

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6930376号
(P6930376)

(45) 発行日 令和3年9月1日 (2021.9.1)

(24) 登録日 令和3年8月16日 (2021.8.16)

(51) Int.Cl.

H03M 13/19 (2006.01)

F I

H03M 13/19

請求項の数 4 (全 87 頁)

(21) 出願番号	特願2017-209877 (P2017-209877)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成29年10月31日 (2017.10.31)		ソニーグループ株式会社
(65) 公開番号	特開2019-83420 (P2019-83420A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	令和1年5月30日 (2019.5.30)	(74) 代理人	100121131
審査請求日	令和2年10月19日 (2020.10.19)		弁理士 西川 孝
(出願人による申告) 平成29年度、総務省、委託研究 「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100082131
			弁理士 稲本 義雄
		(72) 発明者	山本 真紀子
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株 式会社内
		(72) 発明者	篠原 雄二
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株 式会社内
		審査官	福田 正悟
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送信装置及び送信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが11/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部を備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

91 382 494 654 681 695 1643 2171 2576 3027 3115 3390 3633 3644 3812 3883 4474
4607 4674

384 396 982 988 1053 1867 2215 2345 2472 3323 3503 3573 3883 4159 4576 4917 51
04 5130

456 580 1590 1715 1786 1843 1934 2251 2261 2466 2525 2958 3467 4334 4530 4779
4885 5021

227 381 394 502 1059 1108 1480 1508 1523 1620 1840 1996 2436 2989 3716 3957 40
72 4243 4482 4517 4717 4910 5105 5220 5238 5279

376 957 1706 2028 2228 2439 2552 4249 5234

89 676 1098 1103 1127 1449 1605 2362 4640

10

20

66 613 1692 1901 2247 3025 3244 4864 5050

1628 2015 2596

521 802 3804

3178 4080 5057

344 3486 3948

595 2538 2964

300 1355 3476

1292 2761 4819

462 773 3996

133 3494 4342

37 3698 4382

345 3624 4745

124 4197 4978

873 2686 4266

989 2966 4180

1468 1932 4913

1140 4164 5060

3361 4952 5287

2584 4646 5260

809 2481 4893

1201 1532 3877

128 2430 4279

621 4810 5249

200 717 5066

2283 2998 4164

704 2587 4736

106 2080 3279

である

送信装置。

【請求項 2】

符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が $11/16$ のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化ステップを備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

91 382 494 654 681 695 1643 2171 2576 3027 3115 3390 3633 3644 3812 3883 4474
4607 4674

384 396 982 988 1053 1867 2215 2345 2472 3323 3503 3573 3883 4159 4576 4917 51
04 5130

456 580 1590 1715 1786 1843 1934 2251 2261 2466 2525 2958 3467 4334 4530 4779
4885 5021

227 381 394 502 1059 1108 1480 1508 1523 1620 1840 1996 2436 2989 3716 3957 40
72 4243 4482 4517 4717 4910 5105 5220 5238 5279

376 957 1706 2028 2228 2439 2552 4249 5234

89 676 1098 1103 1127 1449 1605 2362 4640

66 613 1692 1901 2247 3025 3244 4864 5050

1628 2015 2596

10

20

30

40

50

521 802 3804
 3178 4080 5057
 344 3486 3948
 595 2538 2964
 300 1355 3476
 1292 2761 4819
 462 773 3996
 133 3494 4342
 37 3698 4382
 345 3624 4745
 124 4197 4978
 873 2686 4266
 989 2966 4180
 1468 1932 4913
 1140 4164 5060
 3361 4952 5287
 2584 4646 5260
 809 2481 4893
 1201 1532 3877
 128 2430 4279
 621 4810 5249
 200 717 5066
 2283 2998 4164
 704 2587 4736
 106 2080 3279

である

送信方法。

【請求項3】

符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が12/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部を備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296
 633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280
 4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168 318
 9

23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044
 286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710
 4147

79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292

208 2694 3685

480 770 791

261 3447 3751

1271 2122 3312

134 352 1592

10

20

30

40

50

517 1877 2106
 173 693 1792
 1975 2062 3529
 734 1035 1136
 546 863 4212
 817 2712 3692
 415 3771 4305
 646 1514 3870
 1481 2675 4276
 454 2248 2517
 1073 1754 2107
 1170 1472 3699
 841 2243 3804
 2485 3636 3894
 1961 2302 3591
 225 2704 3938
 487 1067 3992
 2747 3054 3661
 2476 2885 3456
 242 487 4018
 2037 2511 4232
 1278 1636 3609
 1099 1450 3842
 1299 1632 1717
 545 4160 4295
 である
 送信装置。

【請求項4】

符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が12/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化ステップを備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296
 633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280
 4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168 318
 9

23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044
 286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710
 4147

79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292
 208 2694 3685
 480 770 791
 261 3447 3751
 1271 2122 3312
 134 352 1592

10

20

30

40

50

517 1877 2106
173 693 1792
1975 2062 3529
734 1035 1136
546 863 4212
817 2712 3692
415 3771 4305
646 1514 3870
1481 2675 4276
454 2248 2517
1073 1754 2107
1170 1472 3699
841 2243 3804
2485 3636 3894
1961 2302 3591
225 2704 3938
487 1067 3992
2747 3054 3661
2476 2885 3456
242 487 4018
2037 2511 4232
1278 1636 3609
1099 1450 3842
1299 1632 1717
545 4160 4295

である

送信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本技術は、送信装置及び送信方法に関し、特に、例えば、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができるようにする送信装置及び送信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

LDPC(Low Density Parity Check)符号は、高い誤り訂正能力を有し、近年では、例えば、欧州等のDVB(Digital Video Broadcasting)-S.2や、DVB-T.2、DVB-C.2、米国等のATSC(Advanced Television Systems Committee)3.0等のデジタル放送等の伝送方式に広く採用されている（例えば、非特許文献1を参照）。

【0003】

LDPC符号は、近年の研究により、ターボ符号等と同様に、符号長を長くしていくにしたがって、シャノン限界に近い性能が得られることがわかりつつある。また、LDPC符号は、最小距離が符号長に比例するという性質があることから、その特徴として、ブロック誤り確率特性がよく、さらに、ターボ符号等の復号特性において観測される、いわゆるエラーフロア現象が殆ど生じないことも利点として挙げられる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】ATSC Standard:Physical Layer Protocol(A/322), 7 September 2016

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

LDPC符号を用いたデータ伝送では、例えば、LDPC符号が、QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)等の直交変調（デジタル変調）のシンボルとされ（シンボル化され）、そのシンボルが、直交変調の信号点にマッピングされて送信される。

【0006】

以上のようなLDPC符号を用いたデータ伝送は、世界的に拡がりつつあり、良好な通信（伝送）品質を確保することが要請されている。

【0007】

本技術は、このような状況に鑑みてなされたものであり、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本技術の第1の送信装置／送信方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが11/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部／ステップを備え、前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

91 382 494 654 681 695 1643 2171 2576 3027 3115 3390 3633 3644 3812 3883 4474 4607 4674

384 396 982 988 1053 1867 2215 2345 2472 3323 3503 3573 3883 4159 4576 4917 5104 5130

456 580 1590 1715 1786 1843 1934 2251 2261 2466 2525 2958 3467 4334 4530 4779 4885 5021

227 381 394 502 1059 1108 1480 1508 1523 1620 1840 1996 2436 2989 3716 3957 4072 4243 4482 4517 4717 4910 5105 5220 5238 5279

376 957 1706 2028 2228 2439 2552 4249 5234

89 676 1098 1103 1127 1449 1605 2362 4640

66 613 1692 1901 2247 3025 3244 4864 5050

1628 2015 2596

521 802 3804

3178 4080 5057

344 3486 3948

595 2538 2964

300 1355 3476

1292 2761 4819

462 773 3996

133 3494 4342

37 3698 4382

345 3624 4745

124 4197 4978

873 2686 4266

989 2966 4180

1468 1932 4913

1140 4164 5060

3361 4952 5287

2584 4646 5260

809 2481 4893

1201 1532 3877

10

20

30

40

50

128 2430 4279
621 4810 5249
200 717 5066
2283 2998 4164
704 2587 4736
106 2080 3279

である送信装置／送信方法である。

【0009】

本技術の第1の送信装置及び送信方法においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが11/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われる。前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

91 382 494 654 681 695 1643 2171 2576 3027 3115 3390 3633 3644 3812 3883 4474
4607 4674

384 396 982 988 1053 1867 2215 2345 2472 3323 3503 3573 3883 4159 4576 4917 51
04 5130

456 580 1590 1715 1786 1843 1934 2251 2261 2466 2525 2958 3467 4334 4530 4779
4885 5021

227 381 394 502 1059 1108 1480 1508 1523 1620 1840 1996 2436 2989 3716 3957 40
72 4243 4482 4517 4717 4910 5105 5220 5238 5279

376 957 1706 2028 2228 2439 2552 4249 5234

89 676 1098 1103 1127 1449 1605 2362 4640

66 613 1692 1901 2247 3025 3244 4864 5050

1628 2015 2596

521 802 3804

3178 4080 5057

344 3486 3948

595 2538 2964

300 1355 3476

1292 2761 4819

462 773 3996

133 3494 4342

37 3698 4382

345 3624 4745

124 4197 4978

873 2686 4266

989 2966 4180

1468 1932 4913

1140 4164 5060

3361 4952 5287

2584 4646 5260

809 2481 4893

1201 1532 3877

128 2430 4279

621 4810 5249

200 717 5066

2283 2998 4164

704 2587 4736

10

20

30

40

50

106 2080 3279

になっている。

【0 0 1 0】

本技術の第1の受信装置／受信方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが11/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化ステップを備え、前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

91 382 494 654 681 695 1643 2171 2576 3027 3115 3390 3633 3644 3812 3883 4474 10
4607 4674

384 396 982 988 1053 1867 2215 2345 2472 3323 3503 3573 3883 4159 4576 4917 51
04 5130

456 580 1590 1715 1786 1843 1934 2251 2261 2466 2525 2958 3467 4334 4530 4779
4885 5021

227 381 394 502 1059 1108 1480 1508 1523 1620 1840 1996 2436 2989 3716 3957 40
72 4243 4482 4517 4717 4910 5105 5220 5238 5279

376 957 1706 2028 2228 2439 2552 4249 5234

89 676 1098 1103 1127 1449 1605 2362 4640

66 613 1692 1901 2247 3025 3244 4864 5050 20

1628 2015 2596

521 802 3804

3178 4080 5057

344 3486 3948

595 2538 2964

300 1355 3476

1292 2761 4819

462 773 3996

133 3494 4342

37 3698 4382

345 3624 4745

124 4197 4978

873 2686 4266

989 2966 4180

1468 1932 4913

1140 4164 5060

3361 4952 5287

2584 4646 5260

809 2481 4893

1201 1532 3877

128 2430 4279

621 4810 5249

200 717 5066

2283 2998 4164

704 2587 4736

106 2080 3279

である送信方法により送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部／ステップを備える受信装置／受信方法である。

【0 0 1 1】

本技術の第1の受信装置及び受信方法においては、第1の送信方法により送信されてく

50

るデータから得られる前記LDPC符号が復号される。

【0012】

本技術の第2の送信装置／送信方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが12/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部／ステップを備え、前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296
633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280 10
4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168 318
9

23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044
286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710
4147

79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292

208 2694 3685

480 770 791

261 3447 3751

1271 2122 3312

134 352 1592

517 1877 2106

173 693 1792

1975 2062 3529

734 1035 1136

546 863 4212

817 2712 3692

415 3771 4305

646 1514 3870

1481 2675 4276

454 2248 2517

1073 1754 2107

1170 1472 3699

841 2243 3804

2485 3636 3894

1961 2302 3591

225 2704 3938

487 1067 3992

2747 3054 3661

2476 2885 3456

242 487 4018

2037 2511 4232

1278 1636 3609

1099 1450 3842

1299 1632 1717

545 4160 4295

である送信装置／送信方法である。

【0013】

本技術の第2の送信装置及び送信方法においては、符号長Nが17280ビットであり、符号

50

化率 r が12/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われる。前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296
633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280
4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168 318
9

23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044
286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710
4147

79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292
208 2694 3685

480 770 791

261 3447 3751

1271 2122 3312

134 352 1592

517 1877 2106

173 693 1792

1975 2062 3529

734 1035 1136

546 863 4212

817 2712 3692

415 3771 4305

646 1514 3870

1481 2675 4276

454 2248 2517

1073 1754 2107

1170 1472 3699

841 2243 3804

2485 3636 3894

1961 2302 3591

225 2704 3938

487 1067 3992

2747 3054 3661

2476 2885 3456

242 487 4018

2037 2511 4232

1278 1636 3609

1099 1450 3842

1299 1632 1717

545 4160 4295

になっている。

【0 0 1 4】

本技術の第2の受信装置／受信方法は、符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が12/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化ステップを備え、前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部を含み、前記情報行列部は

10

20

30

40

50

、検査行列初期値テーブルによって表され、前記検査行列初期値テーブルは、前記情報行列部の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296
633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280
4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168 318
9

23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044
286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710
4147

10

79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292
208 2694 3685

480 770 791

261 3447 3751

1271 2122 3312

134 352 1592

517 1877 2106

173 693 1792

1975 2062 3529

734 1035 1136

20

546 863 4212

817 2712 3692

415 3771 4305

646 1514 3870

1481 2675 4276

454 2248 2517

1073 1754 2107

1170 1472 3699

841 2243 3804

2485 3636 3894

30

1961 2302 3591

225 2704 3938

487 1067 3992

2747 3054 3661

2476 2885 3456

242 487 4018

2037 2511 4232

1278 1636 3609

1099 1450 3842

1299 1632 1717

40

545 4160 4295

である送信方法により送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部／ステップを備える受信装置／受信方法である。

【0015】

本技術の第2の受信装置及び受信方法においては、第2の送信方法により送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号が復号される。

【0016】

なお、送信装置や受信装置は、独立した装置であっても良いし、1個の装置を構成している内部ブロックであっても良い。

【発明の効果】

50

【0017】

本技術によれば、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

【0018】

なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】 LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

【図2】 LDPC符号の復号手順を説明するフローチャートである。

10

【図3】 LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

【図4】 検査行列のタナグラフの例を示す図である。

【図5】 バリアブルノードの例を示す図である。

【図6】 チェックノードの例を示す図である。

【図7】 本技術を適用した伝送システムの一実施の形態の構成例を示す図である。

【図8】 送信装置11の構成例を示すブロック図である。

【図9】 ビットインターリーブ116の構成例を示すブロック図である。

【図10】 検査行列の例を示す図である。

【図11】 パリティ行列の例を示す図である。

【図12】 DVB-T.2の規格に規定されているLDPC符号の検査行列を説明する図である。

20

【図13】 DVB-T.2の規格に規定されているLDPC符号の検査行列を説明する図である。

【図14】 LDPC符号の復号についてのタナグラフの例を示す図である。

【図15】 階段構造になっているパリティ行列 H_T と、そのパリティ行列 H_T に対応するタナグラフの例を示す図である。

【図16】 パリティインターリーブ後のLDPC符号に対応する検査行列Hのパリティ行列 H_T の例を示す図である。

【図17】 ビットインターリーブ116、及び、マップ117で行われる処理の例を説明するフローチャートである。

【図18】 LDPCエンコーダ115の構成例を示すブロック図である。

【図19】 LDPCエンコーダ115の処理の例を説明するフローチャートである。

30

【図20】 符号化率1/4、符号長16200の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図21】 検査行列初期値テーブルから検査行列Hを求める方法を説明する図である。

【図22】 検査行列の構造を示す図である。

【図23】 検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図24】 検査行列初期値テーブルから生成されるA行列を説明する図である。

【図25】 B行列のパリティインターリーブを説明する図である。

【図26】 検査行列初期値テーブルから生成されるC行列を説明する図である。

【図27】 D行列のパリティインターリーブを説明する図である。

【図28】 検査行列に、パリティインターリーブを元に戻すパリティデインターリーブとしての列置換(column permutation)を行った検査行列を示す図である。

40

【図29】 検査行列に、行置換(row permutation)を行うことにより得られる変換検査行列を示す図である。

【図30】 $N=17280$ ビットで、 $r=2/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図31】 $N=17280$ ビットで、 $r=3/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図32】 $N=17280$ ビットで、 $r=4/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図33】 $N=17280$ ビットで、 $r=5/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

50

【図 3 4】 $N=17280$ ビットで、 $r=6/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 3 5】 $N=17280$ ビットで、 $r=7/16$ のタイプA符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 3 6】 $N=17280$ ビットで、 $r=7/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 3 7】 $N=17280$ ビットで、 $r=8/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 3 8】 $N=17280$ ビットで、 $r=9/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

10

【図 3 9】 $N=17280$ ビットで、 $r=10/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 4 0】 $N=17280$ ビットで、 $r=11/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 4 1】 $N=17280$ ビットで、 $r=12/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 4 2】 $N=17280$ ビットで、 $r=13/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【図 4 3】 $N=17280$ ビットで、 $r=14/16$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

20

【図 4 4】 列重みが3で、行重みが6であるデグリーシーケンスのアンサンブルのタナーグラフの例を示す図である。

【図 4 5】 マルチエッジタイプのアンサンブルのタナーグラフの例を示す図である。

【図 4 6】 タイプA方式の検査行列を説明する図である。

【図 4 7】 タイプA方式の検査行列を説明する図である。

【図 4 8】 タイプB方式の検査行列を説明する図である。

【図 4 9】 タイプB方式の検査行列を説明する図である。

【図 5 0】 変調方式がQPSKである場合のUCの信号点の座標の例を示す図である。

【図 5 1】 変調方式が16QAMである場合の2D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

【図 5 2】 変調方式が1024QAMである場合の1D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

30

【図 5 3】 1024QAMのシンボル y と、位置ベクトル u との関係を示す図である。

【図 5 4】 QPSK-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 5】 QPSK-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 6】 16QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 7】 16QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 8】 64QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 9】 64QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 0】 256QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 1】 256QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 2】 1024QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

40

【図 6 3】 1024QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 4】 4096QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 5】 4096QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 6】 16QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 6 7】 64QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 6 8】 256QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 6 9】 256QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 0】 1024QAM-1D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 1】 1024QAMのシンボル y と、位置ベクトル u との関係を示す図である。

【図 7 2】 4096QAM-1D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

50

【図 7 3】 4096QAMのシンボル y と、位置ベクトル u との関係を示す図である。

【図 7 4】 4096QAMのシンボル y と、位置ベクトル u との関係を示す図である。

【図 7 5】 ブロックインターリーブ 2 5で行われるブロックインターリーブを説明する図である。

【図 7 6】 ブロックインターリーブ 2 5で行われるブロックインターリーブを説明する図である。

【図 7 7】 グループワイズインターリーブ 2 4で行われるグループワイズインターリーブを説明する図である。

【図 7 8】 符号長 N が69120ビットのLDPC符号に対するGWパターンの例を示す図である。

【図 7 9】 受信装置 1 2の構成例を示すブロック図である。

10

【図 8 0】 ビットデインターリーブ 1 6 5の構成例を示すブロック図である。

【図 8 1】 デマッパ 1 6 4、ビットデインターリーブ 1 6 5、及び、LDPCデコーダ 1 6 6が行う処理の例を説明するフローチャートである。

【図 8 2】 LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

【図 8 3】 検査行列に行置換と列置換を施した行列（変換検査行列）の例を示す図である。

【図 8 4】 5×5 単位に分割した変換検査行列の例を示す図である。

【図 8 5】 ノード演算を P 個まとめて行う復号装置の構成例を示すブロック図である。

【図 8 6】 LDPCデコーダ 1 6 6の構成例を示すブロック図である。

【図 8 7】 ブロックデインターリーブ 5 4で行われるブロックデインターリーブを説明する図である。

20

【図 8 8】 ビットデインターリーブ 1 6 5の他の構成例を示すブロック図である。

【図 8 9】 受信装置 1 2を適用可能な受信システムの第 1 の構成例を示すブロック図である。

【図 9 0】 受信装置 1 2を適用可能な受信システムの第 2 の構成例を示すブロック図である。

【図 9 1】 受信装置 1 2を適用可能な受信システムの第 3 の構成例を示すブロック図である。

【図 9 2】 本技術を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 0】

以下、本技術の実施の形態について説明するが、その前に、LDPC符号について説明する。

【0 0 2 1】

<LDPC符号>

【0 0 2 2】

なお、LDPC符号は、線形符号であり、必ずしも 2 元である必要はないが、ここでは、2 元であるものとして説明する。

【0 0 2 3】

40

LDPC符号は、そのLDPC符号を定義する検査行列(parity check matrix)が疎なものであることを最大の特徴とする。ここで、疎な行列とは、行列の要素の"1"の個数が非常に少ない行列（ほとんどの要素が0の行列）である。

【0 0 2 4】

図 1 は、LDPC符号の検査行列 H の例を示す図である。

【0 0 2 5】

図 1 の検査行列 H では、各列の重み（列重み）（"1"の数）(weight)が"3"であり、且つ、各行の重み（行重み）が"6"になっている。

【0 0 2 6】

LDPC符号による符号化（LDPC符号化）では、例えば、検査行列 H に基づいて生成行列 G を

50

生成し、この生成行列Gを2元の情報ビットに対して乗算することで、符号語(LDPC符号)が生成される。

【0027】

具体的には、LDPC符号化を行う符号化装置は、まず、検査行列Hの転置行列 H^T との間に、式 $GH^T=0$ が成立する生成行列Gを算出する。ここで、生成行列Gが、 $K \times N$ 行列である場合には、符号化装置は、生成行列Gに対してKビットからなる情報ビットのビット列(ベクトルu)を乗算し、Nビットからなる符号語 $c(=uG)$ を生成する。この符号化装置によって生成された符号語(LDPC符号)は、所定の通信路を介して受信側において受信される。

【0028】

LDPC符号の復号は、Gallagerが確率復号(Probabilistic Decoding)と称して提案したアルゴリズムであって、バリアブルノード(variable node (メッセージノード(message node)とも呼ばれる))と、チェックノード(check node)とからなる、いわゆるタナグラフ(Tanner graph)上での確率伝播(belief propagation)によるメッセージ・パッシング・アルゴリズムによって行うことが可能である。ここで、以下、適宜、バリアブルノードとチェックノードを、単に、ノードともいう。

【0029】

図2は、LDPC符号の復号の手順を示すフローチャートである。

【0030】

なお、以下、適宜、受信側で受信したLDPC符号(1符号語)のi番目の符号ビットの、値の"0"らしさを対数尤度比(log likelihood ratio)で表現した実数値(受信LLR)を、受信値 u_{0i} ともいう。また、チェックノードから出力されるメッセージを u_j とし、バリアブルノードから出力されるメッセージを v_i とする。

【0031】

まず、LDPC符号の復号においては、図2に示すように、ステップS11において、LDPC符号が受信され、メッセージ(チェックノードメッセージ) u_j が"0"に初期化されるとともに、繰り返し処理のカウンタとしての整数をとる変数kが"0"に初期化され、ステップS12に進む。ステップS12において、LDPC符号を受信して得られる受信値 u_{0i} に基づいて、式(1)に示す演算(バリアブルノード演算)を行うことによってメッセージ(バリアブルノードメッセージ) v_i が求められ、さらに、このメッセージ v_i に基づいて、式(2)に示す演算(チェックノード演算)を行うことによってメッセージ u_j が求められる。

【0032】

【数1】

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

【0033】

【数2】

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

【0034】

ここで、式(1)と式(2)における d_v と d_c は、それぞれ、検査行列Hの縦方向(列)と横方向(行)の"1"の個数を示す任意に選択可能とされるパラメータである。例えば、図1に示したような列重みが3で、行重みが6の検査行列Hに対するLDPC符号((3,6)LDPC符号)の場合には、 $d_v=3$ 、 $d_c=6$ となる。

【0035】

なお、式(1)のバリアブルノード演算、及び(2)のチェックノード演算においては、それぞれ、メッセージを出力しようとする枝(edge)(バリアブルノードとチェックノード

10

20

30

40

50

ドとを結ぶ線) から入力されたメッセージを、演算の対象としないことから、演算の範囲が、1 ないし d_v-1 又は 1 ないし d_c-1 となっている。また、式 (2) のチェックノード演算は、実際には、2 入力 v_1, v_2 に対する 1 出力で定義される式 (3) に示す関数 $R(v_1, v_2)$ のテーブルを予め作成しておき、これを式 (4) に示すように連続的 (再帰的) に用いることによって行われる。

【0036】

【数3】

$$x = 2 \tanh^{-1} \{ \tanh(v_1/2) \tanh(v_2/2) \} = R(v_1, v_2) \quad \dots (3)$$

10

【0037】

【数4】

$$u_j = R(v_1, R(v_2, R(v_3, \dots R(v_{d_c-2}, v_{d_c-1}))) \quad \dots (4)$$

【0038】

ステップ S 1 2 では、さらに、変数 k が "1" だけインクリメントされ、ステップ S 1 3 に進む。ステップ S 1 3 では、変数 k が所定の繰り返し復号回数 C よりも大きいか否かが判定される。ステップ S 1 3 において、変数 k が C よりも大きくないと判定された場合、ステップ S 1 2 に戻り、以下、同様の処理が繰り返される。

20

【0039】

また、ステップ S 1 3 において、変数 k が C よりも大きいと判定された場合、ステップ S 1 4 に進み、式 (5) に示す演算を行うことによって最終的に出力する復号結果としてのメッセージ v_i が求められて出力され、LDPC符号の復号処理が終了する。

【0040】

【数5】

$$v_i = u_{0i} + \sum_{j=1}^{d_v} u_j \quad \dots (5)$$

30

【0041】

ここで、式 (5) の演算は、式 (1) のバリエブルノード演算とは異なり、バリエブルノードに接続している全ての枝からのメッセージ u_j を用いて行われる。

【0042】

図3は、(3,6)LDPC符号 (符号化率1/2、符号長12) の検査行列 H の例を示す図である。

【0043】

図3の検査行列 H では、図1と同様に、列の重みが3に、行の重みが6に、それぞれなっている。

【0044】

図4は、図3の検査行列 H のタナグラフを示す図である。

40

【0045】

ここで、図4において、プラス "+" で表わされるのが、チェックノードであり、イコール "=" で表わされるのが、バリエブルノードである。チェックノードとバリエブルノードは、それぞれ、検査行列 H の行と列に対応する。チェックノードとバリエブルノードとの間の結線は、枝 (edge) であり、検査行列の要素の "1" に相当する。

【0046】

すなわち、検査行列の第 j 行第 i 列の要素が1である場合には、図4において、上から i 番目のバリエブルノード ("=" のノード) と、上から j 番目のチェックノード ("+" のノード) とが、枝により接続される。枝は、バリエブルノードに対応する符号ビットが、チェックノードに対応する拘束条件を持つことを表す。

50

【0047】

LDPC符号の復号方法であるサンプロダクトアルゴリズム(Sum Product Algorithm)では、バリエブルノード演算とチェックノード演算とが繰り返し行われる。

【0048】

図5は、バリエブルノードで行われるバリエブルノード演算を示す図である。

【0049】

バリエブルノードでは、計算しようとしている枝に対応するメッセージ v_i は、バリエブルノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ u_1 および u_2 と、受信値 u_{0i} を用いた式(1)のバリエブルノード演算により求められる。他の枝に対応するメッセージも同様に求められる。

10

【0050】

図6は、チェックノードで行われるチェックノード演算を示す図である。

【0051】

ここで、式(2)のチェックノード演算は、式 $a \times b = \exp\{\ln(|a|) + \ln(|b|)\} \times \text{sign}(a) \times \text{sign}(b)$ の関係を用いて、式(6)に書き直すことができる。但し、 $\text{sign}(x)$ は、 $x \geq 0$ のとき1であり、 $x < 0$ のとき-1である。

【0052】

【数6】

$$u_j = 2 \tanh^{-1} \left(\prod_{i=1}^{d_c-1} \tanh \left(\frac{v_i}{2} \right) \right) \quad 20$$

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

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

30

・・・(6)

【0053】

$x \geq 0$ において、関数 $\phi(x)$ を、式 $\phi(x) = \ln(\tanh(x/2))$ と定義すると、式 $\phi^{-1}(x) = 2 \tanh^{-1}(e^{-x})$ が成り立つから、式(6)は、式(7)に変形することができる。

【0054】

【数7】

$$u_j = \phi^{-1} \left(\sum_{i=1}^{d_c-1} \phi(|v_i|) \right) \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign}(v_i) \quad 40$$

・・・(7)

【0055】

チェックノードでは、式(2)のチェックノード演算が、式(7)に従って行われる。

【0056】

すなわち、チェックノードでは、図6のように、計算しようとしている枝に対応するメッセージ u_j は、チェックノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 を用いた式(7)のチェックノード演算によって求められる。他の枝に対応するメッセージも同様に求められる。

【0057】

なお、式(7)の関数 $\phi(x)$ は、式 $\phi(x) = \ln((e^x+1)/(e^x-1))$ で表すことができ、 $x > 0$

50

において、 $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$ である。関数 $\phi(x)$ および $\phi^{-1}(x)$ をハードウェアに実装する際には、LUT(Look Up Table)を用いて実装される場合があるが、両者共に同一のLUTとなる。

【0058】

＜本技術を適用した伝送システムの構成例＞

【0059】

図7は、本技術を適用した伝送システム（システムとは、複数の装置が論理的に集合した物をいい、各構成の装置が同一筐体中にあるか否かは、問わない）の一実施の形態の構成例を示す図である。

【0060】

図7において、伝送システムは、送信装置11と受信装置12とから構成される。

【0061】

送信装置11は、例えば、テレビジョン放送の番組等の送信（放送）（伝送）を行う。すなわち、送信装置11は、例えば、番組としての画像データや音声データ等の、送信の対象である対象データをLDPC符号に符号化し、例えば、衛星回線や、地上波、ケーブル（有線回線）等の通信路13を介して送信する。

【0062】

受信装置12は、送信装置11から通信路13を介して送信されてくるLDPC符号を受信し、対象データに復号して出力する。

【0063】

ここで、図7の伝送システムで使用されるLDPC符号は、AWGN(Additive White Gaussian Noise)通信路で極めて高い能力を発揮することが知られている。

【0064】

一方、通信路13では、バースト(burst)誤りやイレージャ(erasure)が発生することがある。例えば、特に、通信路13が地上波である場合、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)システムでは、D/U(Desired to Undesired Ratio)が0dB(Undesired=echoのパワーがDesired=メインパスのパワーと等しい)のマルチパス環境において、エコー(echo)（メインパス以外のパス）の遅延(delay)に応じて、特定のシンボルのパワーが0になってしまう(erasure)ことがある。

【0065】

また、フラッタ(flutter)(遅延が0でドップラ(doppler)周波数の掛かったechoが加算される通信路)でも、D/Uが0dBである場合には、ドップラ周波数によって、特定の時刻のOFDMのシンボル全体のパワーが0になる(erasure)場合が生じる。

【0066】

さらに、受信装置12側の、送信装置11からの信号を受信するアンテナ等の受信部（図示せず）から受信装置12までの配線の状況や、受信装置12の電源の不安定性により、バースト誤りが発生することがある。

【0067】

一方、LDPC符号の復号においては、検査行列Hの列、ひいては、LDPC符号の符号ビットに対応するバリエブルノードにおいて、図5に示したように、LDPC符号の符号ビット（の受信値 u_{0i} ）の加算を伴う式（1）のバリエブルノード演算が行われるため、そのバリエブルノード演算に用いられる符号ビットにエラーが生じると、求められるメッセージの精度が低下する。

【0068】

そして、LDPC符号の復号では、チェックノードにおいて、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノードで求められるメッセージを用いて、式（7）のチェックノード演算が行われるため、繋がっている複数のバリエブルノード（に対応するLDPC符号の符号ビット）が同時にエラー（イレージャを含む）となるチェックノードの数が多くなると、復号の性能が劣化する。

【0069】

10

20

30

40

50

すなわち、例えば、チェックノードは、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノードの2個以上が同時にイレージャになると、全バリエブルノードに、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを戻す。この場合、等確率のメッセージを戻すチェックノードは、1回の復号処理（1セットのバリエブルノード演算及びチェックノード演算）に寄与しないこととなり、その結果、復号処理の繰り返し回数を多く必要とすることになって、復号の性能が劣化し、さらに、LDPC符号の復号を行う受信装置12の消費電力が増大する。

【0070】

そこで、図7の伝送システムでは、AWGN通信路（AWGNチャネル）での性能を維持しつつ、バースト誤りやイレージャへの耐性を向上させることが可能になっている。

10

【0071】

＜送信装置11の構成例＞

【0072】

図8は、図7の送信装置11の構成例を示すブロック図である。

【0073】

送信装置11では、対象データとしての1以上のインプットストリーム(Input Streams)が、モードアダプテーション／マルチプレクサ(Mode Adaptation/Multiplexer)111に供給される。

【0074】

モードアダプテーション／マルチプレクサ111は、モード選択、及び、そこに供給される1以上のインプットストリームの多重化等の処理を必要に応じて行い、その結果得られるデータを、パダー(padder)112に供給する。

20

【0075】

パダー112は、モードアダプテーション／マルチプレクサ111からのデータに対して、必要なゼロ詰め(Nullの挿入)を行い、その結果得られるデータを、BBスクランブラ(BB Scrambler)113に供給する。

【0076】

BBスクランブラ113は、パダー112からのデータに、BBスクランブル(Base-Band Scrambling)を施し、その結果得られるデータを、BCHエンコーダ(BCH encoder)114に供給する。

30

【0077】

BCHエンコーダ114は、BBスクランブラ113からのデータをBCH符号化し、その結果得られるデータを、LDPC符号化の対象であるLDPC対象データとして、LDPCエンコーダ(LDPC encoder)115に供給する。

【0078】

LDPCエンコーダ115（符号化部）は、BCHエンコーダ114からのLDPC対象データについて、例えば、LDPC符号のパリティビットに対応する部分であるパリティ行列が階段(dual diagonal)構造になっている検査行列等に従ったLDPC符号化を行い、LDPC対象データを情報ビットとするLDPC符号を出力する。

【0079】

40

すなわち、LDPCエンコーダ115は、LDPC対象データを、例えば、DVB-S.2や、DVB-T.2、DVB-C.2、ATSC3.0等の所定の規格に規定されている（検査行列に対応する）LDPC符号、その他のLDPC符号に符号化するLDPC符号化を行い、その結果得られるLDPC符号を出力する。

【0080】

ここで、DVB-S.2やATSC3.0の規格に規定されているLDPC符号は、IRA(Irregular Repeat Accumulate)符号であり、そのLDPC符号の検査行列におけるパリティ行列（の一部又は全部）は、階段構造になっている。パリティ行列、及び、階段構造については、後述する。また、IRA符号については、例えば、"Irregular Repeat-Accumulate Codes," H. Jin, A. Khandekar, and R. J. McEliece, in Proceedings of 2nd International Symposium on

50

Turbo codes and Related Topics, pp. 1-8, Sept. 2000に記載されている。

【0081】

LDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号は、ビットインターリーブ(Bit Interleaver)116に供給される。

【0082】

ビットインターリーブ116は、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号について、後述するビットインターリーブを行い、そのビットインターリーブ後のLDPC符号を、マッパ(Mapper)117に供給する。

【0083】

マッパ117は、ビットインターリーブ116からのLDPC符号を、そのLDPC符号の1ビット以上の符号ビットの単位(シンボル単位)で、直交変調の1つのシンボルを表す信号点にマッピングして直交変調(多値変調)を行う。

10

【0084】

すなわち、マッパ117は、ビットインターリーブ116からのLDPC符号を、搬送波と同相のI成分を表すI軸と、搬送波と直交するQ成分を表すQ軸とで規定されるIQ平面であるコンスタレーション上の、LDPC符号の直交変調を行う変調方式で定める信号点にマッピングして直交変調を行う。

【0085】

マッパ117で行われる直交変調の変調方式で使用するコンスタレーションの信号点の数が、 2^m 個である場合、LDPC符号のmビットの符号ビットを、シンボル(1シンボル)として、マッパ117では、ビットインターリーブ116からのLDPC符号が、シンボル単位で、 2^m 個の信号点のうちの、シンボルを表す信号点にマッピングされる。

20

【0086】

ここで、マッパ117で行われる直交変調の変調方式としては、例えば、DVB-S.2やATSC 3.0の規格等に規定されている変調方式、その他の変調方式、すなわち、例えば、BPSK(Binary Phase Shift Keying)や、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)等がある。マッパ117において、いずれの変調方式による直交変調が行われるかは、例えば、送信装置11のオペレータの操作等に従って、あらかじめ設定される。

30

【0087】

マッパ117での処理により得られるデータ(シンボルを信号点にマッピングしたマッピング結果)は、時間インターリーブ(Time Interleaver)118に供給される。

【0088】

時間インターリーブ118は、マッパ117からのデータについて、シンボル単位での時間インターリーブ(時間方向のインターリーブ)を行い、その結果得られるデータを、SISO/MISOエンコーダ(SISO/MISO(Single Input Single Output/Multiple Input Single Output) encoder)119に供給する。

【0089】

SISO/MISOエンコーダ119は、時間インターリーブ118からのデータに、時空間符号化を施し、周波数インターリーブ(Frequency Interleaver)120に供給する。

40

【0090】

周波数インターリーブ120は、SISO/MISOエンコーダ119からのデータについて、シンボル単位での周波数インターリーブ(周波数方向のインターリーブ)を行い、フレームビルダ/リソースアロケーション部(Frame Builder & Resource Allocation)131に供給する。

【0091】

一方、BCHエンコーダ121には、例えば、BBシグナリング(Base Band Signalling)(BB Header)等の伝送制御用の制御データ(signalling)が供給される。

【0092】

50

BCHエンコーダ121は、そこに供給される制御データを、BCHエンコーダ114と同様にBCH符号化し、その結果得られるデータを、LDPCエンコーダ122に供給する。

【0093】

LDPCエンコーダ122は、BCHエンコーダ121からのデータを、LDPC対象データとして、LDPCエンコーダ115と同様にLDPC符号化し、その結果得られるLDPC符号を、マップ123に供給する。

【0094】

マップ123は、マップ117と同様に、LDPCエンコーダ122からのLDPC符号を、そのLDPC符号の1ビット以上の符号ビットの単位（シンボル単位）で、直交変調の1つのシンボルを表す信号点にマッピングして直交変調を行い、その結果得られるデータを、周波数インターリーバ124に供給する。

10

【0095】

周波数インターリーバ124は、周波数インターリーバ120と同様に、マップ123からのデータについて、シンボル単位での周波数インターリーブを行い、フレームビルダ／リソースアロケーション部131に供給する。

【0096】

フレームビルダ／リソースアロケーション部131は、周波数インターリーバ120、及び、124からのデータ（シンボル）の必要な位置に、パイロット(Pilot)のシンボルを挿入し、その結果得られるデータ（シンボル）から、所定の数のシンボルで構成されるフレーム（例えば、PL(Physical Layer)フレームや、T2フレーム、C2フレーム等）を構成して、OFDM生成部(OFDM generation)132に供給する。

20

【0097】

OFDM生成部132は、フレームビルダ／リソースアロケーション部131からのフレームから、そのフレームに対応するOFDM信号を生成し、通信路13（図7）を介して送信する。

【0098】

なお、送信装置11は、例えば、時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124等の、図8に図示したブロックの一部を設けずに構成することができる。

【0099】

<ビットインターリーバ116の構成例>

30

【0100】

図9は、図8のビットインターリーバ116の構成例を示すブロック図である。

【0101】

ビットインターリーバ116は、データをインターリーブする機能を有し、パリティインターリーバ(Parity Interleaver)23、グループワイズインターリーバ(Group-Wise Interleaver)24、及びブロックインターリーバ(Block Interleaver)25から構成される。

【0102】

パリティインターリーバ23は、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号のパリティビットを、他のパリティビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブを行い、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号を、グループワイズインターリーバ24に供給する。

40

【0103】

グループワイズインターリーバ24は、パリティインターリーバ23からのLDPC符号について、グループワイズインターリーブを行い、そのグループワイズインターリーブ後のLDPC符号を、ブロックインターリーバ25に供給する。

【0104】

ここで、グループワイズインターリーブでは、1符号分のLDPC符号を、その先頭から、後述するパラレルファクタPに等しい360ビット単位に区分した、その1区分の360ビットを

50

、ビットグループとして、パリティインターリーブ23からのLDPC符号が、ビットグループ単位でインターリーブされる。

【0105】

グループワイズインターリーブを行う場合には、グループワイズインターリーブを行わない場合に比較して、エラーレートを改善させることができ、その結果、データ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

【0106】

ブロックインターリーブ25は、グループワイズインターリーブ24からのLDPC符号を逆多重化するためのブロックインターリーブを行うことで、例えば、1符号分のLDPC符号を、マッピングの単位であるmビットのシンボルにシンボル化し、マップ117（図8）

10

に供給する。

【0107】

ここで、ブロックインターリーブでは、例えば、カラム(column)（縦）方向に所定のビット数を記憶する記憶領域としてのカラムが、ロウ(row)（横）方向に、シンボルのビット数mに等しい数だけ並んだ記憶領域に対して、グループワイズインターリーブ24からのLDPC符号が、カラム方向に書き込まれ、ロウ方向に読み出されることで、LDPC符号が、mビットのシンボルにシンボル化される。

【0108】

<LDPC符号の検査行列>

【0109】

20

図10は、図8のLDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列Hの例を示す図である。

【0110】

検査行列Hは、LDGM(Low-Density Generation Matrix)構造になっており、LDPC符号の符号ビットのうちの、情報ビットに対応する部分の情報行列 H_A と、パリティビットに対応するパリティ行列 H_T とによって、式 $H=[H_A | H_T]$ （情報行列 H_A の要素を左側の要素とし、パリティ行列 H_T の要素を右側の要素とする行列）で表すことができる。

【0111】

ここで、1符号のLDPC符号（1符号語）の符号ビットのうちの情報ビットのビット数と、パリティビットのビット数を、それぞれ、情報長Kと、パリティ長Mというとともに、1

30

個（1符号語）のLDPC符号の符号ビットのビット数を、符号長 $N(=K+M)$ という。

【0112】

ある符号長NのLDPC符号についての情報長Kとパリティ長Mは、符号化率によって決まる。また、検査行列Hは、行×列が $M \times N$ の行列（M行N列の行列）となる。そして、情報行列 H_A は、 $M \times K$ の行列となり、パリティ行列 H_T は、 $M \times M$ の行列となる。

【0113】

図11は、図8のLDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列Hのパリティ行列 H_T の例を示す図である。

【0114】

LDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列Hのパリティ行列 H_T としては、例えば、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hと同様のパリティ行列 H_T を採用することができる。

40

【0115】

DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hのパリティ行列 H_T は、図11に示すように、1の要素が、いわば階段状に並ぶ階段構造の行列(lower bidiagonal matrix)になっている。パリティ行列 H_T の行重みは、1行目については1で、残りの全ての行については2になっている。また、列重みは、最後の1列については1で、残りの全ての列で2になっている。

【0116】

以上のように、パリティ行列 H_T が階段構造になっている検査行列HのLDPC符号は、その

50

検査行列Hを用いて、容易に生成することができる。

【0117】

すなわち、LDPC符号（1符号語）を、行ベクトルcで表すとともに、その行ベクトルを転置して得られる列ベクトルを、 c^T と表す。また、LDPC符号である行ベクトルcのうちの、情報ビットの部分、行ベクトルAで表すとともに、パリティビットの部分、行ベクトルTで表すこととする。

【0118】

この場合、行ベクトルcは、情報ビットとしての行ベクトルAと、パリティビットとしての行ベクトルTとによって、式 $c = [A|T]$ （行ベクトルAの要素を左側の要素とし、行ベクトルTの要素を右側の要素とする行ベクトル）で表すことができる。

10

【0119】

検査行列Hと、LDPC符号としての行ベクトル $c = [A|T]$ とは、式 $Hc^T = 0$ を満たす必要があり、かかる式 $Hc^T = 0$ を満たす行ベクトル $c = [A|T]$ を構成するパリティビットとしての行ベクトルTは、検査行列 $H = [H_A|H_T]$ のパリティ行列 H_T が、図11に示した階段構造になっている場合には、式 $Hc^T = 0$ における列ベクトル Hc^T の1行目の要素から順に、各行の要素を0にしていくようにすることで、逐次的（順番）に求めることができる。

【0120】

図12は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

【0121】

20

DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hの1列目からのKX列については、列重みがXに、その後のK3列については、列重みが3に、その後のM-1列については、列重みが2に、最後の1列については、列重みが1に、それぞれなっている。

【0122】

ここで、 $KX + K3 + M - 1 + 1$ は、符号長Nに等しい。

【0123】

図13は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の各符号化率rについての、列数KX、K3、及びM、並びに、列重みXを示す図である。

【0124】

DVB-T.2等の規格では、64800ビットと16200ビットの符号長NのLDPC符号が規定されている。

30

【0125】

そして、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率(nominal rate) $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9$ 、及び $9/10$ が規定されており、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6$ 、及び $8/9$ が規定されている。

【0126】

ここで、以下、64800ビットの符号長Nを、64kビットともいい、16200ビットの符号長Nを、16kビットともいう。

【0127】

40

LDPC符号については、検査行列Hの列重みが大の列に対応する符号ビットほど、エラーレートが低い傾向がある。

【0128】

図12及び図13に示した、DVB-T.2等の規格に規定されている検査行列Hでは、先頭側（左側）の列ほど、列重みが大の傾向にあり、したがって、その検査行列Hに対応するLDPC符号については、先頭の符号ビットほど、エラーに強く（エラーに対する耐性があり）、終わりの符号ビットほど、エラーに弱い傾向がある。

【0129】

<パリティインターリーブ>

【0130】

50

図14ないし図16を参照して、図9のパリティインターリーブ23によるパリティインターリーブについて説明する。

【0131】

図14は、LDPC符号の検査行列のタナグラフ（の一部）の例を示す図である。

【0132】

チェックノードは、図14に示すように、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノード（に対応する符号ビット）の2個等の複数が同時にイレージャ等のエラーになると、そのチェックノードに繋がっている全バリエブルノードに、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを戻す。このため、同一のチェックノードに繋がっている複数のバリエブルノードが同時にイレージャ等になると、復号の性能が劣化する。

10

【0133】

ところで、図8のLDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号は、例えば、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号と同様に、IRA符号であり、検査行列Hのパリティ行列 H_T は、図11に示したように、階段構造になっている。

【0134】

図15は、図11に示したように、階段構造になっているパリティ行列 H_T と、そのパリティ行列 H_T に対応するタナグラフの例を示す図である。

【0135】

図15のAは、階段構造になっているパリティ行列 H_T の例を示しており、図15のBは、図15のAのパリティ行列 H_T に対応するタナグラフを示している。

20

【0136】

階段構造になっているパリティ行列 H_T では、各行において、1の要素が隣接する（1行目を除く）。このため、パリティ行列 H_T のタナグラフにおいて、パリティ行列 H_T の値が1になっている隣接する2つの要素の列に対応する、隣接する2つのバリエブルノードは、同一のチェックノードに繋がっている。

【0137】

したがって、バースト誤りやイレージャ等によって、上述の隣接する2つのバリエブルノードに対応するパリティビットが同時にエラーとなると、そのエラーとなった2つのパリティビットに対応する2つのバリエブルノード（パリティビットを用いてメッセージを求めるバリエブルノード）に繋がっているチェックノードは、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノードに戻すため、復号の性能が劣化する。そして、バースト長（連続してエラーとなるパリティビットのビット数）が大になると、等確率のメッセージを戻すチェックノードが増加し、復号の性能は、さらに劣化する。

30

【0138】

そこで、パリティインターリーブ23（図9）は、上述した復号の性能の劣化を防止するため、LDPCエンコーダ115からの、LDPC符号のパリティビットを、他のパリティビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブを行う。

【0139】

図16は、図9のパリティインターリーブ23が行うパリティインターリーブ後のLDPC符号に対応する検査行列Hのパリティ行列 H_T を示す図である。

40

【0140】

ここで、LDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号に対応する検査行列Hの情報行列 H_A は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号に対応する検査行列Hの情報行列と同様に、巡回構造になっている。

【0141】

巡回構造とは、ある列が、他の列をサイクリックシフトしたものと一致している構造をいい、例えば、P列ごとに、そのP列の各行の1の位置が、そのP列の最初の列を、パリティ長Mを除算して得られる値qに比例する値等の所定の値だけ、列方向にサイクリックシフトした位置になっている構造も含まれる。以下、適宜、巡回構造におけるP列を、パラレル

50

ファクタという。

【0142】

DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号としては、図12及び図13で説明したように、符号長 N が64800ビットと16200ビットとの、2種類のLDPC符号があり、その2種類のLDPC符号のいずれについても、パラレルファクタ P が、パリティ長 M の約数のうちの、1と M を除く約数の1つである360に規定されている。

【0143】

また、パリティ長 M は、符号化率によって異なる値 q を用いて、式 $M=q \times P=q \times 360$ で表される素数以外の値になっている。したがって、値 q も、パラレルファクタ P と同様に、パリティ長 M の約数のうちの、1と M を除く約数の他の1つであり、パリティ長 M を、パラレルファクタ P で除算することにより得られる（パリティ長 M の約数である P 及び q の積は、パリティ長 M となる）。

10

【0144】

パリティインターリーブ23は、上述したように、情報長を K とし、また、0以上 P 未満の整数を x とするとともに、0以上 q 未満の整数を y とすると、パリティインターリーブとして、 N ビットのLDPC符号の符号ビットのうちの、 $K+qx+y+1$ 番目の符号ビットを、 $K+Py+x+1$ 番目の符号ビットの位置にインターリーブする。

【0145】

$K+qx+y+1$ 番目の符号ビット、及び、 $K+Py+x+1$ 番目の符号ビットは、いずれも、 $K+1$ 番目以降の符号ビットであるから、パリティビットであり、したがって、パリティインターリーブによれば、LDPC符号のパリティビットの位置が移動される。

20

【0146】

このようなパリティインターリーブによれば、同一のチェックノードに繋がれるバリエブルノード（に対応するパリティビット）が、パラレルファクタ P 、すなわち、ここでは、360ビットだけ離れるので、バースト長が360ビット未満である場合には、同一のチェックノードに繋がっているバリエブルノードの複数が同時にエラーになる事態を避けることができ、その結果、バースト誤りに対する耐性を改善することができる。

【0147】

なお、 $K+qx+y+1$ 番目の符号ビットを、 $K+Py+x+1$ 番目の符号ビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブ後のLDPC符号は、元の検査行列 H の、 $K+qx+y+1$ 番目の列を、 $K+Py+x+1$ 番目の列に置換する列置換を行って得られる検査行列（以下、変換検査行列ともいう）のLDPC符号に一致する。

30

【0148】

また、変換検査行列のパリティ行列には、図16に示すように、 P 列（図16では、360列）を単位とする擬似巡回構造が現れる。

【0149】

ここで、擬似巡回構造とは、一部を除く部分が巡回構造になっている構造を意味する。

【0150】

DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列に対して、パリティインターリーブに相当する列置換を施して得られる変換検査行列は、変換検査行列の右上隅部分の360行 $\times$ 360列の部分（後述するシフト行列）に、1の要素が1つだけならず（0の要素になっており）、その点で、（完全な）巡回構造ではなく、いわば、擬似巡回構造になっている。

40

【0151】

LDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号の検査行列に対する変換検査行列は、例えば、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列に対する変換検査行列と同様に、擬似巡回構造になっている。

【0152】

なお、図16の変換検査行列は、元の検査行列 H に対して、パリティインターリーブに相当する列置換の他、変換検査行列が、後述する構成行列で構成されるようにするための

50

行の置換（行置換）も施された行列になっている。

【0153】

図17は、図8のLDPCエンコーダ115、ビットインターリーブ116、及び、マップ117で行われる処理を説明するフローチャートである。

【0154】

LDPCエンコーダ115は、BCHエンコーダ114から、LDPC対象データが供給されるのを待って、ステップS101において、LDPC対象データを、LDPC符号に符号化し、そのLDPC符号を、ビットインターリーブ116に供給して、処理は、ステップS102に進む。

【0155】

ビットインターリーブ116は、ステップS102において、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号を対象として、ビットインターリーブを行い、そのビットインターリーブによって得られるシンボルを、マップ117に供給して、処理は、ステップS103に進む。

10

【0156】

すなわち、ステップS102では、ビットインターリーブ116（図9）において、パリティインターリーブ23が、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号を対象として、パリティインターリーブを行い、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号を、グループワイズインターリーブ24に供給する。

【0157】

グループワイズインターリーブ24は、パリティインターリーブ23からのLDPC符号を対象として、グループワイズインターリーブを行い、ブロックインターリーブ25に供給する。

20

【0158】

ブロックインターリーブ25は、グループワイズインターリーブ24によるグループワイズインターリーブ後のLDPC符号を対象として、ブロックインターリーブを行い、その結果得られるmビットのシンボルを、マップ117に供給する。

【0159】

マップ117は、ステップS103において、ブロックインターリーブ25からのシンボルを、マップ117で行われる直交変調の変調方式で定める 2^m 個の信号点のいずれかにマッピングして直交変調し、その結果得られるデータを、時間インターリーブ118に供給する。

30

【0160】

以上のように、パリティインターリーブや、グループワイズインターリーブを行うことで、LDPC符号の複数の符号ビットを1個のシンボルとして送信する場合のエラーレートを改善することができる。

【0161】

ここで、図9では、説明の便宜のため、パリティインターリーブを行うブロックであるパリティインターリーブ23と、グループワイズインターリーブを行うブロックであるグループワイズインターリーブ24とを、別個に構成するようにしたが、パリティインターリーブ23とグループワイズインターリーブ24とは、一体的に構成することができる。

40

【0162】

すなわち、パリティインターリーブと、グループワイズインターリーブとは、いずれも、メモリに対する符号ビットの書き込み、及び読み出しによって行うことができ、符号ビットの書き込みを行うアドレス（書き込みアドレス）を、符号ビットの読み出しを行うアドレス（読み出しアドレス）に変換する行列によって表すことができる。

【0163】

したがって、パリティインターリーブを表す行列と、グループワイズインターリーブを表す行列とを乗算して得られる行列を求めておけば、それらの行列によって、符号ビットを変換することで、パリティインターリーブを行い、さらに、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号をグループワイズインターリーブした結果を得ることができる。

50

【0164】

また、パリティインターリーブ23とグループワイズインターリーブ24に加えて、ブロックインターリーブ25も、一体的に構成することが可能である。

【0165】

すなわち、ブロックインターリーブ25で行われるブロックインターリーブも、LDPC符号を記憶するメモリの書き込みアドレスを、読み出しアドレスに変換する行列によって表すことができる。

【0166】

したがって、パリティインターリーブを表す行列、グループワイズインターリーブを表す行列、及び、ブロックインターリーブを表す行列を乗算して得られる行列を求めておけば、それらの行列によって、パリティインターリーブ、グループワイズインターリーブ、及び、ブロックインターリーブを、一括して行うことができる。

10

【0167】

なお、パリティインターリーブ及びグループワイズインターリーブのうち的一方又は量は、行わないこととすることができる。

【0168】

<LDPCエンコーダ115の構成例>

【0169】

図18は、図8のLDPCエンコーダ115の構成例を示すブロック図である。

【0170】

20

なお、図8のLDPCエンコーダ122も、同様に構成される。

【0171】

図12及び図13で説明したように、DVB-T.2等の規格では、64800ビットと16200ビットとの2通りの符号長NのLDPC符号が規定されている。

【0172】

そして、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9$ 、及び $9/10$ が規定されており、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6$ 、及び $8/9$ が規定されている（図12及び図13）。

【0173】

30

LDPCエンコーダ115は、例えば、このような、符号長Nが64800ビットや16200ビットの各符号化率のLDPC符号による符号化（誤り訂正符号化）を、符号長Nごと、及び符号化率ごとに用意された検査行列Hに従って行うことができる。

【0174】

また、LDPCエンコーダ115は、符号長Nが17280ビットその他の任意の符号長Nの、符号化率が $2/16, 3/16, 4/16, 5/16, 6/16, 7/16, 8/16, 9/16, 10/16, 11/16, 12/16, 13/16, 14/16$ その他の任意の符号化率rのLDPC符号の検査行列Hに従って、LDPC符号化を行うことができる。

【0175】

LDPCエンコーダ115は、符号化処理部601と記憶部602とから構成される。

40

【0176】

符号化処理部601は、符号化率設定部611、初期値テーブル読み出し部612、検査行列生成部613、情報ビット読み出し部614、符号化パリティ演算部615、及び制御部616から構成され、LDPCエンコーダ115に供給されるLDPC対象データのLDPC符号化を行い、その結果得られるLDPC符号を、ビットインターリーブ116（図8）に供給する。

【0177】

すなわち、符号化率設定部611は、例えば、オペレータの操作等に応じて、LDPC符号の符号長Nや符号化率r、その他、LDPC符号を特定する特定情報を設定する。

【0178】

50

初期値テーブル読み出し部 6 1 2 は、符号化率設定部 6 1 1 が設定した特定情報によって特定される LDPC 符号の検査行列を表す、後述する検査行列初期値テーブルを、記憶部 6 0 2 から読み出す。

【0 1 7 9】

検査行列生成部 6 1 3 は、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 が読み出した検査行列初期値テーブルに基づいて、検査行列 H を生成し、記憶部 6 0 2 に格納する。例えば、検査行列生成部 6 1 3 は、符号化率設定部 6 1 1 が設定した符号長 N 及び符号化率 r に応じた情報長 $K (= \text{符号長 } N - \text{パリティ長 } M)$ に対応する情報行列 H_A の 1 の要素を列方向に 360 列（パラレルファクタ P ）ごとの周期で配置して検査行列 H を生成し、記憶部 6 0 2 に格納する。

【0 1 8 0】

情報ビット読み出し部 6 1 4 は、LDPC エンコーダ 1 1 5 に供給される LDPC 対象データから、情報長 K 分の情報ビットを読み出す（抽出する）。

【0 1 8 1】

符号化パリティ演算部 6 1 5 は、検査行列生成部 6 1 3 が生成した検査行列 H を記憶部 6 0 2 から読み出し、その検査行列 H を用いて、情報ビット読み出し部 6 1 4 が読み出した情報ビットに対するパリティビットを所定の式に基づいて算出することにより、符号語（LDPC 符号）を生成する。

【0 1 8 2】

制御部 6 1 6 は、符号化処理部 6 0 1 を構成する各ブロックを制御する。

【0 1 8 3】

記憶部 6 0 2 には、例えば、64800 ビットや 16200 ビット等の符号長 N それぞれについての、図 1 2 及び図 1 3 に示した複数の符号化率等それぞれに対応する複数の検査行列初期値テーブルや、符号長 N が 17280 ビットについての、符号化率が $2/16, 3/16, 4/16, 5/16, 6/16, 7/16, 8/16, 9/16, 10/16, 11/16, 12/16, 13/16, 14/16$ それぞれに対応する検査行列初期値テーブル、その他任意の符号長 N で、任意の符号化率 r の LDPC 符号の検査行列 H の検査行列初期値テーブルが記憶される。また、記憶部 6 0 2 は、符号化処理部 6 0 1 の処理上必要なデータを一時記憶する。

【0 1 8 4】

図 1 9 は、図 1 8 の LDPC エンコーダ 1 1 5 の処理の例を説明するフローチャートである。

【0 1 8 5】

ステップ S 2 0 1 において、符号化率設定部 6 1 1 は、LDPC 符号化を行う符号長 N 及び符号化率 r 、その他の LDPC 符号を特定する特定情報を設定する。

【0 1 8 6】

ステップ S 2 0 2 において、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 は、符号化率設定部 6 1 1 により設定された特定情報としての符号長 N 及び符号化率 r 等により特定される、予め定められた検査行列初期値テーブルを、記憶部 6 0 2 から読み出す。

【0 1 8 7】

ステップ S 2 0 3 において、検査行列生成部 6 1 3 は、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 が記憶部 6 0 2 から読み出した検査行列初期値テーブルを用いて、符号化率設定部 6 1 1 により設定された符号長 N 及び符号化率 r の LDPC 符号の検査行列 H を求め（生成し）、記憶部 6 0 2 に供給して格納する。

【0 1 8 8】

ステップ S 2 0 4 において、情報ビット読み出し部 6 1 4 は、LDPC エンコーダ 1 1 5 に供給される LDPC 対象データから、符号化率設定部 6 1 1 により設定された符号長 N 及び符号化率 r に対応する情報長 $K (= N \times r)$ の情報ビットを読み出すとともに、検査行列生成部 6 1 3 が求めた検査行列 H を、記憶部 6 0 2 から読み出し、符号化パリティ演算部 6 1 5 に供給する。

【0 1 8 9】

ステップ S 2 0 5 において、符号化パリティ演算部 6 1 5 は、情報ビット読み出し部 6

10

20

30

40

50

14からの情報ビットと検査行列Hとを用い、式(8)を満たす符号語cのパリティビットを順次演算する。

【0190】

$$Hc^T=0$$

・・・(8)

【0191】

式(8)において、cは、符号語(LDPC符号)としての行ベクトルを表し、 c^T は、行ベクトルcの転置を表す。

【0192】

ここで、上述したように、LDPC符号(1符号語)としての行ベクトルcのうちの、情報ビットの部分、行ベクトルAで表すとともに、パリティビットの部分、行ベクトルTで表す場合には、行ベクトルcは、情報ビットとしての行ベクトルAと、パリティビットとしての行ベクトルTとによって、式 $c=[A|T]$ で表すことができる。

【0193】

検査行列Hと、LDPC符号としての行ベクトル $c=[A|T]$ とは、式 $Hc^T=0$ を満たす必要があり、かかる式 $Hc^T=0$ を満たす行ベクトル $c=[A|T]$ を構成するパリティビットとしての行ベクトルTは、検査行列 $H=[H_A|H_T]$ のパリティ行列 H_T が、図11に示した階段構造になっている場合には、式 $Hc^T=0$ における列ベクトル Hc^T の1行目の要素から順に、各行の要素を0にしていくようにすることで、逐次的に求めることができる。

【0194】

符号化パリティ演算部615は、情報ビット読み出し部614からの情報ビットAに対して、パリティビットTを求め、その情報ビットAとパリティビットTとによって表される符号語 $c=[A|T]$ を、情報ビットAのLDPC符号化結果として出力する。

【0195】

その後、ステップS206において、制御部616は、LDPC符号化を終了するかどうかを判定する。ステップS206において、LDPC符号化を終了しないと判定された場合、すなわち、例えば、LDPC符号化すべきLDPC対象データが、まだある場合、処理は、ステップS201(又は、ステップS204)に戻り、以下、ステップS201(又は、ステップS204)ないしS206の処理が繰り返される。

【0196】

また、ステップS206において、LDPC符号化を終了すると判定された場合、すなわち、例えば、LDPC符号化すべきLDPC対象データがない場合、LDPCエンコーダ115は、処理を終了する。

【0197】

LDPCエンコーダ115については、様々な符号長Nや符号化率rのLDPC符号の(検査行列を表す)検査行列初期値テーブルをあらかじめ用意することができる。LDPCエンコーダ115では、あらかじめ用意された検査行列初期値テーブルから生成される検査行列Hを用いて、様々な符号長Nや符号化率rのLDPC符号へのLDPC符号化を行うことができる。

【0198】

<検査行列初期値テーブルの例>

【0199】

検査行列初期値テーブルは、例えば、検査行列Hの、LDPC符号(検査行列Hによって定義されるLDPC符号)の符号長N及び符号化率rに応じた情報長Kに対応する情報行列 H_A (図10)の1の要素の位置を360列(パラレルファクタP)ごとに表すテーブルであり、各符号長N及び各符号化率rの検査行列Hごとに、あらかじめ作成される。

【0200】

すなわち、検査行列初期値テーブルは、少なくとも、情報行列 H_A の1の要素の位置を360列(パラレルファクタP)ごとに表す。

【0201】

また、検査行列Hには、パリティ行列 H_T の全部が階段構造になっている検査行列や、パ

リティ行列 H_T の一部が階段構造になっており、残りの部分が対角行列（単位行列）になっている検査行列がある。

【0202】

以下、パリティ行列 H_T の一部が階段構造になっており、残りの部分が対角行列になっている検査行列を表す検査行列初期値テーブルの表現方式を、タイプA方式ともいう。また、パリティ行列 H_T の全部が階段構造になっている検査行列を表す検査行列初期値テーブルの表現方式を、タイプB方式ともいう。

【0203】

また、タイプA方式の検査行列初期値テーブルが表す検査行列に対するLDPC符号を、タイプA符号ともいい、タイプB方式の検査行列初期値テーブルが表す検査行列に対するLDPC符号を、タイプB符号ともいう。

10

【0204】

「タイプA」及び「タイプB」の呼称は、ATSC 3.0の規格に準じた呼称である。例えば、ATSC3.0では、タイプA符号及びタイプB符号の両方が採用されている。

【0205】

なお、DVB-T.2等では、タイプB符号が採用されている。

【0206】

図20は、タイプB方式の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0207】

すなわち、図20は、DVB-T.2の規格に規定されている、符号長 N が16200ビットの、符号化率（DVB-T.2の表記上の符号化率） r が $1/4$ のタイプB符号の（検査行列 H を表す）検査行列初期値テーブルを示している。

20

【0208】

検査行列生成部613（図18）は、タイプB方式の検査行列初期値テーブルを用いて、以下のように、検査行列 H を求める。

【0209】

図21は、タイプB方式の検査行列初期値テーブルから検査行列 H を求める方法を説明する図である。

【0210】

すなわち、図21は、DVB-T.2の規格に規定されている、符号長 N が16200ビットの、符号化率 r が $2/3$ のタイプB符号の検査行列初期値テーブルを示している。

30

【0211】

タイプB方式の検査行列初期値テーブルは、LDPC符号の符号長 N 及び符号化率 r に応じた情報長 K に対応する情報行列 H_A の全体の1の要素の位置を、360列（パラレルファクタ P ）ごとに表すテーブルであり、その i 行目には、検査行列 H の $1+360 \times (i-1)$ 列目の1の要素の行番号（検査行列 H の1行目の行番号を0とする行番号）が、その $1+360 \times (i-1)$ 列目の列が持つ列重みの数だけ並んでいる。

【0212】

ここで、タイプB方式の検査行列 H の、パリティ長 M に対応するパリティ行列 H_T （図10）は、図15に示したように階段構造に決まっているので、検査行列初期値テーブルにより、情報長 K に対応する情報行列 H_A （図10）を求めることができれば、検査行列 H を求めることができる。

40

【0213】

タイプB方式の検査行列初期値テーブルの行数 $k+1$ は、情報長 K によって異なる。

【0214】

情報長 K と、検査行列初期値テーブルの行数 $k+1$ との間には、式（9）の関係が成り立つ。

【0215】

$$K = (k+1) \times 360$$

・・・（9）

50

【0216】

ここで、式(9)の360は、図16で説明したパラレルファクタPである。

【0217】

図21の検査行列初期値テーブルでは、1行目から3行目までに、13個の数値が並び、4行目からk+1行目(図21では、30行目)までに、3個の数値が並んでいる。

【0218】

したがって、図21の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hの列重みは、1列目から、 $1+360 \times (3-1)-1$ 列目までは、13であり、 $1+360 \times (3-1)$ 列目から、K列目までは、3である。

【0219】

図21の検査行列初期値テーブルの1行目は、0,2084,1613,1548,1286,1460,3196,4297,2481,3369,3451,4620,2622となっており、これは、検査行列Hの1列目において、行番号が、0,2084,1613,1548,1286,1460,3196,4297,2481,3369,3451,4620,2622の行の要素が1であること(かつ、他の要素が0であることを)を示している。

【0220】

また、図21の検査行列初期値テーブルの2行目は、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108となっており、これは、検査行列Hの361($=1+360 \times (2-1)$)列目において、行番号が、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108の行の要素が1であることを示している。

【0221】

以上のように、検査行列初期値テーブルは、検査行列Hの情報行列 H_A の1の要素の位置を360列ごとに表す。

【0222】

検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列、つまり、 $2+360 \times (i-1)$ 列目から、 $360 \times i$ 列目までの各列は、検査行列初期値テーブルによって定まる $1+360 \times (i-1)$ 列目の1の要素を、パリティ長Mに従って下方向(列の下方向)に、周期的にサイクリックシフトして配置したものになっている。

【0223】

すなわち、例えば、 $2+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたものとなっており、次の $3+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $2 \times M/360(=2 \times q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの($2+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの)となっている。

【0224】

いま、検査行列初期値テーブルのi行目(上からi番目)のj列目(左からj番目)の数値を、 $h_{i,j}$ と表すとともに、検査行列Hのw列目の、j個目の1の要素の行番号を、 $H_{w,j}$ と表すこととすると、検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列であるw列目の、1の要素の行番号 $H_{w,j}$ は、式(10)で求めることができる。

【0225】

$$H_{w-j} = \text{mod}\{h_{i,j} + \text{mod}((w-1), P) \times q, M) \quad \dots (10)$$

【0226】

ここで、 $\text{mod}(x, y)$ はxをyで割った余りを意味する。

【0227】

また、Pは、上述したパラレルファクタであり、本実施の形態では、例えば、DVB-T.2等やATSC3.0の規格と同様に、360である。さらに、qは、パリティ長Mを、パラレルファクタ $P(=360)$ で除算することにより得られる値 $M/360$ である。

【0228】

検査行列生成部613(図18)は、検査行列初期値テーブルによって、検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列目の1の要素の行番号を特定する。

【0229】

10

20

30

40

50

さらに、検査行列生成部 613 (図 18) は、検査行列 H の $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列である w 列目の、1 の要素の行番号 $H_{w,j}$ を、式 (10) に従って求め、以上により得られた行番号の要素を 1 とする検査行列 H を生成する。

【0230】

図 22 は、タイプ A 方式の検査行列 H の構造を示す図である。

【0231】

タイプ A 方式の検査行列は、A 行列、B 行列、C 行列、D 行列、及び、Z 行列で構成される。

【0232】

A 行列は、所定値 $M1$ と、LDPC 符号の情報長 $K = \text{符号長 } N \times \text{符号化率 } r$ とで表される $M1$ 行 K 列の、検査行列 H の左上の行列である。

10

【0233】

B 行列は、 $M1$ 行 $M1$ 列の、A 行列の右に隣接する階段構造の行列である。

【0234】

C 行列は、 $N-K-M1$ 行 $K+M1$ 列の、A 行列及び B 行列の下に隣接する行列である。

【0235】

D 行列は、 $N-K-M1$ 行 $N-K-M1$ 列の、C 行列の右に隣接する単位行列である。

【0236】

Z 行列は、 $M1$ 行 $N-K-M1$ 列の、B 行列の右に隣接するゼロ行列 (0 行列) である。

【0237】

以上のような A 行列ないし D 行列、及び、Z 行列で構成されるタイプ A 方式の検査行列 H では、A 行列、及び、C 行列の一部が、情報行列を構成しており、B 行列、C 行列の残りの部分、D 行列、及び、Z 行列が、パリティ行列を構成している。

20

【0238】

なお、B 行列は、階段構造の行列であり、D 行列は、単位行列であるので、タイプ A 方式の検査行列 H のパリティ行列は、一部 (B 行列の部分) が階段構造になっており、残りの部分 (D 行列の部分) が対角行列 (単位行列) になっている。

【0239】

A 行列及び C 行列は、タイプ B 方式の検査行列 H の情報行列と同様に、パラレルファクタ P の列 (例えば、360 列) ごとの巡回構造になっており、タイプ A 方式の検査行列初期値テーブルは、A 行列及び C 行列の 1 の要素の位置を 360 列ごとに表す。

30

【0240】

ここで、上述したように、A 行列、及び、C 行列の一部は、情報行列を構成するから、A 行列及び C 行列の 1 の要素の位置を 360 列ごとに表すタイプ A 方式の検査行列初期値テーブルは、少なくとも、情報行列の 1 の要素の位置を 360 列ごとに表している、ということができる。

【0241】

なお、タイプ A 方式の検査行列初期値テーブルは、A 行列及び C 行列の 1 の要素の位置を 360 列ごとに表すから、検査行列の一部 (C 行列の残りの部分) の 1 の要素の位置を 360 列ごとに表している、ということもできる。

【0242】

図 23 は、タイプ A 方式の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

40

【0243】

すなわち、図 23 は、符号長 N が 35 ビットの、符号化率 r が $2/7$ の検査行列 H を表す検査行列初期値テーブルの例を示している。

【0244】

タイプ A 方式の検査行列初期値テーブルは、A 行列及び C 行列の 1 の要素の位置を、パラレルファクタ P ごとに表すテーブルであり、その i 行目には、検査行列 H の $1+P \times (i-1)$ 列目の 1 の要素の行番号 (検査行列 H の 1 行目の行番号を 0 とする行番号) が、その $1+P \times (i-1)$ 列目の列が持つ列重みの数だけ並んでいる。

【0245】

50

なお、ここでは、説明を簡単にするため、パラレルファクタPは、例えば、5であるとする。

【0246】

タイプA方式の検査行列Hについては、パラメータとして、M1、M2、Q1、及び、Q2がある。

【0247】

M1（図22）は、B行列のサイズを決めるパラメータであり、パラレルファクタPの倍数の値をとる。M1を調整することで、LDPC符号の性能は変化し、検査行列Hを決定するときに、所定の値に調整される。ここでは、M1として、パラレルファクタP=5の3倍の15が採用されていることとする。

【0248】

M2（図22）は、パリティ長Mから、M1を減算した値M-M1をとる。

【0249】

ここでは、情報長Kは、 $N \times r = 35 \times 2/7 = 10$ であり、パリティ長Mは、 $N - K = 35 - 10 = 25$ であるので、M2は、 $M - M1 = 25 - 15 = 10$ となる。

【0250】

Q1は、式 $Q1 = M1/P$ に従って求められ、A行列におけるサイクリックシフトのシフト数（行数）を表す。

【0251】

すなわち、タイプA方式の検査行列HのA行列の $1+P \times (i-1)$ 列目以外の列、つまり、 $2+P \times (i-1)$ 列目から、 $P \times i$ 列目までの各列は、検査行列初期値テーブルによって定まる $1+P \times (i-1)$ 列目の1の要素を下方（列の下方）に、周期的にサイクリックシフトして配置したものになっており、Q1は、A行列における、そのサイクリックシフトのシフト数を表す。

【0252】

Q2は、式 $Q2 = M2/P$ に従って求められ、C行列におけるサイクリックシフトのシフト数（行数）を表す。

【0253】

すなわち、タイプA方式の検査行列HのC行列の $1+P \times (i-1)$ 列目以外の列、つまり、 $2+P \times (i-1)$ 列目から、 $P \times i$ 列目までの各列は、検査行列初期値テーブルによって定まる $1+P \times (i-1)$ 列目の1の要素を下方（列の下方）に、周期的にサイクリックシフトして配置したものになっており、Q2は、C行列における、そのサイクリックシフトのシフト数を表す。

【0254】

ここでは、Q1は、 $M1/P = 15/5 = 3$ であり、Q2は、 $M2/P = 10/5 = 2$ である。

【0255】

図23の検査行列初期値テーブルでは、1行目と2行目に、3個の数値が並び、3行目から5行目までに、1個の数値が並んでおり、かかる数値の並びによれば、図23の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列HのA行列及びC行列の部分の列重みは、 $1=1+5 \times (1-1)$ 列目から、 $10=5 \times 2$ 列目までは、3であり、 $11=1+5 \times (3-1)$ 列目から、 $25=5 \times 5$ 列目までは、1である。

【0256】

すなわち、図23の検査行列初期値テーブルの1行目は、2,6,18となっており、これは、検査行列Hの1列目において、行番号が、2,6,18の行の要素が1であること（かつ、他の要素が0であること）を示している。

【0257】

ここで、いまの場合、A行列（図22）は、15行10列（M1行K列）の行列であり、C行列（図22）は、10行25列（N-K-M1行K+M1列）の行列であるから、検査行列Hの行番号0ないし14の行は、A行列の行であり、検査行列Hの行番号15ないし24の行は、C行列の行である。

10

20

30

40

50

【0258】

したがって、行番号が2,6,18の行（以下、行#2,#6,#18のように記載する）のうちの、行#2及び#6は、A行列の行であり、行#18は、C行列の行である。

【0259】

図23の検査行列初期値テーブルの2行目は、2,10,19となっており、これは、検査行列Hの6($=1+5 \times (2-1)$)列目において、行#2,#10,#19の要素が1であることを示している。

【0260】

ここで、検査行列Hの6($=1+5 \times (2-1)$)列目において、行#2,#10,#19のうちの、行#2及び#10は、A行列の行であり、行#19は、C行列の行である。

【0261】

10

図23の検査行列初期値テーブルの3行目は、22となっており、これは、検査行列Hの11($=1+5 \times (3-1)$)列目において、行#22の要素が1であることを示している。

【0262】

ここで、検査行列Hの11($=1+5 \times (3-1)$)列目において、行#22は、C行列の行である。

【0263】

以下同様に、図23の検査行列初期値テーブルの4行目の19は、検査行列Hの16($=1+5 \times (4-1)$)列目において、行#19の要素が1であることを示しており、図23の検査行列初期値テーブルの5行目の15は、検査行列Hの21($=1+5 \times (5-1)$)列目において、行#15の要素が1であることを示している。

【0264】

20

以上のように、検査行列初期値テーブルは、検査行列HのA行列及びC行列の1の要素の位置をパラレルファクタP=5列ごとに表す。

【0265】

検査行列HのA行列及びC行列の $1+5 \times (i-1)$ 列目以外の列、つまり、 $2+5 \times (i-1)$ 列目から、 $5 \times i$ 列目までの各列は、検査行列初期値テーブルによって定まる $1+5 \times (i-1)$ 列目の1の要素を、パラメータQ1及びQ2に従って下方向（列の下方向）に、周期的にサイクリックシフトして配置したものになっている。

【0266】

すなわち、例えば、A行列の、 $2+5 \times (i-1)$ 列目は、 $1+5 \times (i-1)$ 列目を、Q1($=3$)だけ下方向にサイクリックシフトしたものとなっており、次の $3+5 \times (i-1)$ 列目は、 $1+5 \times (i-1)$ 列目を、 $2 \times Q1(=2 \times 3)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの（ $2+5 \times (i-1)$ 列目を、Q1だけ下方向にサイクリックシフトしたもの）となっている。

30

【0267】

また、例えば、C行列の、 $2+5 \times (i-1)$ 列目は、 $1+5 \times (i-1)$ 列目を、Q2($=2$)だけ下方向にサイクリックシフトしたものとなっており、次の $3+5 \times (i-1)$ 列目は、 $1+5 \times (i-1)$ 列目を、 $2 \times Q2(=2 \times 2)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの（ $2+5 \times (i-1)$ 列目を、Q2だけ下方向にサイクリックシフトしたもの）となっている。

【0268】

図24は、図23の検査行列初期値テーブルから生成されるA行列を示す図である。

【0269】

40

図24のA行列では、図23の検査行列初期値テーブルの1行目にしたがって、1($=1+5 \times (1-1)$)列目の行#2及び#6の要素が1になっている。

【0270】

そして、2($=2+5 \times (1-1)$)列目から5($=5+5 \times (1-1)$)列目までの各列は、直前の列を、Q1= 3 だけ下方向にサイクリックシフトしたものになっている。

【0271】

さらに、図24のA行列では、図23の検査行列初期値テーブルの2行目にしたがって、6($=1+5 \times (2-1)$)列目の行#2及び#10の要素が1になっている。

【0272】

そして、7($=2+5 \times (2-1)$)列目から10($=5+5 \times (2-1)$)列目までの各列は、直前の列を、Q

50

1=3だけ下方向にサイクリックシフトしたものになっている。

【0 2 7 3】

図 2 5 は、B 行列のパリティインターリーブを示す図である。

【0 2 7 4】

検査行列生成部 6 1 3 (図 1 8) は、検査行列初期値テーブルを用いて、A 行列を生成し、その A 行列の右隣に、階段構造の B 行列を配置する。そして、検査行列生成部 6 1 3 は、B 行列をパリティ行列とみなして、階段構造の B 行列の隣接する 1 の要素が、行方向に、パラレルファクタ $P=5$ だけ離れるように、パリティインターリーブを行う。

【0 2 7 5】

図 2 5 は、図 2 4 の B 行列のパリティインターリーブ後の A 行列及び B 行列を示している 10

【0 2 7 6】

図 2 6 は、図 2 3 の検査行列初期値テーブルから生成される C 行列を示す図である。

【0 2 7 7】

図 2 6 の C 行列では、図 2 3 の検査行列初期値テーブルの 1 行目にしたがって、検査行列 H の $1(=1+5 \times (1-1))$ 列目の行 #18 の要素が 1 になっている。

【0 2 7 8】

そして、C 行列の $2(=2+5 \times (1-1))$ 列目から $5(=5+5 \times (1-1))$ 列目までの各列は、直前の列を、 $Q2=2$ だけ下方向にサイクリックシフトしたものになっている。

【0 2 7 9】

20

さらに、図 2 6 の C 行列では、図 2 3 の検査行列初期値テーブルの 2 行目ないし 5 行目にしたがって、検査行列 H の $6(=1+5 \times (2-1))$ 列目の行 #19、 $11(=1+5 \times (3-1))$ 列目の行 #22、 $16(=1+5 \times (4-1))$ 列目の行 #19、及び、 $21(=1+5 \times (5-1))$ 列目の行 #15 の要素が 1 になっている。

【0 2 8 0】

そして、 $7(=2+5 \times (2-1))$ 列目から $10(=5+5 \times (2-1))$ 列目までの各列、 $12(=2+5 \times (3-1))$ 列目から $15(=5+5 \times (3-1))$ 列目までの各列、 $17(=2+5 \times (4-1))$ 列目から $20(=5+5 \times (4-1))$ 列目までの各列、及び、 $22(=2+5 \times (5-1))$ 列目から $25(=5+5 \times (5-1))$ 列目までの各列は、直前の列を、 $Q2=2$ だけ下方向にサイクリックシフトしたものになっている。

【0 2 8 1】

30

検査行列生成部 6 1 3 (図 1 8) は、検査行列初期値テーブルを用いて、C 行列を生成し、その C 行列を、A 行列及び (パリティインターリーブ後の) B 行列の下に配置する。

【0 2 8 2】

さらに、検査行列生成部 6 1 3 は、B 行列の右隣に、Z 行列を配置するとともに、C 行列の右隣に、D 行列を配置し、図 2 6 に示す検査行列 H を生成する。

【0 2 8 3】

図 2 7 は、D 行列のパリティインターリーブを示す図である。

【0 2 8 4】

検査行列生成部 6 1 3 は、図 2 6 の検査行列 H を生成した後、D 行列をパリティ行列とみなして、単位行列の D 行列の奇数行と次の偶数行との 1 の要素が、行方向に、パラレルファクタ $P=5$ だけ離れるように、(D 行列のみの) パリティインターリーブを行う。

40

【0 2 8 5】

図 2 7 は、図 2 6 の検査行列 H について、D 行列のパリティインターリーブを行った後の検査行列 H を示している。

【0 2 8 6】

LDPC エンコーダ 1 1 5 (の符号化パリティ演算部 6 1 5 (図 1 8)) は、例えば、図 2 7 の検査行列 H を用いて、LDPC 符号化 (LDPC 符号の生成) を行う。

【0 2 8 7】

ここで、図 2 7 の検査行列 H を用いて生成される LDPC 符号は、パリティインターリーブを行った LDPC 符号になっており、したがって、図 2 7 の検査行列 H を用いて生成される LDP 50

C符号については、パリティインターリーブ23（図9）において、パリティインターリーブを行う必要はない。すなわち、D行列のパリティインターリーブを行った後の検査行列Hを用いて生成されるLDPC符号は、パリティインターリーブを行ったLDPC符号になるため、かかるLDPC符号については、パリティインターリーブ23でのパリティインターリーブは、スキップされる。

【0288】

図28は、図27の検査行列HのB行列、C行列の一部（C行列のうちの、B行列の下に配置されている部分）、及び、D行列に、パリティインターリーブを元に戻すパリティデインターリーブとしての列置換(column permutation)を行った検査行列Hを示す図である。

【0289】

LDPCエンコーダ115では、図28の検査行列Hを用いて、LDPC符号化（LDPC符号の生成）を行うことができる。

【0290】

図28の検査行列Hを用いて、LDPC符号化を行う場合、そのLDPC符号化によれば、パリティインターリーブを行っていないLDPC符号が得られる。したがって、図28の検査行列Hを用いて、LDPC符号化を行う場合には、パリティインターリーブ23（図9）において、パリティインターリーブが行われる。

【0291】

図29は、図27の検査行列Hに、行置換(row permutation)を行うことにより得られる変換検査行列Hを示す図である。

【0292】

変換検査行列は、後述するように、 $P \times P$ の単位行列、その単位行列の1のうち1個以上が0になった準単位行列、単位行列又は準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列、単位行列、準単位行列、又はシフト行列のうちの2以上の和である和行列、及び、 $P \times P$ の0行列の組合わせで表される行列になっている。

【0293】

変換検査行列を、LDPC符号の復号に用いることにより、LDPC符号の復号において、後述するように、チェックノード演算、及びバリアブルノード演算を、 P 個同時に行うアーキテクチャを採用することができる。

【0294】

<新LDPC符号>

【0295】

LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保する方法の1つとして、性能の良いLDPC符号を用いる方法がある。

【0296】

以下では、性能の良い新たなLDPC符号（以下、新LDPC符号ともいう）について説明する。

【0297】

新LDPC符号としては、例えば、パラレルファクタ P が、DVB-T.2やATSC3.0等と同様の360で、巡回構造の検査行列Hに対応するタイプA符号やタイプB符号を採用することができる。

【0298】

LDPCエンコーダ115（図8、図18）は、符号長 N が、64kビットよりも長い、例えば、69120ビットで、符号化率 r が、例えば、 $2/16$ 、 $3/16$ 、 $4/16$ 、 $5/16$ 、 $6/16$ 、 $7/16$ 、 $8/16$ 、 $9/16$ 、 $10/16$ 、 $11/16$ 、 $12/16$ 、 $13/16$ 、又は、 $14/16$ のうちのいずれかのLDPC符号の検査行列初期値テーブル（から求められる検査行列H）を用いて、LDPC符号へのLDPC符号化を行うことができる。

【0299】

また、LDPCエンコーダ115は、以下のような、符号長 N が、64kビットよりも短い、例えば、17280ビット（17kビット）で、符号化率 r が、例えば、 $2/16$ 、 $3/16$ 、 $4/16$ 、 $5/16$ 、6

10

20

30

40

50

/16, 7/16, 8/16, 9/16, 10/16, 11/16, 12/16, 13/16、又は、14/16のうちのいずれかの新LDPC符号の検査行列初期値テーブル（から求められる検査行列H）を用いて、新LDPC符号へのLDPC符号化を行うことができる。

【0300】

符号長Nが17280ビットの新LDPC符号へのLDPC符号化を行う場合、LDPCエンコーダ115（図8）の記憶部602には、新LDPC符号の検査行列初期値テーブルが記憶される。

【0301】

図30は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが2/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=2/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す（タイプA方式の）検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

10

【0302】

図31は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが3/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=3/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0303】

図32は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが4/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=4/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0304】

図33は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが5/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=5/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

20

【0305】

図34は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが6/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=6/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0306】

図35は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが7/16の新LDPC符号としてのタイプA符号（以下、r=7/16のタイプA符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

30

【0307】

図36は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが7/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、r=7/16のタイプB符号ともいう）の検査行列Hを表す（タイプB方式の）検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0308】

図37は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが8/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、r=8/16のタイプB符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0309】

図38は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが9/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、r=9/16のタイプB符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

40

【0310】

図39は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが10/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、r=10/16のタイプB符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0311】

図40は、符号長Nが17280ビットで、符号化率rが11/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、r=11/16のタイプB符号ともいう）の検査行列Hを表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

50

【0312】

図41は、符号長 N が17280ビットで、符号化率 r が12/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、 $r=12/16$ のタイプB符号ともいう）の検査行列 H を表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0313】

図42は、符号長 N が17280ビットで、符号化率 r が13/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、 $r=13/16$ のタイプB符号ともいう）の検査行列 H を表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

【0314】

図43は、符号長 N が17280ビットで、符号化率 r が14/16の新LDPC符号としてのタイプB符号（以下、 $r=14/16$ のタイプB符号ともいう）の検査行列 H を表す検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

10

【0315】

新LDPC符号は、性能の良いLDPC符号になっている。

【0316】

ここで、性能の良いLDPC符号とは、適切な検査行列 H から得られるLDPC符号である。

【0317】

適切な検査行列 H とは、例えば、検査行列 H から得られるLDPC符号を、低い E_s/N_0 、又は E_b/N_0 （1ビットあたりの信号電力対雑音電力比）で送信したときに、BER(bit error rate)（及びFER(frame error rate)）をより小にする、所定の条件を満たす検査行列である。

20

【0318】

適切な検査行列 H は、例えば、所定の条件を満たす様々な検査行列から得られるLDPC符号を、低い E_s/N_0 で送信したときのBERを計測するシミュレーションを行うことにより求めることができる。

【0319】

適切な検査行列 H が満たすべき所定の条件としては、例えば、デンシティエボリューション(Density Evolution)と呼ばれる符号の性能の解析法で得られる解析結果が良好であること、サイクル4と呼ばれる、1の要素のループが存在しないこと、等がある。

【0320】

ここで、情報行列 H_A において、サイクル4のように、1の要素が密集していると、LDPC符号の復号性能が劣化することが知られており、このため、検査行列 H には、サイクル4が存在しないことが望ましい。

30

【0321】

検査行列 H において、1の要素によって構成されるループの長さ（ループ長）の最小値は、ガース(girth)と呼ばれる。サイクル4が存在しないこととは、ガースが4より大であることを意味する。

【0322】

なお、適切な検査行列 H が満たすべき所定の条件は、LDPC符号の復号性能の向上や、LDPC符号の復号処理の容易化（単純化）等の観点から適宜決定することができる。

【0323】

図44及び図45は、適切な検査行列 H が満たすべき所定の条件としての解析結果が得られるデンシティエボリューションを説明する図である。

40

【0324】

デンシティエボリューションとは、後述するデグリーシーケンス(degree sequence)で特徴付けられる符号長 N が ∞ のLDPC符号全体（アンサンブル(ensemble)）に対して、そのエラー確率の期待値を計算する、符号の解析法である。

【0325】

例えば、AWGNチャネル上で、ノイズの分散値を0からどんどん大きくしていくと、あるアンサンブルのエラー確率の期待値は、最初は0であるが、ノイズの分散値が、ある閾値(threshold)以上となると、0ではなくなる。

50

【0326】

デンシティエボリューションによれば、そのエラー確率の期待値が0ではなくなる、ノイズの分散値の閾値（以下、性能閾値ともいう）を比較することで、アンサンブルの性能（検査行列の適切さ）の良し悪しを決めることができる。

【0327】

なお、具体的なLDPC符号に対して、そのLDPC符号が属するアンサンブルを決定し、そのアンサンブルに対してデンシティエボリューションを行うと、そのLDPC符号のおおまかな性能を予想することができる。

【0328】

したがって、性能の良いLDPC符号は、性能の良いアンサンブルを見つければ、そのアンサンブルに属するLDPC符号の中から見つけることができる。

10

【0329】

ここで、上述のデグリーシーケンスとは、LDPC符号の符号長 N に対して、各値の重みをもつバリエブルノードやチェックノードがどれくらいの割合だけあるかを表す。

【0330】

例えば、符号化率が $1/2$ のregular(3,6)LDPC符号は、すべてのバリエブルノードの重み（列重み）が3で、すべてのチェックノードの重み（行重み）が6であるというデグリーシーケンスによって特徴付けられるアンサンブルに属する。

【0331】

図44は、そのようなアンサンブルのタナーグラフ(Tanner graph)を示している。

20

【0332】

図44のタナーグラフでは、図中丸印（○印）で示すバリエブルノードが、符号長 N に等しい N 個だけ存在し、図中四角形（□印）で示すチェックノードが、符号長 N に符号化率 $1/2$ を乗算した乗算値に等しい $N/2$ 個だけ存在する。

【0333】

各バリエブルノードには、列重みに等しい3本の枝(edge)が接続されており、したがって、 N 個のバリエブルノードに接続している枝は、全部で、 $3N$ 本だけ存在する。

【0334】

また、各チェックノードには、行重みに等しい6本の枝が接続されており、したがって、 $N/2$ 個のチェックノードに接続している枝は、全部で、 $3N$ 本だけ存在する。

30

【0335】

さらに、図44のタナーグラフでは、1つのインターリーバが存在する。

【0336】

インターリーバは、 N 個のバリエブルノードに接続している $3N$ 本の枝をランダムに並べ替え、その並べ替え後の各枝を、 $N/2$ 個のチェックノードに接続している $3N$ 本の枝のうちのいずれかに繋げる。

【0337】

インターリーバでの、 N 個のバリエブルノードに接続している $3N$ 本の枝を並べ替える並べ替えパターンは、 $(3N)!$ （ $= (3N) \times (3N-1) \times \dots \times 1$ ）通りだけある。したがって、すべてのバリエブルノードの重みが3で、すべてのチェックノードの重みが6であるというデグリーシーケンスによって特徴付けられるアンサンブルは、 $(3N)!$ 個のLDPC符号の集合となる。

40

【0338】

性能の良いLDPC符号（適切な検査行列）を求めるシミュレーションでは、デンシティエボリューションにおいて、マルチエッジタイプ(multi-edge type)のアンサンブルを用いた。

【0339】

マルチエッジタイプでは、バリエブルノードに接続している枝と、チェックノードに接続している枝とが経由するインターリーバが、複数(multi edge)に分割され、これにより、アンサンブルの特徴付けが、より厳密に行われる。

50

【0340】

図45は、マルチエッジタイプのアンサンブルのタナグラフの例を示している。

【0341】

図45のタナグラフでは、第1インターリーバと第2インターリーバとの2つのインターリーバが存在する。

【0342】

また、図45のタナグラフでは、第1インターリーバに繋がる枝が1本で、第2インターリーバに繋がる枝が0本のバリアブルノードが v_1 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が1本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のバリアブルノードが v_2 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が0本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のバリアブルノードが v_3 個だけ、それぞれ存在する。

10

【0343】

さらに、図45のタナグラフでは、第1インターリーバに繋がる枝が2本で、第2インターリーバに繋がる枝が0本のチェックノードが c_1 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が2本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のチェックノードが c_2 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が0本で、第2インターリーバに繋がる枝が3本のチェックノードが c_3 個だけ、それぞれ存在する。

【0344】

ここで、デンシティエボリューションと、その実装については、例えば、"On the Design of Low-Density Parity-Check Codes within 0.0045 dB of the Shannon Limit", S.Y. Chung, G.D. Forney, T.J. Richardson, R. Urbanke, IEEE Communications Letters, VOL.5, NO.2, Feb 2001に記載されている。

20

【0345】

新LDPC符号（の検査行列）を求めるシミュレーションでは、マルチエッジタイプのデンシティエボリューションによって、BERが落ち始める（小さくなっていく） E_b/N_0 （1ビットあたりの信号電力対雑音電力比）である性能閾値が、所定値以下になるアンサンブルを見つけ、そのアンサンブルに属するLDPC符号の中から、QPSK等の1以上の直交変調を用いた場合のBERを小さくするLDPC符号を、性能の良いLDPC符号として選択した。

【0346】

新LDPC符号（の検査行列を表す検査行列初期値テーブル）は、以上のようなシミュレーションにより求められた。

30

【0347】

したがって、新LDPC符号によれば、データ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

【0348】

図46は、新LDPC符号としてのタイプA符号の検査行列Hの列重みを説明する図である。

【0349】

タイプA符号の検査行列Hについては、図46に示すように、A行列及びC行列の1列目から K_1 列の列重みを X_1 と、A行列及びC行列のその後の K_2 列の列重みを X_2 と、A行列及びC行列のさらにその後の K_3 列の列重みを X_3 と、C行列のさらにその後の M_1 列の列重みを X_{M_1} と、それぞれ表すこととする。

40

【0350】

なお、 $K_1+K_2+K_3$ は、情報長 K に等しく、 M_1+M_2 は、パリティ長 M に等しい。したがって、 $K_1+K_2+K_3+M_1+M_2$ は、符号長 $N=17280$ ビットに等しい。

【0351】

また、タイプA符号の検査行列Hについては、B行列の1列目から M_1-1 列の列重みは2であり、B行列の M_1 列目（最後の列）の列重みは1である。さらに、D行列の列重みは1であり、Z行列の列重みは0である。

【0352】

図47は、図30ないし図35の（検査行列初期値テーブルが表す）タイプA符号の検

50

査行列Hのパラメータを示す図である。

【0353】

$r=2/16, 3/16, 4/16, 5/16, 6/16, 7/16$ のタイプA符号の検査行列HのパラメータとしてのK, X1, K1, X2, K2, X3, K3, XM1, M1, M2は、図47に示す通りになっている。

【0354】

パラメータX1, K1, X2, K2, X3, K3, XM1, M1 (又はM2) は、LDPC符号の性能 (例えば、エラーレート等) がより向上するように設定される。

【0355】

図48は、新LDPC符号としてのタイプB符号の検査行列Hの列重みを説明する図である。

【0356】

タイプB符号の検査行列Hについては、図48に示すように、1列目からKX1列の列重みをX1と、その後のKX2列の列重みをX2と、その後のKX3列の列重みをX3と、その後のKX4列の列重みをX4と、その後のKY1列の列重みをY1と、それぞれ表すこととする。

【0357】

なお、 $KX1+KX2+KX3+KX4+KY1$ は、情報長Kに等しく、 $KX1+KX2+KX3+KX4+KY1+M$ は、符号長N=17280ビットに等しい。

【0358】

また、タイプB符号の検査行列Hについては、最後のM列のうちの、最後の1列を除くM-1列の列重みは2であり、最後の1列の列重みは1である。

【0359】

図49は、図36ないし図43の (検査行列初期値テーブルが表す) タイプB符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。

【0360】

$r=7/16, 8/16, 9/16, 10/16, 11/16, 12/16, 13/16, 14/16$ のタイプB符号の検査行列HのパラメータとしてのK, X1, KX1, X2, KX2, X3, KX3, X4, KX4, Y1, KY1, Mは、図49に示す通りになっている。

【0361】

パラメータX1, KX1, X2, KX2, X3, KX3, X4, KX4, Y1, KY1は、LDPC符号の性能がより向上するように設定される。

【0362】

新LDPC符号によれば、良好なBER/FERが実現されるとともに、シャノン限界に近いキャパシティ (通信路容量) が実現される。

【0363】

<コンスタレーション>

【0364】

図50ないし図74は、図7の伝送システムで採用し得るコンスタレーションの例を示す図である。

【0365】

図7の伝送システムでは、例えば、変調方式(MODulation)とLDPC符号(CODE)との組み合わせであるMODCODに対して、そのMODCODで使用するコンスタレーションを設定することができる。

【0366】

1のMODCODに対しては、1以上のコンスタレーションを設定することができる。

【0367】

コンスタレーションには、信号点の配置が一様になっているUC(Uniform Constellation)と、一様になっていないNUC(Non Uniform Constellation)とがある。

【0368】

また、NUCには、例えば、1D-NUC(1-dimensional (M^2 -QAM) non-uniform constellation)と呼ばれるコンスタレーションや、2D-NUC(2-dimensional (QQAM) non-uniform constellation)と呼ばれるコンスタレーション等がある。

10

20

30

40

50

【0369】

一般に、UCよりも1D-NUCの方が、BERが改善し、さらに、1D-NUCよりも2D-NUCの方が、BERが改善する。

【0370】

変調方式がQPSKのコンスタレーションは、UCになる。変調方式が16QAMや、64QAM、256QAM等のコンスタレーションとしては、例えば、UCや、2D-NUCを採用することができ、変調方式が1024QAMや4096QAM等のコンスタレーションとしては、例えば、UCや、1D-NUCを採用することができる。

【0371】

図7の伝送システムでは、例えば、ATSC3.0や、DVB-C.2等で規定されているコンスタレーション、その他、エラーレートを良好にする様々なコンスタレーションを使用することができる。

10

【0372】

すなわち、変調方式がQPSKである場合には、LDPC符号の各符号化率 r について、例えば、同一のUCを使用することができる。

【0373】

また、変調方式が、16QAM、64QAM、又は、256QAMである場合には、LDPC符号の各符号化率 r について、例えば、同一のUCを使用することができる。さらに、変調方式が、16QAM、64QAM、又は、256QAMである場合には、例えば、LDPC符号の符号化率 r それぞれごとに異なる2D-NUCを使用することができる。

20

【0374】

また、変調方式が、1024QAM又は4096QAMである場合には、LDPC符号の各符号化率 r について、例えば、同一のUCを使用することができる。さらに、変調方式が、1024QAM又は4096QAMである場合には、例えば、LDPC符号の符号化率 r それぞれごとに異なる1D-NUCを使用することができる。

【0375】

ここで、QPSKのUCを、QPSK-UCとも記載し、 2^m QAMのUCを、 2^m QAM-UCとも記載する。また、 2^m QAMの1D-NUC及び2D-NUCを、それぞれ、 2^m QAM-1D-NUC及び 2^m QAM-2D-NUCとも記載する。

【0376】

以下、ATSC3.0で規定されているコンスタレーションの幾つかについて説明する。

30

【0377】

図50は、変調方式がQPSKである場合に、ATSC3.0で規定されているLDPC符号のすべての符号化率について使用されるQPSK-UCの信号点の座標を示す図である。

【0378】

図50において、"Input Data cell y "は、QPSK-UCにマッピングする2ビットのシンボルを表し、"Constellation point z_s "は、信号点 z_s の座標を表す。なお、信号点 z_s のインデクス s は（後述する信号点 z_q のインデクス q も同様）、シンボルの離散時間（あるシンボルと次のシンボルとの間の時間間隔）を表す。

【0379】

図50では、信号点 z_s の座標は、複素数の形で表されており、 j は、虚数単位（ $\sqrt{-1}$ ）を表す。

40

【0380】

図51は、変調方式が16QAMである場合に、ATSC3.0で規定されているLDPC符号の符号化率 $r(CR)=2/15, 3/15, 4/15, 5/15, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15, 13/15$ について使用される16QAM-2D-NUCの信号点の座標を示す図である。

【0381】

図51では、図50と同様に、信号点 z_s の座標は、複素数の形で表されており、 j は、虚数単位を表す。

【0382】

50

図5 1において、 $w\#k$ は、コンスタレーションの第1象限の信号点の座標を表す。

【0 3 8 3】

2D-NUCにおいて、コンスタレーションの第2象限の信号点は、第1象限の信号点を、Q軸に対して対称に移動した位置に配置され、コンスタレーションの第3象限の信号点は、第1象限の信号点を、原点に対して対称に移動した位置に配置される。そして、コンスタレーションの第4象限の信号点は、第1象限の信号点を、I軸に対して対称に移動した位置に配置される。

【0 3 8 4】

ここで、変調方式が 2^m QAMである場合には、 m ビットを1個のシンボルとして、その1個のシンボルが、そのシンボルに対応する信号点にマッピングされる。

10

【0 3 8 5】

m ビットのシンボルは、例えば、0ないし 2^m-1 の整数値で表現することができるが、いま、 $b=2^m/4$ とすると、0ないし 2^m-1 の整数値で表現されるシンボル $y(0)$, $y(1)$, $\dots$, $y(2^m-1)$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$, $y(b)$ ないし $y(2b-1)$, $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ 、及び、 $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の4つに分類することができる。

【0 3 8 6】

図5 1において、 $w\#k$ のサフィックス k は、0ないし $b-1$ の範囲の整数値をとり、 $w\#k$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$ の範囲のシンボル $y(k)$ に対応する信号点の座標を表す。

【0 3 8 7】

そして、シンボル $y(b)$ ないし $y(2b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+b)$ に対応する信号点の座標は、 $-\text{conj}(w\#k)$ で表され、シンボル $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+2b)$ に対応する信号点の座標は、 $\text{conj}(w\#k)$ で表される。また、シンボル $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+3b)$ に対応する信号点の座標は、 $-w\#k$ で表される。

20

【0 3 8 8】

ここで、 $\text{conj}(w\#k)$ は、 $w\#k$ の複素共役を表す。

【0 3 8 9】

例えば、変調方式が16QAMである場合には、 $m=4$ ビットのシンボル $y(0)$, $y(1)$, $\dots$, $y(15)$ は、 $b=2^4/4=4$ として、シンボル $y(0)$ ないし $y(3)$, $y(4)$ ないし $y(7)$, $y(8)$ ないし $y(11)$ 、及び、 $y(12)$ ないし $y(15)$ の4つに分類される。

【0 3 9 0】

30

そして、シンボル $y(0)$ ないし $y(15)$ のうちの、例えば、シンボル $y(12)$ は、シンボル $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+3b)=y(0+3\times 4)$ であり、 $k=0$ であるから、シンボル $y(12)$ に対応する信号点の座標は、 $-w\#k=-w_0$ となる。

【0 3 9 1】

いま、LDPC符号の符号化率 $r(\text{CR})$ が、例えば、 $9/15$ であるとする、図5 1によれば、変調方式が16QAMで、符号化率 r が、 $9/15$ である場合の w_0 は、 $0.2386+j0.5296$ であるので、シンボル $y(12)$ に対応する信号点の座標 $-w_0$ は、 $-(0.2386+j0.5296)$ となる。

【0 3 9 2】

図5 2は、変調方式が1024QAMである場合に、ATSC3.0で規定されているLDPC符号の符号化率 $r(\text{CR})=2/15, 3/15, 4/15, 5/15, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15, 13/15$ について使用される1024QAM-1D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

40

【0 3 9 3】

図5 2において、 $u\#k$ は、1D-NUCの信号点 z_s の座標としての複素数のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表し、位置ベクトルと呼ばれるベクトル $u=(u_0, u_1, \dots, u_{\#V-1})$ のコンポーネントである。位置ベクトル u のコンポーネント $u\#k$ の数 V は、式 $V=\sqrt{(2^m)/2}$ で与えられる。

【0 3 9 4】

図5 3は、1024QAMのシンボル y と、位置ベクトル u （のコンポーネント $u\#k$ ）との関係を示す図である。

【0 3 9 5】

50

いま、1024QAMの10ビットのシンボル y を、その先頭のビット（最上位ビット）から、 $y_{0,s}, y_{1,s}, y_{2,s}, y_{3,s}, y_{4,s}, y_{5,s}, y_{6,s}, y_{7,s}, y_{8,s}, y_{9,s}$ と表すこととする。

【0396】

図53のAは、シンボル y の偶数番目の5ビット $y_{1,s}, y_{3,s}, y_{5,s}, y_{7,s}, y_{9,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s の（座標の）リアルパート $\text{Re}(z_s)$ を表す $u\#k$ との対応関係を表している。

【0397】

図53のBは、シンボル y の奇数番目の5ビット $y_{0,s}, y_{2,s}, y_{4,s}, y_{6,s}, y_{8,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表す $u\#k$ との対応関係を表している。

10

【0398】

1024QAMの10ビットのシンボル $y = (y_{0,s}, y_{1,s}, y_{2,s}, y_{3,s}, y_{4,s}, y_{5,s}, y_{6,s}, y_{7,s}, y_{8,s}, y_{9,s})$ が、例えば、 $(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ である場合、奇数番目の5ビット $(y_{0,s}, y_{2,s}, y_{4,s}, y_{6,s}, y_{8,s})$ は、 $(0, 1, 0, 1, 0)$ であり、偶数番目の5ビット $(y_{1,s}, y_{3,s}, y_{5,s}, y_{7,s}, y_{9,s})$ は、 $(0, 0, 1, 1, 0)$ である。

【0399】

図53のAでは、偶数番目の5ビット $(0, 0, 1, 1, 0)$ は、 $u11$ に対応付けられており、したがって、シンボル $y = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_s のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ は、 $u11$ になる。

【0400】

20

図53のBでは、奇数番目の5ビット $(0, 1, 0, 1, 0)$ は、 $u3$ に対応付けられており、したがって、シンボル $y = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ は、 $u3$ になる。

【0401】

一方、LDPC符号の符号化率 r が、例えば、 $6/15$ であるとする、上述の図52によれば、変調方式が1024QAMで、LDPC符号の符号化率 $r(\text{CR}) = 6/15$ である場合に使用される1D-NUCについては、 $u3$ は、 0.1295 であり、 $u11$ は、 0.7196 である。

【0402】

したがって、シンボル $y = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_s のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ は、 $u11 = 0.7196$ になり、イマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ は、 $u3 = 0.1295$ になる。その結果、シンボル $y = (0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_s の座標は、 $0.7196 + j0.1295$ で表される。

30

【0403】

なお、1D-NUCの信号点は、コンスタレーションにおいて、I軸に平行な直線上やQ軸に平行な直線上に、格子状に並ぶ。但し、信号点どうしの間隔は、一定にはならない。また、信号点（にマッピングされたデータ）の送信にあたって、コンスタレーション上の信号点の平均電力は正規化することができる。正規化は、コンスタレーション上の信号点（の座標）のすべてについての絶対値の自乗平均値を P_{ave} と表すこととすると、その自乗平均値 P_{ave} の平方根 $\sqrt{P_{\text{ave}}}$ の逆数 $1/(\sqrt{P_{\text{ave}}})$ を、コンスタレーション上の各信号点 z_s に乗算することによって行うことができる。

40

【0404】

図7の伝送システムでは、以上のようなATSC3.0で規定されているコンスタレーションを使用することができる。

【0405】

図54ないし図65は、DVB-C.2で規定されているUCの信号点の座標を示す図である。

【0406】

すなわち、図54は、DVB-C.2で規定されているQPSK-UC（QPSKのUC）の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図55は、DVB-C.2で規定されているQPSK-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

【0407】

50

図 5 6 は、DVB-C.2で規定されている16QAM-UC (16QAMのUC) の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図 5 7 は、DVB-C.2で規定されている16QAM-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

【0408】

図 5 8 は、DVB-C.2で規定されている64QAM-UC (64QAMのUC) の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図 5 9 は、DVB-C.2で規定されている64QAM-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

【0409】

図 6 0 は、DVB-C.2で規定されている256QAM-UC (256QAMのUC) の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図 6 1 は、DVB-C.2で規定されている256QAM-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

10

【0410】

図 6 2 は、DVB-C.2で規定されている1024QAM-UC (1024QAMのUC) の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図 6 3 は、DVB-C.2で規定されている1024QAM-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

【0411】

図 6 4 は、DVB-C.2で規定されている4096QAM-UC (4096QAMのUC) の信号点の座標 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ を示す図である。図 6 5 は、DVB-C.2で規定されている4096QAM-UCの信号点の座標 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を示す図である。

【0412】

20

なお、図 5 4 ないし図 6 5 において、 $y_{i,q}$ は、 2^m QAMの m ビット（例えば、QPSKでは2ビット）のシンボルの先頭から、 $i+1$ ビット目を表す。また、UCの信号点（にマッピングされたデータ）の送信にあたって、コンスタレーション上の信号点の平均電力は正規化することができる。正規化は、コンスタレーション上の信号点（の座標）のすべてについての絶対値の自乗平均値を P_{ave} と表すこととすると、その自乗平均値 P_{ave} の平方根 $\sqrt{P_{ave}}$ の逆数 $1/(\sqrt{P_{ave}})$ を、コンスタレーション上の各信号点 z_q に乗算することによって行うことができる。

【0413】

図 7 の伝送システムでは、以上のようなDVB-C.2で規定されているUCを使用することができる。

30

【0414】

すなわち、図 3 0 ないし図 4 3 の、符号長 N が17280ビットで、符号化率 r が $2/16$, $3/16$, $4/16$, $5/16$, $6/16$, $7/16$, $8/16$, $9/16$, $10/16$, $11/16$, $12/16$, $13/16$ 、及び、 $14/16$ それぞれの（検査行列初期値テーブルに対応する）新LDPC符号については、図 5 4 ないし図 6 5 に示したUCを使用することができる。

【0415】

図 6 6 ないし図 7 4 は、図 3 0 ないし図 4 3 の、符号長 N が17280ビットで、符号化率 r が $2/16$, $3/16$, $4/16$, $5/16$, $6/16$, $7/16$, $8/16$, $9/16$, $10/16$, $11/16$, $12/16$, $13/16$ 、及び、 $14/16$ それぞれの新LDPC符号について使用し得るNUCの信号点の座標の例を示す図である。

40

【0416】

すなわち、図 6 6 は、新LDPC符号について使用し得る16QAM-2D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

【0417】

図 6 7 は、新LDPC符号について使用し得る64QAM-2D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

【0418】

図 6 8 及び図 6 9 は、新LDPC符号について使用し得る256QAM-2D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

【0419】

50

なお、図 6 9 は、図 6 8 に続く図である。

【0420】

図 6 6 ないし図 6 9 では、図 5 1 と同様に、信号点 z_s の座標は、複素数の形で表されており、 j は、虚数単位を表す。

【0421】

図 6 6 ないし図 6 9 において、 $w\#k$ は、図 5 1 と同様に、コンスタレーションの第 1 象限の信号点の座標を表す。

【0422】

ここで、図 5 1 で説明したように、 m ビットのシンボルを、0 ないし 2^m-1 の整数値で表現することとし、 $b=2^m/4$ とすると、0 ないし 2^m-1 の整数値で表現されるシンボル $y(0)$, $y(1)$, $\dots$, $y(2^m-1)$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$, $y(b)$ ないし $y(2b-1)$, $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ 、及び、 $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の 4 つに分類することができる。

【0423】

図 6 6 ないし図 6 9 では、図 5 1 と同様に、 $w\#k$ のサフィックス k は、0 ないし $b-1$ の範囲の整数値をとり、 $w\#k$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$ の範囲のシンボル $y(k)$ に対応する信号点の座標を表す。

【0424】

さらに、図 6 6 ないし図 6 9 では、図 5 1 と同様に、シンボル $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+3b)$ に対応する信号点の座標は、 $-w\#k$ で表される。

【0425】

但し、図 5 1 では、シンボル $y(b)$ ないし $y(2b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+b)$ に対応する信号点の座標は、 $-\text{conj}(w\#k)$ で表され、シンボル $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+2b)$ に対応する信号点の座標は、 $\text{conj}(w\#k)$ で表されるが、図 6 6 ないし図 6 9 では、 conj の符号が逆になる。

【0426】

すなわち、図 6 6 ないし図 6 9 では、シンボル $y(b)$ ないし $y(2b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+b)$ に対応する信号点の座標は、 $\text{conj}(w\#k)$ で表され、シンボル $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+2b)$ に対応する信号点の座標は、 $-\text{conj}(w\#k)$ で表される。

【0427】

図 7 0 は、新 LDPC 符号について使用し得る 1024QAM-1D-NUC の信号点の座標の例を示す図である。

【0428】

すなわち、図 7 0 は、1024QAM-1D-NUC の信号点 z_s の座標としての複素数のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ と、位置ベクトル u (のコンポーネント $u\#k$) との関係を示す図である。

【0429】

図 7 1 は、1024QAM のシンボル y と、図 7 0 の位置ベクトル u (のコンポーネント $u\#k$) との関係を示す図である。

【0430】

すなわち、いま、1024QAM の 10 ビットのシンボル y を、その先頭のビット (最上位ビット) から、 $y_{0,s}$, $y_{1,s}$, $y_{2,s}$, $y_{3,s}$, $y_{4,s}$, $y_{5,s}$, $y_{6,s}$, $y_{7,s}$, $y_{8,s}$, $y_{9,s}$ と表すこととする。

【0431】

図 7 1 の A は、10 ビットのシンボル y の (先頭から) 奇数番目の 5 ビット $y_{0,s}$, $y_{2,s}$, $y_{4,s}$, $y_{6,s}$, $y_{8,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s (の座標) のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ との対応関係を表している。

【0432】

図 7 1 の B は、10 ビットのシンボル y の偶数番目の 5 ビット $y_{1,s}$, $y_{3,s}$, $y_{5,s}$, $y_{7,s}$, $y_{9,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ との対応関係を表している。

【0433】

1024QAMの10ビットのシンボル y が、図70及び図71で規定される1024QAM-1D-NUCの信号点 z_s にマッピングされるとき、その信号点 z_s の座標の求め方は、図52及び図53で説明した場合と同様であるため、説明を省略する。

【0434】

図72は、新LDPC符号について使用し得る4096QAM-1D-NUCの信号点の座標の例を示す図である。

【0435】

すなわち、図72は、4096QAM-1D-NUCの信号点 z_s の座標としての複素数のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ と、位置ベクトル $u(u\#k)$ との関係を示す図である。

10

【0436】

図73及び図74は、4096QAMのシンボル y と、図72の位置ベクトル u （のコンポーネント $u\#k$ ）との関係を示す図である。

【0437】

すなわち、いま、4096QAMの12ビットのシンボル y を、その先頭のビット（最上位ビット）から、 $y_{0,s}, y_{1,s}, y_{2,s}, y_{3,s}, y_{4,s}, y_{5,s}, y_{6,s}, y_{7,s}, y_{8,s}, y_{9,s}, y_{10,s}, y_{11,s}$ と表すこととする。

【0438】

図73は、12ビットのシンボル y の奇数番目の6ビット $y_{0,s}, y_{2,s}, y_{4,s}, y_{6,s}, y_{8,s}, y_{10,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ との対応関係を表している。

20

【0439】

図74は、12ビットのシンボル y の偶数番目の6ビット $y_{1,s}, y_{3,s}, y_{5,s}, y_{7,s}, y_{9,s}, y_{11,s}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ との対応関係を表している。

【0440】

4096QAMの12ビットのシンボル y が、図72ないし図74で規定される4096QAM-1D-NUCの信号点 z_s にマッピングされるとき、その信号点 z_s の座標の求め方は、図52及び図53で説明した場合と同様であるため、説明を省略する。

【0441】

30

なお、図66ないし図74のNUCの信号点（にマッピングされたデータ）の送信にあたって、コンスタレーション上の信号点の平均電力は正規化することができる。正規化は、コンスタレーション上の信号点（の座標）のすべてについての絶対値の自乗平均値を P_{ave} と表すこととすると、その自乗平均値 P_{ave} の平方根 $\sqrt{P_{ave}}$ の逆数 $1/(\sqrt{P_{ave}})$ を、コンスタレーション上の各信号点 z_s に乗算することによって行うことができる。また、上述の図53では、シンボル y の奇数番目のビットが信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ に対応付けられているとともに、シンボル y の偶数番目のビットが信号点 z_s のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ に対応付けられているが、図71、並びに、図73及び図74では、逆に、シンボル y の奇数番目のビットが信号点 z_s のリアルパート $\text{Re}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ に対応付けられているとともに、シンボル y の偶数番目のビットが信号点 z_s のイマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ を表す位置ベクトル $u\#k$ に対応付けられている。

40

【0442】

<ブロックインターリーブ25>

【0443】

図75は、図9のブロックインターリーブ25で行われるブロックインターリーブを説明する図である。

【0444】

ブロックインターリーブは、1符号語のLDPC符号を、その先頭から、パート1(part 1)と呼ばれる部分と、パート2(part 2)と呼ばれる部分とに分けて行われる。

50

【0445】

パート1の長さ（ビット数）を、 N_{part1} を表すとともに、パート2の長さを、 N_{part2} と表すこととすると、 $N_{part1}+N_{part2}$ は、符号長 N に等しい。

【0446】

観念的には、ブロックインターリーブでは、1方向としてのカラム（縦）方向に、 N_{part1}/m ビットを記憶する記憶領域としてのカラム(column)が、カラム方向と直交するロウ方向に、シンボルのビット数 m に等しい数 m だけ並べられ、各カラムが、上から、パラレルファクタ P である360ビットの小単位に区切られる。この、カラムの小単位を、カラムユニットともいう。

【0447】

ブロックインターリーブでは、図75に示すように、1符号語のLDPC符号のパート1を、カラムの1番目のカラムユニットの上から下方向（カラム方向）に書き込むことが、左から右方向のカラムに向かって行われる。

【0448】

そして、右端のカラムの1番目のカラムユニットへの書き込みが終了すると、図75に示すように、左端のカラムに戻り、カラムの2番目のカラムユニットの上から下方向に書き込むことが、左から右方向のカラムに向かって行われ、以下、同様にして、1符号語のLDPC符号のパート1の書き込みが行われる。

【0449】

1符号語のLDPC符号のパート1の書き込みが終了すると、図75に示すように、 m 個すべてのカラムの1行目から、ロウ方向に、 m ビット単位で、LDPC符号のパート1が読み出される。

【0450】

このパート1の m ビット単位は、 m ビットのシンボルとして、ブロックインターリーブ25からマップ117（図8）に供給される。

【0451】

m ビット単位でのパート1の読み出しは、 m 個のカラムの下の方に向かって順次行われ、パート1の読み出しが終了すると、パート2は、先頭から、 m ビット単位に分割され、 m ビットのシンボルとして、ブロックインターリーブ25からマップ117に供給される。

【0452】

したがって、パート1は、インターリーブされながら、シンボル化され、パート2は、インターリーブされることなく、順次、 m ビットに区切って、シンボル化される。

【0453】

カラムの長さである N_{part1}/m は、パラレルファクタ P である360の倍数であり、そのように N_{part1}/m が360の倍数になるように、1符号語のLDPC符号は、パート1とパート2とに分けられる。

【0454】

図76は、変調方式が、QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM、及び、4096QAMである場合それぞれの、符号長 N が69120ビットのLDPC符号のパート1及びパート2の例を示す図である。

【0455】

図76では、変調方式が1024QAMである場合に、パート1が68400ビットで、パート2が720ビットになっており、変調方式が、QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM、及び、4096QAMである場合、いずれの場合も、パート1が69120ビットで、パート2が0ビットになっている。

【0456】

<グループワイズインターリーブ>

【0457】

図77は、図9のグループワイズインターリーブ24で行われるグループワイズインターリーブを説明する図である。

【0458】

グループワイズインターリーブでは、図 77 に示すように、1 符号語の LDPC 符号を、その先頭から、パラレルファクタ P に等しい 360 ビット単位に区分した、その 1 区分の 360 ビットを、ビットグループとして、1 符号語の LDPC 符号が、ビットグループ単位で、所定のパターン（以下、GW パターンともいう）に従ってインターリーブされる。

【0459】

ここで、1 符号語の LDPC 符号をビットグループに区分したときの先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、以下、ビットグループ i とも記載する。

【0460】

パラレルファクタ P が 360 である場合、例えば、符号長 N が 1800 ビットの LDPC 符号は、ビットグループ 0, 1, 2, 3, 4 の 5 ($=1800/360$) 個のビットグループに区分される。さらに、例えば、符号長 N が 69120 ビットの LDPC 符号は、ビットグループ 0, 1, ..., 191 の 192 ($=69120/360$) 個のビットグループに区分される。また、例えば、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号は、ビットグループ 0, 1, ..., 47 の 48 ($=17280/360$) 個のビットグループに区分される。

【0461】

以下では、GW パターンを、ビットグループを表す数字の並びで表すこととする。例えば、符号長 N が 1800 ビットの、5 個のビットグループ 0, 1, 2, 3, 4 の LDPC 符号について、例えば、GW パターン 4, 2, 0, 3, 1 は、ビットグループ 0, 1, 2, 3, 4 の並びを、ビットグループ 4, 2, 0, 3, 1 の並びにインターリーブする（並び替える）ことを表す。

【0462】

例えば、いま、符号長 N が 1800 ビットの LDPC 符号の先頭から $i+1$ 番目の符号ビットを、 x_i で表すこととする。

【0463】

この場合、GW パターン 4, 2, 0, 3, 1 のグループワイズインターリーブによれば、1800 ビットの LDPC 符号 $\{x_0, x_1, \dots, x_{1799}\}$ は、 $\{x_{1440}, x_{1441}, \dots, x_{1799}\}$, $\{x_{720}, x_{721}, \dots, x_{1079}\}$, $\{x_0, x_1, \dots, x_{359}\}$, $\{x_{1080}, x_{1081}, \dots, x_{1439}\}$, $\{x_{360}, x_{361}, \dots, x_{719}\}$ の並びにインターリーブされる。

【0464】

GW パターンは、LDPC 符号の符号長 N ごとや、符号化率 r ごと、変調方式ごと、コンスタレーションごと、さらには、符号長 N 、符号化率 r 、変調方式、及び、コンスタレーションの 2 以上の組み合わせごとに設定することができる。

【0465】

<LDPC 符号に対する GW パターンの例>

【0466】

図 78 は、符号長 N が 69120 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの例を示す図である。

【0467】

図 78 の GW パターンによれば、69120 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 191 の並びが、ビットグループ

191, 12, 188, 158, 173, 48, 75, 146, 113, 15, 51, 119, 132, 161, 91, 189, 142, 93, 120, 29, 156, 101, 100, 22, 165, 65, 98, 153, 127, 74, 39, 80, 38, 130, 148, 81, 13, 24, 125, 0, 174, 140, 124, 5, 68, 3, 104, 136, 63, 162, 106, 8, 25, 182, 178, 90, 96, 79, 168, 172, 128, 64, 69, 102, 45, 66, 86, 155, 163, 6, 152, 164, 108, 9, 111, 16, 177, 53, 94, 85, 72, 32, 147, 184, 117, 30, 54, 34, 70, 149, 157, 109, 73, 41, 131, 187, 185, 18, 4, 150, 92, 143, 14, 115, 20, 50, 26, 83, 36, 58, 169, 107, 129, 121, 43, 103, 21, 139, 52, 167, 19, 2, 40, 116, 181, 61, 141, 17, 33, 11, 135, 1, 37, 123, 180, 137, 77, 166, 183, 82, 23, 56, 88, 67, 176, 76, 35, 71, 105, 87, 78, 171, 55, 62, 44, 57, 97, 122, 112, 59, 27, 99, 84, 10, 134, 42, 118, 144, 49, 28, 126, 95, 7, 110, 186, 114, 151, 145, 175, 138, 133, 31, 179, 89, 46, 160, 170, 60, 154, 159, 47, 190

の並びにインターリーブされる。

【0468】

<受信装置 1 2 の構成例>

【0469】

図 79 は、図 7 の受信装置 1 2 の構成例を示すブロック図である。

【0470】

OFDM処理部(OFDM operation) 1 5 1 は、送信装置 1 1 (図 7) からの OFDM 信号を受信し、その OFDM 信号の信号処理を行う。OFDM 処理部 1 5 1 が信号処理を行うことにより得られるデータは、フレーム管理部(Frame Management) 1 5 2 に供給される。

【0471】

フレーム管理部 1 5 2 は、OFDM 処理部 1 5 1 から供給されるデータで構成されるフレームの処理(フレーム解釈)を行い、その結果得られる対象データの信号と、制御データの信号とを、周波数デインターリーバ(Frequency Deinterleaver) 1 6 1 と 1 5 3 とに、それぞれ供給する。

【0472】

周波数デインターリーバ 1 5 3 は、フレーム管理部 1 5 2 からのデータについて、シンボル単位での周波数デインターリーブを行い、デマッパ(Demapper) 1 5 4 に供給する。

【0473】

デマッパ 1 5 4 は、周波数デインターリーバ 1 5 3 からのデータ(コンスタレーション上のデータ)を、送信装置 1 1 側で行われる直交変調で定められる信号点の配置(コンスタレーション)に基づいてデマッピング(信号点配置復号)して直交復調し、その結果得られるデータ(LDPC 符号(の尤度))を、LDPC デコーダ(LDPC decoder) 1 5 5 に供給する。

【0474】

LDPC デコーダ 1 5 5 (復号部)は、デマッパ 1 5 4 からの LDPC 符号の LDPC 復号を行い、その結果得られる LDPC 対象データ(ここでは、BCH 符号)を、BCH デコーダ(BCH decoder) 1 5 6 に供給する。

【0475】

BCH デコーダ 1 5 6 は、LDPC デコーダ 1 5 5 からの LDPC 対象データの BCH 復号を行い、その結果得られる制御データ(シグナリング)を出力する。

【0476】

一方、周波数デインターリーバ 1 6 1 は、フレーム管理部 1 5 2 からのデータについて、シンボル単位での周波数デインターリーブを行い、SISO/MISO デコーダ(SISO/MISO decoder) 1 6 2 に供給する。

【0477】

SISO/MISO デコーダ 1 6 2 は、周波数デインターリーバ 1 6 1 からのデータの時空間復号を行い、時間デインターリーバ(Time Deinterleaver) 1 6 3 に供給する。

【0478】

時間デインターリーバ 1 6 3 は、SISO/MISO デコーダ 1 6 2 からのデータについて、シンボル単位での時間デインターリーブを行い、デマッパ(Demapper) 1 6 4 に供給する。

【0479】

デマッパ 1 6 4 は、時間デインターリーバ 1 6 3 からのデータ(コンスタレーション上のデータ)を、送信装置 1 1 側で行われる直交変調で定められる信号点の配置(コンスタレーション)に基づいてデマッピング(信号点配置復号)して直交復調し、その結果得られるデータを、ビットデインターリーバ(Bit Deinterleaver) 1 6 5 に供給する。

【0480】

ビットデインターリーバ 1 6 5 は、デマッパ 1 6 4 からのデータのビットデインターリーブを行い、そのビットデインターリーブ後のデータである LDPC 符号(の尤度)を、LDPC デコーダ 1 6 6 に供給する。

【0481】

LDPC デコーダ 1 6 6 は、ビットデインターリーバ 1 6 5 からの LDPC 符号の LDPC 復号を行い、その結果得られる LDPC 対象データ(ここでは、BCH 符号)を、BCH デコーダ 1 6 7 に供

10

20

30

40

50

給する。

【0482】

BCHデコーダ167は、LDPCデコーダ155からのLDPC対象データのBCH復号を行い、その結果得られるデータを、BBデスクランブラ(BB DeScrambler)168に供給する。

【0483】

BBデスクランブラ168は、BCHデコーダ167からのデータに、BBデスクランブルを施し、その結果得られるデータを、ヌル削除部(Null Deletion)169に供給する。

【0484】

ヌル削除部169は、BBデスクランブラ168からのデータから、図8のパダー112で挿入されたNullを削除し、デマルチプレクサ(Demultiplexer)170に供給する。

10

【0485】

デマルチプレクサ170は、ヌル削除部169からのデータに多重化されている1以上のストリーム(対象データ)それぞれを分離し、必要な処理を施して、アウトプットストリーム(Output stream)として出力する。

【0486】

なお、受信装置12は、図79に図示したブロックの一部を設けずに構成することができる。すなわち、例えば、送信装置11(図8)を、時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124を設けずに構成する場合には、受信装置12は、送信装置11の時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124にそれぞれ対応するブロックである時間デインターリーバ163、SISO/MISOデコーダ162、周波数デインターリーバ161、及び、周波数デインターリーバ153を設けずに構成することができる。

20

【0487】

<ビットデインターリーバ165の構成例>

【0488】

図80は、図79のビットデインターリーバ165の構成例を示すブロック図である。

【0489】

ビットデインターリーバ165は、ブロックデインターリーバ54、及びグループワイズデインターリーバ55から構成され、デマッパ164(図79)からのデータであるシンボルのシンボルビットの(ビット)デインターリーブを行う。

30

【0490】

すなわち、ブロックデインターリーバ54は、デマッパ164からのシンボルのシンボルビットを対象として、図9のブロックインターリーバ25が行うブロックインターリーブに対応するブロックデインターリーブ(ブロックインターリーブの逆の処理)、すなわち、ブロックインターリーブによって並び替えられたLDPC符号の符号ビット(の尤度)の位置を元の位置に戻すブロックデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号を、グループワイズデインターリーバ55に供給する。

【0491】

グループワイズデインターリーバ55は、ブロックデインターリーバ54からのLDPC符号を対象として、図9のグループワイズインターリーバ24が行うグループワイズインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブ(グループワイズインターリーブの逆の処理)、すなわち、例えば、図77で説明したグループワイズインターリーブによってビットグループ単位で並びが変更されたLDPC符号の符号ビットを、ビットグループ単位で並び替えることにより、元の並びに戻すグループワイズデインターリーブを行う。

40

【0492】

ここで、デマッパ164から、ビットデインターリーバ165に供給されるLDPC符号に、パリティインターリーブ、グループワイズインターリーブ、及びブロックインターリーブが施されている場合、ビットデインターリーバ165では、パリティインターリーブに対応するパリティデインターリーブ(パリティインターリーブの逆の処理、すなわち、パ

50

リティインターリーブによって並びが変更されたLDPC符号の符号ビットを、元の並びに戻すパリティインターリーブ)、ブロックインターリーブに対応するブロックインターリーブ、及び、グループワイズインターリーブに対応するグループワイズインターリーブのすべてを行うことができる。

【0493】

但し、図80のビットインターリーブ165では、ブロックインターリーブに対応するブロックインターリーブを行うブロックインターリーブ54、及び、グループワイズインターリーブに対応するグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ55は、設けられているが、パリティインターリーブに対応するパリティインターリーブを行うブロックは、設けられておらず、パリティインターリーブは、行

10

【0494】

したがって、ビットインターリーブ165 (のグループワイズインターリーブ55) から、LDPCデコーダ166には、ブロックインターリーブ、及び、グループワイズインターリーブが行われ、かつ、パリティインターリーブが行われていないLDPC符号が供給される。

【0495】

LDPCデコーダ166は、ビットインターリーブ165からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いたタイプB方式の検査行列Hに対して、パリティインターリーブに相当する列置換を少なくとも行って得られる変換検査行列や、タ

20

【0496】

図81は、図80のデマッパ164、ビットインターリーブ165、及び、LDPCデコーダ166が行う処理を説明するフローチャートである。

【0497】

ステップS111において、デマッパ164は、時間インターリーブ163からのデータ (信号点にマッピングされたコンスタレーション上のデータ) をデマッピングして直交復調し、ビットインターリーブ165に供給して、処理は、ステップS112に進む。

30

【0498】

ステップS112では、ビットインターリーブ165は、デマッパ164からのデータのインターリーブ (ビットインターリーブ) を行って、処理は、ステップS113に進む。

【0499】

すなわち、ステップS112では、ビットインターリーブ165において、ブロックインターリーブ54が、デマッパ164からのデータ (シンボル) を対象として、ブロックインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号の符号ビットを、グループワイズインターリーブ55に供給する。

【0500】

グループワイズインターリーブ55は、ブロックインターリーブ54からのLDPC符号を対象として、グループワイズインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号 (の尤度) を、LDPCデコーダ166に供給する。

40

【0501】

ステップS113では、LDPCデコーダ166が、グループワイズインターリーブ55からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hを用いて行い、すなわち、例えば、検査行列Hから得られる変換検査行列を用いて行い、その結果得られるデータを、LDPC対象データの復号結果として、BCHデコーダ167に出力する。

【0502】

50

なお、図80でも、図9の場合と同様に、説明の便宜のため、ブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーブ54と、グループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーブ55とを、別個に構成するようにしたが、ブロックデインターリーブ54とグループワイズデインターリーブ55とは、一体的に構成することができる。

【0503】

また、送信装置11において、グループワイズインターリーブを行わない場合には、受信装置12は、グループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーブ55を設けずに構成することができる。

【0504】

<LDPC復号>

【0505】

図79のLDPCデコーダ166で行われるLDPC復号について、さらに説明する。

【0506】

図79のLDPCデコーダ166では、上述したように、グループワイズデインターリーブ55からの、ブロックデインターリーブ、及び、グループワイズデインターリーブが行われ、かつ、パリティデインターリーブが行われていないLDPC符号のLDPC復号が、図8のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いたタイプB方式の検査行列Hに対して、パリティインターリーブに相当する列置換を少なくとも行って得られる変換検査行列や、タイプA方式の検査行列（図27）に行置換を行って得られる変換検査行列（図29）を用いて行われる。

【0507】

ここで、LDPC復号を、変換検査行列を用いて行うことで、回路規模を抑制しつつ、動作周波数を十分実現可能な範囲に抑えることが可能となるLDPC復号が先に提案されている（例えば、特許第4224777号を参照）。

【0508】

そこで、まず、図82ないし図85を参照して、先に提案されている、変換検査行列を用いたLDPC復号について説明する。

【0509】

図82は、符号長Nが90で、符号化率が2/3のLDPC符号の検査行列Hの例を示す図である。

【0510】

なお、図82では（後述する図83及び図84においても同様）、0を、ピリオド(.)で表現している。

【0511】

図82の検査行列Hでは、パリティ行列が階段構造になっている。

【0512】

図83は、図82の検査行列Hに、式(11)の行置換と、式(12)の列置換を施して得られる検査行列H'を示す図である。

【0513】

行置換: $6s+t+1$ 行目 $\rightarrow$ $5t+s+1$ 行目

・・・(11)

【0514】

列置換: $6x+y+61$ 列目 $\rightarrow$ $5y+x+61$ 列目

・・・(12)

【0515】

但し、式(11)及び(12)において、s, t, x, yは、それぞれ、 $0 \leq s < 5$, $0 \leq t < 6$, $0 \leq x < 5$, $0 \leq t < 6$ の範囲の整数である。

【0516】

式(11)の行置換によれば、6で割って余りが1になる1, 7, 13, 19, 25行

10

20

30

40

50

目を、それぞれ、1, 2, 3, 4, 5行目に、6で割って余りが2になる2, 8, 14, 20, 26行目を、それぞれ、6, 7, 8, 9, 10行目に、という具合に置換が行われる。

【0517】

また、式(12)の列置換によれば、61列目以降(パリティ行列)に対して、6で割って余りが1になる61, 67, 73, 79, 85列目を、それぞれ、61, 62, 63, 64, 65列目に、6で割って余りが2になる62, 68, 74, 80, 86列目を、それぞれ、66, 67, 68, 69, 70列目に、という具合に置換が行われる。

【0518】

このようにして、図82の検査行列Hに対して、行と列の置換を行って得られた行列(matrix)が、図83の検査行列H'である。 10

【0519】

ここで、検査行列Hの行置換を行っても、LDPC符号の符号ビットの並びには影響しない。

【0520】

また、式(12)の列置換は、上述の、 $K+qx+y+1$ 番目の符号ビットを、 $K+Py+x+1$ 番目の符号ビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブの、情報長Kを60と、パラレルファクタPを5と、パリティ長M(ここでは、30)の約数 $q(=M/P)$ を6と、それぞれしたときのパリティインターリーブに相当する。

【0521】

したがって、図83の検査行列H'は、図82の検査行列(以下、適宜、元の検査行列という)Hの、 $K+qx+y+1$ 番目の列を、 $K+Py+x+1$ 番目の列に置換する列置換を、少なくとも行って得られる変換検査行列である。 20

【0522】

図83の変換検査行列H'に対して、図82の元の検査行列HのLDPC符号に、式(12)と同一の置換を行ったものを乗じると、0ベクトルが出力される。すなわち、元の検査行列HのLDPC符号(1符号語)としての行ベクトルcに、式(12)の列置換を施して得られる行ベクトルをc'と表すこととすると、検査行列の性質から、 Hc^T は、0ベクトルとなるから、 $H'c'^T$ も、当然、0ベクトルとなる。

【0523】

以上から、図83の変換検査行列H'は、元の検査行列HのLDPC符号cに、式(12)の列置換を行って得られるLDPC符号c'の検査行列になっている。 30

【0524】

したがって、元の検査行列HのLDPC符号cに、式(12)の列置換を行い、その列置換後のLDPC符号c'を、図83の変換検査行列H'を用いて復号(LDPC復号)し、その復号結果に、式(12)の列置換の逆置換を施すことで、元の検査行列HのLDPC符号を、その検査行列Hを用いて復号する場合と同様の復号結果を得ることができる。

【0525】

図84は、 5×5 の行列の単位に間隔を空けた、図83の変換検査行列H'を示す図である。 40

【0526】

図84においては、変換検査行列H'は、パラレルファクタPである 5×5 ($=P \times P$)の単位行列、その単位行列の1のうち1個以上が0になった行列(以下、適宜、準単位行列という)、単位行列または準単位行列をサイクリックシフト(cyclic shift)した行列(以下、適宜、シフト行列という)、単位行列、準単位行列、またはシフト行列のうちの2以上の和(以下、適宜、和行列という)、 5×5 の0行列の組合わせで表されている。

【0527】

図84の変換検査行列H'は、 5×5 の単位行列、準単位行列、シフト行列、和行列、0行列で構成されているということができる。そこで、変換検査行列H'を構成する、これらの 5×5 の行列(単位行列、準単位行列、シフト行列、和行列、0行列)を、以下、適宜 50

、構成行列という。

【0528】

P×Pの構成行列で表される検査行列のLDPC符号の復号には、チェックノード演算、及びバリエブルノード演算を、P個同時に行うアーキテクチャ(architecture)を用いることができる。

【0529】

図85は、そのような復号を行う復号装置の構成例を示すブロック図である。

【0530】

すなわち、図85は、図82の元の検査行列Hに対して、少なくとも、式(12)の列置換を行って得られる図84の変換検査行列H'を用いて、LDPC符号の復号を行う復号装置の構成例を示している。

10

【0531】

図85の復号装置は、6つのFIFO300₁ないし300₆からなる枝データ格納用メモリ300、FIFO300₁ないし300₆を選択するセクタ301、チェックノード計算部302、2つのサイクリックシフト回路303及び308、18個のFIFO304₁ないし304₁₈からなる枝データ格納用メモリ304、FIFO304₁ないし304₁₈を選択するセクタ305、受信データを格納する受信データ用メモリ306、バリエブルノード計算部307、復号語計算部309、受信データ並べ替え部310、復号データ並べ替え部311からなる。

【0532】

20

まず、枝データ格納用メモリ300と304へのデータの格納方法について説明する。

【0533】

枝データ格納用メモリ300は、図84の変換検査行列H'の行数30を構成行列の行数(パラレルファクタP)5で除算した数である6つのFIFO300₁ないし300₆から構成されている。FIFO300_y(y=1, 2, ..., 6)は、複数の段数の記憶領域からなり、各段の記憶領域については、構成行列の行数及び列数(パラレルファクタP)である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出すこと、及び、書き込むことができるようになっている。また、FIFO300_yの記憶領域の段数は、図84の変換検査行列の行方向の1の数(ハミング重み)の最大数である9になっている。

【0534】

30

FIFO300₁には、図84の変換検査行列H'の第1行目から第5行目までの1の位置に対応するデータ(バリエブルノードからのメッセージ v_i)が、各行共に横方向に詰めた形に(0を無視した形で)格納される。すなわち、第j行第i列を、(j,i)と表すこととすると、FIFO300₁の第1段の記憶領域には、変換検査行列H'の(1,1)から(5,5)の5×5の単位行列の1の位置に対応するデータが格納される。第2段の記憶領域には、変換検査行列H'の(1,21)から(5,25)のシフト行列(5×5の単位行列を右方向に3つだけサイクリックシフトしたシフト行列)の1の位置に対応するデータが格納される。第3から第8段の記憶領域も同様に、変換検査行列H'と対応付けてデータが格納される。そして、第9段の記憶領域には、変換検査行列H'の(1,86)から(5,90)のシフト行列(5×5の単位行列のうちの1行目の1を0に置き換えて1つだけ左にサイクリックシフトしたシフト行列)の1の位置に対応するデータが格納される。

40

【0535】

FIFO300₂には、図84の変換検査行列H'の第6行目から第10行目までの1の位置に対応するデータが格納される。すなわち、FIFO300₂の第1段の記憶領域には、変換検査行列H'の(6,1)から(10,5)の和行列(5×5の単位行列を右に1つだけサイクリックシフトした第1のシフト行列と、右に2つだけサイクリックシフトした第2のシフト行列の和である和行列)を構成する第1のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。また、第2段の記憶領域には、変換検査行列H'の(6,1)から(10,5)の和行列を構成する第2のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。

【0536】

50

すなわち、重みが2以上の構成行列については、その構成行列を、重みが1である $P \times P$ の単位行列、単位行列の要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、又は単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列のうちの複数の和の形で表現したときの、その重みが1の単位行列、準単位行列、又はシフト行列の1の位置に対応するデータ（単位行列、準単位行列、又はシフト行列に属する枝に対応するメッセージ）は、同一アドレス（FIFO300₁ないし300₆のうちの同一のFIFO）に格納される。

【0537】

以下、第3から第9段の記憶領域についても、変換検査行列H'に対応付けてデータが格納される。

【0538】

FIFO300₃ないし300₆も同様に変換検査行列H'に対応付けてデータを格納する。

【0539】

枝データ格納用メモリ304は、変換検査行列H'の列数90を、構成行列の列数（パラレルファクタP）である5で割った18個のFIFO304₁ないし304₁₈から構成されている。FIFO304_x（ $x=1, 2, \dots, 18$ ）は、複数の段数の記憶領域からなり、各段の記憶領域については、構成行列の行数及び列数（パラレルファクタP）である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出すこと、及び、書き込むことができるようになっている。

【0540】

FIFO304₁には、図84の変換検査行列H'の第1列目から第5列目までの1の位置に対応するデータ（チェックノードからのメッセージ u_j ）が、各列共に縦方向に詰めた形に（0を無視した形で）格納される。すなわち、FIFO304₁の第1段の記憶領域には、変換検査行列H'の(1,1)から(5,5)の 5×5 の単位行列の1の位置に対応するデータが格納される。第2段の記憶領域には、変換検査行列H'の(6,1)から(10,5)の和行列（ 5×5 の単位行列を右に1つだけサイクリックシフトした第1のシフト行列と、右に2つだけサイクリックシフトした第2のシフト行列との和である和行列）を構成する第1のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。また、第3段の記憶領域には、変換検査行列H'の(6,1)から(10,5)の和行列を構成する第2のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。

【0541】

すなわち、重みが2以上の構成行列については、その構成行列を、重みが1である $P \times P$ の単位行列、単位行列の要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、又は単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列のうちの複数の和の形で表現したときの、その重みが1の単位行列、準単位行列、又はシフト行列の1の位置に対応するデータ（単位行列、準単位行列、又はシフト行列に属する枝に対応するメッセージ）は、同一アドレス（FIFO304₁ないし304₁₈のうちの同一のFIFO）に格納される。

【0542】

以下、第4及び第5段の記憶領域についても、変換検査行列H'に対応付けて、データが格納される。このFIFO304₁の記憶領域の段数は、変換検査行列H'の第1列から第5列における行方向の1の数（ハミング重み）の最大数である5になっている。

【0543】

FIFO304₂と304₃も同様に変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さ（段数）は、5である。FIFO304₄ないし304₁₂も同様に、変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さは3である。FIFO304₁₃ないし304₁₈も同様に、変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さは2である。

【0544】

次に、図85の復号装置の動作について説明する。

【0545】

枝データ格納用メモリ300は、6つのFIFO300₁ないし300₆からなり、前段のサイクリックシフト回路308から供給される5つのメッセージD311が、図84の変換検査

10

20

30

40

50

行列H'のどの行に属するかの情報(Matrixデータ) D312に従って、データを格納するFIFOを、FIFO 3 0 0₁ないし3 0 0₆の中から選び、選んだFIFOに5つのメッセージD311をまとめて順番に格納していく。また、枝データ格納用メモリ3 0 0は、データを読み出す際には、FIFO 3 0 0₁から5つのメッセージD300₁を順番に読み出し、次段のセクタ3 0 1に供給する。枝データ格納用メモリ3 0 0は、FIFO 3 0 0₁からのメッセージの読み出しの終了後、FIFO 3 0 0₂ないし3 0 0₆からも、順番に、メッセージを読み出し、セクタ3 0 1に供給する。

【0 5 4 6】

セクタ3 0 1は、セレクト信号D301に従って、FIFO 3 0 0₁ないし3 0 0₆のうちの、現在データが読み出されているFIFOからの5つのメッセージを選択し、メッセージD302として、チェックノード計算部3 0 2に供給する。

10

【0 5 4 7】

チェックノード計算部3 0 2は、5つのチェックノード計算器3 0 2₁ないし3 0 2₅からなり、セクタ3 0 1を通して供給されるメッセージD302(D302₁ないしD302₅) (式(7)のメッセージ v_i)を用いて、式(7)に従ってチェックノード演算を行い、そのチェックノード演算の結果得られる5つのメッセージD303(D303₁ないしD303₅) (式(7)のメッセージ u_j)をサイクリックシフト回路3 0 3に供給する。

【0 5 4 8】

サイクリックシフト回路3 0 3は、チェックノード計算部3 0 2で求められた5つのメッセージD303₁ないしD303₅を、対応する枝が変換検査行列H'において元となる単位行列(又は準単位行列)を幾つサイクリックシフトしたものであるかの情報(Matrixデータ) D305を元にサイクリックシフトし、その結果をメッセージD304として、枝データ格納用メモリ3 0 4に供給する。

20

【0 5 4 9】

枝データ格納用メモリ3 0 4は、18個のFIFO 3 0 4₁ないし3 0 4₁₈からなり、前段のサイクリックシフト回路3 0 3から供給される5つのメッセージD304が変換検査行列H'のどの行に属するかの情報D305に従って、データを格納するFIFOを、FIFO 3 0 4₁ないし3 0 4₁₈の中から選び、選んだFIFOに5つのメッセージD304をまとめて順番に格納していく。また、枝データ格納用メモリ3 0 4は、データを読み出す際には、FIFO 3 0 4₁から5つのメッセージD306₁を順番に読み出し、次段のセクタ3 0 5に供給する。枝データ格納用メモリ3 0 4は、FIFO 3 0 4₁からのデータの読み出しの終了後、FIFO 3 0 4₂ないし3 0 4₁₈からも、順番に、メッセージを読み出し、セクタ3 0 5に供給する。

30

【0 5 5 0】

セクタ3 0 5は、セレクト信号D307に従って、FIFO 3 0 4₁ないし3 0 4₁₈のうちの、現在データが読み出されているFIFOからの5つのメッセージを選択し、メッセージD308として、バリアブルノード計算部3 0 7と復号語計算部3 0 9に供給する。

【0 5 5 1】

一方、受信データ並べ替え部3 1 0は、通信路1 3を通して受信した、図8 2の検査行列Hに対応するLDPC符号D313を、式(1 2)の列置換を行うことにより並べ替え、受信データD314として、受信データ用メモリ3 0 6に供給する。受信データ用メモリ3 0 6は、受信データ並べ替え部3 1 0から供給される受信データD314から、受信LLR(対数尤度比)を計算して記憶し、その受信LLRを5個ずつまとめて受信値D309として、バリアブルノード計算部3 0 7と復号語計算部3 0 9に供給する。

40

【0 5 5 2】

バリアブルノード計算部3 0 7は、5つのバリアブルノード計算器3 0 7₁ないし3 0 7₅からなり、セクタ3 0 5を通して供給されるメッセージD308(D308₁ないしD308₅) (式(1)のメッセージ u_j)と、受信データ用メモリ3 0 6から供給される5つの受信値D309(式(1)の受信値 u_{0i})を用いて、式(1)に従ってバリアブルノード演算を行い、その演算の結果得られるメッセージD310(D310₁ないしD310₅) (式(1)のメッセージ v_i)を、サイクリックシフト回路3 0 8に供給する。

50

【0553】

サイクリックシフト回路308は、バリエブルノード計算部307で計算されたメッセージ $D310_1$ ないし $D310_5$ を、対応する枝が変換検査行列 H' において元となる単位行列（又は準単位行列）を幾つサイクリックシフトしたものであるかの情報を元にサイクリックシフトし、その結果をメッセージ $D311$ として、枝データ格納用メモリ300に供給する。

【0554】

以上の動作を1巡することで、LDPC符号の1回の復号（バリエブルノード演算及びチェックノード演算）を行うことができる。図85の復号装置は、所定の回数だけLDPC符号を復号した後、復号語計算部309及び復号データ並べ替え部311において、最終的な復号結果を求めて出力する。

10

【0555】

すなわち、復号語計算部309は、5つの復号語計算器 309_1 ないし 309_5 からなり、セレクト305が出力する5つのメッセージ $D308$ （ $D308_1$ ないし $D308_5$ ）（式（5）のメッセージ u_j ）と、受信データ用メモリ306から供給される5つの受信値 $D309$ （式（5）の受信値 u_{0i} ）を用い、複数回の復号の最終段として、式（5）に基づいて、復号結果（復号語）を計算して、その結果得られる復号データ $D315$ を、復号データ並べ替え部311に供給する。

【0556】

復号データ並べ替え部311は、復号語計算部309から供給される復号データ $D315$ を対象に、式（12）の列置換の逆置換を行うことにより、その順序を並べ替え、最終的な復号結果 $D316$ として出力する。

20

【0557】

以上のように、検査行列（元の検査行列）に対して、行置換と列置換のうちの一方又は両方を施し、 $P \times P$ の単位行列、その要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列、単位行列、準単位行列、もしくはシフト行列の複数の和である和行列、 $P \times P$ の0行列の組合せ、つまり、構成行列の組み合わせで表すことができる検査行列（変換検査行列）に変換することで、LDPC符号の復号を、チェックノード演算とバリエブルノード演算を、検査行列の行数や列数より小さい数の P 個同時に行うアーキテクチャを採用することが可能となる。ノード演算（チェックノード演算とバリエブルノード演算）を、検査行列の行数や列数より小さい数の P 個同時に行うアーキテクチャを採用する場合、ノード演算を、検査行列の行数や列数に等しい数だけ同時に行う場合に比較して、動作周波数を実現可能な範囲に抑えて、多数の繰り返し復号を行うことができる。

30

【0558】

図79の受信装置12を構成するLDPCデコーダ166は、例えば、図85の復号装置と同様に、チェックノード演算とバリエブルノード演算を P 個同時に行うことで、LDPC復号を行うようになっている。

【0559】

すなわち、いま、説明を簡単にするために、図8の送信装置11を構成するLDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号の検査行列が、例えば、図82に示した、パリティ行列が階段構造になっている検査行列 H であるとする、送信装置11のパリティインターリーブ23では、 $K+qx+y+1$ 番目の符号ビットを、 $K+Py+x+1$ 番目の符号ビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブが、情報長 K を60に、パラレルファクタ P を5に、パリティ長 M の約数 $q(=M/P)$ を6に、それぞれ設定して行われる。

40

【0560】

このパリティインターリーブは、上述したように、式（12）の列置換に相当するから、LDPCデコーダ166では、式（12）の列置換を行う必要がない。

【0561】

このため、図79の受信装置12では、上述したように、グループワイズデインターリーブ55から、LDPCデコーダ166に対して、パリティデインターリーブが行われていな

50

いLDPC符号、つまり、式(12)の列置換が行われた状態のLDPC符号が供給され、LDPCデコーダ166では、式(12)の列置換を行わないことを除けば、図85の復号装置と同様の処理が行われる。

【0562】

すなわち、図86は、図79のLDPCデコーダ166の構成例を示す図である。

【0563】

図86において、LDPCデコーダ166は、図85の受信データ並べ替え部310が設けられていないことを除けば、図85の復号装置と同様に構成されており、式(12)の列置換が行われないことを除いて、図85の復号装置と同様の処理を行うため、その説明は省略する。

10

【0564】

以上のように、LDPCデコーダ166は、受信データ並べ替え部310を設けずに構成することができるので、図85の復号装置よりも、規模を削減することができる。

【0565】

なお、図82ないし図86では、説明を簡単にするために、LDPC符号の符号長 N を90と、情報長 K を60と、パラレルファクタ（構成行列の行数及び列数） P を5と、パリティ長 M の約数 $q(=M/P)$ を6と、それぞれしたが、符号長 N 、情報長 K 、パラレルファクタ P 、及び約数 $q(=M/P)$ のそれぞれは、上述した値に限定されるものではない。

【0566】

すなわち、図8の送信装置11において、LDPCエンコーダ115が出力するのは、例えば、符号長 N を64800や、16200、69120、17280等と、情報長 K を $N-Pq(=N-M)$ と、パラレルファクタ P を360と、約数 q を M/P と、それぞれするLDPC符号であるが、図86のLDPCデコーダ166は、そのようなLDPC符号を対象として、チェックノード演算とパリアブルノード演算を P 個同時に行うことで、LDPC復号を行う場合に適用可能である。

20

【0567】

また、LDPCデコーダ166でのLDPC符号の復号後、その復号結果のパリティの部分が必要であり、復号結果の情報ビットだけを出力する場合には、復号データ並べ替え部311なしで、LDPCデコーダ166を構成することができる。

【0568】

<ブロックデインターリーブ54の構成例>

30

【0569】

図87は、図80のブロックデインターリーブ54で行われるブロックデインターリーブを説明する図である。

【0570】

ブロックデインターリーブでは、図75で説明したブロックインターリーブ25のブロックインターリーブと逆の処理が行われることで、LDPC符号の符号ビットの並びが元の並びに戻される（復元される）。

【0571】

すなわち、ブロックデインターリーブでは、例えば、ブロックインターリーブと同様に、シンボルのビット数 m に等しい m 個のカラムに対して、LDPC符号を書き込んで読み出すことにより、LDPC符号の符号ビットの並びが元の並びに戻される。

40

【0572】

但し、ブロックデインターリーブでは、LDPC符号の書き込みは、ブロックインターリーブにおいてLDPC符号を読み出す順に行われる。さらに、ブロックデインターリーブでは、LDPC符号の読み出しは、ブロックインターリーブにおいてLDPC符号を書き込む順に行われる。

【0573】

すなわち、LDPC符号のパート1については、図87に示すように、 m 個すべてのカラムの1行目から、ロウ方向に、 m ビットのシンボル単位になっているLDPC符号のパート1が書き込まれる。すなわち、 m ビットのシンボルとなっているLDPC符号の符号ビットが、ロウ方

50

向に書き込まれる。

【0574】

mビット単位でのパート1の書き込みは、m個のカラムの下の方に向かって順次行われ、パート1の書き込みが終了すると、図87に示すように、カラムの1番目のカラムユニットの上から下方向に、パート1を読み出すことが、左から右方向のカラムに向かって行われる。

【0575】

右端のカラムまでの読み出しが終了すると、図87に示すように、左端のカラムに戻り、カラムの2番目のカラムユニットの上から下方向にパート1を読み出すことが、左から右方向のカラムに向かって行われ、以下、同様にして、1符号語のLDPC符号のパート1の読み出しが行われる。

10

【0576】

1符号語のLDPC符号のパート1の読み出しが終了すると、mビットのシンボル単位になっているパート2については、そのmビットのシンボル単位が、パート1の後に順次連結され、これにより、シンボル単位のLDPC符号は、元の1符号語のLDPC符号（ブロックインターリーブ前のLDPC符号）の符号ビットの並びに戻される。

【0577】

＜ビットデインターリーブ165の他の構成例＞

【0578】

図88は、図79のビットデインターリーブ165の他の構成例を示すブロック図である。

20

【0579】

なお、図中、図80の場合と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は、適宜省略する。

【0580】

すなわち、図88のビットデインターリーブ165は、パリティデインターリーブ1011が新たに設けられている他は、図80の場合と同様に構成されている。

【0581】

図88では、ビットデインターリーブ165は、ブロックデインターリーブ54、グループワイズデインターリーブ55、及び、パリティデインターリーブ1011から構成され、デマップ164からのLDPC符号の符号ビットのビットデインターリーブを行う。

30

【0582】

すなわち、ブロックデインターリーブ54は、デマップ164からのLDPC符号を対象として、送信装置11のブロックインターリーブ25が行うブロックインターリーブに対応するブロックデインターリーブ（ブロックインターリーブの逆の処理）、すなわち、ブロックインターリーブによって入れ替えられた符号ビットの位置を元の位置に戻すブロックデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号を、グループワイズデインターリーブ55に供給する。

【0583】

グループワイズデインターリーブ55は、ブロックデインターリーブ54からのLDPC符号を対象として、送信装置11のグループワイズインターリーブ24が行う並び替え処理としてのグループワイズインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブを行う。

40

【0584】

グループワイズデインターリーブの結果得られるLDPC符号は、グループワイズデインターリーブ55からパリティデインターリーブ1011に供給される。

【0585】

パリティデインターリーブ1011は、グループワイズデインターリーブ55でのグループワイズデインターリーブ後の符号ビットを対象として、送信装置11のパリティインターリーブ23が行うパリティインターリーブに対応するパリティデインターリーブ（パ

50

リティインターリーブの逆の処理)、すなわち、パリティインターリーブによって並びが変更されたLDPC符号の符号ビットを、元の並びに戻すパリティデインターリーブを行う。

【0586】

パリティデインターリーブの結果得られるLDPC符号は、パリティデインターリーブ1011からLDPCデコーダ166に供給される。

【0587】

したがって、図88のビットデインターリーブ165では、LDPCデコーダ166には、ブロックデインターリーブ、グループワイズデインターリーブ、及び、パリティデインターリーブが行われたLDPC符号、すなわち、検査行列Hに従ったLDPC符号化によって得られるLDPC符号が供給される。

10

【0588】

LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーブ165からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hを用いて行う。

【0589】

すなわち、LDPCデコーダ166は、タイプB方式については、ビットデインターリーブ165からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた(タイプB方式の)検査行列Hそのものを用いて、又は、その検査行列Hに対して、パリティインターリーブに相当する列置換を少なくとも行って得られる変換検査行列を用いて行う。また、LDPCデコーダ166は、タイプA方式については、ビットデインターリーブ165からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた(タイプA方式の)検査行列(図27)に列置換を施して得られる検査行列(図28)、又は、LDPC符号化に用いた検査行列(図27)に行置換を施して得られる変換検査行列(図29)を用いて行う。

20

【0590】

ここで、図88では、ビットデインターリーブ165(のパリティデインターリーブ1011)からLDPCデコーダ166に対して、検査行列Hに従ったLDPC符号化によって得られるLDPC符号が供給されるため、そのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いたタイプB方式の検査行列Hそのもの、又は、LDPC符号化に用いたタイプA方式の検査行列(図27)に列置換を施して得られる検査行列(図28)を用いて行う場合には、LDPCデコーダ166は、例えば、メッセージ(チェックノードメッセージ、バリバブルノードメッセージ)の演算を1個のノードずつ順次行うフルシリアルデコーディング(full serial decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置や、メッセージの演算をすべてのノードについて同時(並列)に行うフルパラレルデコーディング(full parallel decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置で構成することができる。

30

【0591】

また、LDPCデコーダ166において、LDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いたタイプB方式の検査行列Hに対して、パリティインターリーブに相当する列置換を少なくとも行って得られる変換検査行列、又は、LDPC符号化に用いたタイプA方式の検査行列(図27)に行置換を施して得られる変換検査行列(図29)を用いて行う場合には、LDPCデコーダ166は、チェックノード演算、及びバリバブルノード演算を、P(又はPの1以外の約数)個同時に行うアーキテクチャの復号装置であって、変換検査行列を得るための列置換(パリティインターリーブ)と同様の列置換を、LDPC符号に施すことにより、そのLDPC符号の符号ビットを並び替える受信データ並べ替え部310を有する復号装置(図85)で構成することができる。

40

【0592】

なお、図88では、説明の便宜のため、ブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーブ54、グループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーブ55、及び、パリティデインターリーブを行うパリティデインターリーブ1011それぞれを、別個に構成するようにしたが、ブロックデインターリーブ54、グループワイズデインターリーブ55、及び、パリティデインターリーブ1011の2以上は、送信装

50

置 1 1 のパリティインターリーバ 2 3、グループワイズインターリーバ 2 4、及び、ブロックインターリーバ 2 5 と同様に、一体的に構成することができる。

【0 5 9 3】

＜受信システムの構成例＞

【0 5 9 4】

図 8 9 は、受信装置 1 2 を適用可能な受信システムの第 1 の構成例を示すブロック図である。

【0 5 9 5】

図 8 9 において、受信システムは、取得部 1 1 0 1、伝送路復号処理部 1 1 0 2、及び、情報源復号処理部 1 1 0 3 から構成される。

10

【0 5 9 6】

取得部 1 1 0 1 は、番組の画像データや音声データ等の LDPC 対象データを、少なくとも LDPC 符号化することで得られる LDPC 符号を含む信号を、例えば、地上デジタル放送、衛星デジタル放送、CATV 網、インターネットその他のネットワーク等の、図示せぬ伝送路（通信路）を介して取得し、伝送路復号処理部 1 1 0 2 に供給する。

【0 5 9 7】

ここで、取得部 1 1 0 1 が取得する信号が、例えば、放送局から、地上波や、衛星波、CATV(Cable Television) 網等を介して放送されてくる場合には、取得部 1 1 0 1 は、チューナや STB(Set Top Box) 等で構成される。また、取得部 1 1 0 1 が取得する信号が、例えば、web サーバから、IPTV(Internet Protocol Television) のようにマルチキャストで送信されてくる場合には、取得部 1 1 0 1 は、例えば、NIC(Network Interface Card) 等のネットワーク I/F(Inter face) で構成される。

20

【0 5 9 8】

伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、受信装置 1 2 に相当する。伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号に対して、伝送路で生じる誤りを訂正する処理を少なくとも含む伝送路復号処理を施し、その結果得られる信号を、情報源復号処理部 1 1 0 3 に供給する。

【0 5 9 9】

すなわち、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号は、伝送路で生じる誤りを訂正するための誤り訂正符号化を、少なくとも行うことで得られた信号であり、伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、そのような信号に対して、例えば、誤り訂正処理等の伝送路復号処理を施す。

30

【0 6 0 0】

ここで、誤り訂正符号化としては、例えば、LDPC 符号化や、BCH 符号化等がある。ここでは、誤り訂正符号化として、少なくとも、LDPC 符号化が行われている。

【0 6 0 1】

また、伝送路復号処理には、変調信号の復調等が含まれることがある。

【0 6 0 2】

情報源復号処理部 1 1 0 3 は、伝送路復号処理が施された信号に対して、圧縮された情報を元の情報に伸張する処理を少なくとも含む情報源復号処理を施す。

40

【0 6 0 3】

すなわち、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号には、情報としての画像や音声等のデータ量を少なくするために、情報を圧縮する圧縮符号化が施されていることがあり、その場合、情報源復号処理部 1 1 0 3 は、伝送路復号処理が施された信号に対して、圧縮された情報を元の情報に伸張する処理(伸張処理)等の情報源復号処理を施す。

【0 6 0 4】

なお、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号に、圧縮符号化が施されていない場合には、情報源復号処理部 1 1 0 3 では、圧縮された情報を元の情報に伸張する処理は行われない。

【0 6 0 5】

50

ここで、伸張処理としては、例えば、MPEGデコード等がある。また、伝送路復号処理には、伸張処理の他、デスクランブル等が含まれることがある。

【0606】

以上のように構成される受信システムでは、取得部1101において、例えば、画像や音声等のデータに対して、MPEG符号化等の圧縮符号化が施され、さらに、LDPC符号化等の誤り訂正符号化が施された信号が、伝送路を介して取得され、伝送路復号処理部1102に供給される。

【0607】

伝送路復号処理部1102では、取得部1101からの信号に対して、例えば、受信装置12が行うのと同様の処理等が、伝送路復号処理として施され、その結果得られる信号が、情報源復号処理部1103に供給される。

10

【0608】

情報源復号処理部1103では、伝送路復号処理部1102からの信号に対して、MPEGデコード等の情報源復号処理が施され、その結果得られる画像、又は音声が出力される。

【0609】

以上のような図89の受信システムは、例えば、デジタル放送としてのテレビジョン放送を受信するテレビチューナ等に適用することができる。

【0610】

なお、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103は、それぞれ、1つの独立した装置（ハードウェア（IC(Integrated Circuit)等））、又はソフトウェアモジュール）として構成することが可能である。

20

【0611】

また、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103については、取得部1101と伝送路復号処理部1102とのセットや、伝送路復号処理部1102と情報源復号処理部1103とのセット、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103のセットを、1つの独立した装置として構成することが可能である。

【0612】

図90は、受信装置12を適用可能な受信システムの第2の構成例を示すブロック図である。

30

【0613】

なお、図中、図89の場合と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は、適宜省略する。

【0614】

図90の受信システムは、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103を有する点で、図89の場合と共通し、出力部1111が新たに設けられている点で、図89の場合と相違する。

【0615】

出力部1111は、例えば、画像を表示する表示装置や、音声を出力するスピーカであり、情報源復号処理部1103から出力される信号としての画像や音声等を出力する。すなわち、出力部1111は、画像を表示し、あるいは、音声を出力する。

40

【0616】

以上のような図90の受信システムは、例えば、デジタル放送としてのテレビジョン放送を受信するTV（テレビジョン受像機）や、ラジオ放送を受信するラジオ受信機等に適用することができる。

【0617】

なお、取得部1101において取得された信号に、圧縮符号化が施されていない場合には、伝送路復号処理部1102が出力する信号が、出力部1111に供給される。

【0618】

図91は、受信装置12を適用可能な受信システムの第3の構成例を示すブロック図で

50

ある。

【0619】

なお、図中、図89の場合と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は、適宜省略する。

【0620】

図91の受信システムは、取得部1101、及び、伝送路復号処理部1102を有する点で、図89の場合と共通する。

【0621】

但し、図91の受信システムは、情報源復号処理部1103が設けられておらず、記録部1121が新たに設けられている点で、図89の場合と相違する。

10

【0622】

記録部1121は、伝送路復号処理部1102が出力する信号（例えば、MPEGのTSのTSパケット）を、光ディスクや、ハードディスク（磁気ディスク）、フラッシュメモリ等の記録（記憶）媒体に記録する（記憶させる）。

【0623】

以上のような図91の受信システムは、テレビジョン放送を録画するレコーダ等に適用することができる。

【0624】

なお、図91において、受信システムは、情報源復号処理部1103を設けて構成し、情報源復号処理部1103で、情報源復号処理が施された後の信号、すなわち、デコードによって得られる画像や音声を、記録部1121で記録することができる。

20

【0625】

＜コンピュータの一実施の形態＞

【0626】

次に、上述した一連の処理は、ハードウェアにより行うこともできるし、ソフトウェアにより行うこともできる。一連の処理をソフトウェアによって行う場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、汎用のコンピュータ等にインストールされる。

【0627】

そこで、図92は、上述した一連の処理を実行するプログラムがインストールされるコンピュータの一実施の形態の構成例を示している。

30

【0628】

プログラムは、コンピュータに内蔵されている記録媒体としてのハードディスク705やROM703に予め記録しておくことができる。

【0629】

あるいはまた、プログラムは、フレキシブルディスク、CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory)、MO(Magneto Optical)ディスク、DVD(Digital Versatile Disc)、磁気ディスク、半導体メモリなどのリムーバブル記録媒体711に、一時的あるいは永続的に格納（記録）しておくことができる。このようなリムーバブル記録媒体711は、いわゆるパッケージソフトウェアとして提供することができる。

【0630】

40

なお、プログラムは、上述したようなリムーバブル記録媒体711からコンピュータにインストールする他、ダウンロードサイトから、デジタル衛星放送用の人工衛星を介して、コンピュータに無線で転送したり、LAN(Local Area Network)、インターネットといったネットワークを介して、コンピュータに有線で転送し、コンピュータでは、そのようにして転送されてくるプログラムを、通信部708で受信し、内蔵するハードディスク705にインストールすることができる。

【0631】

コンピュータは、CPU(Central Processing Unit)702を内蔵している。CPU702には、バス701を介して、入出力インタフェース710が接続されており、CPU702は、入出力インタフェース710を介して、ユーザによって、キーボードや、マウス、マイ

50

ク等で構成される入力部 707 が操作等されることにより指令が入力されると、それに従って、ROM(Read Only Memory) 703 に格納されているプログラムを実行する。あるいは、また、CPU 702 は、ハードディスク 705 に格納されているプログラム、衛星若しくはネットワークから転送され、通信部 708 で受信されてハードディスク 705 にインストールされたプログラム、又はドライブ 709 に装着されたリムーバブル記録媒体 711 から読み出されてハードディスク 705 にインストールされたプログラムを、RAM(Random Access Memory) 704 にロードして実行する。これにより、CPU 702 は、上述したフローチャートに従った処理、あるいは上述したブロック図の構成により行われる処理を行う。そして、CPU 702 は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力インタフェース 710 を介して、LCD(Liquid Crystal Display)やスピーカ等で構成される出力部 706 から出力、あるいは、通信部 708 から送信、さらには、ハードディスク 705 に記録等させる。

10

【0632】

ここで、本明細書において、コンピュータに各種の処理を行わせるためのプログラムを記述する処理ステップは、必ずしもフローチャートとして記載された順序に沿って時系列に処理する必要はなく、並列的あるいは個別に実行される処理（例えば、並列処理あるいはオブジェクトによる処理）も含むものである。

【0633】

また、プログラムは、1つのコンピュータにより処理されるものであっても良いし、複数のコンピュータによって分散処理されるものであっても良い。さらに、プログラムは、遠方のコンピュータに転送されて実行されるものであっても良い。

20

【0634】

なお、本技術の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本技術の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

【0635】

例えば、上述した新LDPC符号（の検査行列初期値テーブル）やGWパターンは、衛星回線や、地上波、ケーブル（有線回線）、その他の通信路 13（図7）について用いることができる。さらに、新LDPC符号やGWパターンは、デジタル放送以外のデータ伝送にも用いることができる。

【0636】

30

なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、他の効果があってもよい。

【符号の説明】

【0637】

11 送信装置, 12 受信装置, 23 パリティインターリーバ, 24 グループワイズインターリーバ, 25 ブロックインターリーバ, 54 ブロックデインターリーバ, 55 グループワイズデインターリーバ, 111 モードアダプテーション/マルチプレкса, 112 パダー, 113 BBスクランブラ, 114 BCHエンコーダ, 115 LDPCエンコーダ, 116 ビットインターリーバ, 117 マップ, 118 時間インターリーバ, 119 SISO/MISOエンコーダ, 120 周波数インターリーバ, 121 BCHエンコーダ, 122 LDPCエンコーダ, 123 マップ, 124 周波数インターリーバ, 131 フレームビルダ/リソースアロケーション部, 132 OFDM生成部, 151 OFDM処理部, 152 フレーム管理部, 153 周波数デインターリーバ, 154 デマップ, 155 LDPCデコーダ, 156 BCHデコーダ, 161 周波数デインターリーバ, 162 SISO/MISOデコーダ, 163 時間デインターリーバ, 164 デマップ, 165 ビットデインターリーバ, 166 LDPCデコーダ, 167 BCHデコーダ, 168 BBデスクランブラ, 169 ヌル削除部, 170 デマルチプレкса, 300 枝データ格納用メモリ, 301 セレクタ, 302 チェックノード計算部, 303 サイクリックシフト回路, 304 枝データ格納用メモリ, 305 セレクタ, 306

40

50

受信データ用メモリ， 307 パリアブルノード計算部， 308 サイクリックシフト回路， 309 復号語計算部， 310 受信データ並べ替え部， 311 復号データ並べ替え部， 601 符号化処理部， 602 記憶部， 611 符号化率設定部， 612 初期値テーブル読み出し部， 613 検査行列生成部， 614 情報ビット読み出し部， 615 符号化パリティ演算部， 616 制御部， 701 バス， 702 CPU， 703 ROM， 704 RAM， 705 ハードディスク， 706 出力部， 707 入力部， 708 通信部， 709 ドライブ， 710 入出力インタフェース， 711， リムーバブル記録媒体， 1001 逆入れ替え部， 1002 メモリ， 1011 パリティデインターリーバ， 1101 取得部， 1101 伝送路復号処理部， 1103 情報源復号処理部， 1111 出力部， 1121 記録部

10

【図 1】

FIG. 1

[illegible]

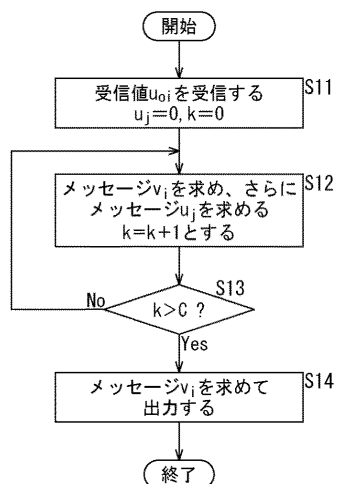
【図 3】

FIG. 3

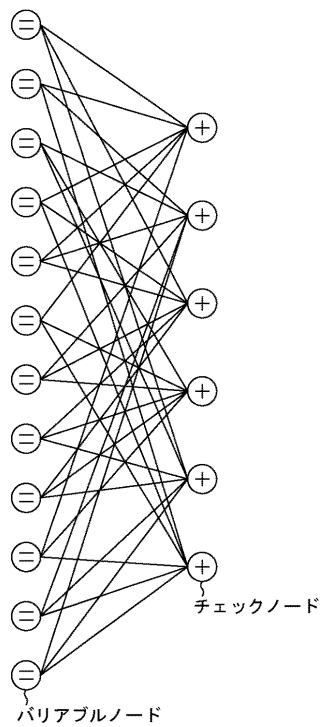
$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1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

【図 2】

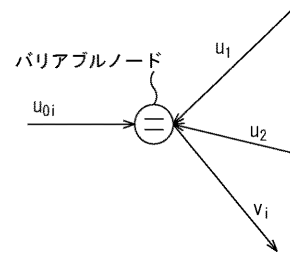
FIG. 2



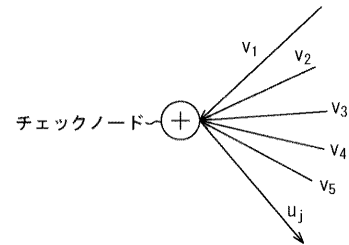
【図 4】
FIG. 4



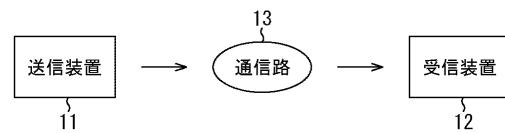
【図 5】
FIG. 5



【図 6】
FIG. 6

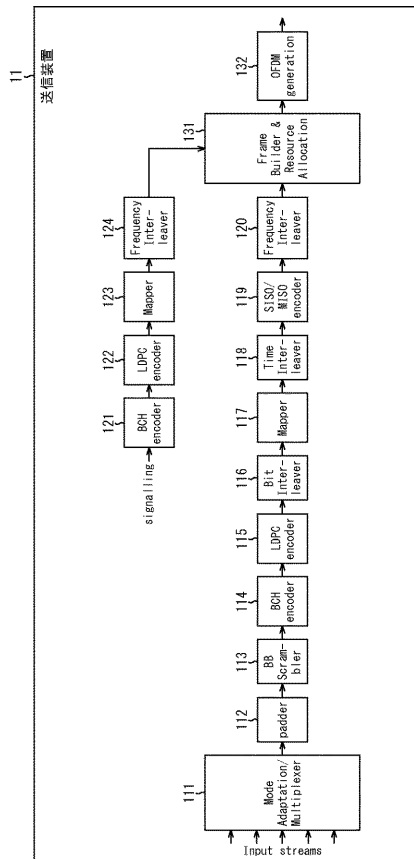


【図 7】
FIG. 7

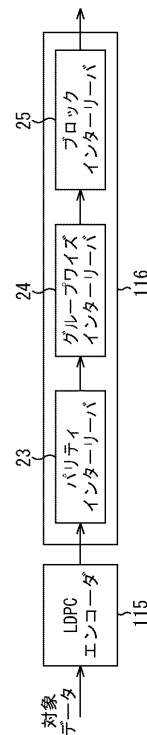


伝送システム

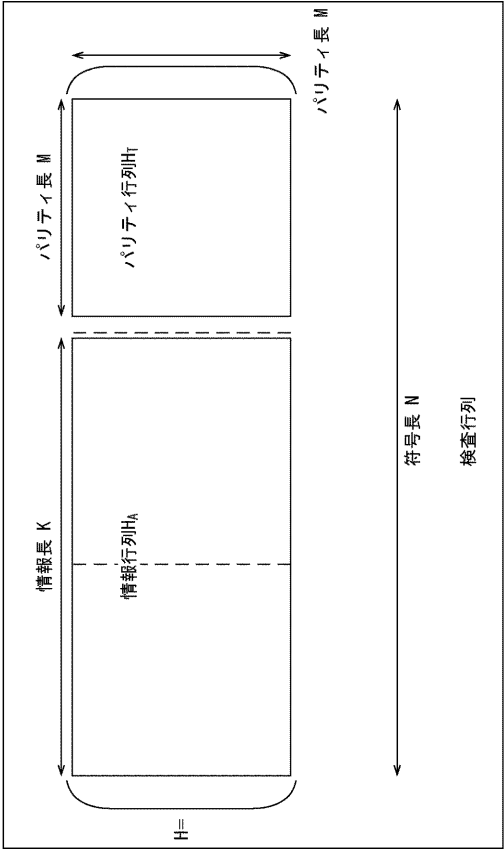
【図 8】
FIG. 8



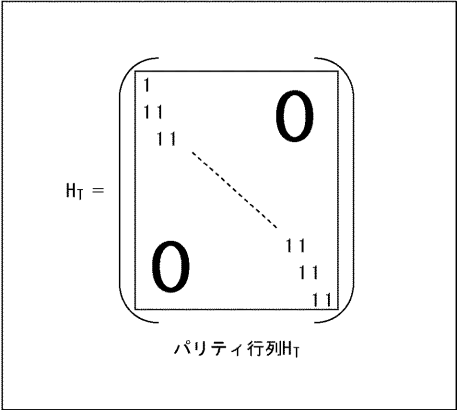
【図 9】
FIG. 9



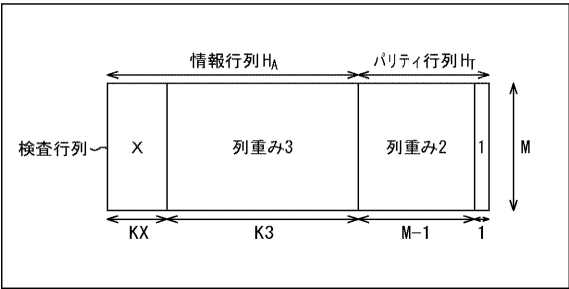
【図 1 0】
FIG.10



【図 1 1】
FIG.11



【図 1 2】
FIG.12

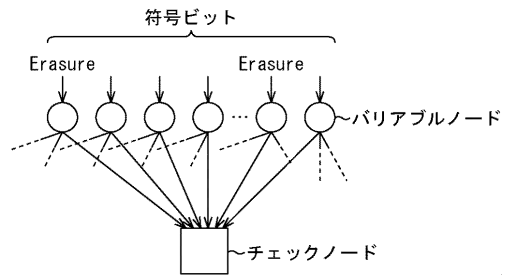


【図 1 3】
FIG.13

N=64800					N=16200				
Nominal 符号化率	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	-	-	-	-	

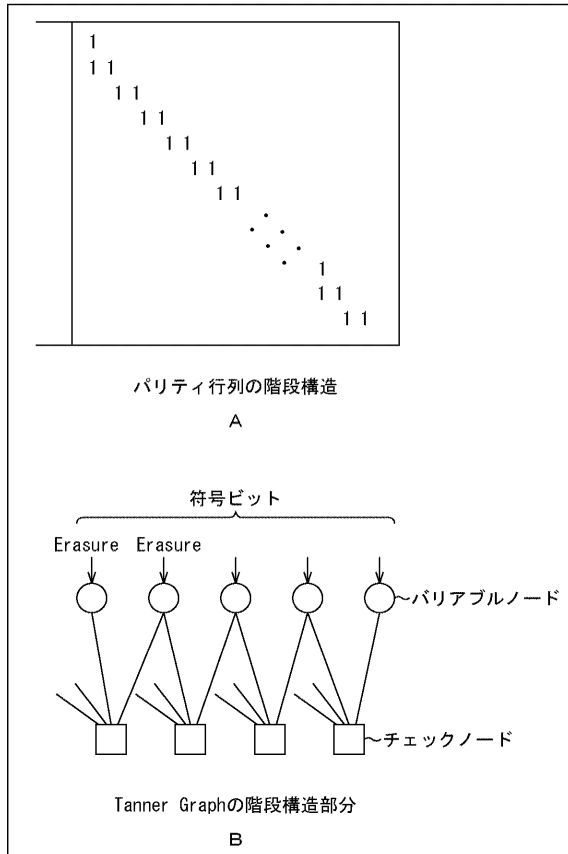
各列重みの
列数

【図 1 4】
FIG.14



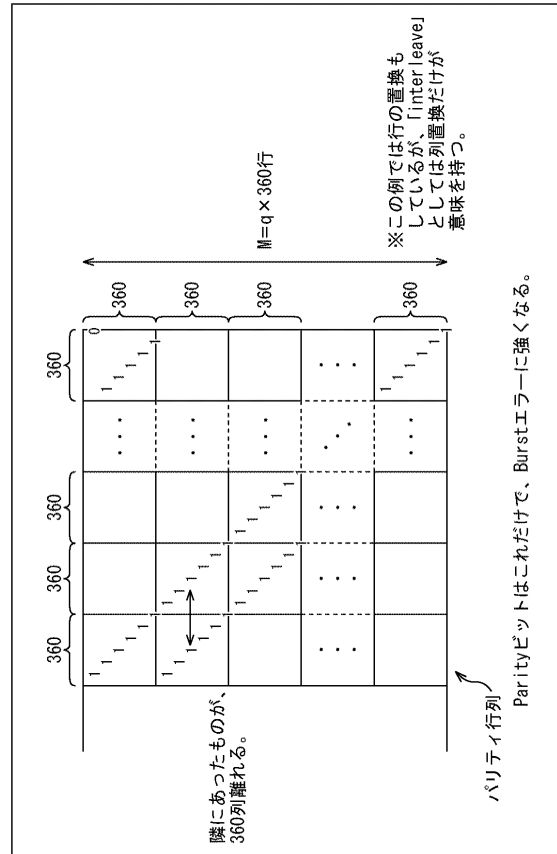
【図 15】

FIG.15



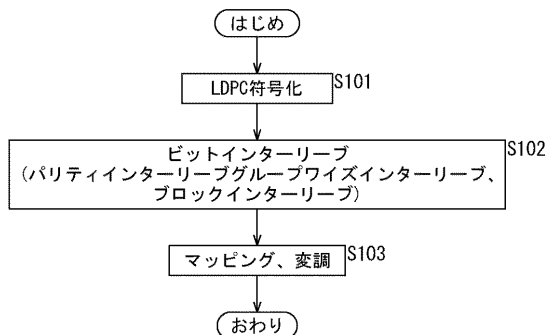
【図 16】

FIG.16



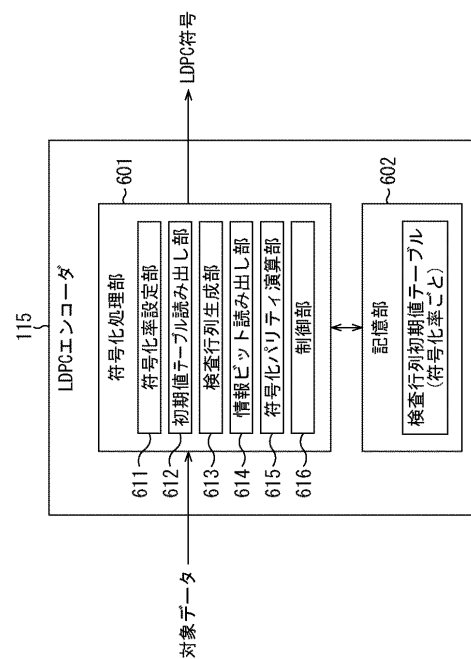
【図 17】

FIG.17

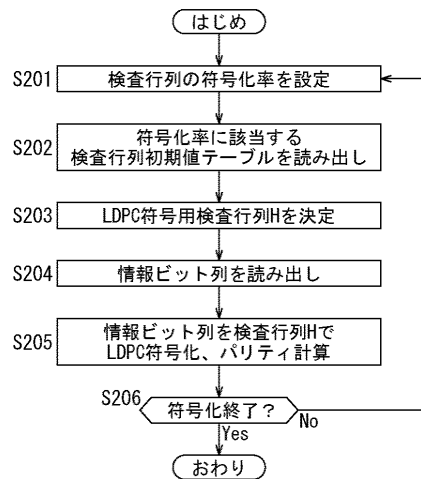


【図 18】

FIG.18



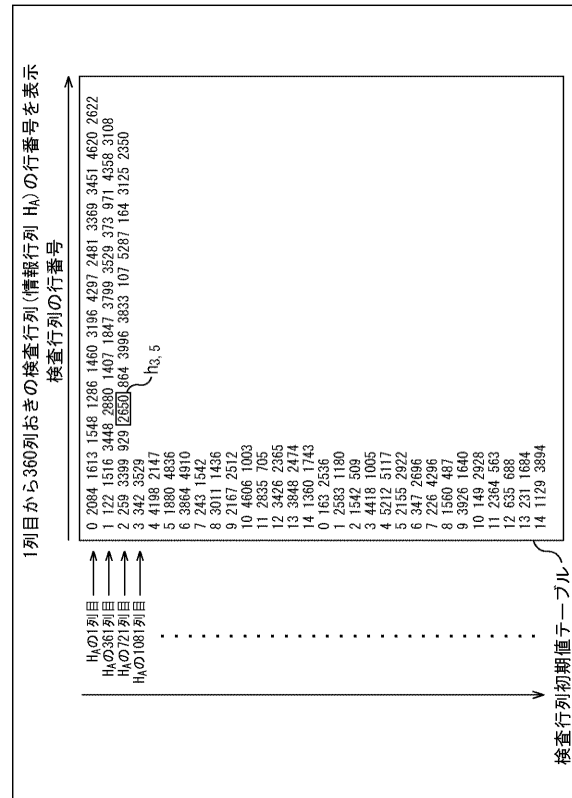
【図 19】
FIG. 19



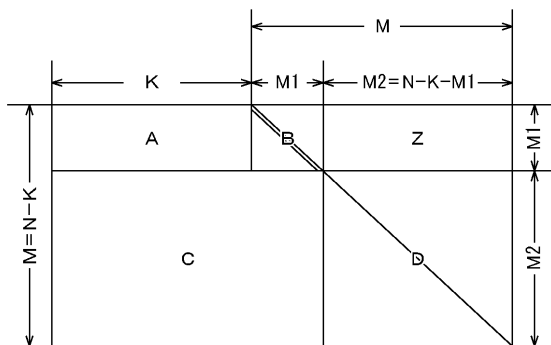
【図 20】
FIG. 20

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													

【図 21】
FIG. 21



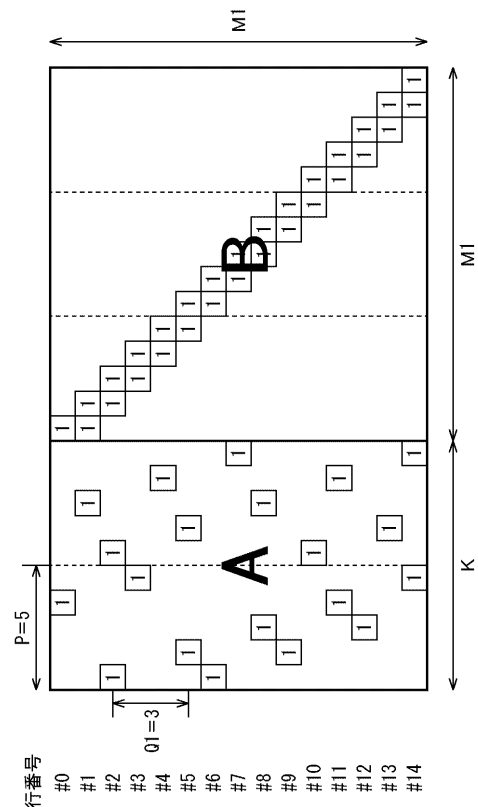
【図 22】
FIG. 22



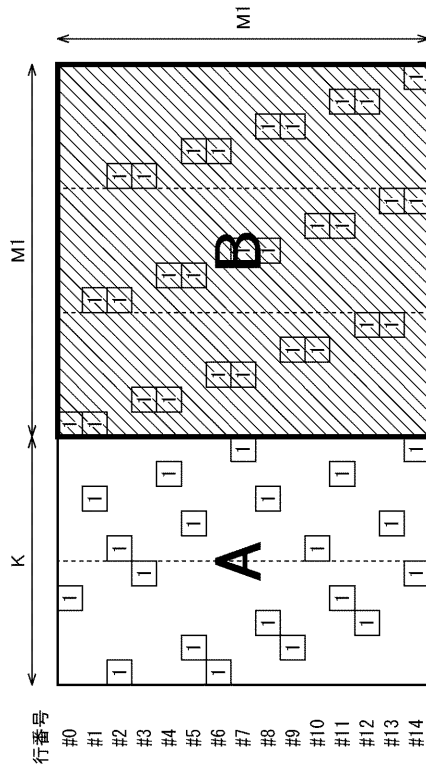
【図 23】
FIG. 23

2	6	18
2	10	19
22		
19		
15		

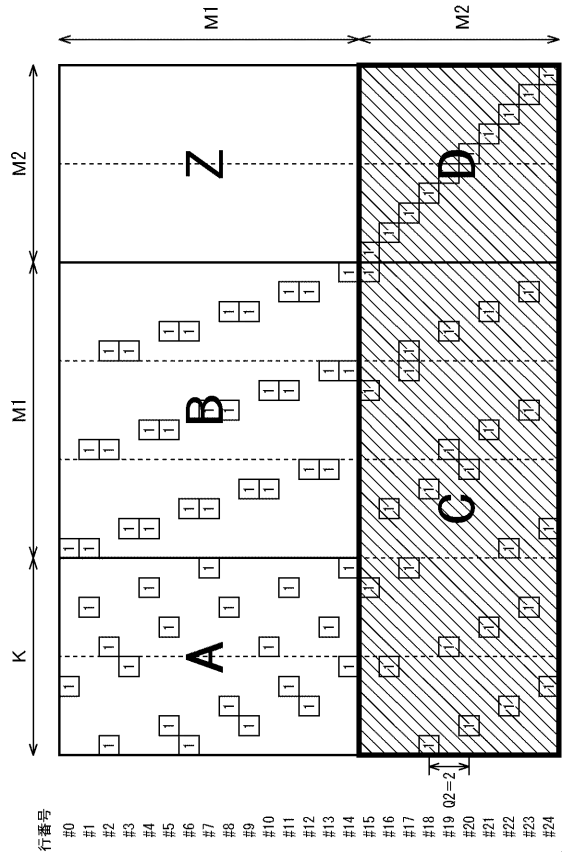
【図 24】
FIG. 24



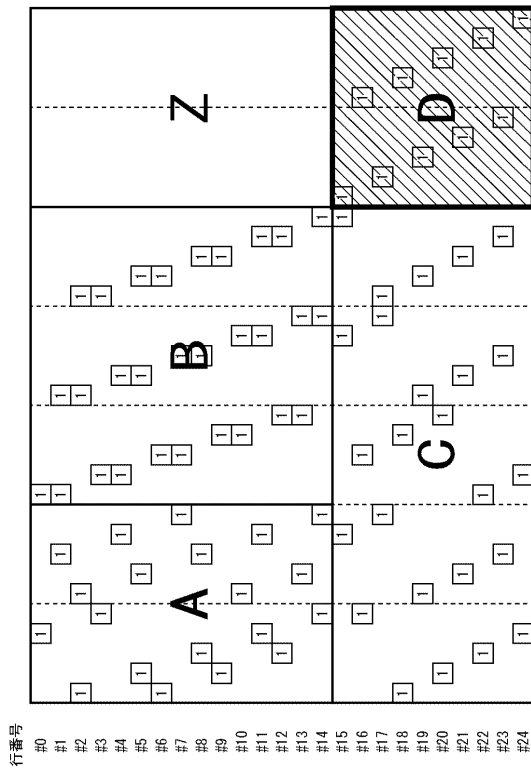
【図 25】
FIG. 25



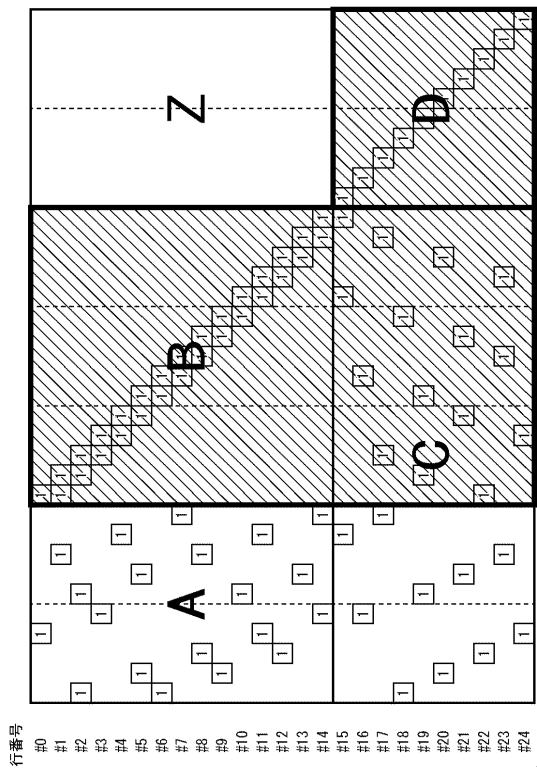
【図 26】
FIG. 26



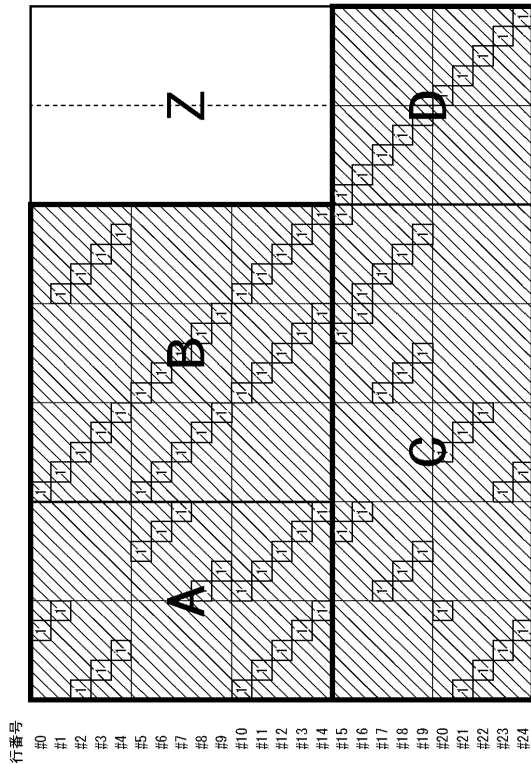
【図 27】
FIG. 27



【図 28】
FIG. 28



【図 29】
FIG. 29



【図 30】
FIG. 30

```

Rate 2/16 17k TypeA符号テーブル
485 1444 1737 3762 7283 10663
181 1563 1623 3902 12647
1077 1216 1709 11264 13865
303 1225 1369 13470 14991
1067 1226 1795 2169 2507 2677 2727 2773 3609 3926 3996 4192 5004 5921 6134
6385 7419 7595 7821 8996 9413 10318 10557 10886 11307 11599 12641 13430
101 1264 1427 1860 2032 2063 3143 3156 4227 4554 4732 5165 5447 5902 6145
6721 7170 8660 8833 9081 9643 9800 10233 11723 12547 13124 14196 14723
3403 3678 5842 7967 8991 9220 9663 10299 10343 10550
1951 2354 3899 4774 7602 9120 9666 11048 14327 15089
2588 3047 4252 4831 5220 5487 5626 6380 9410 10618
2261 2295 5693 6711 6789 8342 11569 11943 12826 14312
3441 5287 7665 7864 8134 8446 10920 11625 12710 13309

```

【図 31】
FIG. 31

Rate	3/16	17k	TypeA	符号テーブル
10	1155	1332	1608	8228 8253 11662
483	1297	1433	4678	5776 10410 13553
862	967	1036	1842	2950 10129 12042
258	872	1037	7129	9442 9491 10644
215	260	590	6003	7554 10499
197	521	1190	1670	3696 4410 4436 4686 5350 5651 7397 7503 8553 9844 10729
11421	11605	11742	11835	12338 12422
288	560	1427	1492	1932 3255 4508 4628 5259 5881 6136 8019 8152 8192 8230 8669
8880	10289	11160	11665	12374
694	1175	1205	2363	2756 2962 3097 3374 4268 4811 6072 6393 6942 9514 9733
10681	11081	11360	12386	13467 13980
25	1200	1266	3036	3441 4940 5161 5254 7231 7585 8088 9414 10217 10349 10409
11177	12151	12497	12934	13123 14029
2599	5475	6890	7755	8567 9088 11980
2708	2836	6062	6328	8890 9831 11173
2522	2634	4989	6831	9523 10731 12107
4738	5653	7862	11986	12773 12839 13045

【図 32】
FIG. 32

```
Rate 4/16 17k TypeA符号テーブル
478 512 714 1103 3052 4701 6654 7690 7824 11154 11948 12493
73 155 855 1758 2467 4962 5168 5785 7323 11891 12232
41 433 636 1280 2182 2342 2768 3511 7654 8802 9938
196 434 672 5407 6013 7349 8268 8640 9257 9675 11987
23 543 562 1355 2157 3037 6464 8139 10004 10047 12628
743 900 982 3188 5095 7926 8936 10387 10419 11190 12422
102 647 1000 3957 4826 5892 8640 8655 11125 11210 12955
273 652 788 1958 2647 4003 5015 6364 9191 9966 10147
372 566 772 7093 7353 8285 8592 9651 11787 12190 12376
33 257 943 3805 5647
196 681 983 9412 11567
59 720 1009 2814 12177
1148 1691 2098 2308 2328 3860 4055 6680 6822 7271 8041 8748 9723 10748 12636
12730 12865
1827 2104 3047 3338 5151 5312 5452 6563 8783 8998 9056 10576 10679 10817
12032 12681 12822
1948 2778 3225 4292 5260 5874 6550 6773 7369 7627 8500 9799 10247 11775 12207
12324 12891
```

FIG. 34

Rate 6/16 17k TypeA符号テーブル

416	437	444	1657	2662	4109	4405	6308	8251
75	498	687	3903	4582	7035	7650	7871	10382
394	419	474	3515	6708	7277	8703	9969	10489
167	289	612	1847	5277	5900	8326	8508	9462
196	439	620	2128	2375	2501	6902	9308	9552
154	495	623	5024	6241	8364	9996	10104	10346
230	329	661	879	1474	3222	4109	8079	8865
97	172	692	1018	1629	1752	3170	5930	
359	377	712	6273	7131	7278	8292	10457	
368	551	708	787	2891	6140	7195	9555	
44	512	655	2196	6692	7975	8410	10727	
27	94	611	5585	7258	8091	9867	10714	
608	639	691	3560	6819	7492	7754	7916	
46	115	214	2175	5986	7177	8589	10757	
282	589	604	969	1856	2433	5742	8900	
243	262	669	1330	1366	3339	5517	7517	
62	392	651	4175	8349	8557	9192	10015	
206	375	697	1449	2015	2390	3926	4428	5084
								5236
								5872
								8486
								9398
								9997
								10469
1079	1384	1664	2936	4618	5359	5455	5537	5726
								5875
								8044
								8521
								9746
791	1106	1497	1885	2682	3473	3716	4506	5671
								5829
								8388
								8641
								9454

FIG. 36

Rate	7/16	17k	TypeB	符号	テーブル
193	217	530	596	789	1340
1569	1662	1887	1889	2299	2610
2629	2790	3464	3607		
3935	4439	5460	5721	5758	6094
6280	6350	6449	6613	6682	6826
6906	7048	7425	8229		
8627	8679	8735	8814	9079	9146
435	572	815	903	1063	1962
1989	2215	2417	2862	2914	3182
3980	4414	4566	4895		
4950	5163	5336	5388	5642	5764
6586	6719	6787	7262	7609	8000
8561	8790	9027	9334		
9358	9420	9444	9553	9614	
250	3557	3865	4350	4394	4644
5303	6590	8377	8497	9655	
21	602	1038	1212	1243	3938
4136	5620	6516	6777	8226	
134	214	1550	1554	1615	3178
5113	5163	5201	7168	7574	
134	2692	3810	4954	6766	
2394	4734	5731	7427	7653	
509	1009	3867	5069	9121	
540	2975	6248			
4	831	3592			
503	1385	7170			
348	7774	8897			
67	3553	5134			
623	6525	8314			
2871	7545	8960			
4330	4839	7689			
4793	5327	8046			
2877	3422	8836			
2069	7584	9102			
1376	3862	4352			
4693	7147	9461			

【図 37】

FIG. 37

Rate 8/16 17k TypeB符号テーブル																			
516	1070	1128	1352	1441	1482	2437	5049	5157	5266	5585	5716	6907	8094						
299	4342	4520	4988	5163	5453	5731	5752	6985	7155	8031	8407	8519	8618						
178	181	743	814	1188	1313	1384	1769	1838	1930	1968	2123	2487	2497	2829	2852				
3220	3245	3936	4054	4358	4397	4482	4514	4567	4711	4785	5217	6030	6747	7127	7254				
7845	8552																		
125	430	594	628	641	740	1895	2007	2148	2363	2790	2920	3158	3493	3768	3805				
3896	5067	5103	5121	5292	5764	5857	5948	6338	6523	6578	6880	7303	7557	8242	8371				
8387	8634																		
1631	2139	2453	2544	5442	6255														
127	2676	3774	4289	5764	7450														
1270	1856	2025	2065	3259	7787														
645	1648	5077	6644	6650	8198														
485	904	4510																	
624	4137	7388																	
724	4865	8587																	
1247	4729	6266																	
5604	6147	6898																	
63	4763	6319																	
930	6174	7453																	
981	2960	8486																	
4286	4304	8058																	
1460	6205	7561																	
2339	2998	8002																	
1824	6660	8286																	
4264	5378	7779																	
4145	6343	8515																	
5007	6959	7845																	
1853	6196	8289																	

【図 38】

FIG. 38

Rate 9/16 17k TypeB符号テーブル																			
291	817	1023	1118	1168	1195	1419	1763	2507	3005	3886	3952	4046	4924	5372	5586				
5742	5925	6080	6157	6301	6600	6644	7052	7093	7105	7487									
133	565	957	1018	1150	1196	1210	1224	1361	1484	2330	2448	2525	2583	2639	3198				
3407	3504	4272	4383	5133	5399	5421	5545	6972	7156										
129	365	541	1026	1199	1527	2467	3386	3458	4215	4438	4778	5176	5484	5521	5540				
5788	6103	6287	6360	6605	6745	6973	7251	7329	7336										
996	1392	2493	2910	3048	3281	4969	5189	5632	6236	6983									
165	2521	2650	2824	3493	4637	5670	6470												
266	345	390	2365	2843	3274	4321	5165												
245	2173	2274	2687	3763	4284	5562	6564												
2787	2970	3503																	
691	3718	5047																	
593	969	3593																	
331	3809	6269																	
1627	2886	5935																	
1046	2976	4457																	
4725	6028	6458																	
6172	6610	7530																	
1536	7102	7148																	
233	2463	4955																	
826	4319	6969																	
3073	6675	6774																	
407	4251	7087																	
1380	3802	4937																	
1911	4360	6306																	
4027	6219	7292																	
398	1190	1936																	
250	830	7241																	
5500	5828	7478																	
1261	4649	7237																	

【図 39】

FIG. 39

Rate 10/16 17k TypeB符号テーブル																			
579	608	613	760	795	839	910	1895	2239	2535	2670	2871	3127	3316	3779	3829	3936			
4454	4772	4926	6048	6166	6352														
263	291	694	1172	1232	1925	2657	3037	3057	3400	3550	3812	4185	4325	5202	5441				
5479	5640	5864	5892	6154	6157	6227													
527	601	1254	1476	1760	2070	2099	2725	2961	3529	3591	4324	4393	4462	4841	5070				
5480	5698	5856	5865	6087	6446														
235	319	480	2036	2188	2358	2423	2510	2911	3225	3472	3677	3840	4409	4574	4892				
5119	5548	5805	5901	6290	6477														
1809	2974	3464	5295	5490	5671														
2148	3629	4304	4854	4876	6037														
2031	2246	3358	4679	6125	6331														
874	2483	2964	3872	4509	4904														
4001	4303	5079																	
1652	4524	5263																	
2551	3381	5524																	
713	1908	6304																	
2722	3347	6201																	
433	923	5564																	
2181	4242	6202																	
51	2711	4435																	
414	708	5539																	
2222	5036	5974																	
784	3588	5125																	
4256	5004	5540																	
1761	2781	6037																	
1547	2266	4377																	
4109	5836	6337																	
767	2468	4764																	
2528	5457	5872																	
884	4651	4807																	
161	3582	5164																	
744	2624	4852																	
239	1740	5807																	
33	3595	5121																	

【図 40】

FIG. 40

Rate 11/16 17k TypeB符号テーブル																			
91	382	494	654	681	695	1643	2171	2576	3027	3115	3390	3633	3644	3812	3883	4474			
4607	4674																		
384	396	982	988	1053	1867	2215	2345	2472	3323	3503	3573	3883	4159	4576	4917				
5104	5130																		
456	580	1590	1715	1786	1843	1934	2251	2261	2466	2525	2958	3467	4334	4530	4779				
4885	5021																		
227	381	394	502	1059	1108	1480	1508	1523	1620	1840	1996	2436	2989	3716	3957				
4072	4243	4482	4517	4717	4910	5105	5220	5238	5279										
376	957	1706	2028	2228	2439	2552	4249	5234											
89	676	1098	1103	1127	1449	1605	2362	4640											
66	613	1692	1901	2247	3025	3244	4864	5050											
1628	2015	2596																	
521	802	3804																	
3178	4080	5057																	
344	3486	3948																	
595	2538	2964																	
300	1355	3476																	
1292	2761	4819																	
462	773	3996																	
133	3494	4342																	
37	3698	4382																	
345	3624	4745																	
124	4197	4978																	
873	2686	4266																	
989	2966	4180																	
1468	1932	4913																	
1140	4164	5060																	
3361	4952	5287																	
2584	4646	5260																	
809	2481	4893																	
1201	1532	3877																	
128	2430	5279																	
621	4810	5249																	
200	717	5066																	
2283	2998	4164																	
704	2587	4736																	
106	2080	3279																	

【図 4 1】

FIG. 41

Rate 12/16 17k TypeB符号テーブル	
137 199 292 423 527 694 798 2233 2339 2948 2986 3261 3284 3410 3612 3866 4296	
633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4205 4213 4280	
4291	
136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843 3151 3168	
3189	
23 27 74 90 779 1085 1204 1364 1846 2594 2971 3075 3373 3486 4030 4037 4044	
286 789 1412 1513 2388 2407 2725 2757 2790 2839 3111 3227 3292 3596 3665 3710	
4147	
79 178 389 447 608 625 672 786 965 1258 1605 1677 1816 1910 3027 3815 4292	
208 2694 3685	
480 770 791	
261 3447 3751	
1271 2122 3312	
134 352 1592	
517 1877 2106	
173 693 1792	
1975 2062 3529	
734 1035 1136	
546 863 4212	
817 2712 3692	
415 3771 4305	
646 1514 3870	
1481 2675 4276	
454 2248 2517	
1073 1754 2107	
1170 1472 3699	
841 2243 3804	
2485 3636 3894	
1961 2302 3591	
225 2704 3938	
487 1067 3992	
2747 3054 3661	
2476 2885 3456	
242 487 4018	
2037 2511 4232	
1278 1636 3609	
1099 1450 3842	
1299 1632 1717	
545 4160 4295	

【図 4 2】

FIG. 42

Rate 13/16 17k TypeB符号テーブル	
225 274 898 916 1020 1055 1075 1179 1185 1343 1376 1569 1828 1972 2852 2957	
3183	
548 602 628 928 1077 1474 1557 1598 1935 1981 2110 2472 2543 2594 2721 2884	
2981	
59 69 518 900 1158 1325 1367 1480 1744 2069 2119 2406 2757 2883 2914 2966	
3232	
1330 1369 1712 2133 2206 2487 2596 2606 2612 2666 2726 2733 2754 2811 2948	
3030	
391 542 689 748 810 1716 1927 2006 2296 2340 2357 2514 2797 2887 2896 3226	
256 410 799 1126 1377 1409 1518 1619 1829 2037 2303 2324 2472 2475 2874 2992	
862 1522 1905	
809 842 945	
561 1001 2857	
2132 2592 2905	
217 401 1894	
11 30 1860	
210 1188 2418	
1372 2273 2455	
407 2537 2962	
939 2401 2677	
2521 3077 3173	
1374 2250 2423	
23 188 1320	
472 714 2144	
2727 2755 2887	
1814 2824 2852	
148 1695 1845	
595 1059 2702	
1879 2480 2578	
17 411 559	
146 783 2154	
951 1391 1979	
1507 1613 3106	
642 882 2356	
1008 1324 3125	
196 1794 2474	
1129 1544 2931	
765 1681 2591	
1550 1936 3048	
1596 1607 2794	
156 1053 2926	
1246 1996 3179	
348 752 1943	

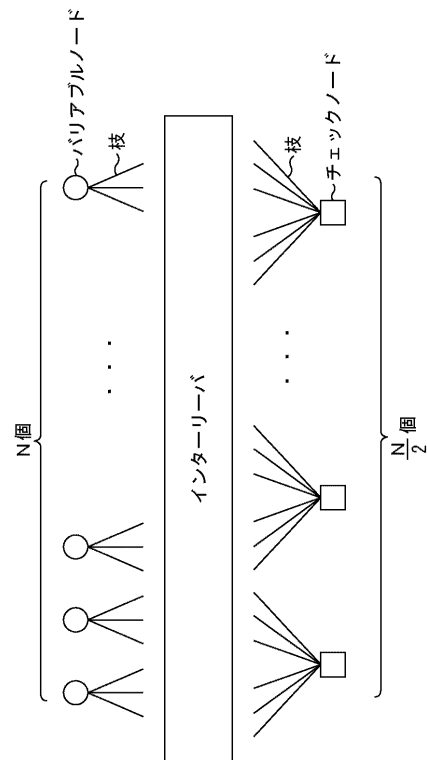
【図 4 3】

FIG. 43

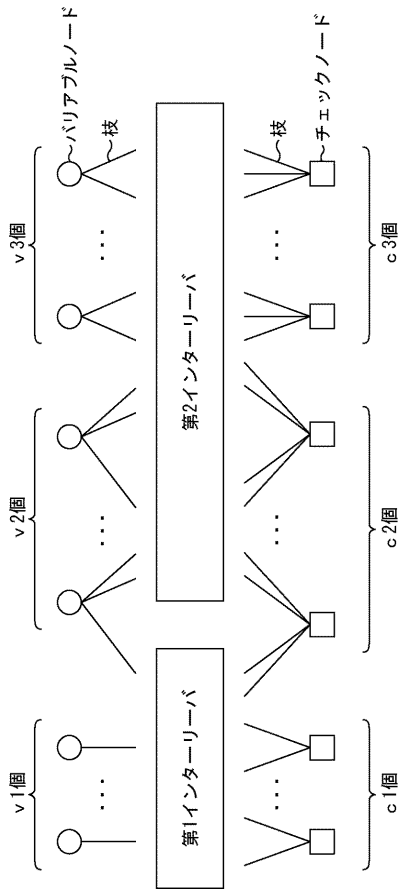
Rate 14/16 17k TypeB符号テーブル	
337 376 447 504 551 864 872 975 1136 1225 1254 1271 1429 1478 1870 2122	
58 121 163 365 515 534 855 889 1083 1122 1190 1448 1476 1635 1691 1954	
247 342 395 454 479 665 674 1033 1041 1198 1300 1484 1680 1941 2096 2121	
80 487 500 513 661 970 1038 1095 1109 1133 1416 1545 1696 1992 2051 2089	
32 101 205 413 568 712 714 944 1329 1669 1703 1826 1904 1908 2014 2097	
142 201 491 838 860 954 960 965 997 1027 1225 1488 1502 1521 1737 1804	
453 1184 1542	
10 781 1709	
497 903 1546	
1080 1640 1861	
1198 1616 1817	
771 978 2089	
369 1079 1348	
980 1788 1987	
1495 1900 2015	
27 540 1070	
200 1771 1962	
863 988 1329	
674 1321 2152	
807 1458 1727	
844 867 1628	
227 546 1027	
408 926 1413	
361 982 2087	
1247 1288 1392	
1051 1070 1281	
325 452 467	
1116 1672 1833	
21 236 1267	
504 856 2123	
398 775 1912	
1056 1529 1701	
143 930 1186	
553 1029 1040	
303 653 1308	
877 992 1174	
1083 1134 1355	
298 404 709	
970 1272 1799	
296 1017 1873	
105 780 1418	
682 1247 1867	

【図 4 4】

FIG. 44



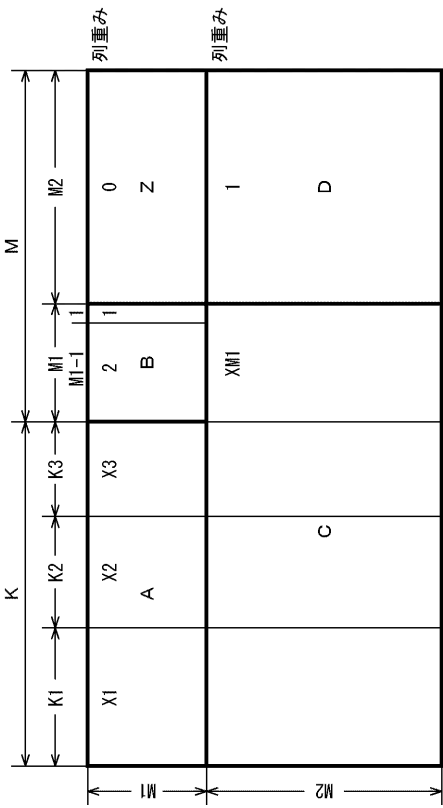
【図 4 5】
FIG. 45



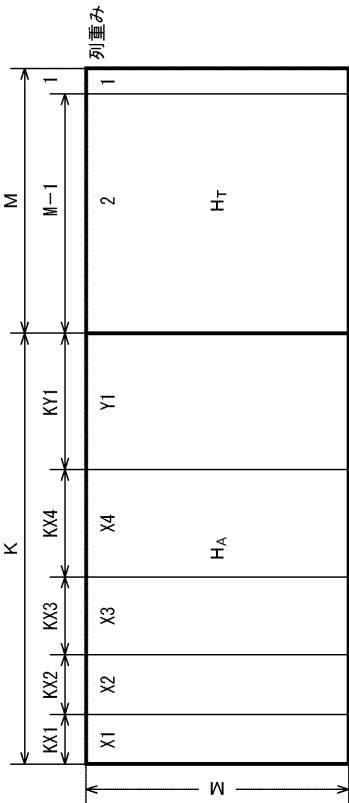
【図 4 7】
FIG. 47

Rate	K	X1	K1	X2	K2	X3	K3	XM1	M1	M2
2/16	2160	6	360	5	1080	28	720	10	1800	13320
3/16	3240	7	1440	6	360	21	1440	7	1440	12600
4/16	4320	12	360	11	2880	5	1080	17	1080	12240
5/16	5400	8	2880	7	360	14	2160	13	720	11160
6/16	6480	9	2520	8	3600	15	360	13	720	10080
7/16	7560	10	1080	9	5400	3	1080	4	1080	8640

【図 4 6】
FIG. 46



【図 4 8】
FIG. 48



【図 49】
FIG. 49

Rate	K	X1	KX1	X2	KX2	X3	KX3	X4	KX4	Y1	KY1	M
7/16	7560	38	360	37	360	11	1080	5	1080	3	4680	9720
8/16	8640	14	720	34	720	6	1440	0	0	0	5760	8640
9/16	9720	27	360	26	720	11	360	8	1080	3	7200	7560
10/16	10800	23	720	22	720	6	1440	0	0	0	7920	6480
11/16	11880	19	360	18	720	26	360	9	1080	3	9360	5400
12/16	12960	17	2160	0	0	0	0	0	0	0	10800	4320
13/16	14040	17	1080	16	1080	0	0	0	0	0	11880	3240
14/16	15120	16	2160	0	0	0	0	0	0	0	12960	2160

【図 50】
FIG. 50

Input Data Cell y	Constellation Point z_s
00	$(1+j1)/\sqrt{2}$
01	$(-1+j1)/\sqrt{2}$
10	$(+1-j1)/\sqrt{2}$
11	$(-1-j1)/\sqrt{2}$

【図 51】
FIG. 51

w/CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
w0	0.7062 + j0.7075	0.3620 + j0.5534	0.3412 + j0.5241	0.3192 + j0.5011	0.5115 + j1.2092	0.2592 + j0.4888
w1	0.7075 + j0.7062	0.5534 + j0.3620	0.5241 + j0.3412	0.5011 + j0.3192	1.2092 + j0.5115	0.4888 + j0.2592
w2	0.7072 + j0.7077	0.5940 + j1.1000	0.5797 + j1.1282	0.5575 + j1.1559	0.2663 + j0.4530	0.5072 + j1.1980
w3	0.7077 + j0.7072	1.1000 + j0.5940	1.1282 + j0.5797	1.1559 + j0.5575	0.4530 + j0.2663	1.1980 + j0.5072

w/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
w0	0.2535 + j0.4923	0.2386 + j0.5296	0.4487 + j1.1657	0.9342 + j0.9847	0.9555 + j0.9555	0.9517 + j0.9511
w1	0.4923 + j0.2535	0.5296 + j0.2386	1.2080 + j0.5377	0.9866 + j0.2903	0.9555 + j0.2949	0.9524 + j0.3061
w2	0.4927 + j1.2044	0.4882 + j1.1934	0.2213 + j0.4416	0.2716 + j0.9325	0.2949 + j0.9555	0.3067 + j0.9524
w3	1.2044 + j0.4927	1.1934 + j0.4882	0.6186 + j0.2544	0.2901 + j0.2695	0.2949 + j0.2949	0.3061 + j0.3067

【図 52】
FIG. 52

u/CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
u0	0.3317	0.2382	0.1924	0.1313	0.1275	0.0951
u1	0.3321	0.2556	0.1940	0.1311	0.1276	0.0949
u2	0.3322	0.2749	0.2070	0.1269	0.1294	0.1319
u3	0.3321	0.2558	0.2050	0.1271	0.1295	0.1322
u4	0.3327	0.2748	0.3056	0.3516	0.3424	0.3170
u5	0.3328	0.2949	0.3096	0.3504	0.3431	0.3174
u6	0.3322	0.2749	0.2890	0.3569	0.3675	0.3936
u7	0.3322	0.2558	0.2854	0.3581	0.3666	0.3921
u8	0.9369	0.9486	0.7167	0.6295	0.6097	0.5786
u9	0.9418	0.8348	0.7362	0.6301	0.6072	0.5789
u10	0.9514	0.7810	0.7500	0.6953	0.7113	0.7205
u11	0.9471	0.8348	0.7326	0.6903	0.7196	0.7456
u12	0.9448	0.9463	0.9667	0.9753	0.9418	0.9299
u13	0.9492	0.8336	0.9665	1.0185	1.0048	1.0084
u14	0.9394	0.9459	1.1332	1.2021	1.2286	1.2349
u15	0.9349	1.4299	1.4761	1.4981	1.5031	1.5118

u/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
u0	0.0773	0.0638	0.0592	0.0502	0.0354	0.0325
u1	0.0773	0.0638	0.0594	0.0637	0.0921	0.0967
u2	0.1614	0.1757	0.1780	0.1615	0.1602	0.1623
u3	0.1614	0.1756	0.1790	0.1842	0.2185	0.2280
u4	0.3086	0.3069	0.2996	0.2760	0.2910	0.2957
u5	0.3085	0.3067	0.3041	0.3178	0.3530	0.3645
u6	0.4159	0.4333	0.4241	0.4040	0.4264	0.4361
u7	0.4163	0.4343	0.4404	0.4686	0.4947	0.5100
u8	0.5810	0.5765	0.5561	0.5535	0.5763	0.5878
u9	0.5872	0.5862	0.6008	0.6362	0.6531	0.6696
u10	0.7213	0.7282	0.7141	0.7293	0.7417	0.7566
u11	0.7604	0.7705	0.8043	0.8302	0.8324	0.8497
u12	0.9212	0.9218	0.9261	0.9432	0.9386	0.9498
u13	1.0349	1.0364	1.0639	1.0704	1.0529	1.0588
u14	1.2281	1.2234	1.2285	1.2158	1.1917	1.1795
u15	1.4800	1.4646	1.4309	1.3884	1.3675	1.3184

FIG. 60

	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
$y_{0,q}$	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
$y_{2,q}$	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
$y_{4,q}$	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
$y_{6,q}$	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	
$\text{Re}(z_0)$	-15	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5	7	9	11	13	15

FIG. 61

[illegible]

FIG. 62

[illegible]

FIG. 63

[illegible]

FIG. 64

[illegible]

FIG. 66

wCR	2/16	4/16	6/16	8/16	10/16	12/16	14/16
w0	0.707107*0.707107	0.707107*0.707107	0.483340*0.284191	0.647828*0.264235	0.483629*0.253004	0.418817*0.217283	0.297892*0.291592
w1	0.707107*0.707107	0.707107*0.707107	0.284191*0.483340	0.264235*0.457829	0.253004*0.483629	0.257890*0.657793	0.297892*0.954893
w2	0.707107*0.707107	0.707107*0.707107	0.182750*0.530940	0.210202*0.506871	0.204404*0.492546	0.146505*0.432698	0.954893*0.297592
w3	0.707107*0.707107	0.707107*0.707107	0.530940*0.182750	0.506871*0.210202	0.492546*0.204404	0.508817*0.208927	0.954893*0.954893

FIG. 67

wCR	3/16	5/16	7/16	9/16	11/16	13/16
w0	0.587870+0.405338	0.453023+0.268260	0.541390+0.302260	0.600888+0.348804	0.611055+0.349327	0.700327+0.329897
w1	0.587870+0.405338	0.453023+0.268260	0.568890+0.242073	0.637187+0.198880	0.678935+0.148780	0.808268+0.136511
w2	0.587870+0.405338	0.453023+0.268260	0.376875+0.209444	0.301403+0.198880	0.250508+0.163791	0.447469+0.139847
w3	0.587870+0.405338	0.453023+0.268260	0.356882+0.194607	0.300229+0.151421	0.261152+0.128725	0.138015+0.101309
w4	0.405339+0.587870	0.268260+0.453023	0.300260+0.541390	0.346808+0.600888	0.416770+0.618095	0.448982+0.668892
w5	0.405339+0.587870	0.268260+0.453023	0.242873+0.558089	0.196861+0.637187	0.174801+0.744287	0.142863+0.809940
w6	0.405339+0.587870	0.268260+0.453023	0.209444+0.376875	0.198880+0.301403	0.192256+0.392219	0.347128+0.568446
w7	0.405339+0.587870	0.268260+0.453023	0.194677+0.355892	0.151421+0.300229	0.129870+0.410574	0.121210+0.383416
w8	1.056554+0.611384	1.200224+0.511520	0.940864+0.584434	0.906138+0.562362	0.800389+0.557478	0.898124+0.662321
w9	1.056554+0.611384	1.200224+0.511520	1.087078+0.274562	1.019339+0.225537	1.028624+0.193588	1.208819+0.271258
w10	1.056554+0.611384	1.200224+0.511520	1.265348+0.810022	1.258403+0.043530	1.246728+0.012945	0.874608+0.965162
w11	1.056554+0.611384	1.200224+0.511520	1.452789+0.039023	1.498885+0.282005	1.426453+0.283106	1.394387+0.581186
w12	0.611384+0.105655	0.511520+0.209224	0.584434+0.940864	0.562362+0.906138	0.617897+0.800389	0.580589+0.843483
w13	0.611384+0.105655	0.511520+0.209224	0.274562+0.108708	0.225537+0.019339	0.218891+0.048861	0.196780+0.072563
w14	0.611384+0.105655	0.511520+0.209224	0.810022+1.265348	0.043530+1.258403	0.012945+1.246728	0.874785+0.271258
w15	0.611384+0.105655	0.511520+0.209224	0.308853+0.452789	0.202685+0.498885	0.284222+0.427784	0.230854+0.382614

FIG. 65

[illegible]

FIG. 68

wCR	2/16	4/16	6/16	8/16	10/16	12/16	14/16
w0	0.680025 0.595350	0.457029 0.29425	0.569300 0.319830	0.518005 0.334908	0.555392 0.280156	0.576370 0.306447	0.586207 0.306133
w1	0.680025 0.595350	0.457029 0.29425	0.578051 0.319594	0.583535 0.333065	0.601112 0.350142	0.721702 0.386498	0.680100 0.389175
w2	0.680027 0.595345	0.457029 0.29425	0.605420 0.21817	0.368661 0.155585	0.330308 0.15750	0.601232 0.174184	0.580121 0.168582
w3	0.680026 0.595349	0.457029 0.29425	0.621583 0.218859	0.643150 0.156559	0.766818 0.154657	0.786387 0.241927	0.740611 0.219187
w4	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.578011 0.319584	0.580620 0.340165	0.544087 0.409811	0.526065 0.368692	0.520572 0.421471
w5	0.680025 0.595350	0.457029 0.29425	0.621544 0.311704	0.586629 0.301891	0.648801 0.408017	0.835332 0.600163	0.822321 0.460033
w6	0.680027 0.595345	0.457029 0.29425	0.621583 0.218858	0.614817 0.154211	0.322538 0.104686	0.684722 0.093824	0.605351 0.061678
w7	0.680027 0.595350	0.457029 0.29425	0.614800 0.218138	0.646808 0.155218	0.778701 0.11826	0.838236 0.08747	0.716140 0.074016
w8	0.680024 0.595350	0.457029 0.29425	0.313786 0.177284	0.258264 0.14714	0.352588 0.178847	0.421016 0.199189	0.717220 0.286804
w9	0.680024 0.595350	0.457029 0.29425	0.314258 0.177479	0.257445 0.155903	0.342588 0.109894	0.245958 0.092445	0.234544 0.117707
w10	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.314473 0.183373	0.305309 0.132141	0.393183 0.085256	0.508230 0.090452	0.438994 0.152224
w11	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.314983 0.183511	0.256481 0.132226	0.315151 0.091201	0.608713 0.072310	0.971034 0.148278
w12	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.314269 0.177479	0.257880 0.155903	0.342588 0.115859	0.411933 0.253430	0.378135 0.354399
w13	0.680024 0.595350	0.457029 0.29425	0.314864 0.177882	0.258412 0.156862	0.141589 0.108782	0.264446 0.094768	0.208120 0.058188
w14	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.314983 0.183511	0.255581 0.132615	0.352408 0.083566	0.155589 0.071508	0.446779 0.051626
w15	0.680026 0.595350	0.457029 0.29425	0.315551 0.183648	0.251715 0.133701	0.138510 0.028263	0.084440 0.072786	0.084440 0.052128
w16	0.585350 0.000025	0.284235 0.457029	0.319830 0.595936	0.379008 0.000742	0.308835 0.650097	0.327555 0.526982	0.398331 0.680168
w17	0.585350 0.000025	0.284235 0.457029	0.315584 0.578831	0.376522 0.000642	0.341602 0.640041	0.362772 0.675764	0.418644 0.784758
w18	0.585351 0.000025	0.284235 0.457029	0.317817 0.628024	0.168779 0.701232	0.163551 0.653534	0.175888 0.592218	0.268352 0.743684
w19	0.585351 0.000025	0.284235 0.457029	0.318885 0.621583	0.170244 0.703042	0.192718 0.682786	0.231337 0.737121	0.278205 0.686785
w20	0.585350 0.000026	0.284235 0.457029	0.319554 0.578831	0.168779 0.681161	0.420548 0.517618	0.408234 0.472368	0.488173 0.897176
w21	0.585350 0.000025	0.284235 0.457029	0.317188 0.574244	0.377866 0.000742	0.308835 0.650097	0.327555 0.602578	0.424325 0.825044
w22	0.685351 0.000025	0.284235 0.457029	0.278856 0.821583	0.142544 0.780529	0.30081 0.871358	0.801744 0.812305	0.665006 0.768425
w23	0.585351 0.000025	0.284235 0.457029	0.318130 0.614800	0.164890 0.784629	0.130681 0.649822	0.080303 0.767938	0.080272 0.829932
w24	0.585349 0.000026	0.284235 0.457029	0.317284 0.317768	0.164033 0.39	0.164033 0.39	0.268035 0.370217	0.253390 0.559022
w25	0.585349 0.000025	0.284235 0.457029	0.177473 0.314269	0.164890 0.347827	0.148138 0.31492	0.205939 0.250430	0.178737 0.262321
w26	0.585350 0.000026	0.284235 0.457029	0.163373 0.314473	0.128439 0.362015	0.141802 0.435973	0.108576 0.442010	0.156480 0.607087
w27	0.585350 0.000026	0.284235 0.457029	0.163511 0.314693	0.187839 0.36939	0.268832 0.370178	0.753189 0.358488	0.858051 0.274405
w28	0.585350 0.000026	0.284235 0.457029	0.177473 0.314269	0.164890 0.347827	0.148138 0.31492	0.205939 0.250430	0.178737 0.262321
w29	0.585349 0.000028	0.284235 0.457029	0.178682 0.314845	0.168055 0.350595	0.145728 0.314336	0.205632 0.245612	0.162567 0.304802
w30	0.585351 0.000025	0.284235 0.457029	0.163511 0.314693	0.128552 0.368258	0.132624 0.437877	0.780740 0.468991	0.980160 0.576455
w31	0.585350 0.000026	0.284235 0.457029	0.163640 0.315051	0.128052 0.367489	0.130889 0.371672	0.724444 0.258494	0.981167 0.420342
w32	0.871320 0.002117	1.210202 0.506871	0.154458 0.562888	0.875122 0.541294	0.181975 0.45454	0.107446 0.556385	1.030447 0.468395

【図 69】
FIG. 69

w33	0.837322+ <i>j</i> 0.882111	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	0.889848+ <i>j</i> 0.548589	0.857282+ <i>j</i> 0.483450	0.885222+ <i>j</i> 0.447394	0.881186+ <i>j</i> 0.488959	0.845525+ <i>j</i> 0.430972
w34	0.837322+ <i>j</i> 0.882111	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.041461+ <i>j</i> 0.244037	1.006452+ <i>j</i> 0.182113	1.126894+ <i>j</i> 0.334833	1.106168+ <i>j</i> 0.348451	1.082454+ <i>j</i> 0.283134
w35	0.837322+ <i>j</i> 0.882111	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.007018+ <i>j</i> 0.244305	0.959325+ <i>j</i> 0.208138	0.958828+ <i>j</i> 0.243315	0.944392+ <i>j</i> 0.236053	0.906494+ <i>j</i> 0.255183
w36	0.837321+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	0.889848+ <i>j</i> 0.548589	0.835873+ <i>j</i> 0.548548	0.880526+ <i>j</i> 0.680960	0.875484+ <i>j</i> 0.737255	0.813205+ <i>j</i> 0.865202
w37	0.837320+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	0.883121+ <i>j</i> 0.533505	0.820382+ <i>j</i> 0.497352	0.787015+ <i>j</i> 0.549425	0.745110+ <i>j</i> 0.818548	0.767362+ <i>j</i> 0.578033
w38	0.837323+ <i>j</i> 0.882111	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.020168+ <i>j</i> 0.244325	0.970890+ <i>j</i> 0.164800	1.176544+ <i>j</i> 0.123217	1.156123+ <i>j</i> 0.117857	1.089571+ <i>j</i> 0.086120
w39	0.837322+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	0.987866+ <i>j</i> 0.243471	0.934838+ <i>j</i> 0.162858	0.984640+ <i>j</i> 0.117137	0.988958+ <i>j</i> 0.088908	0.821083+ <i>j</i> 0.085383
w40	0.837318+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.151608+ <i>j</i> 0.765652	1.146306+ <i>j</i> 0.718300	1.215598+ <i>j</i> 0.689559	1.191952+ <i>j</i> 0.658928	1.187342+ <i>j</i> 0.536786
w41	0.837318+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.215021+ <i>j</i> 0.880778	1.281524+ <i>j</i> 0.053771	1.470503+ <i>j</i> 0.903095	1.428402+ <i>j</i> 0.781880	1.372857+ <i>j</i> 0.669123
w42	0.837321+ <i>j</i> 0.882111	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.352962+ <i>j</i> 0.268689	1.334471+ <i>j</i> 0.242889	1.346813+ <i>j</i> 0.437140	1.302808+ <i>j</i> 0.407817	1.251173+ <i>j</i> 0.323728
w43	0.837320+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.427958+ <i>j</i> 0.282989	1.386848+ <i>j</i> 0.389327	1.841491+ <i>j</i> 0.582622	1.588455+ <i>j</i> 0.483525	1.481132+ <i>j</i> 0.407370
w44	0.837326+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.215021+ <i>j</i> 0.880778	1.124883+ <i>j</i> 0.044081	1.036455+ <i>j</i> 0.984352	1.034038+ <i>j</i> 0.874552	1.088040+ <i>j</i> 0.742894
w45	0.837318+ <i>j</i> 0.882113	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.478822+ <i>j</i> 0.888013	1.534880+ <i>j</i> 0.061845	1.216171+ <i>j</i> 0.212947	1.241876+ <i>j</i> 0.044628	1.238054+ <i>j</i> 0.916386
w46	0.837322+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.427858+ <i>j</i> 0.282898	1.404318+ <i>j</i> 0.139223	1.412228+ <i>j</i> 0.146603	1.380208+ <i>j</i> 0.136162	1.281447+ <i>j</i> 0.108014
w47	0.837321+ <i>j</i> 0.882112	1.210202+ <i>j</i> 0.588671	1.747630+ <i>j</i> 0.343803	1.788855+ <i>j</i> 0.324115	1.738208+ <i>j</i> 0.180765	1.825172+ <i>j</i> 0.183628	1.504397+ <i>j</i> 0.136787
w48	0.882112+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.882968+ <i>j</i> 0.815494	0.608895+ <i>j</i> 0.065837	0.520270+ <i>j</i> 0.884586	0.529818+ <i>j</i> 0.983510	0.838937+ <i>j</i> 0.877245
w49	0.882111+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.948958+ <i>j</i> 0.888940	0.551777+ <i>j</i> 0.870383	0.483840+ <i>j</i> 0.948621	0.448217+ <i>j</i> 0.829858	0.537002+ <i>j</i> 0.852344
w50	0.882113+ <i>j</i> 0.837326	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.244837+ <i>j</i> 0.041481	0.190487+ <i>j</i> 0.082714	0.232928+ <i>j</i> 0.988623	0.321208+ <i>j</i> 0.087223	0.485688+ <i>j</i> 0.086457
w51	0.882113+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.244225+ <i>j</i> 0.020188	0.244881+ <i>j</i> 0.048782	0.257181+ <i>j</i> 0.985583	0.276744+ <i>j</i> 0.893625	0.281384+ <i>j</i> 0.958541
w52	0.882112+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.548958+ <i>j</i> 0.889640	0.610852+ <i>j</i> 0.003882	0.884853+ <i>j</i> 0.786701	0.710545+ <i>j</i> 0.883461	0.782733+ <i>j</i> 0.832232
w53	0.882112+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.532608+ <i>j</i> 0.883721	0.555810+ <i>j</i> 0.011874	0.823028+ <i>j</i> 0.720032	0.805158+ <i>j</i> 0.738086	0.852410+ <i>j</i> 0.724582
w54	0.882114+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.244325+ <i>j</i> 0.020188	0.188837+ <i>j</i> 0.002744	0.107876+ <i>j</i> 0.948083	0.106346+ <i>j</i> 0.104517	0.105974+ <i>j</i> 0.274380
w55	0.882113+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.243471+ <i>j</i> 0.987889	0.205501+ <i>j</i> 0.980310	0.122236+ <i>j</i> 0.924513	0.083587+ <i>j</i> 0.827826	0.088158+ <i>j</i> 0.088542
w56	0.882111+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.765652+ <i>j</i> 0.151606	0.811871+ <i>j</i> 0.077859	0.634215+ <i>j</i> 0.085182	0.616518+ <i>j</i> 0.185738	0.775789+ <i>j</i> 0.106874
w57	0.882110+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.888778+ <i>j</i> 0.215021	0.708577+ <i>j</i> 0.212462	0.555838+ <i>j</i> 0.212630	0.741488+ <i>j</i> 0.425730	0.618188+ <i>j</i> 0.338515
w58	0.882112+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.285688+ <i>j</i> 0.352882	0.232238+ <i>j</i> 0.415800	0.134887+ <i>j</i> 0.326783	0.378428+ <i>j</i> 0.278887	0.458851+ <i>j</i> 0.235858
w59	0.882112+ <i>j</i> 0.837321	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.282898+ <i>j</i> 0.427858	0.447381+ <i>j</i> 0.268138	0.240747+ <i>j</i> 0.283003	0.452484+ <i>j</i> 0.538368	0.548182+ <i>j</i> 0.472735
w60	0.882111+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.888778+ <i>j</i> 0.215021	0.945787+ <i>j</i> 0.067832	0.842608+ <i>j</i> 0.029373	0.838816+ <i>j</i> 0.052224	0.852289+ <i>j</i> 0.836182
w61	0.882111+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.888012+ <i>j</i> 0.478822	1.088653+ <i>j</i> 0.408274	0.867471+ <i>j</i> 0.388586	0.108823+ <i>j</i> 0.281587	1.588486+ <i>j</i> 0.143504
w62	0.882113+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.282898+ <i>j</i> 0.427858	0.188583+ <i>j</i> 0.727823	0.174737+ <i>j</i> 0.871315	0.126526+ <i>j</i> 0.217888	0.318114+ <i>j</i> 0.324413
w63	0.882113+ <i>j</i> 0.837322	0.588671+ <i>j</i> 1.210202	0.340368+ <i>j</i> 0.747830	0.858788+ <i>j</i> 0.731517	0.548701+ <i>j</i> 0.822152	0.151888+ <i>j</i> 0.588808	0.151881+ <i>j</i> 0.531081

【図 70】
FIG. 70

w/CR	3/16	5/16	7/16	9/16	11/16	13/16
u0	0.964850	0.746358	0.682758	0.720492	0.718420	0.741203
u1	0.964851	0.724327	0.689494	0.745635	0.785950	0.837561
u2	0.964850	0.701244	0.614079	0.578601	0.568863	0.571587
u3	0.964851	0.724852	0.608604	0.578878	0.591711	0.652725
u4	0.964851	1.089143	1.229555	1.234916	1.228615	1.196834
u5	0.964851	1.487807	1.519290	1.511816	1.446265	1.354509
u6	0.964851	1.016430	0.952184	0.929933	0.919117	0.944049
u7	0.964851	0.981269	1.010198	1.008385	1.055715	1.062656
u8	0.262799	0.188688	0.119570	0.131917	0.179189	0.158838
u9	0.262799	0.187756	0.119309	0.132245	0.179229	0.216557
u10	0.262799	0.183302	0.122704	0.095129	0.060071	0.034740
u11	0.262799	0.184133	0.122986	0.094858	0.060040	0.089245
u12	0.262799	0.299163	0.361306	0.393581	0.431407	0.422770
u13	0.262799	0.295502	0.360929	0.392102	0.437930	0.493766
u14	0.262799	0.306233	0.349187	0.316988	0.303511	0.286845
u15	0.262799	0.310441	0.349698	0.317410	0.304552	0.350258

【図 71】
FIG. 71

A	$y_{0,0}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	$y_{1,0}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	$y_{2,0}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	$y_{3,0}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	$y_{4,0}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
	$Re(z_0)$	- θ_{15}	- θ_{14}	- θ_{13}	- θ_{12}	- θ_{11}	- θ_{10}	- θ_9	- θ_8	- θ_7	- θ_6	- θ_5	- θ_4	- θ_3	- θ_2	- θ_1	- θ_0		
	$y_{5,0}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$y_{6,0}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	$y_{7,0}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	$y_{8,0}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
B	$Im(z_0)$	- θ_{15}	- θ_{14}	- θ_{13}	- θ_{12}	- θ_{11}	- θ_{10}	- θ_9	- θ_8	- θ_7	- θ_6	- θ_5	- θ_4	- θ_3	- θ_2	- θ_1	- θ_0		
	$y_{1,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$y_{2,1}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$y_{3,1}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	$y_{4,1}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	$y_{5,1}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
	$Im(z_1)$	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}	θ_{14}	θ_{15}		
	$y_{6,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$y_{7,1}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	$y_{8,1}$	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

【図 72】
FIG. 72

w/CR	2/16	4/16	6/16	8/16	10/16	12/16	14/16
u0	0.951821	0.772242	0.670816	0.720040	0.687860	0.725026	0.776914
u1	0.951821	0.755105	0.671187	0.717092	0.687453	0.682522	0.731844
u2	0.951821	0.733323	0.684394	0.742371	0.784311	0.833407	0.872060
u3	0.951821	0.748492	0.683930	0.746130	0.778844	0.779595	0.823606
u4	0.951821	0.762585	0.601258	0.568017	0.529234	0.542187	0.605096
u5	0.951821	0.741006	0.601273	0.568434	0.529245	0.530376	0.565319
u6	0.951821	0.771170	0.594244	0.571550	0.587945	0.627093	0.688258
u7	0.951821	0.797312	0.594239	0.571162	0.588065	0.601059	0.646057
u8	0.951821	1.144458	1.253351	1.234492	1.288591	1.273237	1.2132

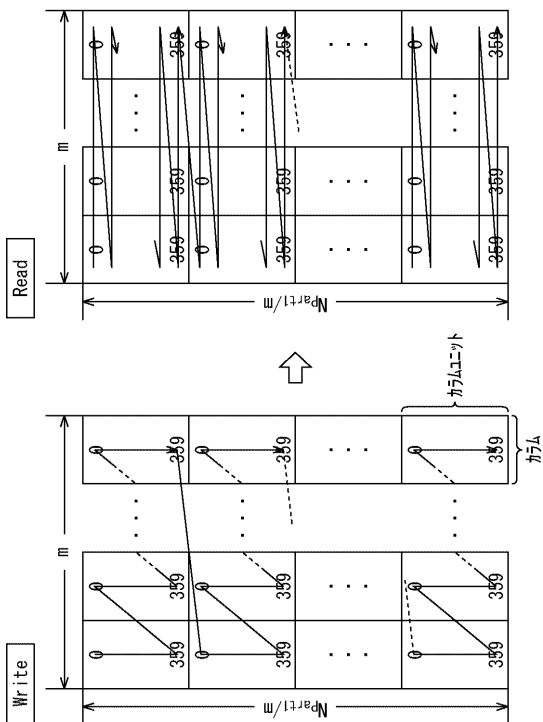
【図 7 3】

[illegible]

【图 7 4】

$y_{1,\beta}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,\beta}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{5,\beta}$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,\beta}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$lm(z_i)$	$-u_{31}$	$-u_{30}$	$-u_{29}$	$-u_{28}$	$-u_{27}$	$-u_{26}$	$-u_{25}$	$-u_{24}$	$-u_{23}$	$-u_{22}$	$-u_{21}$	$-u_{20}$	$-u_{19}$	$-u_{18}$	$-u_{17}$	$-u_{16}$
$y_{1,\beta}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,\beta}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,\beta}$	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,\beta}$	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
$y_{5,\beta}$	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
$y_{11,\beta}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$lm(z_i)$	$-u_{15}$	$-u_{14}$	$-u_{13}$	$-u_{12}$	$-u_{11}$	$-u_{10}$	$-u_9$	$-u_8$	$-u_7$	$-u_6$	$-u_5$	$-u_4$	$-u_3$	$-u_2$	$-u_1$	$-u_0$
$y_{1,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,\beta}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,\beta}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
$y_{5,\beta}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,\beta}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$lm(z_i)$	u_5	u_4	u_3	u_2	u_1	u_0	u_7	u_6	u_5	u_4	u_3	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	
$y_{1,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,\beta}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,\beta}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
$y_{5,\beta}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,\beta}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$lm(z_i)$	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}

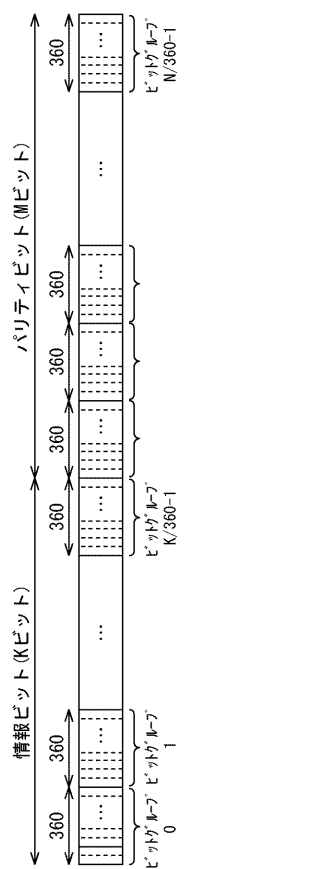
【図 7 5】



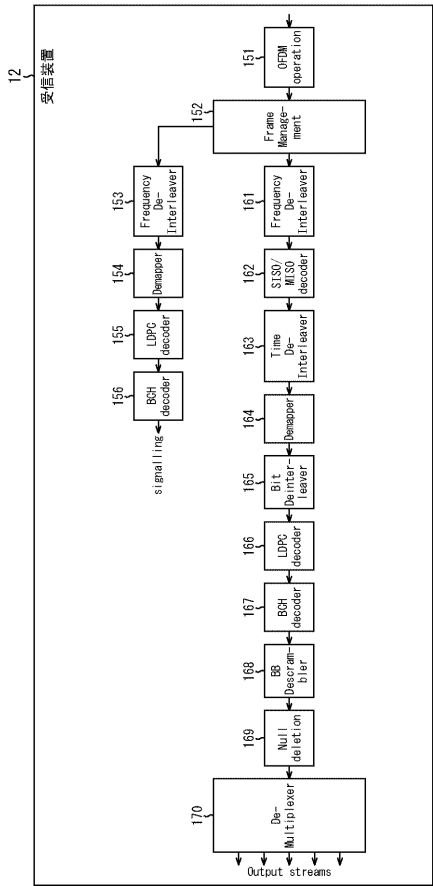
【图 7 6】

Modulation	Rows in Part 1 N_{part1}	Rows in Part 2 N_{part2}	Columns m
QPSK	69120	0	2
16QAM	69120	0	4
64QAM	69120	0	6
256QAM	69120	0	8
1024QAM	68400	720	10
4096QAM	69120	0	12

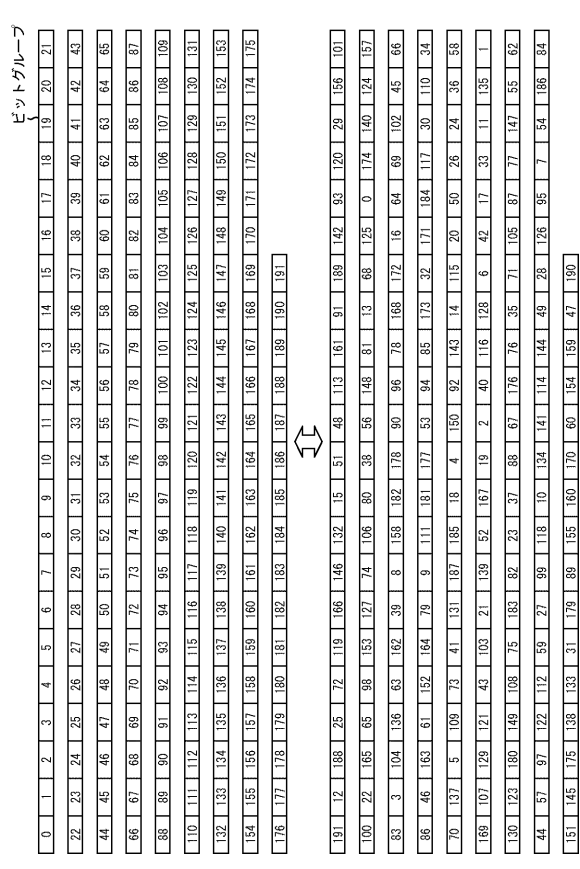
【図 77】
FIG. 77



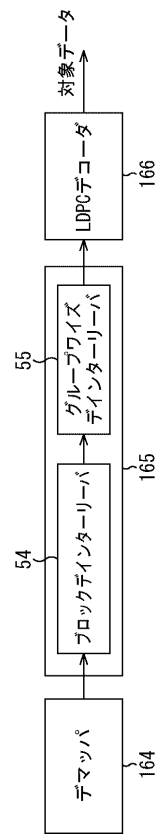
【図 79】
FIG. 79



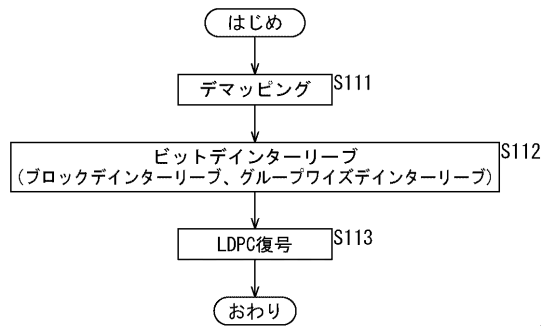
【図 78】
FIG. 78



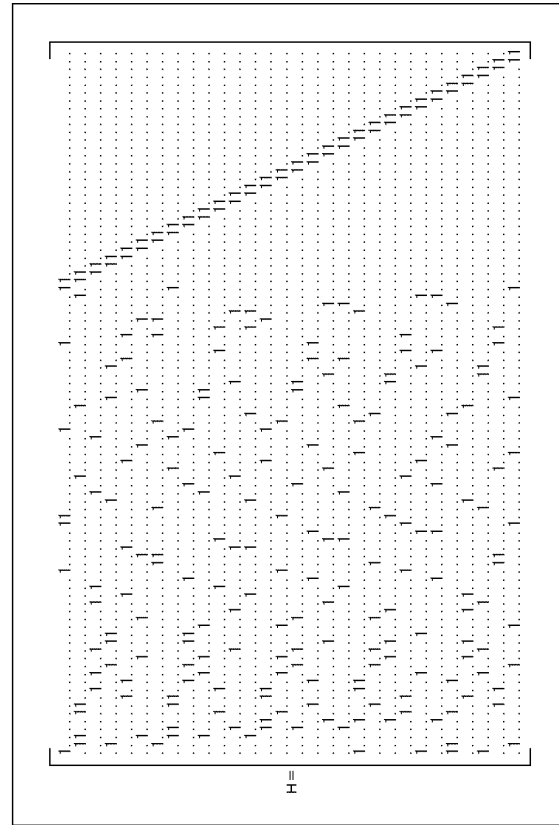
【図 80】
FIG. 80



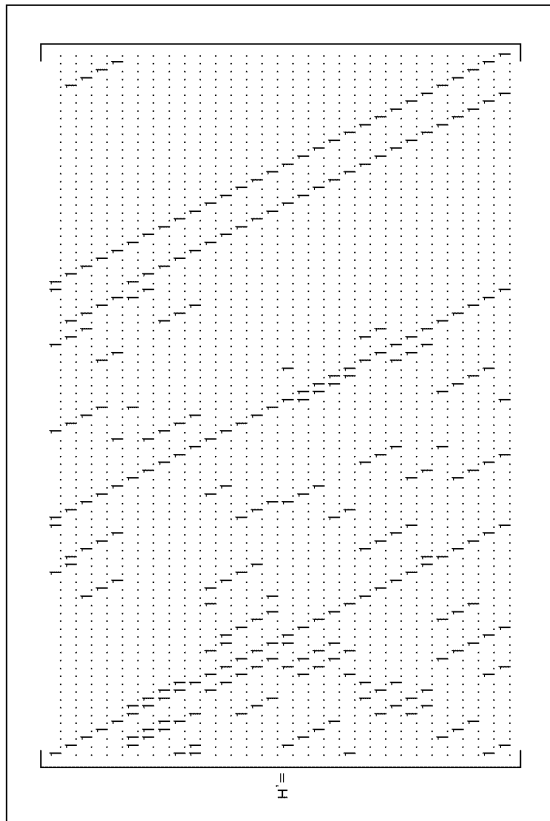
【図 8 1】
FIG. 81



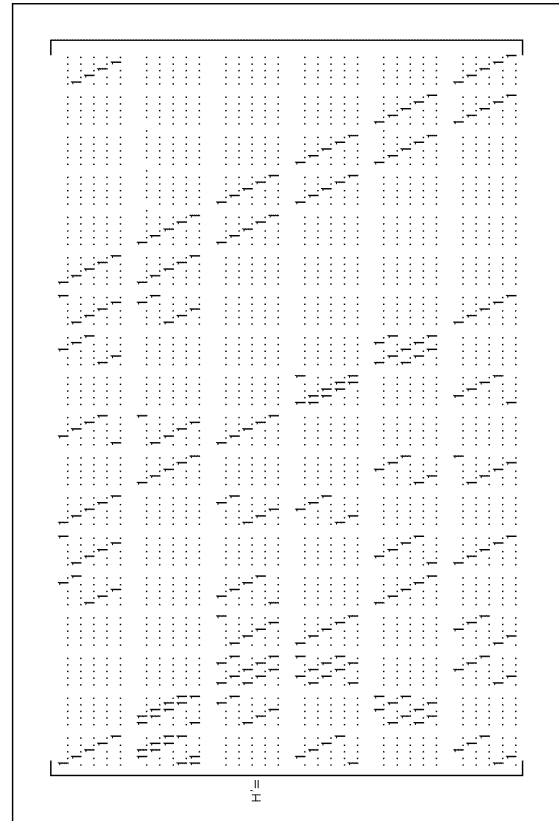
【図 8 2】
FIG. 82

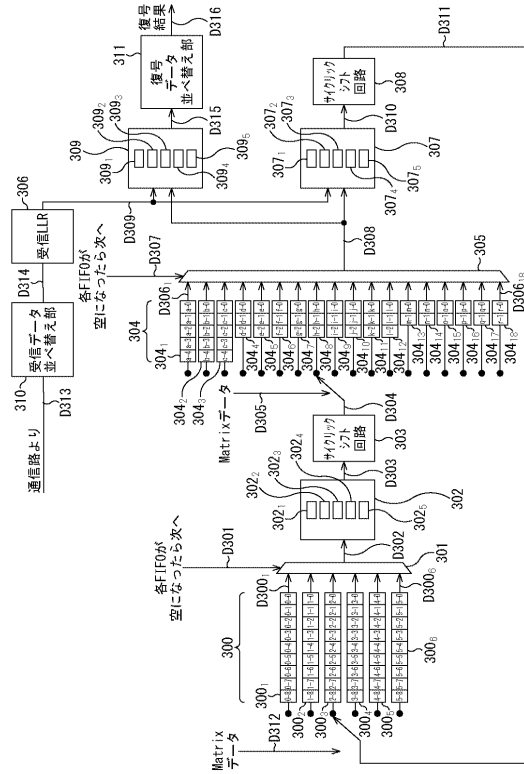
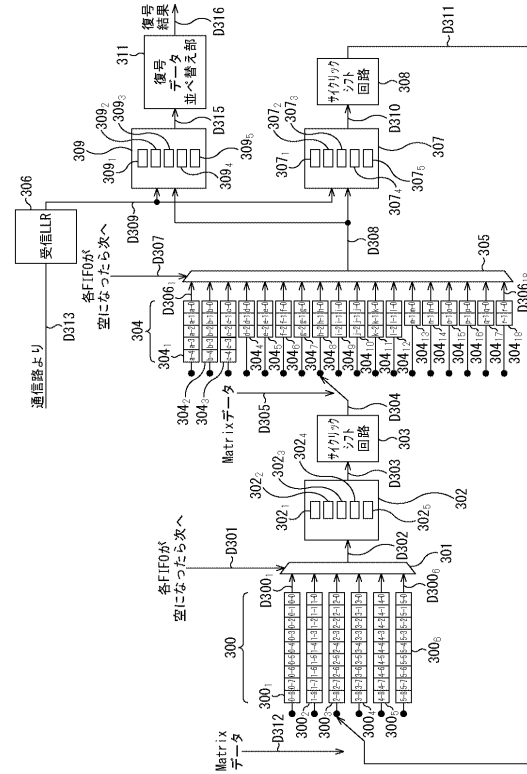
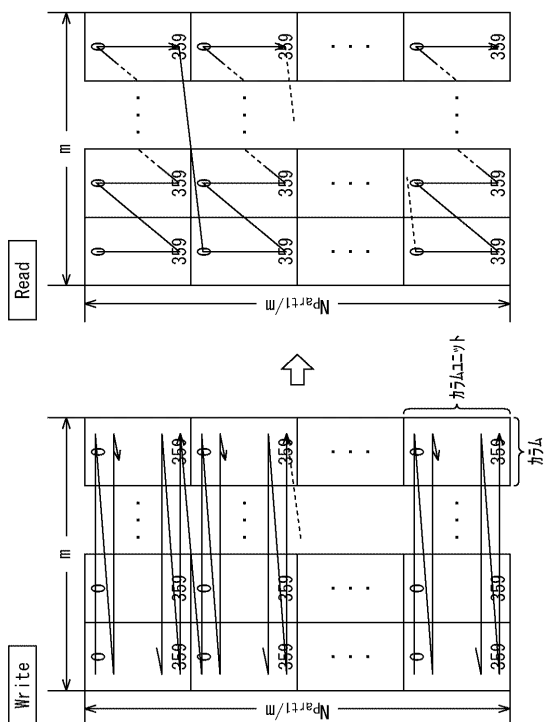
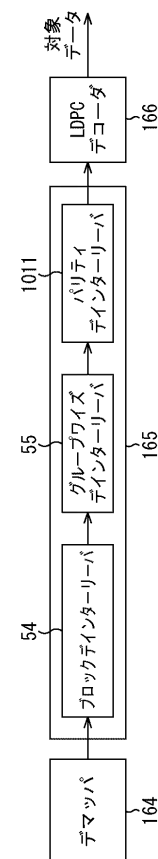


【図 8 3】
FIG. 83

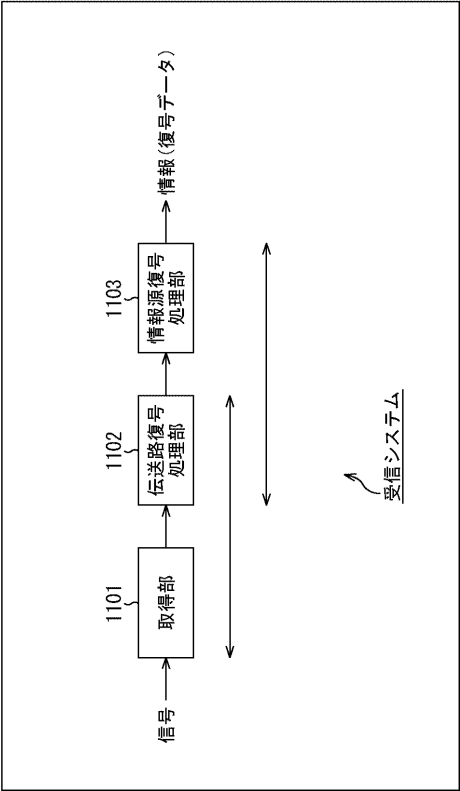


【図 8 4】
FIG. 84

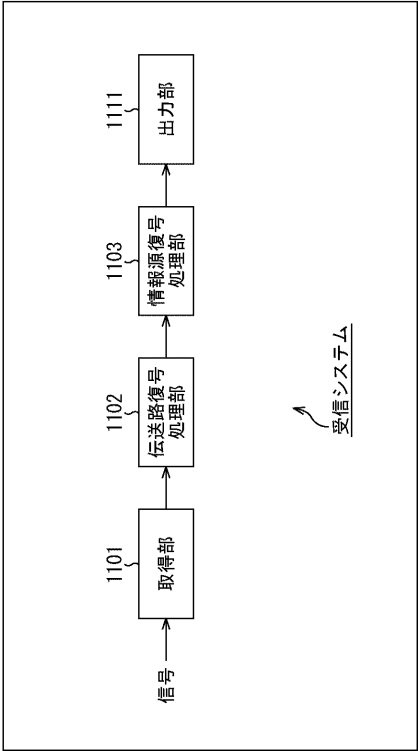


【図 85】
FIG. 85【図 86】
FIG. 86【図 87】
FIG. 87【図 88】
FIG. 88

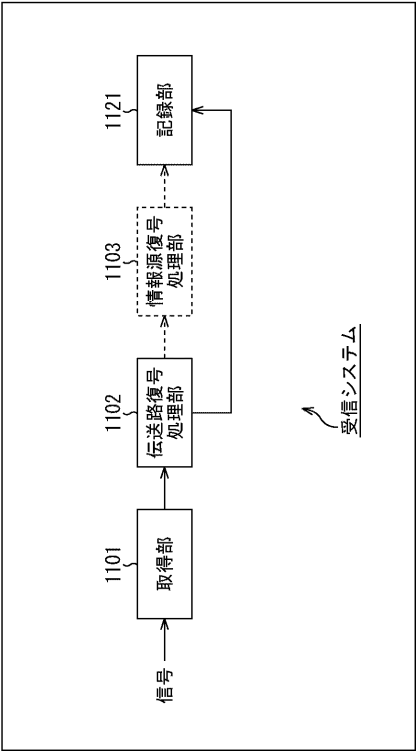
【図 8 9】
FIG. 89



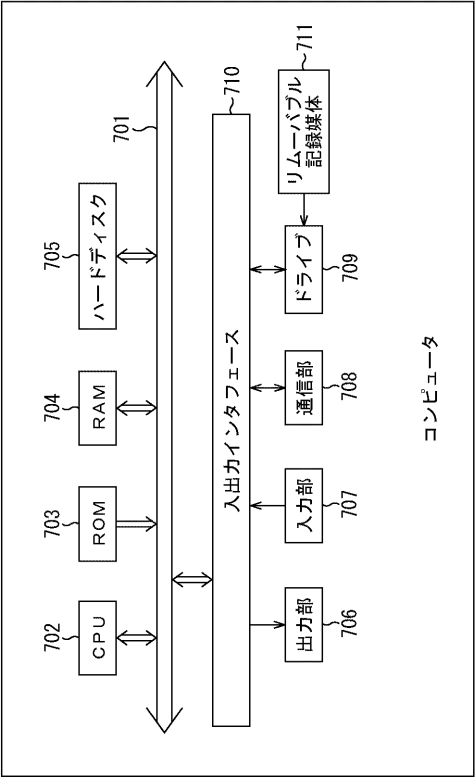
【図 9 0】
FIG. 90



【図 9 1】
FIG. 91



【図 9 2】
FIG. 92



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 2 2 8 6 4 7 (J P , A)

ATSC Standard: Physical Layer Protocol, ATSC A/322:2017, 2017年06月06日, pp.24-25,147-163

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 3 M 1 3 / 1 9