

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7283611号
(P7283611)

(45)発行日 令和5年5月30日(2023.5.30)

(24)登録日 令和5年5月22日(2023.5.22)

| | |
|-------------------------|----------------|
| (51)国際特許分類 | F I |
| H 0 3 M 13/19 (2006.01) | H 0 3 M 13/19 |
| H 0 3 M 13/27 (2006.01) | H 0 3 M 13/27 |
| H 0 4 L 1/00 (2006.01) | H 0 4 L 1/00 F |

請求項の数 4 (全131頁)

| | | | |
|---|-------------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2022-77944(P2022-77944) | (73)特許権者 | 000002185 ソニーグループ株式会社 東京都港区港南1丁目7番1号 |
| (22)出願日 | 令和4年5月11日(2022.5.11) | (74)代理人 | 100121131 弁理士 西川 孝 |
| (62)分割の表示 | 特願2018-6030(P2018-6030)の分割 | (74)代理人 | 100082131 弁理士 稲本 義雄 |
| 原出願日 | 平成30年1月18日(2018.1.18) | (74)代理人 | 100168686 弁理士 三浦 勇介 |
| (65)公開番号 | 特開2022-103277(P2022-103277 A) | (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 |
| (43)公開日 | 令和4年7月7日(2022.7.7) | (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 |
| 審査請求日 | 令和4年5月19日(2022.5.19) | | |
| (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17条の適用を受ける特許出願 | | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 送信装置、送信方法、受信装置、及び、受信方法

(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4/16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と、

前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、

前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップと

を含み、

前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3 8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

の並びにインターリーブし、

前記検査行列は、

所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、

M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、

M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、

10

20

N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、
 N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列と
 を含み、
 前記所定値M1は、1080であり、
 前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに
 表すテーブルであって、

```

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
270 302 754 1105 1430 1916 3788
144 706 1013 7424 7893 9436 10402
18993105 11835 12241
1400 7777 10094 10848
8098 10061 10435 12570

```

10

20

である
 送信方法。

【請求項2】

符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが4/16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と、

前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、

前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップと

30

を含み、

前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

```

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3
8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

```

の並びにインターリーブし、

前記検査行列は、

所定値M1と、前記LDPC符号の情報長 $K=N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、

40

M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、

M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、

N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、

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

を含み、

前記所定値M1は、1080であり、

前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

50

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
 163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
 413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
 450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
 370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
 9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
 110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
 771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
 256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
 459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
 270 302 754 1105 1430 1916 3788
 144 706 1013 7424 7893 9436 10402
 1899 3105 11835 12241
 1400 7777 10094 10848
 8098 10061 10435 12570

10

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を備える受信装置。

【請求項3】

20

符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが4/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部と、

前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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部と、

前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピング部と

を含み、

前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

30

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3
 8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

の並びにインターリーブし、

前記検査行列は、

所定値M1と、前記LDPC符号の情報長 $K=N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、

M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、

M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、

N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、

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

40

を含み、

前記所定値M1は、1080であり、

前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
 163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
 413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
 450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
 370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552

50

9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
 110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
 771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
 256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
 459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
 270 302 754 1105 1430 1916 3788
 144 706 1013 7424 7893 9436 10402
 1899 3105 11835 12241
 1400 7777 10094 10848
 8098 10061 10435 12570

10

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4/16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と、

前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、

前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップと

を含み、

20

前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3
 8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

の並びにインターリーブし、

前記検査行列は、

所定値M1と、前記LDPC符号の情報長 $K=N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、

M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、

30

M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、

N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、

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

を含み、

前記所定値M1は、1080であり、

前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
 163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
 413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
 450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
 370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
 9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
 110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
 771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
 256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
 459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
 270 302 754 1105 1430 1916 3788
 144 706 1013 7424 7893 9436 10402

40

50

1899 3105 11835 12241
 1400 7777 10094 10848
 8098 10061 10435 12570

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ステップを備える

受信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本技術は、送信装置、送信方法、受信装置、及び、受信方法に関し、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、送信方法、受信装置、及び、受信方法に関する。

【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)。

20

【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】

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

30

【発明の概要】

【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】

40

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の送信方法/装置は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが2/16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/部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ/部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングするマッピングステップ/部とを含み、前記グループワイズインター

50

リーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

46 11 23 33 10 0 17 47 20 5 38 29 28 16 41 27 2 31 43 37 34 12 35 24
21 44 40 36 32 39 4 19 26 6 30 9 42 1 22 8 3 45 14 15 13 7 25 18

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1800であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

10

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 1
1599 12641 13430

20

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 13
124 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

である送信方法 / 装置である。

【0009】

30

本技術の第1の送信方法 / 装置においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが2/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループサイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。前記グループサイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

46 11 23 33 10 0 17 47 20 5 38 29 28 16 41 27 2 31 43 37 34 12 35 24
21 44 40 36 32 39 4 19 26 6 30 9 42 1 22 8 3 45 14 15 13 7 25 18

40

の並びにインターリーブされる。前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1800であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

485 1444 1737 3762 7283 10663
181 1563 1623 3902 12647

50

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 1
 1599 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 13
 124 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

になっている。

【0010】

本技術の第1の受信装置/方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが2/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

46 11 23 33 10 0 17 47 20 5 38 29 28 16 41 27 2 31 43 37 34 12 35 24
 21 44 40 36 32 39 4 19 26 6 30 9 42 1 22 8 3 45 14 15 13 7 25 18

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K= $N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1800であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

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 1
 1599 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 13
 124 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

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/方法である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

本技術の第 1 の受信装置 / 方法においては、第 1 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。

【 0 0 1 2 】

本技術の第 2 の送信方法 / 装置は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが4/16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 / 部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ / 部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングするマッピングステップ / 部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

10

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3 8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1080であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

20

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
270 302 754 1105 1430 1916 3788
144 706 1013 7424 7893 9436 10402
1899 3105 11835 12241
1400 7777 10094 10848
8098 10061 10435 12570

30

である送信方法 / 装置である。

【 0 0 1 3 】

本技術の第 2 の送信方法 / 装置においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが4/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングされる。前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

40

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3 8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

50

の並びにインターリーブされる。前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長 $K=N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1080であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

```

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916
771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
270 302 754 1105 1430 1916 3788
144 706 1013 7424 7893 9436 10402
1899 3105 11835 12241
1400 7777 10094 10848
8098 10061 10435 12570

```

10

20

になっている。

【0014】

本技術の第2の受信装置/方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが4/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかに

30

```

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3
8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

```

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長 $K=N \times r$ とで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、1080であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

40

```

159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663
163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959
413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451
450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844
370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552
9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533
110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916

```

50

771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357
 256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045
 459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767
 270 302 754 1105 1430 1916 3788
 144 706 1013 7424 7893 9436 10402
 1899 3105 11835 12241
 1400 7777 10094 10848
 8098 10061 10435 12570

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 / 方法である。

10

【 0 0 1 5 】

本技術の第 2 の受信装置 / 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。

【 0 0 1 6 】

本技術の第 3 の送信方法 / 装置は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが6/16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 / 部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ / 部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングするマッピングステップ / 部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

20

23 42 33 17 37 2 22 14 21 0 12 44 30 1 25 35 46 13 10 24 20 15 45 31
 41 43 28 36 16 4 32 18 3 6 34 11 40 5 38 27 29 8 26 7 39 9 47 19

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、720であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

30

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

40

50

206 375 697 1449 2015 2390 3926 4428 5084 5236 5872 8486 9398 99
97 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
である送信方法 / 装置である。

【 0 0 1 7 】

本技術の第3の送信方法 / 装置においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが6/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループサイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。前記グループサイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

10

23 42 33 17 37 2 22 14 21 0 12 44 30 1 25 35 46 13 10 24 20 15 45 31
41 43 28 36 16 4 32 18 3 6 34 11 40 5 38 27 29 8 26 7 39 9 47 19

の並びにインターリーブされる。前記検査行列は、所定値M1と、前記LDPC符号の情報長K=N×rとで表されるM1行K列の、前記検査行列の左上のA行列と、M1行M1列の、前記A行列の右に隣接する階段構造のB行列と、M1行N-K-M1列の、前記B行列の右に隣接するゼロ行列であるZ行列と、N-K-M1行K+M1列の、前記A行列及び前記B行列の下に隣接するC行列と、N-K-M1行N-K-M1列の、前記C行列の右に隣接する単位行列であるD行列とを含み、前記所定値M1は、720であり、前記A行列及びC行列は、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A行列及びC行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

20

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

30

40

206 375 697 1449 2015 2390 3926 4428 5084 5236 5872 8486 9398 99
97 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
になっている。

【 0 0 1 8 】

本技術の第3の受信装置 / 方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが6/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループサイズインターリー

50

ブを行うグループワイズインターリーブステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から*i*+1番目のビットグループを、ビットグループ*i*として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

23 42 33 17 37 2 22 14 21 0 12 44 30 1 25 35 46 13 10 24 20 15 45 31
41 43 28 36 16 4 32 18 3 6 34 11 40 5 38 27 29 8 26 7 39 9 47 19

の並びにインターリーブし、前記検査行列は、所定値*M*1と、前記LDPC符号の情報長*K*=*N*×*r*とで表される*M*1行*K*列の、前記検査行列の左上の*A*行列と、*M*1行*M*1列の、前記*A*行列の右に隣接する階段構造の*B*行列と、*M*1行*N*-*K*-*M*1列の、前記*B*行列の右に隣接するゼロ行列である*Z*行列と、*N*-*K*-*M*1行*K*+*M*1列の、前記*A*行列及び前記*B*行列の下に隣接する*C*行列と、*N*-*K*-*M*1行*N*-*K*-*M*1列の、前記*C*行列の右に隣接する単位行列である*D*行列とを含み、前記所定値*M*1は、720であり、前記*A*行列及び*C*行列は、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*A*行列及び*C*行列の1の要素の位置を360列ごとに表すテーブルであって、

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 99
97 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

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/方法である。

【0019】

本技術の第3の受信装置/方法においては、第3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。

【0020】

本技術の第4の送信方法/装置は、符号長*N*が17280ビットであり、符号化率*r*が8/16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/部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ/部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングするマッピングステップ/部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から*i*+1番目のビットグループを、ビットグループ*i*として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグル

10

20

30

40

50

ープ

7 0 8 39 17 3 32 2 13 19 16 14 5 10 27 35 45 26 44 43 11 24 28 34 20
29 22 41 18 9 37 12 21 4 46 33 15 36 42 1 40 25 23 30 6 38 31 47

の並びにインターリーブし、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、

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 5
217 6030 6747 7127 7254 7845 8552

10

125 430 594 628 641 740 1895 2007 2148 2363 2790 2920 3158 3493 3
768 3805 3896 5067 5103 5121 5292 5764 5857 5948 6338 6523 6578 68
80 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

20

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

30

である送信方法 / 装置である。

【 0 0 2 1 】

本技術の第4の送信方法 / 装置においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが8/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

40

7 0 8 39 17 3 32 2 13 19 16 14 5 10 27 35 45 26 44 43 11 24 28 34 20
29 22 41 18 9 37 12 21 4 46 33 15 36 42 1 40 25 23 30 6 38 31 47

の並びにインターリーブされる。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

50

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、

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 5
217 6030 6747 7127 7254 7845 8552

125 430 594 628 641 740 1895 2007 2148 2363 2790 2920 3158 3493 3
768 3805 3896 5067 5103 5121 5292 5764 5857 5948 6338 6523 6578 68
80 7303 7557 8242 8371 8387 8634

10

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

20

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

30

1853 6196 8289

になっている。

【 0 0 2 2 】

本技術の第4の受信装置/方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが8/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

40

7 0 8 39 17 3 32 2 13 19 16 14 5 10 27 35 45 26 44 43 11 24 28 34 20
29 22 41 18 9 37 12 21 4 46 33 15 36 42 1 40 25 23 30 6 38 31 47

の並びにインターリーブし、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、

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

50

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 5
 217 6030 6747 7127 7254 7845 8552

125 430 594 628 641 740 1895 2007 2148 2363 2790 2920 3158 3493 3
 768 3805 3896 5067 5103 5121 5292 5764 5857 5948 6338 6523 6578 68
 80 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

10

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

20

2339 2998 8002

1824 6660 8286

4264 5378 7779

4145 6343 8515

5007 6959 7845

1853 6196 8289

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 / 方法である。

【 0 0 2 3 】

本技術の第 4 の受信装置 / 方法においては、第 4 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。

30

【 0 0 2 4 】

本技術の第 5 の送信方法 / 装置は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが10/16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 / 部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ / 部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップ / 部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

40

1 28 12 35 23 36 24 17 10 14 15 37 18 13 41 38 33 29 16 21 27 4 9 31
 45 40 0 46 7 43 30 34 8 44 47 2 20 6 42 3 22 39 5 32 11 19 25 26

の並びにインターリーブし、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、

579 608 613 760 795 839 910 1895 2239 2535 2670 2871 3127 3316 37
 79 3829 3936 4454 4772 4926 6048 6166 6352

50

263 291 694 1172 1232 1925 2657 3037 3057 3400 3550 3812 4185 43
25 5202 5441 5479 5640 5864 5892 6154 6157 6227
527 601 1254 1476 1760 2070 2099 2725 2961 3529 3591 4324 4393 4
462 4841 5070 5480 5698 5856 5865 6087 6446
235 319 480 2036 2188 2358 2423 2510 2911 3225 3472 3677 3840 44
09 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

10

20

30

である送信方法 / 装置である。

【 0 0 2 5 】

本技術の第5の送信方法 / 装置においては、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが10/16のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングされる。前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

40

1 28 12 35 23 36 24 17 10 14 15 37 18 13 41 38 33 29 16 21 27 4 9 31
45 40 0 46 7 43 30 34 8 44 47 2 20 6 42 3 22 39 5 32 11 19 25 26

の並びにインターリーブされる。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、

579 608 613 760 795 839 910 1895 2239 2535 2670 2871 3127 3316 37

50

79 3829 3936 4454 4772 4926 6048 6166 6352
 263 291 694 1172 1232 1925 2657 3037 3057 3400 3550 3812 4185 43
 25 5202 5441 5479 5640 5864 5892 6154 6157 6227
 527 601 1254 1476 1760 2070 2099 2725 2961 3529 3591 4324 4393 4
 462 4841 5070 5480 5698 5856 5865 6087 6446
 235 319 480 2036 2188 2358 2423 2510 2911 3225 3472 3677 3840 44
 09 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
 になっている。

10

20

30

【 0 0 2 6 】

本技術の第5の受信装置/方法は、符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が10/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

40

1 28 12 35 23 36 24 17 10 14 15 37 18 13 41 38 33 29 16 21 27 4 9 31
 45 40 0 46 7 43 30 34 8 44 47 2 20 6 42 3 22 39 5 32 11 19 25 26

の並びにインターリーブし、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、

50

579 608 613 760 795 839 910 1895 2239 2535 2670 2871 3127 3316 37
79 3829 3936 4454 4772 4926 6048 6166 6352
263 291 694 1172 1232 1925 2657 3037 3057 3400 3550 3812 4185 43
25 5202 5441 5479 5640 5864 5892 6154 6157 6227
527 601 1254 1476 1760 2070 2099 2725 2961 3529 3591 4324 4393 4
462 4841 5070 5480 5698 5856 5865 6087 6446
235 319 480 2036 2188 2358 2423 2510 2911 3225 3472 3677 3840 44
09 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

10

20

30

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 / 方法である。

【 0 0 2 7 】

本技術の第 5 の受信装置 / 方法においては、第 5 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。

【 0 0 2 8 】

本技術の第 6 の送信方法 / 装置は、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 / 部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ / 部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップ / 部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

40

9 8 3 40 27 4 7 45 28 29 14 41 20 6 21 5 36 12 31 39 30 15 37 10 34 25

50

1 47 26 13 32 43 44 24 33 16 42 2 22 19 18 35 23 46 11 17 38 0

の並びにインターリーブし、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

10

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

20

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

30

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

40

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 / 装置である。

【 0 0 2 9 】

50

本技術の第6の送信方法/装置においては、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符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

9 8 3 40 27 4 7 45 28 29 14 41 20 6 21 5 36 12 31 39 30 15 37 10 34 25
1 47 26 13 32 43 44 24 33 16 42 2 22 19 18 35 23 46 11 17 38 0

10

の並びにインターリーブされる。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 36
12 3866 4296

633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4
205 4213 4280 4291

136 166 369 677 878 1119 1360 1401 1501 1823 1950 2492 2760 2843
3151 3168 3189

20

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 3
596 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

30

40

50

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。

【0030】

本技術の第6の受信装置/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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

9 8 3 40 27 4 7 45 28 29 14 41 20 6 21 5 36 12 31 39 30 15 37 10 34 25
 1 47 26 13 32 43 44 24 33 16 42 2 22 19 18 35 23 46 11 17 38 0

の並びにインターリーブし、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 36
 12 3866 4296

633 691 1035 1038 1250 1476 1885 2332 2871 3064 3186 3785 4114 4
 205 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 3
 596 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

10

20

30

40

50

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 / 方法である。

【 0 0 3 1 】

本技術の第 6 の受信装置 / 方法においては、第 6 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。

【 0 0 3 2 】

本技術の第 7 の送信方法 / 装置は、符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が $14/16$ 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 / 部と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブ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ステップ / 部と、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップ / 部とを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

12 42 40 41 20 18 27 24 39 6 0 15 8 31 10 3 13 46 4 37 33 25 44 2 16
 23 28 14 17 43 45 1 35 38 26 21 36 22 47 11 34 29 30 32 19 7 5 9

の並びにインターリーブし、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、

337 376 447 504 551 864 872 975 1136 1225 1254 1271 1429 1478 187
 0 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 20
 96 2121

80 487 500 513 661 970 1038 1095 1109 1133 1416 1545 1696 1992 20
 51 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

10

20

30

40

50

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

10

20

30

である送信方法 / 装置である。

【 0 0 3 3 】

本技術の第7の送信方法 / 装置においては、符号長 N が17280ビットであり、符号化率 r が $14/16$ のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化が行われ、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。そして、前記LDPC符号が、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちいずれかにマッピングされる。前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

40

12 42 40 41 20 18 27 24 39 6 0 15 8 31 10 3 13 46 4 37 33 25 44 2 16
 23 28 14 17 43 45 1 35 38 26 21 36 22 47 11 34 29 30 32 19 7 5 9

の並びにインターリーブされる。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、

50

337 376 447 504 551 864 872 975 1136 1225 1254 1271 1429 1478 187
0 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 20
96 2121

80 487 500 513 661 970 1038 1095 1109 1133 1416 1545 1696 1992 20
51 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

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

20

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

30

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

40

298 404 709

970 1272 1799

296 1017 1873

105 780 1418

682 1247 1867

になっている。

【 0 0 3 4 】

本技術の第7の受信装置/方法は、符号長Nが17280ビットであり、符号化率rが14/16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と、前記LDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリ

50

ープを行うグループワイズインターリーブステップと、前記LDPC符号を、4ビット単位で、16QAMの2D-NUC(Non-Uniform Constellation)の16個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピングステップとを含み、前記グループワイズインターリーブでは、前記LDPC符号の先頭からi+1番目のビットグループを、ビットグループiとして、前記17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びを、ビットグループ

12 42 40 41 20 18 27 24 39 6 0 15 8 31 10 3 13 46 4 37 33 25 44 2 16
23 28 14 17 43 45 1 35 38 26 21 36 22 47 11 34 29 30 32 19 7 5 9

の並びにインターリーブし、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、

337 376 447 504 551 864 872 975 1136 1225 1254 1271 1429 1478 187
0 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 20
96 2121

80 487 500 513 661 970 1038 1095 1109 1133 1416 1545 1696 1992 20
51 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

10

20

30

40

50

877 992 1174
 1083 1134 1355
 298 404 709
 970 1272 1799
 296 1017 1873
 105 780 1418
 682 1247 1867

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/方法である。

【0035】

本技術の第7の受信装置/方法においては、第7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。

【0036】

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】

【0037】

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。

【0038】

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】

【0039】

【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。

【図3】LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

【図4】検査行列のタナーグラフの例を示す図である。

【図5】バリエ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。

【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ー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 に対応するタナー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。

【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。

10

20

30

40

50

- 【図 2 4】 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 2 5】 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 2 6】 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 2 7】 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 2 8】 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。
- 【図 2 9】 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 3 0】 $N=17280$ 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。 10
- 【図 3 1】 $N=17280$ 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 3 2】 $N=17280$ 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 3 3】 $N=17280$ 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。
- 【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。 20
- 【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。
- 【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。 30
- 【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。
- 【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。 40
- 【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】 $N=17280$ ビットで、 $r=4/16$ の新タイプA符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。
- 【図 5 1】 $r=4/16$ の新タイプA符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。
- 【図 5 2】 $N=17280$ ビットで、 $r=9/16$ の新タイプB符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。
- 【図 5 3】 $r=9/16$ の新タイプB符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。
- 【図 5 4】 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。 50

【図 5 5】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 6】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。

【図 5 7】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 8】QPSK-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 5 9】QPSK-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 0】16QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 1】16QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 2】64QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 3】64QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

10

【図 6 4】256QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 5】256QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

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

【図 6 7】1024QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 8】4096QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 6 9】4096QAM-UCの信号点の座標 z_q の例を示す図である。

【図 7 0】16QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 1】64QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 2】256QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 3】256QAM-2D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

20

【図 7 4】1024QAM-1D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 5】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 6】4096QAM-1D-NUCの信号点の座標 z_s の例を示す図である。

【図 7 7】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 8】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 9】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 8 0】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 8 1】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。

30

【図 8 2】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1の例を示す図である。

【図 8 3】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第2の例を示す図である。

【図 8 4】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第3の例を示す図である。

【図 8 5】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の例を示す図である。

【図 8 6】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第5の例を示す図である。

40

【図 8 7】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第6の例を示す図である。

【図 8 8】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第7の例を示す図である。

【図 8 9】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第8の例を示す図である。

【図 9 0】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第9の例を示す図である。

【図 9 1】符号長 N が17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第10の例を示す

50

図である。

【図 9 2】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 1 の例を示す図である。

【図 9 3】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 2 の例を示す図である。

【図 9 4】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 3 の例を示す図である。

【図 9 5】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 4 例を示す図である。

【図 9 6】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 5 例を示す図である。

10

【図 9 7】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 6 の例を示す図である。

【図 9 8】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 7 の例を示す図である。

【図 9 9】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 8 の例を示す図である。

【図 1 0 0】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 9 の例を示す図である。

【図 1 0 1】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 0 の例を示す図である。

20

【図 1 0 2】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 1 の例を示す図である。

【図 1 0 3】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 2 の例を示す図である。

【図 1 0 4】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 3 の例を示す図である。

【図 1 0 5】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 4 の例を示す図である。

【図 1 0 6】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 5 の例を示す図である。

30

【図 1 0 7】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 6 の例を示す図である。

【図 1 0 8】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 7 の例を示す図である。

【図 1 0 9】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 8 の例を示す図である。

【図 1 1 0】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 9 の例を示す図である。

【図 1 1 1】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 0 の例を示す図である。

40

【図 1 1 2】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 1 の例を示す図である。

【図 1 1 3】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 2 の例を示す図である。

【図 1 1 4】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 3 の例を示す図である。

【図 1 1 5】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 4 の例を示す図である。

【図 1 1 6】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 5 の例を示す

50

す図である。

【図 1 1 7】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 6 の例を示す図である。

【図 1 1 8】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 7 の例を示す図である。

【図 1 1 9】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 8 の例を示す図である。

【図 1 2 0】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 9 の例を示す図である。

【図 1 2 1】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 0 の例を示す図である。 10

【図 1 2 2】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 1 の例を示す図である。

【図 1 2 3】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 2 の例を示す図である。

【図 1 2 4】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 3 の例を示す図である。

【図 1 2 5】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 4 の例を示す図である。

【図 1 2 6】符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 4 5 の例を示す図である。 20

【図 1 2 7】受信装置 1 2 の構成例を示すブロック図である。

【図 1 2 8】ビットデインターリーバ 1 6 5 の構成例を示すブロック図である。

【図 1 2 9】デマッパ 1 6 4、ビットデインターリーバ 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 1 3 0】LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

【図 1 3 1】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 1 3 2】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 1 3 3】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。 30

【図 1 3 4】LDPCデコーダ 1 6 6 の構成例を示すブロック図である。

【図 1 3 5】ブロックデインターリーバ 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。

【図 1 3 6】ビットデインターリーバ 1 6 5 の他の構成例を示すブロック図である。

【図 1 3 7】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 1 3 8】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 1 3 9】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。 40

【図 1 4 0】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。

【発明を実施するための形態】

【0 0 4 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 4 1】

< LDPC符号 >

【0 0 4 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、 50

2元であるものとして説明する。

【0043】

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。

【0044】

図1は、LDPC符号の検査行列Hの例を示す図である。

【0045】

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。

10

【0046】

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。

【0047】

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。

20

【0048】

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、バリエブルノード(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、いわゆるタナーグラフ(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、バリエブルノードとチェックノードを、単に、ノードともいう。

【0049】

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。

【0050】

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、バリエブルノードから出力されるメッセージを v_i とする。

30

【0051】

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(バリエブルノード演算)を行うことによってメッセージ(バリエ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。

40

【0052】

【数1】

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

・・・(1)

【0053】

50

【数 2】

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

・・・(2)

【0054】

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。

10

【0055】

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。

【0056】

20

【数 3】

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

・・・(3)

【0057】

【数 4】

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

・・・(4)

30

【0058】

ステップS12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S13に進む。ステップS13では、変数kが所定の繰り返し復号回数Cよりも大きいかが判定される。ステップS13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S12に戻り、以下、同様の処理が繰り返される。

【0059】

また、ステップS13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S14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。

40

【0060】

【数 5】

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

・・・(5)

【0061】

ここで、式(5)の演算は、式(1)のバリアブルノード演算とは異なり、バリア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。

50

【 0 0 6 2 】

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。

【 0 0 6 3 】

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。

【 0 0 6 4 】

図 4 は、図 3 の検査行列Hのタナーグラフを示す図である。

【 0 0 6 5 】

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、変数ノードである。チェックノードと変数ノードは、それぞれ、検査行列Hの行と列に対応する。チェックノードと変数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。

【 0 0 6 6 】

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 番目の変数ノード（ "=" 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、変数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。

【 0 0 6 7 】

LDPC符号の復号方法であるサムプロダクトアルゴリズム(Sum Product Algorithm)では、変数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。

【 0 0 6 8 】

図 5 は、変数ノードで行われる変数ノード演算を示す図である。

【 0 0 6 9 】

変数ノードでは、計算しようとしている枝に対応するメッセージ v_i は、変数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) の変数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。

【 0 0 7 0 】

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。

【 0 0 7 1 】

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、 $x > 0$ のとき 1 であり、 $x < 0$ のとき -1 である。

【 0 0 7 2 】

【数 6】

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

【 0 0 7 3 】

x = 0において、関数 φ(x)を、式 φ(x) = ln(tanh(x/2))と定義すると、式 φ⁻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。

【 0 0 7 4 】

【 数 7 】

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

10

・・・ (7)

【 0 0 7 5 】

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。

【 0 0 7 6 】

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 v₁, v₂, v₃, v₄, v₅ 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。

【 0 0 7 7 】

なお、式 (7) の関数 φ(x) は、式 φ(x) = ln((e^x+1)/(e^x-1)) で表すことができ、x > 0 において、φ(x) = φ⁻¹(x) である。関数 φ(x) および φ⁻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。

20

【 0 0 7 8 】

< 本技術を適用した伝送システムの構成例 >

【 0 0 7 9 】

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。

【 0 0 8 0 】

図 7 において、伝送システムは、送信装置 1 1 と受信装置 1 2 とから構成される。

30

【 0 0 8 1 】

送信装置 1 1 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 1 1 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 1 3 を介して送信する。

【 0 0 8 2 】

受信装置 1 2 は、送信装置 1 1 から通信路 1 3 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。

【 0 0 8 3 】

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。

40

【 0 0 8 4 】

一方、通信路 1 3 では、バースト(burst)誤りやイレージャ(erasure)を発生することがある。例えば、特に、通信路 1 3 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。

【 0 0 8 5 】

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

50

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。

【0086】

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。

【0087】

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。

10

【0088】

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。

【0089】

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。

20

【0090】

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。

【0091】

<送信装置11の構成例>

30

【0092】

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。

【0093】

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。

【0094】

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。

40

【0095】

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。

【0096】

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。

【0097】

50

BCHエンコーダ 1 1 4 は、BBスクランブラ 1 1 3 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) 1 1 5 に供給する。

【 0 0 9 8 】

LDPCエンコーダ 1 1 5 (符号化部) は、BCHエンコーダ 1 1 4 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。

【 0 0 9 9 】

すなわち、LDPCエンコーダ 1 1 5 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。

【 0 1 0 0 】

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

【 0 1 0 1 】

LDPCエンコーダ 1 1 5 が出力するLDPC符号は、ビットインターリーバ(Bit Interleaver) 1 1 6 に供給される。

【 0 1 0 2 】

ビットインターリーバ 1 1 6 は、LDPCエンコーダ 1 1 5 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、マップ(Mapper) 1 1 7 に供給する。

【 0 1 0 3 】

マップ 1 1 7 は、ビットインターリーバ 1 1 6 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。

【 0 1 0 4 】

すなわち、マップ 1 1 7 は、ビットインターリーバ 1 1 6 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。

【 0 1 0 5 】

マップ 1 1 7 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、マップ 1 1 7 では、ビットインターリーバ 1 1 6 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。

【 0 1 0 6 】

ここで、マップ 1 1 7 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ATSC3.0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), 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM, 4PAM(Pulse Amplitude Modulation)等がある。マップ 1 1 7 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 1 1 のオペレータの

10

20

30

40

50

操作等に従って、あらかじめ設定される。

【0107】

マップ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。

【0108】

時間インターリーブ118は、マップ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。

【0109】

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。

【0110】

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。

【0111】

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。

【0112】

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。

【0113】

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。

【0114】

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ブ124に供給する。

【0115】

周波数インターリーブ124は、周波数インターリーブ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。

【0116】

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ブ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。

【0117】

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。

【0118】

なお、送信装置11は、例えば、時間インターリーブ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーブ120、及び、周波数インターリーブ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。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 9 】

< ビットインターリーバ 1 1 6 の構成例 >

【 0 1 2 0 】

図 9 は、図 8 のビットインターリーバ 1 1 6 の構成例を示すブロック図である。

【 0 1 2 1 】

ビットインターリーバ 1 1 6 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) 2 3、グループワイズインターリーバ(Group-Wise Interleaver) 2 4、及びブロックインターリーバ(Block Interleaver) 2 5 から構成される。

【 0 1 2 2 】

パリティインターリーバ 2 3 は、LDPCエンコーダ 1 1 5 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 2 4 に供給する。

【 0 1 2 3 】

グループワイズインターリーバ 2 4 は、パリティインターリーバ 2 3 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 2 5 に供給する。

【 0 1 2 4 】

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、ビットグループとして、パリティインターリーバ 2 3 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。

【 0 1 2 5 】

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。

【 0 1 2 6 】

ブロックインターリーバ 2 5 は、グループワイズインターリーバ 2 4 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 1 1 7 (図 8) に供給する。

【 0 1 2 7 】

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バ 2 4 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。

【 0 1 2 8 】

< LDPC符号の検査行列 >

【 0 1 2 9 】

図 1 0 は、図 8 のLDPCエンコーダ 1 1 5 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。

【 0 1 3 0 】

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。

【 0 1 3 1 】

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

10

20

30

40

50

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。

【0132】

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 \times 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。

【0133】

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。

【0134】

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。

【0135】

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。

【0136】

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、その検査行列 H を用いて、容易に生成することができる。

【0137】

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、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。

【0138】

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。

【0139】

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。

【0140】

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。

【0141】

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。

【0142】

ここで、 $KX+K3+M-1+1$ は、符号長 N に等しい。

【0143】

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。

【0144】

10

20

30

40

50

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。

【0145】

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。

【0146】

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。

【0147】

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。

【0148】

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。

【0149】

<パリティインターリーブ>

【0150】

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。

【0151】

図14は、LDPC符号の検査行列のタナーグラフ(の一部)の例を示す図である。

【0152】

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リアブルノード(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リアブルノードに、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リア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。

【0153】

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。

【0154】

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 に対応するタナーグラフの例を示す図である。

【0155】

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 に対応するタナーグラフを示している。

【0156】

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 のタナーグラフにおいて、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つのリアブルノードは、同一のチェックノードに繋がっている。

【0157】

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つのリア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つのリアブルノード(パリティビットを用いてメッセージを

10

20

30

40

50

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。

【0158】

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。

【0159】

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。

【0160】

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。

【0161】

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、パラレルファクタという。

【0162】

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。

【0163】

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)。

【0164】

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。

【0165】

$K+qx+y+1$ 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。

【0166】

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。

【0167】

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

10

20

30

40

50

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。

【0168】

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。

【0169】

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。

【0170】

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×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。

10

【0171】

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。

【0172】

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行の置換（行置換）も施された行列になっている。

20

【0173】

図17は、図8のLDPCエンコーダ115、ビットインターリーバ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。

【0174】

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、検査行列に基づいて、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バ116に供給して、処理は、ステップS102に進む。

30

【0175】

ビットインターリーバ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。

【0176】

すなわち、ステップS102では、ビットインターリーバ116（図9）において、パリティインターリーバ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バ24に供給する。

40

【0177】

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バ25に供給する。

【0178】

ブロックインターリーバ25は、グループワイズインターリーバ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。

【0179】

マップ117は、ステップS103において、ブロックインターリーバ25からのシン

50

ボルを、マップ 1 1 7 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 1 1 8 に供給する。

【 0 1 8 0 】

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。

【 0 1 8 1 】

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 2 3 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 2 4 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 2 3 とグループワイズインターリーブ 2 4 とは、一体的に構成することができる。

10

【 0 1 8 2 】

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。

【 0 1 8 3 】

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。

20

【 0 1 8 4 】

また、パリティインターリーブ 2 3 とグループワイズインターリーブ 2 4 に加えて、ブロックインターリーブ 2 5 も、一体的に構成することが可能である。

【 0 1 8 5 】

すなわち、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。

【 0 1 8 6 】

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。

30

【 0 1 8 7 】

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。

【 0 1 8 8 】

< LDPCエンコーダ 1 1 5 の構成例 >

【 0 1 8 9 】

図 1 8 は、図 8 のLDPCエンコーダ 1 1 5 の構成例を示すブロック図である。

40

【 0 1 9 0 】

なお、図 8 のLDPCエンコーダ 1 2 2 も、同様に構成される。

【 0 1 9 1 】

図 1 2 及び図 1 3 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。

【 0 1 9 2 】

そして、符号長 N が 64800 ビットのLDPC符号については、1 1 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、1 0 個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5,$

50

5/6、及び8/9が規定されている（図12及び図13）。

【0193】

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に基づいて行うことができる。

【0194】

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に基づいて、LDPC符号化を行うことができる。

10

【0195】

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。

【0196】

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バ116（図8）に供給する。

【0197】

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。

20

【0198】

初期値テーブル読み出し部612は、符号化率設定部611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602から読み出す。

【0199】

検査行列生成部613は、初期値テーブル読み出し部612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602に格納する。例えば、検査行列生成部613は、符号化率設定部611が設定した符号長N及び符号化率rに応じた情報長K（＝符号長N-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602に格納する。

30

【0200】

情報ビット読み出し部614は、LDPCエンコーダ115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）。

【0201】

符号化パリティ演算部615は、検査行列生成部613が生成した検査行列Hを記憶部602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614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。

【0202】

制御部616は、符号化処理部601を構成する各ブロックを制御する。

40

【0203】

記憶部602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12及び図13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602は、符号化処理部601の処理上必要なデータを一時記憶する。

【0204】

50

図 19 は、図 18 の 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。

【0205】

ステップ S201 において、符号化率設定部 611 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。

【0206】

ステップ S202 において、初期値テーブル読み出し部 612 は、符号化率設定部 611 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 602 から読み出す。

【0207】

ステップ S203 において、検査行列生成部 613 は、初期値テーブル読み出し部 612 が記憶部 602 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 611 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 602 に供給して格納する。

【0208】

ステップ S204 において、情報ビット読み出し部 614 は、LDPC エンコーダ 115 に供給される LDPC 対象データから、符号化率設定部 611 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 613 が求めた検査行列 H を、記憶部 602 から読み出し、符号化パリティ演算部 615 に供給する。

【0209】

ステップ S205 において、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。

【0210】

$$Hc^T = 0$$

・・・ (8)

【0211】

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。

【0212】

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 で表すと同時に、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。

【0213】

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。

【0214】

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。

【0215】

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

10

20

30

40

50

ステップ S 2 0 4) ないし S 2 0 6 の処理が繰り返される。

【 0 2 1 6 】

また、ステップ S 2 0 6 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 1 1 5 は、処理を終了する。

【 0 2 1 7 】

LDPCエンコーダ 1 1 5 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 1 1 5 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

10

【 0 2 1 8 】

< 検査行列初期値テーブルの例 >

【 0 2 1 9 】

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 1 0)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。

【 0 2 2 0 】

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。

20

【 0 2 2 1 】

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。

【 0 2 2 2 】

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。

30

【 0 2 2 3 】

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。

【 0 2 2 4 】

「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。

【 0 2 2 5 】

なお、DVB-T.2等では、タイプB符号が採用されている。

【 0 2 2 6 】

図 2 0 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。

40

【 0 2 2 7 】

すなわち、図 2 0 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。

【 0 2 2 8 】

検査行列生成部 6 1 3 (図 1 8)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。

【 0 2 2 9 】

図 2 1 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

50

る図である。

【 0 2 3 0 】

すなわち、図 2 1 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。

【 0 2 3 1 】

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。

10

【 0 2 3 2 】

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 1 0）は、図 1 5 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 1 0）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。

【 0 2 3 3 】

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。

【 0 2 3 4 】

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

20

【 0 2 3 5 】

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

・・・（9）

【 0 2 3 6 】

ここで、式（9）の 360 は、図 1 6 で説明したパラレルファクタ P である。

【 0 2 3 7 】

図 2 1 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、1 3 個の数値が並び、4 行目から $k+1$ 行目（図 2 1 では、3 0 行目）までに、3 個の数値が並んでいる。

【 0 2 3 8 】

したがって、図 2 1 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、1 3 であり、 $1+360 \times (3-1)$ 列目から、 K 列目までは、3 である。

30

【 0 2 3 9 】

図 2 1 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）を示している。

【 0 2 4 0 】

また、図 2 1 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 3 6 1（ $= 1 + 360 \times (2 - 1)$ ）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。

40

【 0 2 4 1 】

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。

【 0 2 4 2 】

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。

50

【 0 2 4 3 】

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。

【 0 2 4 4 】

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 (1 0) で求めることができる。

【 0 2 4 5 】

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

【 0 2 4 6 】

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

【 0 2 4 7 】

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。

【 0 2 4 8 】

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。

【 0 2 4 9 】

さらに、検査行列生成部 6 1 3 (図 1 8) 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 (1 0) 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。

【 0 2 5 0 】

図 2 2 は、タイプA方式の検査行列*H*の構造を示す図である。

【 0 2 5 1 】

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。

【 0 2 5 2 】

A行列は、所定値*M*1と、LDPC符号の情報長*K* = 符号長*N* × 符号化率*r*とで表される*M*1行*K*列の、検査行列*H*の左上の行列である。

【 0 2 5 3 】

B行列は、*M*1行*M*1列の、A行列の右に隣接する階段構造の行列である。

【 0 2 5 4 】

C行列は、*N*-*K*-*M*1行*K*+*M*1列の、A行列及びB行列の下に隣接する行列である。

【 0 2 5 5 】

D行列は、*N*-*K*-*M*1行*N*-*K*-*M*1列の、C行列の右に隣接する単位行列である。

【 0 2 5 6 】

Z行列は、*M*1行*N*-*K*-*M*1列の、B行列の右に隣接するゼロ行列 (0 行列) である。

【 0 2 5 7 】

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。

【 0 2 5 8 】

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。

10

20

30

40

50

【 0 2 5 9 】

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。

【 0 2 6 0 】

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。

【 0 2 6 1 】

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。

【 0 2 6 2 】

図 2 3 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。

【 0 2 6 3 】

すなわち、図 2 3 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。

【 0 2 6 4 】

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。

【 0 2 6 5 】

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。

【 0 2 6 6 】

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。

【 0 2 6 7 】

M1（図 2 2）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。

【 0 2 6 8 】

M2（図 2 2）は、パリティ長Mから、M1を減算した値 $M-M1$ をとる。

【 0 2 6 9 】

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。

【 0 2 7 0 】

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。

【 0 2 7 1 】

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。

【 0 2 7 2 】

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

10

20

30

40

50

(行数)を表す。

【0273】

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。

【0274】

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

【0275】

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。

【0276】

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。

【0277】

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。

【0278】

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。

【0279】

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。

【0280】

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。

【0281】

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。

【0282】

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。

【0283】

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。

【0284】

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。

【0285】

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

10

20

30

40

50

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。

【0286】

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。

【0287】

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。

10

【0288】

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。

【0289】

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

【0290】

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。

20

【0291】

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行目にしたがい、 $6 (= 1+5 \times (2-1))$ 列目の行#2及び#10の要素が1になっている。

【0292】

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、 $Q1 = 3$ 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。

【0293】

図25は、B行列のパリティインターリーブを示す図である。

【0294】

検査行列生成部613（図18）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613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。

30

【0295】

図25は、図24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。

【0296】

図26は、図23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。

【0297】

図26のC行列では、図23の検査行列初期値テーブルの1行目にしたがい、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。

40

【0298】

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。

【0299】

さらに、図26のC行列では、図23の検査行列初期値テーブルの2行目ないし5行目にしたがい、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。

【0300】

50

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、 $Q2=2$ だけ下方方向にサイクリックシフトしたものになっている。

【0301】

検査行列生成部613(図18)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。

【0302】

さらに、検査行列生成部613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26に示す検査行列Hを生成する。

【0303】

図27は、D行列のパリティインターリーブを示す図である。

【0304】

検査行列生成部613は、図26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。

【0305】

図27は、図26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。

【0306】

LDPCエンコーダ115(の符号化パリティ演算部615(図18))は、例えば、図27の検査行列Hを用いて、LDPC符号化(LDPC符号の生成)を行う。

【0307】

ここで、図27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27の検査行列Hを用いて生成されるLDPC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。

【0308】

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。

【0309】

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。

【0310】

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。

【0311】

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。

【0312】

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。

10

20

30

40

50

【0313】

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、及びバリエブルノード演算を、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。

【0314】

<新LDPC符号>

【0315】

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。

【0316】

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。

【0317】

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。

【0318】

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。

【0319】

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, 6/16, 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）に基づいて、新LDPC符号へのLDPC符号化を行うことができる。

【0320】

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。

【0321】

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。

【0322】

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。

【0323】

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。

【0324】

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。

【0325】

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

10

20

30

40

50

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。

【0326】

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。

【0327】

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。

10

【0328】

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。

【0329】

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。

【0330】

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。

20

【0331】

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。

【0332】

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。

30

【0333】

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。

【0334】

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。

【0335】

新LDPC符号は、性能の良いLDPC符号になっている。

40

【0336】

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。

【0337】

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。

【0338】

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

50

めることができる。

【0339】

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。

【0340】

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。

【0341】

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、ガス(girth)と呼ばれる。サイクル4が存在しないこととは、ガスが4より大であることを意味する。

【0342】

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。

【0343】

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。

【0344】

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。

【0345】

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。

【0346】

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。

【0347】

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。

【0348】

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。

【0349】

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。

【0350】

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。

【0351】

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。

【0352】

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

10

20

30

40

50

1/2を乗算した乗算値に等しいN/2個だけ存在する。

【0353】

各バリエーションノードには、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個のバリエーションノードに接続している枝は、全部で、3N本だけ存在する。

【0354】

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。

【0355】

さらに、図44のタナーグラフでは、1つのインターリーブが存在する。

【0356】

インターリーブは、N個のバリエーション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。

【0357】

インターリーブでの、N個のバリエーション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、すべてのバリエーションノードの重みが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。

【0358】

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。

【0359】

マルチエッジタイプでは、バリエーション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ブが、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。

【0360】

図45は、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している。

【0361】

図45のタナーグラフでは、第1インターリーブと第2インターリーブとの2つのインターリーブが存在する。

【0362】

また、図45のタナーグラフでは、第1インターリーブに繋がる枝が1本で、第2インターリーブに繋がる枝が0本のバリエーションノードが v_1 個だけ、第1インターリーブに繋がる枝が1本で、第2インターリーブに繋がる枝が2本のバリエーションノードが v_2 個だけ、第1インターリーブに繋がる枝が0本で、第2インターリーブに繋がる枝が2本のバリエーションノードが v_3 個だけ、それぞれ存在する。

【0363】

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

【0364】

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。

【0365】

10

20

30

40

50

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シエンティエポ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プルを見つけ、そのアンサンプルに属する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。

【0366】

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。

【0367】

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。

10

【0368】

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。

【0369】

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K1列の列重みをX1と、A行列及びC行列のその後のK2列の列重みをX2と、A行列及びC行列のさらにその後のK3列の列重みをX3と、C行列のさらにその後のM1列の列重みをX M1と、それぞれ表すこととする。

【0370】

20

なお、 $K1+K2+K3$ は、情報長Kに等しく、 $M1+M2$ は、パリティ長Mに等しい。したがって、 $K1+K2+K3+M1+M2$ は、符号長 $N=17280$ ビットに等しい。

【0371】

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M1-1列の列重みは2であり、B行列のM1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。

【0372】

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符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。

【0373】

30

$r=2/16, 3/16, 4/16, 5/16, 6/16, 7/16$ 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。

【0374】

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。

【0375】

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。

【0376】

40

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。

【0377】

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。

【0378】

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。

【0379】

50

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。

【0380】

$r=7/16, 8/16, 9/16, 10/16, 11/16, 12/16, 13/16, 14/16$ 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。

【0381】

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。

【0382】

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。

【0383】

図50ないし図53は、新LDPC符号の他の例を説明する図である。

【0384】

すなわち、図50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、日本放送協会から提供されたタイプA符号(以下、 $r=4/16$ の新タイプ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。

【0385】

図51は、日本放送協会から提供された $r=7/16$ の新タイプA符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。

【0386】

パラメータ $K, X1, K1, X2, K2, X3, K3, XM1, M1, M2$ は、図46で説明したパラメータであり、 $r=4/16$ の新タイプA符号の検査行列Hのパラメータ $K, X1, K1, X2, K2, X3, K3, XM1, M1, M2$ は、図51に示す通りになっている。

【0387】

図52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、日本放送協会から提供されたタイプB符号(以下、 $r=9/16$ の新タイプ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。

【0388】

図53は、日本放送協会から提供された $r=9/16$ の新タイプB符号の検査行列Hのパラメータを示す図である。

【0389】

パラメータ $K, X1, KX1, X2, KX2, X3, KX3, X4, KX4, Y1, KY1, M$ は、図48で説明したパラメータであり、 $r=9/16$ の新タイプB符号の検査行列Hのパラメータ $K, X1, KX1, X2, KX2, X3, KX3, X4, KX4, Y1, KY1, M$ は、図52に示す通りになっている。

【0390】

<コンスタレーション>

【0391】

図54ないし図78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。

【0392】

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。

【0393】

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。

【0394】

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)

10

20

30

40

50

n)と、一様になっていないNUC(Non Uniform Constellation)とがある。

【0395】

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。

【0396】

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。

【0397】

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。

10

【0398】

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。

【0399】

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。

20

【0400】

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。

【0401】

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。

30

【0402】

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。

【0403】

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。

【0404】

図54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。

【0405】

図54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。

40

【0406】

図54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(-1)を表す。

【0407】

図55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) = $2/15$, $3/15$, $4/15$, $5/15$, $6/15$, $7/15$, $8/15$, $9/15$, $10/15$,

50

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。

【0408】

図55では、図54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。

【0409】

図55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。

【0410】

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。

10

【0411】

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。

【0412】

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。

20

【0413】

図55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。

【0414】

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。

【0415】

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

30

【0416】

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。

【0417】

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。

【0418】

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55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。

40

【0419】

図56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。

【0420】

図56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 $\text{Re}(\dots)$

50

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 $V=(2^m)/2$ で与えられる。

【0421】

図57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。

【0422】

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。

【0423】

図57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。

【0424】

図57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。

【0425】

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。

【0426】

図57のAでは、偶数番目の5ビット $(0,0,1,1,0)$ は、 u_{11} 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、 u_{11} になる。

【0427】

図57のBでは、奇数番目の5ビット $(0,1,0,1,0)$ は、 u_3 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、 u_3 になる。

【0428】

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56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、 u_3 は、 0.1295 であり、 u_{11} は、 0.7196 である。

【0429】

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、 $u_{11}=0.7196$ になり、イマジナリパート $\text{Im}(z_s)$ は、 $u_3=0.1295$ 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。

【0430】

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 P_{ave} の逆数 $1/(P_{\text{ave}})$ を、コンスタレーション上の各信号点 z_s に乘算することによって行うことができる。

【0431】

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。

10

20

30

40

50

【 0 4 3 2 】

図 5 8 ないし図 6 9 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。

【 0 4 3 3 】

すなわち、図 5 8 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 5 9 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。

【 0 4 3 4 】

図 6 0 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 6 1 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。

10

【 0 4 3 5 】

図 6 2 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 6 3 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。

【 0 4 3 6 】

図 6 4 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 5 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。

【 0 4 3 7 】

図 6 6 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 7 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。

20

【 0 4 3 8 】

図 6 8 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 9 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。

【 0 4 3 9 】

なお、図 5 8 ないし図 6 9 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 $\sqrt{P_{\text{ave}}}$ 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_q に乗算することによって行うことができる。

30

【 0 4 4 0 】

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。

【 0 4 4 1 】

すなわち、図 3 0 ないし図 4 3、図 5 0、及び、図 5 2 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 8 ないし図 6 9 に示した UC を使用することができる。

40

【 0 4 4 2 】

図 7 0 ないし図 7 8 は、図 3 0 ないし図 4 3、図 5 0、及び、図 5 2 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。

【 0 4 4 3 】

すなわち、図 7 0 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。

50

【 0 4 4 4 】

図 7 1 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。

【 0 4 4 5 】

図 7 2 及び図 7 3 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。

【 0 4 4 6 】

なお、図 7 3 は、図 7 2 に続く図である。

【 0 4 4 7 】

図 7 0 ないし図 7 3 では、図 5 5 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。

10

【 0 4 4 8 】

図 7 0 ないし図 7 3 において、 $w\#k$ は、図 5 5 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。

【 0 4 4 9 】

ここで、図 5 5 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。

【 0 4 5 0 】

図 7 0 ないし図 7 3 では、図 5 5 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。

20

【 0 4 5 1 】

さらに、図 7 0 ないし図 7 3 では、図 5 5 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。

【 0 4 5 2 】

但し、図 5 5 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 7 0 ないし図 7 3 では、 conj の符号が逆になる。

30

【 0 4 5 3 】

すなわち、図 7 0 ないし図 7 3 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。

【 0 4 5 4 】

図 7 4 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。

【 0 4 5 5 】

すなわち、図 7 4 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。

40

【 0 4 5 6 】

図 7 5 は、1024QAMのシンボル y と、図 7 4 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。

【 0 4 5 7 】

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。

【 0 4 5 8 】

50

図75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。

【0459】

図75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。

【0460】

1024QAMの10ビットのシンボル y が、図74及び図75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56及び図57で説明した場合と同様であるため、説明を省略する。

10

【0461】

図76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。

【0462】

すなわち、図76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。

【0463】

図77及び図78は、4096QAMのシンボル y と、図76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。

20

【0464】

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。

【0465】

図77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。

【0466】

図78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。

30

【0467】

4096QAMの12ビットのシンボル y が、図76ないし図78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56及び図57で説明した場合と同様であるため、説明を省略する。

【0468】

なお、図70ないし図78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 $\sqrt{P_{\text{ave}}}$ 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。また、上述の図57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75、並びに、図77及び図78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

50

【 0 4 6 9 】

< ブロックインターリーブ 2 5 >

【 0 4 7 0 】

図 7 9 は、図 9 の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。

【 0 4 7 1 】

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。

【 0 4 7 2 】

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。

10

【 0 4 7 3 】

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。

【 0 4 7 4 】

ブロックインターリーブでは、図 7 9 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。

20

【 0 4 7 5 】

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 7 9 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。

【 0 4 7 6 】

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 7 9 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。

30

【 0 4 7 7 】

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 2 5 からマップ 1 1 7 (図 8) に供給される。

【 0 4 7 8 】

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 2 5 からマップ 1 1 7 に供給される。

【 0 4 7 9 】

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。

40

【 0 4 8 0 】

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。

【 0 4 8 1 】

図 8 0 は、変調方式が、QPSK, 16QAM, 64QAM、及び、256QAM である場合それぞれの、符号長 N が 17280 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。

【 0 4 8 2 】

変調方式が、QPSK, 16QAM, 64QAM、及び、256QAM である場合、いずれの場合も、パート 1 が 17280 ビットで、パート 2 が 0 ビットになる。

50

【0483】

<グループワイズインターリーブ>

【0484】

図81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。

【0485】

グループワイズインターリーブでは、図81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。

10

【0486】

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。

【0487】

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。

20

【0488】

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。なお、ビットグループの並びやGWパターンについては、ビットグループを表す番号のコンマ区切りの並び（例えば、4,2,0,3,1）で表す他、ビットグループを表す番号のスペース区切りの並び（例えば、4 2 0 3 1）で表す。

【0489】

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。

30

【0490】

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。

【0491】

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。

40

【0492】

<LDPC符号に対するGWパターンの例>

【0493】

図82は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1の例を示す図である。

【0494】

図82のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

50

の並びにインターリーブされる。

【0495】

図83は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第2の例を示す図である。

【0496】

図83のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

19 33 45 22 43 23 46 32 11 40 13 34 14 47 0 12 6 26 37 4 5 17 25 30 3
9 29 27 28 10 21 36 9 3 20 24 42 7 41 44 38 15 8 31 16 2 1 35 18

の並びにインターリーブされる。

10

【0497】

図84は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第3の例を示す図である。

【0498】

図84のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

の並びにインターリーブされる。

【0499】

20

図85は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の例を示す図である。

【0500】

図85のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

の並びにインターリーブされる。

【0501】

図86は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第5の例を示す図である。

30

【0502】

図86のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

の並びにインターリーブされる。

【0503】

図87は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第6の例を示す図である。

40

【0504】

図87のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

の並びにインターリーブされる。

【0505】

図88は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第7の例を示す図である。

【0506】

50

図 8 8 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

0 34 30 6 11 35 5 24 4 13 15 16 3 31 39 40 37 47 28 12 36 42 33 22 20
8 9 44 29 18 25 21 23 10 14 26 45 7 27 46 1 2 17 41 19 43 38 32

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 0 7 】

図 8 9 は、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの第 8 の例を示す
図である。

【 0 5 0 8 】

図 8 9 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

33 16 0 26 35 31 21 34 42 43 32 29 7 47 37 28 5 9 30 25 3 17 23 24 41
45 20 12 27 39 8 4 1 6 2 38 10 40 18 19 46 11 36 13 22 14 15 44

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 0 9 】

図 9 0 は、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの第 9 の例を示す
図である。

【 0 5 1 0 】

図 9 0 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

41 10 21 37 9 8 11 27 16 23 25 2 34 7 29 28 5 15 31 45 4 43 33 22 18
13 35 30 6 12 44 1 20 40 42 39 19 17 36 38 26 0 32 3 47 14 24 46

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 1 1 】

図 9 1 は、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの第 1 0 の例を示す
図である。

【 0 5 1 2 】

図 9 1 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

15 21 29 10 12 32 1 9 31 47 23 30 26 18 0 28 7 20 43 44 3 45 5 17 16
46 40 39 6 38 34 36 22 33 27 24 25 13 14 37 19 8 42 11 4 2 35 41

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 1 3 】

図 9 2 は、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの第 1 1 の例を示す
図である。

【 0 5 1 4 】

図 9 2 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 1 5 】

図 9 3 は、符号長 N が 17280 ビットの LDPC 符号に対する GW パターンの第 1 2 の例を示す
図である。

【 0 5 1 6 】

図 9 3 の GW パターンによれば、17280 ビットの LDPC 符号のビットグループ 0 ないし 4
7 の並びが、ビットグループ

31 23 1 42 36 25 47 3 12 30 32 8 11 27 21 40 16 13 34 4 26 35 46 20 2
9 28 5 43 18 39 24 14 0 10 7 41 37 9 38 33 2 6 19 45 17 15 22 44

の並びにインターリーブされる。

10

20

30

40

50

【 0 5 1 7 】

図 9 4 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 3 の例を示す図である。

【 0 5 1 8 】

図 9 4 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

46 11 23 33 10 0 17 47 20 5 38 29 28 16 41 27 2 31 43 37 34 12 35 24
21 44 40 36 32 39 4 19 26 6 30 9 42 1 22 8 3 45 14 15 13 7 25 18

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 1 9 】

図 9 5 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 4 の例を示す図である。

【 0 5 2 0 】

図 9 5 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

16 32 33 43 3 29 0 22 40 24 44 8 20 13 15 45 7 34 39 42 25 28 18 26 3
8 10 11 41 47 23 6 1 14 4 12 31 21 19 37 36 30 5 46 27 35 2 9 17

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 2 1 】

図 9 6 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 5 の例を示す図である。

【 0 5 2 2 】

図 9 6 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

23 42 33 17 37 2 22 14 21 0 12 44 30 1 25 35 46 13 10 24 20 15 45 31
41 43 28 36 16 4 32 18 3 6 34 11 40 5 38 27 29 8 26 7 39 9 47 19

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 2 3 】

図 9 7 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 6 の例を示す図である。

【 0 5 2 4 】

図 9 7 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

7 0 8 39 17 3 32 2 13 19 16 14 5 10 27 35 45 26 44 43 11 24 28 34 20
29 22 41 18 9 37 12 21 4 46 33 15 36 42 1 40 25 23 30 6 38 31 47

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 2 5 】

図 9 8 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 7 の例を示す図である。

【 0 5 2 6 】

図 9 8 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

1 28 12 35 23 36 24 17 10 14 15 37 18 13 41 38 33 29 16 21 27 4 9 31
45 40 0 46 7 43 30 34 8 44 47 2 20 6 42 3 22 39 5 32 11 19 25 26

の並びにインターリーブされる。

【 0 5 2 7 】

図 9 9 は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 8 の例を示す図である。

【 0 5 2 8 】

図 9 9 のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし4

10

20

30

40

50

7の並びが、ビットグループ

9 8 3 40 27 4 7 45 28 29 14 41 20 6 21 5 36 12 31 39 30 15 37 10 34 25
1 47 26 13 32 43 44 24 33 16 42 2 22 19 18 35 23 46 11 17 38 0

の並びにインターリーブされる。

【0529】

図100は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第19の例を示す図である。

【0530】

図100のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

12 42 40 41 20 18 27 24 39 6 0 15 8 31 10 3 13 46 4 37 33 25 44 2 16
23 28 14 17 43 45 1 35 38 26 21 36 22 47 11 34 29 30 32 19 7 5 9

の並びにインターリーブされる。

【0531】

図101は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第20の例を示す図である。

【0532】

図101のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

33 18 21 29 14 4 35 32 26 15 11 6 1 47 38 17 45 27 2 5 16 12 23 25 3 0
42 13 41 46 9 24 40 43 7 31 39 34 30 20 8 36 22 10 19 28 37 44

の並びにインターリーブされる。

【0533】

図102は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第21の例を示す図である。

【0534】

図102のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

7 28 41 8 6 12 14 47 4 38 32 37 23 33 15 46 22 0 34 24 40 45 27 19 43
11 36 9 17 21 31 44 2 1 26 13 42 30 35 5 29 25 16 20 39 10 18 3

の並びにインターリーブされる。

【0535】

図103は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第22の例を示す図である。

【0536】

図103のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

30 14 40 26 21 5 12 3 18 17 11 38 4 46 7 31 0 1 27 36 8 10 2 22 13 9 3
7 42 41 32 15 39 23 25 34 24 35 28 20 16 19 33 6 43 29 45 47 44

の並びにインターリーブされる。

【0537】

図104は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第23の例を示す図である。

【0538】

図104のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

23 20 14 9 44 41 19 36 38 13 16 28 0 8 2 39 31 29 21 10 11 33 32 27 4
6 7 5 35 26 1 43 40 37 17 47 30 6 18 15 42 3 25 4 22 24 12 45 34

の並びにインターリーブされる。

【0539】

10

20

30

40

50

図105は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第24の例を示す図である。

【0540】

図105のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

37 30 14 13 2 31 27 9 46 41 47 18 23 28 43 10 39 42 16 22 36 8 33 32
4 1 45 19 12 6 35 0 24 25 15 38 44 7 26 21 34 40 29 20 11 5 17 3

の並びにインターリーブされる。

【0541】

図106は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第25の例を示す図である。

【0542】

図106のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

6 28 25 38 43 11 21 31 47 8 17 39 23 27 30 32 3 35 12 7 1 16 18 36 10
24 41 4 44 22 5 33 46 29 0 26 9 42 37 45 15 40 2 19 14 20 34 13

の並びにインターリーブされる。

【0543】

図107は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第26の例を示す図である。

【0544】

図107のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

39 11 12 7 3 1 40 31 27 0 45 42 6 5 24 36 46 19 34 22 29 13 35 2 17 33
20 14 15 25 38 9 41 30 44 18 8 28 37 4 32 47 16 43 21 23 26 10

の並びにインターリーブされる。

【0545】

図108は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第27の例を示す図である。

【0546】

図108のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

7 19 31 20 36 35 2 4 46 12 28 21 39 43 26 23 32 5 37 3 11 34 18 45 24
1 13 47 10 27 0 9 33 25 8 40 6 16 22 29 42 38 14 44 41 17 30 15

の並びにインターリーブされる。

【0547】

図109は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第28例を示す図である。

【0548】

図109のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

12 7 39 31 30 44 14 33 35 17 37 27 2 28 9 26 32 3 46 0 34 6 43 25 21
47 18 45 5 20 13 38 11 29 16 36 8 40 15 41 10 23 1 19 4 22 42 24

の並びにインターリーブされる。

【0549】

図110は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第29の例を示す図である。

【0550】

図110のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

10

20

30

40

50

20 19 13 25 32 9 5 24 39 4 29 40 14 18 43 46 21 44 10 15 35 3 23 47 3
 7 12 30 33 27 36 8 28 38 7 42 22 2 0 6 16 45 26 17 11 31 34 41 1

の並びにインターリーブされる。

【0551】

図111は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第30の例を示す図である。

【0552】

図111のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

19 20 44 3 6 28 13 15 16 24 9 34 39 8 17 40 29 31 22 10 11 7 35 42 23
 2 14 37 33 1 26 45 38 12 47 30 5 18 46 0 41 27 4 21 43 25 36 32

10

の並びにインターリーブされる。

【0553】

図112は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第31の例を示す図である。

【0554】

図112のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

4 26 7 21 43 42 33 17 35 19 10 39 27 13 18 34 38 3 28 36 1 5 44 37 16
 30 14 9 32 47 29 2 31 23 0 24 11 8 6 46 40 45 15 22 25 20 12 41

20

の並びにインターリーブされる。

【0555】

図113は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第32の例を示す図である。

【0556】

図113のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

8 28 33 21 1 39 34 7 0 17 5 41 23 2 14 10 29 25 13 18 35 38 27 44 20
 32 31 11 40 30 24 3 36 22 15 37 16 6 42 45 19 47 12 26 43 9 46 4

30

の並びにインターリーブされる。

【0557】

図114は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第33の例を示す図である。

【0558】

図114のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

0 39 23 44 19 21 35 13 36 27 47 3 31 11 9 41 43 8 14 26 6 5 15 16 38 7
 32 22 30 33 37 40 28 45 12 24 17 42 20 29 1 4 10 2 25 18 46 34

の並びにインターリーブされる。

【0559】

40

図115は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第34の例を示す図である。

【0560】

図115のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

11 0 42 24 46 27 25 3 1 41 22 40 19 18 14 36 33 4 47 12 39 30 13 5 2 7
 31 9 38 35 15 43 45 44 28 20 32 21 26 23 6 10 8 37 17 34 29 16

の並びにインターリーブされる。

【0561】

図116は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第35の例を

50

示す図である。

【0562】

図116のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

5 45 42 35 13 41 2 29 15 11 16 0 8 1 33 34 44 7 43 22 24 19 9 38 18 12
26 20 28 21 10 30 40 6 46 37 47 17 3 32 4 39 23 25 36 14 31 27

の並びにインターリーブされる。

【0563】

図117は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第36の例を示す図である。

【0564】

図117のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

18 16 21 2 43 10 44 42 19 15 20 26 1 38 46 28 17 29 6 22 7 32 31 30 2
4 3 8 9 12 37 47 40 39 5 35 11 25 45 34 33 23 4 14 27 13 41 36 0

の並びにインターリーブされる。

【0565】

図118は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第37の例を示す図である。

【0566】

図118のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

28 9 4 27 17 10 12 6 19 30 1 23 39 14 38 34 46 8 15 43 13 47 0 44 7 24
45 18 25 29 37 42 22 31 11 36 20 32 41 33 2 26 21 5 3 16 40 35

の並びにインターリーブされる。

【0567】

図119は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第38の例を示す図である。

【0568】

図119のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

5 37 36 38 16 21 41 44 10 18 26 27 15 1 43 2 33 14 9 30 8 12 23 4 13
35 31 3 34 19 42 47 46 29 0 25 20 17 39 45 28 6 22 11 32 40 24 7

の並びにインターリーブされる。

【0569】

図120は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第39の例を示す図である。

【0570】

図120のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

11 1 12 21 13 15 24 36 34 0 37 9 14 39 19 16 17 28 40 29 23 46 30 38
33 3 6 18 26 7 27 45 10 25 4 42 31 43 35 32 5 8 44 41 47 22 20 2

の並びにインターリーブされる。

【0571】

図121は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第40の例を示す図である。

【0572】

図121のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

3 41 6 42 21 2 25 45 8 39 34 26 47 43 23 20 13 16 38 24 5 40 0 11 7 31

10

20

30

40

50

32 15 36 33 9 12 10 30 29 14 18 35 46 4 28 19 1 44 37 27 17 22

の並びにインターリーブされる。

【0573】

図122は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第41の例を示す図である。

【0574】

図122のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

40 42 11 10 15 6 34 37 16 45 25 47 32 8 17 26 29 7 18 21 46 44 28 27
20 38 43 36 33 5 24 9 13 2 0 4 39 31 1 22 30 12 14 41 23 3 19 35

10

の並びにインターリーブされる。

【0575】

図123は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第42の例を示す図である。

【0576】

図123のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

6 0 20 18 37 27 39 3 1 2 46 11 24 36 14 15 4 16 10 13 35 23 26 30 19
42 7 9 33 40 12 34 22 5 28 21 32 38 44 25 17 41 29 45 8 47 31 43

20

の並びにインターリーブされる。

【0577】

図124は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第43の例を示す図である。

【0578】

図124のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

8 25 12 9 26 37 35 28 14 5 6 2 29 38 22 31 11 21 17 33 42 43 36 45 20
27 44 13 16 46 10 30 3 32 19 1 15 4 18 40 47 7 34 24 41 23 39 0

の並びにインターリーブされる。

【0579】

30

図125は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第44の例を示す図である。

【0580】

図125のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

7 17 26 27 9 39 46 47 32 12 35 25 14 11 22 23 16 29 38 33 34 4 40 10
5 18 37 1 24 44 30 3 0 45 28 13 15 20 6 21 31 19 2 8 41 36 42 43

の並びにインターリーブされる。

【0581】

図126は、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第45の例を示す図である。

40

【0582】

図126のGWパターンによれば、17280ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし47の並びが、ビットグループ

11 14 32 27 44 43 0 47 1 8 35 33 7 2 41 15 13 4 23 30 16 42 46 24 9 17
21 20 18 5 19 12 3 34 28 40 39 37 31 38 45 36 6 22 26 10 25 29

の並びにインターリーブされる。

【0583】

以上の、符号長Nが17280ビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1ないし第45の例は、符号長Nが17280ビットの、任意の符号化率rのLDPC符号、任意の変調方式、及

50

び、任意のコンスタレーションの組み合わせのいずれにも適用することができる。

【0584】

但し、グループワイズインターリーブについては、適用するGWパターンを、LDPC符号の符号長 N 、LDPC符号の符号化率 r 、変調方式、及び、コンスタレーションの組み合わせごとに設定することで、各組み合わせについて、エラーレートをより改善することができる。

【0585】

図82のGWパターンは、例えば、図31の(検査行列初期値テーブルに対応する) $r=3/16$ のタイプA符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

10

【0586】

図83のGWパターンは、例えば、図33の $r=5/16$ のタイプA符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0587】

図84のGWパターンは、例えば、図36の $r=7/16$ のタイプB符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0588】

図85のGWパターンは、例えば、図52の $r=9/16$ の新タイプB符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

20

【0589】

図86のGWパターンは、例えば、図40の $r=11/16$ のタイプB符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0590】

図87のGWパターンは、例えば、図42の $r=13/16$ のタイプB符号、QPSK、並びに、図58及び図59のQPSK-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

30

【0591】

図88のGWパターンは、例えば、図31の $r=3/16$ のタイプA符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0592】

図89のGWパターンは、例えば、図33の $r=5/16$ のタイプA符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0593】

図90のGWパターンは、例えば、図36の $r=7/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

40

【0594】

図91のGWパターンは、例えば、図52の $r=9/16$ の新タイプB符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0595】

図92のGWパターンは、例えば、図40の $r=11/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

50

【0596】

図93のGWパターンは、例えば、図42の $r=13/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図60及び図61の16QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0597】

図94のGWパターンは、例えば、図30の $r=2/16$ のタイプA符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0598】

図95のGWパターンは、例えば、図50の $r=4/16$ の新タイプA符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

10

【0599】

図96のGWパターンは、例えば、図34の $r=6/16$ のタイプA符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0600】

図97のGWパターンは、例えば、図37の $r=8/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

20

【0601】

図98のGWパターンは、例えば、図39の $r=10/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0602】

図99のGWパターンは、例えば、図41の $r=12/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0603】

図100のGWパターンは、例えば、図43の $r=14/16$ のタイプB符号、16QAM、並びに、図70の16QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

30

【0604】

図101のGWパターンは、例えば、図30の $r=2/16$ のタイプA符号、64QAM、並びに、図62及び図63の64QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0605】

図102のGWパターンは、例えば、図50の $r=4/16$ の新タイプA符号、64QAM、並びに、図62及び図63の64QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

40

【0606】

図103のGWパターンは、例えば、図34の $r=6/16$ のタイプA符号、64QAM、並びに、図62及び図63の64QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0607】

図104のGWパターンは、例えば、図37の $r=8/16$ のタイプB符号、64QAM、並びに、図62及び図63の64QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0608】

図105のGWパターンは、例えば、図39の $r=10/16$ のタイプB符号、64QAM、並び

50

に、図 6 2 及び図 6 3 の 64QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 0 9 】

図 1 0 6 の GW パターンは、例えば、図 4 1 の $r=12/16$ のタイプ B 符号、64QAM、並びに、図 6 2 及び図 6 3 の 64QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 0 】

図 1 0 7 の GW パターンは、例えば、図 4 3 の $r=14/16$ のタイプ B 符号、64QAM、並びに、図 6 2 及び図 6 3 の 64QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 1 】

図 1 0 8 の GW パターンは、例えば、図 3 1 の $r=3/16$ のタイプ A 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 2 】

図 1 0 9 の GW パターンは、例えば、図 3 3 の $r=5/16$ のタイプ A 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 3 】

図 1 1 0 の GW パターンは、例えば、図 3 6 の $r=7/16$ のタイプ B 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 4 】

図 1 1 1 の GW パターンは、例えば、図 5 2 の $r=9/16$ の新タイプ B 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 5 】

図 1 1 2 の GW パターンは、例えば、図 4 0 の $r=11/16$ のタイプ B 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 6 】

図 1 1 3 の GW パターンは、例えば、図 4 2 の $r=13/16$ のタイプ B 符号、64QAM、並びに、図 7 1 の 64QAM-2D-NUC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 7 】

図 1 1 4 の GW パターンは、例えば、図 3 1 の $r=3/16$ のタイプ A 符号、256QAM、並びに、図 6 4 及び図 6 5 の 256QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 8 】

図 1 1 5 の GW パターンは、例えば、図 3 3 の $r=5/16$ のタイプ A 符号、256QAM、並びに、図 6 4 及び図 6 5 の 256QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 1 9 】

図 1 1 6 の GW パターンは、例えば、図 3 6 の $r=7/16$ のタイプ B 符号、256QAM、並びに、図 6 4 及び図 6 5 の 256QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【 0 6 2 0 】

図 1 1 7 の GW パターンは、例えば、図 5 2 の $r=9/16$ の新タイプ B 符号、256QAM、並びに、図 6 4 及び図 6 5 の 256QAM-UC の組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

10

20

30

40

50

【0621】

図118のGWパターンは、例えば、図40の $r=11/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図64及び図65の256QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0622】

図119のGWパターンは、例えば、図42の $r=13/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図64及び図65の256QAM-UCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0623】

図120のGWパターンは、例えば、図30の $r=2/16$ のタイプA符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

10

【0624】

図121のGWパターンは、例えば、図50の $r=4/16$ の新タイプA符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0625】

図122のGWパターンは、例えば、図34の $r=6/16$ のタイプA符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

20

【0626】

図123のGWパターンは、例えば、図37の $r=8/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0627】

図124のGWパターンは、例えば、図39の $r=10/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0628】

図125のGWパターンは、例えば、図41の $r=12/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

30

【0629】

図126のGWパターンは、例えば、図43の $r=14/16$ のタイプB符号、256QAM、並びに、図72及び図73の256QAM-2D-NUCの組み合わせに適用することにより、特に、良好なエラーレートを達成することができる。

【0630】

<受信装置12の構成例>

【0631】

図127は、図7の受信装置12の構成例を示すブロック図である。

40

【0632】

OFDM処理部(OFDM operation)151は、送信装置11(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151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)152に供給される。

【0633】

フレーム管理部152は、OFDM処理部151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)161と153とに、それぞれ供給する。

【0634】

50

周波数デインターリーバ153は、フレーム管理部152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)154に供給する。

【0635】

デマッパ154は、周波数デインターリーバ153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11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)155に供給する。

【0636】

LDPCデコーダ155(復号部)は、デマッパ154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)156に供給する。

10

【0637】

BCHデコーダ156は、LDPCデコーダ155からのLDPC対象データのBCH復号を行い、その結果得られる制御データ(シグナリング)を出力する。

【0638】

一方、周波数デインターリーバ161は、フレーム管理部152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)162に供給する。

【0639】

SISO/MISOデコーダ162は、周波数デインターリーバ161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)163に供給する。

20

【0640】

時間デインターリーバ163は、SISO/MISOデコーダ162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)164に供給する。

【0641】

デマッパ164は、時間デインターリーバ163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11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)165に供給する。

30

【0642】

ビットデインターリーバ165は、デマッパ164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166に供給する。

【0643】

LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーバ165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167に供給する。

【0644】

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。

40

【0645】

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。

【0646】

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。

【0647】

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

50

リーム(Output stream)として出力する。

【0648】

なお、受信装置12は、図127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、時間インターリーブ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーブ120、及び、周波数インターリーブ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ブ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーブ120、及び、周波数インターリーブ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ブ163、SISO/MISOデコーダ162、周波数デインターリーブ161、及び、周波数デインターリーブ153を設けずに構成することができる。

10

【0649】

<ビットデインターリーブ165の構成例>

【0650】

図128は、図127のビットデインターリーブ165の構成例を示すブロック図である。

【0651】

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、及びグループワイズデインターリーブ55から構成され、デマップ164(図127)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。

【0652】

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ブ55に供給する。

20

【0653】

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、図9のグループワイズインターリーブ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81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。

30

【0654】

ここで、デマップ164から、ビットデインターリーブ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ブ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)、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、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デインターリーブのすべてを行うことができる。

40

【0655】

但し、図128のビットデインターリーブ165では、ブロックインターリーブに対応するブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーブ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デインターリーブを行うブロックは、設けられておらず、パリティデインターリーブは、行われない。

【0656】

50

したがって、ビットデインターリーブ165（のグループワイズデインターリーブ55）から、LDPCデコーダ166には、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符号が供給される。

【0657】

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、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、パリティデ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）に基づいて行い、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出力する。

10

【0658】

図129は、図128のデマップ164、ビットデインターリーブ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。

【0659】

ステップS111において、デマップ164は、時間デインターリーブ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、ビットデインターリーブ165に供給して、処理は、ステップS112に進む。

【0660】

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

20

【0661】

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

【0662】

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、グループワイズデ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。

30

【0663】

ステップS113では、LDPCデコーダ166が、グループワイズデインターリーブ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に基づいて行い、すなわち、例えば、検査行列Hから得られる変換検査行列に基づいて行い、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。

【0664】

なお、図128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。

40

【0665】

また、送信装置11において、グループワイズデ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。

【0666】

< LDPC復号 >

【0667】

50

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。

【0682】

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。

【0683】

したがって、図131の検査行列H'は、図130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。

10

【0684】

図131の変換検査行列H'に対して、図130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。

【0685】

以上から、図131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。

20

【0686】

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131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。

【0687】

図132は、 5×5 の行列の単位に間隔を空けた、図131の変換検査行列H'を示す図である。

【0688】

図132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 $5 \times 5(=P \times P)$ 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。

30

【0689】

図132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える。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、構成行列という。

【0690】

$P \times P$ 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、及びパリアブルノード演算を、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。

40

【0691】

図133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。

【0692】

すなわち、図133は、図130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132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。

【0693】

50

図 1 3 3 の復号装置は、6つのFIFO 3 0 0₁ないし3 0 0₆からなる枝データ格納用メモリ 3 0 0、FIFO 3 0 0₁ないし3 0 0₆を選択するセレクタ 3 0 1、チェックノード計算部 3 0 2、2つのサイクリックシフト回路 3 0 3 及び 3 0 8、18個のFIFO 3 0 4₁ないし3 0 4₁₈からなる枝データ格納用メモリ 3 0 4、FIFO 3 0 4₁ないし3 0 4₁₈を選択するセレクタ 3 0 5、受信データを格納する受信データ用メモリ 3 0 6、バリアブルノード計算部 3 0 7、復号語計算部 3 0 9、受信データ並べ替え部 3 1 0、復号データ並べ替え部 3 1 1 からなる。

【0 6 9 4】

まず、枝データ格納用メモリ 3 0 0 と 3 0 4 へのデータの格納方法について説明する。

【0 6 9 5】

枝データ格納用メモリ 3 0 0 は、図 1 3 2 の変換検査行列 H' の行数 3 0 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 FIFO 3 0 0 _{y} ($y = 1, 2, \dots, 6$) は、複数の段数の記憶領域となり、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、FIFO 3 0 0 _{y} の記憶領域の段数は、図 1 3 2 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。

【0 6 9 6】

FIFO 3 0 0₁ には、図 1 3 2 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 (バリア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、FIFO 3 0 0₁ 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。

【0 6 9 7】

FIFO 3 0 0₂ には、図 1 3 2 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、FIFO 3 0 0₂ 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。

【0 6 9 8】

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 (FIFO 3 0 0₁ないし3 0 0₆のうちの同一のFIFO) に格納される。

【0 6 9 9】

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。

【0 7 0 0】

FIFO 3 0 0₃ないし3 0 0₆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。

【0 7 0 1】

10

20

30

40

50

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, ..., 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。

【0702】

FIFO304₁には、図132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。

10

【0703】

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×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。

20

【0704】

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。

【0705】

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。

30

【0706】

次に、図133の復号装置の動作について説明する。

【0707】

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132の変換検査行列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、FIFO300₁ないし300₆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300は、データを読み出す際には、FIFO300₁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301に供給する。枝データ格納用メモリ300は、FIFO300₁からのメッセージの読み出しの終了後、FIFO300₂ないし300₆からも、順番に、メッセージを読み出し、セクタ301に供給する。

40

【0708】

セクタ301は、セレクト信号D301に従って、FIFO300₁ないし300₆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302に供給する。

【0709】

50

チェックノード計算部302は、5つのチェックノード計算器302₁ないし302₅からなり、セクタ301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303に供給する。

【0710】

サイクリックシフト回路303は、チェックノード計算部302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304に供給する。

10

【0711】

枝データ格納用メモリ304は、18個のFIFO304₁ないし304₁₈からなり、前段のサイクリックシフト回路303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、FIFO304₁ないし304₁₈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304は、データを読み出す際には、FIFO304₁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305に供給する。枝データ格納用メモリ304は、FIFO304₁からのデータの読み出しの終了後、FIFO304₂ないし304₁₈からも、順番に、メッセージを読み出し、セクタ305に供給する。

20

【0712】

セクタ305は、セレクト信号D307に従って、FIFO304₁ないし304₁₈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307と復号語計算部309に供給する。

【0713】

一方、受信データ並べ替え部310は、通信路13を通して受信した、図130の検査行列Hに対応するLDPC符号D313を、式(12)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306に供給する。受信データ用メモリ306は、受信データ並べ替え部310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307と復号語計算部309に供給する。

30

【0714】

バリアブルノード計算部307は、5つのバリアブルノード計算器307₁ないし307₅からなり、セクタ305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306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308に供給する。

【0715】

サイクリックシフト回路308は、バリアブルノード計算部307で計算されたメッセージD310₁ないしD310₅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。

40

【0716】

以上の動作を1巡することで、LDPC符号の1回の復号(バリア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133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。

【0717】

すなわち、復号語計算部309は、5つの復号語計算器309₁ないし309₅からなり

50

、セクタ 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_{0j}) 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。

【0718】

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。

【0719】

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。

【0720】

図 127 の受信装置 12 を構成する LDPC デコーダ 166 は、例えば、図 133 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。

【0721】

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 130 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。

【0722】

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。

【0723】

このため、図 127 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 133 の復号装置と同様の処理が行われる。

【0724】

すなわち、図 134 は、図 127 の LDPC デコーダ 166 の構成例を示す図である。

【0725】

図 134 において、LDPC デコーダ 166 は、図 133 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 133 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 133 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。

【0726】

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

10

20

30

40

50

することができるので、図 1 3 3 の復号装置よりも、規模を削減することができる。

【 0 7 2 7 】

なお、図 1 3 0 ないし図 1 3 4 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。

【 0 7 2 8 】

すなわち、図 8 の送信装置 1 1 において、LDPCエンコーダ 1 1 5 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 1 3 4 のLDPCデコーダ 1 6 6 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。

10

【 0 7 2 9 】

また、LDPCデコーダ 1 6 6 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 3 1 1 なしで、LDPCデコーダ 1 6 6 を構成することができる。

【 0 7 3 0 】

< ブロックデインターリーブ 5 4 の構成例 >

【 0 7 3 1 】

図 1 3 5 は、図 1 2 8 の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

【 0 7 3 2 】

ブロックデインターリーブでは、図 7 9 で説明したブロックインターリーブ 2 5 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）。

【 0 7 3 3 】

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。

30

【 0 7 3 4 】

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。

【 0 7 3 5 】

すなわち、LDPC符号のパート1については、図 1 3 5 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、ロウ方向に書き込まれる。

40

【 0 7 3 6 】

m ビット単位でのパート1の書き込みは、 m 個のカラムの下の行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 1 3 5 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。

【 0 7 3 7 】

右端のカラムまでの読み出しが終了すると、図 1 3 5 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。

50

【0738】

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。

【0739】

<ビットデインターリーブ165の他の構成例>

【0740】

図136は、図127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。

【0741】

なお、図中、図128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。

【0742】

すなわち、図136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128の場合と同様に構成されている。

【0743】

図136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。

【0744】

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。

【0745】

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。

【0746】

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。

【0747】

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。

【0748】

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。

【0749】

したがって、図136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。

【0750】

10

20

30

40

50

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。

【0751】

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。

10

【0752】

ここで、図 136 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、パ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。

20

【0753】

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、及びパ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 133）で構成することができる。

30

【0754】

なお、図 136 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、送信装置 11 のパリティインターリーブ 23、グループワイズインターリーブ 24、及び、ブロックインターリーブ 25 と同様に、一体的に構成することができる。

40

【0755】

<受信システムの構成例>

【0756】

図 137 は、受信装置 12 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。

【0757】

図 137 において、受信システムは、取得部 1101、伝送路復号処理部 1102、及

50

び、情報源復号処理部 1 1 0 3 から構成される。

【 0 7 5 8 】

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 7 5 9 】

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、
10

【 0 7 6 0 】

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 7 6 1 】

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。
20

【 0 7 6 2 】

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 7 6 3 】

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 7 6 4 】

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。
30

【 0 7 6 5 】

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 7 6 6 】

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。
40

【 0 7 6 7 】

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。

【 0 7 6 8 】

以上のように構成される受信システムでは、取得部 1 1 0 1 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 1 1 0 2 に供給される。

【 0 7 6 9 】

伝送路復号処理部 1 1 0 2 では、取得部 1 1 0 1 からの信号に対して、例えば、受信装
50

置 1 2 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 1 1 0 3 に供給される。

【 0 7 7 0 】

情報源復号処理部 1 1 0 3 では、伝送路復号処理部 1 1 0 2 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。

【 0 7 7 1 】

以上のような図 1 3 7 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。

【 0 7 7 2 】

なお、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 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。

10

【 0 7 7 3 】

また、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 については、取得部 1 1 0 1 と伝送路復号処理部 1 1 0 2 とのセットや、伝送路復号処理部 1 1 0 2 と情報源復号処理部 1 1 0 3 とのセット、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 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。

【 0 7 7 4 】

図 1 3 8 は、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。

20

【 0 7 7 5 】

なお、図中、図 1 3 7 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。

【 0 7 7 6 】

図 1 3 8 の受信システムは、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 を有する点で、図 1 3 7 の場合と共通し、出力部 1 1 1 1 が新たに設けられている点で、図 1 3 7 の場合と相違する。

【 0 7 7 7 】

出力部 1 1 1 1 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 1 1 0 3 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 1 1 1 1 は、画像を表示し、あるいは、音声を出力する。

30

【 0 7 7 8 】

以上のような図 1 3 8 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。

【 0 7 7 9 】

なお、取得部 1 1 0 1 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 1 1 0 2 が出力する信号が、出力部 1 1 1 1 に供給される。

【 0 7 8 0 】

図 1 3 9 は、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。

40

【 0 7 8 1 】

なお、図中、図 1 3 7 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。

【 0 7 8 2 】

図 1 3 9 の受信システムは、取得部 1 1 0 1、及び、伝送路復号処理部 1 1 0 2 を有する点で、図 1 3 7 の場合と共通する。

【 0 7 8 3 】

但し、図 1 3 9 の受信システムは、情報源復号処理部 1 1 0 3 が設けられておらず、記

50

録部 1 1 2 1 が新たに設けられている点で、図 1 3 7 の場合と相違する。

【 0 7 8 4 】

記録部 1 1 2 1 は、伝送路復号処理部 1 1 0 2 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）。

【 0 7 8 5 】

以上のような図 1 3 9 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。

【 0 7 8 6 】

なお、図 1 3 9 において、受信システムは、情報源復号処理部 1 1 0 3 を設けて構成し、情報源復号処理部 1 1 0 3 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 1 1 2 1 で記録することができる。

10

【 0 7 8 7 】

< コンピュータの一実施の形態 >

【 0 7 8 8 】

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。

【 0 7 8 9 】

そこで、図 1 4 0 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。

20

【 0 7 9 0 】

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 7 0 5 やROM 7 0 3 に予め記録しておくことができる。

【 0 7 9 1 】

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 7 1 1 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 7 1 1 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。

30

【 0 7 9 2 】

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 7 1 1 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 7 0 8 で受信し、内蔵するハードディスク 7 0 5 にインストールすることができる。

【 0 7 9 3 】

コンピュータは、CPU(Central Processing Unit) 7 0 2 を内蔵している。CPU 7 0 2 には、バス 7 0 1 を介して、入出力インタフェース 7 1 0 が接続されており、CPU 7 0 2 は、入出力インタフェース 7 1 0 を介して、ユーザによって、キーボードや、マウス、マイク等で構成される入力部 7 0 7 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) 7 0 3 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 7 0 2 は、ハードディスク 7 0 5 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 7 0 8 で受信されてハードディスク 7 0 5 にインストールされたプログラム、又はドライブ 7 0 9 に装着されたリムーバブル記録媒体 7 1 1 から読み出されてハードディスク 7 0 5 にインストールされたプログラムを、RAM(Random Access Memory) 7 0 4 にロードして実行する。これにより、CPU 7 0 2 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 7 0 2 は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力

40

50

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。

【0794】

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。

【0795】

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。

10

【0796】

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。

【0797】

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。

20

【0798】

また、本明細書では、説明を分かりやすくするため、LDPCエンコーダ 115（図8）が、検査行列に基づいて、LDPC符号への符号化を行うこととしたが、検査行列と、検査行列初期値テーブルとは等価な情報であり、検査行列に基づいて、LDPC符号への符号化を行うことには、検査行列初期値テーブルに基づいて、LDPC符号への符号化を行うことが含まれる。同様に、LDPCデコーダ 166（図127）において、検査行列に基づいて、LDPC符号の復号を行うことには、検査行列初期値テーブルに基づいて、LDPC符号の復号を行うことが含まれる。

【0799】

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。

30

【符号の説明】

【0800】

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/マルチプレクサ, 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 デマルチプレクサ, 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 受信データ用メモリ, 307 バ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

40

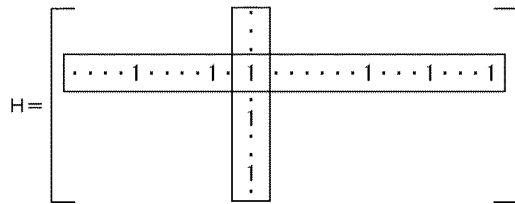
50

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

【図面】

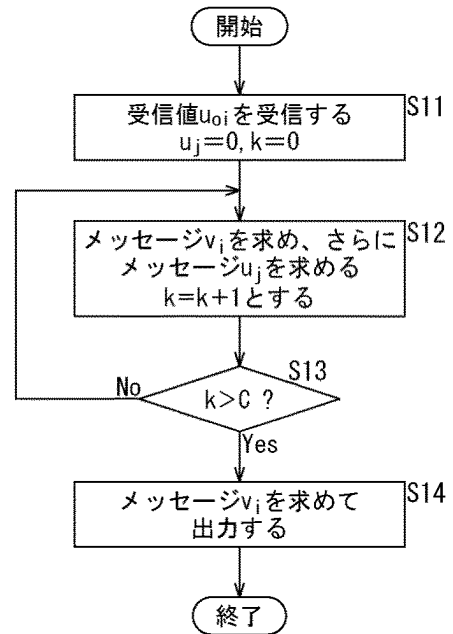
【図 1】

FIG.1



【図 2】

FIG.2



10

20

30

40

50

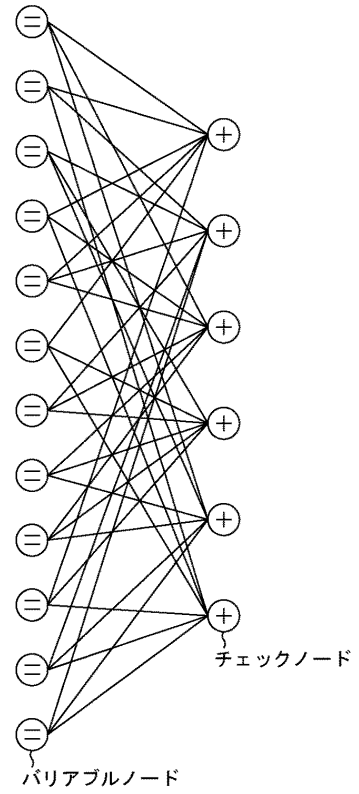
【 図 3 】

FIG. 3

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

【 図 4 】

FIG. 4

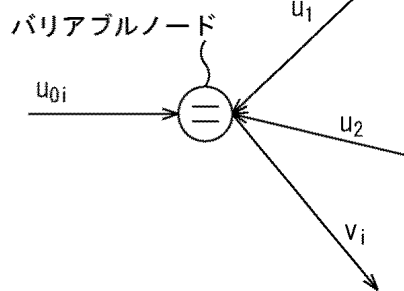


10

20

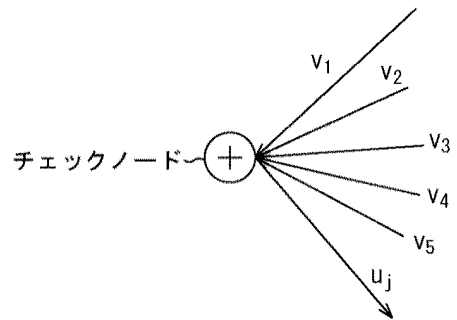
【 図 5 】

FIG. 5



【 図 6 】

FIG. 6

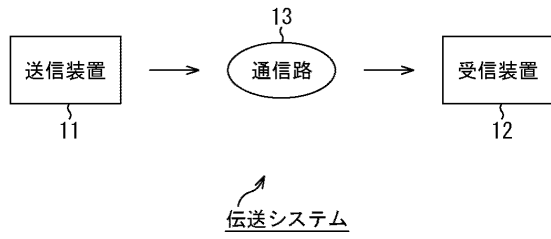


30

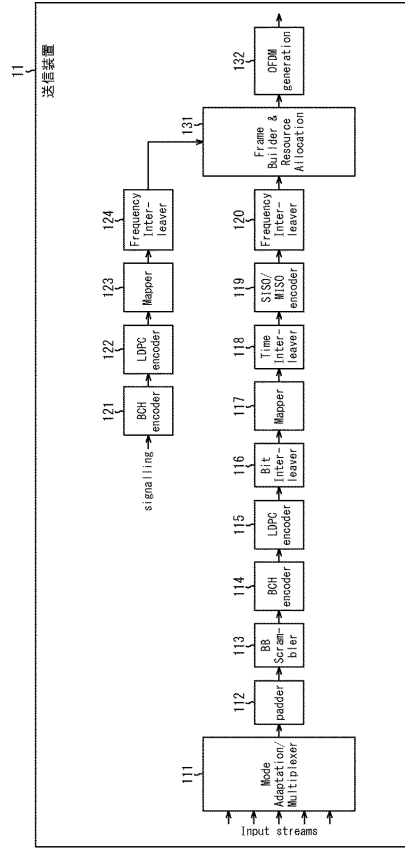
40

50

【図 7】
FIG. 7



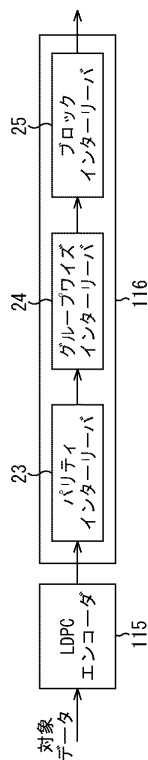
【図 8】
FIG. 8



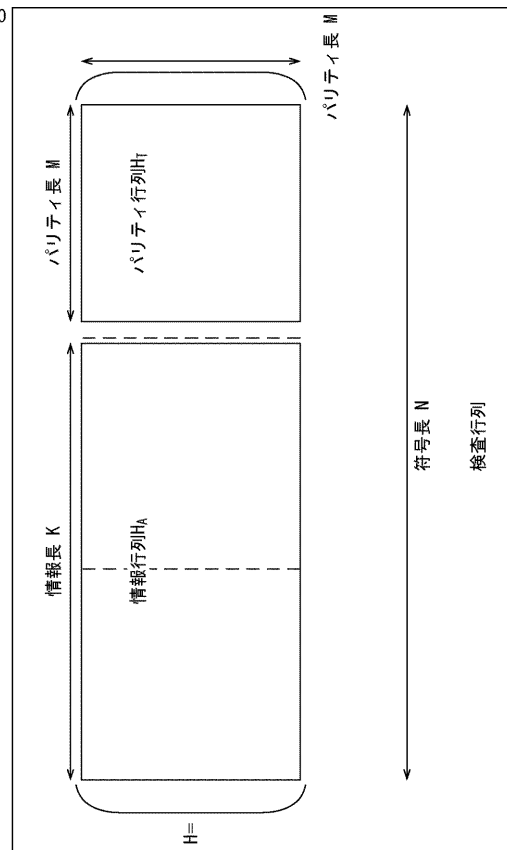
10

20

【図 9】
FIG. 9



【図 10】
FIG. 10



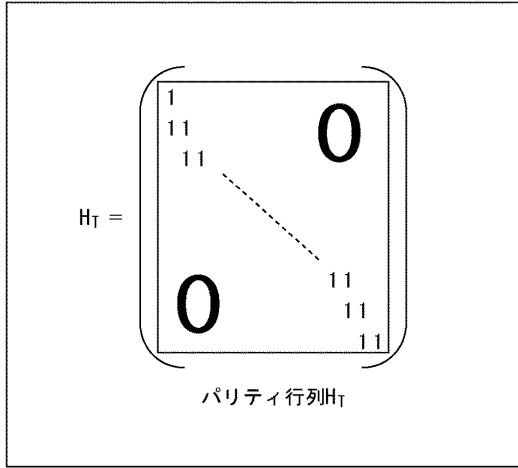
30

40

50

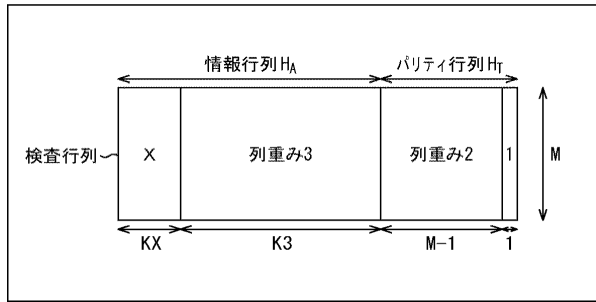
【図 1 1】

FIG. 11



【図 1 2】

FIG. 12



10

【図 1 3】

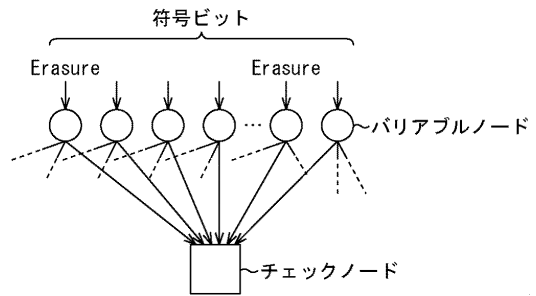
FIG. 13

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



20

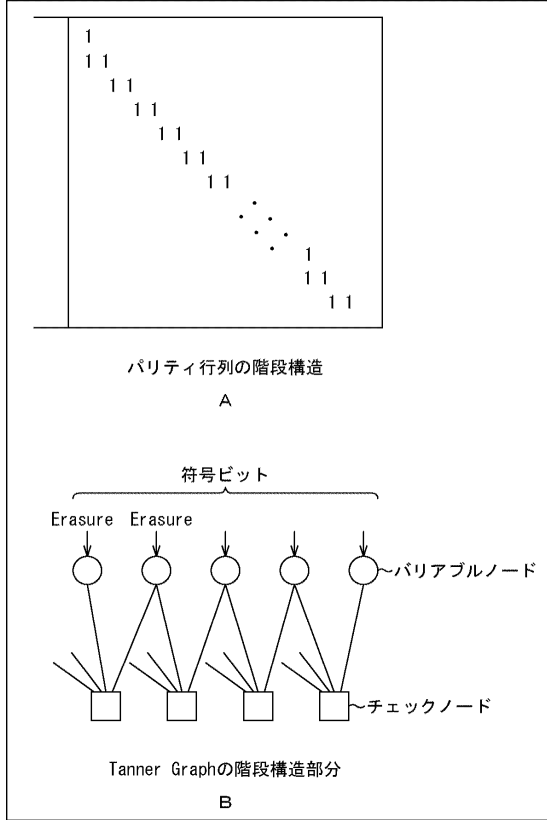
30

40

50

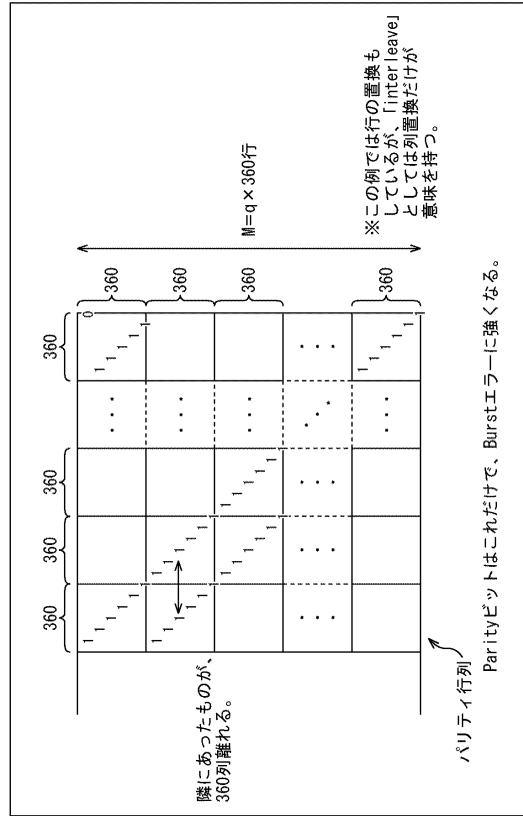
【図 15】

FIG.15



【図 16】

FIG.16

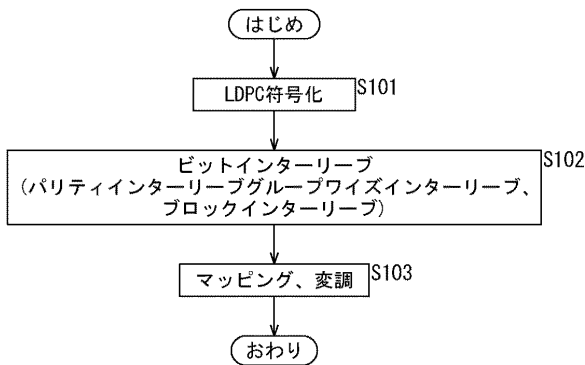


10

20

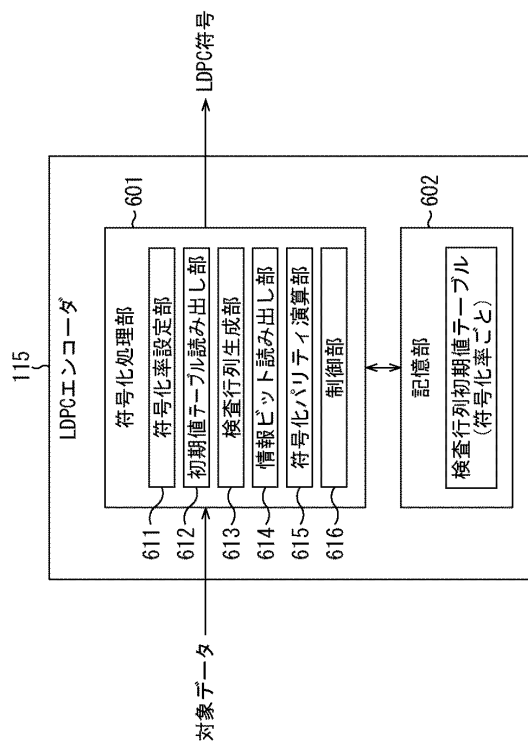
【図 17】

FIG.17



【図 18】

FIG.18



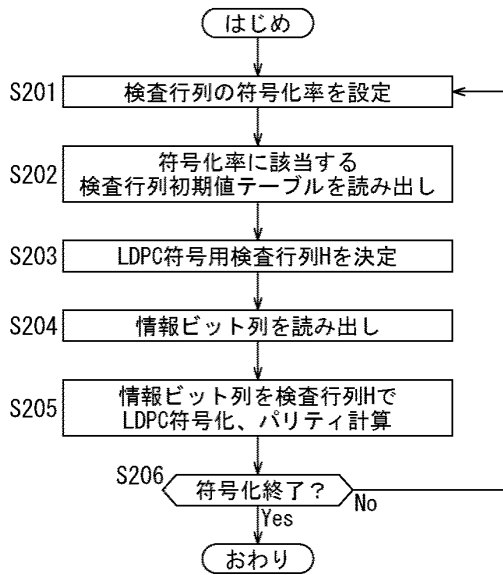
30

40

50

【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 | | | | | | | | | | | |

10

【図 21】

FIG. 21

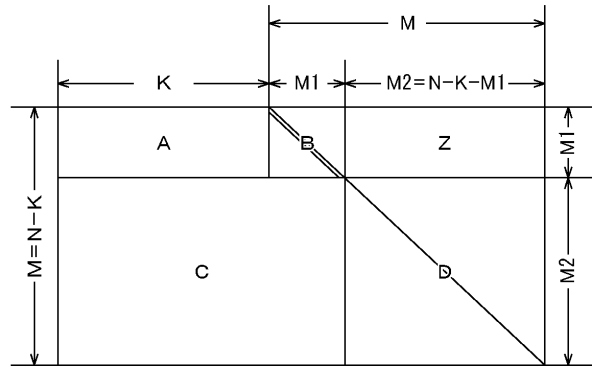
1列目から360列おきの検査行列 (情報行列 H_A) の行番号を表示

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 2084 | 1613 | 1548 | 1286 | 1460 | 3196 | 4297 | 2481 | 3369 | 3451 | 4620 | 2622 |
| 1 | 122 | 1516 | 3448 | 2980 | 1407 | 1847 | 3799 | 3529 | 373 | 971 | 4358 | 3108 |
| 2 | 256 | 3399 | 829 | 2650 | 864 | 3996 | 3833 | 107 | 5287 | 164 | 3125 | 2350 |
| 3 | 342 | 3529 | | | | | | | | | | |
| 4 | 4198 | 2147 | | | | | | | | | | |
| 5 | 1880 | 4836 | | | | | | | | | | |
| 6 | 3864 | 4910 | | | | | | | | | | |
| 7 | 243 | 1542 | | | | | | | | | | |
| 8 | 3011 | 1436 | | | | | | | | | | |
| 9 | 2167 | 2512 | | | | | | | | | | |
| 10 | 4806 | 1003 | | | | | | | | | | |
| 11 | 2835 | 705 | | | | | | | | | | |
| 12 | 3428 | 2365 | | | | | | | | | | |
| 13 | 3848 | 2474 | | | | | | | | | | |
| 14 | 1360 | 1743 | | | | | | | | | | |
| 0 | 163 | 2536 | | | | | | | | | | |
| 1 | 2563 | 1180 | | | | | | | | | | |
| 2 | 1542 | 509 | | | | | | | | | | |
| 3 | 4418 | 1065 | | | | | | | | | | |
| 4 | 5212 | 5117 | | | | | | | | | | |
| 5 | 2195 | 2922 | | | | | | | | | | |
| 6 | 947 | 2936 | | | | | | | | | | |
| 7 | 7260 | 4937 | | | | | | | | | | |
| 8 | 3926 | 1640 | | | | | | | | | | |
| 9 | 3929 | 2928 | | | | | | | | | | |
| 10 | 2364 | 563 | | | | | | | | | | |
| 11 | 625 | 688 | | | | | | | | | | |
| 12 | 635 | 688 | | | | | | | | | | |
| 13 | 231 | 1684 | | | | | | | | | | |
| 14 | 1129 | 3894 | | | | | | | | | | |

検査行列初期値テーブル

【図 22】

FIG. 22



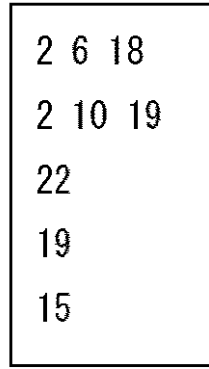
20

30

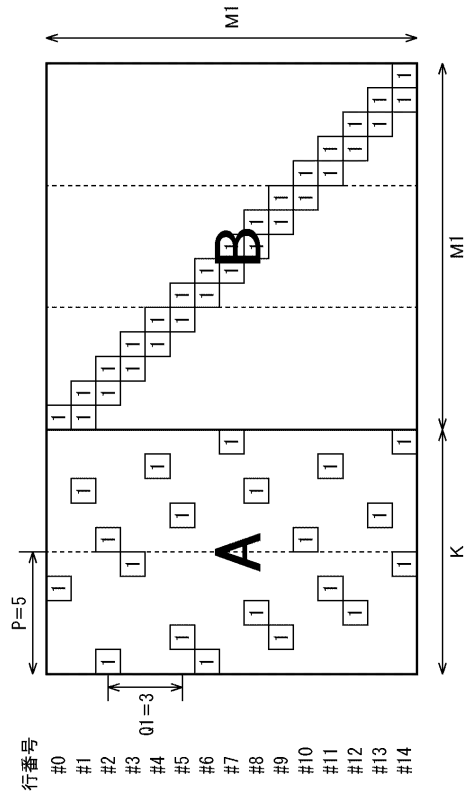
40

50

【 2 3 】
FIG. 23



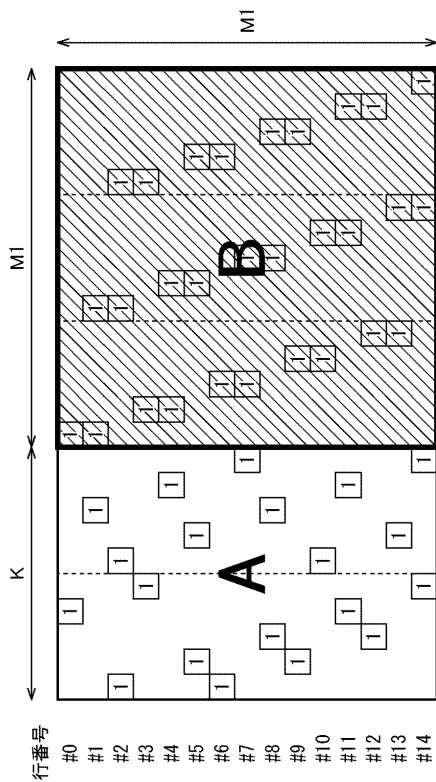
【 2 4 】
FIG. 24



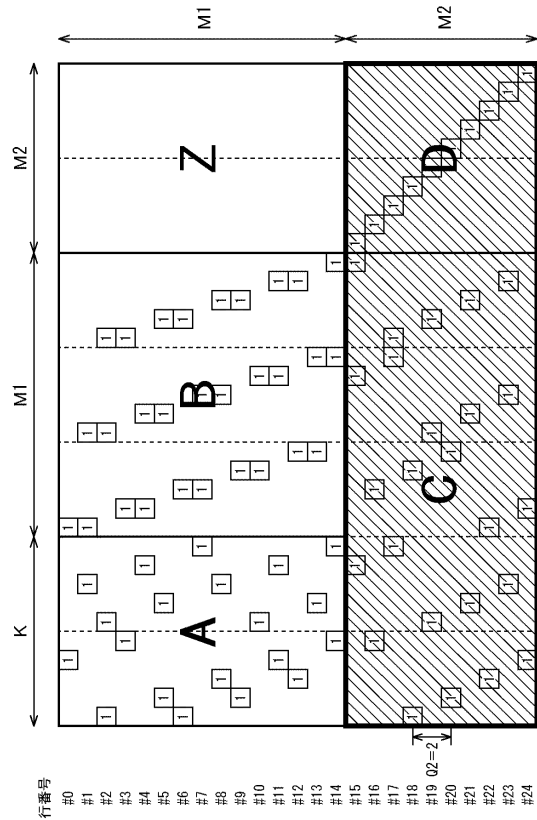
10

20

【 2 5 】
FIG. 25



【 2 6 】
FIG. 26



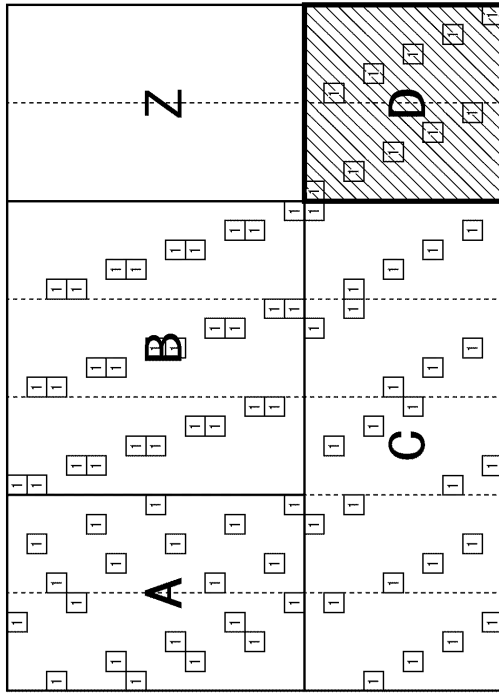
30

40

50

【図 27】

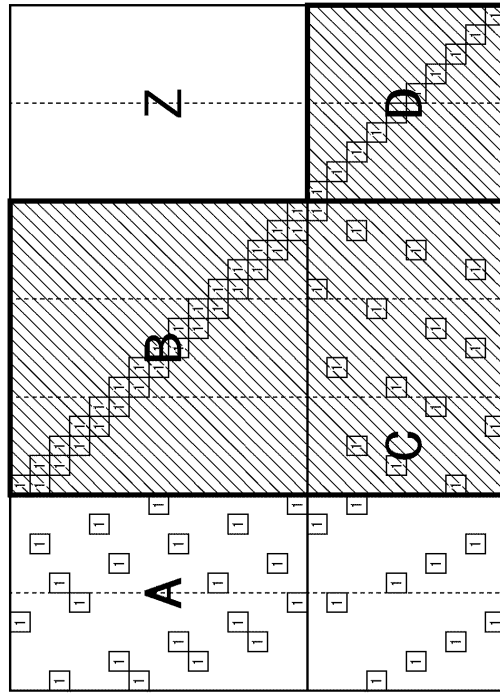
FIG. 27



行番号
 #0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7 #8 #9 #10 #11 #12 #13 #14 #15 #16 #17 #18 #19 #20 #21 #22 #23 #24

【図 28】

FIG. 28



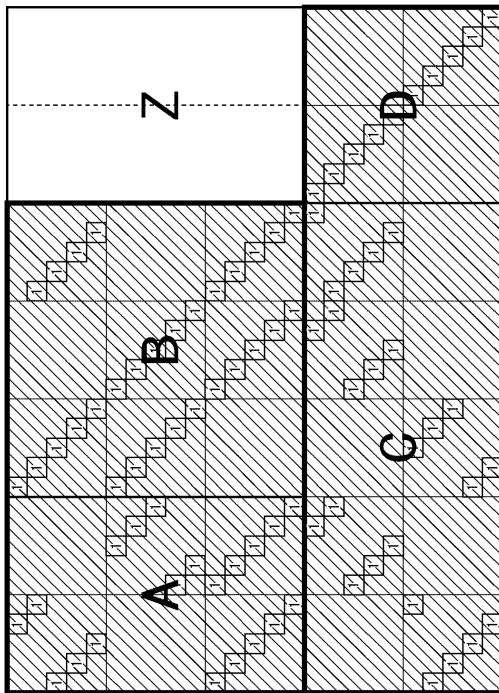
行番号
 #0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7 #8 #9 #10 #11 #12 #13 #14 #15 #16 #17 #18 #19 #20 #21 #22 #23 #24

10

20

【図 29】

FIG. 29



行番号
 #0 #1 #2 #3 #4 #5 #6 #7 #8 #9 #10 #11 #12 #13 #14 #15 #16 #17 #18 #19 #20 #21 #22 #23 #24

【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 |

30

40

50

【 図 3 1 】

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 3 2 】

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 | | | | | | | |

10

【 図 3 3 】

FIG. 33

Rate 5/16 17k TypeA符号テーブル

| | | | | | | | |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 301 | 342 | 350 | 1797 | 7970 | 8230 | 10820 | 11305 |
| 139 | 530 | 615 | 1566 | 6290 | 6425 | 9185 | 9466 |
| 48 | 419 | 444 | 1773 | 3213 | 4793 | 8594 | 10480 |
| 246 | 455 | 531 | 3011 | 5845 | 7383 | 8393 | 10709 |
| 39 | 262 | 290 | 3282 | 5208 | 9539 | 10955 | 11204 |
| 234 | 267 | 623 | 1033 | 1537 | 8766 | 11527 | 11557 |
| 494 | 661 | 671 | 1123 | 4497 | 6601 | 6715 | 10473 |
| 164 | 425 | 436 | 3259 | 4505 | 5614 | 8192 | 10221 |
| 326 | 377 | 477 | 7699 | 10162 | 11174 | 11878 | |
| 206 | 360 | 557 | 891 | 930 | 1847 | 2427 | 3888 |
| 4491 | 6494 | 6911 | 8084 | 8945 | 9549 | | |
| 402 | 588 | 657 | 888 | 3271 | 4858 | 5257 | 6398 |
| 6631 | 6972 | 9678 | 11140 | 11159 | 11398 | | |
| 39 | 111 | 168 | 1192 | 1879 | 3121 | 3127 | 5987 |
| 8385 | 8488 | 9302 | 9884 | 10891 | 11879 | | |
| 639 | 640 | 693 | 1477 | 1790 | 2442 | 3388 | 3547 |
| 4622 | 6890 | 7315 | 7478 | 7905 | 11518 | | |
| 337 | 544 | 604 | 1184 | 1238 | 1334 | 2434 | 5239 |
| 6832 | 7770 | 9123 | 9397 | 9646 | 10254 | | |
| 32 | 77 | 604 | 762 | 1428 | 2756 | 2758 | 6854 |
| 7193 | 7311 | 7517 | 9105 | 10765 | 11173 | | |
| 910 | 1918 | 2342 | 3280 | 3362 | 3913 | 4586 | 6316 |
| 7693 | 8878 | 10922 | 11145 | 11863 | | | |
| 790 | 1177 | 1386 | 1961 | 2437 | 3571 | 5179 | 5961 |
| 8222 | 9185 | 9569 | 10414 | 11498 | | | |

【 図 3 4 】

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 | | | | | |

30

40

50

【 図 3 5 】

FIG. 35

Rate 7/16 17k TypeA符号テーブル

512 531 598 3235 3447 5630 5765 6208 7026 9012
88 486 926 1714 5140 5725 6006 6506 7619 8191
200 447 460 1088 2612 3297 4001 4275 4992 8638
106 434 618 5357 5713 9045 9335 9429 9696
23 192 661 1220 2962 3867 5783 6410 6790
311 744 934 1267 1428 1959 2462 2865 5461
69 494 991 1278 4441 5620 5705 5936 8872
297 637 1031 2346 2946 4519 7235 7264 9243
330 599 790 3674 5457 6535 6660 7398 8110
263 630 826 1978 3384 4259 5159 5588 5885
196 648 983 1529 1821 2312 2428 7249 7359
59 774 1036 1427 2005 5811 6998 7987 8222
454 474 986 1633 4040 6880 7786 8518 9039
433 443 849 2517 3617 5477 6294 7914 9456
175 242 906 2924 3412 4063 7737 9084 9338
385 624 1004 3218 5225 6479 7684 7933 8875
233 622 807 2302 3315 3898 4079 7109 9201
3 877 1070 1331 2607 3552 4672 7549 8083
247 753 806
12 242 598
221 561 643
1135 1424 2228 9426
4998 5209 7742 8652
2042 5925 6236 9405

【 図 3 6 】

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

10

20

【 図 3 7 】

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 3 8 】

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

30

40

50

【図 4 3】

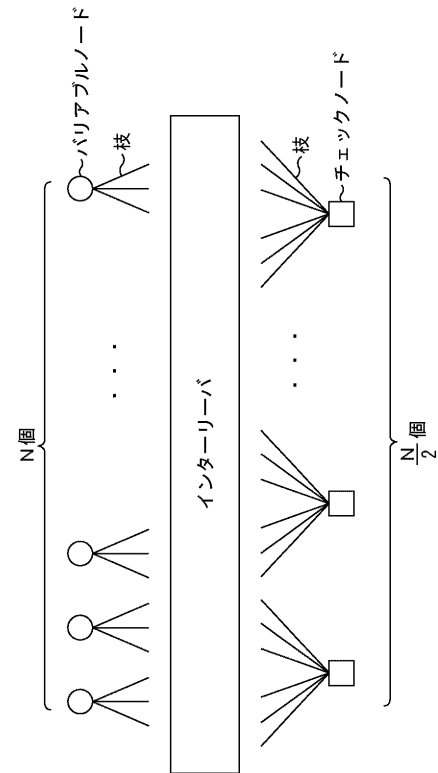
FIG. 43

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 | 1690 | 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

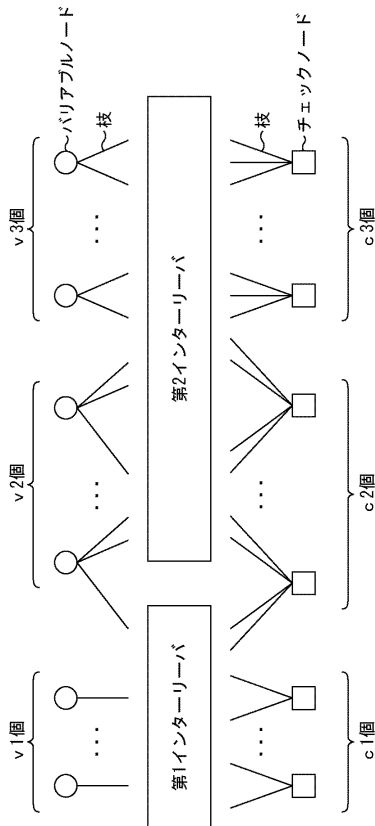


10

20

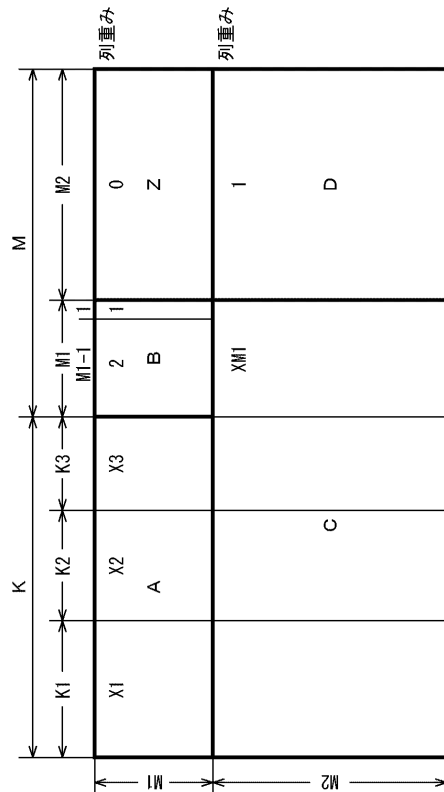
【図 4 5】

FIG. 45



【図 4 6】

FIG. 46



30

40

50

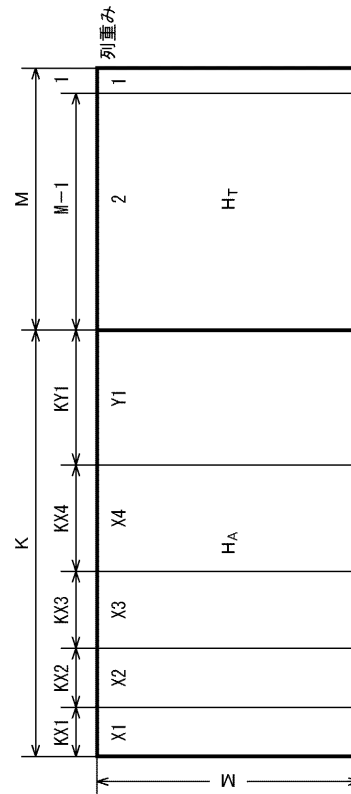
【 図 4 7 】

FIG. 47

| Rate | K | X1 | K1 | X2 | K2 | X3 | K3 | XMI | 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 8 】

FIG. 48



10

20

【 図 4 9 】

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 | 3 | 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 | 3 | 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 | 3 | 10800 | 4320 |
| 13/16 | 14040 | 17 | 1080 | 16 | 1080 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 11880 | 3240 |
| 14/16 | 15120 | 16 | 2160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12960 | 2160 |

【 図 5 0 】

FIG. 50

日本放送協会から提供

Rate 4/16 17k TypeA符号テーブル

| |
|---|
| 159 211 356 1078 1219 1447 1562 2945 4040 4307 7300 11950 12663 |
| 163 385 518 669 2137 3537 3738 7393 7668 9235 10263 12293 12959 |
| 413 477 747 974 1995 3998 4078 4848 5642 8968 10356 10596 11451 |
| 450 538 767 1245 1354 1957 3497 5179 8925 9959 11385 11844 |
| 370 381 884 1627 2289 3654 4510 4949 5307 7959 8789 10552 |
| 9 146 1045 2160 3696 6477 6509 7297 9854 10704 12493 12533 |
| 110 136 327 4780 4841 5818 6642 7015 7594 8053 8882 9916 |
| 771 806 928 1281 2049 3065 4006 6536 6818 8041 8548 9357 |
| 256 506 939 1176 3954 4207 5143 7352 7620 8473 8534 11045 |
| 459 470 916 2393 3302 3371 3572 4732 5492 10845 12327 12767 |
| 270 302 754 1105 1430 1916 3788 |
| 144 706 1013 7424 7893 9436 10402 |
| 1899 3105 11835 12241 |
| 1400 7777 10094 10848 |
| 8098 10061 10435 12570 |

30

40

50

【 5 1 】

FIG. 51

日本放送協会から提供

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|---|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|---|----|-----|-----|---|----|------|----|-------|
| Rate | 4/16 | K | 4320 | X1 | 13 | K1 | 1080 | X2 | 12 | K2 | 2520 | X3 | 7 | K3 | 720 | XM1 | 4 | M1 | 1080 | M2 | 11880 |
|------|------|---|------|----|----|----|------|----|----|----|------|----|---|----|-----|-----|---|----|------|----|-------|

【 5 2 】

FIG. 52

日本放送協会から提供

Rate 9/16 17k TypeB符号テーブル

| |
|---|
| 42 549 1187 1203 1694 1741 2290 2776 2839 2886 3435 3503 3697 4031 4580 4627 |
| 5176 5223 5539 5772 6368 6917 6964 7513 |
| 13 192 415 563 699 934 1176 1484 1855 2426 3147 3369 3389 4068 4380 4578 4618 |
| 4937 4989 5381 5910 6281 6831 7202 |
| 1319 1687 2423 3518 3737 4273 5242 6209 6535 6966 7397 |
| 1273 2244 2896 3018 3949 4065 4414 4763 5461 5673 7555 |
| 344 735 1706 2320 2669 3367 3800 5112 6201 6857 7248 |
| 33 1088 1439 2013 2881 3774 3936 5447 5810 6697 7368 |
| 615 1580 2410 2698 3801 4182 4991 5483 6046 6292 6538 |
| 4564 4745 6784 |
| 550 3081 7463 |
| 950 2455 2786 |
| 1218 2118 6232 |
| 3475 4980 6548 |
| 4769 5585 6837 |
| 450 1681 3707 |
| 4038 4889 7174 |
| 1432 5762 6265 |
| 60 2951 6848 |
| 2766 3597 4872 |
| 140 2141 4243 |
| 874 4142 7054 |
| 807 2368 5619 |
| 3391 6408 6657 |
| 2073 2609 6079 |
| 1558 4944 5690 |
| 276 875 4345 |
| 3273 3767 7300 |
| 2695 6102 6743 |

10

20

【 5 3 】

FIG. 53

日本放送協会から提供

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|---|------|----|----|-----|-----|----|----|-----|------|----|---|-----|---|----|---|-----|---|----|---|-----|------|---|------|
| Rate | 9/16 | K | 9720 | X1 | 24 | KX1 | 720 | X2 | 11 | KX2 | 1800 | X3 | 0 | KX3 | 0 | X4 | 0 | KX4 | 0 | Y1 | 3 | KY1 | 7200 | M | 7560 |
|------|------|---|------|----|----|-----|-----|----|----|-----|------|----|---|-----|---|----|---|-----|---|----|---|-----|------|---|------|

【 5 4 】

FIG. 54

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

30

40

50

【 5 5 】

FIG. 55

| w/CR | 2/15 | 3/15 | 4/15 | 5/15 | 6/15 | 7/15 |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| w0 | 0.7062 + j0.7075 | 0.3620 + j0.5654 | 0.3412 + j0.5241 | 0.3182 + 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 + j0.3182 | 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 + j0.9655 | 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 + j0.9655 | 0.3061 + 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 |

【 5 6 】

FIG. 56

| w/CR | 2/15 | 3/15 | 4/15 | 5/15 | 6/15 | 7/15 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| w0 | 0.3317 | 0.2382 | 0.1924 | 0.1313 | 0.1275 | 0.0951 |
| w1 | 0.3321 | 0.2556 | 0.1940 | 0.1311 | 0.1276 | 0.0949 |
| w2 | 0.3322 | 0.2749 | 0.2070 | 0.1269 | 0.1294 | 0.1319 |
| w3 | 0.3321 | 0.2558 | 0.2050 | 0.1271 | 0.1295 | 0.1322 |
| w4 | 0.3327 | 0.2748 | 0.3056 | 0.3516 | 0.3424 | 0.3170 |
| w5 | 0.3328 | 0.2949 | 0.3096 | 0.3504 | 0.3431 | 0.3174 |
| w6 | 0.3322 | 0.2749 | 0.2890 | 0.3569 | 0.3675 | 0.3936 |
| w7 | 0.3322 | 0.2558 | 0.2854 | 0.3581 | 0.3666 | 0.3921 |
| w8 | 0.9369 | 0.9486 | 0.7167 | 0.6295 | 0.6097 | 0.5786 |
| w9 | 0.9418 | 0.8348 | 0.7362 | 0.6301 | 0.6072 | 0.5789 |
| w10 | 0.9514 | 0.7810 | 0.7500 | 0.6953 | 0.7113 | 0.7205 |
| w11 | 0.9471 | 0.8348 | 0.7326 | 0.6903 | 0.7196 | 0.7456 |
| w12 | 0.9448 | 0.9463 | 0.9667 | 0.9753 | 0.9418 | 0.9299 |
| w13 | 0.9492 | 0.8336 | 0.9665 | 1.0185 | 1.0048 | 1.0084 |
| w14 | 0.9394 | 0.9459 | 1.1332 | 1.2021 | 1.2286 | 1.2349 |
| w15 | 0.9349 | 1.4299 | 1.4761 | 1.4981 | 1.5031 | 1.5118 |

| w/CR | 8/15 | 9/15 | 10/15 | 11/15 | 12/15 | 13/15 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| w0 | 0.0773 | 0.0638 | 0.0592 | 0.0502 | 0.0354 | 0.0325 |
| w1 | 0.0773 | 0.0638 | 0.0594 | 0.0637 | 0.0921 | 0.0967 |
| w2 | 0.1614 | 0.1757 | 0.1780 | 0.1615 | 0.1602 | 0.1623 |
| w3 | 0.1614 | 0.1756 | 0.1790 | 0.1842 | 0.2185 | 0.2280 |
| w4 | 0.3086 | 0.3069 | 0.2996 | 0.2760 | 0.2910 | 0.2957 |
| w5 | 0.3085 | 0.3067 | 0.3041 | 0.3178 | 0.3530 | 0.3645 |
| w6 | 0.4159 | 0.4333 | 0.4241 | 0.4040 | 0.4264 | 0.4361 |
| w7 | 0.4163 | 0.4343 | 0.4404 | 0.4686 | 0.4947 | 0.5100 |
| w8 | 0.5810 | 0.5765 | 0.5561 | 0.5353 | 0.5763 | 0.5878 |
| w9 | 0.5872 | 0.5862 | 0.6008 | 0.6382 | 0.6531 | 0.6696 |
| w10 | 0.7213 | 0.7282 | 0.7141 | 0.7293 | 0.7417 | 0.7566 |
| w11 | 0.7604 | 0.7705 | 0.8043 | 0.8302 | 0.8324 | 0.8497 |
| w12 | 0.9212 | 0.9218 | 0.9261 | 0.9432 | 0.9386 | 0.9498 |
| w13 | 1.0349 | 1.0364 | 1.0639 | 1.0704 | 1.0529 | 1.0588 |
| w14 | 1.2281 | 1.2234 | 1.2285 | 1.2158 | 1.1917 | 1.1795 |
| w15 | 1.4800 | 1.4646 | 1.4309 | 1.3884 | 1.3675 | 1.3184 |

10

20

【 5 7 】

FIG. 57

| | u0 | u1 | u2 | u3 | u4 | u5 | u6 | u7 | u8 | u9 | u10 | u11 | u12 | u13 | u14 | u15 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{5,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{6,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{7,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{8,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\text{Re}(z_s)$ | -u15 | -u14 | -u13 | -u12 | -u11 | -u10 | -u9 | -u8 | -u7 | -u6 | -u5 | -u4 | -u3 | -u2 | -u1 | -u0 |
| $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{2,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{5,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{6,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{7,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{8,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\text{Im}(z_s)$ | -u15 | -u14 | -u13 | -u12 | -u11 | -u10 | -u9 | -u8 | -u7 | -u6 | -u5 | -u4 | -u3 | -u2 | -u1 | -u0 |

【 5 8 】

FIG. 58

| | | |
|------------------|----|---|
| $y_{0,q}$ | 1 | 0 |
| $\text{Re}(z_q)$ | -1 | 1 |

30

40

50

【 5 9 】

FIG. 59

| | | |
|------------------|----|---|
| $y_{1,q}$ | 1 | 0 |
| $\text{Im}(z_q)$ | -1 | 1 |

【 6 0 】

FIG. 60

| | | | | |
|------------------|----|----|---|---|
| $y_{0,q}$ | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $y_{2,q}$ | 0 | 1 | 1 | 0 |
| $\text{Re}(z_q)$ | -3 | -1 | 1 | 3 |

【 6 1 】

FIG. 61

| | | | | |
|------------------|----|----|---|---|
| $y_{1,q}$ | 1 | 1 | 0 | 0 |
| $y_{3,q}$ | 0 | 1 | 1 | 0 |
| $\text{Im}(z_q)$ | -3 | -1 | 1 | 3 |

【 6 2 】

FIG. 62

| | | | | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|
| $y_{0,q}$ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| $y_{2,q}$ | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| $y_{4,q}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| $\text{Re}(z_q)$ | -7 | -5 | -3 | -1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

10

20

30

40

50

【 7 1 】

FIG. 71

| wCR | 3/16 | 5/16 | 7/16 | 9/16 | 11/16 | 13/16 |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| w0 | 0.587870+j0.405339 | 0.453023+j0.266280 | 0.541390+j0.300280 | 0.608898+j0.346004 | 0.611105+j0.345227 | 0.700327+j0.329907 |
| w1 | 0.587870+j0.405339 | 0.453023+j0.266280 | 0.558889+j0.242973 | 0.673707+j0.106661 | 0.675905+j0.146761 | 0.889256+j0.139511 |
| w2 | 0.587870+j0.405339 | 0.453023+j0.266280 | 0.357657+j0.209444 | 0.301148+j0.189880 | 0.298839+j0.153789 | 0.447489+j0.131347 |
| w3 | 0.587870+j0.405339 | 0.453023+j0.266280 | 0.359682+j0.164677 | 0.302029+j0.151421 | 0.261152+j0.127825 | 0.138015+j0.101309 |
| w4 | 0.405339+j0.587870 | 0.286280+j0.453023 | 0.300280+j0.541390 | 0.346004+j0.608898 | 0.416770+j0.618005 | 0.446992+j0.866892 |
| w5 | 0.405339+j0.587870 | 0.286280+j0.453023 | 0.242973+j0.558889 | 0.196881+j0.673707 | 0.174887+j0.744087 | 0.142693+j0.869940 |
| w6 | 0.405339+j0.587870 | 0.286280+j0.453023 | 0.209444+j0.357657 | 0.189880+j0.301148 | 0.162356+j0.382221 | 0.343126+j0.358344 |
| w7 | 0.405339+j0.587870 | 0.286280+j0.453023 | 0.194677+j0.359682 | 0.151421+j0.302029 | 0.129670+j0.410574 | 0.121210+j0.363416 |
| w8 | 1.058554+j0.811394 | 1.209224+j0.511520 | 0.948544+j0.564434 | 0.885139+j0.562862 | 0.890889+j0.557418 | 0.889124+j0.802821 |
| w9 | 1.058554+j0.811394 | 1.209224+j0.511520 | 1.067076+j0.274552 | 1.019338+j0.275537 | 1.028824+j0.193508 | 1.238619+j0.212708 |
| w10 | 1.058554+j0.811394 | 1.209224+j0.511520 | 1.265349+j0.819022 | 1.298403+j0.843530 | 1.248726+j0.812443 | 1.087498+j0.862512 |
| w11 | 1.058554+j0.811394 | 1.209224+j0.511520 | 1.452730+j0.300853 | 1.488895+j0.292085 | 1.462453+j0.293108 | 1.394037+j0.591188 |
| w12 | 0.811394+j1.058554 | 0.511520+j1.209224 | 0.564434+j0.948544 | 0.562862+j0.885139 | 0.561887+j0.806530 | 0.563659+j0.843843 |
| w13 | 0.811394+j1.058554 | 0.511520+j1.209224 | 0.274552+j1.067076 | 0.275537+j1.019338 | 0.218891+j1.046881 | 0.194790+j0.974525 |
| w14 | 0.811394+j1.058554 | 0.511520+j1.209224 | 0.819022+j1.265349 | 0.843530+j1.298403 | 0.842216+j1.227894 | 0.673475+j1.223621 |
| w15 | 0.811394+j1.058554 | 0.511520+j1.209224 | 0.300853+j1.452730 | 0.292085+j1.488895 | 0.298802+j1.482748 | 0.230654+j1.382914 |

【 7 2 】

FIG. 72

| wCR | 2/16 | 4/16 | 6/16 | 8/16 | 10/16 | 12/16 | 14/16 |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| w0 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.589530+j0.318030 | 0.581805+j0.334984 | 0.550932+j0.290166 | 0.578372+j0.308447 | 0.558205+j0.338313 |
| w1 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.678631+j0.319854 | 0.585635+j0.330988 | 0.681172+j0.358142 | 0.721702+j0.389496 | 0.698107+j0.381979 |
| w2 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.629024+j0.217617 | 0.638861+j0.155525 | 0.601303+j0.117683 | 0.680123+j0.174194 | 0.588312+j0.186592 |
| w3 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.621593+j0.218858 | 0.643156+j0.165856 | 0.789136+j0.154857 | 0.799367+j0.241027 | 0.742611+j0.218167 |
| w4 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.678631+j0.319854 | 0.582953+j0.340185 | 0.544897+j0.309183 | 0.526895+j0.368822 | 0.497423+j0.421234 |
| w5 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.574244+j0.311784 | 0.585528+j0.335661 | 0.848801+j0.403611 | 0.830503+j0.500103 | 0.632312+j0.499921 |
| w6 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.621593+j0.218858 | 0.641871+j0.154211 | 0.602332+j0.108486 | 0.685472+j0.086824 | 0.605376+j0.081678 |
| w7 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.614800+j0.216130 | 0.646889+j0.155218 | 0.779701+j0.111026 | 0.836924+j0.087447 | 0.781043+j0.074916 |
| w8 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.313768+j0.177294 | 0.258324+j0.154712 | 0.353888+j0.173948 | 0.421081+j0.189168 | 0.372292+j0.238687 |
| w9 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314208+j0.177479 | 0.257740+j0.150803 | 0.422164+j0.108057 | 0.254896+j0.091406 | 0.236458+j0.177704 |
| w10 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314473+j0.163373 | 0.253905+j0.133141 | 0.383183+j0.092526 | 0.509278+j0.088452 | 0.438984+j0.152234 |
| w11 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314983+j0.163511 | 0.255481+j0.133228 | 0.255481+j0.133228 | 0.088721+j0.073101 | 0.077194+j0.149278 |
| w12 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314208+j0.177479 | 0.257899+j0.155663 | 0.353488+j0.172656 | 0.411013+j0.203430 | 0.378135+j0.394399 |
| w13 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314845+j0.173692 | 0.258423+j0.156852 | 0.411900+j0.108762 | 0.254448+j0.094758 | 0.234014+j0.059218 |
| w14 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.314983+j0.163511 | 0.255597+j0.133616 | 0.382408+j0.093386 | 0.515559+j0.071509 | 0.440779+j0.051629 |
| w15 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.315501+j0.163646 | 0.257175+j0.133701 | 0.130610+j0.092283 | 0.088440+j0.072676 | 0.084467+j0.052398 |
| w16 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.318630+j0.309530 | 0.378008+j0.600742 | 0.388553+j0.540097 | 0.327555+j0.525892 | 0.336331+j0.680788 |
| w17 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.315654+j0.179831 | 0.315652+j0.080648 | 0.419497+j0.605548 | 0.382772+j0.675704 | 0.418945+j0.778409 |
| w18 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.217617+j0.802024 | 0.168779+j0.701232 | 0.183851+j0.653534 | 0.176886+j0.592210 | 0.208352+j0.743694 |
| w19 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.218658+j0.621593 | 0.377886+j0.607168 | 0.478320+j0.574186 | 0.231327+j0.737121 | 0.278826+j0.886705 |
| w20 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.315654+j0.179831 | 0.318104+j0.601841 | 0.420540+j0.516710 | 0.468824+j0.473398 | 0.433165+j0.545788 |
| w21 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.317844+j0.574244 | 0.377886+j0.607168 | 0.478320+j0.574186 | 0.507078+j0.802576 | 0.542895+j0.832044 |
| w22 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.218658+j0.621593 | 0.182548+j0.708524 | 0.130091+j0.671536 | 0.081174+j0.619385 | 0.085905+j0.789425 |
| w23 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.216139+j0.814800 | 0.169976+j0.709449 | 0.130631+j0.694278 | 0.083021+j0.767326 | 0.090272+j0.823832 |
| w24 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.177294+j0.313766 | 0.184033+j0.346721 | 0.254490+j0.389220 | 0.389395+j0.373217 | 0.258303+j0.554922 |
| w25 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.174789+j0.314206 | 0.164899+j0.347622 | 0.149136+j0.318492 | 0.209538+j0.205430 | 0.178731+j0.282321 |
| w26 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.183733+j0.314479 | 0.128945+j0.382615 | 0.141802+j0.435973 | 0.109976+j0.442010 | 0.156480+j0.607857 |
| w27 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.163511+j0.314883 | 0.126799+j0.363811 | 0.099789+j0.370719 | 0.075318+j0.288488 | 0.059053+j0.271648 |
| w28 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.174789+j0.314206 | 0.165186+j0.348443 | 0.258002+j0.384280 | 0.289438+j0.350112 | 0.298727+j0.448465 |
| w29 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.177623+j0.314545 | 0.168055+j0.365055 | 0.145729+j0.314336 | 0.205632+j0.245612 | 0.182567+j0.384902 |
| w30 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.163511+j0.314883 | 0.128552+j0.386258 | 0.131226+j0.437877 | 0.078874+j0.448891 | 0.058840+j0.578445 |
| w31 | 0.690225+j0.595349 | 0.457029+j0.284235 | 0.163646+j0.315021 | 0.128002+j0.367489 | 0.099594+j0.371670 | 0.072444+j0.246494 | 0.081167+j0.420342 |
| w32 | 0.690225+j0.595349 | 1.210302+j0.506871 | 0.915484+j0.562089 | 0.875123+j0.541284 | 1.015875+j0.544514 | 1.010495+j0.556385 | 1.003447+j0.483696 |

10

20

【 7 3 】

FIG. 73

| wCR | 3/16 | 5/16 | 7/16 | 9/16 | 11/16 | 13/16 | |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| w33 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 0.898840+j0.548593 | 0.857263+j0.493450 | 0.865222+j0.447394 | 0.881168+j0.498956 | 0.845525+j0.420972 |
| w34 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.041461+j0.244937 | 1.005452+j0.192113 | 1.128594+j0.334933 | 1.106160+j0.346451 | 1.002454+j0.293134 |
| w35 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.020189+j0.244325 | 0.959205+j0.208138 | 0.958826+j0.243315 | 0.844802+j0.295093 | 0.868494+j0.255193 |
| w36 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 0.898840+j0.548593 | 0.856973+j0.548549 | 0.808200+j0.609090 | 0.875494+j0.737265 | 0.910285+j0.685202 |
| w37 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 0.883121+j0.533505 | 0.820382+j0.497652 | 0.787815+j0.549425 | 0.745110+j0.618548 | 0.767382+j0.578033 |
| w38 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.020189+j0.244325 | 0.878080+j0.104680 | 1.176544+j0.123217 | 1.156123+j0.117657 | 1.080371+j0.088120 |
| w39 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 0.897866+j0.243471 | 0.834838+j0.182658 | 0.894848+j0.117137 | 0.888858+j0.098889 | 0.821093+j0.085363 |
| w40 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.151080+j0.765852 | 1.148300+j0.718300 | 1.215598+j0.699559 | 1.191952+j0.659526 | 1.107342+j0.538796 |
| w41 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.218521+j0.808779 | 1.291524+j0.653771 | 1.470503+j0.809385 | 1.426402+j0.781680 | 1.372857+j0.669123 |
| w42 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.352982+j0.289549 | 1.334471+j0.242989 | 1.245813+j0.437140 | 1.302988+j0.407617 | 1.261173+j0.232729 |
| w43 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.427958+j0.282989 | 1.396848+j0.389207 | 1.641491+j0.582822 | 1.588455+j0.483525 | 1.461132+j0.407370 |
| w44 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.215021+j0.808779 | 1.134883+j0.844081 | 1.038455+j0.804332 | 1.034008+j0.874552 | 1.088040+j0.742804 |
| w45 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.478922+j0.880713 | 1.534809+j0.981645 | 1.216711+j1.212947 | 1.241878+j0.948229 | 1.239054+j0.819638 |
| w46 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.427958+j0.282989 | 1.404319+j0.138223 | 1.412228+j0.148603 | 1.380208+j0.138182 | 1.261447+j0.108014 |
| w47 | 0.697320+j0.892111 | 1.210202+j0.506871 | 1.747830+j0.343863 | 1.784895+j0.324115 | 1.729389+j0.190765 | 1.825172+j0.183629 | 1.504307+j0.138730 |
| w48 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.562899+j0.915484 | 0.808985+j0.958837 | 0.520270+j0.894598 | 0.523910+j0.893510 | 0.638937+j0.977245 |
| w49 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.548199+j0.898954 | 0.551777+j0.871592 | 0.493840+j0.849621 | 0.446217+j0.828959 | 0.537002+j0.952344 |
| w50 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.244837+j0.041481 | 0.190487+j0.002774 | 0.233928+j0.808923 | 0.321208+j0.867223 | 0.455568+j0.085457 |
| w51 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.244325+j0.020189 | 0.244881+j0.049792 | 0.257101+j0.865309 | 0.216744+j0.883825 | 0.261384+j0.058541 |
| w52 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.548599+j0.898840 | 0.810952+j0.803362 | 0.894853+j0.798761 | 0.710545+j0.883481 | 0.762733+j0.832232 |
| w53 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.533505+j0.883121 | 0.555016+j0.819874 | 0.622035+j0.720032 | 0.605159+j0.738080 | 0.602410+j0.724892 |
| w54 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.244325+j0.020189 | 0.168837+j0.002744 | 0.107876+j0.848063 | 0.108348+j0.104517 | 0.105974+j0.274300 |
| w55 | 0.692112+j0.837321 | 0.586871+j1.210202 | 0.243471+j0.087888 | 0.205501+j0.800310 | 0.122238+j0.824513 | 0.093587+j0.927620 | 0.088152+j0.088542 |
| w56 | 0. | | | | | | |

【 7 5 】

FIG. 75

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | $-u_{15}$ | $-u_{14}$ | $-u_{13}$ | $-u_{12}$ | $-u_{11}$ | $-u_{10}$ | $-u_9$ | $-u_8$ | $-u_7$ | $-u_6$ | $-u_5$ | $-u_4$ | $-u_3$ | $-u_2$ | $-u_1$ | $-u_0$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | u_0 | u_1 | u_2 | u_3 | u_4 | u_5 | u_6 | u_7 | u_8 | u_9 | u_{10} | u_{11} | u_{12} | u_{13} | u_{14} | u_{15} | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Im(z_s)$ | $-u_{15}$ | $-u_{14}$ | $-u_{13}$ | $-u_{12}$ | $-u_{11}$ | $-u_{10}$ | $-u_9$ | $-u_8$ | $-u_7$ | $-u_6$ | $-u_5$ | $-u_4$ | $-u_3$ | $-u_2$ | $-u_1$ | $-u_0$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Im(z_s)$ | u_0 | u_1 | u_2 | u_3 | u_4 | u_5 | u_6 | u_7 | u_8 | u_9 | u_{10} | u_{11} | u_{12} | u_{13} | u_{14} | u_{15} | | | | | | | | | | | | | | | |

【 7 6 】

FIG. 76

| u/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 | 0.762565 | 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 | 1.289591 | 1.273237 | 1.213263 |
| u9 | 0.951821 | 1.153922 | 1.197825 | 1.174495 | 1.172818 | 1.182640 | 1.148415 |
| u10 | 0.951821 | 1.658369 | 1.695168 | 1.675628 | 1.610570 | 1.491684 | 1.361829 |
| u11 | 0.951821 | 1.306308 | 1.431932 | 1.433385 | 1.432017 | 1.374447 | 1.283388 |
| u12 | 0.951821 | 0.910861 | 0.932278 | 0.907903 | 0.905961 | 0.956192 | 0.974968 |
| u13 | 0.951821 | 0.864684 | 0.935172 | 0.914425 | 0.885027 | 0.892801 | 0.922447 |
| u14 | 0.951821 | 0.903549 | 0.990523 | 1.005079 | 1.064442 | 1.100380 | 1.087536 |
| u15 | 0.951821 | 0.940034 | 0.989938 | 0.980523 | 1.008622 | 1.025215 | 1.029882 |
| u16 | 0.306654 | 0.215961 | 0.115733 | 0.153556 | 0.169392 | 0.148880 | 0.177357 |
| u17 | 0.306654 | 0.220732 | 0.115734 | 0.153554 | 0.169393 | 0.148877 | 0.145054 |
| u18 | 0.306654 | 0.224176 | 0.115606 | 0.153573 | 0.172311 | 0.209035 | 0.243373 |
| u19 | 0.306654 | 0.219360 | 0.115605 | 0.153576 | 0.172310 | 0.209018 | 0.210474 |
| u20 | 0.306654 | 0.196638 | 0.116628 | 0.075094 | 0.056177 | 0.029660 | 0.047926 |
| u21 | 0.306654 | 0.200750 | 0.116629 | 0.075095 | 0.056177 | 0.029660 | 0.016211 |
| u22 | 0.306654 | 0.197697 | 0.116766 | 0.075098 | 0.057134 | 0.088798 | 0.112331 |
| u23 | 0.306654 | 0.193649 | 0.116765 | 0.075098 | 0.057134 | 0.088798 | 0.080421 |
| u24 | 0.306654 | 0.263498 | 0.361114 | 0.411488 | 0.400665 | 0.399082 | 0.451783 |
| u25 | 0.306654 | 0.268956 | 0.361058 | 0.411542 | 0.400670 | 0.397734 | 0.415679 |
| u26 | 0.306654 | 0.272340 | 0.359367 | 0.411127 | 0.427709 | 0.467702 | 0.526543 |
| u27 | 0.306654 | 0.266958 | 0.359424 | 0.411075 | 0.427698 | 0.463378 | 0.488786 |
| u28 | 0.306654 | 0.299845 | 0.342823 | 0.304005 | 0.283846 | 0.270711 | 0.310792 |
| u29 | 0.306654 | 0.305269 | 0.342769 | 0.303985 | 0.283843 | 0.270625 | 0.277078 |
| u30 | 0.306654 | 0.302366 | 0.344552 | 0.303827 | 0.293434 | 0.333743 | 0.380080 |
| u31 | 0.306654 | 0.296777 | 0.344606 | 0.303847 | 0.293437 | 0.333375 | 0.345309 |

10

20

【 7 7 】

FIG. 77

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{5,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | $-u_{31}$ | $-u_{30}$ | $-u_{29}$ | $-u_{28}$ | $-u_{27}$ | $-u_{26}$ | $-u_{25}$ | $-u_{24}$ | $-u_{23}$ | $-u_{22}$ | $-u_{21}$ | $-u_{20}$ | $-u_{19}$ | $-u_{18}$ | $-u_{17}$ | $-u_{16}$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{5,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | 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 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{5,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{6,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | u_6 | u_5 | u_4 | u_3 | u_2 | u_1 | u_0 | u_{31} | u_{30} | u_{29} | u_{28} | u_{27} | u_{26} | u_{25} | u_{24} | u_{23} | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{5,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{6,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | 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} | | | | | | | | | | | | | | | |

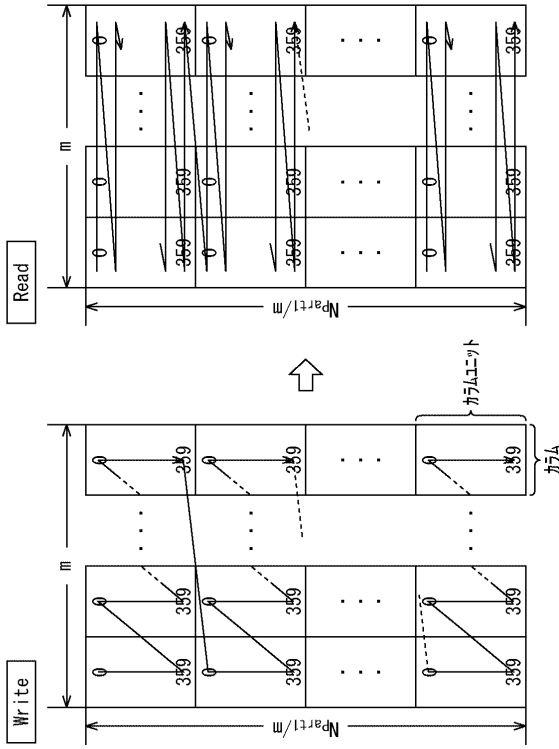
【 7 8 】

FIG. 78

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | $y_{1,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $y_{2,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{4,s}$ | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{5,s}$ | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Re(z_s)$ | $-u_{31}$ | $-u_{30}$ | $-u_{29}$ | $-u_{28}$ | $-u_{27}$ | $-u_{26}$ | $-u_{25}$ | $-u_{24}$ | $-u_{23}$ | $-u_{22}$ | $-u_{21}$ | $-u_{20}$ | $-u_{19}$ | $-u_{18}$ | $-u_{17}$ | $-u_{16}$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{0,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{1,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{2,s}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $y_{3,s}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| < | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【 79 】

FIG. 79



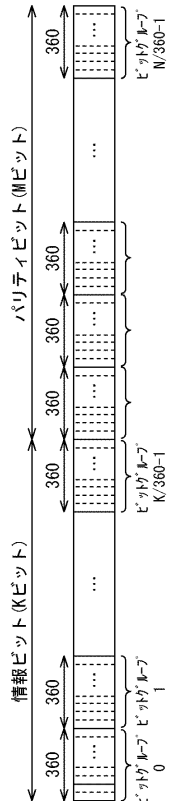
【 80 】

FIG. 80

| Modulation | Rows in Part 1 N_{part1} | Rows in Part 2 N_{part2} | Columns |
|------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| QPSK | 17280 | 0 | m |
| 16QAM | 17280 | 0 | 2 |
| 64QAM | 17280 | 0 | 4 |
| 256QAM | 17280 | 0 | 6 |
| | | | 8 |

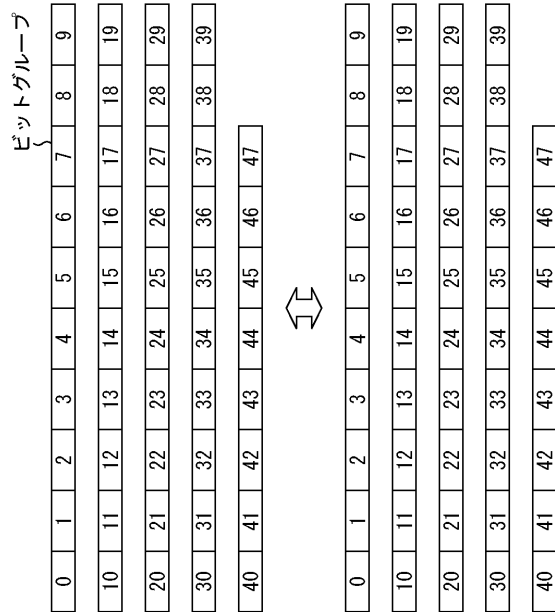
【 81 】

FIG. 81



【 82 】

FIG. 82



10

20

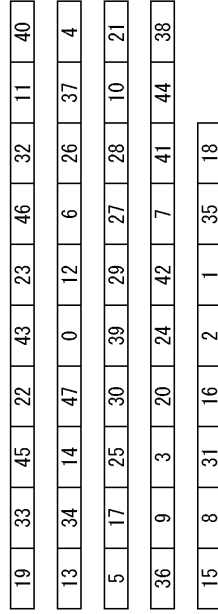
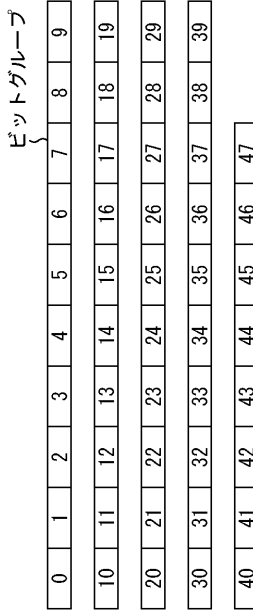
30

40

50

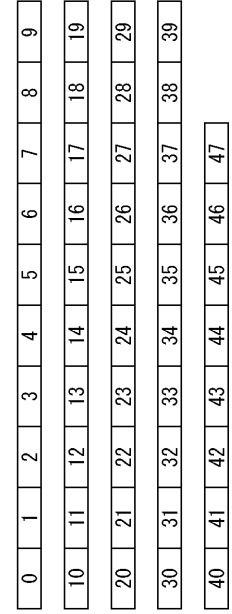
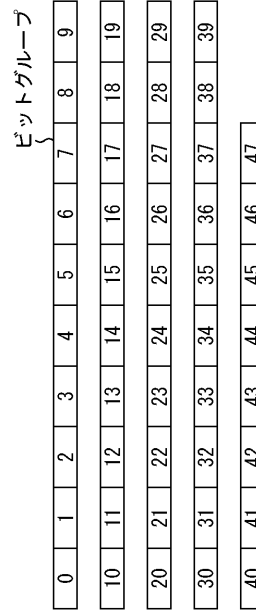
【 8 3 】

FIG. 83



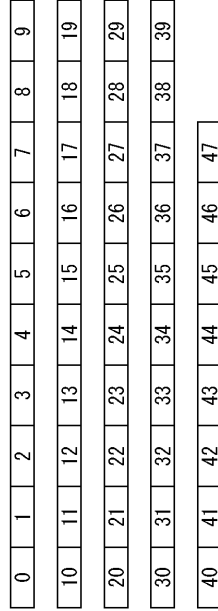
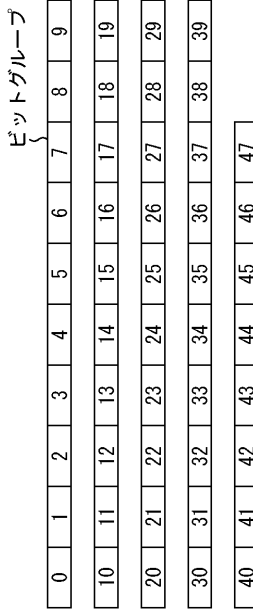
【 8 4 】

FIG. 84



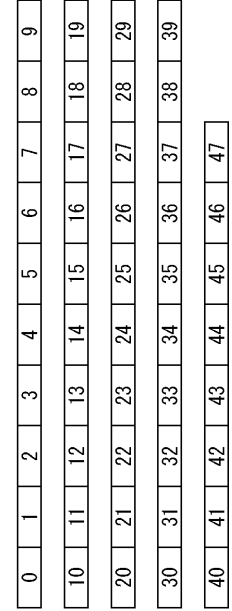
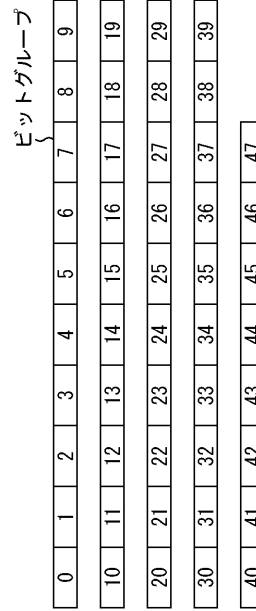
【 8 5 】

FIG. 85



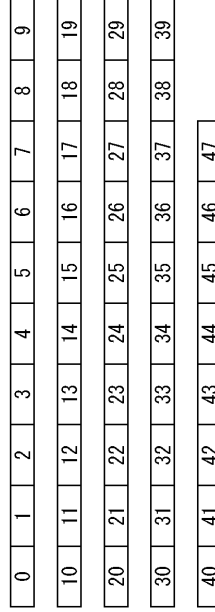
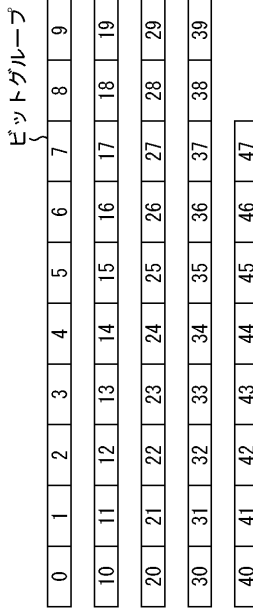
【 8 6 】

FIG. 86



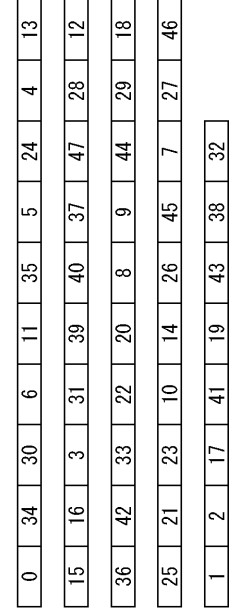
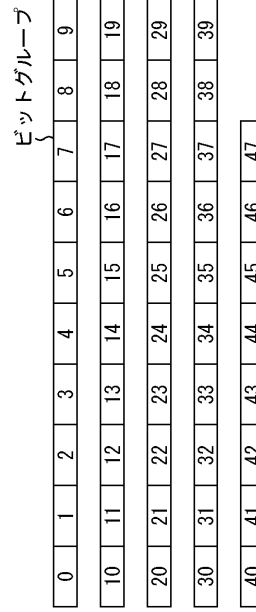
【 87 】

FIG. 87



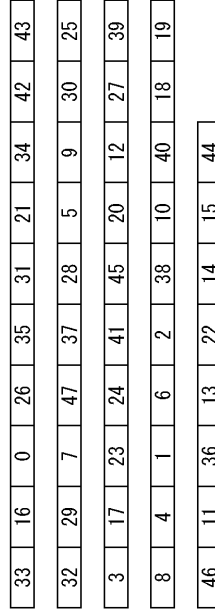
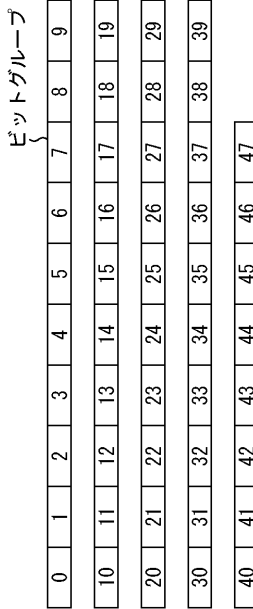
【 88 】

FIG. 88



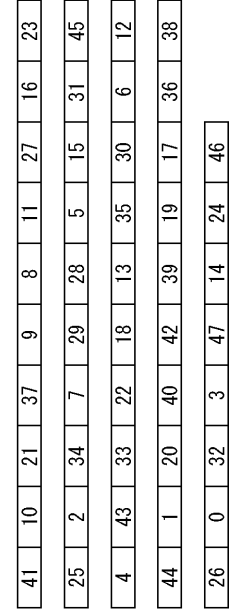
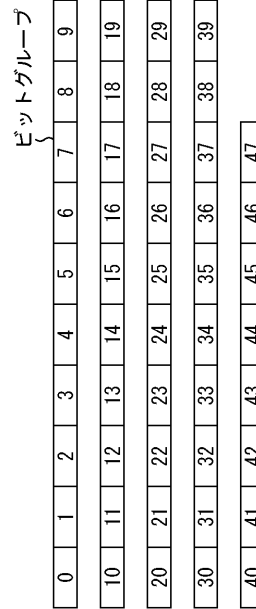
【 89 】

FIG. 89



【 90 】

FIG. 90



10

20

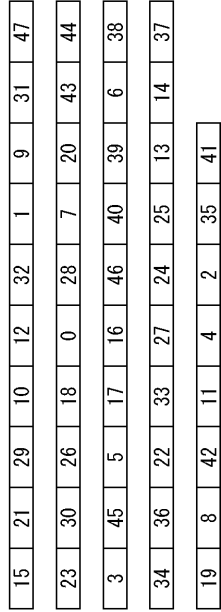
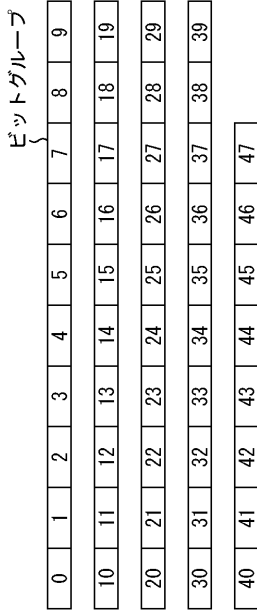
30

40

50

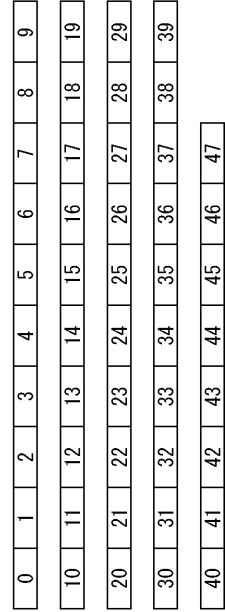
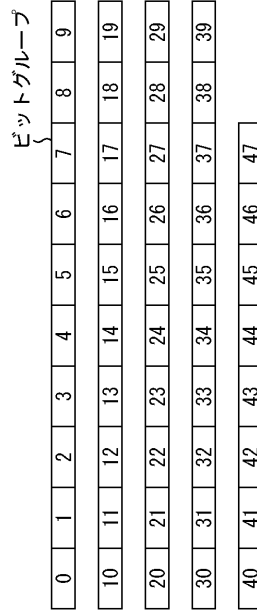
【 9 1 】

FIG. 91



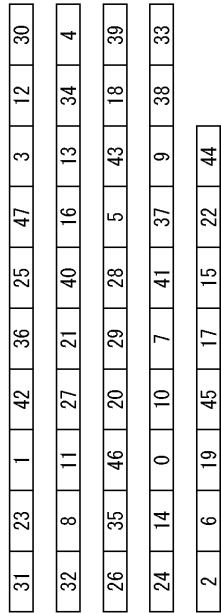
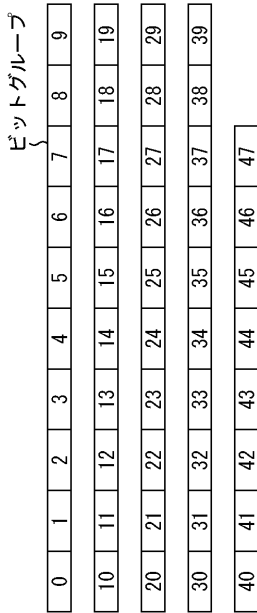
【 9 2 】

FIG. 92



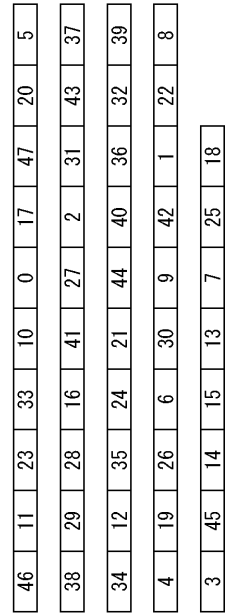
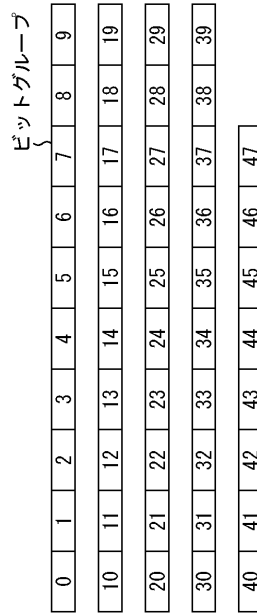
【 9 3 】

FIG. 93



【 9 4 】

FIG. 94



10

20

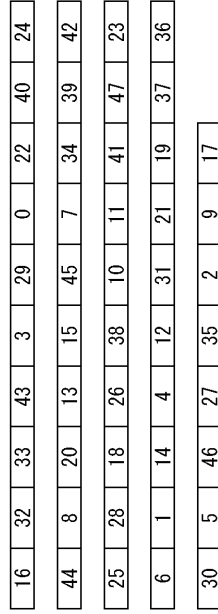
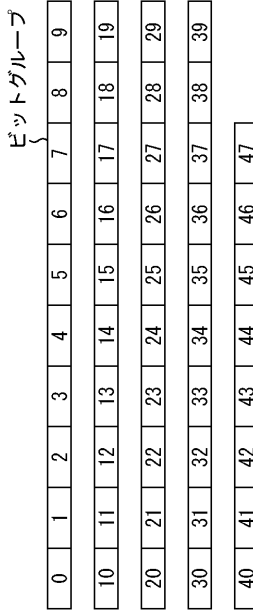
30

40

50

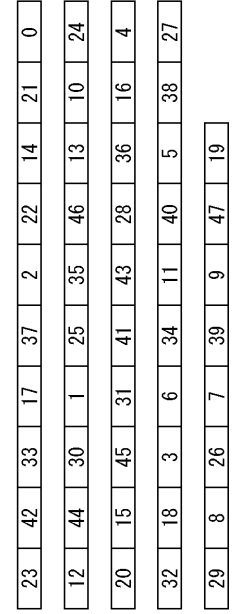
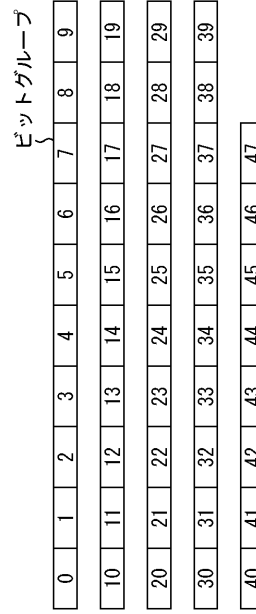
【 9 5 】

FIG. 95



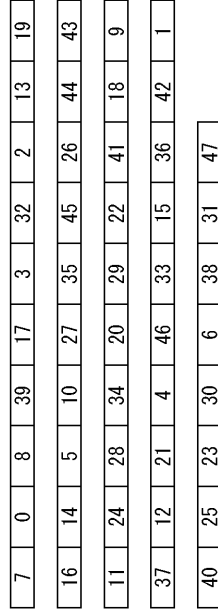
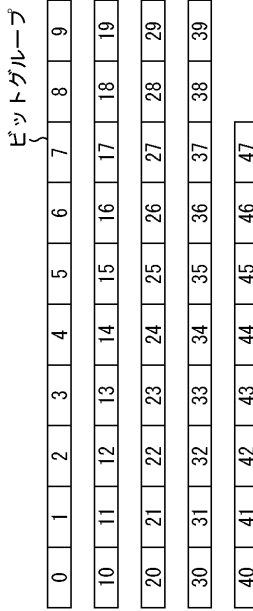
【 9 6 】

FIG. 96



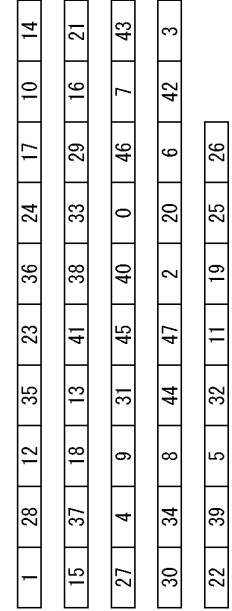
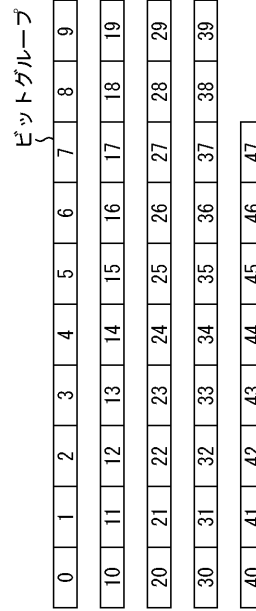
【 9 7 】

FIG. 97



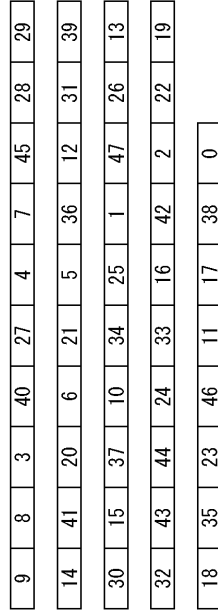
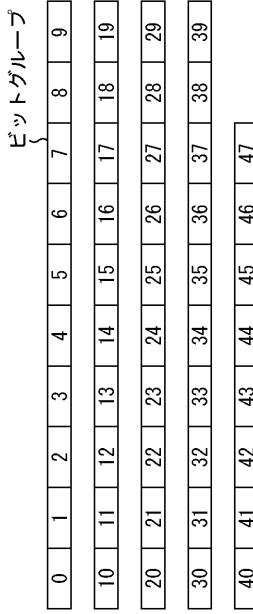
【 9 8 】

FIG. 98



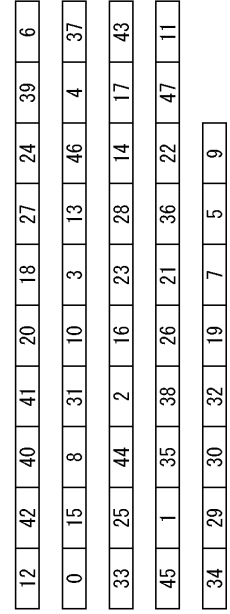
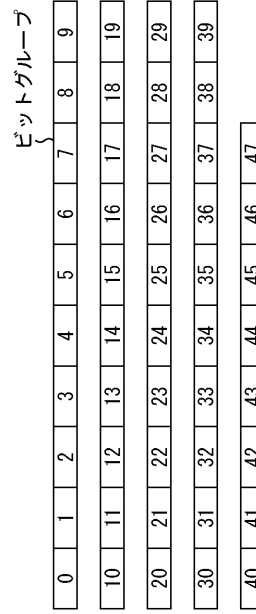
【 9 9 】

FIG. 99



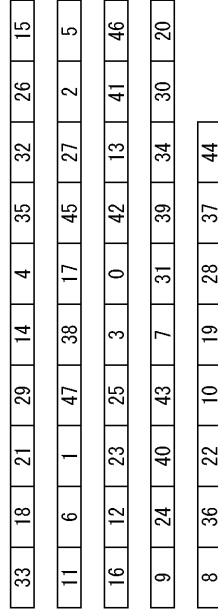
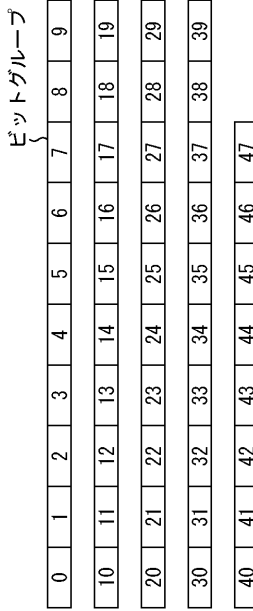
【 1 0 0 】

FIG. 100



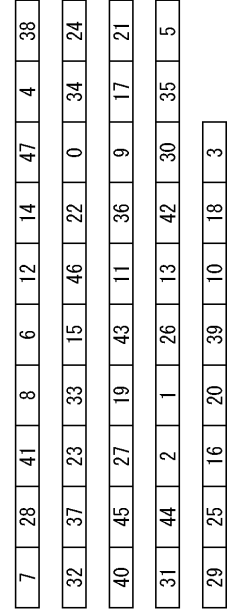
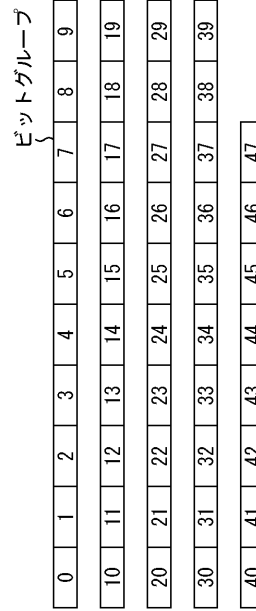
【 1 0 1 】

FIG. 101



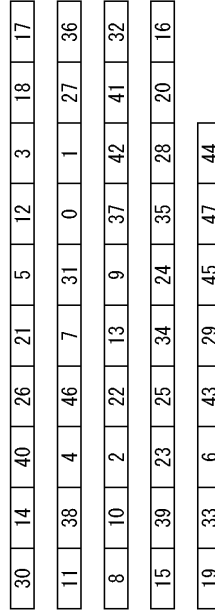
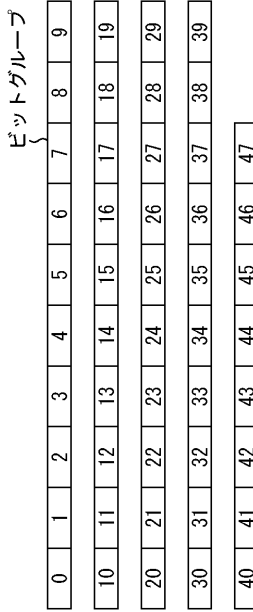
【 1 0 2 】

FIG. 102



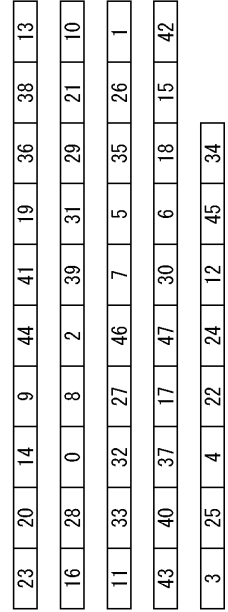
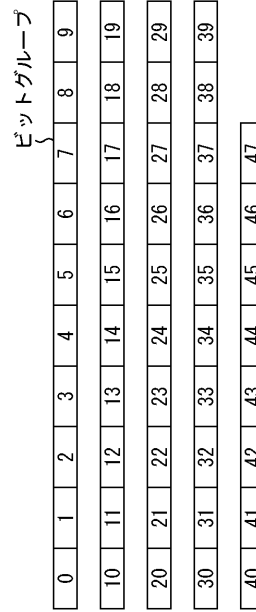
【 1 0 3】

FIG. 103



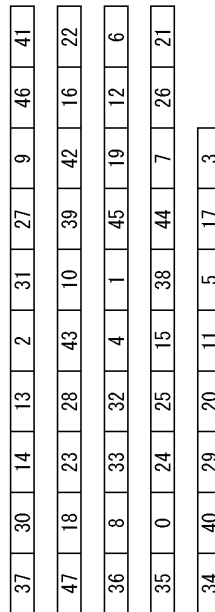
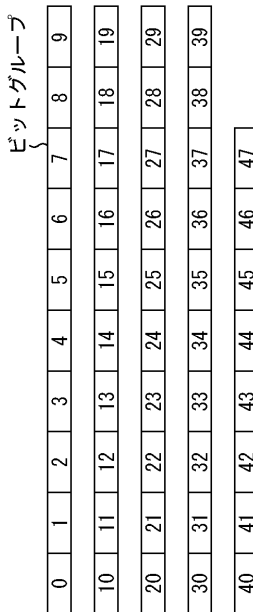
【 1 0 4】

FIG. 104



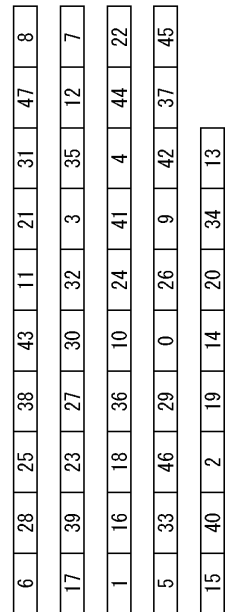
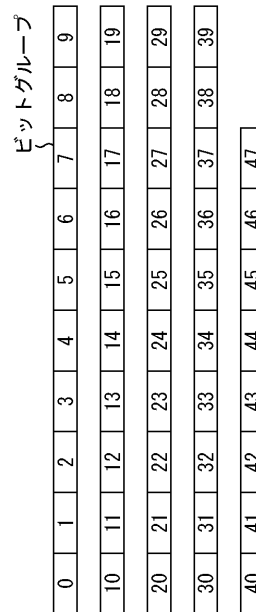
【 1 0 5】

FIG. 105



【 1 0 6】

FIG. 106



10

20

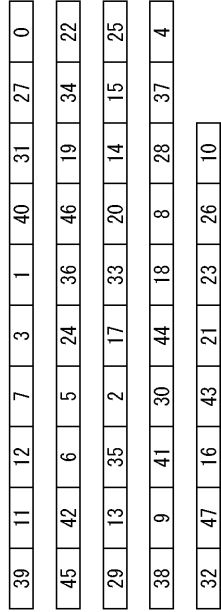
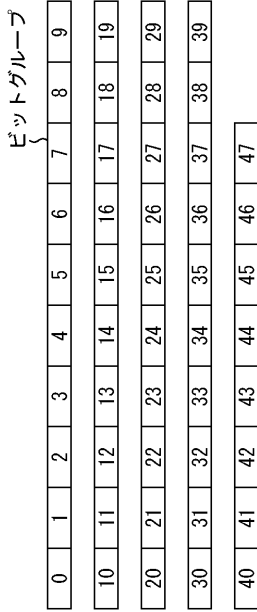
30

40

50

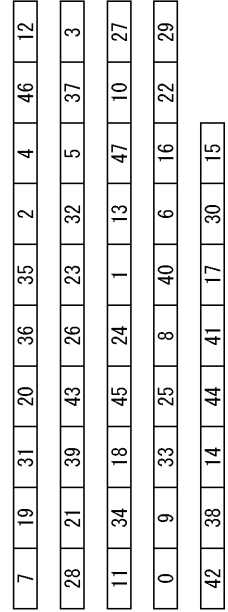
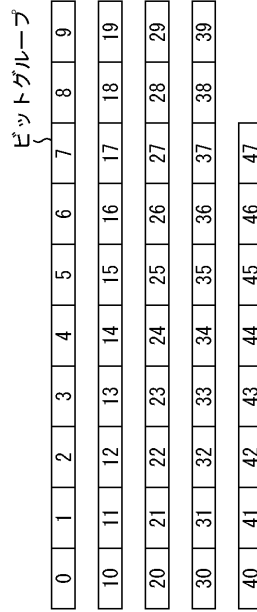
【 1 0 7】

FIG. 107



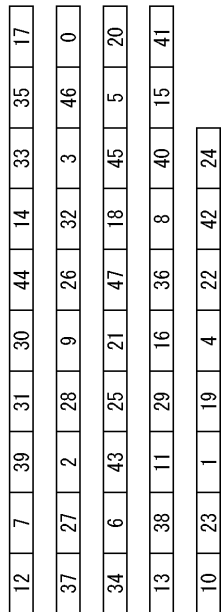
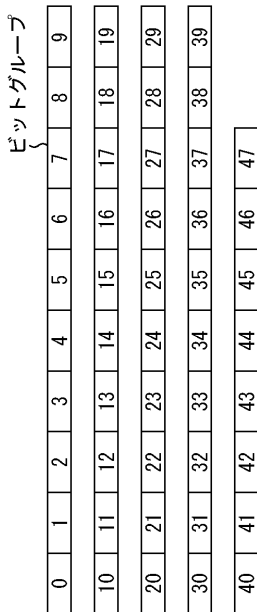
【 1 0 8】

FIG. 108



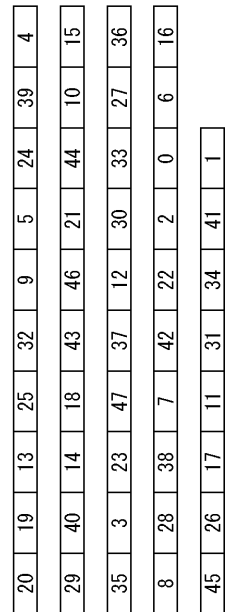
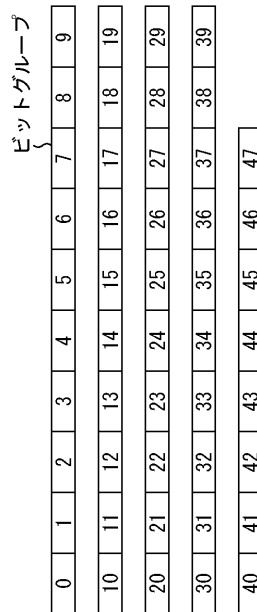
【 1 0 9】

FIG. 109



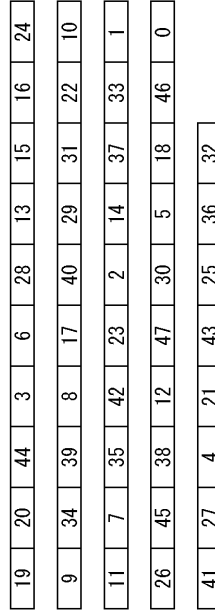
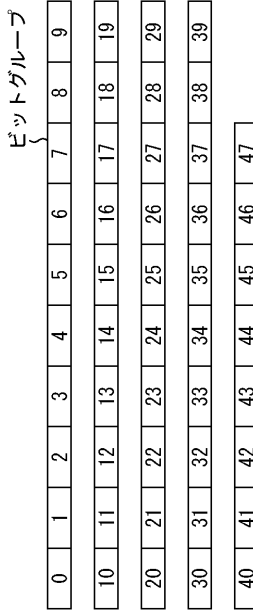
【 1 1 0】

FIG. 110



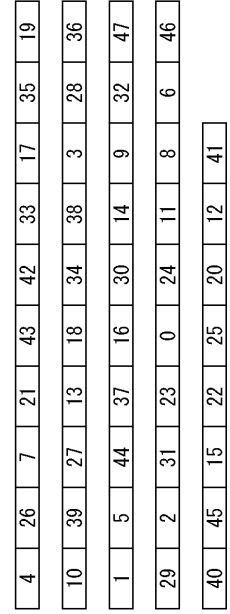
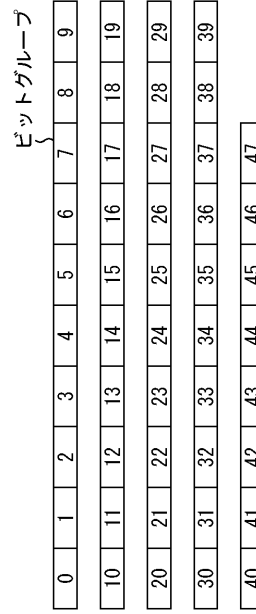
【 1 1 1】

FIG. 111



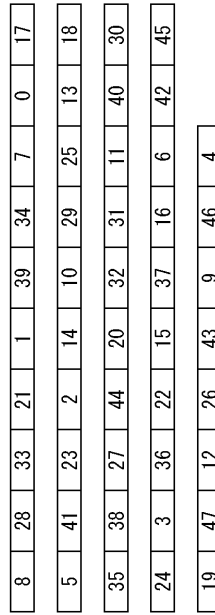
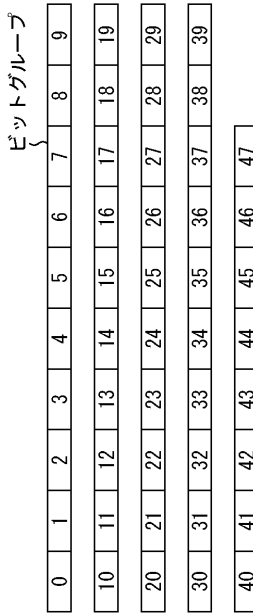
【 1 1 2】

FIG. 112



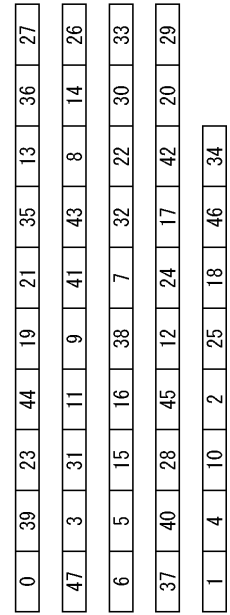
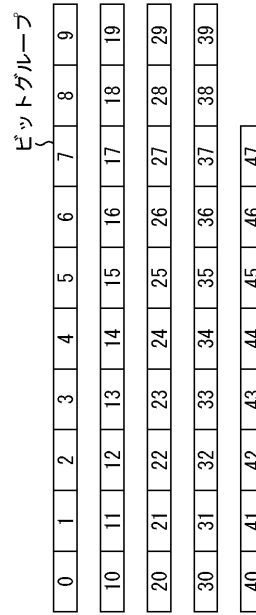
【 1 1 3】

FIG. 113



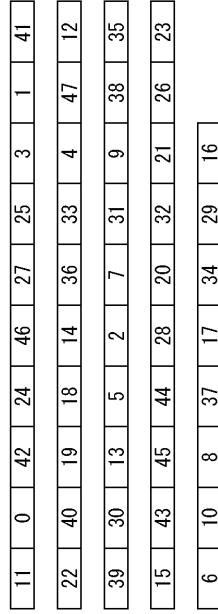
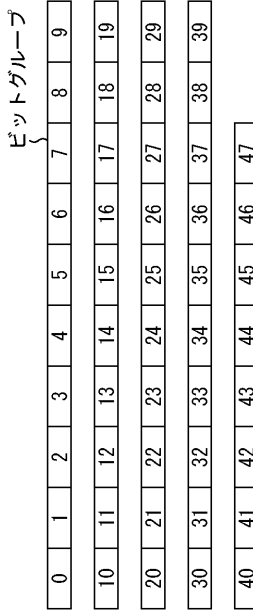
【 1 1 4】

FIG. 114



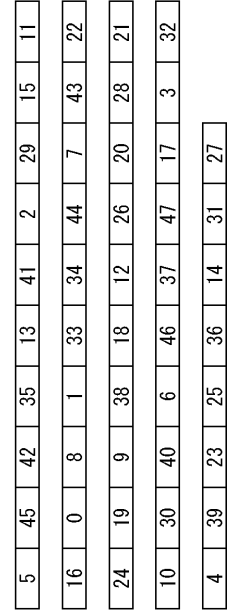
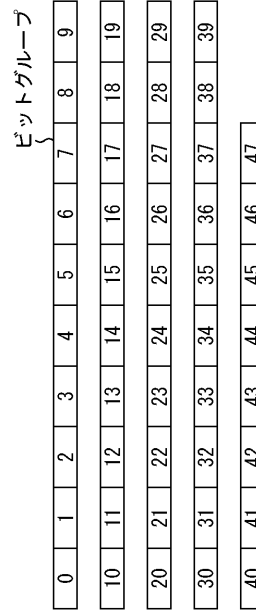
【 1 1 5 】

FIG. 115



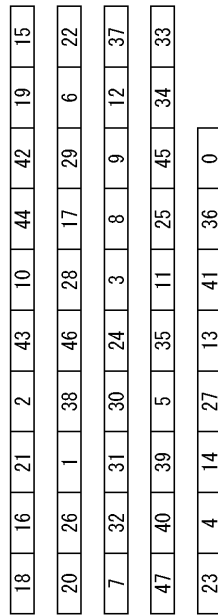
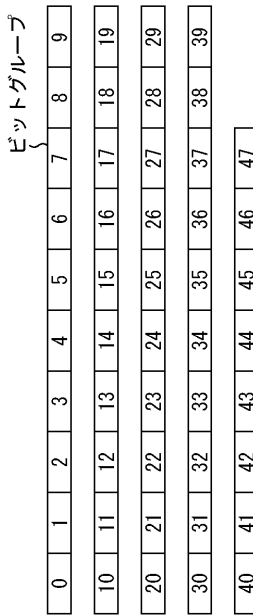
【 1 1 6 】

FIG. 116



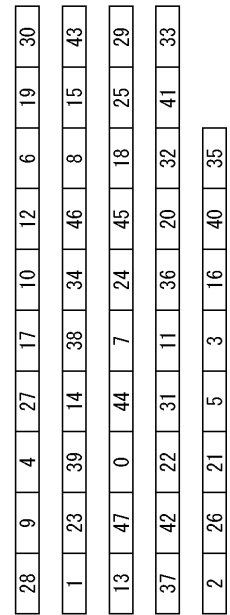
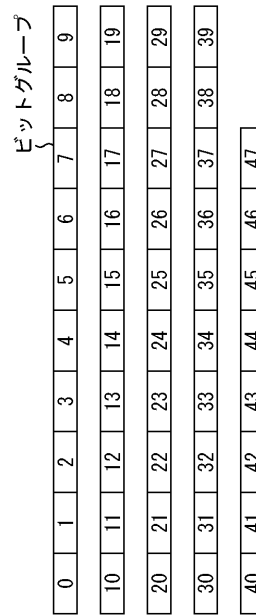
【 1 1 7 】

FIG. 117



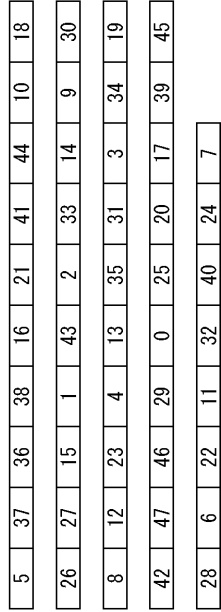
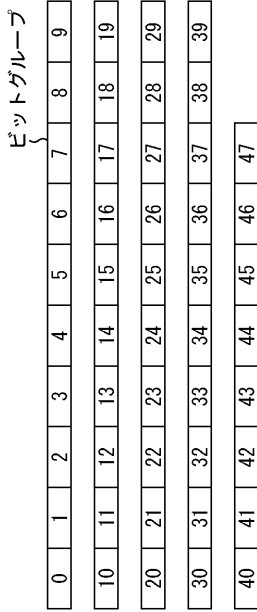
【 1 1 8 】

FIG. 118



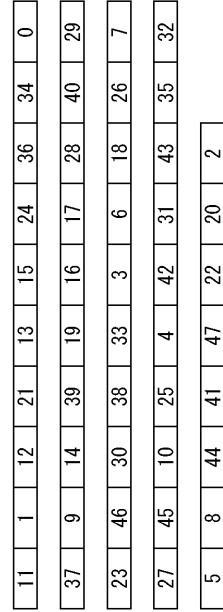
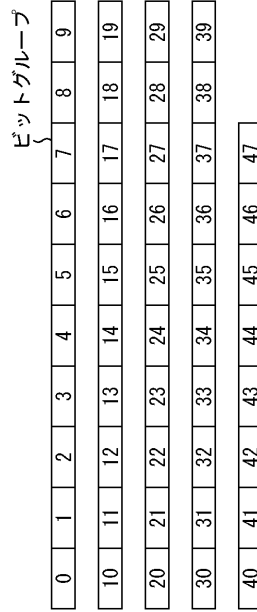
【 1 1 9】

FIG. 119



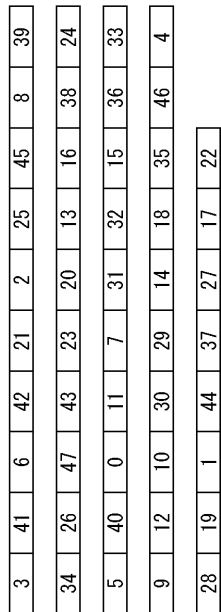
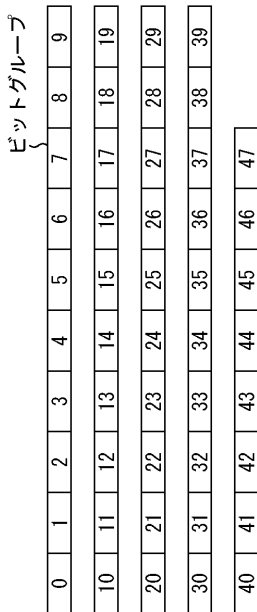
【 1 2 0】

FIG. 120



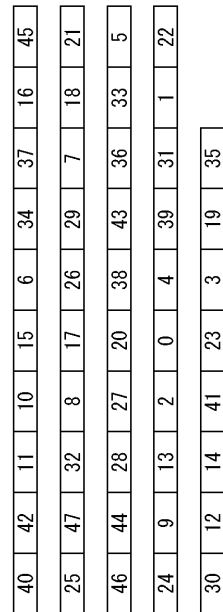
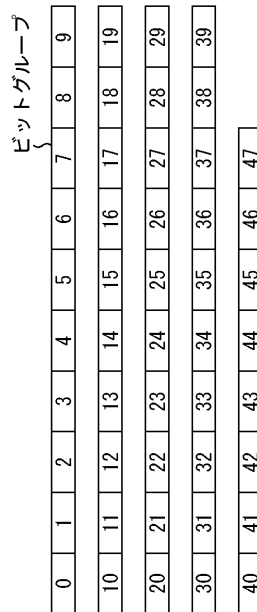
【 1 2 1】

FIG. 121



【 1 2 2】

FIG. 122



10

20

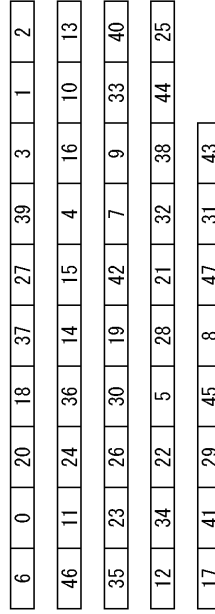
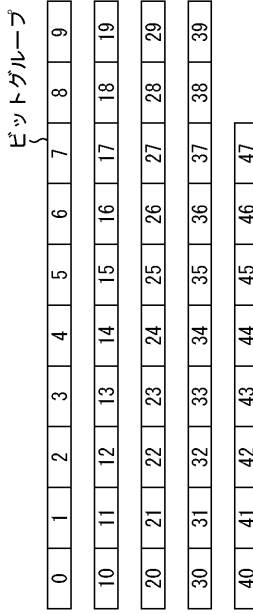
30

40

50

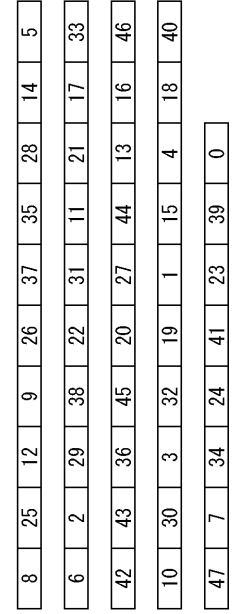
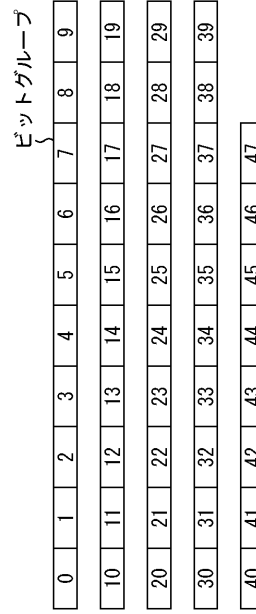
【 1 2 3】

FIG. 123



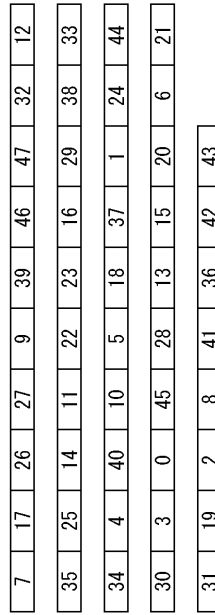
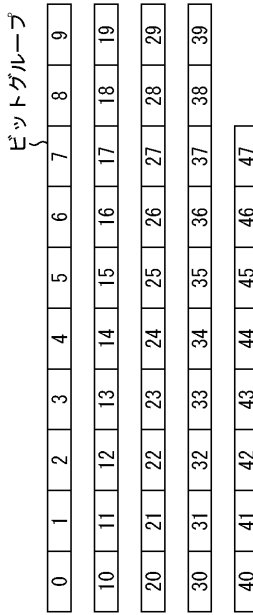
【 1 2 4】

FIG. 124



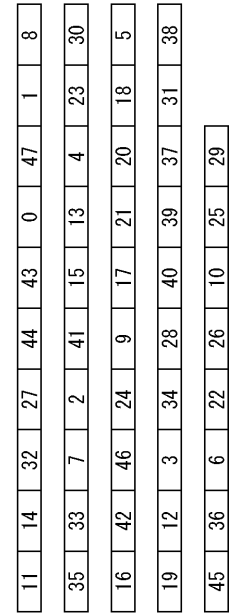
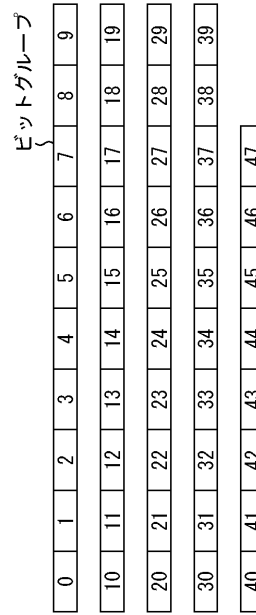
【 1 2 5】

FIG. 125



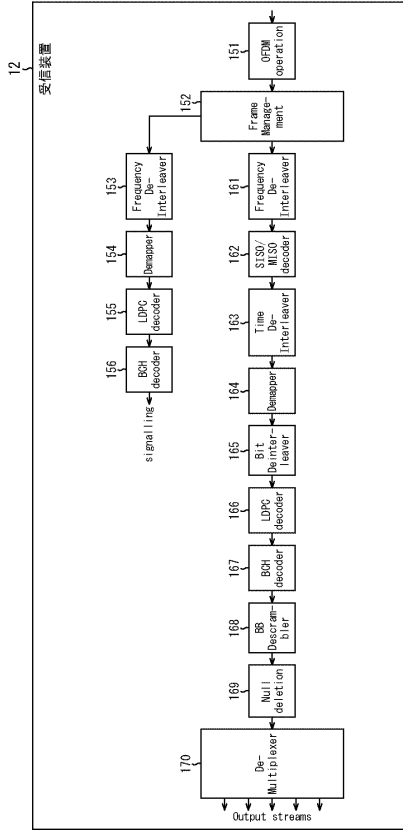
【 1 2 6】

FIG. 126



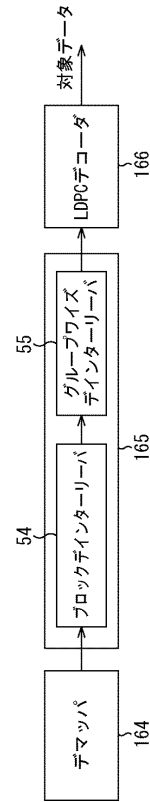
【図 1 2 7】

FIG. 127



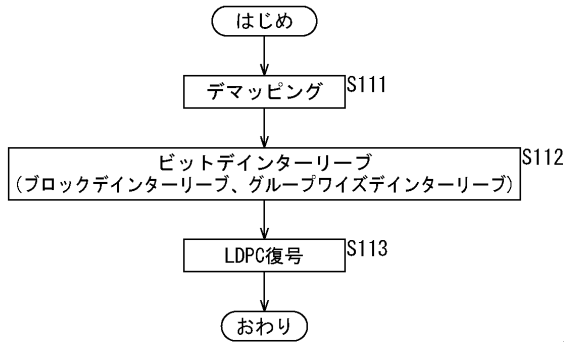
【図 1 2 8】

FIG. 128



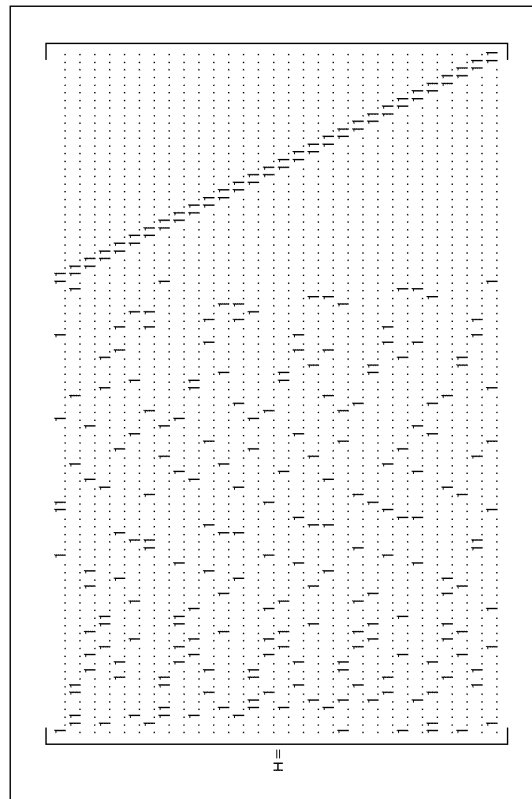
【図 1 2 9】

FIG. 129



【図 1 3 0】

FIG. 130



10

20

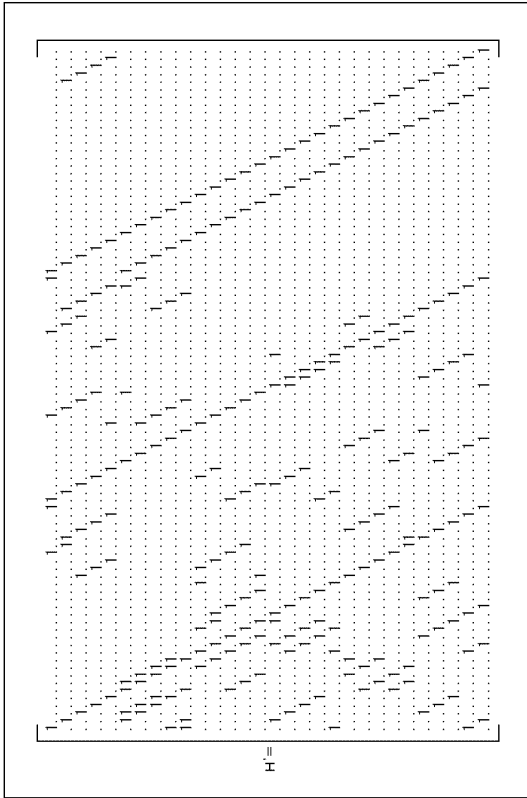
30

40

50

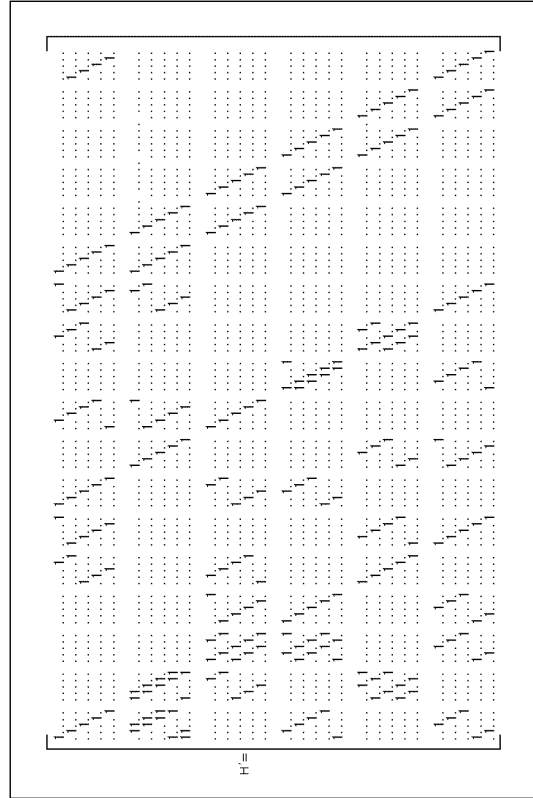
【図 1 3 1】

FIG. 131



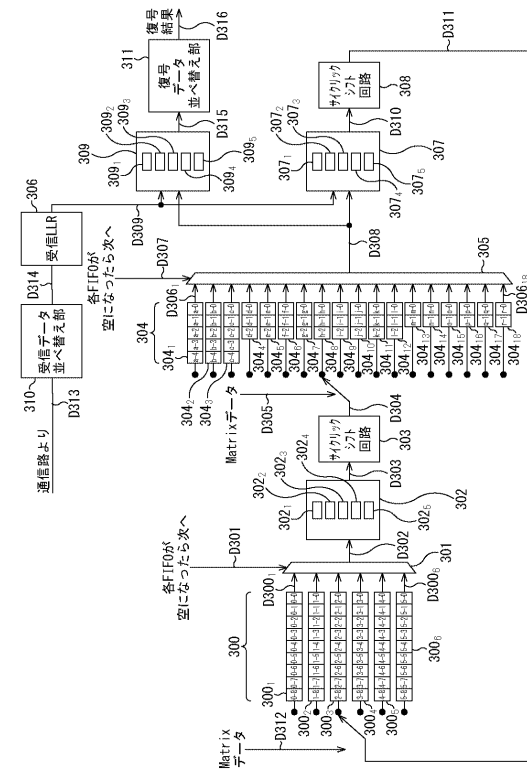
【図 1 3 2】

FIG. 132



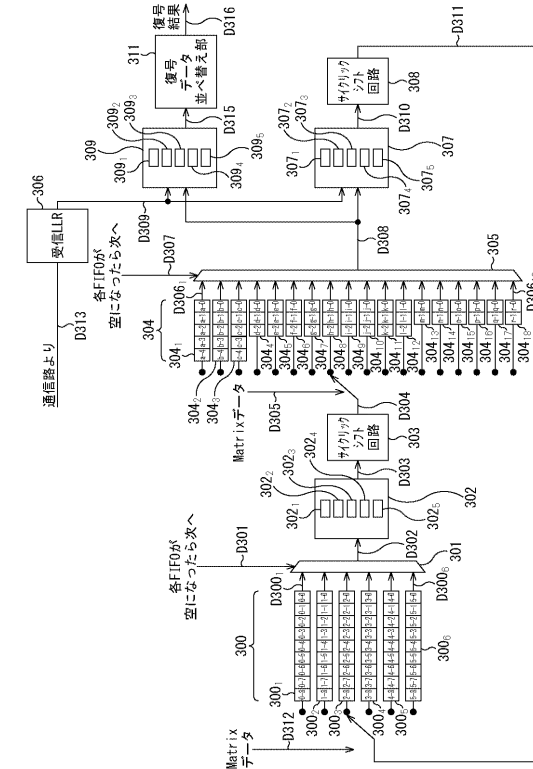
【図 1 3 3】

FIG. 133



【図 1 3 4】

FIG. 134



10

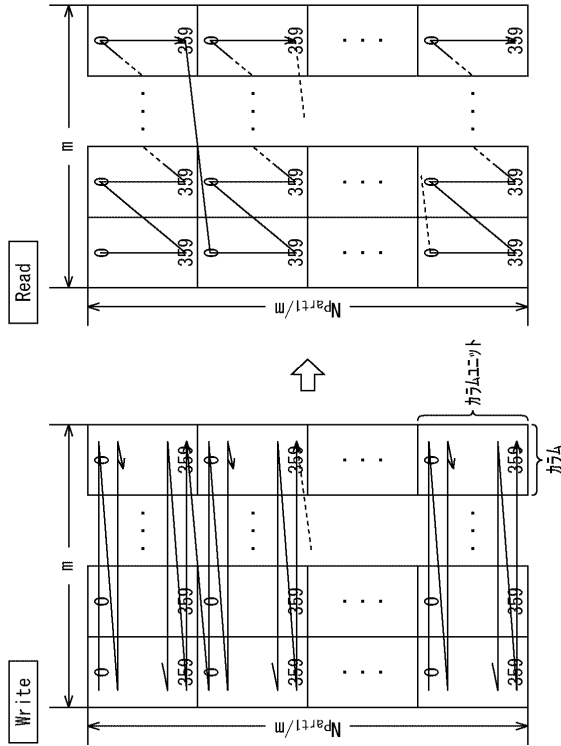
20

30

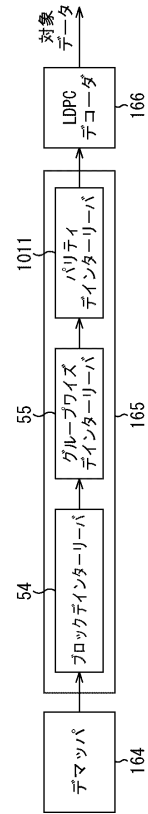
40

50

【図 1 3 5】
FIG. 135



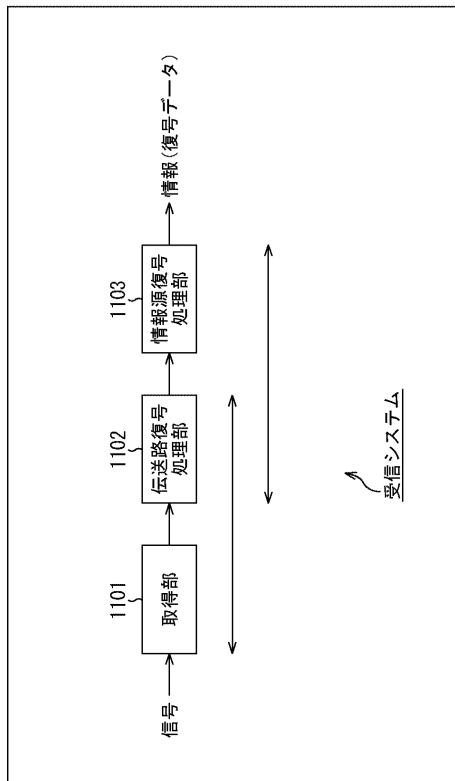
【図 1 3 6】
FIG. 136



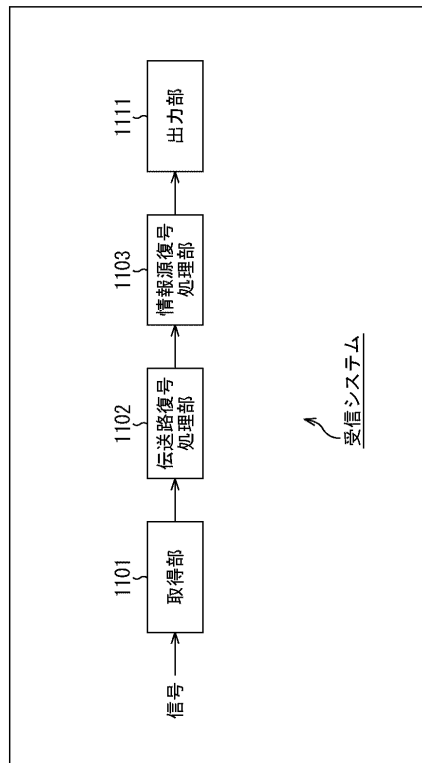
10

20

【図 1 3 7】
FIG. 137



【図 1 3 8】
FIG. 138



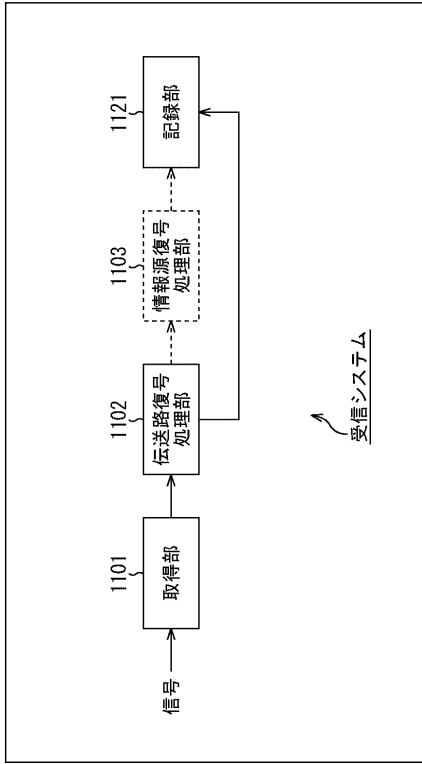
30

40

50

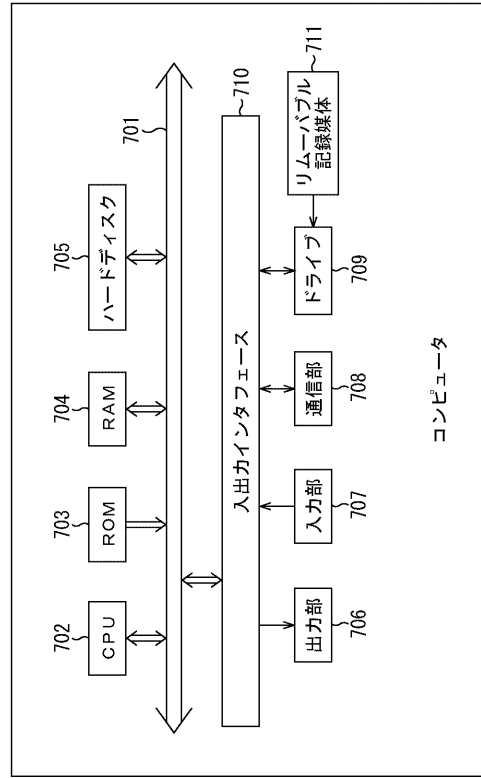
【図 139】

FIG. 139



【図 140】

FIG. 140



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 齊藤 晶

- (56)参考文献 国際公開第2016/114156(WO, A1)
米国特許出願公開第2015/0236816(US, A1)
米国特許出願公開第2015/0256202(US, A1)
特開2015-228647(JP, A)
米国特許出願公開第2010/0192044(US, A1)
国際公開第2015/125612(WO, A1)
ATSC Standard: Physical Layer Protocol, ATSC A/322:2017, 2017年06月06日, pp.24-25,147-163
1.9 地上放送伝送技術, 研究年報2017, 日本放送協会 放送技術研究所, 2018年05月, pp.12-13
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H03M 13/19
H03M 13/27
H04L 1/00
IEEE Explore