 행과 열의 치환을 행하여 얻어진 행렬(matrix)이 도 122의 검사 행렬 H'이다.
- [0561] 여기서, 검사 행렬 H의 행 치환을 행하더라도, LDPC 부호의 부호 비트의 배열은 영향을 미치지 않는다.
- [0562] 또한, 수학적 식 12의 열치환은, 전술한, $K+qx+y+1$ 번째 부호 비트를, $K+Py+x+1$ 번째 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.
- [0563] 따라서, 도 122의 검사 행렬 H'는, 도 121의 검사 행렬(이하, 적절히, 원래의 검사 행렬이라고 함) H의, $K+qx+y+1$ 번째 열을, $K+Py+x+1$ 번째 열로 치환하는 열치환을, 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬이다.
- [0564] 도 122의 변환 검사 행렬 H'에 대하여 도 121의 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호에, 수학적 식 12와 동일한 치환을 행한 것을 곱하면, 0 벡터가 출력된다. 즉, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호(1부호어)로서의 행 벡터 c에, 수학적 식 12의 열치환을 실시하여 얻어지는 행 벡터를 c'로 나타내기로 하면, 검사 행렬의 성질로부터, Hc^T 는, 0 벡터가 되기 때문에, $H'c'^T$ 도, 당연히, 0 벡터가 된다.
- [0565] 이상으로부터, 도 122의 변환 검사 행렬 H'는, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호 c에, 수학적 식 12의 열치환을 행하여 얻어지는 LDPC 부호 c'의 검사 행렬로 되어 있다.
- [0566] 따라서, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호 c에, 수학적 식 12의 열치환을 행하고, 그 열치환 후의 LDPC 부호 c'를, 도 122의 변환 검사 행렬 H'를 사용해서 복호(LDPC 복호)하고, 그 복호 결과에, 수학적 식 12의 열치환된 임계값환을 실시함으로써, 원래의 검사 행렬 H의 LDPC 부호를, 그 검사 행렬 H를 사용해서 복호하는 경우와 마찬가지로 복호 결과를 얻을 수 있다.
- [0567] 도 123은, 5×5 의 행렬 단위로 간격을 둔, 도 122의 변환 검사 행렬 H'를 나타내는 도면이다.
- [0568] 도 123에 있어서는, 변환 검사 행렬 H'는, $5 \times 5(=P \times P)$ 의 단위 행렬, 그 단위 행렬의 1 중 1개 이상이 0으로 된 행렬(이하, 적절히, 준단위 행렬이라고 함), 단위 행렬 또는 준단위 행렬을 사이클릭 시프트(cyclic shift)한 행렬(이하, 적절히, 시프트 행렬이라고 함), 단위 행렬, 준단위 행렬 또는 시프트 행렬 중 2 이상인 합(이하, 적절히, 합 행렬이라고 함), 5×5 의 0 행렬의 조합으로 나타나 있다.
- [0569] 도 123의 변환 검사 행렬 H'는, 5×5 의 단위 행렬, 준단위 행렬, 시프트 행렬, 합 행렬, 0 행렬로 구성되어 있다고 할 수 있다. 따라서, 변환 검사 행렬 H'를 구성하는, 이 5×5 의 행렬(단위 행렬, 준단위 행렬, 시프트 행렬, 합 행렬, 0 행렬)을 이하, 적절히, 구성 행렬이라고 한다.
- [0570] $P \times P$ 의 구성 행렬로 표시되는 검사 행렬의 LDPC 부호의 복호에는, 체크 노드 연산 및 배리어블 노드 연산을, P개 동시에 행하는 아키텍처(architecture)를 사용할 수 있다.
- [0571] 도 124는, 그와 같은 복호를 행하는 복호 장치의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0572] 즉, 도 124는, 도 121의 원래의 검사 행렬 H에 대하여 적어도, 수학적 식 12의 열치환을 행하여 얻어지는 도 123의 변환 검사 행렬 H'를 사용하여, LDPC 부호의 복호를 행하는 복호 장치의 구성예를 나타내고 있다.
- [0573] 도 124의 복호 장치는, 6개의 FIFO300₁ 내지 300₆을 포함하는 가지 데이터 저장용 메모리(300), FIFO300₁ 내지 300₆을 선택하는 셀렉터(301), 체크 노드 계산부(302), 2개의 사이클릭 시프트 회로(303 및 308), 18개의 FIFO304₁ 내지 304₁₈을 포함하는 가지 데이터 저장용 메모리(304), FIFO304₁ 내지 304₁₈을 선택하는 셀렉터(305), 수신 데이터를 저장하는 수신 데이터용 메모리(306), 배리어블 노드 계산부(307), 복호어 계산부(309), 수신 데이터 재배열부(310), 복호 데이터 재배열부(311)를 포함한다.
- [0574] 우선, 가지 데이터 저장용 메모리(300과 304)에의 데이터의 저장 방법에 대해서 설명한다.
- [0575] 가지 데이터 저장용 메모리(300)는, 도 123의 변환 검사 행렬 H'의 행수 30을 구성 행렬의 행수(순회 구조의 단위의 열수 P) 5로 나눈 수인 6개의 FIFO300₁ 내지 300₆으로 구성되어 있다. FIFO300_y(y=1, 2, ..., 6)는 복수의 단수의 기억 영역을 포함하고, 각 단의 기억 영역에 대해서는, 구성 행렬의 행수 및 열수(순회 구조의 단위의

열수 P)인 5개의 가지에 대응하는 메시지를 동시에 판독 및 기입할 수 있게 되어 있다. 또한, FIFO300_y의 기억 영역의 단수는, 도 123의 변환 검사 행렬의 행방향 1의 수(허밍 가중치)의 최대수인 9로 되어 있다.

[0576] FIFO300₁에는, 도 123의 변환 검사 행렬 H'의 제1행째부터 제5행째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터(배리어블 노드로부터의 메시지 v_i)가 각 행 모두 가로 방향으로 채운 형태로(0을 무시한 형태로) 저장된다. 즉, 제j행 제i열을, (j,i)라고 나타내기로 하면, FIFO300₁의 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 오른쪽 방향으로 3개만큼 사이클릭 시프트한 시프트 행렬)의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 제3 내지 제8단의 기억 영역도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H'와 대응지어 데이터가 저장된다. 그리고, 제9단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (1,86)으로부터 (5,90)의 시프트 행렬(5×5의 단위 행렬 중 1행째 1을 0으로 치환하여 1개만큼 왼쪽으로 사이클릭 시프트한 시프트 행렬)의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다.

[0577] FIFO300₂에는, 도 123의 변환 검사 행렬 H'의 제6행째부터 제10행째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터가 저장된다. 즉, FIFO300₂의 제1단의 기억 영역에는, 변환 검사 행렬 H'의 (6,1)로부터 (10,5)의 합 행렬(5×5의 단위 행렬을 오른쪽으로 1개만큼 사이클릭 시프트한 제1 시프트 행렬과, 오른쪽으로 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.

[0578] 즉, 가중치가 2 이상인 구성 행렬에 대해서는, 그 구성 행렬을, 가중치가 1인 P×P의 단위 행렬, 단위 행렬의 요소 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 또는 단위 행렬 또는 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 시프트 행렬 중 복수의 합의 형태로 표현했을 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(FIFO300₁ 내지 300₆ 중 동일한 FIFO)에 저장된다.

[0579] 이하, 제3 내지 제9단의 기억 영역에 대해서도, 변환 검사 행렬 H'에 대응지어 데이터가 저장된다.

[0580] FIFO300₃ 내지 300₆도 마찬가지로 변환 검사 행렬 H'에 대응지어 데이터를 저장한다.

[0581] 가지 데이터 저장용 메모리(304)는, 변환 검사 행렬 H'의 열수 90을, 구성 행렬의 열수(순회 구조의 단위의 열수 P)인 5로 나눈 18개의 FIFO304₁ 내지 304₁₈로 구성되어 있다. FIFO304_x(x=1, 2, ..., 18)는 복수의 단수의 기억 영역을 포함하고, 각 단의 기억 영역에 대해서는, 구성 행렬의 행수 및 열수(순회 구조의 단위의 열수 P)인 5개의 가지에 대응하는 메시지를 동시에 판독 및 기입할 수 있게 되어 있다.

[0582] FIFO304₁에는, 도 123의 변환 검사 행렬 H'의 제1 열째부터 제5 열째까지의 1의 위치에 대응하는 데이터(체크 노드로부터의 메시지 u_j)가 각 열 모두 세로 방향으로 채운 형태로(0을 무시한 형태로) 저장된다. 즉, FIFO304₁의 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 오른쪽으로 1개만큼 사이클릭 시프트한 제1 시프트 행렬과, 오른쪽으로 2개만큼 사이클릭 시프트한 제2 시프트 행렬의 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.

[0583] 즉, 가중치가 2 이상인 구성 행렬에 대해서는, 그 구성 행렬을, 가중치가 1인 P×P의 단위 행렬, 단위 행렬의 요소 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 또는 단위 행렬 또는 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 시프트 행렬 중 복수의 합의 형태로 표현했을 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(FIFO304₁ 내지 304₁₈ 중 동일한 FIFO)에 저장된다.

[0584] 이하, 제4 및 제5단의 기억 영역에 대해서도, 변환 검사 행렬 H'에 대응지어, 데이터가 저장된다. 이 FIFO304₁의 기억 영역의 단수는, 변환 검사 행렬 H'의 제1 열 내지 제5 열에 있어서의 행방향으로 1의 수(허밍 가중치)

의 최대수인 5로 되어 있다.

- [0585] $FIFO_{304_2}$ 와 304_3 도 마찬가지로 변환 검사 행렬 H' 에 대응지어 데이터를 저장하고, 각각의 길이(단수)는 5이다. $FIFO_{304_4}$ 내지 304_{12} 도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H' 에 대응지어 데이터를 저장하고, 각각의 길이는 3이다. $FIFO_{304_{13}}$ 내지 304_{18} 도 마찬가지로, 변환 검사 행렬 H' 에 대응지어 데이터를 저장하고, 각각의 길이는 2이다.
- [0586] 이어서, 도 124의 복호 장치의 동작에 대해서 설명한다.
- [0587] 가지 데이터 저장용 메모리(300)는, 6개의 $FIFO_{300_1}$ 내지 300_6 을 포함하고, 전단의 사이클릭 시프트 회로(308)로부터 공급되는 5개의 메시지 D_{311} 이, 도 123의 변환 검사 행렬 H' 의 어느 행에 속하는지의 정보(Matrix 데이터) D_{312} 에 따라서, 데이터를 저장하는 FIFO를, $FIFO_{300_1}$ 내지 300_6 중에서 선택하고, 선택한 FIFO에 5개의 메시지 D_{311} 을 묶어서 순서대로 저장해 간다. 또한, 가지 데이터 저장용 메모리(300)는, 데이터를 판독할 때에는, $FIFO_{300_1}$ 로부터 5개의 메시지 D_{300_1} 을 순서대로 판독하고, 다음 단의 셀렉터(301)에 공급한다. 가지 데이터 저장용 메모리(300)는, $FIFO_{300_1}$ 로부터의 메시지의 판독 종료 후, $FIFO_{300_2}$ 내지 300_6 으로부터도, 순서대로, 메시지를 판독하고, 셀렉터(301)에 공급한다.
- [0588] 셀렉터(301)는, 셀렉트 신호 D_{301} 에 따라서, $FIFO_{300_1}$ 내지 300_6 중, 현재 데이터가 판독되어 있는 FIFO로부터의 5개의 메시지를 선택하고, 메시지 D_{302} 로서, 체크 노드 계산부(302)에 공급한다.
- [0589] 체크 노드 계산부(302)는, 5개의 체크 노드 계산기(302_1 내지 302_5)를 포함하고, 셀렉터(301)를 통해서 공급되는 메시지 D_{302} (D_{302_1} 내지 D_{302_5})(수학식 7의 메시지 v_i)를 사용하여, 수학식 7에 따라서 체크 노드 연산을 행하고, 그 체크 노드 연산의 결과 얻어지는 5개의 메시지 D_{303} (D_{303_1} 내지 D_{303_5})(수학식 7의 메시지 u_j)을 사이클릭 시프트 회로(303)에 공급한다.
- [0590] 사이클릭 시프트 회로(303)는, 체크 노드 계산부(302)에 의해 구해진 5개의 메시지 D_{303_1} 내지 D_{303_5} 를, 대응하는 가지가 변환 검사 행렬 H' 에 있어서 원래로 되는 단위 행렬(또는 준단위 행렬)을 몇 사이클릭 시프트한 것인지의 정보(Matrix 데이터) D_{305} 를 기초로 사이클릭 시프트하고, 그 결과를 메시지 D_{304} 로서, 가지 데이터 저장용 메모리(304)에 공급한다.
- [0591] 가지 데이터 저장용 메모리(304)는, 18개의 $FIFO_{304_1}$ 내지 304_{18} 을 포함하고, 전단의 사이클릭 시프트 회로(303)로부터 공급되는 5개의 메시지 D_{304} 가 변환 검사 행렬 H' 의 어느 행에 속하는지의 정보 D_{305} 에 따라서, 데이터를 저장하는 FIFO를, $FIFO_{304_1}$ 내지 304_{18} 중에서 선택하고, 선택한 FIFO에 5개의 메시지 D_{304} 를 묶어서 순서대로 저장해 간다. 또한, 가지 데이터 저장용 메모리(304)는, 데이터를 판독할 때에는, $FIFO_{304_1}$ 로부터 5개의 메시지 D_{306_1} 을 순서대로 판독하고, 다음 단의 셀렉터(305)에 공급한다. 가지 데이터 저장용 메모리(304)는, $FIFO_{304_1}$ 로부터의 데이터의 판독 종료 후, $FIFO_{304_2}$ 내지 304_{18} 로부터도, 순서대로, 메시지를 판독하고, 셀렉터(305)에 공급한다.
- [0592] 셀렉터(305)는, 셀렉트 신호 D_{307} 에 따라서, $FIFO_{304_1}$ 내지 304_{18} 중, 현재 데이터가 판독되어 있는 FIFO로부터의 5개의 메시지를 선택하고, 메시지 D_{308} 로서, 배리어블 노드 계산부(307)와 복호어 계산부(309)에 공급한다.
- [0593] 한편, 수신 데이터 재배열부(310)는, 통신로(13)를 통해서 수신한, 도 121의 검사 행렬 H 에 대응하는 LDPC 부호 D_{313} 을, 수학식 12의 열치환을 행함으로써 재배열, 수신 데이터 D_{314} 로서, 수신 데이터용 메모리(306)에 공급한다. 수신 데이터용 메모리(306)는, 수신 데이터 재배열부(310)로부터 공급되는 수신 데이터 D_{314} 로부터, 수신 LLR(대수 우도비)을 계산해서 기억하고, 그 수신 LLR을 5개씩 묶어서 수신값 D_{309} 로서, 배리어블 노드 계산부(307)와 복호어 계산부(309)에 공급한다.
- [0594] 배리어블 노드 계산부(307)는, 5개의 배리어블 노드 계산기(307_1 내지 307_5)를 포함하고, 셀렉터(305)를 통해서 공급되는 메시지 D_{308} (D_{308_1} 내지 D_{308_5})(수학식 1의 메시지 u_j)과, 수신 데이터용 메모리(306)로부터 공급되는 5개의 수신값 D_{309} (수학식 1의 수신값 u_{0i})를 사용하여, 수학식 1에 따라서 배리어블 노드 연산을 행하고, 그 연산의 결과 얻어지는 메시지 D_{310} (D_{310_1} 내지 D_{310_5})(수학식 1의 메시지 v_i)을 사이클릭 시프트 회로(308)에 공급

한다.

- [0595] 사이클릭 시프트 회로(308)는, 배리어블 노드 계산부(307)에서 계산된 메시지 $D310_1$ 내지 $D310_5$ 를, 대응하는 가지의 변환 검사 행렬 H' 에 있어서 원래로 되는 단위 행렬(또는 준단위 행렬)을 몇 사이클릭 시프트한 것인지의 정보를 기초로 사이클릭 시프트하고, 그 결과를 메시지 $D311$ 로서, 가지 데이터 저장용 메모리(300)에 공급한다.
- [0596] 이상의 동작을 일순함으로써, LDPC 부호의 1회의 복호(배리어블 노드 연산 및 체크 노드 연산)를 행할 수 있다. 도 124의 복호 장치는, 소정의 횟수만큼 LDPC 부호를 복호한 후, 복호어 계산부(309) 및 복호 데이터 재배열부(311)에 있어서, 최종적인 복호 결과를 구하여 출력한다.
- [0597] 즉, 복호어 계산부(309)는, 5개의 복호어 계산기(309_1 내지 309_5)를 포함하고, 셀렉터(305)가 출력하는 5개의 메시지 $D308(D308_1$ 내지 $D308_5)$ (수학식 5의 메시지 u_i)과, 수신 데이터용 메모리(306)로부터 공급되는 5개의 수신값 $D309$ (수학식 5의 수신값 u_{0i})를 사용하여, 복수회의 복호 최종단으로서, 수학식 5에 기초하여, 복호 결과(복호어)를 계산하고, 그 결과 얻어지는 복호 데이터 $D315$ 를, 복호 데이터 재배열부(311)에 공급한다.
- [0598] 복호 데이터 재배열부(311)는, 복호어 계산부(309)로부터 공급되는 복호 데이터 $D315$ 를 대상으로, 수학식 12의 열치환된 임계값환을 행함으로써, 그 순서를 재배열하고, 최종적인 복호 결과 $D316$ 으로서 출력한다.
- [0599] 이상과 같이, 검사 행렬(원의 검사 행렬)에 대하여 행 치환과 열치환 중 한쪽 또는 양쪽을 실시하고, $P \times P$ 의 단위 행렬, 그 요소의 1 중 1개 이상이 0으로 된 준단위 행렬, 단위 행렬 또는 준단위 행렬을 사이클릭 시프트한 행렬, 단위 행렬, 준단위 행렬, 또는 시프트 행렬의 복수의 합인 합 행렬, $P \times P$ 의 0 행렬의 조합, 즉, 구성 행렬의 조합으로 나타낼 수 있는 검사 행렬(변환 검사 행렬)로 변환함으로써, LDPC 부호의 복호를, 체크 노드 연산과 배리어블 노드 연산을, 검사 행렬의 행수나 열수보다 작은 수의 P 개 동시에 행하는 아키텍처(architecture)를 채용하는 것이 가능해진다. 노드 연산(체크 노드 연산과 배리어블 노드 연산)을 검사 행렬의 행수나 열수보다 작은 수의 P 개 동시에 행하는 아키텍처를 채용하는 경우, 노드 연산을, 검사 행렬의 행수나 열수와 똑같은 수만큼 동시에 행하는 경우에 비교하여 동작 주파수를 실현 가능한 범위로 억제하여, 다수의 반복 복호를 행할 수 있다.
- [0600] 도 118의 수신 장치(12)를 구성하는 LDPC 디코더(166)는, 예를 들어 도 124의 복호 장치와 마찬가지로, 체크 노드 연산과 배리어블 노드 연산을 P 개 동시에 행함으로써, LDPC 복호를 행하게 되어 있다.
- [0601] 즉, 여기서, 설명을 간단하게 하기 위해서, 도 8의 송신 장치(11)를 구성하는 LDPC 인코더(115)가 출력하는 LDPC 부호의 검사 행렬이, 예를 들어 도 121에 나타낸, 패리티 행렬이 계단 구조로 되어 있는 검사 행렬 H 라 하면, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23)에서는, $K+qx+y+1$ 번째 부호 비트를, $K+Py+x+1$ 번째 부호 비트의 위치에 인터리브하는 패리티 인터리브가, 정보 길이 K 를 60으로, 순회 구조의 단위의 열수 P 를 5로, 패리티 길이 M 의 약수 $q(=M/P)$ 를 6으로, 각각 하여 행해진다.
- [0602] 이 패리티 인터리브는, 전술한 바와 같이, 수학식 12의 열치환에 상당하기 때문에, LDPC 디코더(166)에서는, 수학식 12의 열치환을 행할 필요가 없다.
- [0603] 이로 인해, 도 118의 수신 장치(12)에서는, 전술한 바와 같이, 그룹 와이즈 디인터리버(55)로부터, LDPC 디코더(166)에 대하여 패리티 디인터리브가 행해지지 않은 LDPC 부호, 즉, 수학식 12의 열치환이 행해진 상태의 LDPC 부호가 공급되고, LDPC 디코더(166)에서는, 수학식 12의 열치환을 행하지 않는 것을 제외하면, 도 124의 복호 장치와 마찬가지로 처리가 행해진다.
- [0604] 즉, 도 125는, 도 118의 LDPC 디코더(166)의 구성예를 나타내는 도면이다.
- [0605] 도 125에 있어서, LDPC 디코더(166)는, 도 124의 수신 데이터 재배열부(310)가 설치되지 않은 것을 제외하면, 도 124의 복호 장치와 마찬가지로 구성되어 있고, 수학식 12의 열치환이 행해지지 않는 것을 제외하고, 도 124의 복호 장치와 마찬가지로 처리를 행하기 때문에, 그 설명은 생략한다.
- [0606] 이상과 같이, LDPC 디코더(166)는, 수신 데이터 재배열부(310)를 설치하지 않고 구성할 수 있으므로, 도 124의 복호 장치보다, 규모를 삭감할 수 있다.
- [0607] 또한, 도 121 내지 도 125에서는, 설명을 간단하게 하기 위해서, LDPC 부호의 부호 길이 N 을 90으로, 정보 길이 K 를 60으로, 순회 구조의 단위의 열수(구성 행렬의 행수 및 열수) P 를 5로, 패리티 길이 M 의 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, 전술

한 값에 한정되는 것은 아니다.

- [0608] 즉, 도 8의 송신 장치(11)에 있어서, LDPC 인코더(115)가 출력하는 것은, 예를 들어 부호 길이 N 을 64800이나 16200 등과, 정보 길이 K 를 $N-Pq(=N-M)$ 와, 순회 구조의 단위의 열수 P 를 360으로, 약수 q 를 M/P 로, 각각 하는 LDPC 부호이지만, 도 125의 LDPC 디코더(166)는, 그와 같은 LDPC 부호를 대상으로 하여, 체크 노드 연산과 배리어블 노드 연산을 P 개 동시에 행함으로써, LDPC 복호를 행하는 경우에 적용 가능하다.
- [0609] <블록 디인터리버(54)의 구성예>
- [0610] 도 126은, 도 119의 블록 디인터리버(54)의 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0611] 블록 디인터리버(54)는, 도 106에서 설명한 블록 인터리버(25)와 마찬가지로 구성된다.
- [0612] 따라서, 블록 디인터리버(54)는, 파트 1(part 1)이라 불리는 기억 영역과, 파트 2(part 2)라 불리는 기억 영역을 가지며, 파트 1 및 2는, 모두 로우 방향으로, 1비트를 기억하고, 칼럼 방향으로 소정의 비트수를 기억하는 기억 영역으로서의 칼럼이, 로우 방향으로, 심벌의 비트수 m 과 같은 수 C 만큼 배열해서 구성된다.
- [0613] 블록 디인터리버(54)는, 파트 1 및 2에 대하여 LDPC 부호를 기입해서 판독함으로써, 블록 디인터리브를 행한다.
- [0614] 단, 블록 디인터리브에서는, (심벌로 되어 있음) LDPC 부호의 기입은, 도 106의 블록 인터리버(25)가 LDPC 부호를 판독하는 순서대로 행해진다.
- [0615] 또한, 블록 디인터리브에서는, LDPC 부호의 판독은, 도 106의 블록 인터리버(25)가 LDPC 부호를 기입하는 순서대로 행해진다.
- [0616] 즉, 도 106의 블록 인터리버(25)에 의한 블록 인터리브에서는, LDPC 부호가, 파트 1 및 2에 대하여 칼럼 방향으로 기입되고, 로우 방향으로 판독되지만, 도 126의 블록 디인터리버(54)에 의한 블록 디인터리브에서는, LDPC 부호가, 파트 1 및 2에 대하여 로우 방향으로 기입되고, 칼럼 방향으로 판독된다.
- [0617] <비트 디인터리버(165)의 다른 구성예>
- [0618] 도 127은, 도 118의 비트 디인터리버(165)의 다른 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0619] 또한, 도면 중, 도 119의 경우와 대응하는 부분에 대해서는, 동일한 부호를 부여하고 있고, 이하에서는, 그 설명은, 적절히 생략한다.
- [0620] 즉, 도 127의 비트 디인터리버(165)는, 패리티 디인터리버(1011)가 새롭게 설치되어 있는 것 외에는 도 119의 경우와 마찬가지로 구성되어 있다.
- [0621] 도 127에서는, 비트 디인터리버(165)는, 블록 디인터리버(54), 그룹 와이즈 디인터리버(55) 및 패리티 디인터리버(1011)로 구성되고, 디매퍼(164)로부터의 LDPC 부호의 부호 비트의 비트 디인터리브를 행한다.
- [0622] 즉, 블록 디인터리버(54)는, 디매퍼(164)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 블록 인터리버(25)가 행하는 블록 인터리브에 대응하는 블록 디인터리브(블록 인터리브의 역처리), 즉, 블록 인터리브에 의해 교체된 부호 비트의 위치를 원래의 위치로 되돌리는 블록 디인터리브를 행하고, 그 결과 얻어지는 LDPC 부호를, 그룹 와이즈 디인터리버(55)에 공급한다.
- [0623] 그룹 와이즈 디인터리버(55)는, 블록 디인터리버(54)로부터의 LDPC 부호를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 그룹 와이즈 인터리버(24)가 행하는 재배열 처리로서의 그룹 와이즈 인터리브에 대응하는 그룹 와이즈 디인터리브를 행한다.
- [0624] 그룹 와이즈 디인터리브의 결과 얻어지는 LDPC 부호는, 그룹 와이즈 디인터리버(55)로부터 패리티 디인터리버(1011)에 공급된다.
- [0625] 패리티 디인터리버(1011)는, 그룹 와이즈 디인터리버(55)에서의 그룹 와이즈 디인터리브 후의 부호 비트를 대상으로 하여, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23)가 행하는 패리티 인터리브에 대응하는 패리티 디인터리브(패리티 인터리브의 역의 처리), 즉, 패리티 인터리브에 의해 배열이 변경된 LDPC 부호의 부호 비트를, 원래의 배열로 되돌리는 패리티 디인터리브를 행한다.
- [0626] 패리티 디인터리브의 결과 얻어지는 LDPC 부호는, 패리티 디인터리버(1011)로부터 LDPC 디코더(166)에 공급된다.

- [0627] 따라서, 도 127의 비트 디인터리버(165)에서는, LDPC 디코더(166)에는, 블록 디인터리브, 그룹 와이즈 디인터리브 및 패리티 디인터리브가 행해진 LDPC 부호, 즉, 검사 행렬 H에 따른 LDPC 부호화에 의해 얻어지는 LDPC 부호가 공급된다.
- [0628] LDPC 디코더(166)는, 비트 디인터리버(165)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H를 사용하여 행한다. 즉, LDPC 디코더(166)는, 비트 디인터리버(165)로부터의 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H 그 자체를 사용하거나 또는 그 검사 행렬 H에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행한다.
- [0629] 여기서, 도 127에서는, 비트 디인터리버(165)(의 패리티 디인터리버(1011))로부터 LDPC 디코더(166)에 대하여 검사 행렬 H에 따른 LDPC 부호화에 의해 얻어지는 LDPC 부호가 공급되기 때문에, 그 LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H 그 자체를 사용하여 행하는 경우에는, LDPC 디코더(166)는, 예를 들어 메시지(체크 노드 메시지, 베리어블 노드 메시지)의 연산을 1개의 노드씩 순차 행하는 풀 시리얼 디코딩(full serial decoding) 방식에 의한 LDPC 복호를 행하는 복호 장치나, 메시지의 연산을 모든 노드에 대해서 동시(병렬)에 행하는 풀 패럴렐 디코딩(full parallel decoding) 방식에 의한 LDPC 복호를 행하는 복호 장치로 구성할 수 있다.
- [0630] 또한, LDPC 디코더(166)에 있어서, LDPC 부호의 LDPC 복호를, 송신 장치(11)의 LDPC 인코더(115)가 LDPC 부호화에 사용한 검사 행렬 H에 대하여 패리티 인터리브에 상당하는 열치환을 적어도 행하여 얻어지는 변환 검사 행렬을 사용하여 행하는 경우에는, LDPC 디코더(166)는, 체크 노드 연산 및 베리어블 노드 연산, P(또는 P의 1 이외의 약수)개 동시에 행하는 아키텍처(architecture)의 복호 장치로서, 변환 검사 행렬을 얻기 위한 열치환과 마찬가지로 열치환을, LDPC 부호에 실시함으로써, 그 LDPC 부호의 부호 비트를 재배열하는 수신 데이터 재배열부(310)를 갖는 복호 장치(도 124)로 구성할 수 있다.
- [0631] 또한, 도 127에서는, 설명의 편의를 위해, 블록 디인터리브를 행하는 블록 디인터리버(54), 그룹 와이즈 디인터리브를 행하는 그룹 와이즈 디인터리버(55) 및 패리티 디인터리브를 행하는 패리티 디인터리버(1011) 각각을, 별개로 구성하도록 하였지만, 블록 디인터리버(54), 그룹 와이즈 디인터리버(55) 및 패리티 디인터리버(1011)의 둘 이상은, 송신 장치(11)의 패리티 인터리버(23), 그룹 와이즈 인터리버(24) 및 블록 인터리버(25)와 마찬가지로, 일체적으로 구성할 수 있다.
- [0632] <수신 시스템의 구성예>
- [0633] 도 128은, 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제1 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0634] 도 128에 있어서, 수신 시스템은, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)로 구성된다.
- [0635] 취득부(1101)는, 프로그램의 화상 데이터나 음성 데이터 등의 LDPC 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 전송로(통신로)를 통해서 취득하고, 전송로 복호 처리부(1102)에 공급한다.
- [0636] 여기서, 취득부(1101)가 취득하는 신호가, 예를 들어 방송국으로부터, 지상파나, 위성파, CATV(Cable Television)망 등을 통해서 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 멀티캐스트로 송신되어 오는 경우에는, 취득부(1101)는, 예를 들어 NIC(Network Interface Card) 등의 네트워크 I/F(Interface)로 구성된다.
- [0637] 전송로 복호 처리부(1102)는, 수신 장치(12)에 상당한다. 전송로 복호 처리부(1102)는, 취득부(1101)가 전송로를 통해서 취득한 신호에 대하여 전송로에서 발생하는 오류를 정정하는 처리를 적어도 포함하는 전송로 복호 처리를 실시하고, 그 결과 얻어지는 신호를, 정보원 복호 처리부(1103)에 공급한다.
- [0638] 즉, 취득부(1101)가 전송로를 통해서 취득한 신호는, 전송로에서 발생하는 오류를 정정하기 위한 오류 정정 부호화를, 적어도 행함으로써 얻어진 신호이며, 전송로 복호 처리부(1102)는, 그와 같은 신호에 대하여, 예를 들어 오류 정정 처리 등의 전송로 복호 처리를 실시한다.
- [0639] 여기서, 오류 정정 부호화로서는, 예를 들어 LDPC 부호화나, BCH 부호화 등이 있다. 여기에서는, 오류 정정 부

호화로서, 적어도, LDPC 부호화가 행해지고 있다.

- [0640] 또한, 전송로 복호 처리에는, 변조 신호의 복조 등이 포함되는 경우가 있다.
- [0641] 정보원 복호 처리부(1103)는, 전송로 복호 처리가 실시된 신호에 대하여 압축된 정보를 원래의 정보로 신장하는 처리를 적어도 포함하는 정보원 복호 처리를 실시한다.
- [0642] 즉, 취득부(1101)가 전송로를 통해서 취득한 신호에는, 정보로서의 화상이나 음성 등의 데이터양을 적게 하기 위해서, 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.
- [0643] 또한, 취득부(1101)가 전송로를 통해서 취득한 신호에, 압축 부호화가 실시되지 않은 경우에는, 정보원 복호 처리부(1103)에서는, 압축된 정보를 원래의 정보로 신장하는 처리는 행해지지 않는다.
- [0644] 여기서, 신장 처리로서는, 예를 들어 MPEG 디코드 등이 있다. 또한, 전송로 복호 처리에는, 신장 처리 외에, 디스크램블 등이 포함되는 경우가 있다.
- [0645] 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 통해서 취득되고, 전송로 복호 처리부(1102)에 공급된다.
- [0646] 전송로 복호 처리부(1102)에서는, 취득부(1101)로부터의 신호에 대하여, 예를 들어 수신 장치(12)이 행하는 것과 마찬가지로 처리 등이, 전송로 복호 처리로서 실시되고, 그 결과 얻어지는 신호가, 정보원 복호 처리부(1103)에 공급된다.
- [0647] 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.
- [0648] 이상과 같은 도 128의 수신 시스템은, 예를 들어 디지털 방송으로서의 텔레비전 방송을 수신하는 텔레비전 튜너 등에 적용할 수 있다.
- [0649] 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.
- [0650] 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.
- [0651] 도 129는, 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제2 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0652] 또한, 도면 중, 도 128의 경우와 대응하는 부분에 대해서는, 동일한 부호를 부여하고 있고, 이하에서는, 그 설명은, 적절히 생략한다.
- [0653] 도 129의 수신 시스템은, 취득부(1101), 전송로 복호 처리부(1102) 및 정보원 복호 처리부(1103)를 갖는 점에서, 도 128의 경우와 공통되고, 출력부(1111)가 새롭게 설치되어 있는 점에서, 도 128의 경우와 상이하다.
- [0654] 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, 또는 음성을 출력한다.
- [0655] 이상과 같은 도 129의 수신 시스템은, 예를 들어 디지털 방송으로서의 텔레비전 방송을 수신하는 TV(텔레비전 수상기)나, 라디오 방송을 수신하는 라디오 수신기 등에 적용할 수 있다.
- [0656] 또한, 취득부(1101)에 있어서 취득된 신호에, 압축 부호화가 실시되지 않은 경우에는, 전송로 복호 처리부(1102)가 출력하는 신호가, 출력부(1111)에 공급된다.
- [0657] 도 130은, 수신 장치(12)를 적용 가능한 수신 시스템의 제3 구성예를 나타내는 블록도이다.
- [0658] 또한, 도면 중, 도 128의 경우와 대응하는 부분에 대해서는, 동일한 부호를 부여하고 있고, 이하에서는, 그 설명은, 적절히 생략한다.

- [0659] 도 130의 수신 시스템은, 취득부(1101) 및 전송로 복호 처리부(1102)를 갖는 점에서, 도 128의 경우와 공통된다.
- [0660] 단, 도 130의 수신 시스템은, 정보원 복호 처리부(1103)가 설치되어 있지 않고, 기록부(1121)가 새롭게 설치되어 있는 점에서, 도 128의 경우와 상이하다.
- [0661] 기록부(1121)는, 전송로 복호 처리부(1102)가 출력하는 신호(예를 들어, MPEG의 TS의 TS패킷)를 광 디스크나, 하드디스크(자기 디스크), 플래시 메모리 등의 기록(기억) 매체에 기록한다(기억시킨다).
- [0662] 이상과 같은 도 130의 수신 시스템은, 텔레비전 방송을 녹화하는 레코더 등에 적용할 수 있다.
- [0663] 또한, 도 130에 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.
- [0664] <컴퓨터의 일 실시 형태>
- [0665] 이어서, 전술한 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.
- [0666] 따라서, 도 131은, 전술한 일련의 처리를 실행하는 프로그램이 인스톨되는 컴퓨터의 일 실시 형태의 구성예를 나타내고 있다.
- [0667] 프로그램은, 컴퓨터에 내장되어 있는 기록 매체로서의 하드디스크(705)나 ROM(703)에 미리 기록해 둘 수 있다.
- [0668] 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 또는 영속적으로 저장(기록)해 둘 수 있다. 이러한 리무버블 기록 매체(711)는, 소위 패키지 소프트웨어로서 제공할 수 있다.
- [0669] 또한, 프로그램은, 전술한 바와 같은 리무버블 기록 매체(711)로부터 컴퓨터에 인스톨하는 것 외에, 다운로드 사이트로부터, 디지털 위성 방송용 인공 위성을 통해서, 컴퓨터에 무선으로 전송하거나, LAN(Local Area Network), 인터넷 등의 네트워크를 통해서, 컴퓨터에 유선으로 전송하고, 컴퓨터에서는, 그렇게 해서 전송되어 오는 프로그램을, 통신부(708)에서 수신하여, 내장한 하드디스크(705)에 인스톨할 수 있다.
- [0670] 컴퓨터는, CPU(Central Processing Unit)(702)를 내장하고 있다. CPU(702)에는, 버스(701)를 통해서, 입출력 인터페이스(710)가 접속되어 있고, CPU(702)는, 입출력 인터페이스(710)를 통해서, 유저에 의해, 키보드나, 마우스, 마이크 등으로 구성되는 입력부(707)가 조작 등으로 됨으로써 명령이 입력되면, 그에 따라서, ROM(Read Only Memory)(703)에 저장되어 있는 프로그램을 실행한다. 또한 CPU(702)는, 하드디스크(705)에 저장되어 있는 프로그램, 위성 또는 네트워크로부터 전송되고, 통신부(708)에서 수신되어 하드디스크(705)에 인스톨된 프로그램, 또는 드라이브(709)에 장착된 리무버블 기록 매체(711)로부터 판독되어 하드디스크(705)에 인스톨된 프로그램을, RAM(Random Access Memory)(704)에 로드해서 실행한다. 이에 의해, CPU(702)는, 전술한 흐름도에 따른 처리, 또는 전술한 블록도의 구성에 의해 행해지는 처리를 행한다. 그리고, CPU(702)는, 그 처리 결과를, 필요에 따라서, 예를 들어 입출력 인터페이스(710)를 통해서, LCD(Liquid Crystal Display)나 스피커 등으로 구성되는 출력부(706)로부터 출력, 또는, 통신부(708)로부터 송신, 나아가서는 하드디스크(705)에 기록 등을 시킨다.
- [0671] 여기서, 본 명세서에 있어서, 컴퓨터에 각종 처리를 행하게 하기 위한 프로그램을 기술하는 처리 스텝은, 반드시 흐름도로서 기재된 순서를 따라 시계열로 처리할 필요는 없고, 병렬적 또는 개별로 실행되는 처리(예를 들어, 병렬 처리 또는 오브젝트에 의한 처리)도 포함하는 것이다.
- [0672] 또한, 프로그램은, 1개의 컴퓨터에 의해 처리되는 것이어도 되고, 복수의 컴퓨터에 의해 분산 처리되는 것이어도 된다. 또한, 프로그램은, 원격 컴퓨터로 전송되어 실행되는 것이어도 된다.
- [0673] 또한, 본 기술의 실시 형태는, 전술한 실시 형태에 한정되는 것은 아니고, 본 기술의 요지를 일탈하지 않는 범위에서 다양한 변경이 가능하다.
- [0674] 즉, 예를 들어 전술한 신 LDPC 부호(의 검사 행렬 초기값 테이블)는, 통신로(13)(도 7)는 위성 회선이나, 지상파, 케이블(유선 회선), 그 밖의 어느 것이든 사용하는 것이 가능하다. 또한, 신 LDPC 부호는, 디지털 방송 이

외의 데이터 전송에도 사용할 수 있다.

[0675] 또한, 전송한 GW 패턴은, 신 LDPC 부호 이외에도 적용할 수 있다. 또한, 전송한 GW 패턴을 적용하는 변조 방식은, 16QAM이나, 64QAM, 256QAM, 1024QAM에 한정되는 것은 아니다.

[0676] 또한, 본 명세서에 기재된 효과는 어디까지나 예시로서 한정되는 것은 아니고, 다른 효과가 있을 수 있다.

부호의 설명

[0677]

- 11 : 송신 장치
- 12 : 수신 장치
- 23 : 패리티 인터리버
- 24 : 그룹 와이즈 인터리버
- 25 : 블록 인터리버
- 31 : 메모리
- 32 : 교체부
- 54 : 블록 디인터리버
- 55 : 그룹 와이즈 디인터리버
- 111 : 모드 어댑테이션/멀티플렉서
- 112 : 패더
- 113 : BB 스캐램블러
- 114 : BCH 인코더
- 115 : LDPC 인코더
- 116 : 비트 인터리버
- 117 : 매퍼
- 118 : 시간 인터리버
- 119 : SISO/MISO 인코더
- 120 : 주파수 인터리버
- 121 : BCH 인코더
- 122 : LDPC 인코더
- 123 : 매퍼
- 124 : 주파수 인터리버
- 131 : 프레임 빌더/리소스 할로케이션부
- 132 : OFDM 생성부
- 151 : OFDM 처리부
- 152 : 프레임 관리부
- 153 : 주파수 디인터리버
- 154 : 디매퍼
- 155 : LDPC 디코더
- 156 : BCH 디코더

161 : 주파수 디인터리버
 162 : SISO/MISO 디코더
 163 : 시간 디인터리버
 164 : 디매퍼
 165 : 비트 디인터리버
 166 : LDPC 디코더
 167 : BCH 디코더
 168 : BB 디스크램블러
 169 : 널 삭제부
 170 : 디멀티플렉서
 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 : 배리어블 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 관독부
 613 : 검사 행렬 생성부
 614 : 정보 비트 관독부
 615 : 부호화 패리티 연산부
 616 : 제어부
 701 : 버스
 702 : CPU
 703 : ROM
 704 : RAM
 705 : 하드디스크
 706 : 출력부

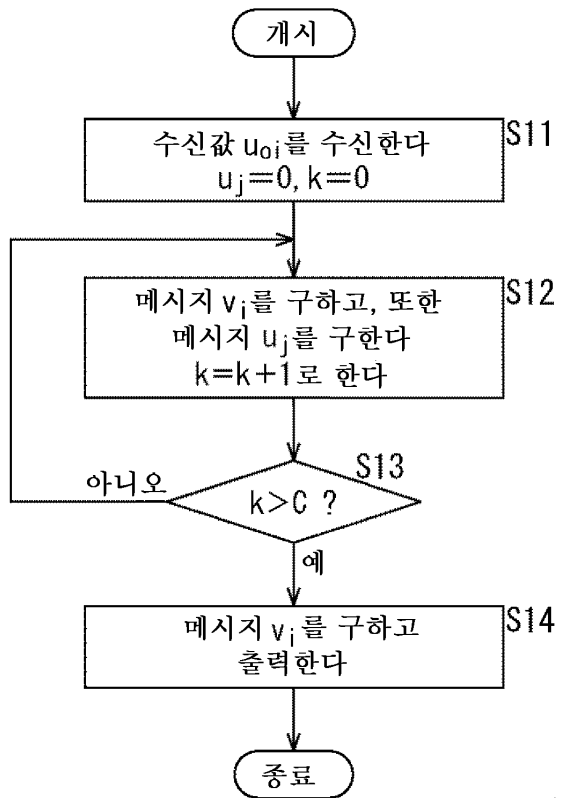
707 : 입력부
 708 : 통신부
 709 : 드라이브
 710 : 입출력 인터페이스
 711 : 리무버블 기록 매체
 1001 : 역교체부
 1002 : 메모리
 1011 : 패리티 디인터리버
 1101 : 취득부
 1102 : 전송로 복호 처리부
 1103 : 정보원 복호 처리부
 1111 : 출력부
 1121 : 기록부

도면

도면1

$$H = \begin{bmatrix} & & \vdots & & \\ \cdots 1 \cdots 1 \cdot & 1 & \cdots \cdots 1 \cdots 1 \cdots 1 \\ & \vdots & & & \\ & 1 & & & \\ & \vdots & & & \\ & 1 & & & \\ & \vdots & & & \end{bmatrix}$$

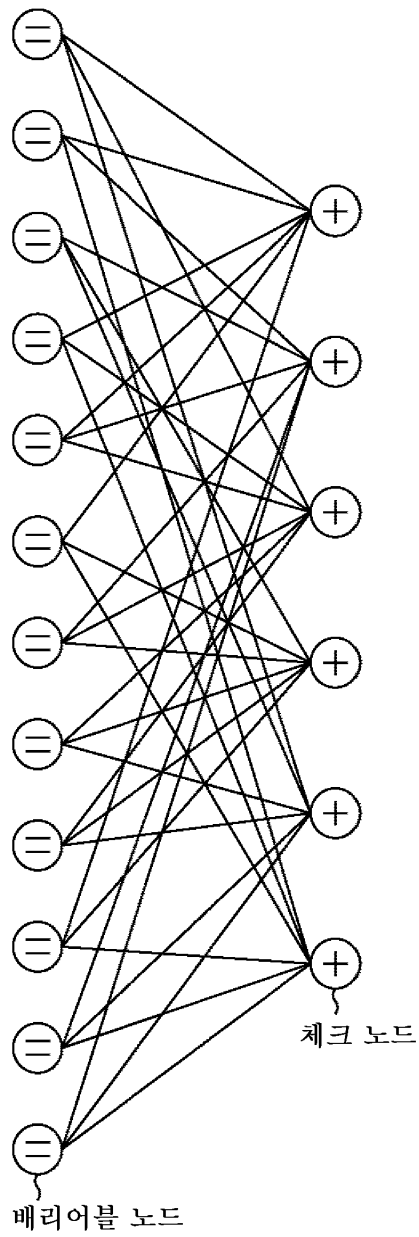
도면2



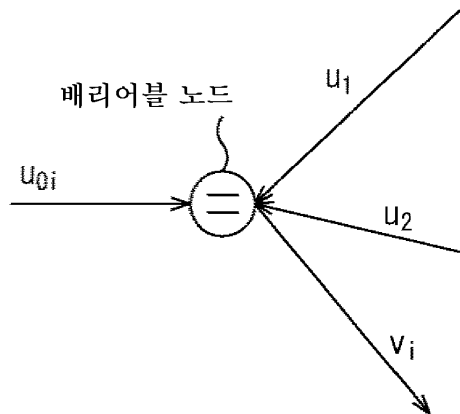
도면3

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

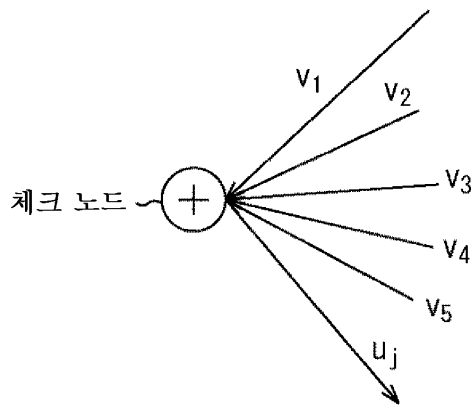
도면4



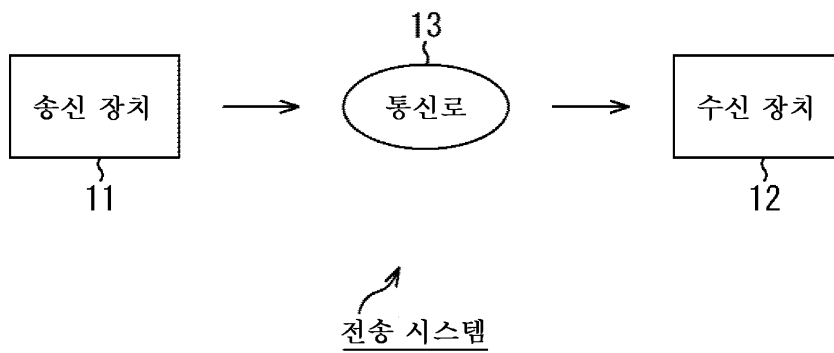
도면5



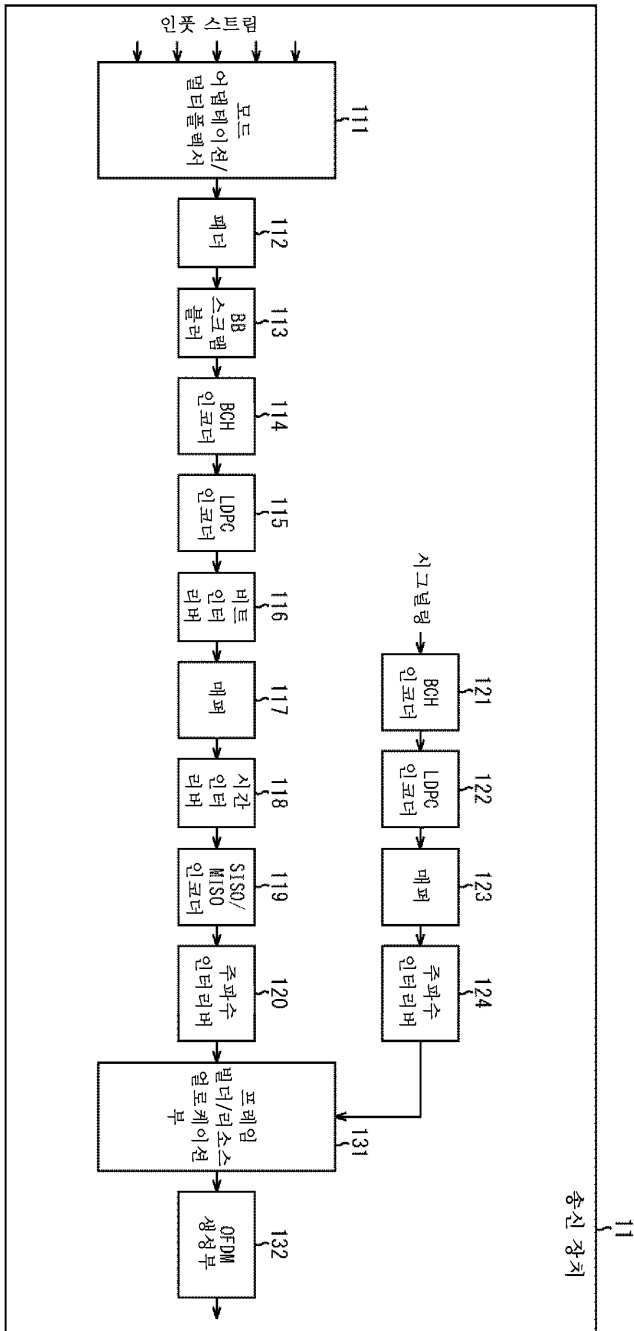
도면6



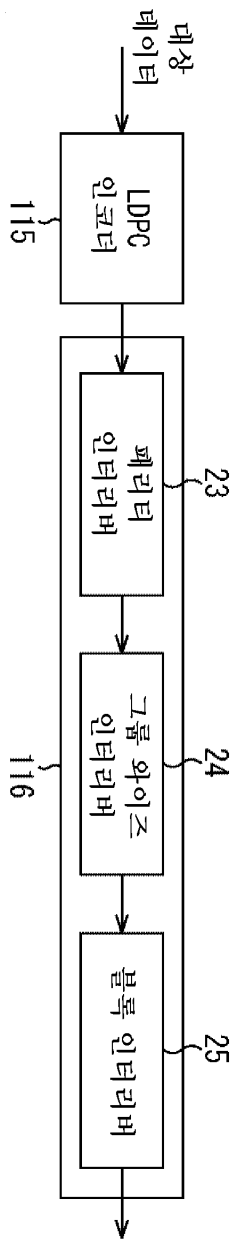
도면7



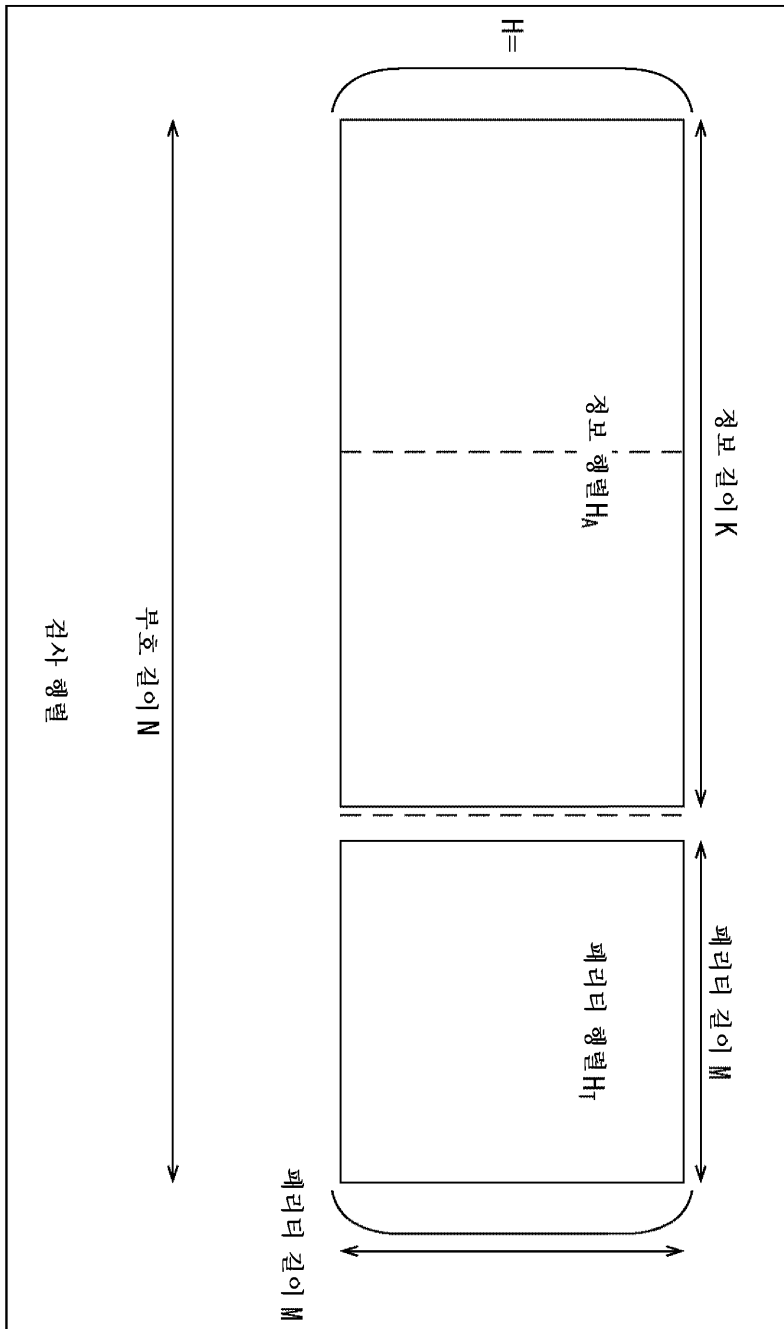
도면8



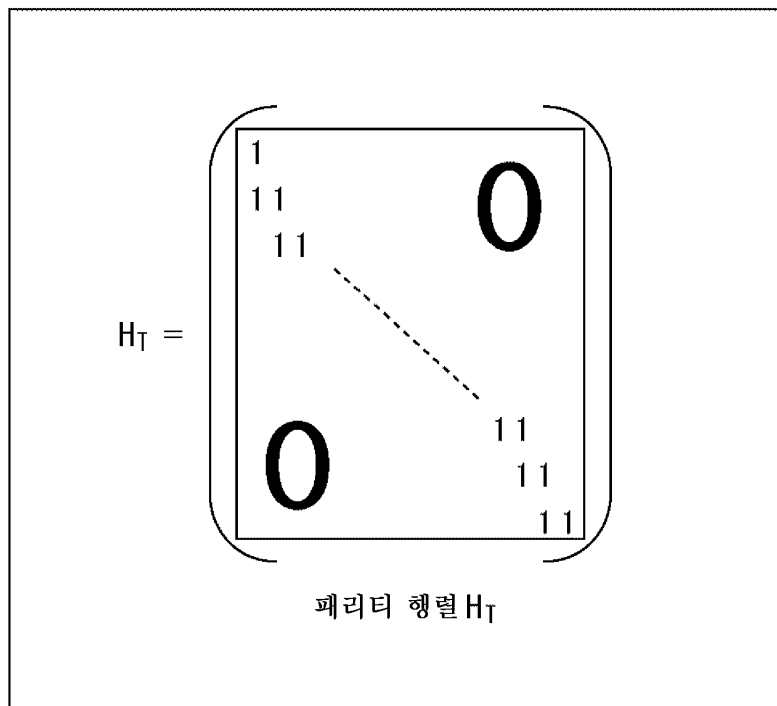
도면9



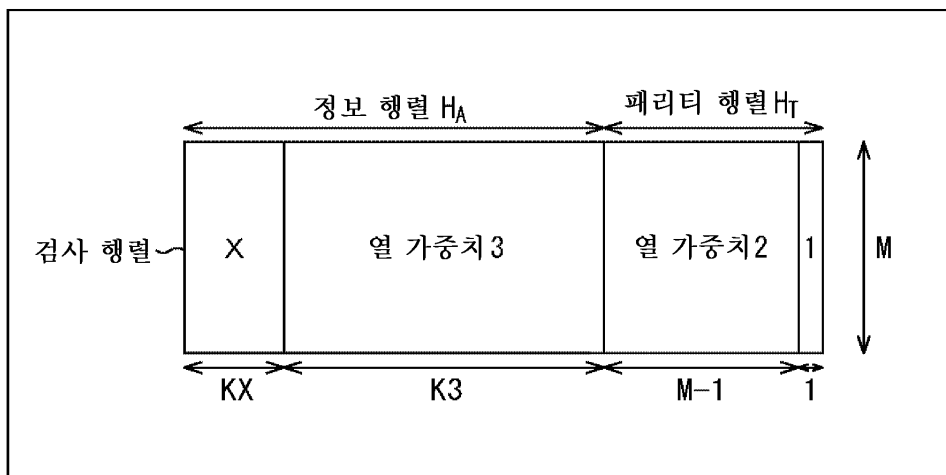
도면10



도면11



도면12

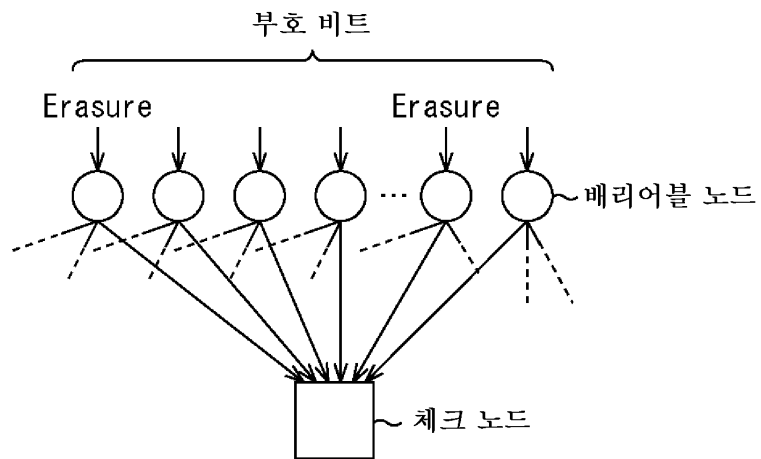


도면13

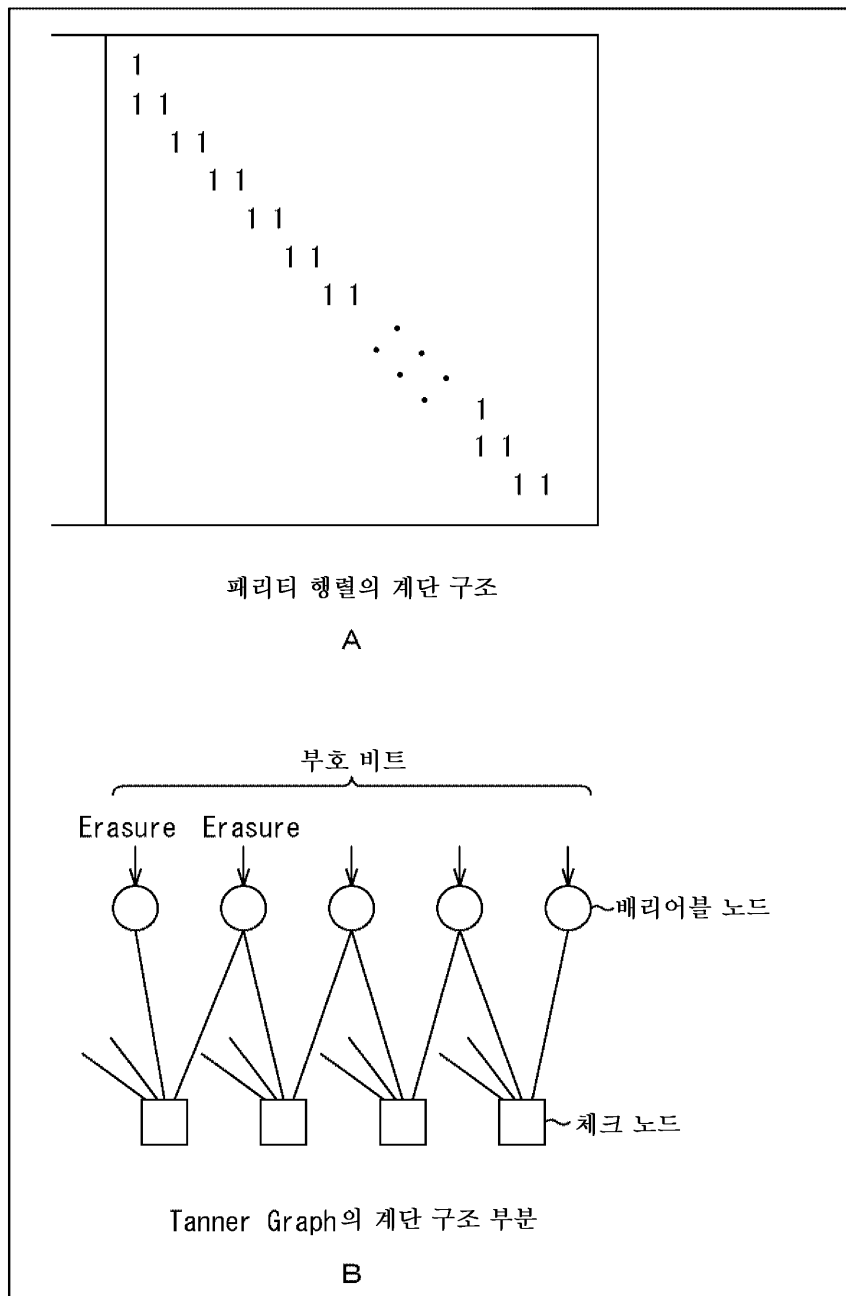
N=64800						N=16200					
Nominal 부호화율	X	KX	K3	M		X	KX	K3	M		
1/4	12	5400	10800	48600		12	1440	1800	12960		
1/3	12	7200	14400	43200		12	1800	3600	10800		
2/5	12	8640	17280	38880		12	2160	4320	9720		
1/2	8	12960	19440	32400		8	1800	5400	9000		
3/5	12	12960	25920	25920		12	3240	6480	6480		
2/3	13	4320	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		----	----	----	----		

각 열 가중치의
열수

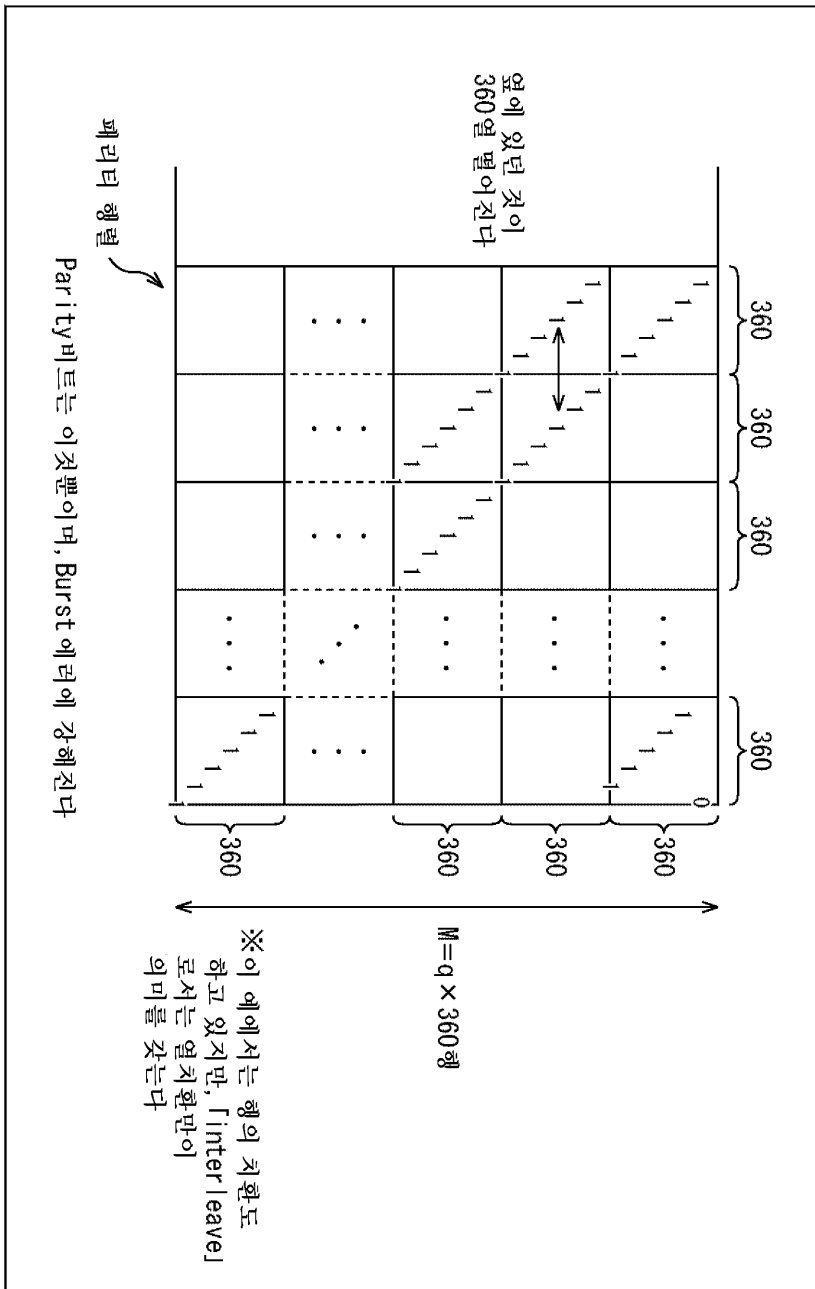
도면14



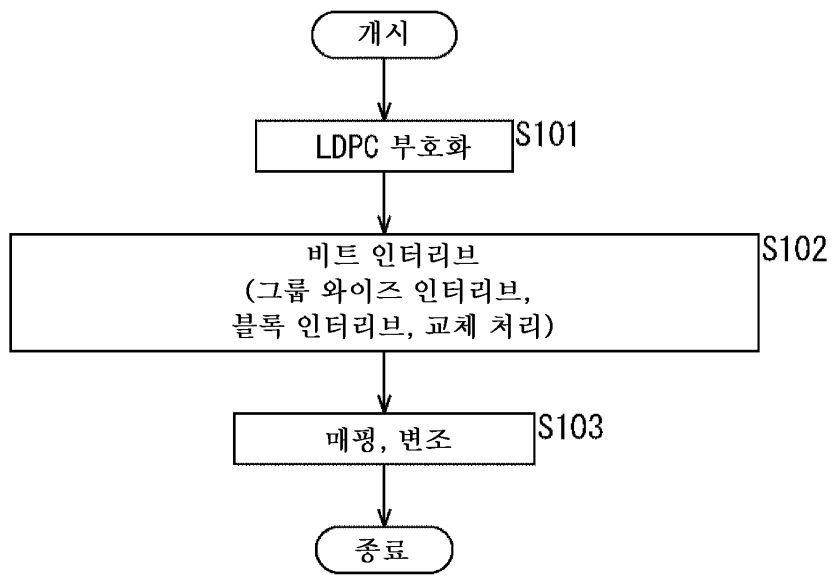
도면15



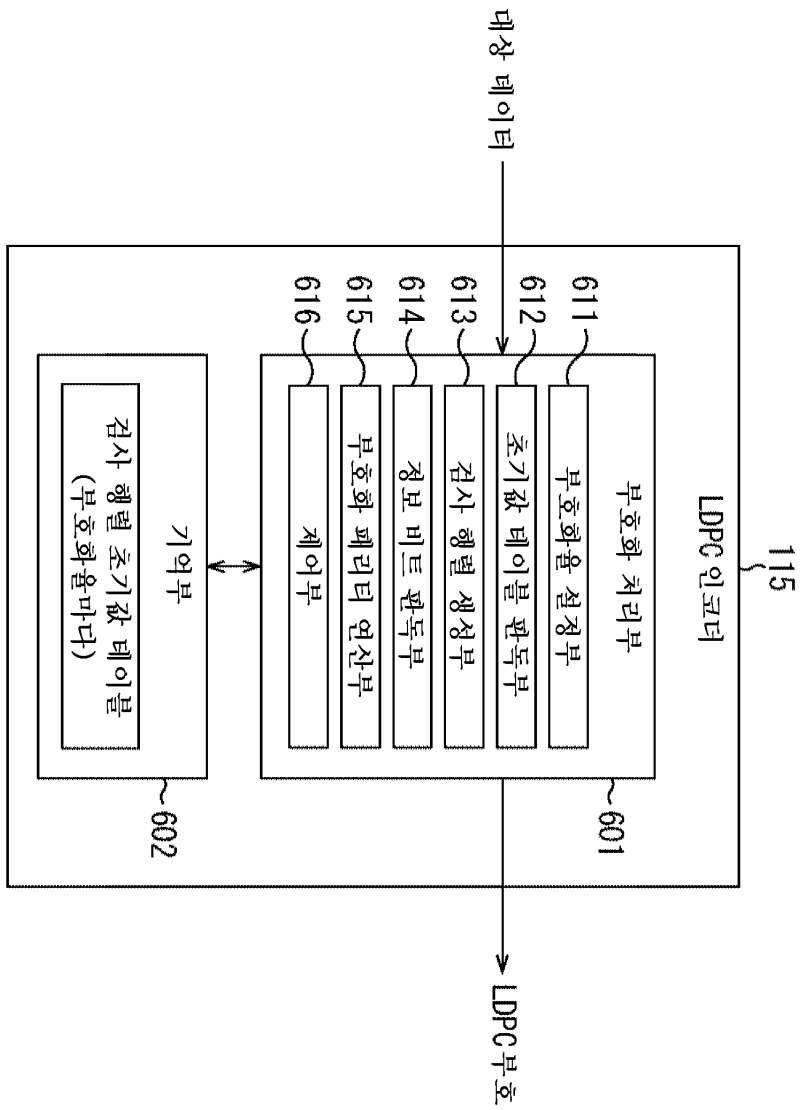
도면16



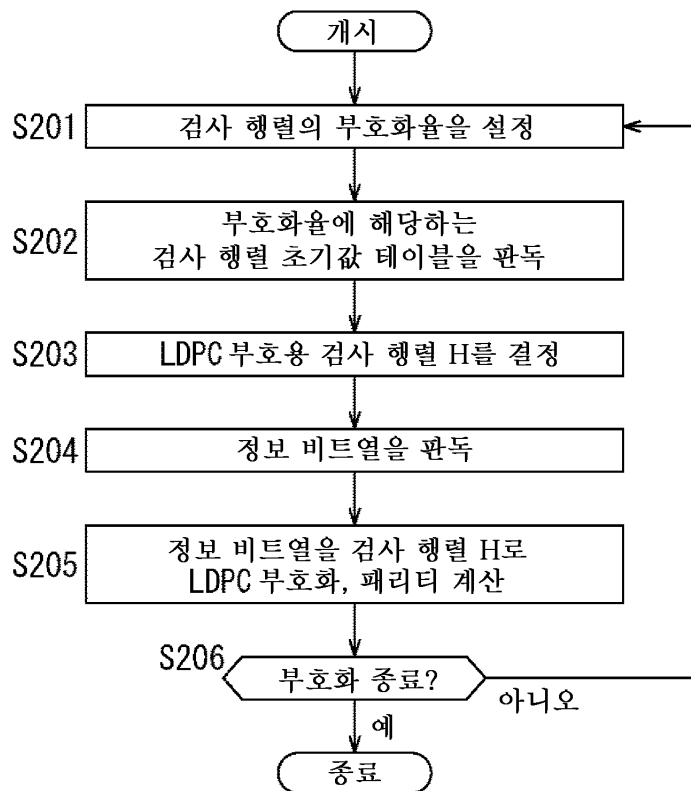
도면17



도면18



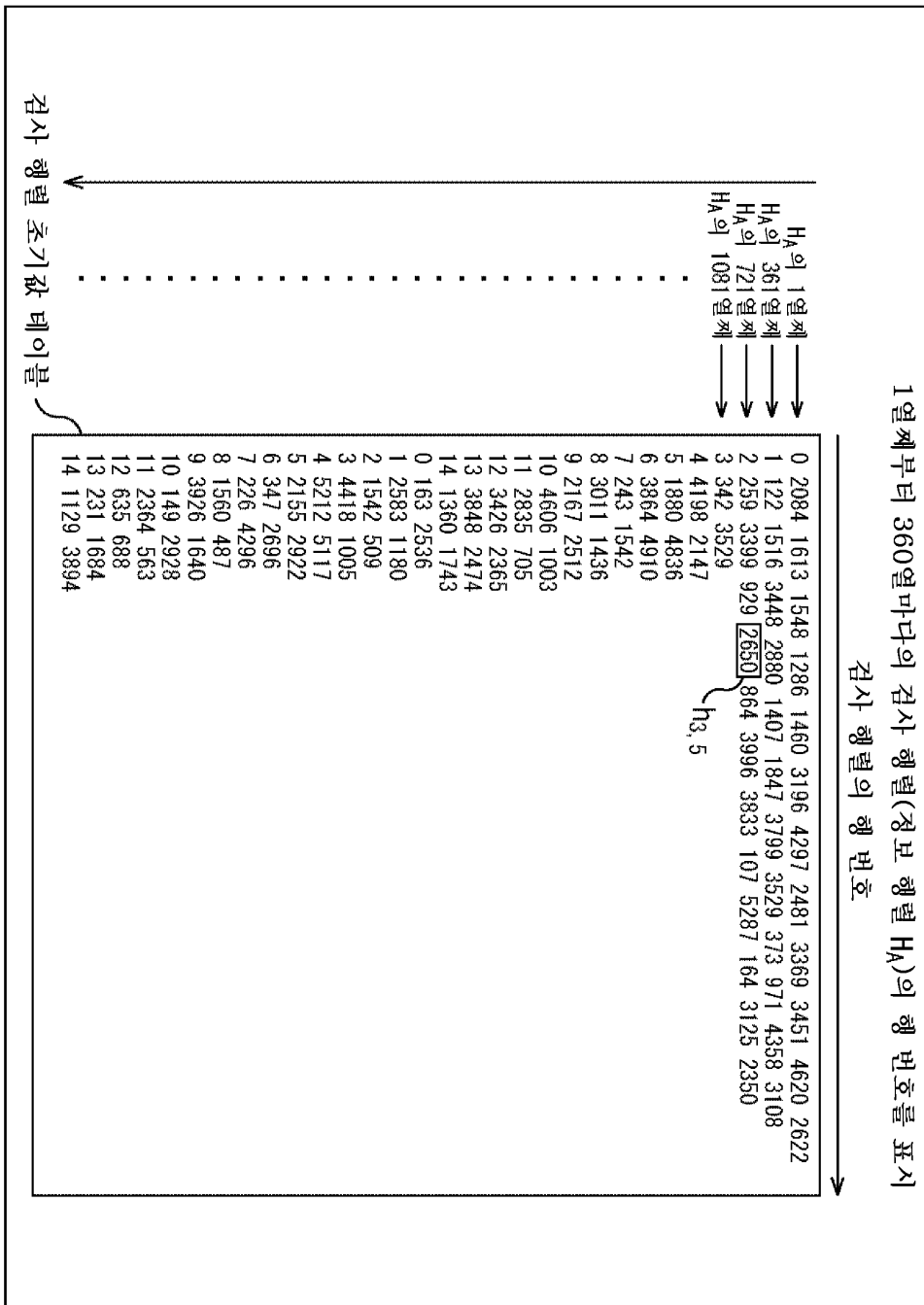
도면19



도면20

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										

도면21



도면22

N=64800, rate=7/15

7 15 26 69 1439 3712 5756 5792 5911 8456 10579 19462 19782 21709 23214 25142 26040
30206 30475 31211 31427 32105 32989 33082 33502 34116 34241 34288 34292 34318 34373
34390 34465
83 1159 2271 6500 6807 7823 10344 10700 13367 14162 14242 14352 15015 17301 18952
20811 24974 25795 27868 28081 33077 33204 33262 33350 33516 33677 33680 33930 34090
34250 34290 34377 34398
25 2281 2995 3321 6006 7482 8428 11489 11601 14011 17409 26210 29945 30675 31101
31355 31421 31543 31697 32056 32216 33282 33453 33487 33696 34044 34107 34213 34247
34261 34276 34467 34495
0 43 87 2530 4485 4595 9951 11212 12270 12344 15566 21335 24699 26580 28518 28564
28812 29821 30418 31467 31871 32513 32597 33187 33402 33706 33838 33932 33977 34084
34283 34440 34473
81 3344 5540 7711 13308 15400 15885 18265 18632 22209 23657 27736 29158 29701
29845 30409 30654 30855 31420 31604 32519 32901 33267 33444 33525 33712 33878 34031
34172 34432 34496 34502 34541
42 50 66 2501 4706 6715 6970 8637 9999 14555 22776 26479 27442 27984 28534 29587
31309 31783 31907 31927 31934 32313 32369 32830 33364 33434 33553 33654 33725 33889
33962 34467 34482
6534 7122 8723 13137 13183 15818 18307 19324 20017 26389 29326 31464 32678 33668
34217
50 113 2119 5038 5581 6397 6550 10987 22308 25141 25943 29299 30186 33240 33399
7262 8787 9246 10032 10505 13090 14587 14790 16374 19946 21129 25726 31033 33660
33675
5004 5087 5291 7949 9477 11845 12698 14585 15239 17486 18100 18259 21409 21789
24280
28 82 3939 5007 6682 10312 12485 14384 21570 25512 26612 26854 30371 31114 32689
437 3055 9100 9517 12369 19030 19950 21328 24196 24236 25928 28458 30013 32181
33560
18 3590 4832 7053 8919 21149 24256 26543 27266 30747 31839 32671 33089 33571 34296
2678 4569 4667 6551 7639 10057 24276 24563 25818 26592 27879 28028 29444 29873
34017
72 77 2874 9092 10041 13669 20676 20778 25566 28470 28888 30338 31772 32143 33939
296 2196 7309 11901 14025 15733 16768 23587 25489 30936 31533 33749 34331 34431
34507

도면23

6 8144 12490 13275 14140 18706 20251 20644 21441 21938 23703 34190 34444 34463
 34495
 5108 14499 15734 19222 24695 25667 28359 28432 30411 30720 34161 34386 34465 34511
 34522
 61 89 3042 5524 12128 22505 22700 22919 24454 30526 33437 34114 34188 34490 34502
 11 83 4668 4856 6361 11633 15342 16393 16958 26613 29136 30917 32559 34346 34504
 3185 9728 25062
 1643 5531 21573
 2285 6088 24083
 78 14678 19119
 49 13705 33535
 21192 32280 32781
 10753 21469 22084
 10082 11950 13889
 7861 25107 29167
 14051 34171 34430
 706 894 8316
 29693 30445 32281
 10202 30964 34448
 15815 32453 34463
 4102 21608 24740
 4472 29399 31435
 1162 7118 23226
 4791 33548 34096
 1084 34099 34418
 1765 20745 33714
 1302 21300 33655
 33 8736 16646
 53 18671 19089
 21 572 2028
 3339 11506 16745
 285 6111 12643
 27 10336 11586
 21046 32728 34538
 22215 24195 34026
 19975 26938 29374

도면24

16473 26777 34212
 20 29260 32784
 35 31645 32837
 26132 34410 34495
 12446 20649 26851
 6796 10992 31061
 0 46 8420
 10 636 22885
 7183 16342 18305
 1 5604 28258
 6071 18675 34489
 16786 25023 33323
 3573 5081 10925
 5067 31761 34415
 3735 33534 34522
 85 32829 34518
 6555 23368 34559
 22083 29335 29390
 6738 21110 34316
 120 4192 11123
 3313 4144 20824
 27783 28550 31034
 6597 8164 34427
 18009 23474 32460
 94 6342 12656
 17 31962 34535
 15091 24955 28545
 15 3213 28298
 26562 30236 34537
 16832 20334 24628
 4841 20669 26509
 18055 23700 34534
 23576 31496 34492
 10699 13826 34440

도면25

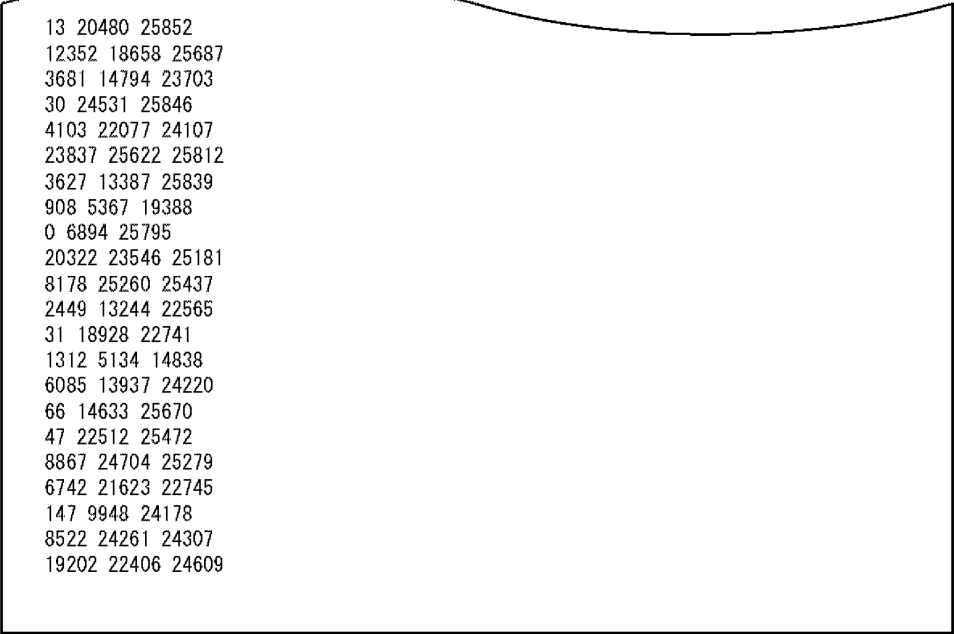
N=64800, rate=9/15

113 1557 3316 5680 6241 10407 13404 13947 14040 14353 15522 15698 16079 17363 19374 19543
 20530 22833 24339
 271 1361 6236 7006 7307 7333 12768 15441 15568 17923 18341 20321 21502 22023 23938 25351
 25590 25876 25910
 73 605 872 4008 6279 7653 10346 10799 12482 12935 13604 15909 16526 19782 20506 22804
 23629 24859 25600
 1445 1690 4304 4851 8919 9176 9252 13783 16076 16675 17274 18806 18882 20819 21958 22451
 23869 23999 24177
 1290 2337 5661 6371 8996 10102 10941 11360 12242 14918 16808 20571 23374 24046 25045
 25060 25662 25783 25913
 28 42 1926 3421 3503 8558 9453 10168 15820 17473 19571 19685 22790 23336 23367 23890
 24061 25657 25680
 0 1709 4041 4932 5968 7123 8430 9564 10596 11026 14761 19484 20762 20858 23803 24016
 24795 25853 25863
 29 1625 6500 6609 16831 18517 18568 18738 19387 20159 20544 21603 21941 24137 24269
 24416 24803 25154 25395
 55 66 871 3700 11426 13221 15001 16367 17601 18380 22796 23488 23938 25476 25635 25678
 25807 25857 25872
 1 19 5958 8548 8860 11489 16845 18450 18469 19496 20190 23173 25262 25566 25668 25679
 25858 25888 25915
 7520 7690 8855 9183 14654 16695 17121 17854 18083 18428 19633 20470 20736 21720 22335
 23273 25083 25293 25403
 48 58 410 1299 3786 10668 18523 18963 20864 22106 22308 23033 23107 23128 23990 24286
 24409 24595 25802
 12 51 3894 6539 8276 10885 11644 12777 13427 14039 15954 17078 19053 20537 22863 24521
 25087 25463 25838
 3509 8748 9581 11509 15884 16230 17583 19264 20900 21001 21310 22547 22756 22959 24768
 24814 25594 25626 25880
 21 29 69 1448 2386 4601 6626 6667 10242 13141 13852 14137 18640 19951 22449 23454 24431
 25512 25814
 18 53 7890 9934 10063 16728 19040 19809 20825 21522 21800 23582 24556 25031 25547 25562
 25733 25789 25906
 4096 4582 5766 5894 6517 10027 12182 13247 15207 17041 18958 20133 20503 22228 24332
 24613 25689 25855 25883
 0 25 819 5539 7076 7536 7695 9532 13668 15051 17683 19665 20253 21996 24136 24890 25758
 25784 25807
 34 40 44 4215 6076 7427 7965 8777 11017 15593 19542 22202 22973 23397 23423 24418 24873
 25107 25644
 1595 6216 22850 25439
 1562 15172 19517 22362
 7508 12879 24324 24496
 6298 15819 16757 18721
 11173 15175 19966 21195
 59 13505 16941 23793
 2267 4830 12023 20587
 8827 9278 13072 16664
 14419 17463 23398 25348
 6112 16534 20423 22698
 493 8914 21103 24799
 6896 12761 13206 25873
 2 1380 12322 21701
 11600 21306 25753 25790

도면26

8421 13076 14271 15401
 9630 14112 19017 20955
 212 13932 21781 25824
 5961 9110 16654 19636
 58 5434 9936 12770
 6575 11433 19798
 2731 7338 20926
 14253 18463 25404
 21791 24805 25869
 2 11646 15850
 6075 8586 23819
 18435 22093 24852
 2103 2368 11704
 10925 17402 18232
 9062 25061 25674
 18497 20853 23404
 18606 19364 19551
 7 1022 25543
 6744 15481 25868
 9081 17305 25164
 8 23701 25883
 9680 19955 22848
 56 4564 19121
 5595 15086 25892
 3174 17127 23183
 19397 19817 20275
 12561 24571 25825
 7111 9889 25865
 19104 20189 21851
 549 9686 25548
 6586 20325 25906
 3224 20710 21637
 641 15215 25754
 13484 23729 25818
 2043 7493 24246
 16860 25230 25768
 22047 24200 24902
 9391 18040 19499
 7855 24336 25069
 23834 25570 25852
 1977 8800 25756
 6671 21772 25859
 3279 6710 24444
 24099 25117 25820
 5553 12306 25915
 48 11107 23907
 10832 11974 25773
 2223 17905 25484
 16782 17135 20446
 475 2861 3457
 16218 22449 24362
 11716 22200 25897
 8315 15009 22633

도면27



13 20480 25852
12352 18658 25687
3681 14794 23703
30 24531 25846
4103 22077 24107
23837 25622 25812
3627 13387 25839
908 5367 19388
0 6894 25795
20322 23546 25181
8178 25260 25437
2449 13244 22565
31 18928 22741
1312 5134 14838
6085 13937 24220
66 14633 25670
47 22512 25472
8867 24704 25279
6742 21623 22745
147 9948 24178
8522 24261 24307
19202 22406 24609

도면28

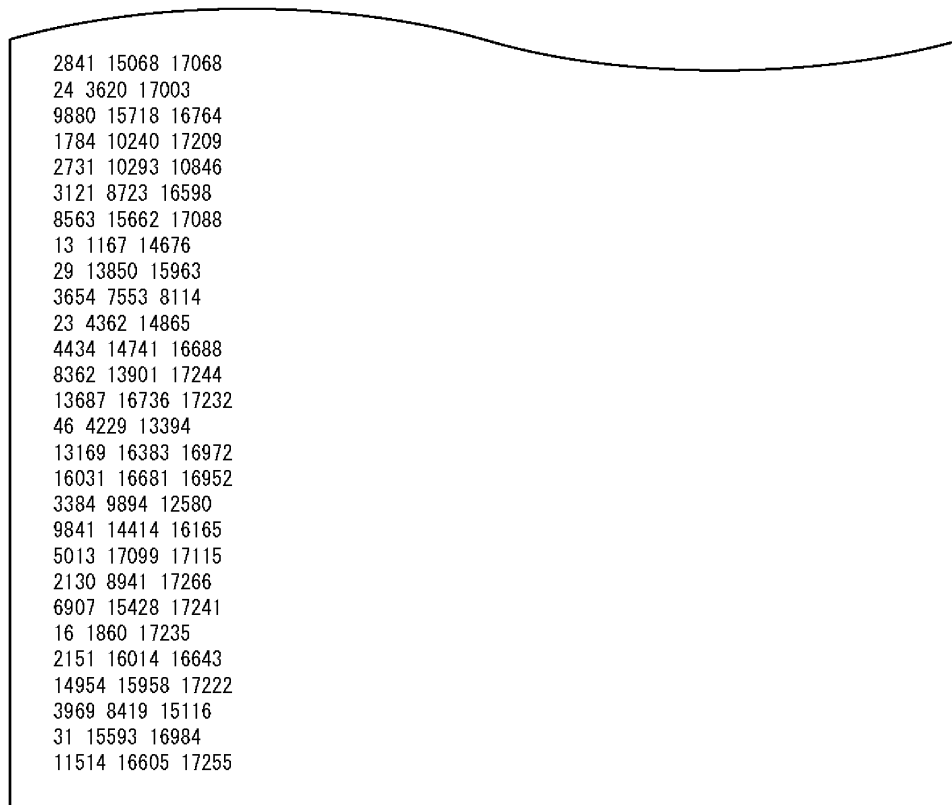
N=64800, rate=11/15

696 989 1238 3091 3116 3738 4269 6406 7033 8048 9157 10254 12033 16456 16912
 444 1488 6541 8626 10735 12447 13111 13706 14135 15195 15947 16453 16916 17137 17268
 401 460 992 1145 1576 1678 2238 2320 4280 6770 10027 12486 15363 16714 17157
 1161 3108 3727 4508 5092 5348 5582 7727 11793 12515 12917 13362 14247 16717 17205
 542 1190 6883 7911 8349 8835 10489 11631 14195 15009 15454 15482 16632 17040 17063
 17 487 776 880 5077 6172 9771 11446 12798 16016 16109 16171 17087 17132 17226
 1337 3275 3462 4229 9246 10180 10845 10866 12250 13633 14482 16024 16812 17186 17241
 15 980 2305 3674 5971 8224 11499 11752 11770 12897 14082 14836 15311 16391 17209
 0 3926 5869 8696 9351 9391 11371 14052 14172 14636 14974 16619 16961 17033 17237
 3033 5317 6501 8579 10698 12168 12966 14019 15392 15806 15991 16493 16690 17062 17090
 981 1205 4400 6410 11003 13319 13405 14695 15846 16297 16492 16563 16616 16862 16953
 1725 4276 8869 9588 14062 14486 15474 15548 16300 16432 17042 17050 17060 17175 17273
 1807 5921 9960 10011 14305 14490 14872 15852 16054 16061 16306 16799 16833 17136 17262
 2826 4752 6017 6540 7016 8201 14245 14419 14716 15983 16569 16652 17171 17179 17247
 1662 2516 3345 5229 8086 9686 11456 12210 14595 15808 16011 16421 16825 17112 17195
 2890 4821 5987 7226 8823 9869 12468 14694 15352 15805 16075 16462 17102 17251 17263
 3751 3890 4382 5720 10281 10411 11350 12721 13121 14127 14980 15202 15335 16735 17123
 26 30 2805 5457 6630 7188 7477 7556 11065 16608 16859 16909 16943 17030 17103
 40 4524 5043 5566 9645 10204 10282 11696 13080 14837 15607 16274 17034 17225 17266
 904 3157 6284 7151 7984 11712 12887 13767 15547 16099 16753 16829 17044 17250 17259
 7 311 4876 8334 9249 11267 14072 14559 15003 15235 15686 16331 17177 17238 17253
 4410 8066 8596 9631 10369 11249 12610 15769 16791 16960 17018 17037 17062 17165 17204
 24 8261 9691 10138 11607 12782 12786 13424 13933 15262 15795 16476 17084 17193 17220
 88 11622 14705 15890
 304 2026 2638 6018
 1163 4268 11620 17232
 9701 11785 14463 17260
 4118 10952 12224 17006
 3647 10823 11521 12060
 1717 3753 9199 11642
 2187 14280 17220
 14787 16903 17061
 381 3534 4294
 3149 6947 8323
 12562 16724 16881
 7289 9997 15306
 5615 13152 17260
 5666 16926 17027
 4190 7798 16831
 4778 10629 17180
 10001 13884 15453
 6 2237 8203
 7831 15144 15160
 9186 17204 17243
 9435 17168 17237
 42 5701 17159
 7812 14259 15715
 39 4513 6658
 38 9368 11273
 1119 4785 17182
 5620 16521 16729

도면29

16 6685 17242
 210 3452 12383
 466 14462 16250
 10548 12633 13962
 1452 6005 16453
 22 4120 13684
 5195 11563 16522
 5518 16705 17201
 12233 14552 15471
 6067 13440 17248
 8660 8967 17061
 8673 12176 15051
 5959 15767 16541
 3244 12109 12414
 31 15913 16323
 3270 15686 16653
 24 7346 14675
 12 1531 8740
 6228 7565 16667
 16936 17122 17162
 4868 8451 13183
 3714 4451 16919
 11313 13801 17132
 17070 17191 17242
 1911 11201 17186
 14 17190 17254
 11760 16008 16832
 14543 17033 17278
 16129 16765 17155
 6891 15561 17007
 12741 14744 17116
 8992 16661 17277
 1861 11130 16742
 4822 13331 16192
 13281 14027 14989
 38 14887 17141
 10698 13452 15674
 4 2539 16877
 857 17170 17249
 11449 11906 12867
 285 14118 16831
 15191 17214 17242
 39 728 16915
 2469 12969 15579
 16644 17151 17164
 2592 8280 10448
 9236 12431 17173
 9064 16892 17233
 4526 16146 17038
 31 2116 16083
 15837 16951 17031
 5362 8382 16618
 6137 13199 17221

도면30

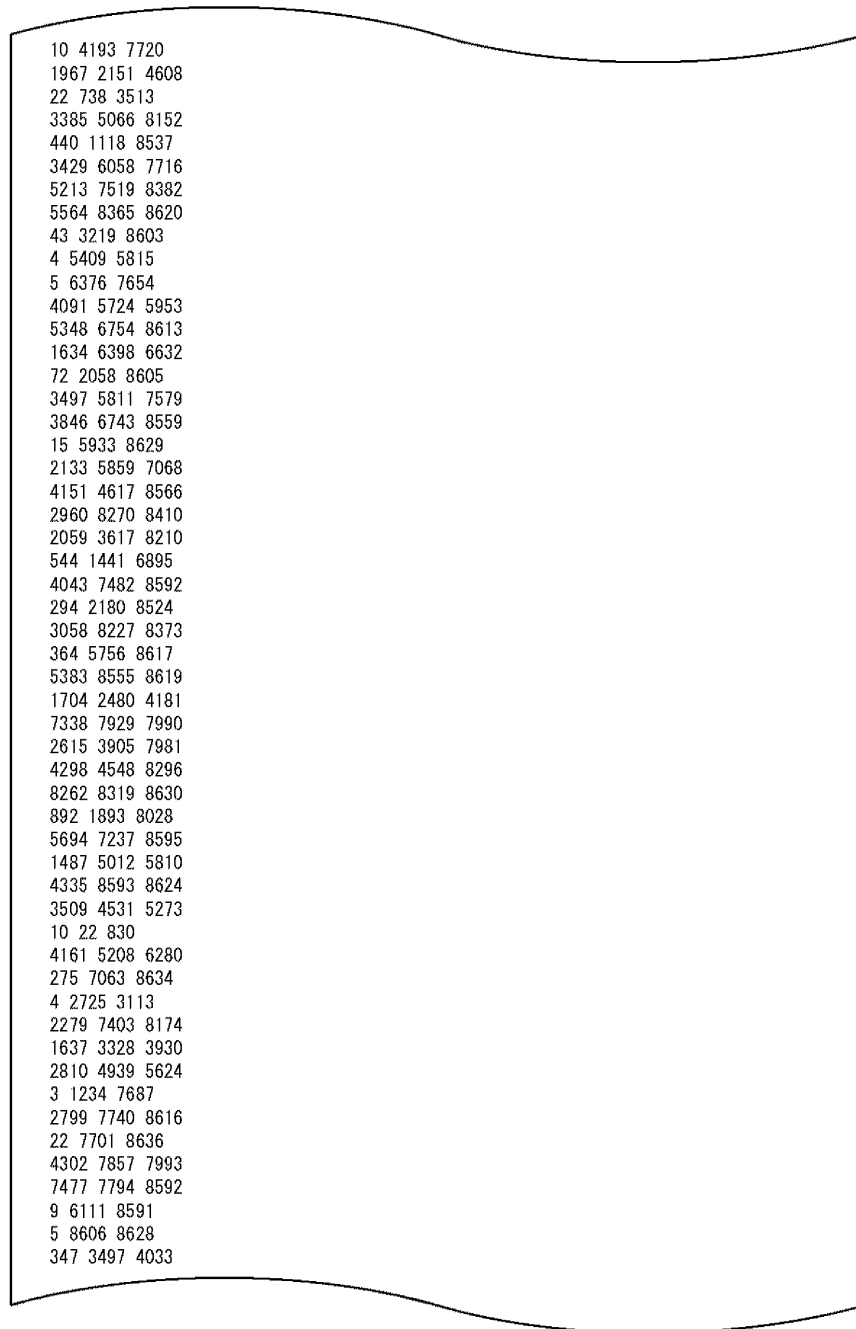


도면31

N=64800, rate=13/15

142 2307 2598 2650 4028 4434 5781 5881 6016 6323 6681 6698 8125
 2932 4928 5248 5256 5983 6773 6828 7789 8426 8494 8534 8539 8583
 899 3295 3833 5399 6820 7400 7753 7890 8109 8451 8529 8564 8602
 21 3060 4720 5429 5636 5927 6966 8110 8170 8247 8355 8365 8616
 20 1745 2838 3799 4380 4418 4646 5059 7343 8161 8302 8456 8631
 9 6274 6725 6792 7195 7333 8027 8186 8209 8273 8442 8548 8632
 494 1365 2405 3799 5188 5291 7644 7926 8139 8458 8504 8594 8625
 192 574 1179 4387 4695 5089 5831 7673 7789 8298 8301 8612 8632
 11 20 1406 6111 6176 6256 6708 6834 7828 8232 8457 8495 8602
 6 2654 3554 4483 4966 5866 6795 8069 8249 8301 8497 8509 8623
 21 1144 2355 3124 6773 6805 6887 7742 7994 8358 8374 8580 8611
 335 4473 4883 5528 6096 7543 7586 7921 8197 8319 8394 8489 8636
 2919 4331 4419 4735 6366 6393 6844 7193 8165 8205 8544 8586 8617
 12 19 742 930 3009 4330 6213 6224 7292 7430 7792 7922 8137
 710 1439 1588 2434 3516 5239 6248 6827 8230 8448 8515 8581 8619
 200 1075 1868 5581 7349 7642 7698 8037 8201 8210 8320 8391 8526
 3 2501 4252 5256 5292 5567 6136 6321 6430 6486 7571 8521 8636
 3062 4599 5885 6529 6616 7314 7319 7567 8024 8153 8302 8372 8598
 105 381 1574 4351 5452 5603 5943 7467 7788 7933 8362 8513 8587
 787 1857 3386 3659 6550 7131 7965 8015 8040 8312 8484 8525 8537
 15 1118 4226 5197 5575 5761 6762 7038 8260 8338 8444 8512 8568
 36 5216 5368 5616 6029 6591 8038 8067 8299 8351 8565 8578 8585
 1 23 4300 4530 5426 5532 5817 6967 7124 7979 8022 8270 8437
 629 2133 4828 5475 5875 5890 7194 8042 8345 8385 8518 8598 8612
 11 1065 3782 4237 4993 7104 7863 7904 8104 8228 8321 8383 8565
 2131 2274 3168 3215 3220 5597 6347 7812 8238 8354 8527 8557 8614
 5600 6591 7491 7696
 1766 8281 8626
 1725 2280 5120
 1650 3445 7652
 4312 6911 8626
 15 1013 5892
 2263 2546 2979
 1545 5873 7406
 67 726 3697
 2860 6443 8542
 17 911 2820
 1561 4580 6052
 79 5269 7134
 22 2410 2424
 3501 5642 8627
 808 6950 8571
 4099 6389 7482
 4023 5000 7833
 5476 5765 7917
 1008 3194 7207
 20 495 5411
 1703 8388 8635
 6 4395 4921
 200 2053 8206
 1089 5126 5562

도면32



도면33

1747 2613 8636
 1827 5600 7042
 580 1822 6842
 232 7134 7783
 4629 5000 7231
 951 2806 4947
 571 3474 8577
 2437 2496 7945
 23 5873 8162
 12 1168 7686
 8315 8540 8596
 1766 2506 4733
 929 1516 3338
 21 1216 6555
 782 1452 8617
 8 6083 6087
 667 3240 4583
 4030 4661 5790
 559 7122 8553
 3202 4388 4909
 2533 3673 8594
 1991 3954 6206
 6835 7900 7980
 189 5722 8573
 2680 4928 4998
 243 2579 7735
 4281 8132 8566
 7656 7671 8609
 1116 2291 4166
 21 388 8021
 6 1123 8369
 311 4918 8511
 0 3248 6290
 13 6762 7172
 4209 5632 7563
 49 127 8074
 581 1735 4075
 0 2235 5470
 2178 5820 6179
 16 3575 6054
 1095 4564 6458
 9 1581 5953
 2537 6469 8552
 14 3874 4844
 0 3269 3551
 2114 7372 7926
 1875 2388 4057
 3232 4042 6663
 9 401 583
 13 4100 6584
 2299 4190 4410
 21 3670 4979

도면34

—N=16200, r=6/15의 검사 행렬 추가값 테이블—																			
13	88	136	188	398	794	855	918	954	1950	2762	2837	2847	4209	4342	5092	5334	5498	5731	5837
8600	9001	9419	9442	9710															
619	792	1002	1148	1528	1533	1925	2207	2766	3021	3267	3593	3947	4832	4873	5109	5488	5882	6079	6097
7550	7723	7786	8732	9060	9270	9401													
499	717	1551	1791	2535	3135	3582	3813	4047	4309	5126	5186	5219	5716	5977	6236	6406	6586	6591	7085
8066	8425	8802	9309	9464	9553	9671													
658	4038	7824	8512																
3245	4743	8117	9369																
465	6559	8112	9461																
975	2368	4444	6095																
4128	5993	9182	9473																
9	3822	5306	5320																
4	8311	9571	9669																
13	8122	8949	9656																
3353	4449	5829	8053																
7885	9118	9674																	
7575	9591	9670																	
431	8123	9271																	
4228	7587	9270																	
8847	9146	9556																	
11	5213	7763																	

도면35

N=16200, rate=8/15

5 519 825 1871 2098 2478 2659 2820 3200 3294 3650 3804 3949 4426 4460 4503 4568 4590 4949
 5219 5662 5738 5905 5911 6160 6404 6637 6708 6737 6814 7263 7412
 81 391 1272 1633 2062 2882 3443 3503 3535 3908 4033 4163 4490 4929 5262 5399 5576 5768 5910
 6331 6430 6844 6867 7201 7274 7290 7343 7350 7378 7387 7440 7554
 105 975 3421 3480 4120 4444 5957 5971 6119 6617 6761 6810 7067 7353
 6 138 485 1444 1512 2615 2990 3109 5604 6435 6513 6632 6704 7507
 20 858 1051 2539 3049 5162 5308 6158 6391 6604 6744 7071 7195 7238
 1140 5838 6203 6748
 6282 6466 6481 6638
 2346 2592 5436 7487
 2219 3897 5896 7528
 2897 6028 7018
 1285 1863 5324
 3075 6005 6466
 5 6020 7551
 2121 3751 7507
 4027 5488 7542
 2 6012 7011
 3823 5531 5687
 1379 2262 5297
 1882 7498 7551
 3749 4806 7227
 2 2074 6898
 17 616 7482
 9 6823 7480
 5195 5880 7559

도면36

N=16200, rate=10/15

```

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 3588 3770 3821 4384 4470 4884 5012
5036 5084 5101 5271 5281 5353
505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 2875 3007 3254 3519 3687 4331 4439
4532 4940 5011 5076 5113 5367
268 346 650 919 1260 4389 4653 4721 4838 5054 5157 5162 5275 5362
220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 5003 5037
381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 5173 5242
88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 4901 5047
749 1502 2201 3189
2873 3245 3427
2158 2605 3165
1 3438 3606
10 3019 5221
371 2901 2923
9 3935 4683
1937 3502 3735
507 3128 4994
25 3854 4550
1178 4737 5366
2 223 5304
1146 5175 5197
1816 2313 3649
740 1951 3844
1320 3703 4791
1754 2905 4058
7 917 5277
3048 3954 5396
4804 4824 5105
2812 3895 5226
0 5318 5358
1483 2324 4826
2266 4752 5387
    
```

도면37

N=16200, r=12/15의 검사 행렬 초기값 테이블

3	394	1014	1214	1361	1477	1534	1660	1856	2745	2987	2991	3124	3155
59	136	528	781	803	928	1293	1489	1944	2041	2200	2613	2690	2847
155	245	311	621	1114	1269	1281	1783	1995	2047	2672	2803	2885	3014
79	870	974	1326	1449	1531	2077	2317	2467	2627	2811	3083	3101	3132
4	582	660	902	1048	1482	1697	1744	1928	2628	2699	2728	3045	3104
175	395	429	1027	1061	1068	1154	1168	1175	2147	2359	2376	2613	2682
1388	2241	3118	3148										
143	506	2067	3148										
1594	2217	2705											
398	988	2551											
1149	2588	2654											
678	2844	3115											
1508	1547	1954											
1199	1267	1710											
2589	3163	3207											
1	2583	2974											
2766	2897	3166											
929	1823	2742											
1113	3007	3239											
1753	2478	3127											
0	509	1811											
1672	2646	2984											
965	1462	3230											
3	1077	2917											
1183	1316	1662											
968	1593	3239											
64	1996	2226											
1442	2058	3181											
513	973	1058											
1263	3185	3229											
681	1394	3017											
419	2853	3217											
3	2404	3175											
2417	2792	2854											
1879	2940	3235											
647	1704	3060											

—N=16200, r=10/15의 검사 행렬 초기값 테이블—

76	545	1005	1029	1390	1970	2525	2971	3448	3845	4088	4114	4163	4373	4640	4705	4970	5094
14	463	600	1676	2239	2319	2326	2815	2887	4278	4457	4493	4597	4918	4989	5038	5261	5384
451	632	829	1006	1530	1723	2205	2587	2801	3041	3849	4382	4595	4727	5006	5156	5224	5286
211	265	1293	1777	1926	2214	2909	2957	3178	3278	3771	4547	4563	4737	4879	5068	5232	5344
6	2901	3925	5384														
2858	4152	5006	5202														
9	1232	2063	2768														
7	11	2781	3871														
12	2161	2820	4078														
3	3510	4668	5323														
253	411	3215	5241														
3919	4789	5040	5302														
12	5113	5256	5352														
9	1461	4004	5241														
1688	3585	4480	5394														
8	2127	3469	4360														
2827	4049	5084	5379														
1770	3331	5315	5386														
1885	2817	4900	5088														
2568	3854	4660															
1604	3565	5373															
2317	4636	5156															
2480	2816	4094															
14	4518	4826															
127	1192	3872															
93	2282	3663															
2962	5085	5314															
2078	4277	5089															
9	5280	5292															
50	2847	4742															

도면39

N=16200, rate=12/15

0 190 429 730 785 1276 1437 1679 2235 2321 2459 2492 2610 2626 2838 2884 3101 3235
 250 451 1734 1738 1786 1895 1998 2148 2162 2231 2374 2894 3172 3198 3213 3233
 675 869 1110 1143 1295 1340 1771 1797 2066 2530 2590 2650 2704 2809 2973 3143
 3 430 889 913 1505 1820 2188 2382 2564 2627 2773 2885 3054 3093 3132 3209
 8 78 704 988 1152 1271 1275 1749 1942 1992 2187 2470 2548 2569 3227 3239
 5 219 376 534 1657 1715 1738 2056 2189 2218 2517 2545 2589 2882 2906 3006
 522 1808 2192 2305
 1 1833 2572 3077
 0 2272 2945 3072
 341 824 2695
 16 465 1730
 1558 2208 2736
 407 420 495
 652 2087 3229
 5 2100 2935
 174 305 3220
 1359 2854 3098
 2587 2975 3003
 2155 3059 3070
 2 987 1193
 1488 2545 3015
 4 995 2913
 2091 2305 3175
 1970 2954 3141
 2558 2739 3025
 7 148 1188
 384 1547 3038
 1394 2043 2146
 133 2586 2864
 1306 2382 2849
 1461 2779 2864
 44 1904 3091
 532 1899 3210
 1939 2648 3153
 494 3119 3157
 24 1647 3169

도면40

NN=64800, rate=6/15

1606 3402 4961 6751 7132 11516 12300 12482 12592 13342 13764 14123 21576 23946 24533 25376
 25667 26836 31799 34173 35462 36153 36740 37085 37152 37468 37658
 4621 5007 6910 8732 9757 11508 13099 15513 16335 18052 19512 21319 23663 25628 27208 31333
 32219 33003 33239 33447 36200 36473 36938 37201 37283 37495 38642
 16 1094 2020 3080 4194 5098 5631 6877 7889 8237 9804 10067 11017 11366 13136 13354 15379
 18934 20199 24522 26172 28666 30386 32714 36390 37015 37162
 700 897 1708 6017 6490 7372 7825 9546 10398 16605 18561 18745 21625 22137 23693 24340 24966
 25015 26995 28586 28895 29687 33938 34520 34858 37056 38297
 159 2010 2573 3617 4452 4958 5556 5832 6481 8227 9924 10836 14954 15594 16623 18065 19249
 22394 22677 23408 23731 24076 24776 27007 28222 30343 38371
 3118 3545 4768 4992 5227 6732 8170 9397 10522 11508 15536 20218 21921 28599 29445 29758 29968
 31014 32027 33685 34378 35867 36323 36728 36870 38335 38623
 1264 4254 6936 9165 9486 9950 10861 11653 13697 13961 15164 15665 18444 19470 20313 21189
 24371 26431 26999 28086 28251 29261 31981 34015 35850 36129 37186
 111 1307 1628 2041 2524 5358 7988 8191 10322 11905 12919 14127 15515 15711 17061 19024 21195
 22902 23727 24401 24608 25111 25228 27338 35398 37794 38196
 961 3035 7174 7948 13355 13607 14971 18189 18339 18665 18875 19142 20615 21136 21309 21758
 23366 24745 25849 25982 27583 30006 31118 32106 36469 36583 37920
 2990 3549 4273 4808 5707 6021 6509 7456 8240 10044 12262 12660 13085 14750 15680 16049 21587
 23997 25803 28343 28693 34393 34860 35490 36021 37737 38296
 955 4323 5145 6885 8123 9730 11840 12216 19194 20313 23056 24248 24830 25268 26617 26801
 28557 29753 30745 31450 31973 32839 33025 33296 35710 37366 37509
 264 605 4181 4483 5156 7238 8863 10939 11251 12964 16254 17511 20017 22395 22818 23261 23422
 24064 26329 27723 28186 30434 31956 33971 34372 36764 38123
 520 2562 2794 3528 3860 4402 5676 6963 8655 9018 9783 11933 16336 17193 17320 19035 20606
 23579 23769 24123 24966 27866 32457 34011 34499 36620 37526
 10106 10637 10906 34242
 1856 15100 19378 21848
 943 11191 27806 29411
 4575 6359 13629 19383
 4476 4953 18782 24313
 5441 6381 21840 35943
 9638 9763 12546 30120
 9587 10626 11047 25700
 4088 15298 28768 35047
 2332 6363 8782 28863
 4625 4933 28298 30289
 3541 4918 18257 31746
 1221 25233 26757 34892
 8150 16677 27934 30021
 8500 25016 33043 38070
 7374 10207 16189 35811
 611 18480 20064 38261
 25416 27352 36089 38469
 1667 17614 25839 32776
 4118 12481 21912 37945
 5573 13222 23619 31271
 18271 26251 27182 30587

Samsung으로부터 제공

도면41

14690 26430 26799 34355
 13688 16040 20716 34558
 2740 14957 23436 32540
 3491 14365 14681 36858
 4796 6238 25203 27854
 1731 12816 17344 26025
 19182 21662 23742 27872
 6502 13641 17509 34713
 12246 12372 16746 27452
 1589 21528 30621 34003
 12328 20515 30651 31432
 3415 22656 23427 36395
 632 5209 25958 31085
 619 3690 19648 37778
 9528 13581 26965 36447
 2147 26249 26968 28776
 15698 18209 30683
 1132 19888 34111
 4608 25513 38874
 475 1729 34100
 7348 32277 38587
 182 16473 33082
 3865 9678 21265
 4447 20151 27618
 6335 14371 38711
 704 9695 28858
 4856 9757 30546
 1993 19361 30732
 756 28000 29138
 3821 24076 31813
 4611 12326 32291
 7628 21515 34995
 1246 13294 30068
 6466 33233 35865
 14484 23274 38150
 21269 36411 37450
 23129 26195 37653

Samsung으로부터 제공

도면42

N=64800, rate=8/15															
2768	3039	4059	5856	6245	7013	8157	9341	9802	10470	11521	12083	16610	18361	20321	24601
27420	28206	29788													
2739	8244	8891	9157	12624	12973	15534	16622	16919	18402	18780	19854	20220	20543	22306	25540
27478	27678	28053													
1727	2268	6246	7815	9010	9556	10134	10472	11389	14599	15719	16204	17342	17666	18850	22058
25579	25860	29207													
28	1346	3721	5565	7019	9240	12355	13109	14800	16040	16839	17369	17631	19357	19473	19891
20381	23911	29683													
869	2450	4386	5316	6160	7107	10362	11132	11271	13149	16397	16532	17113	19894	22043	22784
27383	28615	28804													
508	4292	5831	8559	10044	10412	11283	14810	15888	17243	17538	19903	20528	22090	22652	27235
27384	28208	28485													
389	2248	5840	6043	7000	9054	11075	11760	12217	12565	13587	15403	19422	19528	21493	25142
27777	28566	28702													
1015	2002	5764	6777	9346	9629	11039	11153	12690	13068	13990	16841	17702	20021	24106	26300
29332	30081	30196													
1480	3084	3467	4401	4798	5187	7851	11368	12323	14325	14546	16360	17158	18010	21333	25612
26556	26906	27005													
6925	8876	12392	14529	15253	15437	19226	19950	20321	23021	23651	24393	24653	26668	27205	
28269	28529	29041	29292												
2547	3404	3538	4666	5126	5468	7695	8799	14732	15072	15881	17410	18971	19609	19717	22150
24941	27908	29018													
888	1581	2311	5511	7218	9107	10454	12252	13662	15714	15894	17025	18671	24304	25316	25556
28489	28977	29212													
1047	1494	1718	4645	5030	6811	7868	8146	10611	15767	17682	18391	22614	23021	23763	25478
26491	29088	29757													
59	1781	1900	3814	4121	8044	8906	9175	11156	14841	15789	16033	16755	17292	18550	19310
22505	29567	29850													
1952	3057	4399	9476	10171	10769	11335	11569	15002	19501	20621	22642	23452	24360	25109	25290
25828	28505	29122													
2895	3070	3437	4764	4905	6670	9244	11845	13352	13573	13975	14600	15871	17996	19672	20079
20579	25327	27958													
612	1528	2004	4244	4599	4926	5843	7684	10122	10443	12267	14368	18413	19058	22985	24257
26202	26596	27899													
1361	2195	4146	6708	7158	7538	9138	9998	14862	15359	16076	18925	21401	21573	22503	24146
24247	27778	29312													
5229	6235	7134	7655	9139	13527	15408	16058	16705	18320	19909	20901	22238	22437	23654	25131
27550	28247	29903													
697	2035	4887	5275	6909	9166	11805	15338	16381	18403	20425	20688	21547	24590	25171	26726
28848	29224	29412													
5379	17329	22659	23062												
11814	14759	22329	22936												
2423	2811	10296	12727												
8460	15260	16769	17290												
14191	14608	29536	30187												
7103	10069	20111	22850												
4285	15413	26448	29069												
548	2137	9189	10928												

Samsung으로부터 제공

도면43

4581 7077 23382 23949
 3942 17248 19486 27922
 8668 10230 16922 26678
 6158 9980 13788 28198
 12422 16076 24206 29887
 8778 10649 18747 22111
 21029 22677 27150 28980
 7918 15423 27672 27803
 5927 18086 23525
 3397 15058 30224
 24016 25880 26268
 1096 4775 7912
 3259 17301 20802
 129 8396 15132
 17825 28119 28676
 2343 8382 28840
 3907 18374 20939
 1132 1290 8786
 1481 4710 28846
 2185 3705 26834
 5496 15681 21854
 12697 13407 22178
 12788 21227 22894
 629 2854 6232
 2289 18227 27458
 7593 21935 23001
 3836 7081 12282
 7925 18440 23135
 497 6342 9717
 11199 22046 30067
 12572 28045 28990
 1240 2023 10933
 19566 20629 25186
 6442 13303 28813
 4765 10572 16180
 552 19301 24286
 6782 18480 21383
 11267 12288 15758
 771 5652 15531
 16131 20047 25649
 13227 23035 24450
 4839 13467 27488
 2852 4677 22993
 2504 28116 29524
 12518 17374 24267
 1222 11859 27922
 9660 17286 18261
 232 11296 29978
 9750 11165 16295
 4894 9505 23622

Samsung으로부터 제공

도면44

10861	11980	14110
2128	15883	22836
6274	17243	21989
10866	13202	22517
11159	16111	21608
3719	18787	22100
1756	2020	23901
20913	29473	30103
2729	15091	26976
4410	8217	12963
5395	24564	28235
3859	17909	23051
5733	26005	29797
1935	3492	29773
11903	21380	29914
6091	10469	29997
2895	8930	15594
1827	10028	20070

Samsung으로부터 제공

도면45

N=64800, rate=10/15

979 1423 4166 4609 6341 8258 10334 10548 14098 14514 17051 17333 17653 17830 17990
 2559 4025 6344 6510 9167 9728 11312 14856 17104 17721 18600 18791 19079 19697 19840
 3243 6894 7950 10539 12042 13233 13938 14752 16449 16727 17025 18297 18796 19400 21577
 3272 3574 6341 6722 9191 10807 10957 12531 14036 15580 16651 17007 17309 19415 19845
 155 4598 10201 10975 11086 11296 12713 15364 15978 16395 17542 18164 18451 18612 20617
 1128 1999 3926 4069 5558 6085 6337 8386 10693 12450 15438 16223 16370 17308 18634
 2408 2929 3630 4357 5852 7329 8536 8695 10603 11003 14304 14937 15767 18402 21502
 199 3066 6446 6849 8973 9536 10452 12857 13675 15913 16717 17654 19802 20115 21579
 312 870 2095 2586 5517 6196 6757 7311 7368 13046 15384 18576 20349 21424 21587
 985 1591 3248 3509 3706 3847 6174 6276 7864 9033 13618 15675 16446 18355 18843
 975 3774 4083 5825 6166 7218 7633 9657 10103 13052 14240 17320 18126 19544 20208
 1795 2005 2544 3418 6148 8051 9066 9725 10676 10752 11512 15171 17523 20481 21059
 167 315 1824 2325 2640 2868 6070 6597 7016 8109 9815 11608 16142 17912 19625
 1298 1896 3039 4303 4690 8787 12241 13600 14478 15492 16602 17115 17913 19466 20597
 568 3695 6045 6624 8131 8404 8590 9059 9246 11570 14336 18657 18941 19218 21506
 228 1889 1967 2299 3011 5074 7044 7596 7689 9534 10244 10697 11691 17902 21410
 1330 1579 1739 2234 3701 3865 5713 6677 7263 11172 12143 12765 17121 20011 21436
 303 1668 2501 4925 5778 5985 9635 10140 10820 11779 11849 12058 15650 20426 20527
 698 2484 3071 3219 4054 4125 5663 5939 6928 7086 8054 12173 16280 17945 19302
 232 1619 3040 4901 7438 8135 9117 9233 10131 13321 17347 17436 18193 18586 19929
 12 3721 6254 6609 7880 8139 10437 12262 13928 14065 14149 15032 15694 16264 18883
 482 915 1548 1637 6687 9338 10163 11768 11970 15524 15695 17386 18787 19210 19340
 1291 2500 4109 4511 5099 5194 10014 13165 13256 13972 15409 16113 16214 18584 20998
 1761 4778 7444 7740 8129 8341 8931 9136 9207 10003 10678 13959 17673 18194 20990
 3060 3522 5361 5692 6833 8342 8792 11023 11211 11548 11914 13987 15442 15541 19707
 1322 2348 2970 5632 6349 7577 8782 9113 9267 9376 12042 12943 16680 16970 21321
 6785 11960 21455
 1223 15672 19550
 5976 11335 20385
 2818 9387 15317
 2763 3554 18102
 5230 11489 18997
 5809 15779 20674
 2620 17838 18533
 3025 9342 9931
 3728 5337 12142
 2520 6666 9164
 12892 15307 20912
 10736 12393 16539
 1075 2407 12853
 4921 5411 18206
 5955 15647 16838
 6384 10336 19266
 429 10421 17266
 4880 10431 12208
 2910 11895 12442
 7366 18362 18772

Samsung으로부터 제공

도면46

4341 7903 14994
 4564 6714 7378
 4639 8652 18871
 15787 18048 20246
 3241 11079 13640
 1559 2936 15881
 2737 6349 10881
 10394 16107 17073
 8207 9043 12874
 7805 16058 17905
 11189 15767 17764
 5823 12923 14316
 11080 20390 20924
 568 8263 17411
 1845 3557 6562
 2890 10936 14756
 9031 14220 21517
 3529 12955 15902
 413 6750 8735
 6784 12092 16421
 12019 13794 15308
 12588 15378 17676
 8067 14589 19304
 1244 5877 6085
 15897 19349 19993
 1426 2394 12264
 3456 8931 12075
 13342 15273 20351
 9138 13352 20798
 7031 7626 14081
 4280 4507 15617
 4170 10569 14335
 3839 7514 16578
 4688 12815 18782
 4861 7858 9435
 605 5445 12912
 2280 4734 7311
 6668 8128 12638
 3733 10621 19534
 13933 18316 19341
 1786 3037 21566
 2202 13239 16432
 4882 5808 9300
 4580 8484 16754
 14630 17502 18269
 6889 11119 12447
 8162 9078 16330
 6538 17851 18100
 17763 19793 20816
 2183 11907 17567

Samsung으로부터 제공

도면47

6640	14428	15175
877	12035	14081
1336	6468	12328
5948	9146	12003
3782	5699	12445
1770	7946	8244
7384	12639	14989
1469	11586	20959
7943	10450	15907
5005	8153	10035
17750	18826	21513
4725	8041	10112
3837	16266	17376
11340	17361	17512
1269	4611	4774
2322	10813	16157
16752	16843	18959
70	4325	18753
3165	8153	15384
160	8045	16823
14112	16724	16792
4291	7667	18176
5943	19879	20721

Samsung으로부터 제공

도면48

N=64800, rate=12/15

584 1472 1621 1867 3338 3568 3723 4185 5126 5889 7737 8632 8940 9725
 221 445 590 3779 3835 6939 7743 8280 8448 8491 9367 10042 11242 12917
 4662 4837 4900 5029 6449 6687 6751 8684 9936 11681 11811 11886 12089 12909
 2418 3018 3647 4210 4473 7447 7502 9490 10067 11092 11139 11256 12201 12383
 2591 2947 3349 3406 4417 4519 5176 6672 8498 8863 9201 11294 11376 12184
 27 101 197 290 871 1727 3911 5411 6676 8701 9350 10310 10798 12439
 1765 1897 2923 3584 3901 4048 6963 7054 7132 9165 10184 10824 11278 12669
 2183 3740 4808 5217 5660 6375 6787 8219 8466 9037 10353 10583 11118 12762
 73 1594 2146 2715 3501 3572 3639 3725 6959 7187 8406 10120 10507 10691
 240 732 1215 2185 2788 2830 3499 3881 4197 4991 6425 7061 9756 10491
 831 1568 1828 3424 4319 4516 4639 6018 9702 10203 10417 11240 11518 12458
 2024 2970 3048 3638 3676 4152 5284 5779 5926 9426 9945 10873 11787 11837
 1049 1218 1651 2328 3493 4363 5750 6483 7613 8782 9738 9803 11744 11937
 1193 2060 2289 2964 3478 4592 4756 6709 7162 8231 8326 11140 11908 12243
 978 2120 2439 3338 3850 4589 6567 8745 9656 9708 10161 10542 10711 12639
 2403 2938 3117 3247 3711 5593 5844 5932 7801 10152 10226 11498 12162 12941
 1781 2229 2276 2533 3582 3951 5279 5774 7930 9824 10920 11038 12340 12440
 289 384 1980 2230 3464 3873 5958 8656 8942 9006 10175 11425 11745 12530
 155 354 1090 1330 2002 2236 3559 3705 4922 5958 6576 8564 9972 12760
 303 876 2059 2142 5244 5330 6644 7576 8614 9598 10410 10718 11033 12957
 3449 3617 4408 4602 4727 6182 8835 8928 9372 9644 10237 10747 11655 12747
 811 2565 2820 8677 8974 9632 11069 11548 11839 12107 12411 12695 12812 12890
 972 4123 4943 6385 6449 7339 7477 8379 9177 9359 10074 11709 12552 12831
 842 973 1541 2262 2905 5276 6758 7099 7894 8128 8325 8663 8875 10050
 474 791 968 3902 4924 4965 5085 5908 6109 6329 7931 9038 9401 10568
 1397 4461 4658 5911 6037 7127 7318 8678 8924 9000 9473 9602 10446 12692
 1334 7571 12881
 1393 1447 7972
 633 1257 10597
 4843 5102 11056
 3294 8015 10513
 1108 10374 10546
 5353 7824 10111
 3398 7674 8569
 7719 9478 10503
 2997 9418 9581
 5777 6519 11229
 1966 5214 9899
 6 4088 5827
 836 9248 9612
 483 7229 7548
 7865 8289 9804
 2915 11098 11900
 6180 7096 9481
 1431 6786 8924
 748 6757 8625
 3312 4475 7204
 1852 8958 11020

Samsung으로부터 제공

도면49

1915 2903 4006
 6776 10886 12531
 2594 9998 12742
 159 2002 12079
 853 3281 3762
 5201 5798 6413
 3882 6062 12047
 4133 6775 9657
 228 6874 11183
 7433 10728 10864
 7735 8073 12734
 2844 4621 11779
 3909 7103 12804
 6002 9704 11060
 5864 6856 7681
 3652 5869 7605
 2546 2657 4461
 2423 4203 9111
 244 1855 4691
 1106 2178 6371
 391 1617 10126
 250 9259 10603
 3435 4614 6924
 1742 8045 9529
 7667 8875 11451
 4023 6108 6911
 8621 10184 11650
 6726 10861 12348
 3228 6302 7388
 1 1137 5358
 381 2424 8537
 3256 7508 10044
 1980 2219 4569
 2468 5699 10319
 2803 3314 12808
 8578 9642 11533
 829 4585 7923
 59 329 5575
 1067 5709 6867
 1175 4744 12219
 109 2518 6756
 2105 10626 11153
 5192 10696 10749
 6260 7641 8233
 2998 3094 11214
 3398 6466 11494
 6574 10448 12160
 2734 10755 12780
 1028 7958 10825
 8545 8602 10793

Samsung으로부터 제공

도면50

392	3398	11417
6639	9291	12571
1067	7919	8934
1064	2848	12753
6076	8656	12690
5504	6193	10171
1951	7156	7356
4389	4780	7889
526	4804	9141
1238	3648	10464
2587	5624	12557
5560	5903	11963
1134	2570	3297
10041	11583	12157
1263	9585	12912
3744	7898	10646
45	9074	10315
1051	6188	10038
2242	8394	12712
3598	9025	12651
2295	3540	5610
1914	4378	12423
1766	3635	12759
5177	9586	11143
943	3590	11649
4864	6905	10454
5852	6042	10421
6095	8285	12349
2070	7171	8563
718	12234	12716
512	10667	11353
3629	6485	7040
2880	8865	11466
4490	10220	11796
5440	8819	9103
5262	7543	12411
516	7779	10940
2515	5843	9202
4684	5994	10586
573	2270	3324
7870	8317	10322
6856	7638	12909
1583	7669	10781
8141	9085	12555
3903	5485	9992
4467	11998	12904

Samsung으로부터 제공

도면51

N=16200, rate=7/15

432 655 893 942 1285 1427 1738 2199 2441 2565 2932 3201 4144 4419 4678 4963 5423 5922 6433
 6564 6656 7478 7514 7892
 220 453 690 826 1116 1425 1488 1901 3119 3182 3568 3800 3953 4071 4782 5038 5555 6836 6871
 7131 7609 7850 8317 8443
 300 454 497 930 1757 2145 2314 2372 2467 2819 3191 3256 3699 3984 4538 4965 5461 5742 5912
 6135 6649 7636 8078 8455
 24 65 565 609 990 1319 1394 1465 1918 1976 2463 2987 3330 3677 4195 4240 4947 5372 6453 6950
 7066 8412 8500 8599
 1373 4668 5324 7777
 189 3930 5766 6877
 3 2961 4207 5747
 1108 4768 6743 7106
 1282 2274 2750 6204
 2279 2587 2737 6344
 2889 3164 7275 8040
 133 2734 5081 8386
 437 3203 7121
 4280 7128 8490
 619 4563 6206
 2799 6814 6991
 244 4212 5925
 1719 7657 8554
 53 1895 6685
 584 5420 6856
 2958 5834 8103

Samsung으로부터 제공

도면52

N=16200, rate=9/15															
350	462	1291	1383	1821	2235	2493	3328	3353	3772	3872	3923	4259	4426	4542	4972
5347	6217	6246	6332	6386	177	869	1214	1253	1398	1482	1737	2014	2161	2331	3108
3297	3438	4388	4430	4456	4522	4783	5273	6037	6395	347	501	658	966	1622	1659
1934	2117	2527	3168	3231	3379	3427	3739	4218	4497	4894	5000	5167	5728	5975	319
398	599	1143	1796	3198	3521	3886	4139	4453	4556	4636	4688	4753	4986	5199	5224
5496	5698	5724	6123	162	257	304	524	945	1695	1855	2527	2780	2902	2958	3439
3484	4224	4769	4928	5156	5303	5971	6358	6477	807	1695	2941	4276	2652	2857	4660
6358	329	2100	2412	3632	1151	1231	3872	4869	1561	3565	5138	5303	407	794	1455
3438	5683	5749	1504	1985	3563	440	5021	6321	194	3645	5923	1217	1462	6422	1212
4715	5973	4098	5100	5642	5512	5857	6226	2583	5506	5933	784	1801	4890	4734	4779
4875	938	5081	5377	127	4125	4704	1244	2178	3352	3659	6350	6465	1686	3464	4336

Samsung으로부터 제공

도면53

N=16200, rate=11/15

108 297 703 742 1345 1443 1495 1628 1812 2341 2559 2669 2810 2877 3442 3690 3755 3904 4264
 180 211 477 788 824 1090 1272 1578 1685 1948 2050 2195 2233 2546 2757 2946 3147 3299 3544
 627 741 1135 1157 1226 1333 1378 1427 1454 1696 1757 1772 2099 2208 2592 3354 3580 4066 4242
 9 795 959 989 1006 1032 1135 1209 1382 1484 1703 1855 1985 2043 2629 2845 3136 3450 3742
 230 413 801 829 1108 1170 1291 1759 1793 1827 1976 2000 2423 2466 2917 3010 3600 3782 4143
 56 142 236 381 1050 1141 1372 1627 1985 2247 2340 3023 3434 3519 3957 4013 4142 4164 4279
 298 1211 2548 3643
 73 1070 1614 1748
 1439 2141 3614
 284 1564 2629
 607 660 855
 1195 2037 2753
 49 1198 2562
 296 1145 3540
 1516 2315 2382
 154 722 4016
 759 2375 3825
 162 194 1749
 2335 2422 2632
 6 1172 2583
 726 1325 1428
 985 2708 2769
 255 2801 3181
 2979 3720 4090
 208 1428 4094
 199 3743 3757
 1229 2059 4282
 458 1100 1387
 1199 2481 3284
 1161 1467 4060
 959 3014 4144
 2666 3960 4125
 2809 3834 4318

Samsung으로부터 제공

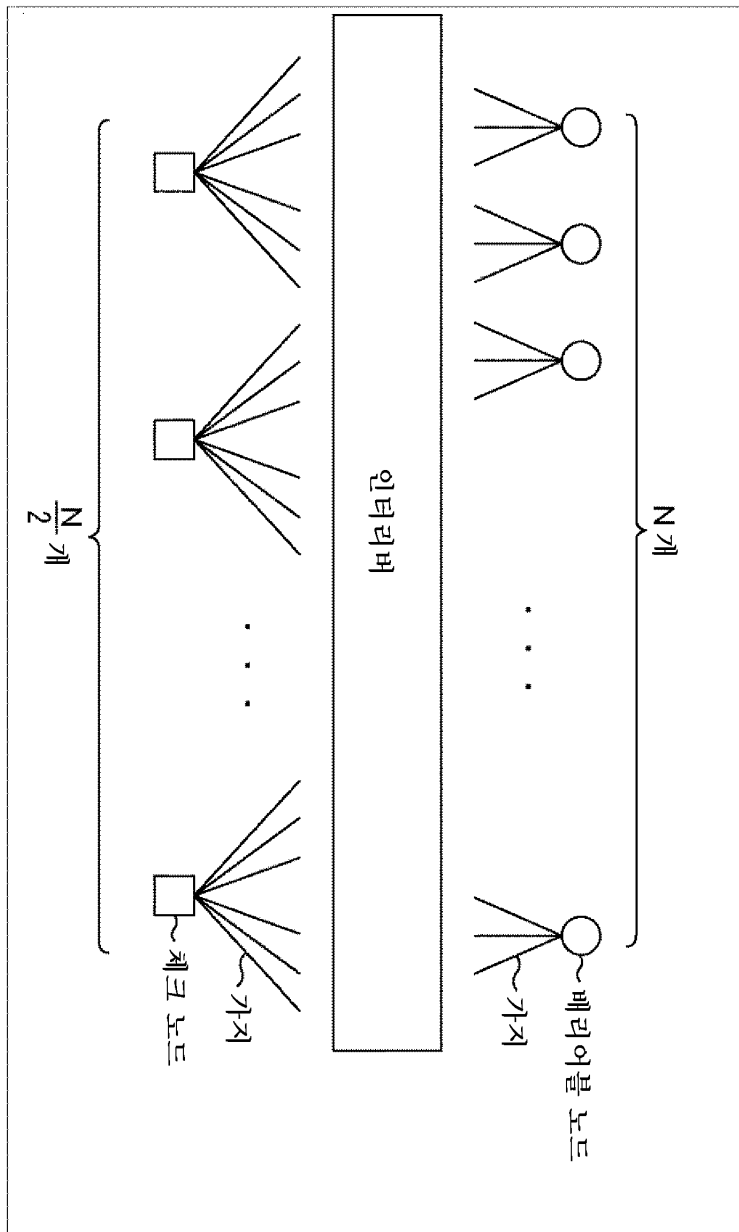
도면54

N=16200, rate=13/15

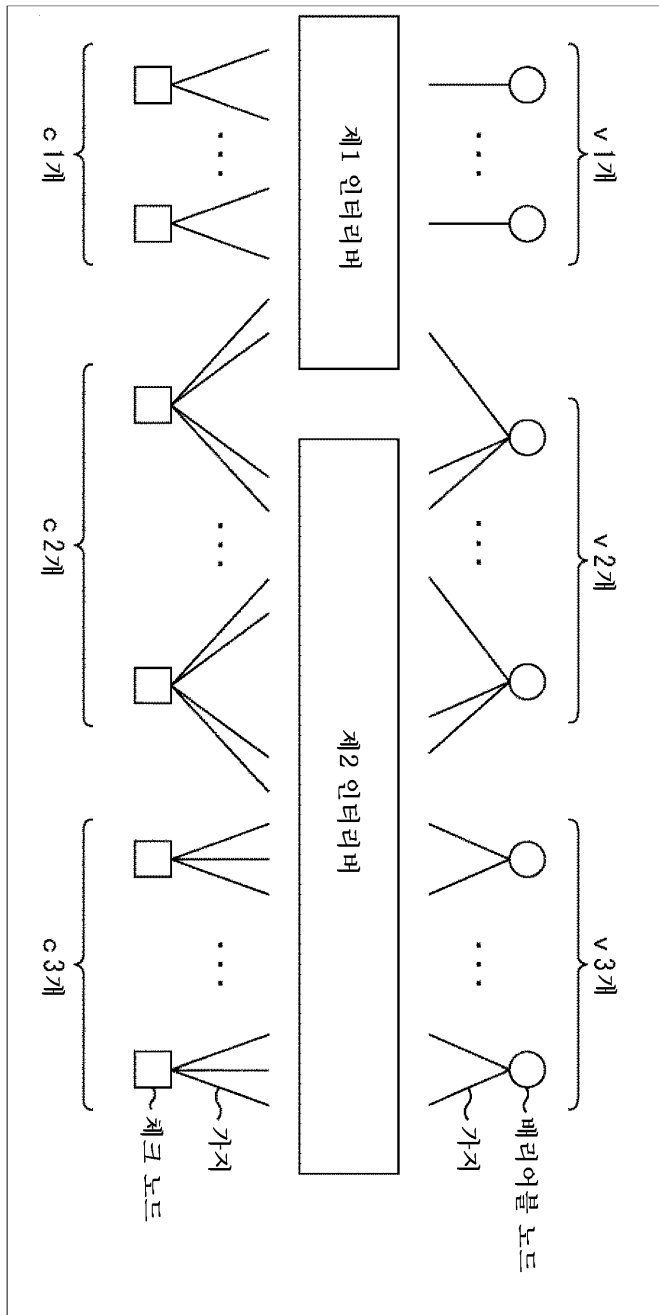
37 144 161 199 220 496 510 589 731 808 834 965 1249 1264 1311 1377 1460 1520 1598 1707 1958
 2055 2099 2154
 20 27 165 462 546 583 742 796 1095 1110 1129 1145 1169 1190 1254 1363 1383 1463 1718 1835 1870
 1879 2108 2128
 288 362 463 505 638 691 745 861 1006 1083 1124 1175 1247 1275 1337 1353 1378 1506 1588 1632
 1720 1868 1980 2135
 405 464 478 511 566 574 641 766 785 802 836 996 1128 1239 1247 1449 1491 1537 1616 1643 1668
 1950 1975 2149
 86 192 245 357 363 374 700 713 852 903 992 1174 1245 1277 1342 1369 1381 1417 1463 1712 1900
 1962 2053 2118
 101 327 378 550
 186 723 1318 1550
 118 277 504 1835
 199 407 1776 1965
 387 1253 1328 1975
 62 144 1163 2017
 100 475 572 2136
 431 865 1568 2055
 283 640 981 1172
 220 1038 1903 2147
 483 1318 1358 2118
 92 961 1709 1810
 112 403 1485 2042
 431 1110 1130 1365
 587 1005 1206 1588
 704 1113 1943
 375 1487 2100
 1507 1950 2110
 962 1613 2038
 554 1295 1501
 488 784 1446
 871 1935 1964
 54 1475 1504
 1579 1617 2074
 1856 1967 2131
 330 1582 2107
 40 1056 1809
 1310 1353 1410
 232 554 1939
 168 641 1099
 333 437 1556
 153 622 745
 719 931 1188
 237 638 1607

Samsung으로부터 제공

도면55



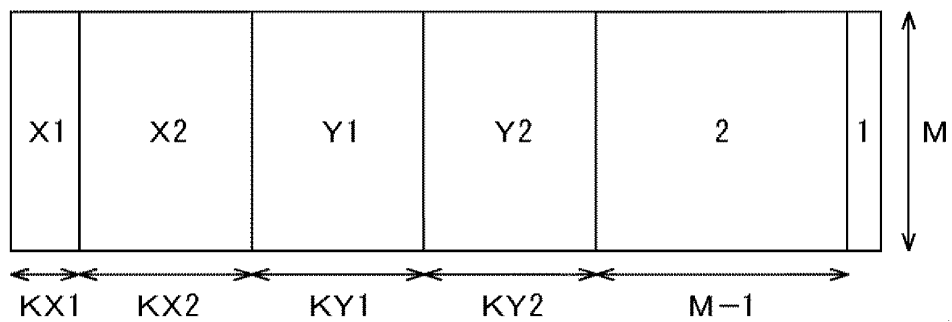
도면56



도면57

부호 길이: $N=64800$		
부호화율: $\{7, 9, 11, 13\}/15$		
Rate	성능 임계값(E_s/N_0)	최소 사이클 길이
7/15	-0.093751	6
9/15	1.658523	8
11/15	3.351930	6
13/15	5.901749	6

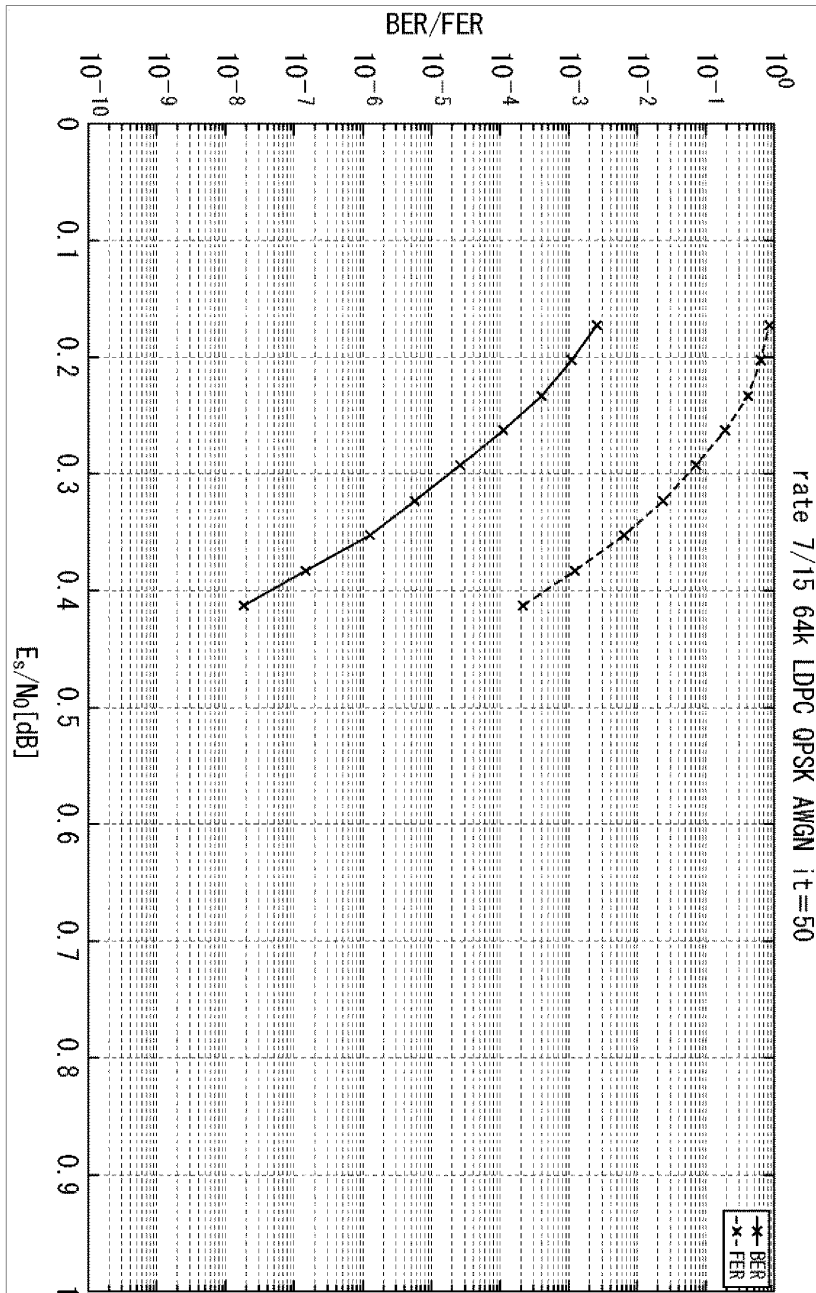
도면58



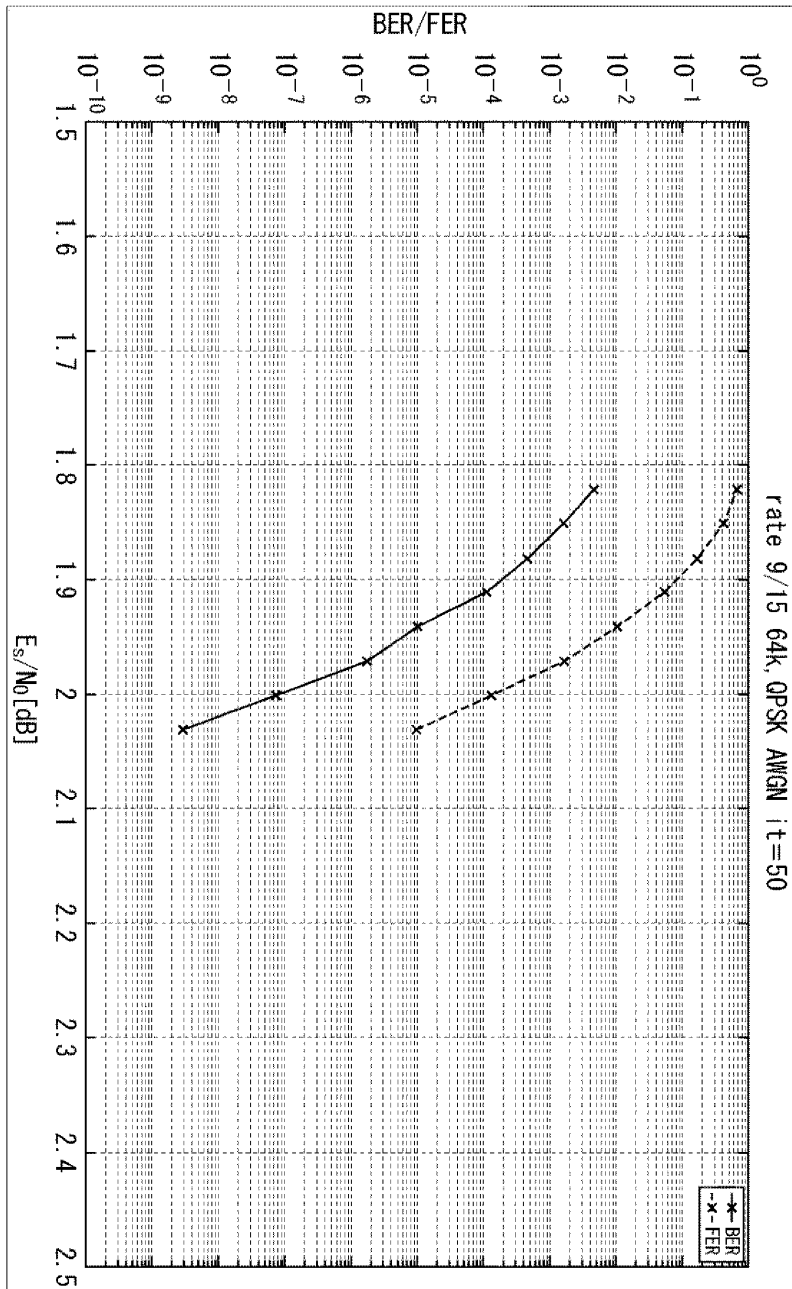
도면59

Rate	X1	KX1	X2	KX2	Y1	KY1	Y2	KY2	M
7/15	33	2160	15	5040	4	0	3	23040	34560
9/15	19	6840	—	0	4	6840	3	25200	25920
11/15	15	8280	—	0	4	2520	3	36720	17280
13/15	13	9360	—	0	4	360	3	46440	8640

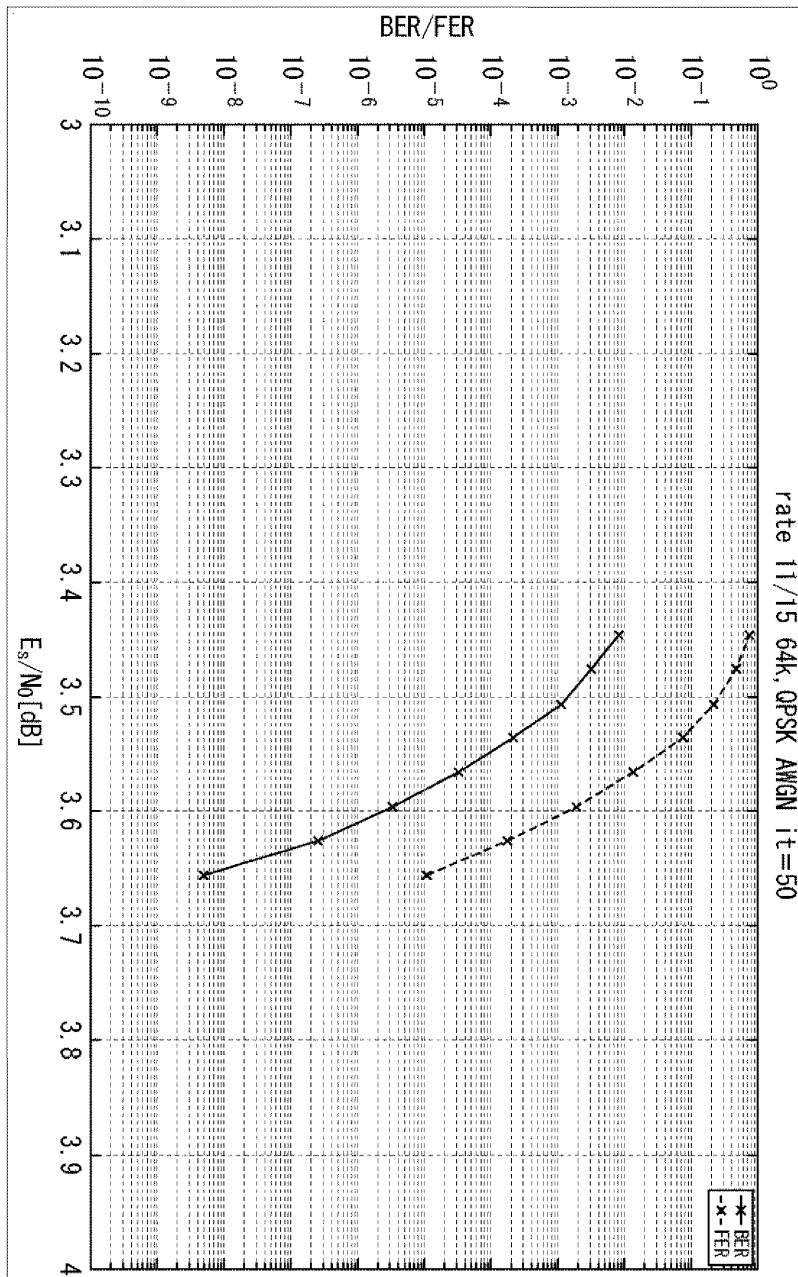
도면60



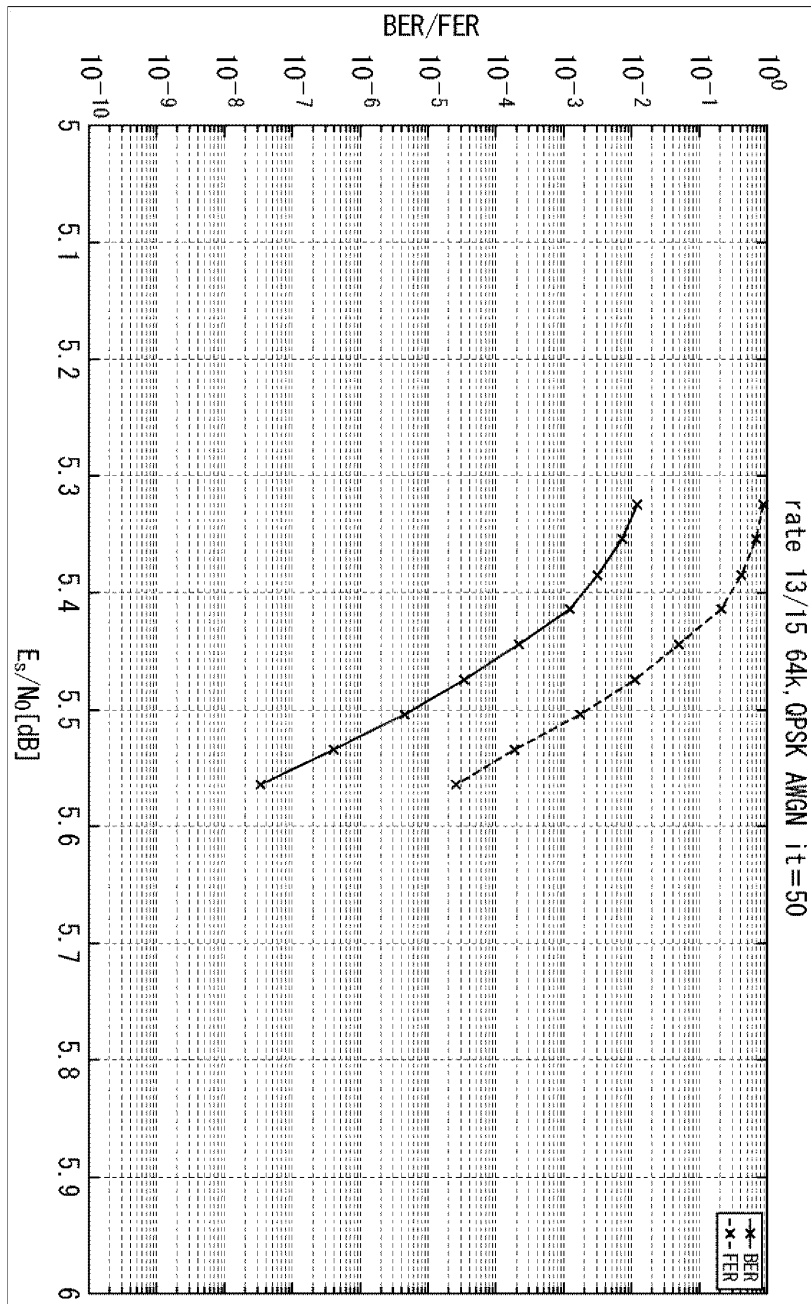
도면61



도면62



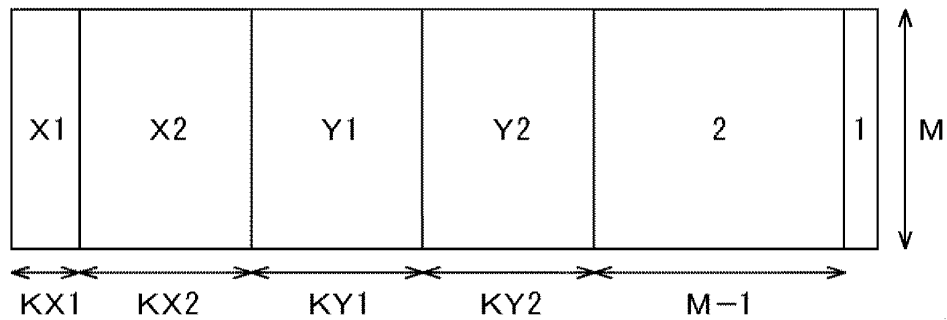
도면63



도면64

부호 길이: $N=16200$		
부호화율: $\{6, 8, 10, 12\}/15$		
Rate	성능 임계값(E_s/N_0)	최소 사이클 길이
6/15	0.1	6
8/15	0.805765	6
10/15	2.471011	6
12/15	4.269922	6

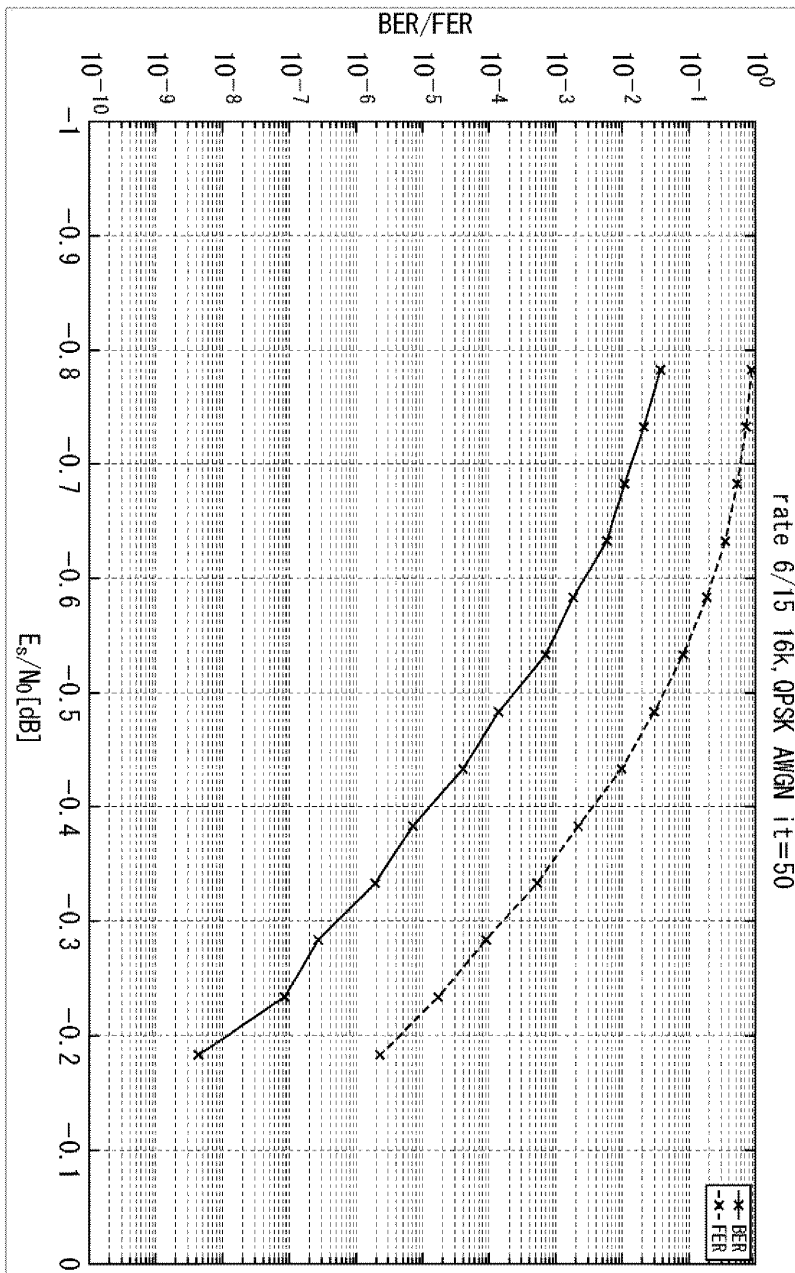
도면65



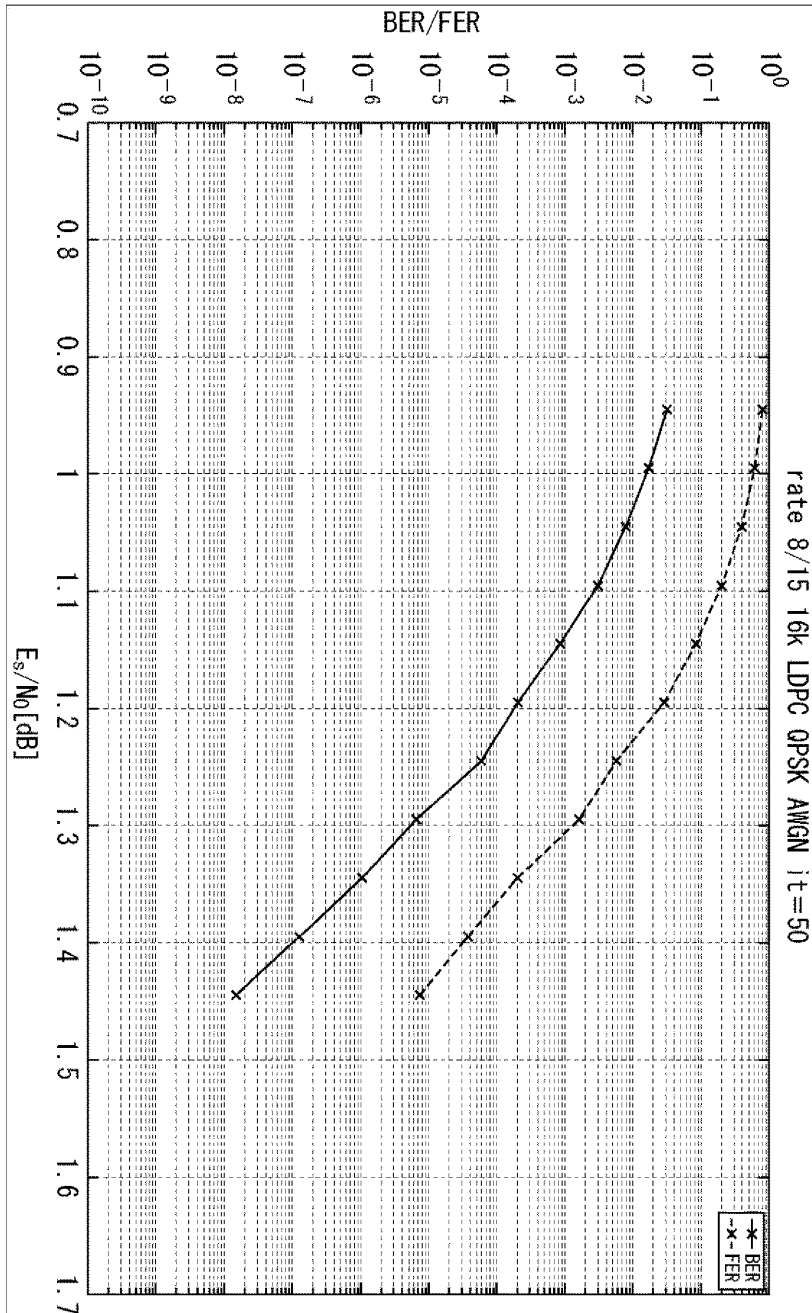
도면66

Rate	X1	KX1	X2	KX2	Y1	KY1	Y2	KY2	M
6/15	32	1080	—	0	4	3240	3	2160	9720
8/15	32	720	14	1080	4	1440	3	5400	7560
10/15	25	720	14	1440	4	360	3	8280	5400
12/15	14	2160	—	0	4	720	3	10080	3240

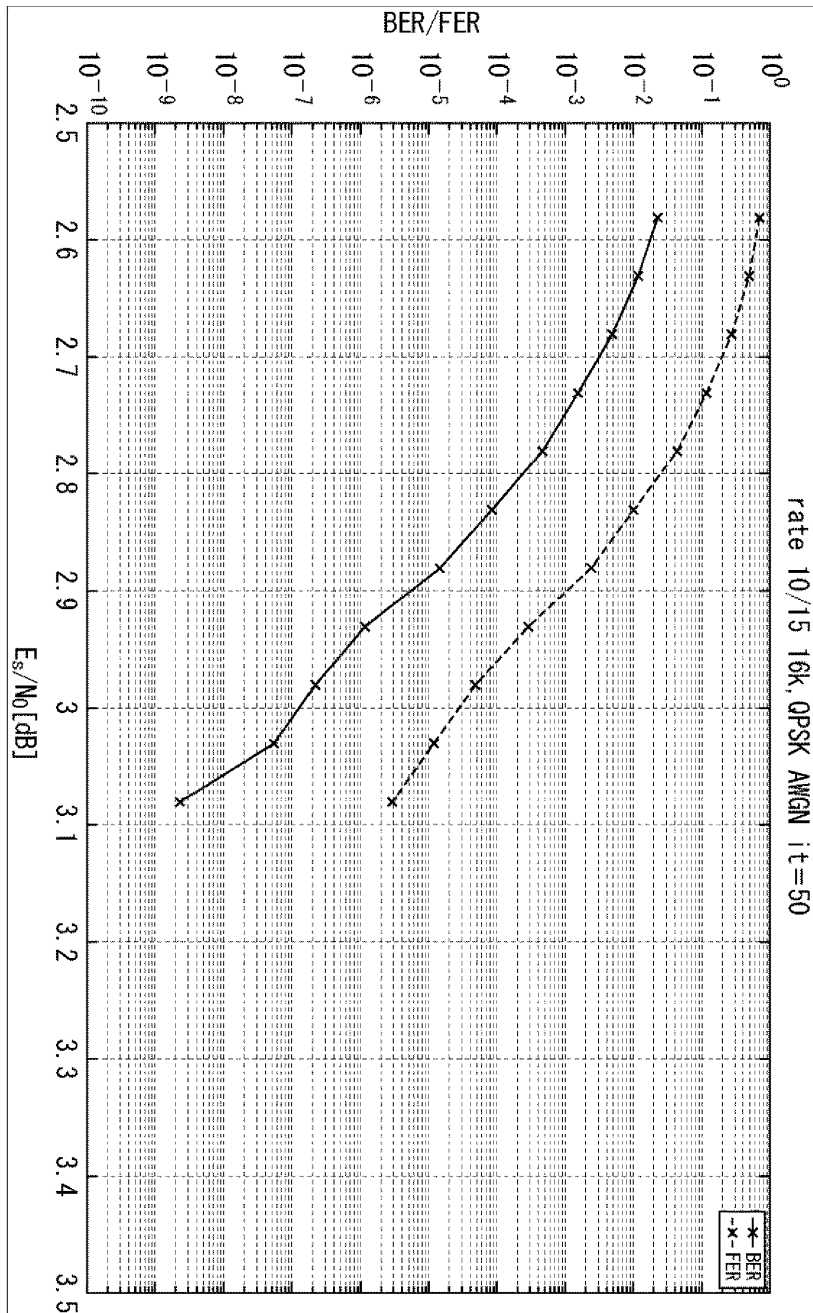
도면67



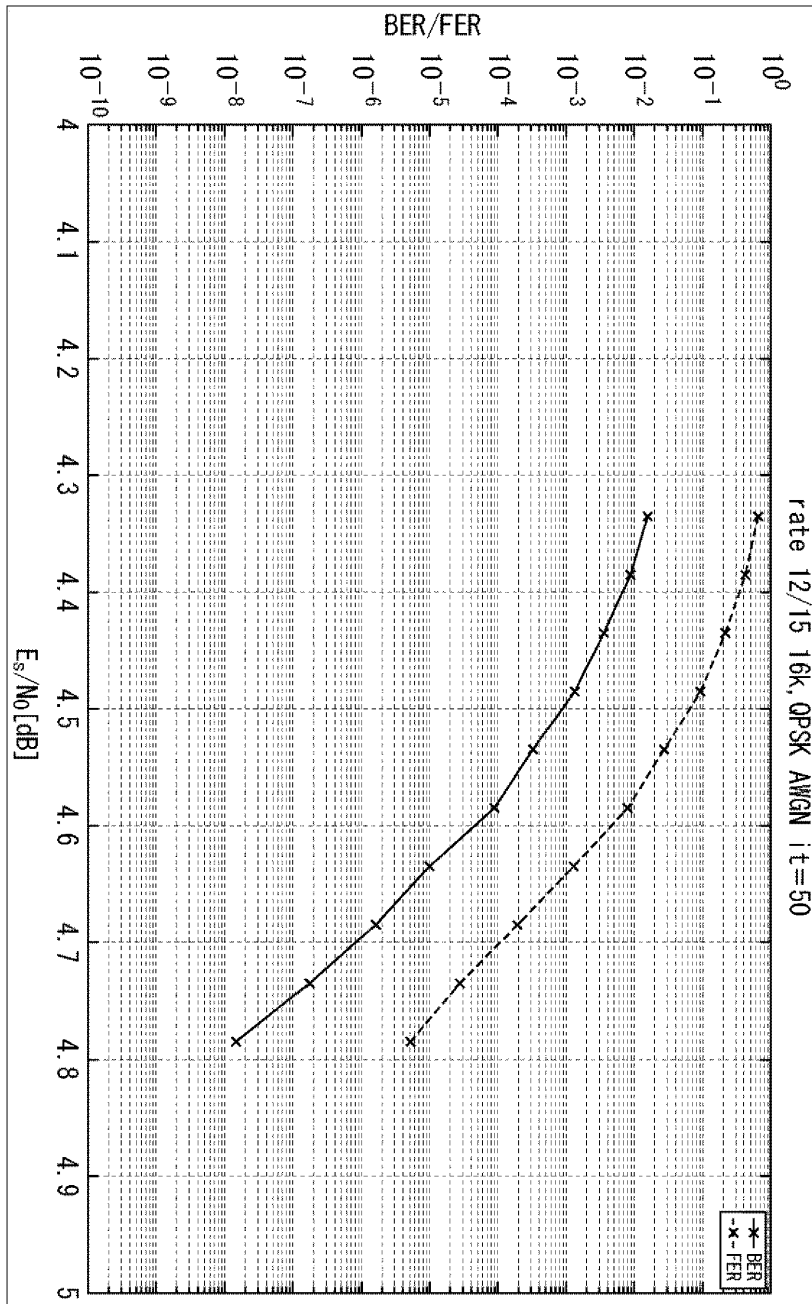
도면68



도면69



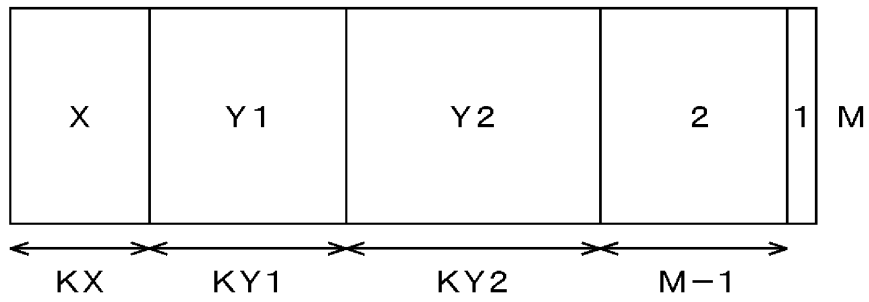
도면70



도면71

부호화율	최소 사이클 길이	성능 임계값(E_b/N_0)
10/15	6	1.35

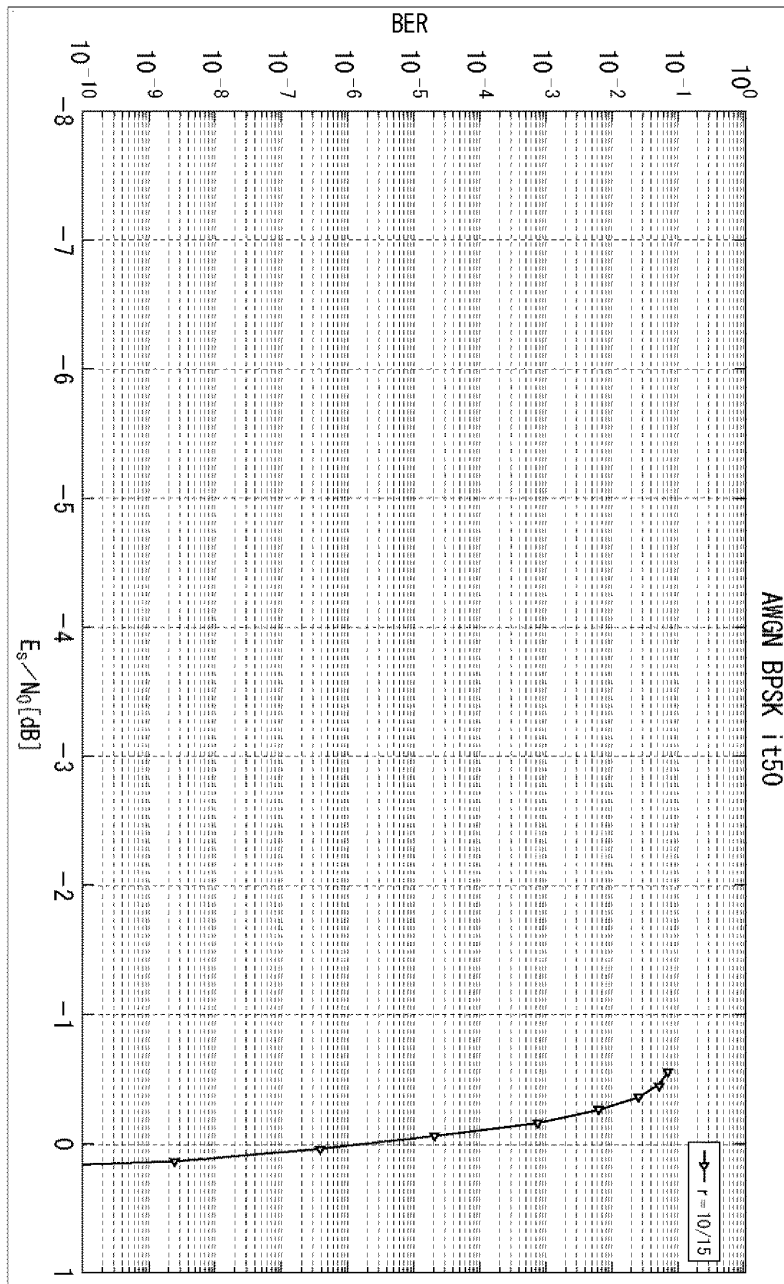
도면72



도면73

rate	X	KX	Y1	KY1	Y2	KY2	M
10/15	18	1440	4	5400	3	3960	5400

도면74



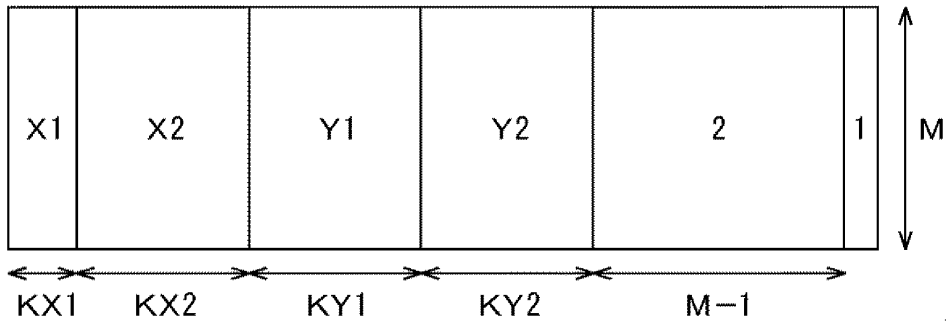
도면75

부호 길이: N=16200

부호화율: 12/15

Rate	성능 임계값 (Es/No)	최소 사이클 길이
12/15	4.237556	6

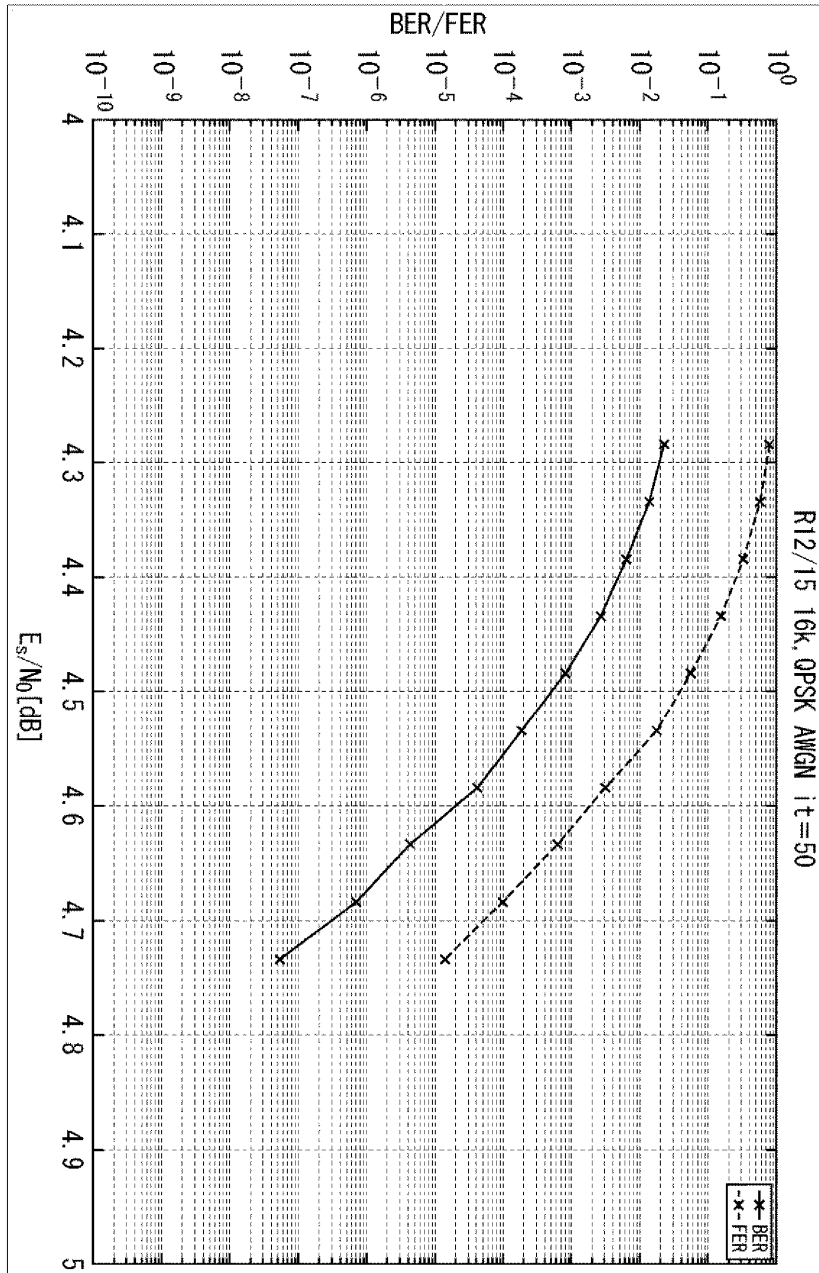
도면76



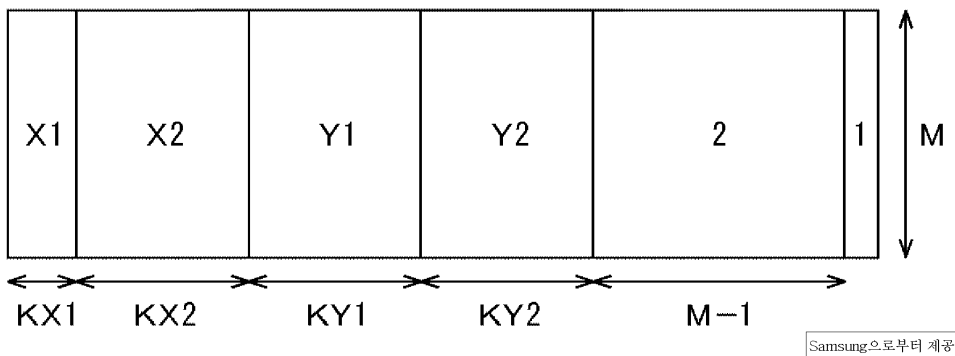
도면77

X1	18
KX1	360
X2	16
KX2	1800
Y1	4
KY1	1080
Y2	3
KY2	9720
M	3240

도면78



도면79

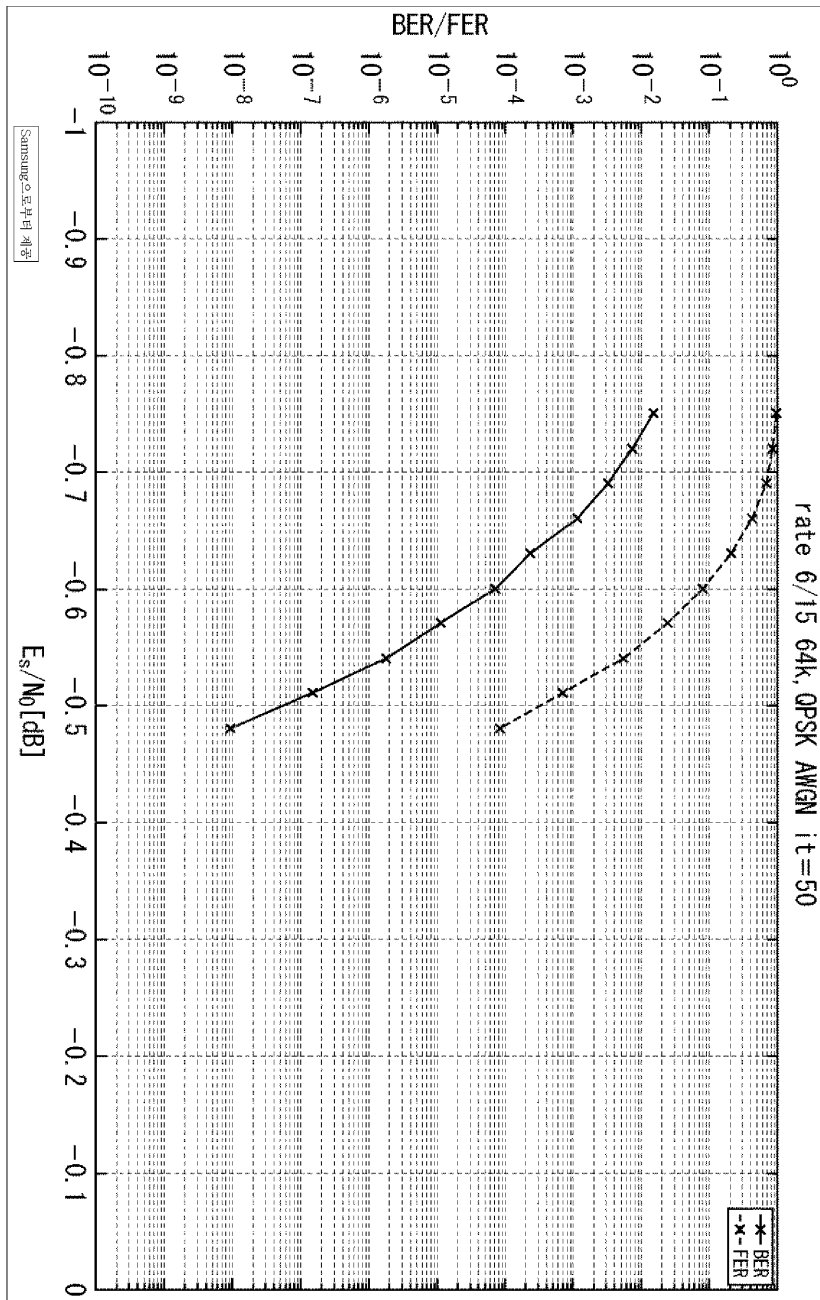


도면80

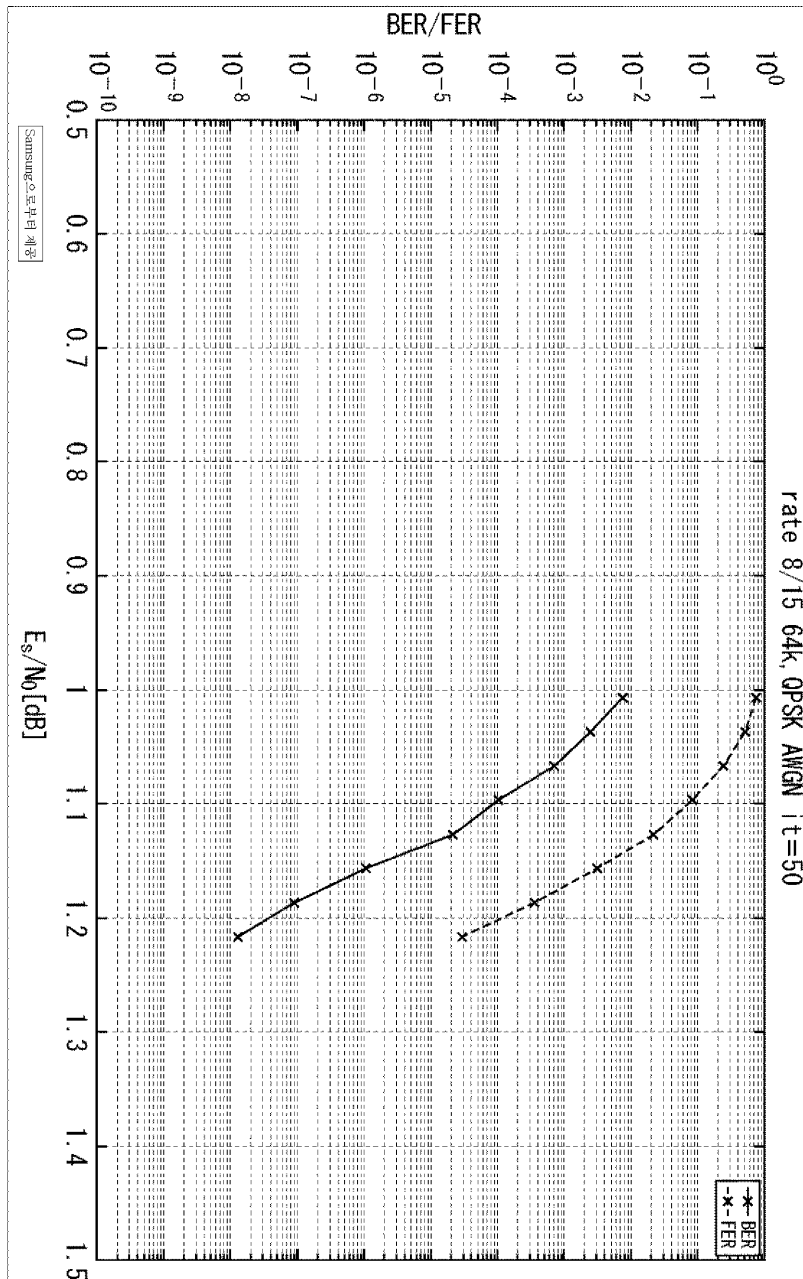
Rate	X1	KX1	X2	KX2	Y1	KY1	Y2	KY2	M
6/15	27	4680	—	0	4	13680	3	7560	38880
8/15	19	7200	—	0	4	5760	3	21600	30240
10/15	15	9360	—	0	4	0	3	33840	21600
12/15	14	9360	—	0	4	0	3	42480	12960

Samsung으로부터 제공

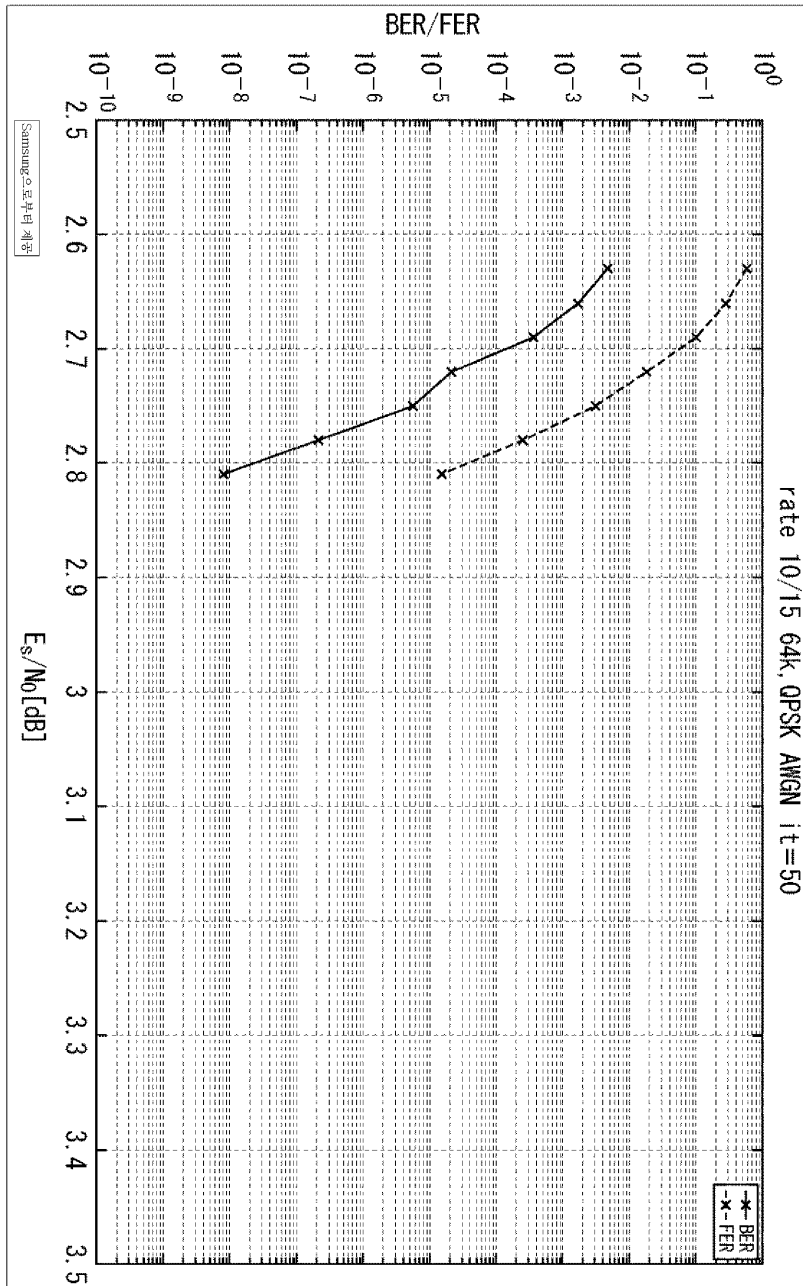
도면81



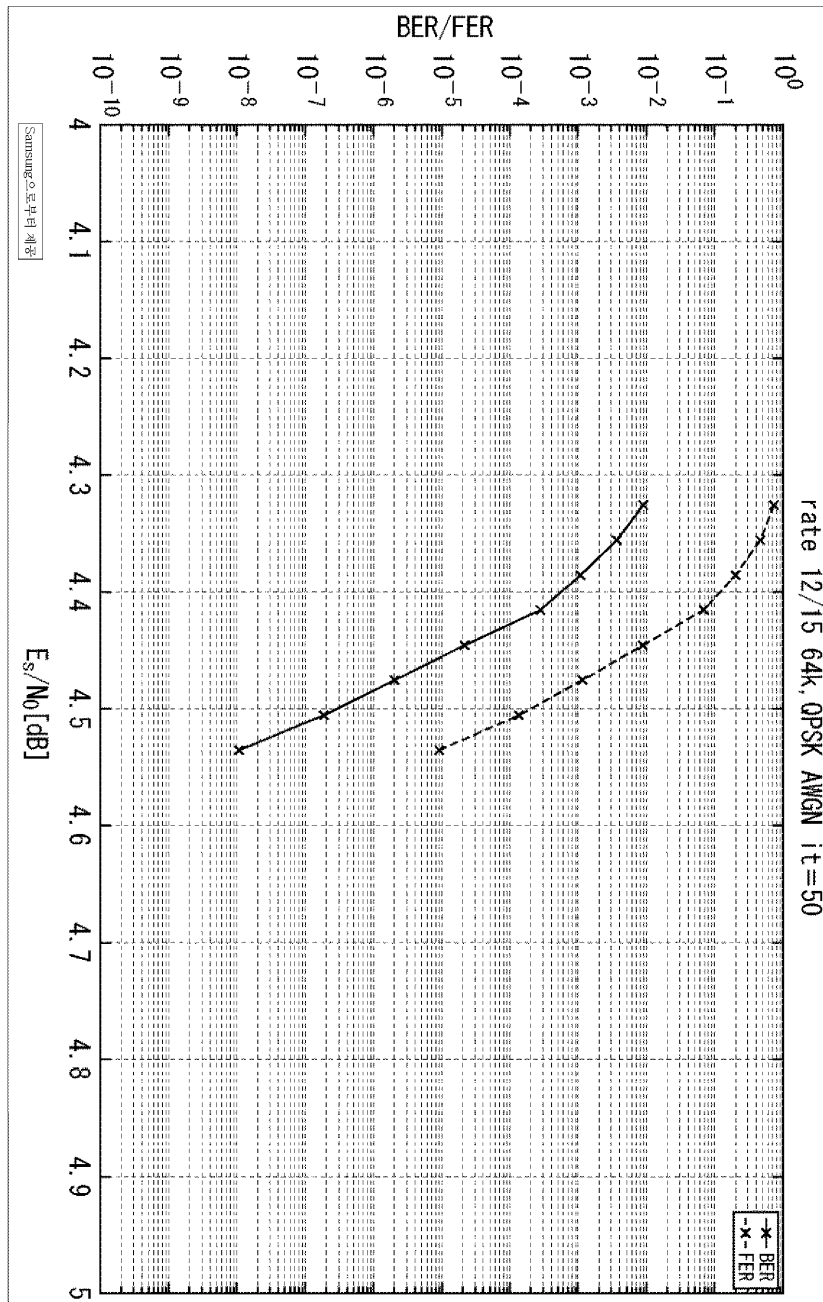
도면82



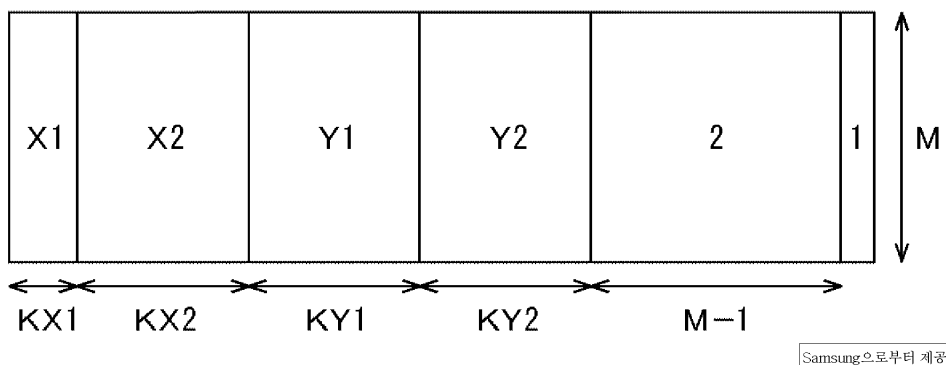
도면83



도면84



도면85

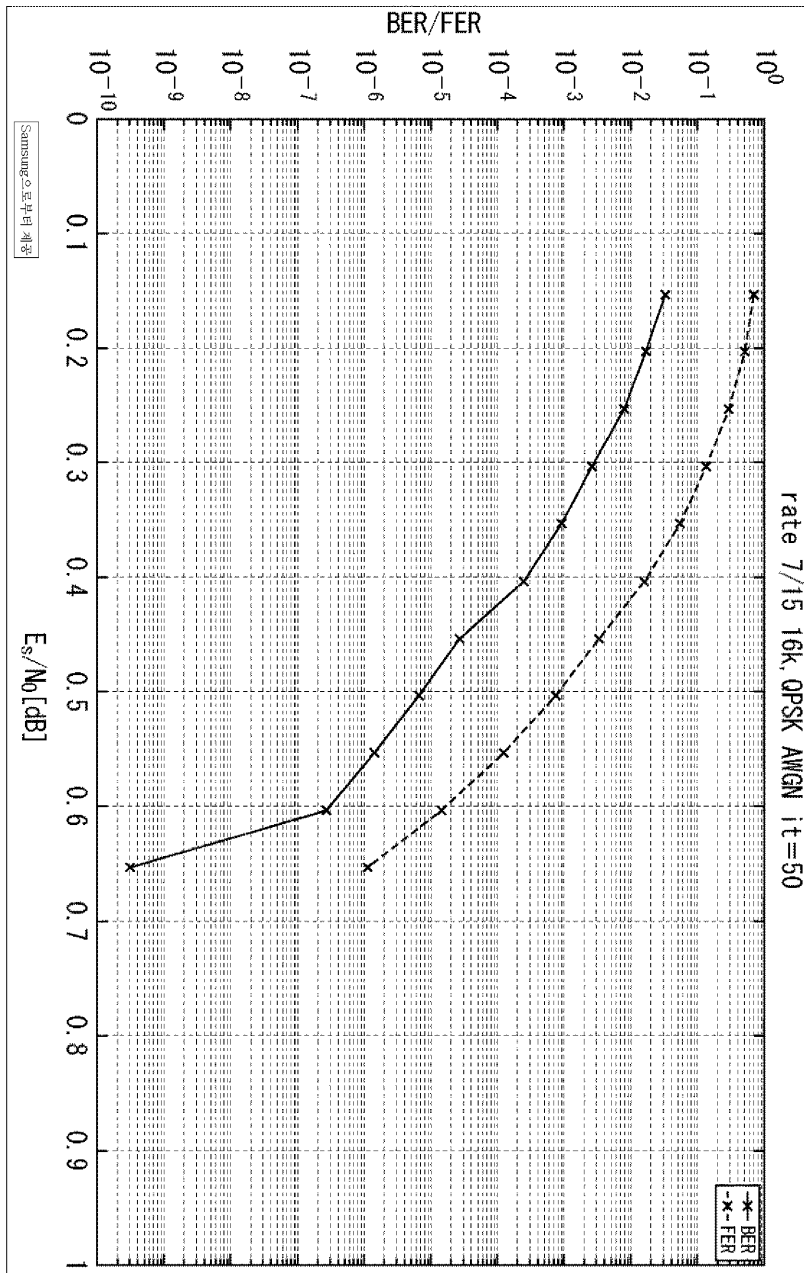


도면86

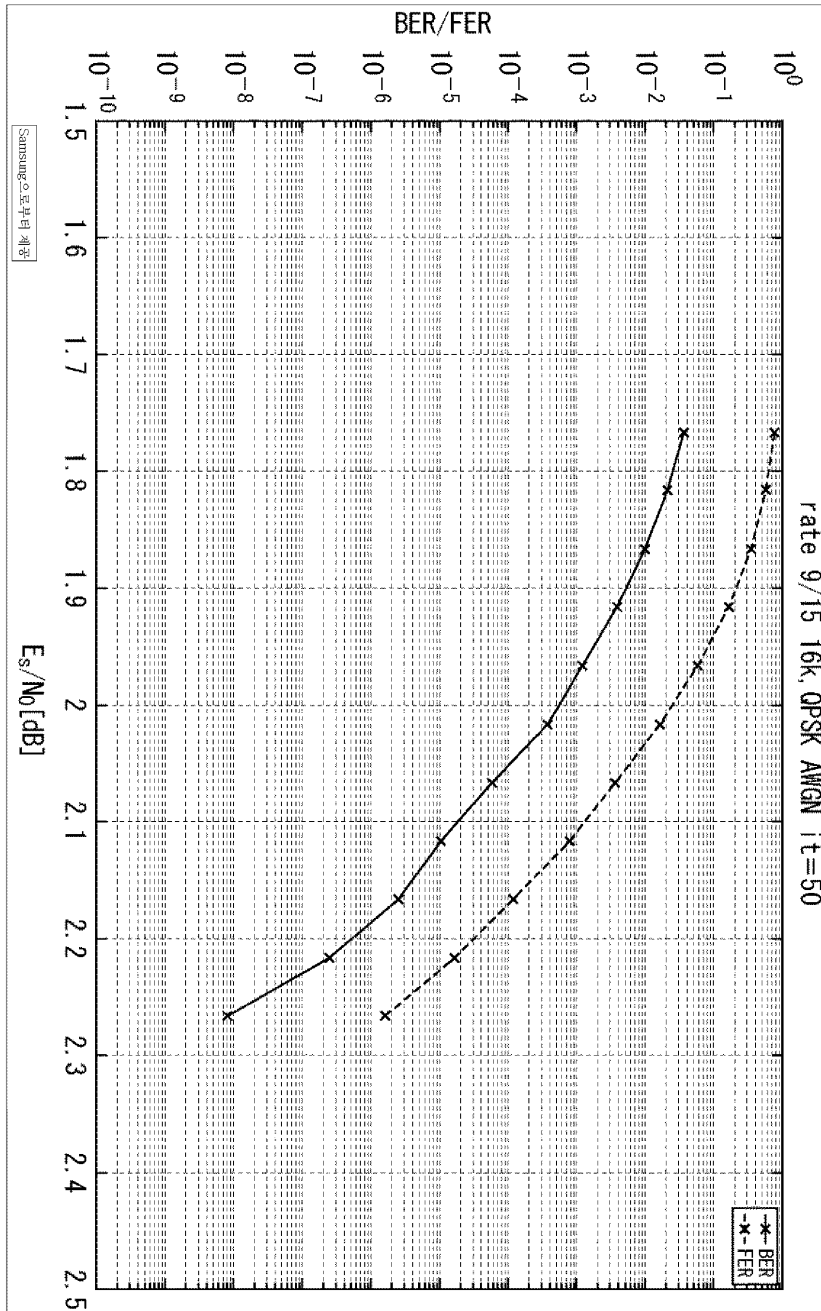
Rate	X1	KX1	X2	KX2	Y1	KY1	Y2	KY2	M
7/15	24	1440	—	0	4	2880	3	3240	8640
9/15	21	1800	—	0	4	1800	3	6120	6480
11/15	19	2160	—	0	4	720	3	9000	4320
13/15	24	1800	—	0	4	5400	3	6840	2160

Samsung으로부터 제공

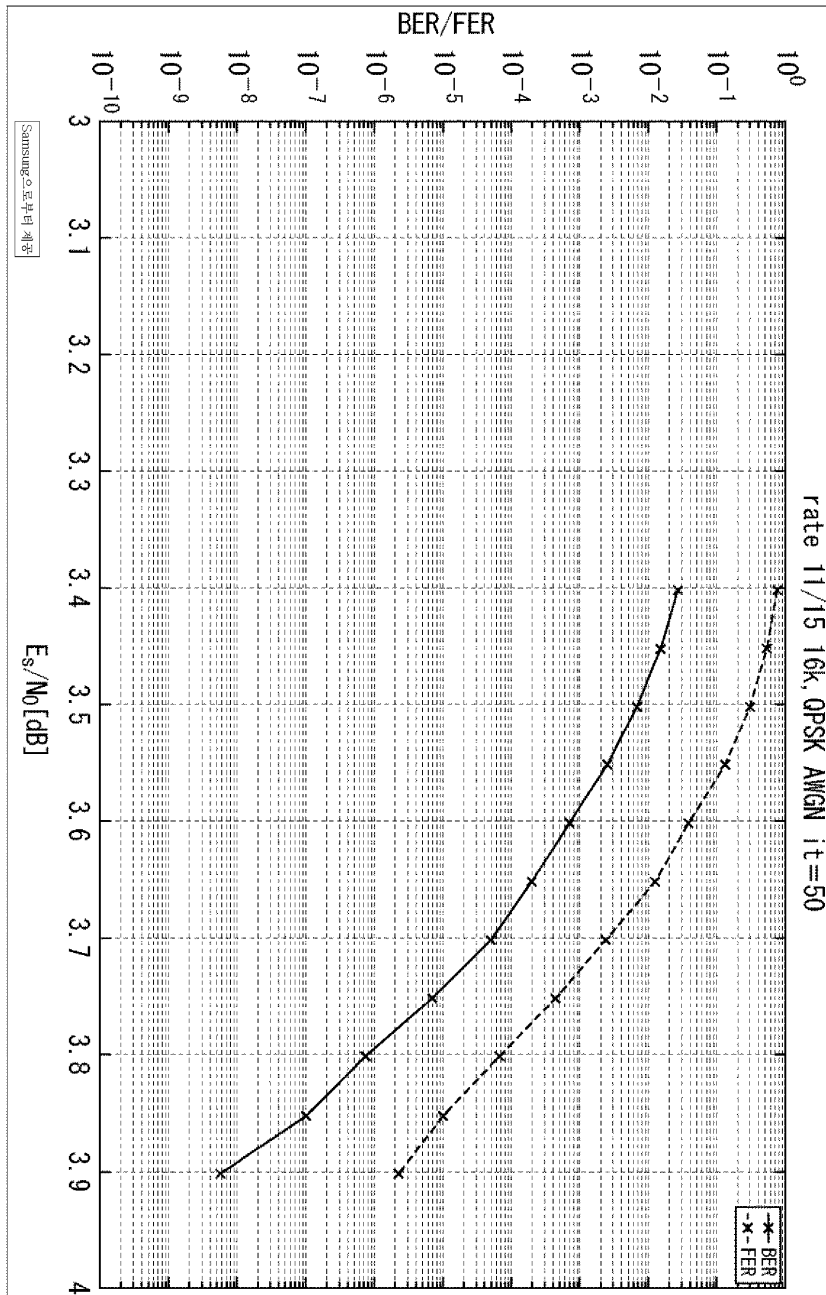
도면87



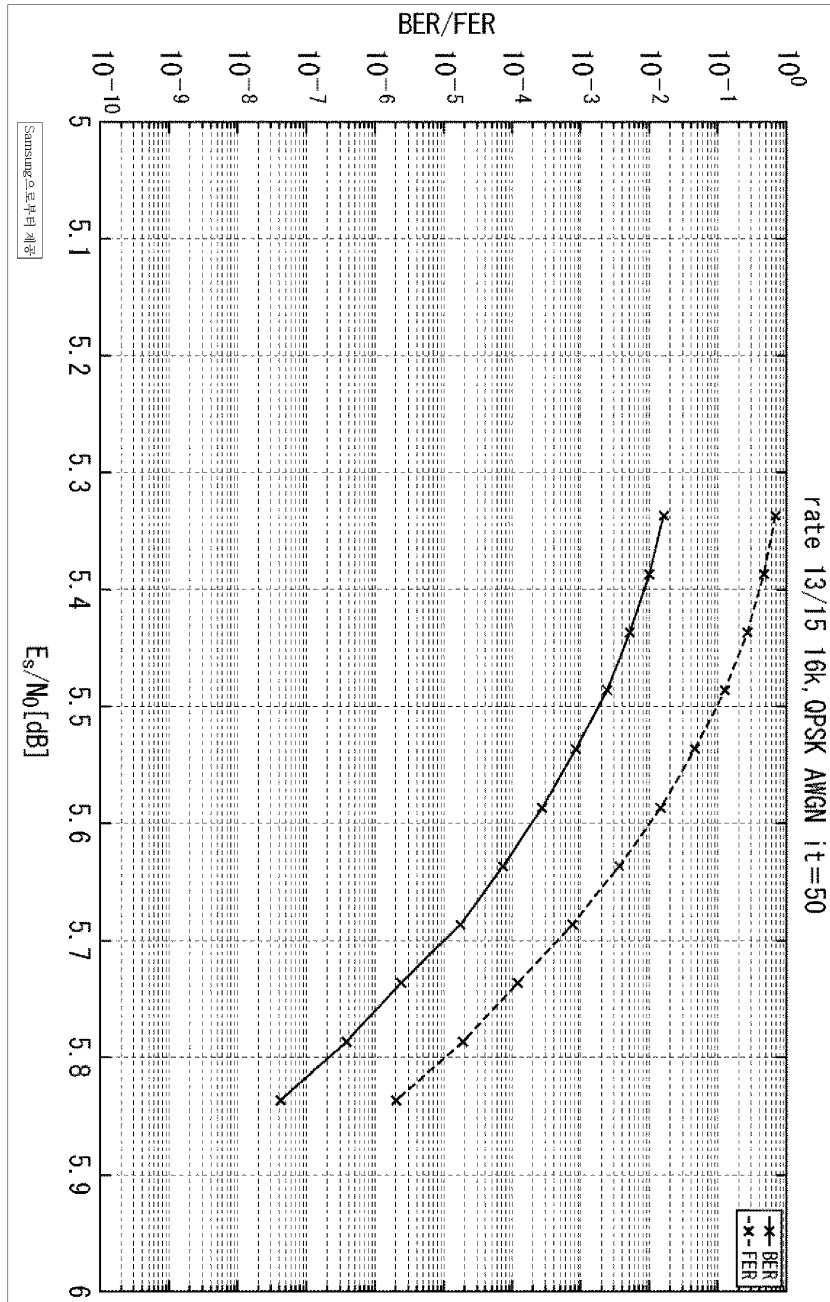
도면88



도면89



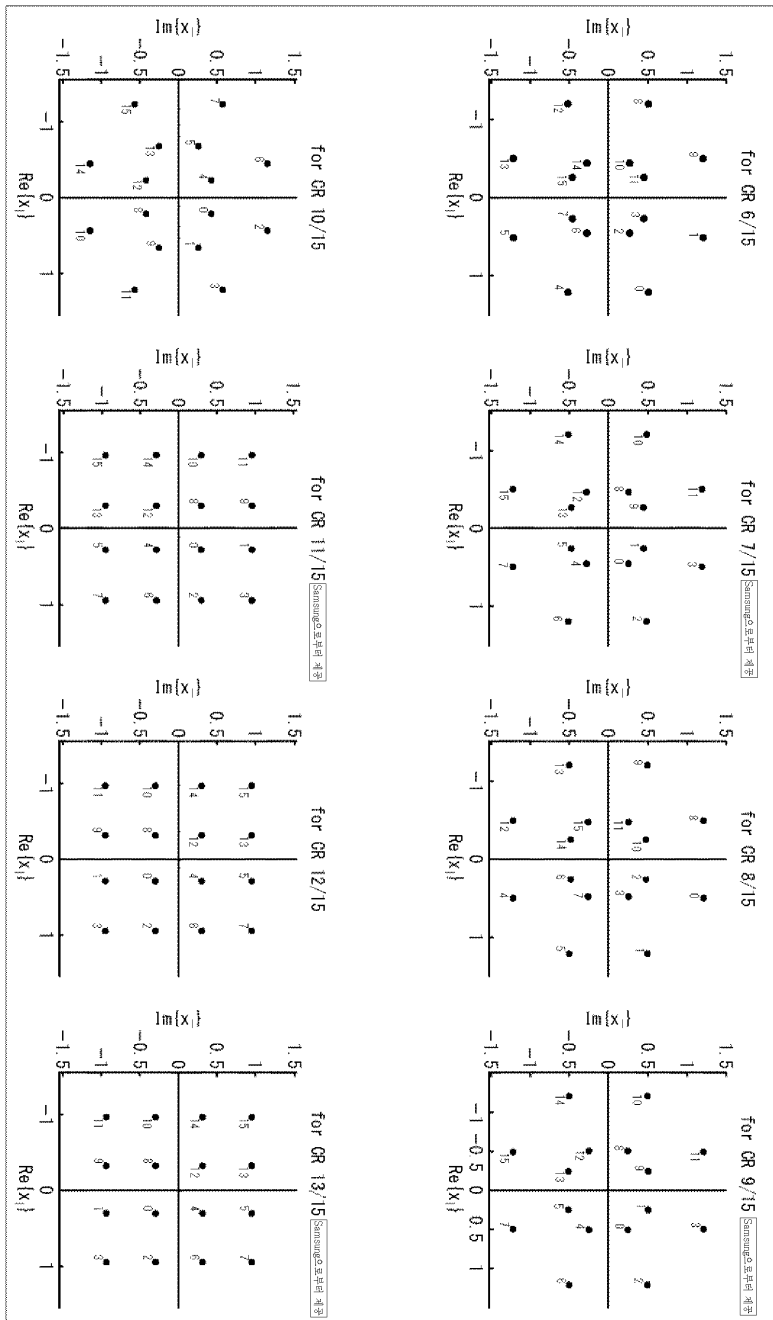
도면90



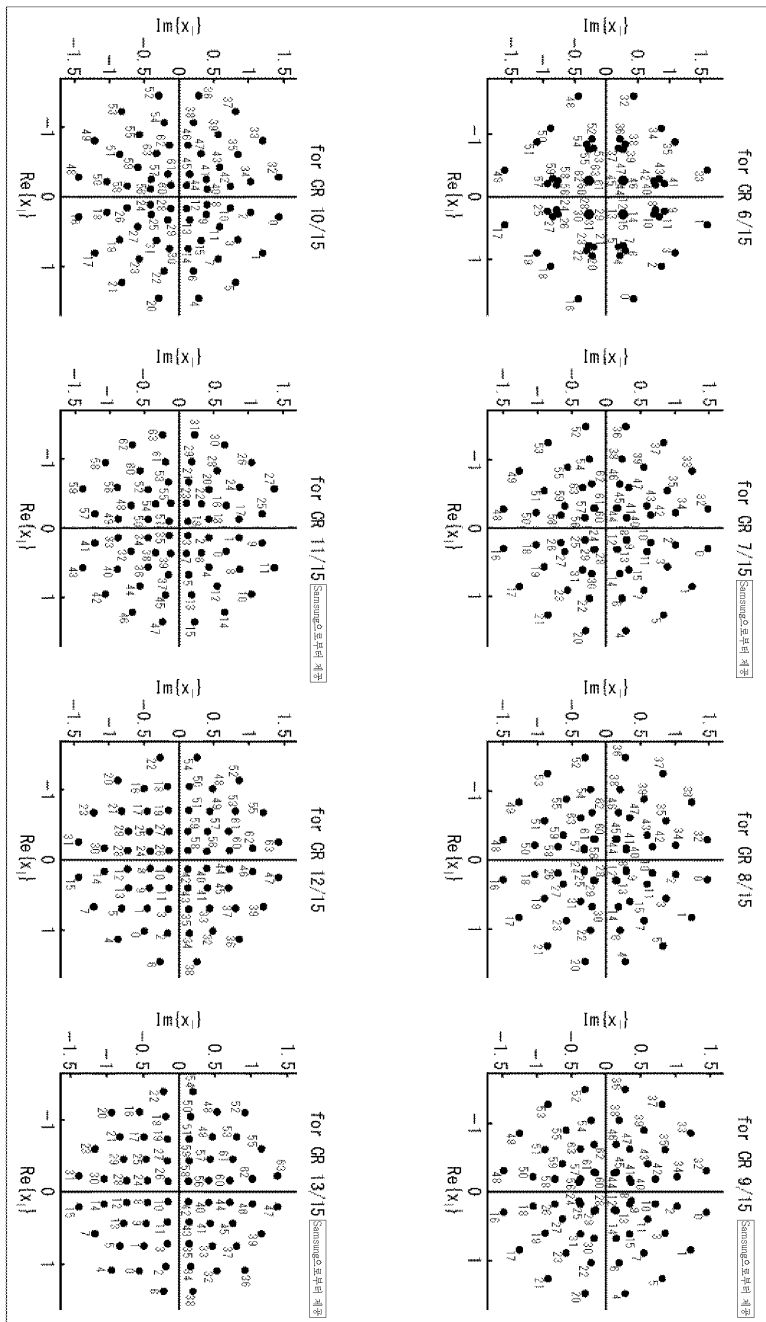
도면91

MODCOD #	Code Rate	QAM Order	NUC Shape
1	6/15	QPSK	-
2	7/15	QPSK	-
3	8/15	QPSK	-
4	9/15	QPSK	-
5	10/15	QPSK	-
6	11/15	QPSK	-
7	12/15	QPSK	-
8	13/15	QPSK	-
9	6/15	16-QAM	NUC_16_6/15
10	7/15	16-QAM	NUC_16_7/15
11	8/15	16-QAM	NUC_16_8/15
12	9/15	16-QAM	NUC_16_9/15
13	10/15	16-QAM	NUC_16_10/15
14	11/15	16-QAM	NUC_16_11/15
15	12/15	16-QAM	NUC_16_12/15
16	13/15	16-QAM	NUC_16_13/15
17	6/15	64-QAM	NUC_64_6/15
18	7/15	64-QAM	NUC_64_7/15
19	8/15	64-QAM	NUC_64_8/15
20	9/15	64-QAM	NUC_64_9/15
21	10/15	64-QAM	NUC_64_10/15
22	11/15	64-QAM	NUC_64_11/15
23	12/15	64-QAM	NUC_64_12/15
24	13/15	64-QAM	NUC_64_13/15
25	6/15	256-QAM	NUC_256_6/15
26	7/15	256-QAM	NUC_256_7/15
27	8/15	256-QAM	NUC_256_8/15
28	9/15	256-QAM	NUC_256_9/15
29	10/15	256-QAM	NUC_256_10/15
30	11/15	256-QAM	NUC_256_11/15
31	12/15	256-QAM	NUC_256_12/15
32	13/15	256-QAM	NUC_256_13/15
33	6/15	1k-QAM	NUC_1k_6/15
34	7/15	1k-QAM	NUC_1k_7/15
35	8/15	1k-QAM	NUC_1k_8/15
36	9/15	1k-QAM	NUC_1k_9/15
37	10/15	1k-QAM	NUC_1k_10/15
38	11/15	1k-QAM	NUC_1k_11/15
39	12/15	1k-QAM	NUC_1k_12/15
40	13/15	1k-QAM	NUC_1k_13/15

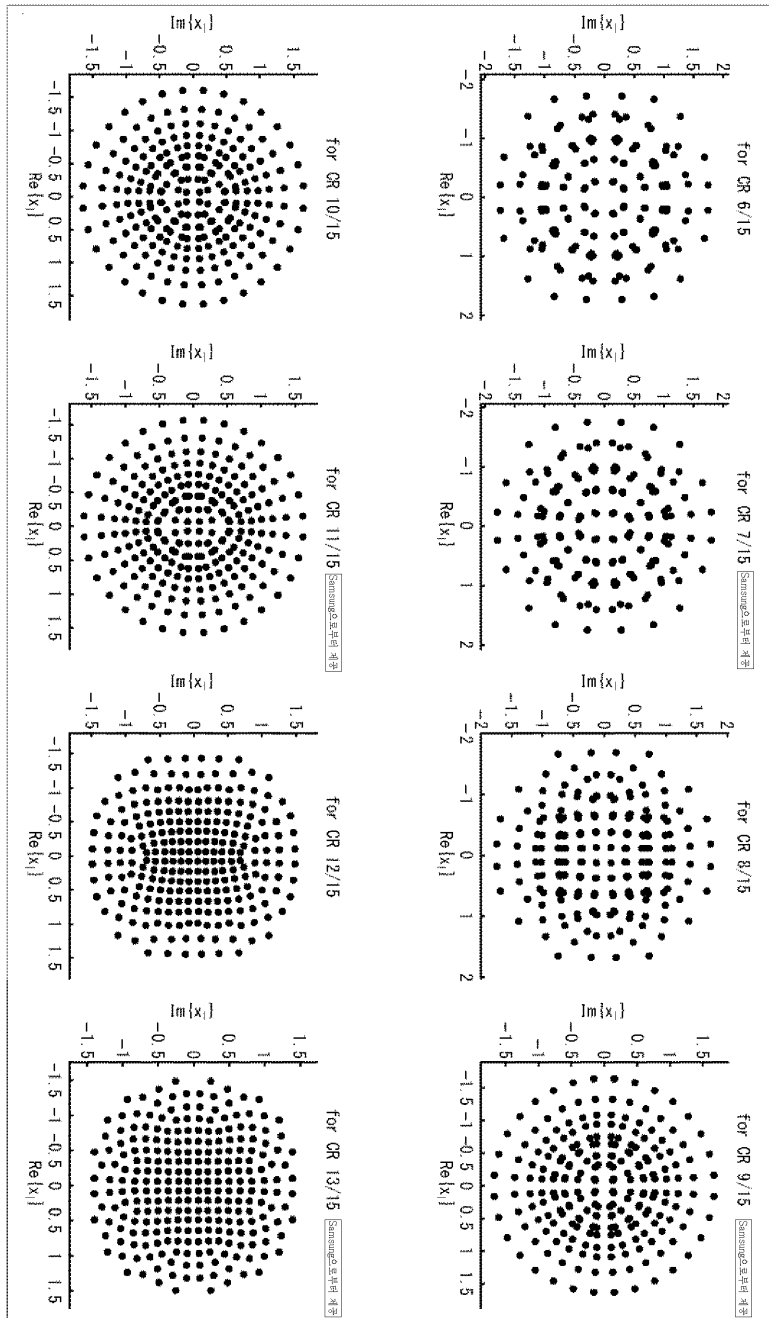
도면92



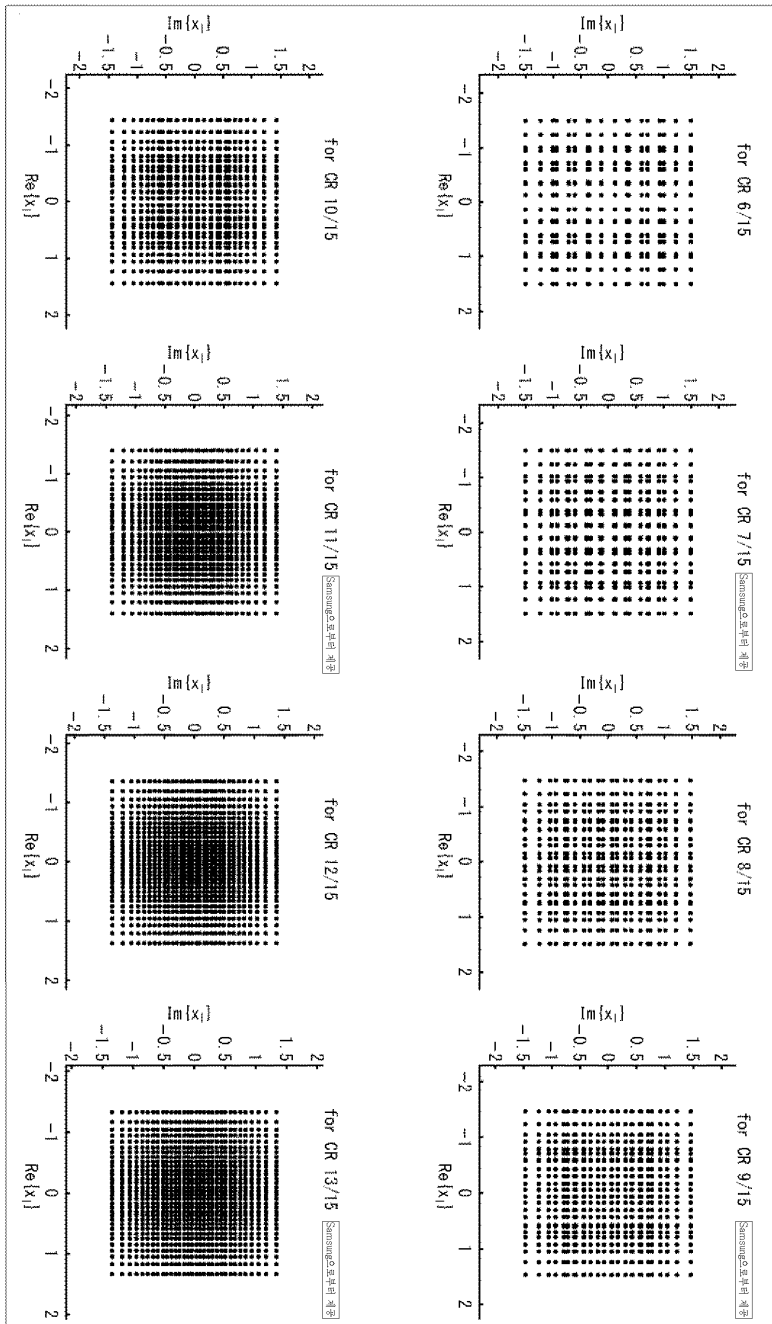
도면93



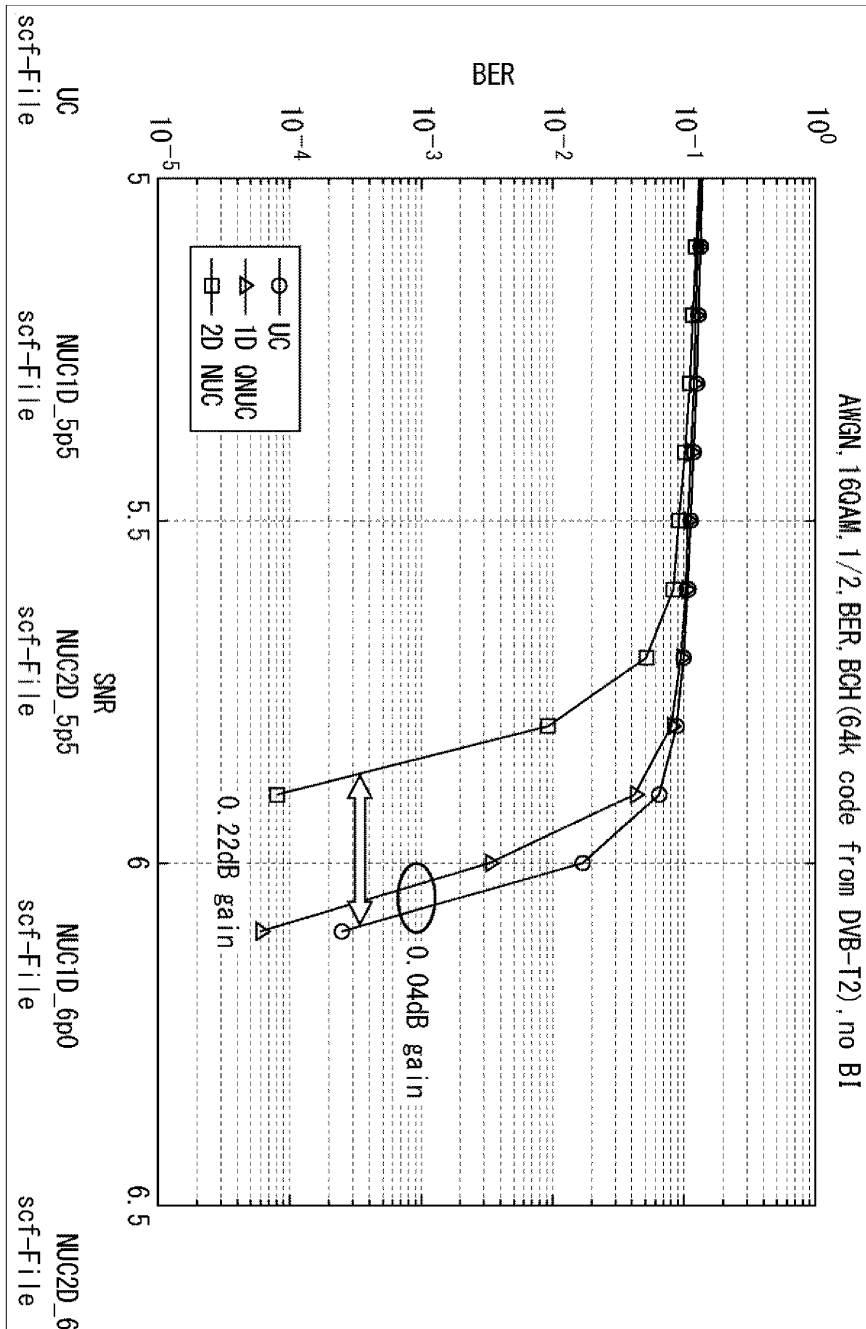
도면94



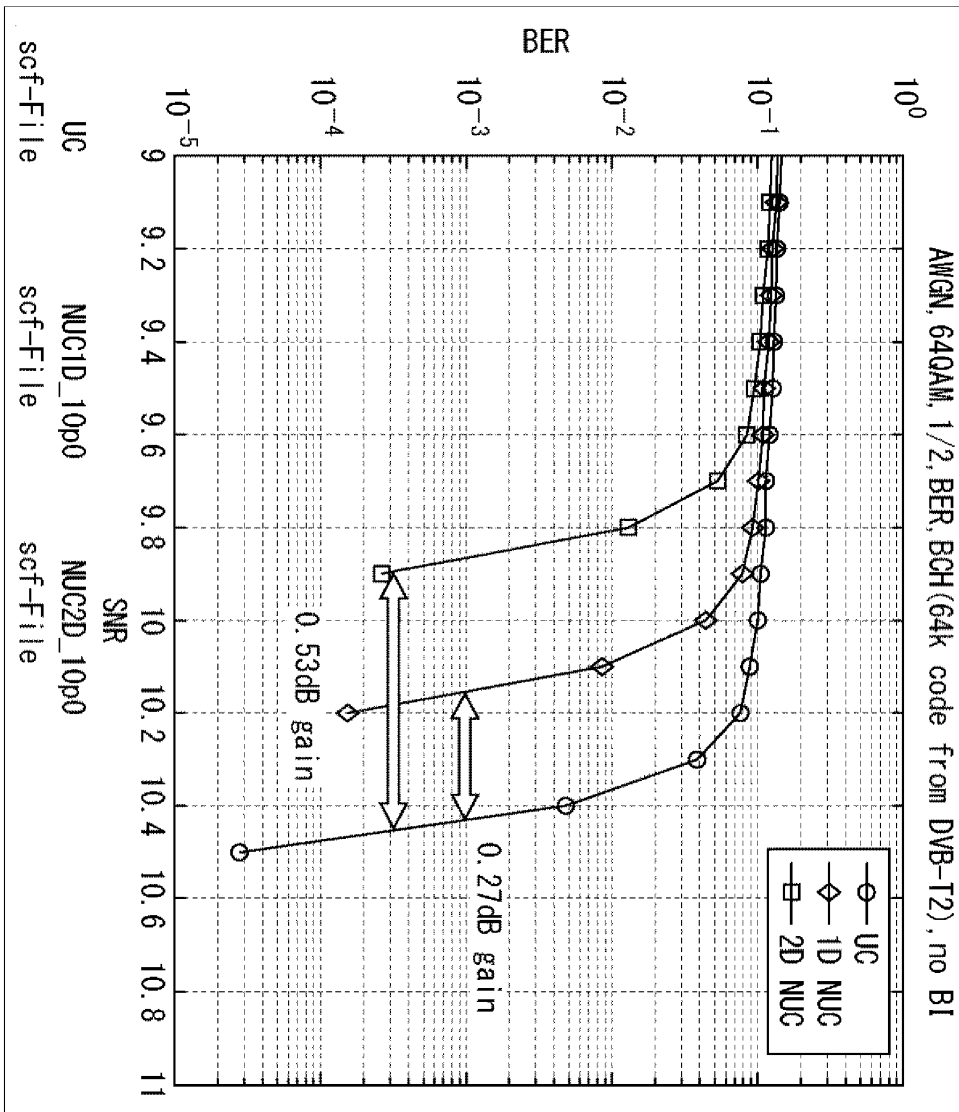
도면95



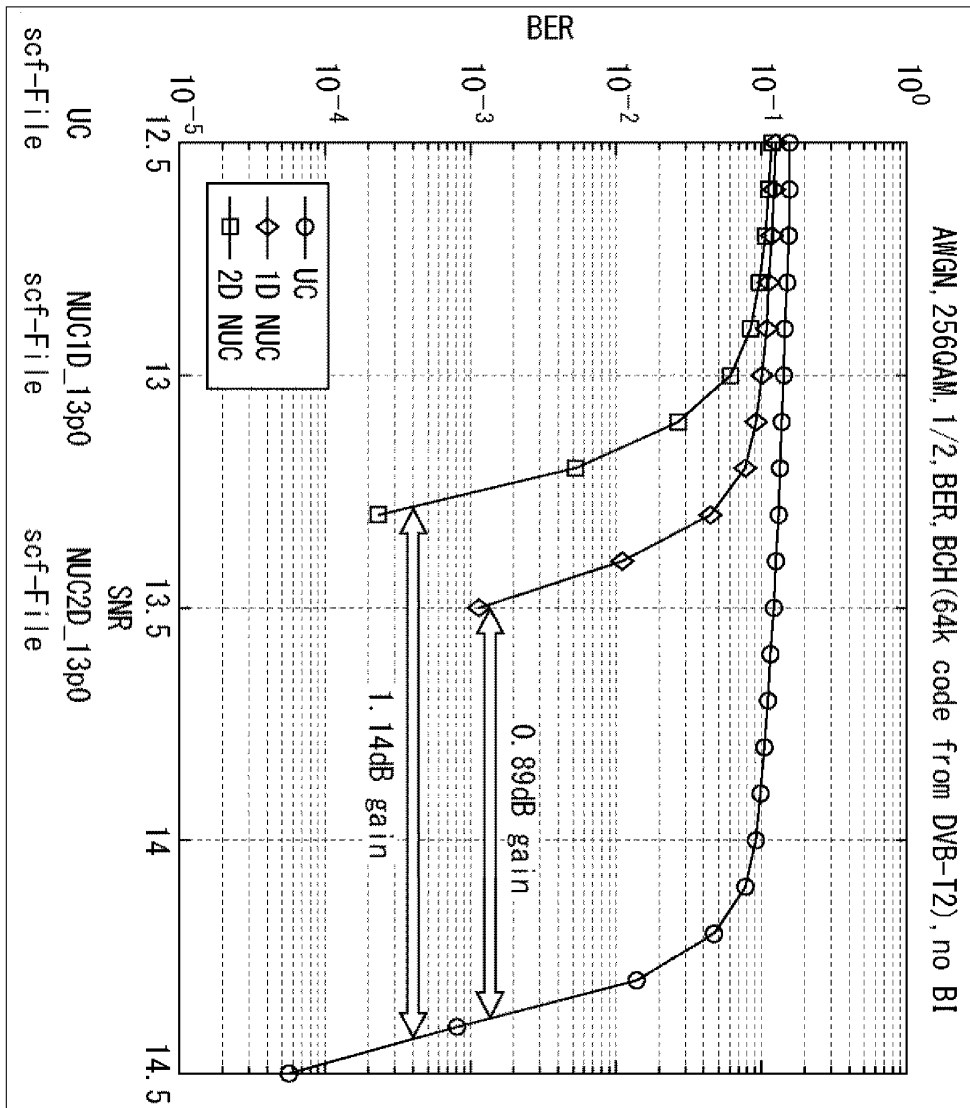
도면96



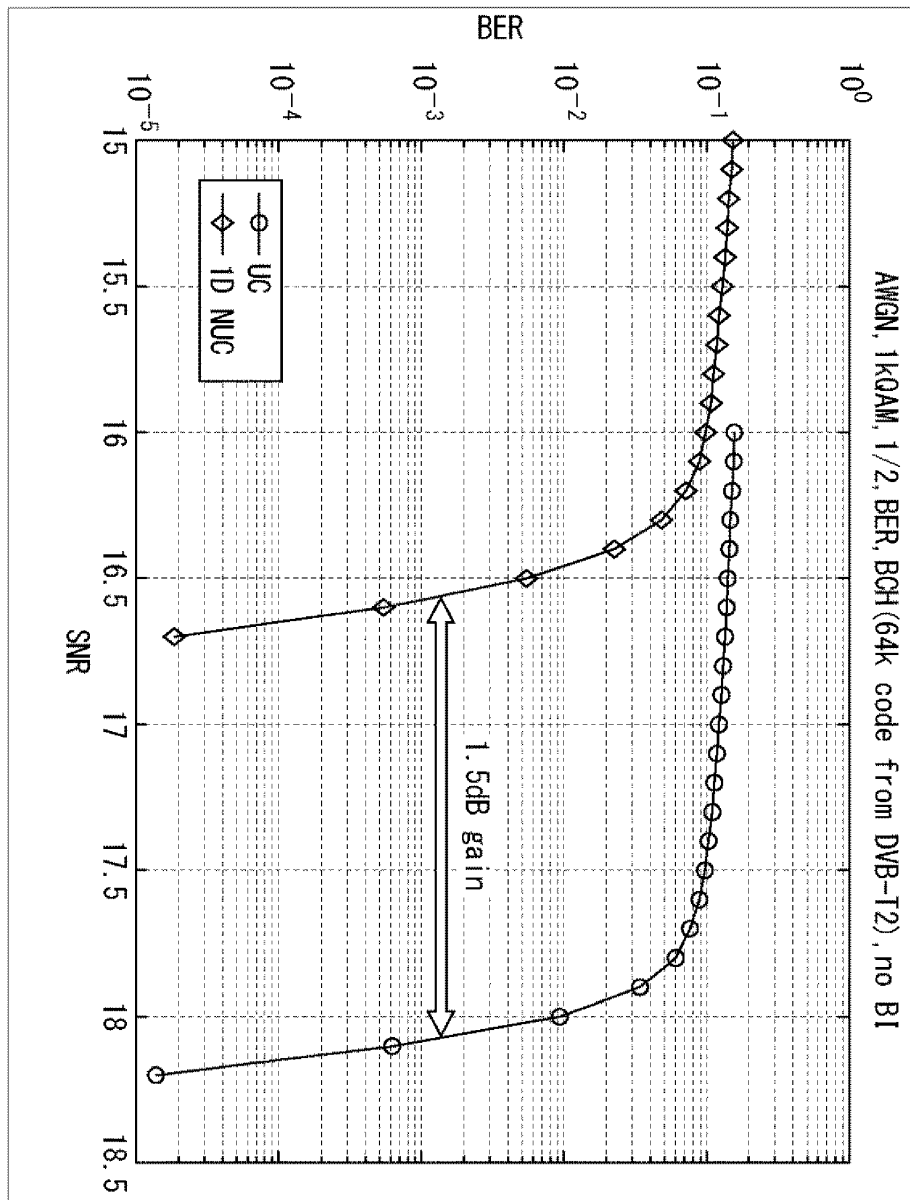
도면97



도면98



도면99



도면100

Input cell word y	Constellation point z _q
(00)	$(1+1i)/\sqrt{2}$
(01)	$(1-1i)/\sqrt{2}$
(10)	$(-1+1i)/\sqrt{2}$
(11)	$(-1-1i)/\sqrt{2}$

도면101

w/Shape	NUC_16_6/15	NUC_16_7/15	NUC_16_8/15	NUC_16_9/15	NUC_16_10/15	NUC_16_11/15	NUC_16_12/15	NUC_16_13/15
w0	0.4530+0.2663i	1.2103+0.5026i	0.4819+0.2575i	0.4909+1.2007i	0.2173+0.4189i	0.9583+0.9547i	0.2999+0.2999i	0.9517+0.9511i
w1	0.2663+0.4530i	0.5014+1.2103i	0.2575+0.4819i	1.2007+0.4909i	0.6578+0.2571i	0.9547+0.2909i	0.9540+0.2999i	0.9524+0.3061i
w2	1.2092+0.5115i	0.4634+0.2624i	1.2068+0.4951i	0.2476+0.5065i	0.4326+1.1445i	0.2921+0.9583i	0.2999+0.9540i	0.3067+0.9524i
w3	0.5115+1.2092i	0.2624+0.4627i	0.4951+1.2068i	0.5053+0.2476i	1.2088+0.5659i	0.2909+0.2927i	0.9540+0.9540i	0.3061+0.3067i

도면102

w/Shape	NUC_64_6/15	NUC_64_7/15	NUC_64_8/15	NUC_64_9/15	NUC_64_10/15	NUC_64_11/15	NUC_64_12/15	NUC_64_13/15
w0	0.4387+1.6023i	0.3352+0.6028i	1.4827+0.2920i	0.3547+0.6149i	1.4388+0.2878i	0.3317+0.6970i	1.0854+0.5394i	0.4108+0.7473i
w1	1.6023+0.4387i	0.2077+0.6584i	1.2563+0.8411i	0.1581+0.6842i	1.2150+0.8133i	0.1386+0.8824i	0.7353+0.4623i	0.1343+0.5338i
w2	0.8753+1.0881i	0.1711+0.3028i	1.0211+0.2174i	0.1567+0.2749i	1.0386+0.2219i	0.1323+0.4437i	1.0474+0.1695i	0.1570+0.9240i
w3	1.0881+0.8753i	0.1556+0.3035i	0.8798+0.5702i	0.1336+0.2700i	0.8494+0.6145i	0.1015+0.1372i	0.7243+0.1504i	0.1230+0.1605i
w4	0.2202+0.9238i	0.6028+0.3345i	0.2920+1.4827i	0.6177+0.4030i	0.2931+1.4656i	0.5682+0.4500i	1.0693+0.9408i	0.6285+0.4617i
w5	0.2019+0.7818i	0.6577+0.2084i	0.8410+1.2563i	0.7262+0.1756i	0.8230+1.2278i	0.6739+0.1435i	0.7092+0.8073i	0.3648+0.3966i
w6	0.3049+0.8454i	0.3021+0.1711i	0.2174+1.0211i	0.3568+0.1756i	0.2069+1.0649i	0.3597+0.3401i	1.4261+0.2216i	0.6907+0.1541i
w7	0.2653+0.7540i	0.3028+0.1556i	0.5702+0.8798i	0.3771+0.1336i	0.5677+0.8971i	0.3660+0.1204i	0.6106+1.1783i	0.3984+0.1308i
w8	0.7818+0.2019i	0.5556+0.8922i	0.3040+0.1475i	0.5639+0.8864i	0.4119+0.1177i	0.6004+0.8922i	0.1392+0.4078i	0.7258+0.8208i
w9	0.9238+0.2202i	0.2352+1.0190i	0.3028+0.1691i	0.1980+1.0277i	0.3998+0.2516i	0.2120+1.2253i	0.4262+0.4205i	1.0463+0.9495i
w10	0.7540+0.2653i	0.8450+1.2619i	0.6855+0.1871i	0.8199+1.2515i	0.7442+0.1559i	0.9594+1.0714i	0.1407+0.1336i	0.1886+1.2733i
w11	0.8454+0.3049i	0.2922+1.4894i	0.6126+0.3563i	0.2854+1.4691i	0.5954+0.4328i	0.5829+1.3995i	0.4265+0.1388i	0.5507+1.1793i
w12	0.2675+0.2479i	0.8929+0.5549i	0.1475+0.3040i	0.8654+0.6058i	0.1166+0.1678i	0.8439+0.5675i	0.1388+0.7057i	0.9283+0.5140i
w13	0.2479+0.2675i	1.0197+0.2359i	0.1691+0.3028i	1.0382+0.2141i	0.1582+0.3325i	0.9769+0.1959i	0.4197+0.7206i	1.2648+0.5826i
w14	0.2890+0.2701i	1.2626+0.8457i	0.1871+0.6855i	1.2362+0.8416i	0.1355+0.7408i	1.2239+0.6760i	0.1682+1.0316i	0.9976+0.1718i
w15	0.2701+0.2890i	1.4894+0.2922i	0.3563+0.6126i	1.4663+0.2973i	0.3227+0.6200i	1.3653+0.2323i	0.2287+1.3914i	1.3412+0.1944i

도면103

w/Share	NUC_256_6/15	NUC_256_7/15	NUC_256_8/15	NUC_256_9/15	NUC_256_10/15	NUC_256_11/15	NUC_256_12/15	NUC_256_13/15
w0	0.6800+1.6926i	1.2905+1.3089i	1.0804+1.3788i	1.3231+1.1506i	1.6097+0.1548i	0.3105+0.3382i	1.1014+1.1670i	0.3556+0.3497i
w1	0.3911+1.3645i	1.0504+0.9577i	1.0487+0.9882i	0.9851+1.2311i	1.5549+0.4605i	0.4342+0.3360i	0.8557+1.2421i	0.3579+0.4945i
w2	0.2191+1.7524i	1.5329+0.8395i	1.6464+0.7428i	1.1439+0.8974i	1.3226+0.1290i	0.9149+0.4329i	1.2957+0.8039i	0.5049+0.3571i
w3	0.2274+1.4208i	1.1577+0.8116i	1.3245+0.9414i	0.9343+0.9271i	1.2772+0.3829i	0.4400+0.4807i	1.0881+0.8956i	0.5056+0.5063i
w4	0.8879+1.2487i	1.7881+0.2509i	0.7198+1.2427i	1.5998+0.7962i	1.2753+1.0242i	0.1811+0.3375i	0.5795+1.2110i	0.2123+0.3497i
w5	0.7275+1.1667i	1.4275+0.1400i	0.8108+1.0040i	0.9092+0.5598i	1.4434+0.7540i	0.0633+0.3404i	0.6637+1.4215i	0.2118+0.4900i
w6	0.9747+1.0470i	1.4784+0.5201i	0.5585+1.0317i	1.2222+0.8574i	1.0481+0.8476i	0.1818+0.4851i	0.6930+1.0092i	0.0713+0.3498i
w7	0.7930+1.0405i	1.3408+0.4346i	0.6118+0.9722i	0.9579+0.6373i	1.1861+0.6253i	0.0633+0.4815i	0.8843+0.3647i	0.0690+0.4960i
w8	0.2098+0.9768i	0.7837+0.5867i	1.6768+0.2002i	0.7748+1.5887i	0.9326+0.0970i	0.3084+0.1871i	1.2083+0.5115i	0.3527+0.2086i
w9	0.2241+1.0454i	0.8250+0.6455i	0.9897+0.6844i	0.6878+1.2488i	0.8962+0.2804i	0.4356+0.1893i	1.0059+0.4952i	0.3497+0.0713i
w10	0.1858+0.9878i	0.8256+0.5801i	1.4212+0.4769i	0.5992+0.9208i	1.1044+0.1102i	0.3098+0.0676i	1.4171+0.5901i	0.4960+0.2123i
w11	0.1901+1.0659i	0.8777+0.8101i	1.1479+0.6312i	0.6796+0.9743i	1.0648+0.3287i	0.4342+0.0681i	1.0488+0.8935i	0.4974+0.0698i
w12	0.5547+0.8312i	1.0080+0.1843i	0.6079+0.6586i	0.5838+0.5879i	0.7325+0.6071i	0.1775+0.1885i	0.6639+0.8286i	0.2688+0.2079i
w13	0.5478+0.8651i	1.0759+0.1721i	0.7284+0.6957i	0.6915+0.5768i	0.8260+0.4559i	0.0640+0.1878i	0.8353+0.5851i	0.2094+0.0690i
w14	0.6079+0.8182i	1.0058+0.2758i	0.5724+0.7031i	0.5858+0.7058i	0.8744+0.7153i	0.1775+0.0676i	0.6879+0.8022i	0.0678+0.2079i
w15	0.5955+0.8420i	1.0622+0.6793i	0.6302+0.7259i	0.6889+0.6793i	0.9682+0.5300i	0.0947+0.0669i	0.8634+0.7822i	0.0689+0.0683i
w16	1.4070+0.1780i	0.8334+1.5554i	0.1457+1.4010i	1.6118+0.1497i	0.1646+1.6407i	0.7455+0.3411i	0.1213+1.4366i	0.3586+0.7959i
w17	1.7227+0.2900i	0.8165+1.1092i	0.1866+1.7346i	0.9511+0.1140i	0.4967+1.5743i	0.5811+0.3396i	0.1077+1.2098i	0.3571+0.6992i
w18	1.3246+0.2562i	0.6092+1.2729i	0.1174+1.1035i	1.2870+0.1234i	0.1363+1.3579i	0.7556+0.4669i	0.0651+0.9801i	0.5034+0.8271i
w19	1.3836+0.3654i	0.6728+1.1456i	0.1095+1.0132i	1.0288+0.1191i	0.4023+1.3029i	0.5882+0.4756i	0.2009+1.0115i	0.5063+0.6600i
w20	1.3708+1.2834i	0.3061+1.7469i	0.4357+1.3636i	1.5831+0.4496i	1.0542+1.2584i	0.3556+0.3280i	0.3764+1.4284i	0.2146+0.7662i
w21	1.6701+0.8403i	0.1327+1.4056i	0.6834+1.6920i	0.8328+0.3586i	0.7875+1.4450i	1.1767+0.3081i	0.3237+1.2130i	0.2169+0.6340i
w22	1.1614+0.7909i	0.3522+1.3414i	0.3439+1.0899i	1.2796+0.3994i	0.8687+1.0407i	0.9673+0.4201i	0.5205+0.9814i	0.0713+0.8093i
w23	1.2241+0.7967i	0.2273+1.3091i	0.3234+0.9962i	1.0188+0.3447i	0.8502+1.1851i	1.2051+0.5185i	0.3615+1.0183i	0.0688+0.6467i
w24	0.9768+0.1863i	0.5007+0.8098i	0.1082+0.6174i	0.5940+0.1059i	0.0682+0.9745i	0.7387+0.2015i	0.0715+0.8596i	0.2799+1.0862i
w25	0.3452+0.2057i	0.5528+0.8347i	0.1074+0.6307i	0.7215+0.1100i	0.2842+0.9344i	0.3811+0.2015i	0.2118+0.8597i	0.2806+1.2755i
w26	1.0100+0.2182i	0.4843+0.8486i	0.1109+0.6996i	0.5883+0.1138i	0.1142+1.1446i	0.7316+0.0668i	0.0729+0.8131i	0.4328+0.8904i
w27	0.9795+0.2417i	0.5304+0.8759i	0.1078+0.7345i	0.6809+0.1166i	0.3385+1.0973i	0.5782+0.0669i	0.2158+0.8246i	0.4551+1.1812i
w28	0.8241+0.4958i	0.7175+0.9147i	0.3291+0.6254i	0.5843+0.3804i	0.6062+0.7465i	0.9062+0.1971i	0.5038+0.6467i	0.2309+0.8414i
w29	0.8232+0.4887i	0.1540+0.9510i	0.3128+0.6373i	0.6870+0.3592i	0.4607+0.8538i	1.2828+0.1185i	0.3528+0.8572i	0.1077+1.3891i
w30	0.8798+0.5391i	0.1964+0.9438i	0.3892+0.6996i	0.5808+0.3250i	0.7263+0.8764i	0.9156+0.0785i	0.5185+0.8086i	0.0772+0.9852i
w31	0.8796+0.5356i	0.1788+0.9832i	0.3202+0.7282i	0.6678+0.3290i	0.5450+1.0067i	1.1011+0.0795i	0.3593+0.8245i	0.0802+1.1753i
w32	0.1376+0.3342i	0.3752+0.1667i	0.9652+0.1096i	0.1406+1.6182i	0.2655+0.0746i	0.3244+0.8044i	1.2545+0.1010i	0.8301+0.3727i
w33	0.1383+0.3282i	0.3734+0.1667i	0.9075+0.1868i	0.1272+1.2984i	0.2664+0.0759i	0.4589+0.8218i	1.0678+0.0956i	0.8256+0.5258i
w34	0.1369+0.3321i	0.3758+0.1661i	0.8724+0.1171i	0.1211+0.9644i	0.4571+0.0852i	0.3207+0.8415i	1.4782+0.1167i	0.8583+0.3668i
w35	0.1370+0.3273i	0.3746+0.1649i	0.9188+0.1752i	0.1220+1.0393i	0.4516+0.1062i	0.4508+0.8271i	0.8981+0.0882i	0.6623+0.5182i
w36	0.1855+0.3265i	0.4013+0.1230i	0.6342+0.1372i	0.1124+0.8101i	0.2558+0.1790i	0.1820+0.8196i	0.5513+0.0890i	1.0188+0.3645i
w37	0.1856+0.3227i	0.4001+0.1230i	0.6550+0.1495i	0.1177+0.6041i	0.2586+0.1772i	0.0633+0.8167i	0.6903+0.0552i	1.0001+0.5242i
w38	0.1834+0.3246i	0.4037+0.1230i	0.6290+0.1393i	0.1138+0.7455i	0.3592+0.2811i	0.1811+0.8371i	0.5742+0.1987i	1.1857+0.2725i
w39	0.1836+0.3208i	0.4019+0.1218i	0.6484+0.1504i	0.1185+0.7180i	0.3728+0.2654i	0.0840+0.8415i	0.7374+0.1584i	1.3928+0.3408i
w40	0.1779+0.6841i	0.6025+0.3934i	1.3127+0.1240i	0.4324+1.5679i	0.7706+0.0922i	0.3331+1.0669i	1.2379+0.3049i	0.8011+0.2227i
w41	0.1829+0.6845i	0.5948+0.3928i	0.9572+0.4344i	0.3884+1.2825i	0.7407+0.2280i	0.4855+1.0087i	1.0518+0.3032i	0.7981+0.0735i
w42	0.1745+0.6828i	0.6116+0.3879i	1.2403+0.2931i	0.3788+0.9534i	0.8180+0.0927i	0.3433+1.2865i	1.4584+0.3511i	0.8459+0.2196i
w43	0.1799+0.6829i	0.6019+0.3837i	1.0254+0.4130i	0.3668+1.0301i	0.6018+0.1658i	0.5004+1.5062i	0.9107+0.2609i	0.6490+0.0713i
w44	0.3547+0.8009i	0.7377+0.1618i	0.6088+0.4214i	0.3687+0.5995i	0.8007+0.4880i	0.1971+1.0051i	0.6321+0.4729i	0.9681+0.2205i
w45	0.3559+0.6011i	0.7298+0.1582i	0.6773+0.4294i	0.3328+0.5960i	0.6673+0.3928i	0.0735+1.0298i	0.7880+0.4392i	0.9615+0.0735i
w46	0.3576+0.5880i	0.7274+0.1782i	0.5895+0.4102i	0.3687+0.7194i	0.4786+0.3935i	0.1498+1.5018i	0.6045+0.3274i	1.3327+0.1038i
w47	0.3524+0.5984i	0.7185+0.1746i	0.6531+0.4101i	0.3373+0.6964i	0.5176+0.3991i	0.0885+1.2053i	0.7623+0.2965i	1.1369+0.0809i
w48	0.2887+0.1443i	0.1509+0.2425i	0.1250+0.1153i	0.1085+0.1146i	0.0757+0.1003i	0.7811+0.8080i	0.0586+0.0738i	0.8382+0.8709i
w49	0.2704+0.1483i	0.1503+0.2400i	0.1252+0.1158i	0.1145+0.1108i	0.0753+0.1004i	0.8167+0.8153i	0.1787+0.0731i	0.8145+0.6934i
w50	0.2844+0.1442i	0.1515+0.2437i	0.1245+0.1152i	0.1053+0.1274i	0.0777+0.4789i	0.7836+0.8255i	0.0612+0.2198i	0.8645+0.8498i
w51	0.2850+0.1482i	0.1503+0.2425i	0.1247+0.1156i	0.1134+0.1236i	0.0867+0.4754i	0.8000+0.8327i	0.1815+0.2192i	0.8600+0.6786i
w52	0.2763+0.1638i	0.1285+0.2388i	0.3768+0.1244i	0.1111+0.3821i	0.1023+0.2243i	0.9398+0.7680i	0.4218+0.0715i	1.1612+0.6949i
w53	0.2768+0.1626i	0.1279+0.2419i	0.3707+0.1237i	0.1186+0.3887i	0.1010+0.2242i	1.5895+0.1498i	0.2979+0.0725i	0.9785+0.6942i
w54	0.2715+0.1630i	0.1279+0.2431i	0.3779+0.1260i	0.1080+0.3431i	0.1950+0.3919i	0.9476+0.8175i	0.4337+0.2115i	1.3698+0.6259i
w55	0.2719+0.1618i	0.1279+0.2406i	0.3717+0.1252i	0.1177+0.3453i	0.1881+0.3969i	1.4825+0.4015i	0.3057+0.2187i	1.2183+0.4841i
w56	0.8488+0.1688i	0.3394+0.5764i	0.1161+0.3693i	0.3644+0.1080i	0.0830+0.8122i	0.8276+1.0225i	0.0687+0.5124i	0.7889+1.0498i
w57	0.8462+0.1708i	0.3384+0.5722i	0.1157+0.3645i	0.3262+0.1104i	0.2215+0.7840i	0.8313+1.0364i	0.2008+0.5095i	0.4385+1.4203i
w58	0.8456+0.1745i	0.3329+0.5768i	0.1178+0.3469i	0.3681+0.1173i	0.0957+0.6514i	0.8815+1.2865i	0.0625+0.3858i	0.8118+1.0246i
w59	0.8431+0.1753i	0.3303+0.5698i	0.1171+0.3424i	0.3289+0.1196i	0.1540+0.6386i	0.6342+1.2705i	0.1899+0.3842i	0.8303+1.2421i
w60	0.5854+0.3188i	0.1491+0.6316i	0.9530+0.3899i	0.3665+0.3758i	0.4810+0.6306i	1.0422+0.9583i	0.4818+0.4946i	1.0500+0.8924i
w61	0.5862+0.3167i	0.1481+0.6280i	0.9422+0.3806i	0.3310+0.3795i	0.3856+0.7037i	1.2749+0.8538i	0.3380+0.5050i	0.8612+1.2800i
w62	0.5864+0.3275i	0.1509+0.6290i	0.9614+0.3795i	0.3672+0.3359i	0.3527+0.6230i	1.1556+1.1847i	0.4571+0.3499i	1.2698+0.8989i
w63	0.5873+0.3254i	0.1473+0.6225i	0.9509+0.3858i	0.3398+0.3402i	0.3100+0.5559i	1.4771+0.8742i	0.3218+0.3598i	1.0342+1.1181i

도면104

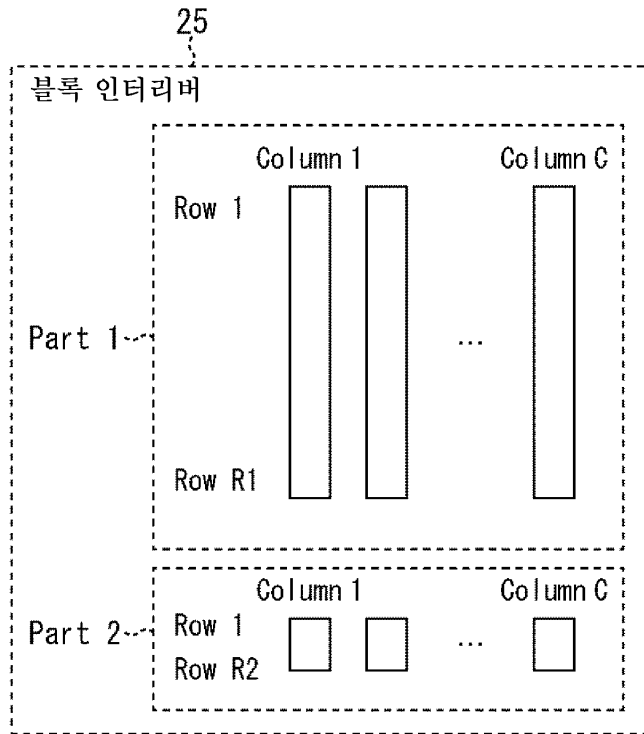
u/Shape	NUC_1k_6/15	NUC_1k_7/15	NUC_1k_8/15	NUC_1k_9/15	NUC_1k_10/15	NUC_1k_11/15	NUC_1k_12/15	NUC_1k_13/15
u1	1.0003	1	1.0005	1	1.0772	1.1666667	2.5983	2.85714286
u2	1.0149	1.04	2.0897	2.78571429	2.8011	3.08333333	4.5193	4.85714286
u3	1.0158	1.04	2.0888	2.78571429	2.9634	3.33333333	6.1649	6.85714286
u4	2.6848	3	3.9945	4.85714286	4.8127	5.1666667	8.2107	8.85714286
u5	2.6903	3.04	3.9931	4.85714286	5.1864	5.75	9.9594	11
u6	2.882	3.28	5.3843	6.85714286	6.7838	7.4166667	12.0321	13.2857143
u7	2.8747	3.32	5.3894	6.85714286	7.5029	8.5	13.9574	15.7142857
u8	4.7815	5.24	7.5206	9.14285714	9.238	10.0833333	16.2598	18.1428571
u9	4.7619	5.32	7.6013	9.28571429	10.32	11.5833333	18.4269	20.7142857
u10	5.5779	6.04	9.3371	11.5714286	12.0115	13.3333333	20.9273	23.4285714
u11	5.6434	6.28	9.8429	12.2142857	13.5356	15.25	23.4863	26.2857143
u12	7.3854	8.24	11.9255	14.6428571	15.6099	17.3333333	26.4823	29.2857143
u13	7.8797	8.84	13.3962	16.4285714	17.7524	19.75	29.7085	32.4285714
u14	9.635	11.04	15.8981	19.4285714	20.5256	22.4166667	33.6247	35.7142857
u15	11.7874	13.68	19.1591	23.2857143	24.1254	25.5833333	38.5854	39.4285714

도면105

A															
y0,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y2,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y4,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y6,q	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y8,q	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
Re(z _q)	-u ₁₅	-u ₁₄	-u ₁₃	-u ₁₂	-u ₁₁	-u ₁₀	-u ₉	-u ₈	-u ₇	-u ₆	-u ₅	-u ₄	-u ₃	-u ₂	-1
y0,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y2,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y4,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y6,q	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y8,q	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
Re(z _q)	1	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉	u ₁₀	u ₁₁	u ₁₂	u ₁₃	u ₁₄

B															
y1,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y3,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y5,q	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
y7,q	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
y9,q	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
Im(z _q)	-u ₁₅	-u ₁₄	-u ₁₃	-u ₁₂	-u ₁₁	-u ₁₀	-u ₉	-u ₈	-u ₇	-u ₆	-u ₅	-u ₄	-u ₃	-u ₂	-1
y1,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y3,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y5,q	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
y7,q	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
y9,q	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
Im(z _q)	1	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉	u ₁₀	u ₁₁	u ₁₂	u ₁₃	u ₁₄

도면106



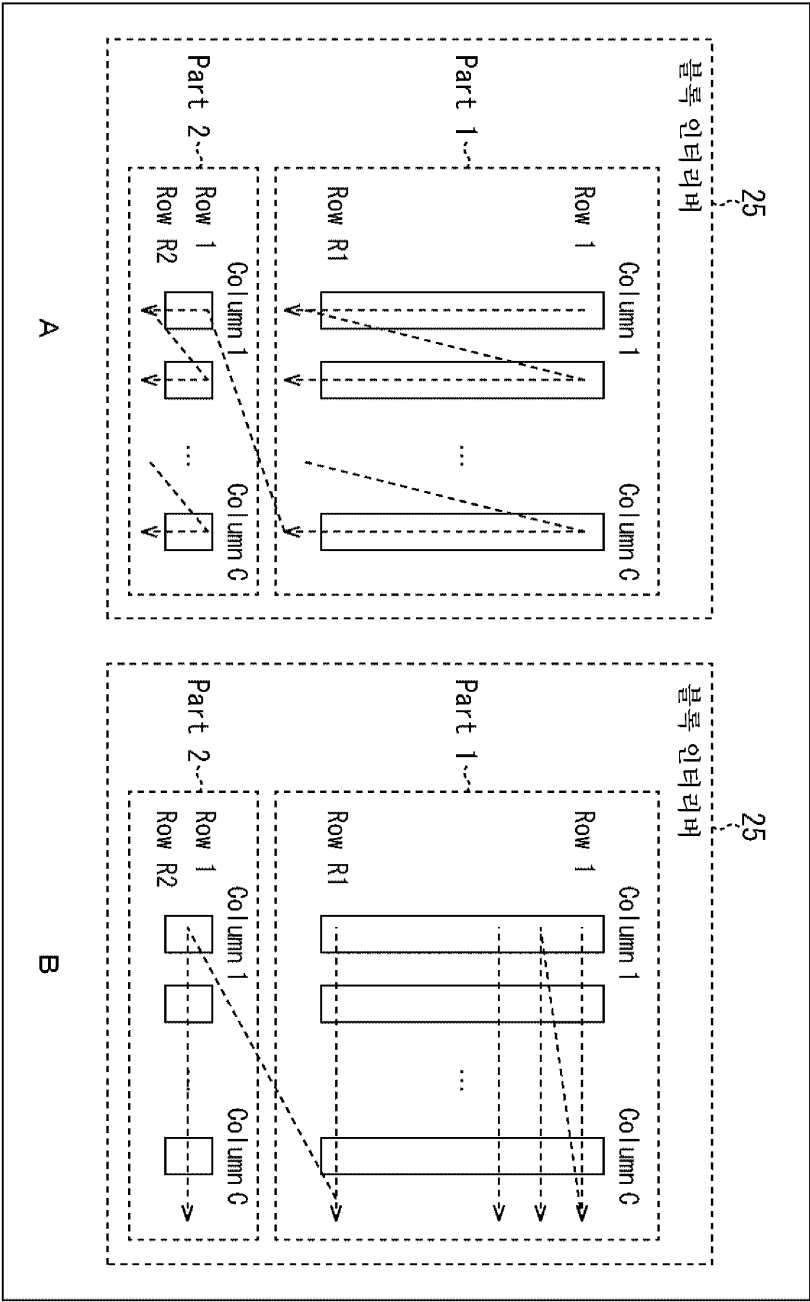
도면107

	N=64800			
	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM
C	4	6	8	10
R1	16200	10800	7920	6480
R2	0	0	180	0

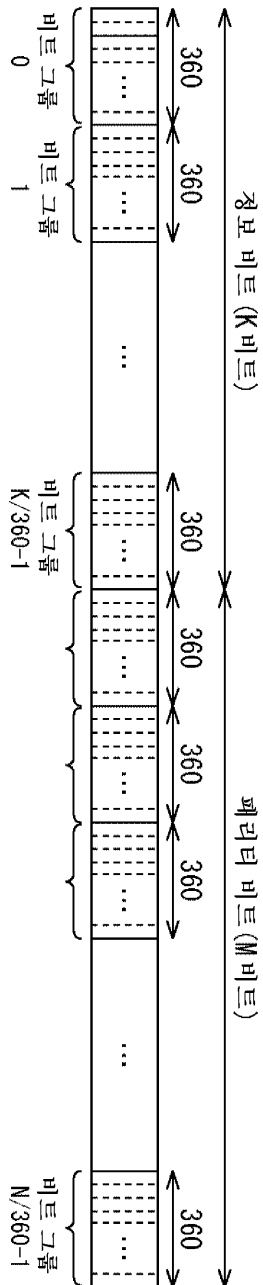
	N=16200			
	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM
C	4	6	8	10
R1	3960	2520	1800	1440
R2	90	180	225	180

C: column수(심벌 비트수)
R1: Part1의 행수
R2: Part2의 행수

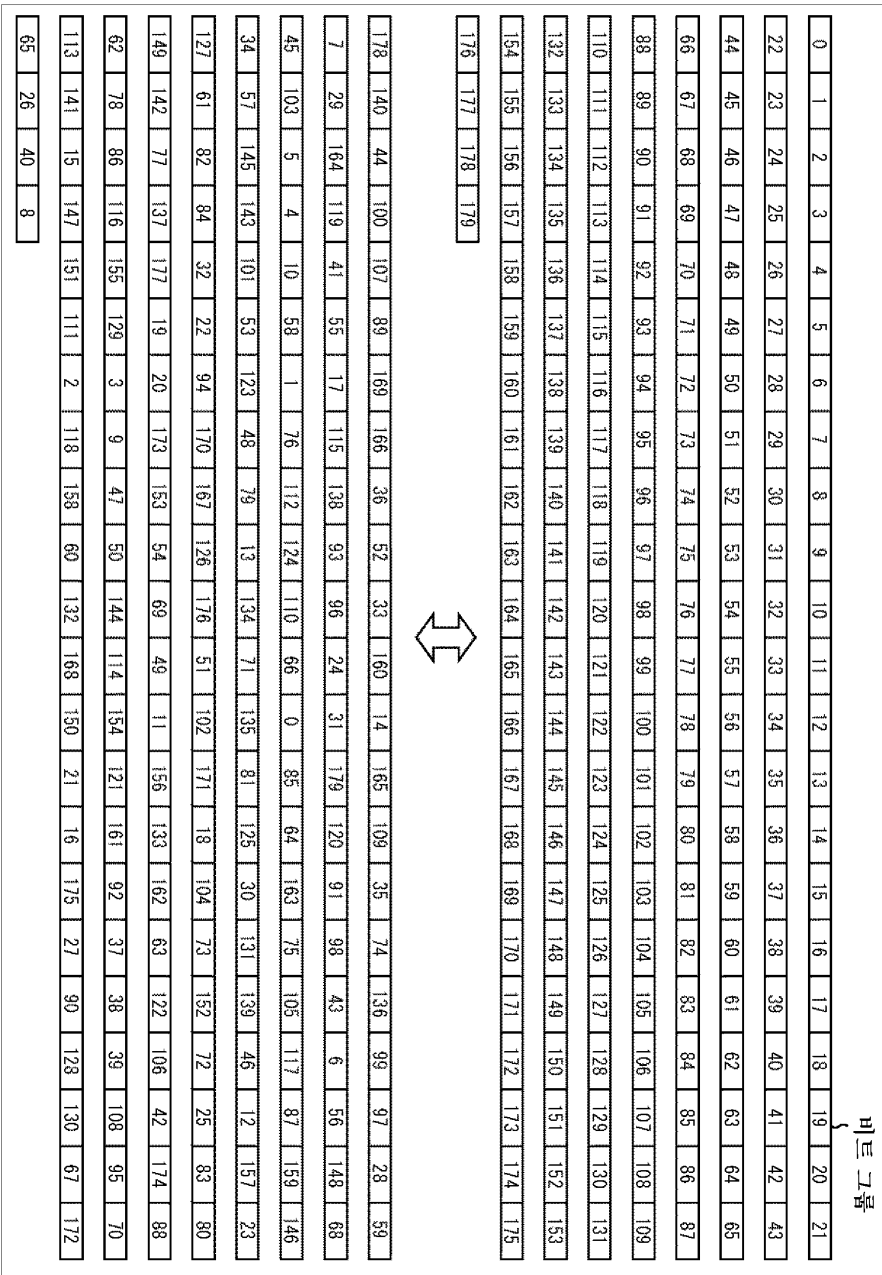
도면108



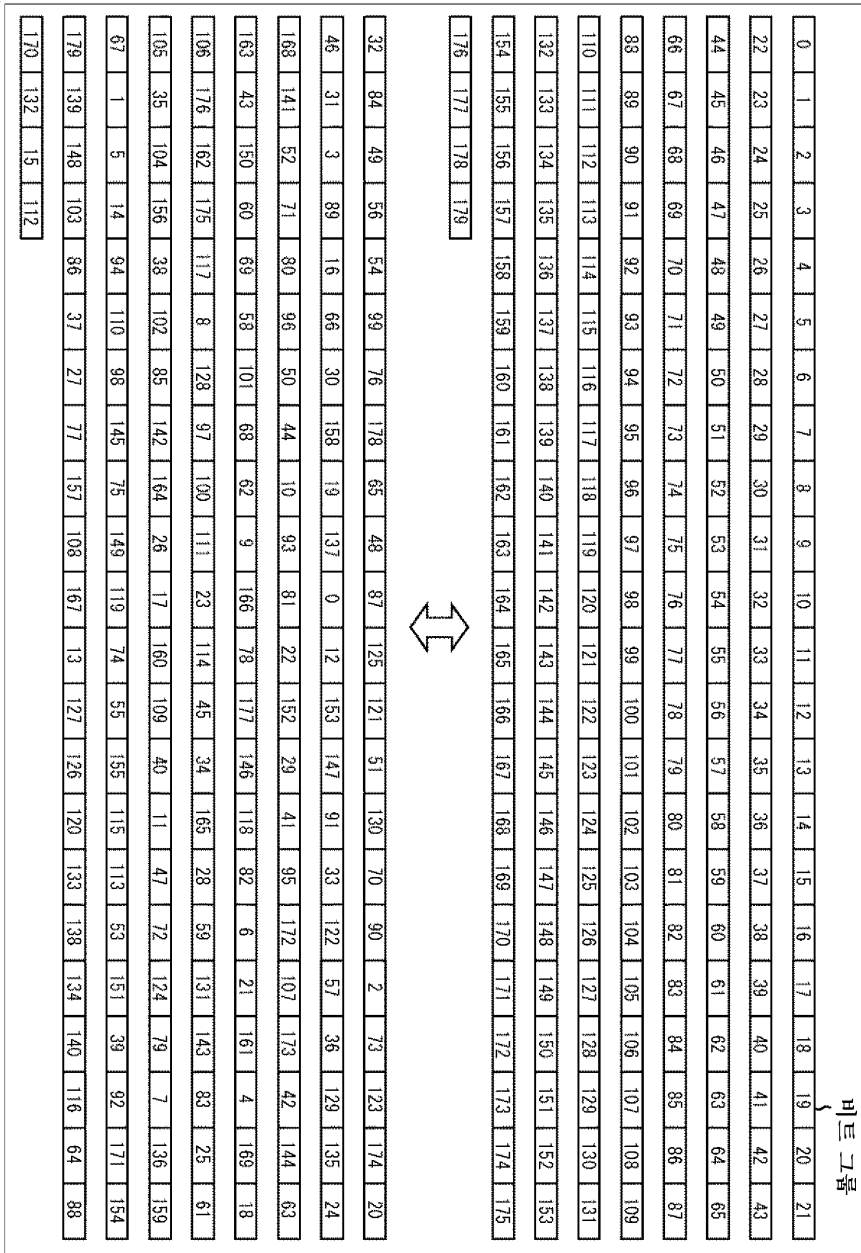
도면109



도면110



도면111



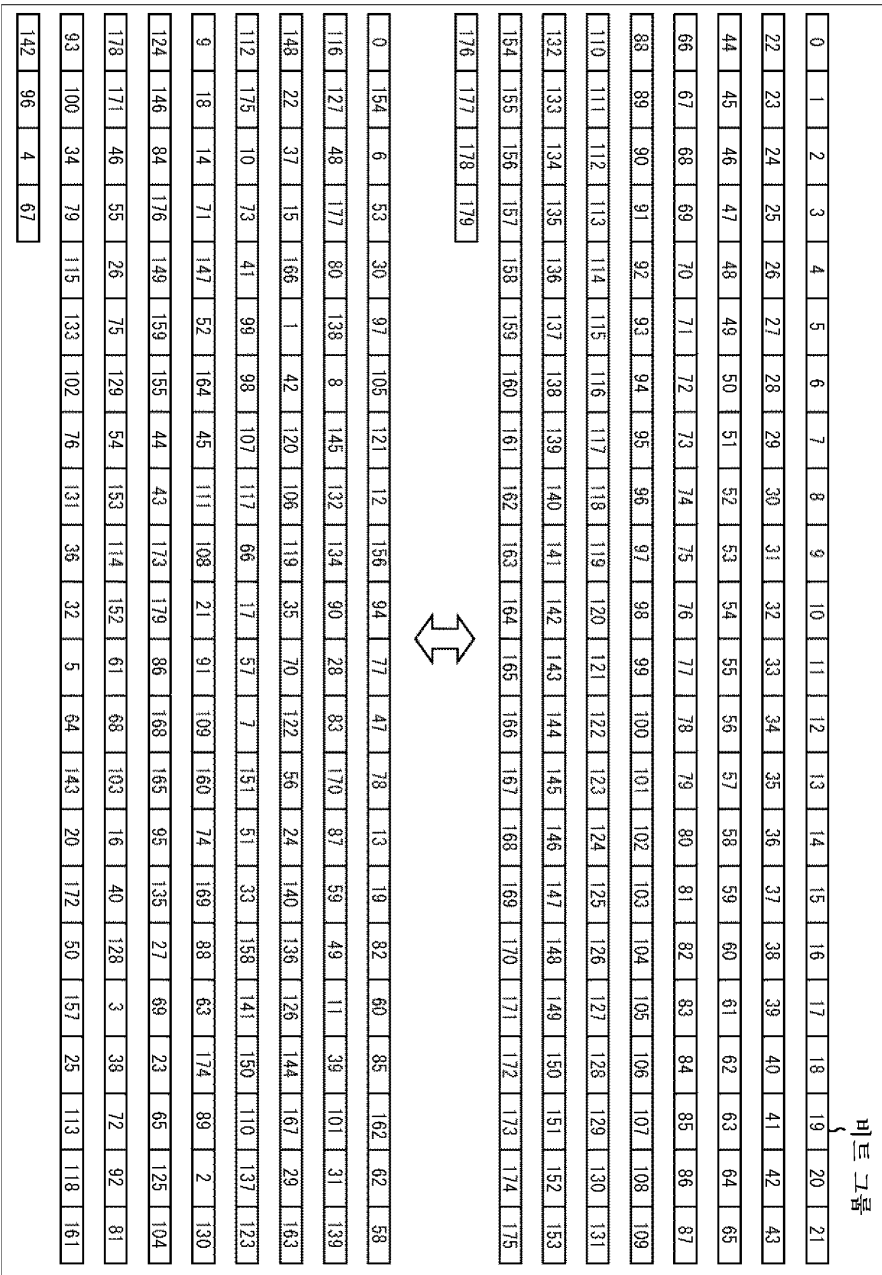
도면112

비트 그룹

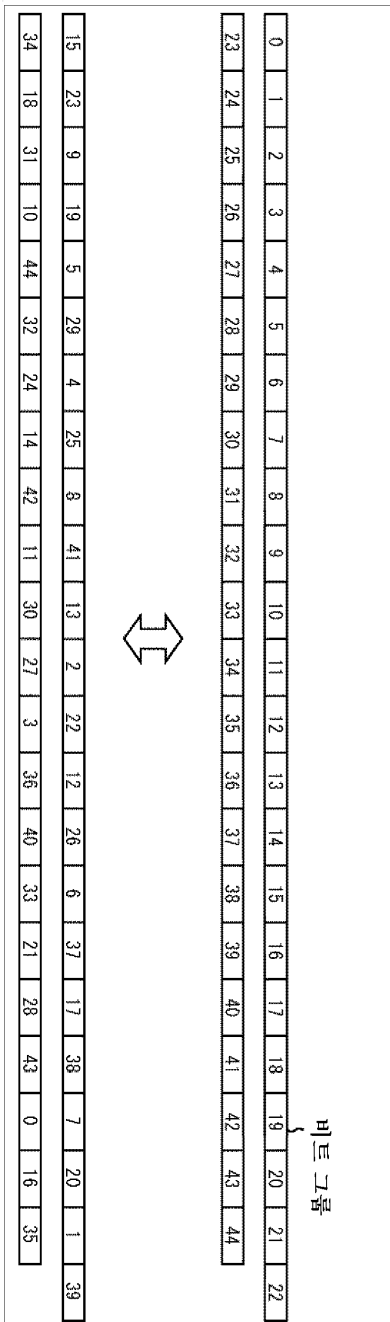
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
176	177	178	179																		

90	64	100	166	105	61	29	56	66	40	52	21	23	69	31	34	10	136	94	4	123	39
72	129	106	16	14	134	152	142	164	37	67	17	48	99	135	54	2	0	146	115	20	76
111	83	145	177	156	174	28	25	139	33	128	1	179	45	153	38	62	110	151	32	70	101
143	77	130	50	84	127	103	109	5	63	92	124	87	160	108	26	60	98	172	102	88	170
6	13	171	97	95	91	81	137	119	148	86	35	30	140	65	82	49	46	133	71	42	43
175	141	55	93	79	107	173	78	176	96	73	57	36	44	154	19	11	165	58	18	53	126
138	117	51	113	114	162	178	3	150	8	22	131	157	118	116	85	41	27	80	12	112	144
68	167	59	75	122	132	149	24	120	47	104	147	121	74	155	125	15	7	89	161	163	9
159	168	169	158																		

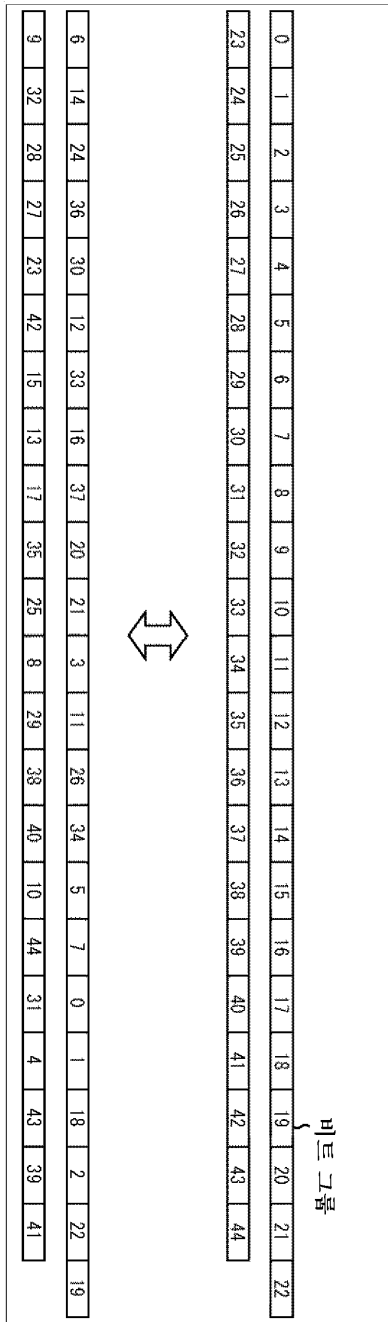
도면113



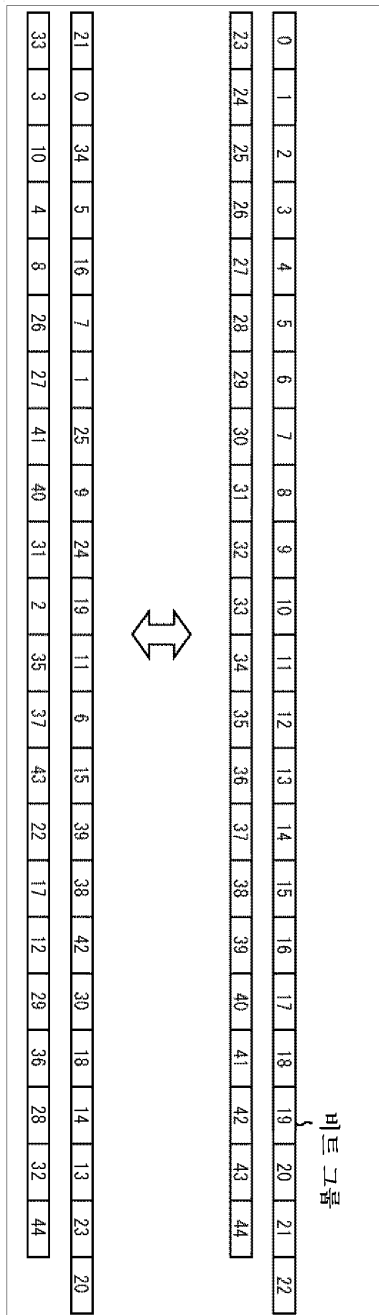
도면114



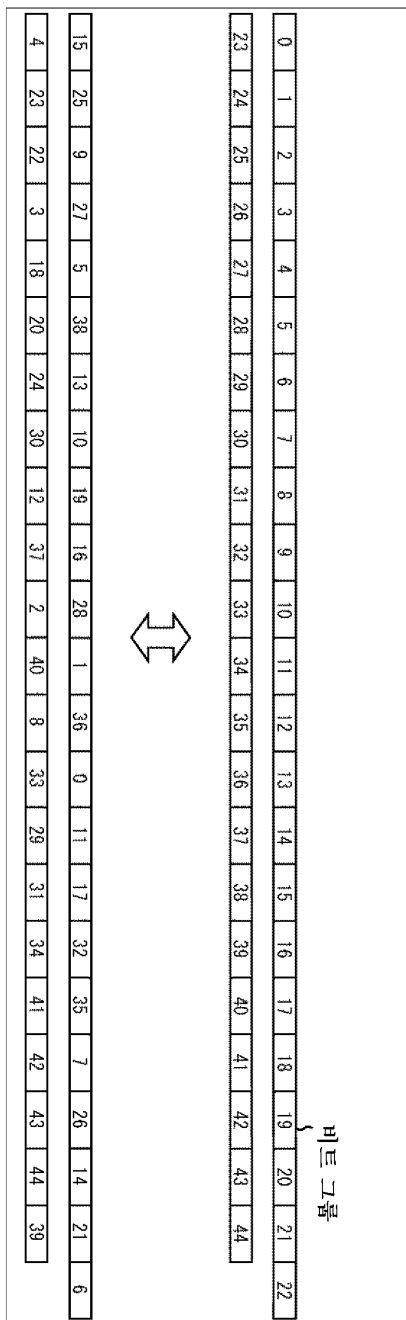
도면115



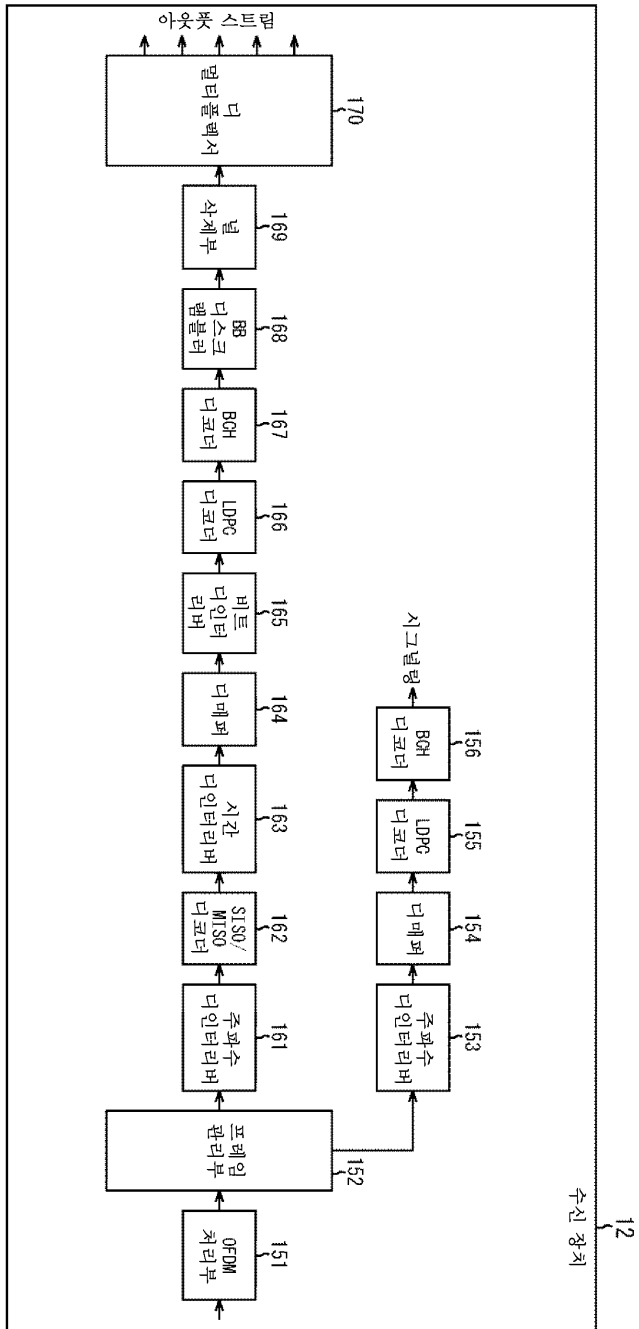
도면116



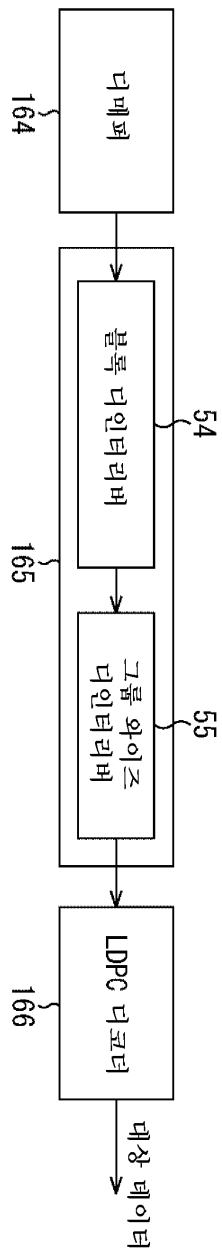
도면117



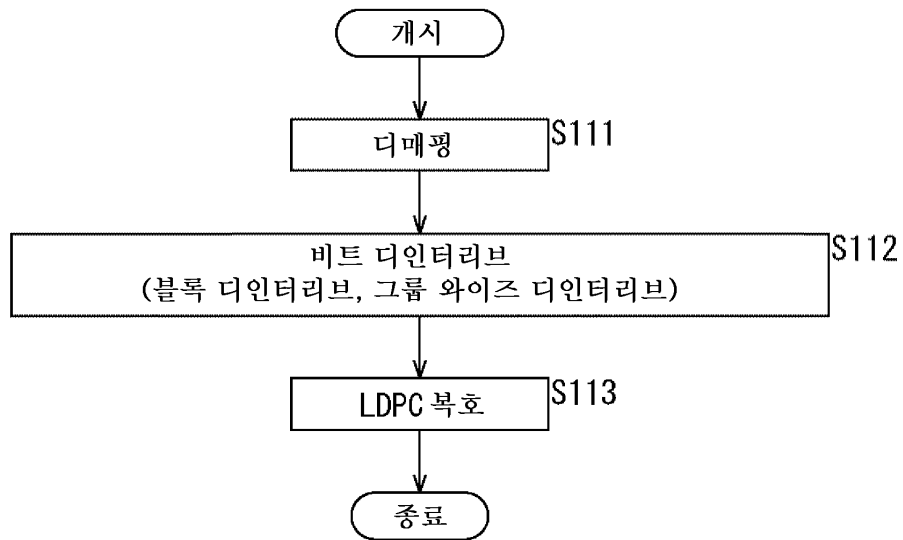
도면118



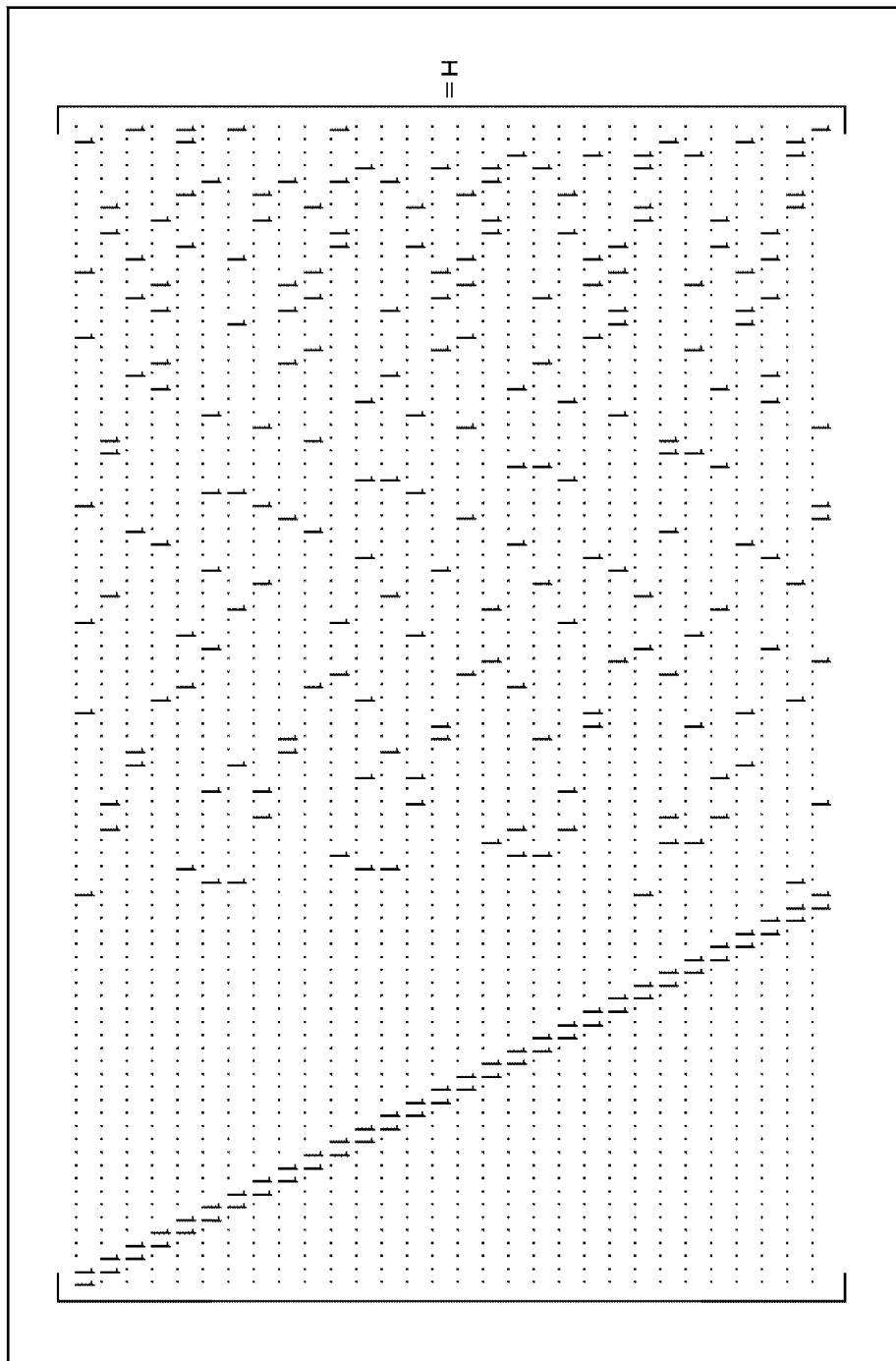
도면119



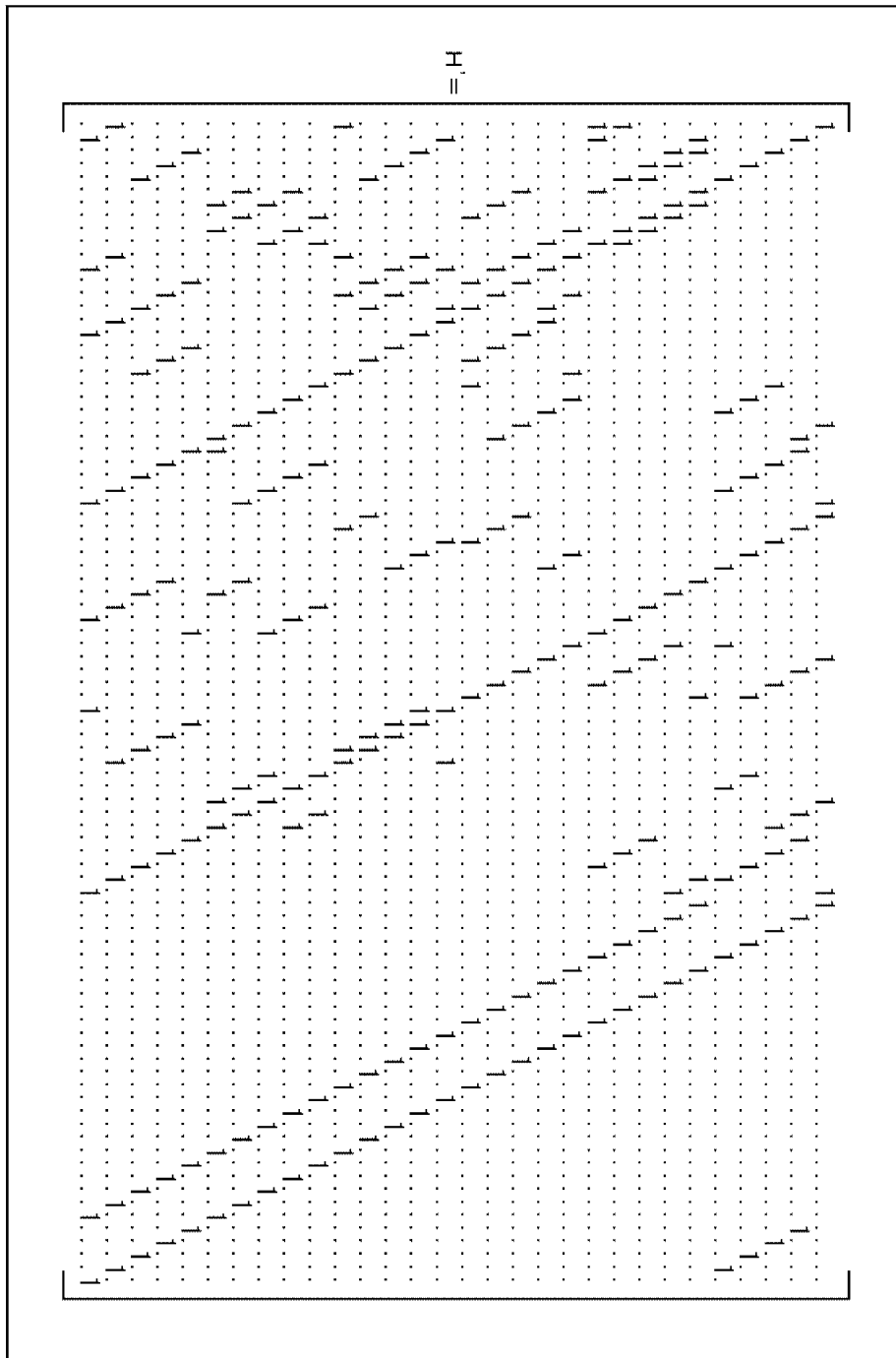
도면120



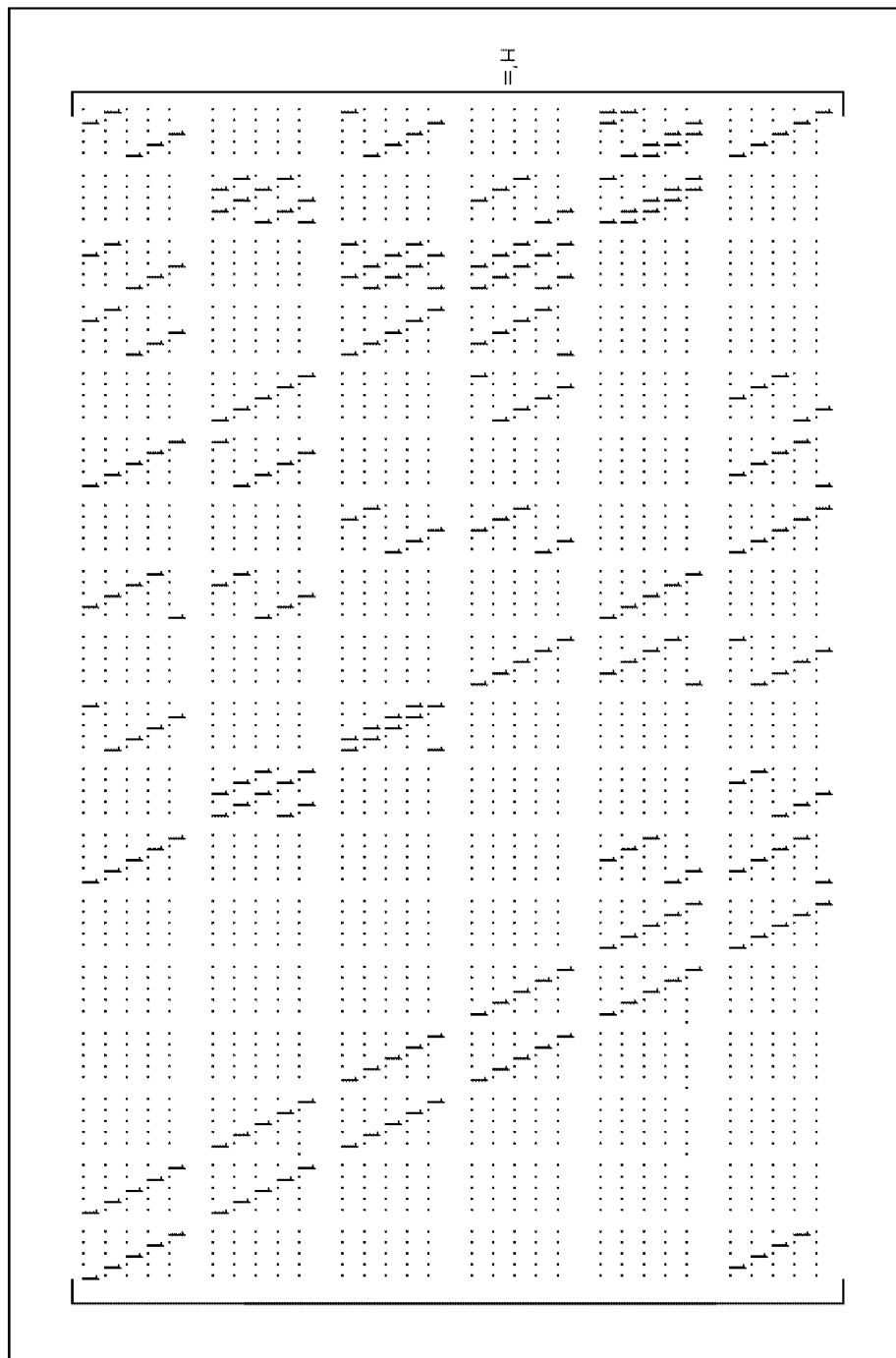
도면121



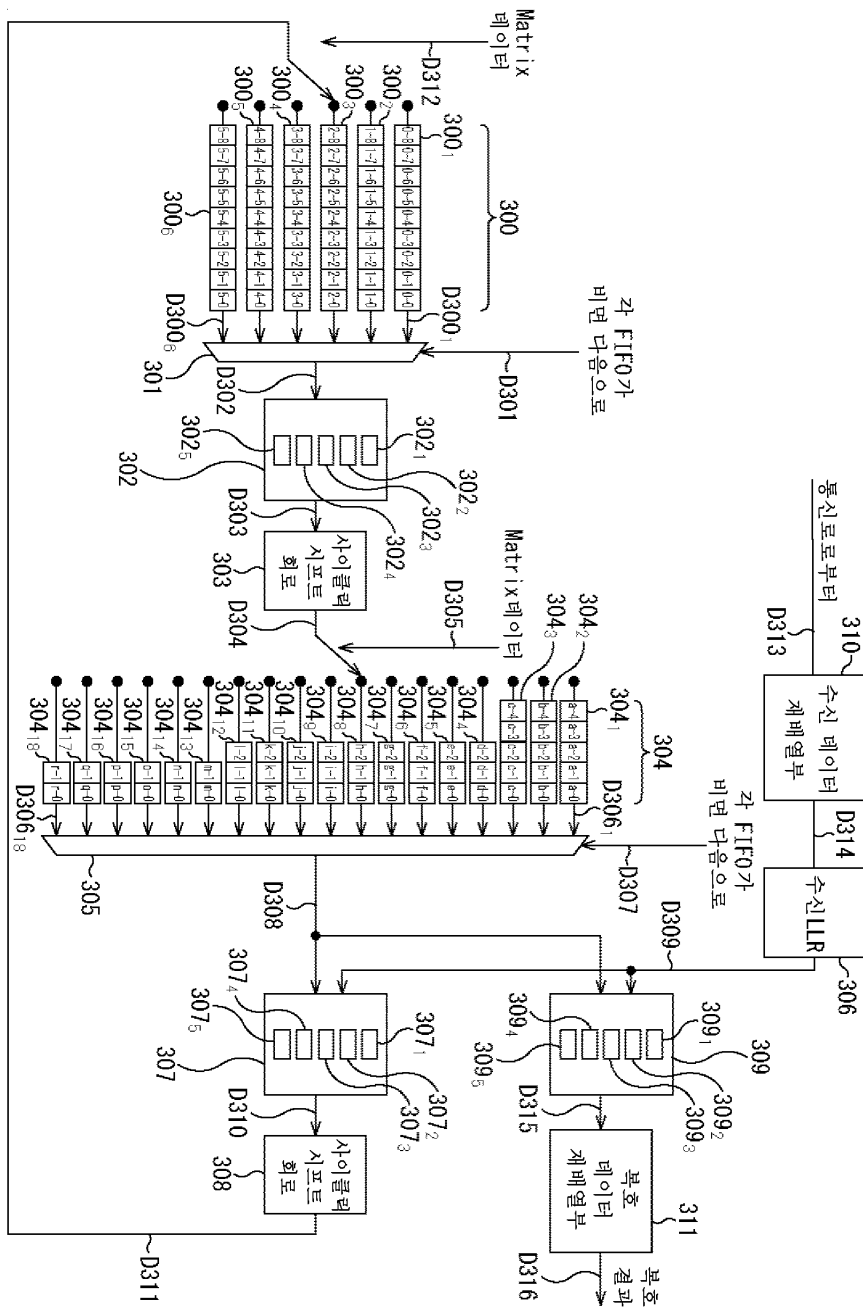
도면122



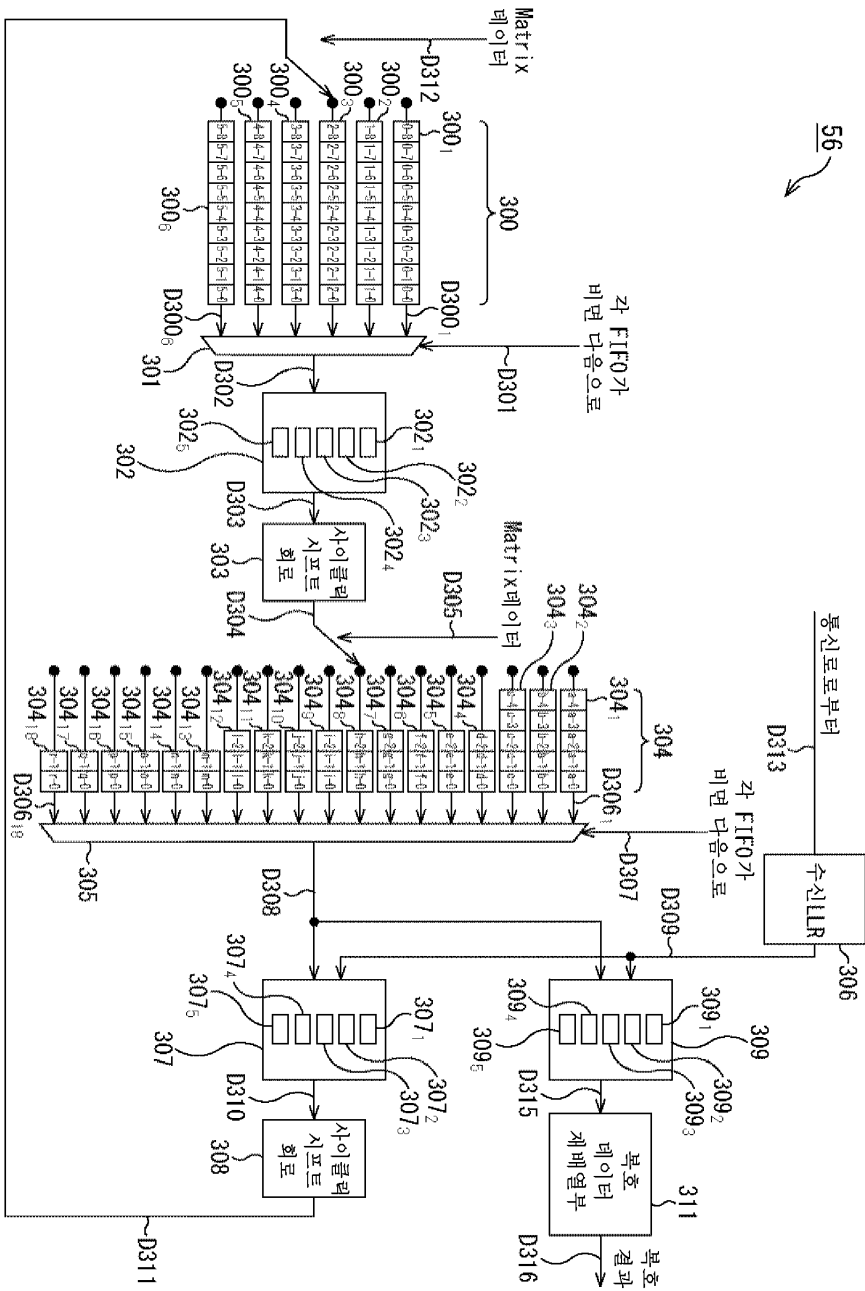
도면123



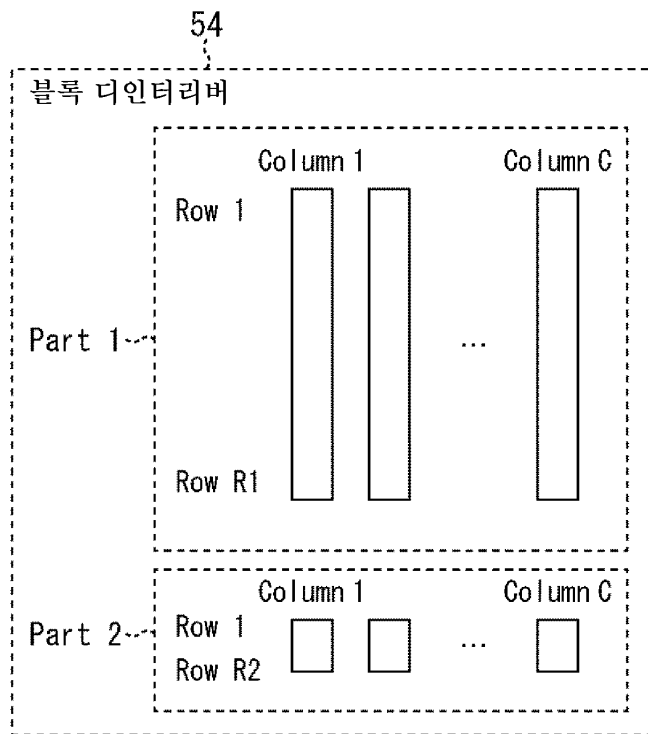
도면124



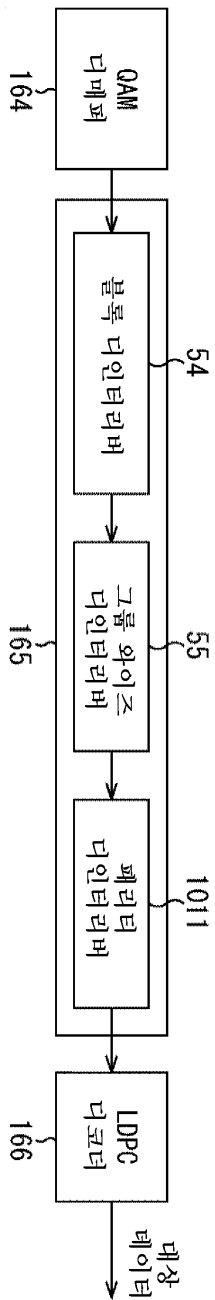
도면125



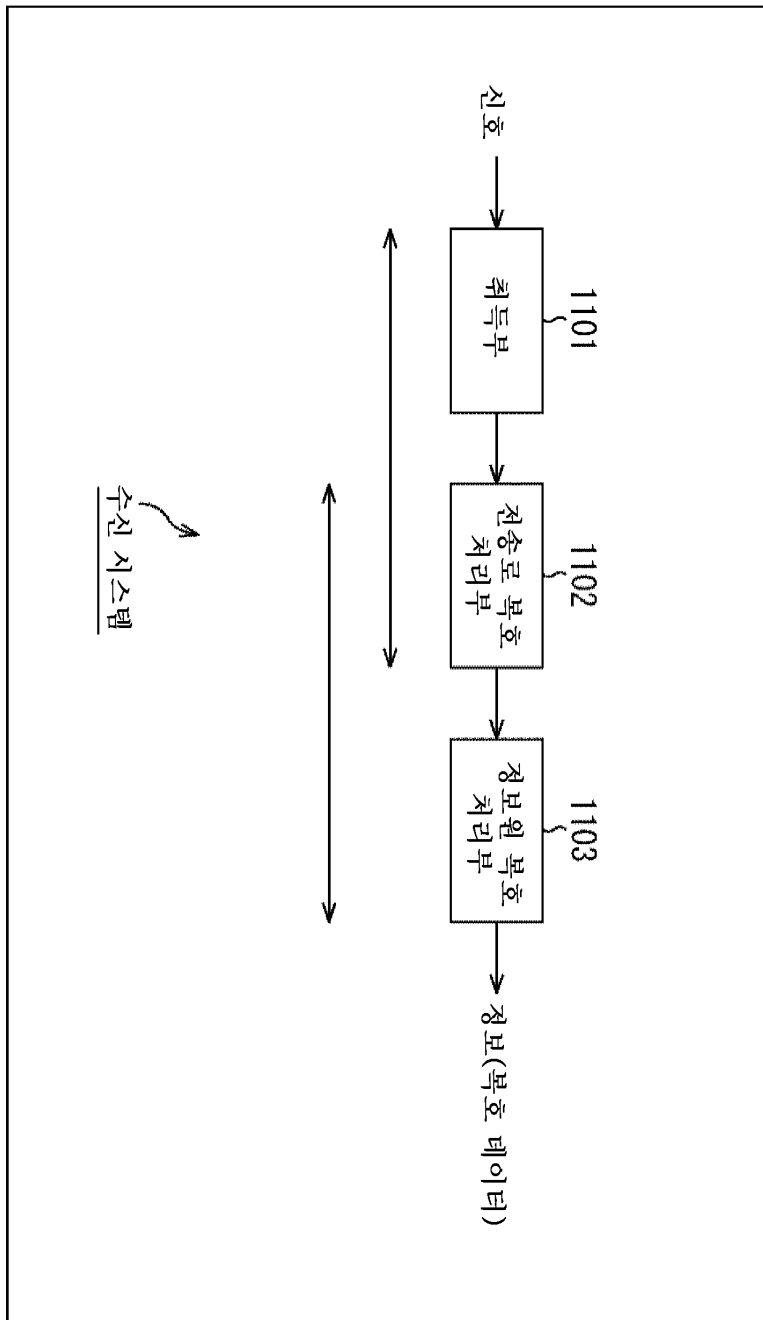
도면126



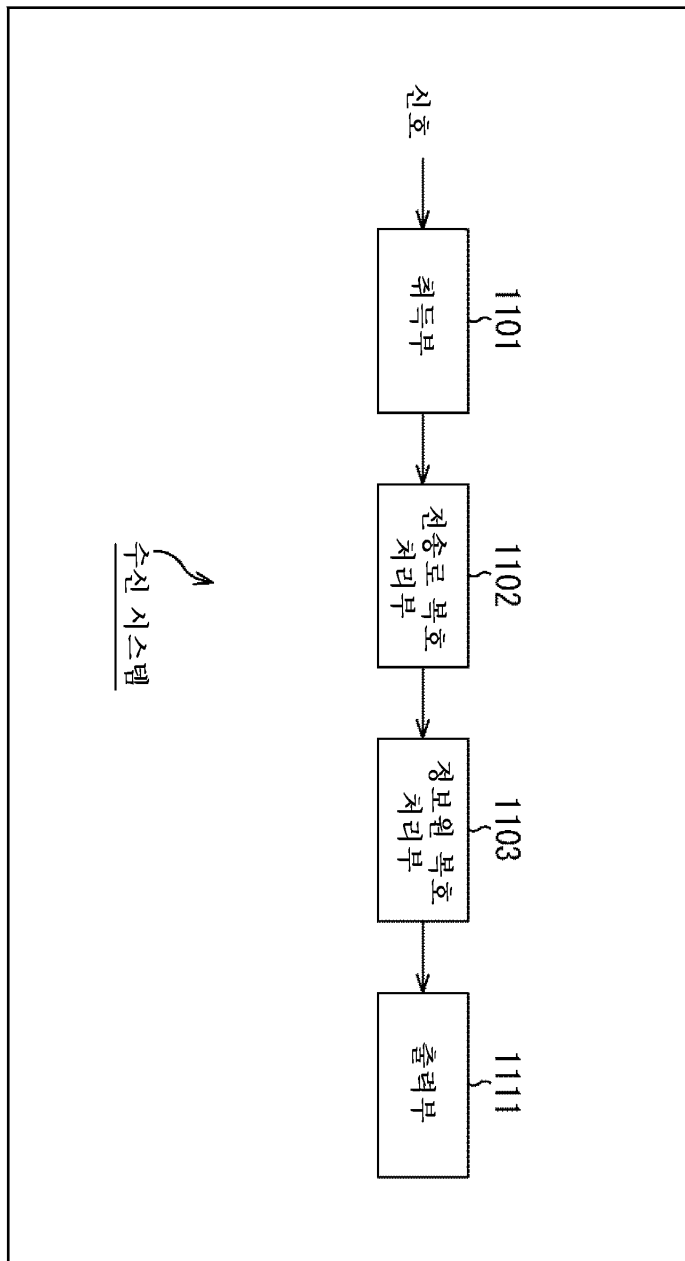
도면127



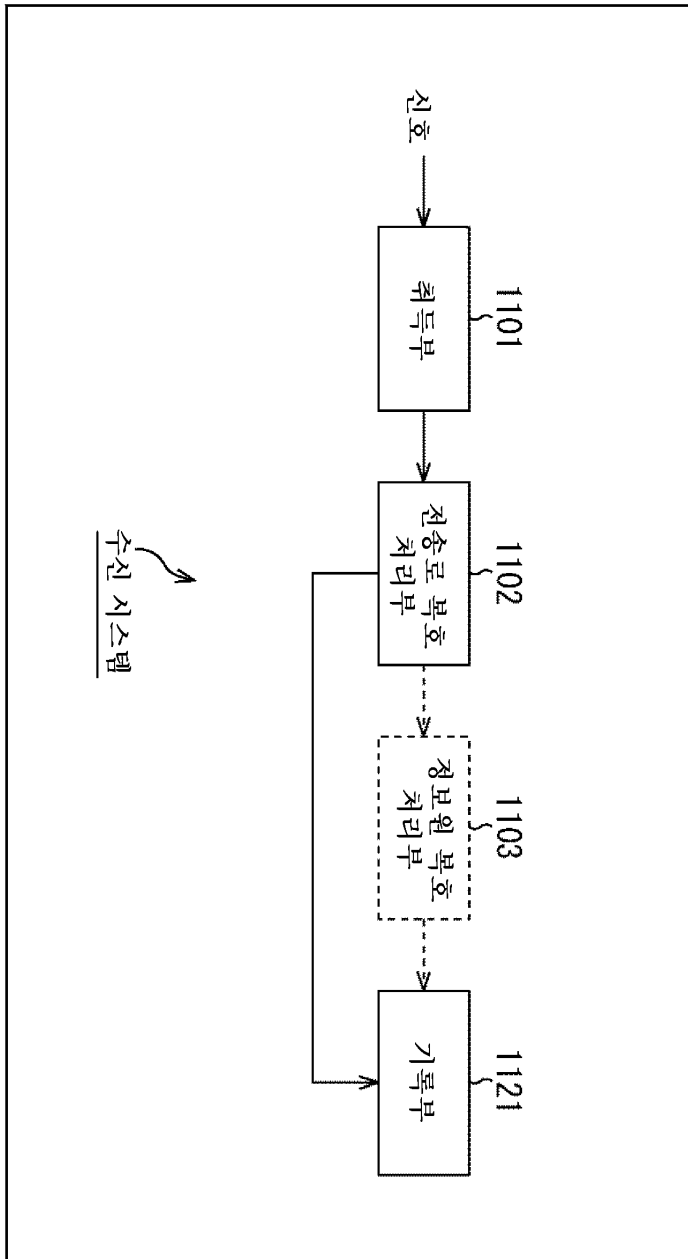
도면128



도면129



도면130



도면131

