

(43) 国際公開日  
2009年6月4日 (04.06.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/069580 A1

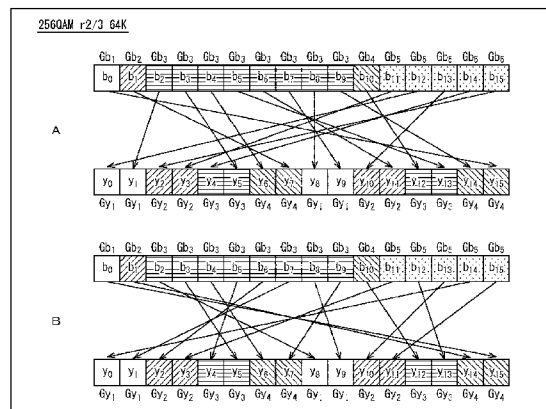
- (51) 国際特許分類:  
H03M 13/19 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/071312
- (22) 国際出願日: 2008年11月25日 (25.11.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2007-304689  
2007年11月26日 (26.11.2007) JP  
特願 2007-304690  
2007年11月26日 (26.11.2007) JP  
特願 2008-070467  
2008年3月18日 (18.03.2008) JP  
PCT/JP2008/070960  
2008年11月18日 (18.11.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 横川 峰志 (YOKOKAWA, Takashi) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 山本 真紀子 (YAMAMOTO, Makiko) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 岡田 諭志 (OKADA, Satoshi) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 池谷 亮志 (IKEGAYA, Ryoji) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: DATA PROCESSING DEVICE, DATA PROCESSING METHOD, CODING DEVICE AND CODING METHOD

(54) 発明の名称: データ処理装置、及びデータ処理方法、並びに、符号化装置、及び符号化方法

図64



(57) Abstract: The present invention is related to a data processing device, a data processing method, a coding device and a coding method that can be configured to improve a tolerance to an error. A code bit of  $mb$  bits in an LDPC code having a code length of 64,800 bits and a code rate of  $2/3$  as prescribed in the DVB-S.2 is replaced and a code bit after the replacement is a symbol bit with  $b$  symbols. When  $m$  is 8 and  $b$  is 2, and code bits with  $8 \times 2$  bits and  $(i+1)$ th bit from the most significant bit of the  $8 \times 2$  symbol bits of successive two symbols are expressed by  $b_i$  and  $y_i$ , respectively, the following replacement for each allocation is carried out:  $b_0$  with  $y_{15}$ ,  $b_1$  with  $y_7$ ,  $b_2$  with  $y_1$ ,  $b_3$  with  $y_5$ ,  $b_4$  with  $y_6$ ,  $b_5$  with  $y_{13}$ ,  $b_6$  with  $y_{11}$ ,  $b_7$  with  $y_9$ ,  $b_8$  with  $y_8$ ,  $b_9$  with  $y_{14}$ ,  $b_{10}$  with  $y_{12}$ ,  $b_{11}$  with  $y_3$ ,  $b_{12}$  with  $y_0$ ,  $b_{13}$  with  $y_{10}$ ,  $b_{14}$  with  $y_4$ , and  $b_{15}$  with  $y_2$ . The present invention can be applied to a transmission system to transmit the LDPC code, for instance.

(57) 要約: 本発明は、エラーに対する耐性を向上させることができるデータ処理装置、及びデータ処理方法、並びに、符号化装置、及び符号化方法に関する。DVB-S.2に規定されている、符号長が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号の $mb$ ビットの符号ビットが入れ替えられて、入れ替え後の符号ビットが、 $b$ 個のシンボルのシンボルビットとされる。 $m$ が8で、 $b$ が2のとき、 $8 \times 2$ ビットの符号ビットと、連続する2個のシンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、それぞれ $b_i$ と $y_i$ とすると、 $b_0$ は $y_{15}$ に、 $b_1$ は $y_7$ に、 $b_2$ は $y_1$ に、 $b_3$ は $y_5$ に、 $b_4$ は $y_6$ に、 $b_5$ は $y_{13}$ に、 $b_6$ は $y_{11}$ に、 $b_7$ は $y_9$ に、 $b_8$ は $y_8$ に、 $b_9$ は $y_{14}$ に、 $b_{10}$ は $y_{12}$ に、 $b_{11}$ は $y_3$ に、 $b_{12}$ は $y_0$ に、 $b_{13}$ は $y_{10}$ に、 $b_{14}$ は $y_4$ に、 $b_{15}$ は $y_2$ に。

[続葉有]



(74) 代理人: 稲本 義雄 (INAMOTO, Yoshio); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 1 1 番 1 8 号 7 1 1 ビルディング 4 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE,

SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

データ処理装置、及びデータ処理方法、並びに、符号化装置、及び符号化方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、データ処理装置、及びデータ処理方法、並びに、符号化装置、及び符号化方法に関し、特に、例えば、エラーに対する耐性を向上させることができるようにするデータ処理装置、及び、データ処理方法、並びに、符号化装置、及び符号化方法に関する。

### 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、欧州で行われているDVB(Digital Video Broadcasting)-S.2等の衛星デジタル放送を含む伝送方式に広く採用され始めている(例えば、非特許文献1を参照)。また、LDPC符号は、次世代の地上デジタル放送にも採用が検討されている。

[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。

[0004] 以下、このようなLDPC符号について具体的に説明する。なお、LDPC符号は、線形符号であり、必ずしも2元である必要はないが、ここでは、2元であるものとして説明する。

[0005] 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。

[0006] 図1は、LDPC符号の検査行列Hの例を示している。

[0007] 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。

- [0008] 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。
- [0009] 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。
- [0010] LDPC符号の復号は、Gallagerが確率復号(Probabilistic Decoding)と称して提案したアルゴリズムであって、バリアブルノード(variable node(メッセージノード(message node)とも呼ばれる))と、チェックノード(check node)とからなる、いわゆるタナーグラフ(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、バリアブルノードとチェックノードを、単に、ノードともいう。
- [0011] 図2は、LDPC符号の復号の手順を示している。
- [0012] 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)で表現した実数値を、受信値 $u_{0i}$ という。また、チェックノードから出力されるメッセージを $u_j$ とし、バリアブルノードから出力されるメッセージを $v_i$ とする。
- [0013] まず、LDPC符号の復号においては、図2に示すように、ステップS11において、LDPC符号が受信され、メッセージ(チェックノードメッセージ) $u_j$ が"0"に初期化されるとともに、繰り返し処理のカウンタとしての整数をとる変数kが"0"に初期化され、ステップS12に進む。ステップS12において、LDPC符号を受信して得られる受信値 $u_{0i}$ に基づいて、式(1)に示す演算(バリアブルノード演算)を行うことによってメッセージ(バリアブルノードメッセージ) $v_i$ が求められ、さらに、このメッセージ $v_i$ に基づいて、式(2)に示す演算(チェックノード演算)を行うことによってメッセージ $u_j$ が求められる。
- [0014] [数1]



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

... (1)

[0015] [数2]

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

... (2)

[0016] 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り、例えば、(3,6)符号の場合には、 $d_v=3$ 、 $d_c=6$ となる。

[0017] 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。

[0018] [数3]

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

... (3)

[0019] [数4]

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

... (4)

[0020] 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よりも大きいか否かが判定される。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。

[0021] 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。

[0022] [数5]

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

... (5)

[0023] 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。

[0024] 図3は、(3,6)LDPC符号(符号化率1/2、符号長12)の検査行列Hの例を示している。

[0025] 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。

[0026] 図4は、図3の検査行列Hのタナーグラフを示している。

[0027] ここで、図4において、“+”で表わされるのが、チェックノードであり、“=”で表わされるのが、バリアブルノードである。チェックノードとバリアブルノードは、それぞれ、検査行列Hの行と列に対応する。チェックノードとバリアブルノードとの間の結線は、枝(edge)であり、検査行列の要素の“1”に相当する。

[0028] すなわち、検査行列の第j行第i列の要素が1である場合には、図4において、上からi番目のバリアブルノード(“=”のノード)と、上からj番目のチェックノード(“+”のノード)とが、枝により接続される。枝は、バリアブルノードに対応する符号ビットが、チェックノードに対応する拘束条件を持つことを表す。

[0029] LDPC符号の復号方法であるサンプロダクトアルゴリズム(Sum Product Algorithm)では、バリアブルノード演算とチェックノード演算とが繰り返し行われる。

[0030] 図5は、バリアブルノードで行われるバリアブルノード演算を示している。

[0031] バリアブルノードでは、計算しようとしている枝に対応するメッセージ $v_i$ は、バリアブルノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ $u_1$  および  $u_2$  と、受信値 $u_{0i}$  を用いた式(1)のバリアブルノード演算により求められる。他の枝に対応するメッセージも同様に

求められる。

[0032] 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している。

[0033] ここで、式(2)のチェックノード演算は、式 $a \times b = \exp\{\ln(|a|) + \ln(|b|)\} \times \text{sign}(a) \times \text{sign}(b)$ の関係を用いて、式(6)に書き直すことができる。但し、 $\text{sign}(x)$ は、 $x \geq 0$ のとき1であり、 $x < 0$ のとき-1である。

[0034] [数6]

$$\begin{aligned}
 u_j &= 2 \tanh^{-1} \left( \prod_{i=1}^{d_c-1} \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right) \\
 &= 2 \tanh^{-1} \left[ \exp \left\{ \sum_{i=1}^{d_c-1} \ln \left( \left| \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right| \right) \right\} \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign} \left( \tanh \left( \frac{v_i}{2} \right) \right) \right] \\
 &= 2 \tanh^{-1} \left[ \exp \left\{ - \left( \sum_{i=1}^{d_c-1} - \ln \left( \tanh \left( \frac{|v_i|}{2} \right) \right) \right) \right\} \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign}(v_i) \right] \\
 &\quad \dots (6)
 \end{aligned}$$

[0035] さらに、 $x \geq 0$ において、関数 $\phi(x)$ を、式 $\phi(x) = \ln(\tanh(x/2))$ と定義すると、式 $\phi^{-1}(x) = 2 \tanh^{-1}(e^x)$ が成り立つから、式(6)は、式(7)に変形することができる。

[0036] [数7]

$$\begin{aligned}
 u_j &= \phi^{-1} \left( \sum_{i=1}^{d_c-1} \phi(|v_i|) \right) \times \prod_{i=1}^{d_c-1} \text{sign}(v_i) \\
 &\quad \dots (7)
 \end{aligned}$$

[0037] 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。

[0038] すなわち、チェックノードでは、図6のように、計算しようとしている枝に対応するメッセージ $u_j$ は、チェックノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$ を用いた式(7)のチェックノード演算によって求められる。他の枝に対応するメッセージも同様に求められる。

[0039] なお、式(7)の関数 $\phi(x)$ は、 $\phi(x) = \ln((e^x + 1)/(e^x - 1))$ とも表すことができ、 $x > 0$ において、 $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$ である。関数 $\phi(x)$ および $\phi^{-1}(x)$ をハードウェアに実装する際には、L

UT(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。

[0040] 非特許文献1:DVB-S.2 : ETSI EN 302 307 V1.1.2 (2006-06)

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

[0041] LDPC符号は、衛星デジタル放送の規格であるDVB-S.2や、次世代の地上デジタル放送の規格であるDVB-T.2で採用されている。また、LDPC符号は、次世代のCATV(Cable Television)デジタル放送の規格であるDVB-C.2での採用が予定されている。

[0042] DVB-S.2等のDVBの規格に準拠したデジタル放送では、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)、そのシンボルが信号点にマッピングされて送信される。

[0043] LDPC符号のシンボル化では、LDPC符号の符号ビットの入れ替えが、2ビット以上の符号ビット単位で行われ、その入れ替え後の符号ビットが、シンボルのビットとされる。

[0044] LDPC符号のシンボル化のための、符号ビットの入れ替えの方式としては、種々の方式で提案されているが、既に提案されている方式よりも、エラーに対する耐性がより向上する方式の提案が要請されている。

[0045] また、LDPC符号自体についても、DVB-S.2等のDVBの規格に規定されているLDPC符号よりも、エラーに対する耐性を向上させるLDPC符号の提案が要請されている。

[0046] 本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、エラーに対する耐性を向上させ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

[0047] 本発明の第1の側面のデータ処理装置、又は、データ処理方法は、符号長がNビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットのmビットが1個のシンボルとされ、かつ、所定の正の整数をbとして、前記記憶手段は、前記ロウ方向にmbビットを記憶するとともに、前記カラム方向にN/(mb)ビットを記憶し、前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カ

ラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出されるmbビットの符号ビットが、b個の前記シンボルにされる場合に、前記mbビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替え手段、又は入れ替えステップを備え、前記LDPC符号は、DVB-S.2又はDVB-T.2の規格に規定された、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、前記mビットが8ビットであり、かつ、前記整数bが2であり、前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、前記記憶手段が、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶し、前記記憶手段のロウ方向に読み出される $8 \times 2$ ビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $y_i$ として、ビット $b_0$ を、ビット $y_{15}$ に、ビット $b_1$ を、ビット $y_7$ に、ビット $b_2$ を、ビット $y_1$ に、ビット $b_3$ を、ビット $y_5$ に、ビット $b_4$ を、ビット $y_6$ に、ビット $b_5$ を、ビット $y_{13}$ に、ビット $b_6$ を、ビット $y_{11}$ に、ビット $b_7$ を、ビット $y_9$ に、ビット $b_8$ を、ビット $y_8$ に、ビット $b_9$ を、ビット $y_{14}$ に、ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{12}$ に、ビット $b_{11}$ を、ビット $y_3$ に、ビット $b_{12}$ を、ビット $y_0$ に、ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{10}$ に、ビット $b_{14}$ を、ビット $y_4$ に、ビット $b_{15}$ を、ビット $y_2$ に、それぞれ割り当てる入れ替えを行うデータ処理装置、又は、データ処理方法である。

[0048] 以上のような第1の側面においては、前記LDPC符号が、DVB-S.2又はDVB-T.2の規格に規定された、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、前記mビットが8ビットであり、かつ、前記整数bが2であり、前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、前記記憶手段が、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶する場合において、前記記憶手段のロウ方向に読み出される $8 \times 2$ ビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $y_i$ として、ビット $b_0$ を、ビット $y_{15}$ に、ビット $b_1$ を、ビット $y_7$ に、ビット $b_2$ を、ビット $y_1$ に、ビット $b_3$ を、ビット $y_5$ に、ビット $b_4$ を、ビット $y_6$ に、ビット $b_5$ を、ビット $y_{13}$ に、ビット $b_6$ を、ビット $y_{11}$ に、ビット $b_7$ を、ビット $y_9$ に、ビット $b_8$ を、ビット $y_8$ に、ビット $b_9$ を、ビット $y_{14}$ に、ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{12}$ に、ビット $b_{11}$ を、ビット $y_3$ に、ビット $b_{12}$ を、ビット $y_0$ に、ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{10}$ に、ビット $b_{14}$ を、ビット $y_4$ に、ビット $b_{15}$ を、ビット $y_2$ に、それぞれ割り当てる入れ替えを行うデータ処理装置、又は、データ処理方法である。

に、ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{12}$ に、ビット $b_{11}$ を、ビット $y_3$ に、ビット $b_{12}$ を、ビット $y_0$ に、ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{10}$ に、ビット $b_{14}$ を、ビット $y_4$ に、ビット $b_{15}$ を、ビット $y_2$ に、それぞれ割り当てる入れ替えが行われる。

[0049] 本発明の第2の側面の符号化装置、又は、符号化方法は、符号長が64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号による符号化を行う符号化手段、又はステップを備え、前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長、及び前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、前記検査行列初期値テーブルは、

```

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20
748
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920
856 1690 12787
6532 7357 9151
4210 16615 18152
11494 14036 17470
2474 10291 10323
1778 6973 10739

```

4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879  
7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921

6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033  
679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151  
9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123



2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481  
3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104

2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546  
7169 10161 16928  
10284 16791 20655  
36 3175 8475  
2605 16269 19290  
8947 9178 15420  
5687 9156 12408  
8096 9738 14711  
4935 8093 19266  
2667 10062 15972  
6389 11318 14417  
8800 18137 18434  
5824 5927 15314  
6056 13168 15179  
3284 13138 18919  
13115 17259 17332

からなる

符号化装置、又は、符号化方法である。

[0050] 以上のような第2の側面においては、符号長が64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号による符号化が行われる。前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長、及前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、前記検査行列初期値テーブルは、

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039  
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379

127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002  
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879

7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033  
679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151

9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481

3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546  
7169 10161 16928  
10284 16791 20655  
36 3175 8475  
2605 16269 19290  
8947 9178 15420  
5687 9156 12408  
8096 9738 14711  
4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

からなる。

- [0051] 本発明の第3の側面のデータ処理装置、又は、データ処理方法は、符号長がNビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットのmビットが1個のシンボルとされ、かつ、所定の正の整数をbとして、前記記憶手段は、前記ロウ方向にmbビットを記憶するとともに、前記カラム方向にN/(mb)ビットを記憶し、前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出されるmbビットの符号ビットが、b個の前記シンボルにされる場合に、前記mbビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替え手段、又は、入れ替えステップを備え、前記LDPC符号は、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、前記mビットが8ビットであり、かつ、前記整数bが2であり、前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、前記記憶手段が、ロウ方向に8×2ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に64800/(8×2)ビットを記憶し、前記記憶手段のロウ方向に読み出される8×2ビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの8×2ビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $y_i$ として、ビット $b_0$ を、ビット $y_7$ に、ビット $b_1$ を、ビット $y_2$ に、ビット $b_2$ を、ビット $y_9$ に、ビット $b_3$ を、ビット $y_0$ に、ビット $b_4$ を、ビット $y_4$ に、ビット $b_5$ を、ビット $y_6$ に、ビット $b_6$ を、ビット $y_{13}$ に、ビット $b_7$ を、ビット $y_3$ に、ビット $b_8$ を、ビット $y_{14}$ に、ビット $b_9$ を、ビット $y_{10}$ に、ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{15}$ に、ビ

ット $b_{11}$ を、ビット $y_5$ に、ビット $b_{12}$ を、ビット $y_8$ に、ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{12}$ に、ビット $b_{14}$ を、ビット $y_{11}$ に、ビット $b_{15}$ を、ビット $y_1$ に、それぞれ割り当てる入れ替えを行い、前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長 $N$ 、及び前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、前記検査行列初期値テーブルは、

```

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20
748
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920
856 1690 12787
6532 7357 9151
4210 16615 18152
11494 14036 17470
2474 10291 10323
1778 6973 10739
4347 9570 18748
2189 11942 20666
3868 7526 17706

```



8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879  
7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033

679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151  
9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031

7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481  
3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546

7169 10161 16928  
 10284 16791 20655  
 36 3175 8475  
 2605 16269 19290  
 8947 9178 15420  
 5687 9156 12408  
 8096 9738 14711  
 4935 8093 19266  
 2667 10062 15972  
 6389 11318 14417  
 8800 18137 18434  
 5824 5927 15314  
 6056 13168 15179  
 3284 13138 18919  
 13115 17259 17332

からなる

データ処理装置、又は、データ処理方法である。

- [0052] 以上のような第3の側面においては、前記LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、前記mビットが8ビットであり、かつ、前記整数bが2であり、前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、前記記憶手段が、ロウ方向に8×2ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に64800/(8×2)ビットを記憶する場合において、前記記憶手段のロウ方向に読み出される8×2ビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの8×2ビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $y_i$ として、ビット $b_0$ を、ビット $y_7$ に、ビット $b_1$ を、ビット $y_2$ に、ビット $b_2$ を、ビット $y_9$ に、ビット $b_3$ を、ビット $y_0$ に、ビット $b_4$ を、ビット $y_4$ に、ビット $b_5$ を、ビット $y_6$ に、ビット $b_6$ を、ビット $y_{13}$ に、ビット $b_7$ を、ビット $y_3$ に、ビット $b_8$ を、ビット $y_{14}$ に、ビット $b_9$ を、ビット $y_{10}$ に、ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{15}$ に、ビット $b_{11}$ を、ビット $y_{11}$

に、ビット $b_5$ を、ビット $y_{12}$ に、ビット $b_8$ を、ビット $y_{13}$ に、ビット $b_{12}$ を、ビット $y_{14}$ に、ビット $b_{15}$ を、ビット $y_1$ に、それぞれ割り当てる入れ替えが行われる。さらに、前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長、及前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、前記検査行列初期値テーブルは、

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039  
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379  
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002  
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706

8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879  
7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033

679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151  
9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031

7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481  
3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546



7169 10161 16928  
10284 16791 20655  
36 3175 8475  
2605 16269 19290  
8947 9178 15420  
5687 9156 12408  
8096 9738 14711  
4935 8093 19266  
2667 10062 15972  
6389 11318 14417  
8800 18137 18434  
5824 5927 15314  
6056 13168 15179  
3284 13138 18919  
13115 17259 17332

からなる。

- [0053] なお、データ処理装置及び符号化装置のそれぞれは、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

- [0054] 本発明によれば、エラーに対する耐性を向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0055] [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を示す図である。  
[図5]バリエブルノードを示す図である。  
[図6]チェックノードを示す図である。  
[図7]本発明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]検査行列を示す図である。

[図10]パリティ行列を示す図である。

[図11]DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号の検査行列と列重みとを示す図である。

[図12]16QAMの信号点配置を示す図である。

[図13]64QAMの信号点配置を示す図である。

[図14]64QAMの信号点配置を示す図である。

[図15]64QAMの信号点配置を示す図である。

[図16]デマルチプレクサ25の処理を説明する図である。

[図17]デマルチプレクサ25の処理を説明する図である。

[図18]LDPC符号の復号についてのタナーグラフを示す図である。

[図19]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を示す図である。

[図20]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。

[図21]変換検査行列を示す図である。

[図22]カラムツイストインターリーバ24の処理を説明する図である。

[図23]カラムツイストインターリーブに必要なメモリ31のカラム数と、書き始めの位置のアドレスを示す図である。

[図24]カラムツイストインターリーブに必要なメモリ31のカラム数と、書き始めの位置のアドレスを示す図である。

[図25]送信処理を説明するフローチャートである。

[図26]シミュレーションで採用した通信路のモデルを示す図である。

[図27]シミュレーションで得られたエラーレートと、フラッタのドップラ周波数 $f_d$ との関係を示す図である。

[図28]シミュレーションで得られたエラーレートと、フラッタのドップラ周波数 $f_d$ との関係を示す図である。

[図29]LDPC符号化部21の構成例を示すブロック図である。

[図30]LDPC符号化部21の処理を説明するフローチャートである。

[図31]符号化率 $2/3$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図32]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図33]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図34]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図35]符号化率 $3/4$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図36]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図37]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図38]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図39]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図40]符号化率 $4/5$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図41]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図42]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図43]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図44]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図45]符号化率 $5/6$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図46]符号化率 $5/6$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図47]符号化率 $5/6$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図48]符号化率 $5/6$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図49]符号化率 $5/6$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図50]符号化率 $8/9$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図51]符号化率 $8/9$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図52]符号化率 $8/9$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図53]符号化率 $8/9$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図54]符号化率 $8/9$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図55]符号化率 $9/10$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図56]符号化率 $9/10$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図57]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図58]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図59]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60]現行方式の入れ替え処理を説明する図である。

[図61]現行方式の入れ替え処理を説明する図である。

[図62]符号長64800、符号化率2/3のLDPC符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、符号ビットグループとシンボルビットグループとを示す図である。

[図63]符号長64800、符号化率2/3のLDPC符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、割り当てルールを示す図である。

[図64]符号長64800、符号化率2/3のLDPC符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えを示す図である。

[図65]新入れ替え方式の入れ替え処理を行った場合と、現行方式の入れ替え処理を行った場合のBERを示す図である。

[図66]性能閾値としての $E_b/N_0$ が、規格符号よりも良いLDPC符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図67]性能閾値としての $E_b/N_0$ が、規格符号よりも良いLDPC符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図68]性能閾値としての $E_b/N_0$ が、規格符号よりも良いLDPC符号の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図69]規格符号、及び提案符号についての、 $E_s/N_0$ とBERとの関係を示す図である。

[図70]受信装置12の構成例を示すブロック図である。

[図71]受信処理を説明するフローチャートである。

[図72]LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

[図73]検査行列に行置換と列置換を施した行列(変換検査行列)を示す図である。

[図74]5×5単位に分割した変換検査行列を示す図である。

[図75]ノード演算をP個まとめて行う復号装置の構成例を示すブロック図である。

[図76]LDPC復号部56の構成例を示すブロック図である。

[図77]本発明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。

[図78]符号化率 $2/3$ 、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79]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図80]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図81]符号化率 $2/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図82]符号化率 $3/4$ 、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83]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図84]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図85]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図86]符号化率 $3/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図87]符号化率 $4/5$ 、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88]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図89]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図90]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図91]符号化率 $4/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図92]符号化率5/6、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93]符号化率5/6、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図94]符号化率5/6、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図95]符号化率5/6、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図96]符号化率5/6、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図97]符号化率8/9、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98]符号化率8/9、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図99]符号化率8/9、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である

。

[図100]符号化率8/9、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図101]符号化率8/9、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図102]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図103]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図104]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図105]符号化率9/10、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図であ

る。

[図106]符号化率 $1/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図107]符号化率 $1/4$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図108]符号化率 $1/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図109]符号化率 $1/3$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図110]符号化率 $2/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図111]符号化率 $2/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図112]符号化率 $1/2$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図113]符号化率 $1/2$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図114]符号化率 $1/2$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図115]符号化率 $3/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図116]符号化率 $3/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図117]符号化率 $3/5$ 、符号長64800の検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[図118]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119]符号化率 $1/3$ 、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。

る。

[図120]符号化率 $2/5$ 、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121]符号化率 $1/2$ 、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122]符号化率 $3/5$ 、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123]符号化率 $3/5$ 、符号長16200の検査行列初期値テーブルの他の例を示す図である。

[図124]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125]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図126]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図127]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図128]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図129]BERのシミュレーション結果を示す図である。

[図130]BERのシミュレーション結果を示す図である。

[図131]BERのシミュレーション結果を示す図である。

[図132]BERのシミュレーション結果を示す図である。

[図133]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図134]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図135]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図136]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図137]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図138]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図139]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図140]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図141]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図142]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。



[図143]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図144]符号ビットの入れ替えの例を示す図である。

[図145]デインターリーバ53を構成するマルチプレクサ54の処理を説明する図である。

。

[図146]カラムツイストデインターリーバ55の処理を説明する図である。

[図147]受信装置12の他の構成例を示すブロック図である。

[図148]受信装置12に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149]受信装置12に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150]受信装置12に適用可能な受信システムの第3の構成例を示すブロック図である。

[図151]符号長64800、符号化率2/3の提案符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、符号ビットグループとシンボルビットグループとを示す図である。

[図152]符号長64800、符号化率2/3の提案符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、割り当てルールを示す図である。

[図153]符号長64800、符号化率2/3の提案符号を256QAMで変調し、倍数bが2である場合の、割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えを示す図である。

[図154]提案符号について、適切方式の入れ替え処理を行った場合と、規格符号について、現行方式の入れ替え処理を行った場合のBERを示す図である。

[図155]提案符号について、適切方式の入れ替え処理を行った場合と、現行方式の入れ替え処理を行った場合のBERを示す図である。

## 符号の説明

- [0056] 11 送信装置, 12 受信装置, 21 LDPC符号化部, 22 ビットインターリーバ, 23 パリティインターリーバ, 24 カラムツイストインターリーバ, 25 デマルチプレクサ, 26 マッピング部, 27 直交変調部, 31 メモリ, 32 入れ替え部, 51 直交復調部, 52 デマッピング部, 53 デインターリーバ, 54 マルチプレクサ, 55 カラムツイストデインターリーバ, 56 LDPC復号部, 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 受信データ並べ替え部, 311 復号データ並べ替え部, 601 符号化処理部, 602 記憶部, 611 符号化率設定部, 612 初期値テーブル読み出し部, 613 検査行列生成部, 614 情報ビット読み出し部, 615 符号化パリティ演算部, 616 制御部, 701 バス, 702 CPU, 703 ROM, 704 RAM, 705 ハードディスク, 706 出力部, 707 入力部, 708 通信部, 709 ドライブ, 710 入出力インタフェース, 711 リムーバブル記録媒体, 1001 逆入れ替え部, 1002 メモリ, 1011 パリティデインターリーバ, 1021 LDPC復号部, 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

発明を実施するための最良の形態

[0057] 図7は、本発明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している。

[0058] 図7において、伝送システムは、送信装置11と受信装置12とから構成される。

[0059] 送信装置11は、例えば、テレビジョン放送番組の送信(放送)(伝送)を行う。すなわち、送信装置11は、例えば、テレビジョン放送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、CATV網、インターネット等のネットワーク等の通信路13を介して送信する。

[0060] 受信装置12は、例えば、テレビジョン放送番組を受信するチューナや、テレビジョン受像機、STB(Set Top Box)、IPTV(Internet Protocol Television)を受信するPC(Personal Computer)等であり、送信装置11から通信路13を介して送信されてくるLDPC符号を受信し、対象データに復号して出力する。

[0061] 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。

- [0062] しかしながら、地上波等の通信路13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、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)場合がある。
- [0063] また、フラッタ(flutter)(遅延が0でドップラ(dopper)周波数の掛かったechoが加算される通信路)でも、D/Uが0dBである場合には、ドップラ周波数によって、特定の時刻のOFDMのシンボル全体のパワーが0になる(erasure)場合が生じる。
- [0064] 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。
- [0065] 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、前述の図5に示したように、LDPC符号の符号ビット(の受信値 $u_{oi}$ )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。
- [0066] 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。
- [0067] 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。

[0068] そこで、図7の伝送システムでは、AWGN通信路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ようになっている。

[0069] 図8は、図7の送信装置11の構成例を示している。

[0070] 図8において、送信装置11は、LDPC符号化部21、ビットインターリーバ22、マッピング部26、及び直交変調部27から構成される。

[0071] LDPC符号化部21には、対象データが供給される。

[0072] LDPC符号化部21は、そこに供給される対象データについて、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構造になっている検査行列に従ったLDPC符号化を行い、対象データを情報ビットとするLDPC符号を出力する。

[0073] すなわち、LDPC符号化部21は、対象データを、例えば、DVB-S.2、又はDVB-T.2の規格に規定されている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。

[0074] ここで、DVB-T.2の規格では、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号が採用される予定である。DVB-S.2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。

[0075] LDPC符号化部21が出力するLDPC符号は、ビットインターリーバ22に供給される。

[0076] ビットインターリーバ22は、データをインターリーブするデータ処理装置であり、パリティインターリーバ(parity interleaver)23、カラムツイストインターリーバ(column twist interleaver)24、及びデマルチプレクサ(DEMUX)25から構成される。

[0077] パリティインターリーバ23は、LDPC符号化部21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、カラムツイストインターリーバ24に供給する。

- [0078] カラムツイストインターリーブ24は、パリティインターリーブ23からのLDPC符号について、カラムツイストインターリーブを行い、そのカラムツイストインターリーブ後のLDPC符号を、デマルチプレクサ25に供給する。
- [0079] すなわち、LDPC符号は、後述するマッピング部26において、そのLDPC符号の2ビット以上の符号ビットを、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送信される。
- [0080] カラムツイストインターリーブ24では、LDPC符号化部21で用いられる検査行列の任意の1行にある1に対応するLDPC符号の複数の符号ビットが、1つのシンボルに含まれないように、パリティインターリーブ23からのLDPC符号の符号ビットを並び替える並び替え処理として、例えば、後述するようなカラムツイストインターリーブが行われる。
- [0081] デマルチプレクサ25は、カラムツイストインターリーブ24からのLDPC符号について、シンボルとなるLDPC符号の2以上の符号ビットの位置を入れ替える入れ替え処理を行うことで、AWGNに対する耐性を強化したLDPC符号を得る。そして、デマルチプレクサ25は、入れ替え処理によって得られる、LDPC符号の2以上の符号ビットを、シンボルとして、マッピング部26に供給する。
- [0082] マッピング部26は、デマルチプレクサ25からのシンボルを、直交変調部27で行われる直交変調(多値変調)の変調方式で定める各信号点にマッピングする。
- [0083] すなわち、マッピング部26は、デマルチプレクサ25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(IQコンスタレーション)上の、変調方式で定める信号点にマッピングする。
- [0084] ここで、直交変調部27で行われる直交変調の変調方式としては、例えば、DVB-Tの規格に規定されている変調方式を含む変調方式、すなわち、例えば、QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)や、16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM等がある。直交変調部27において、いずれの変調方式による直交変調が行われるかは、例えば、送信装置11のオペレータの操作に従って、あらかじめ設定される。なお、直交変調部27では、その他、例えば、4PAM(Pulse Amplitude Modulation)その他の直交変調を行うことが可能である。

[0085] マッピング部26で信号点にマッピングされたシンボルは、直交変調部27に供給される。

[0086] 直交変調部27は、マッピング部26からの信号点(にマッピングされたシンボル)に従い、搬送波の直交変調を行い、その結果得られる変調信号を、通信路13(図7)を介して送信する。

[0087] 次に、図9は、図8のLDPC符号化部21でLDPC符号化に用いられる検査行列 $H$ を示している。

[0088] 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 $H = [H_A \mid H_T]$ (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。

[0089] ここで、1個のLDPC符号(1符号語)の符号ビットのうちの情報ビットのビット数と、パリティビットのビット数を、それぞれ、情報長 $K$ と、パリティ長 $M$ というとともに、1個のLDPC符号の符号ビットのビット数を、符号長 $N(=K+M)$ という。

[0090] ある符号長 $N$ のLDPC符号についての情報長 $K$ とパリティ長 $M$ は、符号化率によって決まる。また、検査行列 $H$ は、行×列が $M \times N$ の行列となる。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。

[0091] 図10は、DVB-S.2(及びDVB-T.2)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 $H_T$ を示している。

[0092] DVB-S.2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10に示すように、1の要素が、いわば階段状に並ぶ階段構造になっている。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。

[0093] 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。

[0094] すなわち、LDPC符号(1符号語)を、行ベクトル $c$ で表すとともに、その行ベクトルを転置して得られる列ベクトルを、 $c^T$ と表す。また、LDPC符号である行ベクトル $c$ のうちの、情報ビットの部分、行ベクトル $A$ で表すとともに、パリティビットの部分、行ベク

トルTで表すこととする。

[0095] ここで、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。

[0096] 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10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。

[0097] 図11は、DVB-S.2(及びDVB-T.2)の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hと、列重みとを示している。

[0098] すなわち、図11のAは、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hを示している。

[0099] 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。

[0100] ここで、 $KX + K3 + M - 1 + 1$ は、符号長Nに等しい。

[0101] DVB-S.2の規格において、列数KX、K3、及びM(パリティ長)、並びに、列重みXは、図11のBに示すように規定されている。

[0102] すなわち、図11のBは、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号の各符号化率についての、列数KX、K3、及びM、並びに、列重みXを示している。

[0103] DVB-S.2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。

[0104] そして、図11のBに示すように、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。

[0105] 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ことが知られている。

[0106] 図11に示した、DVB-S.2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。

[0107] 次に、図12は、図8の直交変調部27で16QAMが行われる場合の、16個のシンボル(に対応する信号点)のIQ平面上の配置を示している。

[0108] すなわち、図12のAは、16QAMのシンボルを示している。

[0109] 16QAMでは、1シンボルは、4ビットで表され、 $16(=2^4)$ 個のシンボルが存在する。そして、16個のシンボルは、IQ平面の原点を中心として、I方向×Q方向が $4 \times 4$ の正方形形状となるように配置されている。

[0110] いま、1シンボルが表すビット列の、最上位ビットから $i+1$ ビット目のビットを、ビット $y_i$ と表すこととすると、16QAMの1シンボルが表す4ビットは、最上位ビットから順に、ビット $y_0, y_1, y_2, y_3$ と表すことができる。変調方式が16QAMの場合には、LDPC符号の符号ビットの4ビットが、4ビット $y_0$ ないし $y_3$ のシンボル(シンボル値)に(シンボル化)される。

[0111] 図12のBは、16QAMのシンボルが表す4ビット(以下、シンボルビットともいう) $y_0$ ないし $y_3$ それぞれについてのビット境界を示している。

[0112] ここで、シンボルビット $y_i$ (図12では、 $i=0,1,2,3$ )についてのビット境界とは、そのシンボルビット $y_i$ が0になっているシンボルと、1になっているシンボルとの境界を意味する。

[0113] 図12のBに示すように、16QAMのシンボルが表す4シンボルビット $y_0$ ないし $y_3$ のうちの最上位のシンボルビット $y_0$ については、IQ平面のQ軸の1箇所だけがビット境界となり、2番目(最上位ビットから2番目)のシンボルビット $y_1$ については、IQ平面のI軸の1箇所だけがビット境界となる。

[0114] また、3番目のシンボルビット $y_2$ については、 $4 \times 4$ 個のシンボルのうちの、左から1列目と2列目との間、及び3列目と4列目との間の2箇所が、ビット境界となる。

[0115] さらに、4番目のシンボルビット $y_3$ については、 $4 \times 4$ 個のシンボルのうちの、上から1行目と2行目との間、及び3行目と4行目との間の2箇所が、ビット境界となる。



- [0116] シンボルが表すシンボルビット $y_i$ は、ビット境界から離れているシンボルが多いほど、誤りにくく(エラー確率が低く)、ビット境界に近いシンボルが多いほど、誤りやすい(エラー確率が高い)。
- [0117] いま、誤りにくい(エラーに強い)ビットを、「強いビット」というとともに、誤りやすい(エラーに弱い)ビットを、「弱いビット」ということとすると、16QAMのシンボルの4シンボルビット $y_0$ ないし $y_3$ については、最上位のシンボルビット $y_0$ 、及び2番目のシンボルビット $y_1$ が強いビットになっており、3番目のシンボルビット $y_2$ 、及び4番目のシンボルビット $y_3$ が弱いビットになっている。
- [0118] 図13ないし図15は、図8の直交変調部27で64QAMが行われる場合の、64個のシンボル(に対応する信号点)のIQ平面上の配置を示している。
- [0119] 64QAMでは、1シンボルは、6ビットを表し、 $64(=2^6)$ 個のシンボルが存在する。そして、64個のシンボルは、IQ平面の原点を中心として、I方向×Q方向が $8 \times 8$ の正方形形状となるように配置されている。
- [0120] 64QAMの1シンボルのシンボルビットは、最上位ビットから順に、ビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ と表すことができる。変調方式が64QAMの場合には、LDPC符号の符号ビットの6ビットは、6ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_5$ のシンボルにされる。
- [0121] ここで、図13は、64QAMのシンボルのシンボルビット $y_0$ ないし $y_5$ のうちの、最上位のシンボルビット $y_0$ と、2番目のシンボルビット $y_1$ それぞれについてのビット境界を、図14は、3番目のシンボルビット $y_2$ と、4番目のシンボルビット $y_3$ それぞれについてのビット境界を、図15は、5番目のシンボルビット $y_4$ と、6番目のシンボルビット $y_5$ それぞれについてのビット境界を、それぞれ示している。
- [0122] 図13に示すように、最上位のシンボルビット $y_0$ と、2番目のシンボルビット $y_1$ それぞれについてのビット境界は、1箇所になっている。また、図14に示すように、3番目のシンボルビット $y_2$ と、4番目のシンボルビット $y_3$ それぞれについてのビット境界は、2箇所になっており、図15に示すように、5番目のシンボルビット $y_4$ と、6番目のシンボルビット $y_5$ それぞれについてのビット境界は、4箇所になっている。
- [0123] したがって、64QAMのシンボルのシンボルビット $y_0$ ないし $y_5$ については、最上位シンボルビット $y_0$ 、及び2番目のシンボルビット $y_1$ が、強いビットになっており、3番目のシン

ボルビット $y_2$ 、及び4番目のシンボルビット $y_3$ が、その次に強いビットになっている。そして、5番目のシンボルビット $y_4$ と、6番目のシンボルビット $y_5$ は、弱いビットになっている。

[0124] 図12、さらには、図13ないし図15から、直交変調のシンボルのシンボルビットについては、上位ビットが強いビットとなり、下位ビットが弱いビットになる傾向があることが分かる。

[0125] ここで、図11で説明したように、LDPC符号化部21(図8)が出力するLDPC符号については、エラーに強い符号ビットと、エラーに弱い符号ビットがある。

[0126] また、図12ないし図15で説明したように、直交変調部27で行われる直交変調のシンボルのシンボルビットについては、強いビットと弱いビットがある。

[0127] したがって、LDPC符号の、エラーに弱い符号ビットを、直交変調のシンボルの、弱いシンボルビットに割り当てると、全体として、エラーに対する耐性が低下する。

[0128] そこで、LDPC符号の、エラーに弱い符号ビットを、直交変調のシンボルの、強いビット(シンボルビット)に割り当てる傾向で、LDPC符号の符号ビットをインターリーブするインターリーバが提案されている。

[0129] 図8のデマルチプレクサ25は、そのインターリーバの処理を行うことができる。

[0130] 図16は、図8のデマルチプレクサ25の処理を説明する図である。

[0131] すなわち、図16のAは、デマルチプレクサ25の機能的な構成例を示している。

[0132] デマルチプレクサ25は、メモリ31及び入れ替え部32から構成される。

[0133] メモリ31には、LDPC符号化部21からのLDPC符号が供給される。

[0134] メモリ31は、ロウ(row)(横)方向にmbビットを記憶するとともに、カラム(column)(縦)方向にN/(mb)ビットを記憶する記憶容量を有し、そこに供給されるLDPC符号の符号ビットを、カラム方向に書き込み、ロウ方向に読み出して、入れ替え部32に供給する。

[0135] ここで、N(=情報長K+パリティ長M)は、上述したように、LDPC符号の符号長を表す。

[0136] また、mは、1シンボルとなるLDPC符号の符号ビットのビット数を表し、bは所定の正の整数で、mを整数倍するのに用いられる倍数である。デマルチプレクサ25は、上述

したように、LDPC符号の符号ビットをシンボルとする(シンボル化する)が、倍数 $b$ は、デマルチプレクサ25が、いわば一度のシンボル化によって得るシンボルの個数を表す。

[0137] 図16のAは、変調方式が64QAMである場合のデマルチプレクサ25の構成例を示しており、したがって、1シンボルとなるLDPC符号の符号ビットのビット数 $m$ は、6ビットである。

[0138] また、図16のAでは、倍数 $b$ は1になっており、したがって、メモリ31は、カラム方向×ロウ方向が $N/(6 \times 1) \times (6 \times 1)$ ビットの記憶容量を有する。

[0139] ここで、メモリ31の、ロウ方向が1ビットの、カラム方向に延びる記憶領域を、以下、適宜、カラムという。図16のAでは、メモリ31は、 $6(=6 \times 1)$ 個のカラムから構成される。

[0140] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットを、メモリ31を構成するカラムの上から下方向(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。

[0141] そして、符号ビットの書き込みが、最も右のカラムの一番下まで終了すると、メモリ31を構成するすべてのカラムの1行目から、ロウ方向に、6ビット( $mb$ ビット)単位で、符号ビットが読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0142] 入れ替え部32は、メモリ31からの6ビットの符号ビットの位置を入れ替える入れ替え処理を行い、その結果得られる6ビットを、64QAMの1シンボルを表す6シンボルビット  $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  として出力する。

[0143] すなわち、メモリ31からは、ロウ方向に、 $mb$ ビット(ここでは、6ビット)の符号ビットが読み出されるが、その、メモリ31から読み出される $mb$ ビットの符号ビットの、最上位ビットから $i$ ビット目を( $i=0, 1, \dots, mb-1$ )、ビット $b_i$ と表すこととすると、メモリ31からロウ方向に読み出される6ビットの符号ビットは、最上位ビットから順に、ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ と表すことができる。

[0144] 図11で説明した列重みの関係で、ビット $b_0$ の方向にある符号ビットは、エラーに強い符号ビットになっており、ビット $b_5$ の方向にある符号ビットは、エラーに弱い符号ビットになっている。

[0145] 入れ替え部32では、メモリ31からの6ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_5$ のうちの、エラー

に弱い符号ビットが、64QAMの1シンボルのシンボルビット $y_0$ ないし $y_5$ のうちの、強いビットに割り当てられるように、メモリ31からの6ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_5$ の位置を入れ替える入れ替え処理を行うことができる。

[0146] ここで、メモリ31からの6ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_5$ をどのように入れ替えて、64QAMの1シンボルを表す6シンボルビット $y_0$ ないし $y_5$ のそれぞれに割り当てるかの入れ替え方式としては、各社から、様々な方式が提案されている。

[0147] 図16のBは、第1の入れ替え方式を、図16のCは、第2の入れ替え方式を、図16のDは、第3の入れ替え方式を、それぞれ示している。

[0148] 図16のBないし図16のDにおいて(後述する図17においても同様)、ビット $b_i$ と $y_j$ とを結ぶ線分は、符号ビット $b_i$ を、シンボルのシンボルビット $y_j$ に割り当てる(シンボルビット $y_j$ の位置に入れ替える)ことを意味する。

[0149] 第1の入れ替え方式としては、図16のBの3種類の入れ替え方のうちのいずれか1つを採用することが提案されており、第2の入れ替え方式としては、図16のCの2種類の入れ替え方のうちのいずれか1つを採用することが提案されている。

[0150] 第3の入れ替え方式としては、図16のDの6種類の入れ替え方を順番に選択して用いることが提案されている。

[0151] 図17は、変調方式が64QAMであり(したがって、1シンボルにマッピングされるLDPC符号の符号ビットのビット数 $m$ は、図16と同様に6ビットである)、かつ、倍数 $b$ が2の場合のデマルチプレクサ25の構成例と、第4の入れ替え方式を示している。

[0152] 倍数 $b$ が2である場合、メモリ31は、カラム方向×ロウ方向が $N/(6 \times 2) \times (6 \times 2)$ ビットの記憶容量を有し、 $12(=6 \times 2)$ 個のカラムから構成される。

[0153] 図17のAは、メモリ31へのLDPC符号の書き込み順を示している。

[0154] デマルチプレクサ25では、図16で説明したように、LDPC符号の符号ビットを、メモリ31を構成するカラムの上から下方向(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。

[0155] そして、符号ビットの書き込みが、最も右のカラムの一番下まで終了すると、メモリ31を構成するすべてのカラムの1行目から、ロウ方向に、12ビット( $mb$ ビット)単位で、符号ビットが読み出され、入れ替え部32に供給される。

- [0156] 入れ替え部32は、メモリ31からの12ビットの符号ビットの位置を、第4の入れ替え方式で入れ替える入れ替え処理を行い、その結果得られる12ビットを、64QAMの2シンボル(b個のシンボル)を表す12ビット、つまり、64QAMの1シンボルを表す6シンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ と、次の1シンボルを表す6シンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ として出力する。
- [0157] ここで、図17のBは、図17のAの入れ替え部32による入れ替え処理の第4の入れ替え方式を示している。
- [0158] なお、倍数bが2である場合(3以上である場合も同様)、入れ替え処理では、mbビットの符号ビットが、連続するb個のシンボルのmbビットのシンボルビットに割り当てられる。図17を含め、以下では、説明の便宜上、連続するb個のシンボルのmbビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット(シンボルビット) $y_i$ と表す。
- [0159] また、どのような入れ替え方が適切であるか、つまり、AWGN通信路でのエラーレートをより向上させるかは、LDPC符号の符号化率や符号長、変調方式等によって異なる。
- [0160] 次に、図18ないし図20を参照して、図8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。
- [0161] 図18は、LDPC符号の検査行列のタナーグラフ(の一部)を示している。
- [0162] チェックノードは、図18に示すように、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノード(に対応する符号ビット)の2個等の複数が同時にイレージャ等のエラーになると、そのチェックノードに繋がっている全バリエブルノードに、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを戻す。このため、同一のチェックノードに繋がっている複数のバリエブルノードが同時にイレージャ等になると、復号の性能が劣化する。
- [0163] ところで、図8のLDPC符号化部21が出力する、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号は、IRA符号であり、検査行列Hのパリティ行列 $H_T$ は、図10に示したように、階段構造になっている。
- [0164] 図19は、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を示している。
- [0165] すなわち、図19のAは、階段構造になっているパリティ行列 $H_T$ を示しており、図19

のBは、図19のAのパリティ行列 $H_T$ に対応するタナグラフを示している。

[0166] パリティ行列 $H_T$ が階段構造になっている場合、そのパリティ行列 $H_T$ のタナグラフにおいて、LDPC符号の、パリティ行列 $H_T$ の値が1になっている要素の列に対応する、隣接する符号ビット(パリティビット)を用いてメッセージが求められるバリエブルノードは、同一のチェックノードに繋がっている。

[0167] 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複数のパリティビットそれぞれに対応する複数のバリエブルノード(パリティビットを用いてメッセージを求めるバリエブルノード)に繋がっているチェックノードは、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノードに戻すため、復号の性能が劣化する。そして、バースト長(バーストによってエラーとなるビット数)が大である場合には、復号の性能は、さらに劣化する。

[0168] そこで、パリティインターリーブ23(図8)は、上述した復号の性能の劣化を防止するため、LDPC符号化部21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。

[0169] 図20は、図8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 $H_T$ を示している。

[0170] ここで、LDPC符号化部21が出力する、DVB-S.2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 $H_A$ は、巡回構造になっている。

[0171] 巡回構造とは、ある列が、他の列をサイクリックシフト(ローテーション)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、巡回構造の単位の列数という。

[0172] LDPC符号化部21が出力する、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号としては、図11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符号がある。

[0173] いま、符号長Nが64800ビットと16200ビットの2種類のLDPC符号のうちの、符号長N

が64800ビットのLDPC符号に注目すると、その符号長Nが64800ビットのLDPC符号の符号化率は、図11で説明したように、11個ある。

[0174] この11個の符号化率それぞれの、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、いずれについても、DVB-S.2の規格では、巡回構造の単位の列数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。

[0175] また、11個の符号化率それぞれの、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、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、巡回構造の単位の列数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、巡回構造の単位の列数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)。

[0176] 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、LDPC符号化部21からのLDPC符号のK+1ないしK+M(=N)番目の符号ビットであるパリティビットのうちの、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。

[0177] 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アブルノード(に対応するパリティビット)が、巡回構造の単位の列数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ア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。

[0178] なお、K+qx+y+1番目の符号ビットを、K+Py+x+1番目の符号ビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブ後のLDPC符号は、元の検査行列Hの、K+qx+y+1番目の列を、K+Py+x+1番目の列に置換する列置換を行って得られる検査行列(以下、変換検査行列ともいう)のLDPC符号に一致する。

[0179] また、変換検査行列のパリティ行列には、図20に示すように、P列(図20では、360列)を単位とする擬似巡回構造が現れる。

[0180] 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。DVB-S.2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、その右隅部分の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)、そのために、(完全な)巡回構造ではなく、擬似巡回構造になっている。

[0181] なお、図20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。

[0182] 次に、図21ないし図24を参照して、図8のカラムツイストインターリーブ24による並び替え処理としてのカラムツイストインターリーブについて説明する。

[0183] 図8の送信装置11では、周波数の利用効率の向上のために、上述したように、LDPC符号の符号ビットの2ビット以上を、1個のシンボルとして送信する。すなわち、例えば、符号ビットの2ビットを1個のシンボルとする場合には、変調方式として、例えば、QPSKが用いられ、符号ビットの4ビットを1個のシンボルとする場合には、変調方式として、例えば、16QAMが用いられる。

[0184] このように、符号ビットの2ビット以上を、1個のシンボルとして送信する場合、あるシンボルに、イレージャ等が発生すると、そのシンボルの(シンボルビットに割り当てられた)符号ビットは、すべてエラー(イレージャ)になる。

[0185] したがって、復号の性能を向上させるために、同一のチェックノードに繋がっているバリアブルノード(に対応する符号ビット)の複数が同時にイレージャになる確率を低下させるには、1個のシンボルの符号ビットに対応するバリアブルノードが、同一のチェックノードに繋がることを避ける必要がある。

[0186] 一方、上述したように、LDPC符号化部21が出力する、DVB-S.2の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hでは、情報行列 $H_A$ が巡回構造を有し、パリティ行列 $H_T$ が階段構造を有している。そして、図20で説明したように、パリティインターリーブ後のLDPC符号の検査行列である変換検査行列では、パリティ行列にも巡回構造(正確には、上述したように、擬似巡回構造)が現れる。

[0187] 図21は、変換検査行列を示している。

[0188] すなわち、図21のAは、符号長Nが64800ビットで、符号化率(r)が3/4のLDPC符号



の検査行列Hの変換検査行列を示している。

[0189] 図21のAでは、変換検査行列において、値が1になっている要素の位置が、点(・)で示されている。

[0190] 図21のBは、図21のAの変換検査行列のLDPC符号、つまり、パリティインターリーブ後のLDPC符号を対象として、デマルチプレクサ25(図8)が行う処理を示している。

[0191] 図21のBでは、変調方式を16QAMとして、デマルチプレクサ25のメモリ31を構成する4カラムに、パリティインターリーブ後のLDPC符号の符号ビットが、カラム方向に書き込まれている。

[0192] メモリ31を構成する4カラムに、カラム方向に書き込まれた符号ビットは、ロウ方向に、4ビット単位で読み出され、1シンボルとなる。

[0193] この場合、1シンボルとなる4ビットの符号ビット $B_0, B_1, B_2, B_3$ は、図21のAの変換検査行列の、任意の1行にある1に対応する符号ビットとなっていることがあり、この場合、その符号ビット $B_0, B_1, B_2, B_3$ それぞれに対応するバリエブルノードは、同一のチェックノードに繋がっている。

[0194] したがって、1シンボルの4ビットの符号ビット $B_0, B_1, B_2, B_3$ が、変換検査行列の任意の1行にある1に対応する符号ビットとなっている場合には、そのシンボルに、エラーが発生すると、符号ビット $B_0, B_1, B_2, B_3$ それぞれに対応するバリエブルノードが繋がっている同一のチェックノードにおいて、適切なメッセージを求めることができず、その結果、復号の性能が劣化する。

[0195] 符号化率が3/4以外の符号化率についても、同様に、同一のチェックノードに繋がっている複数のバリエブルノードに対応する複数の符号ビットが、16QAMの1個のシンボルとされることがある。

[0196] そこで、カラムツイストインターリーブ24は、変換検査行列の任意の1行にある1に対応する複数の符号ビットが、1個のシンボルに含まれないように、パリティインターリーブ23からのパリティインターリーブ後のLDPC符号の符号ビットをインターリーブするカラムツイストインターリーブを行う。

[0197] 図22は、カラムツイストインターリーブを説明する図である。

[0198] すなわち、図22は、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)を示している。

[0199] メモリ31は、図16で説明したように、カラム(縦)方向にmbビットを記憶するとともに、ロウ(横)方向に $N/(mb)$ ビットを記憶する記憶容量を有し、mb個のカラムから構成される。そして、カラムツイストインターリーバ24は、メモリ31に対して、LDPC符号の符号ビットを、カラム方向に書き込み、ロウ方向に読み出すときの書き始めの位置を制御することで、カラムツイストインターリーブを行う。

[0200] すなわち、カラムツイストインターリーバ24では、複数のカラムそれぞれについて、符号ビットの書き込みを開始する書き始めの位置を、適宜変更することで、ロウ方向に読み出される、1シンボルとされる複数の符号ビットが、変換検査行列の任意の1行にある1に対応する符号ビットにならないようにする(検査行列の任意の1行にある1に対応する複数の符号ビットが、同一のシンボルに含まれないように、LDPC符号の符号ビットを並び替える)。

[0201] ここで、図22は、変調方式が16QAMであり、かつ、図16で説明した倍数bが1である場合の、メモリ31の構成例を示している。したがって、1シンボルにされるLDPC符号の符号ビットのビット数mは、4ビットであり、また、メモリ31は、4(=mb)個のカラムで構成されている。

[0202] カラムツイストインターリーバ24は、(図16のデマルチプレクサ25に代わり)LDPC符号の符号ビットを、メモリ31を構成する4個のカラムの上から下方向(カラム方向)に書き込むことを、左から右方向のカラムに向かって行う。

[0203] そして、符号ビットの書き込みが、最も右のカラムまで終了すると、カラムツイストインターリーバ24は、メモリ31を構成するすべてのカラムの1行目から、ロウ方向に、4ビット(mbビット)単位で、符号ビットを読み出し、カラムツイストインターリーブ後のLDPC符号として、デマルチプレクサ25の入れ替え部32(図16、図17)に出力する。

[0204] 但し、カラムツイストインターリーバ24では、各カラムの先頭(一番上)の位置のアドレスを0として、カラム方向の各位置のアドレスを、昇順の整数で表すこととすると、最も左のカラムについては、書き始めの位置を、アドレスが0の位置とし、(左から)2番目のカラムについては、書き始めの位置を、アドレスが2の位置とし、3番目のカラムについては、書き始めの位置を、アドレスが4の位置とし、4番目のカラムについては、

書き始めの位置を、アドレスが7の位置とする。

- [0205] なお、書き始めの位置が、アドレスが0の位置以外の位置のカラムについては、符号ビットを、最も下の位置まで書き込んだ後は、先頭(アドレスが0の位置)に戻り、書き始めの位置の直前の位置までの書き込みが行われる。そして、その後、次(右)のカラムへの書き込みが行われる。
- [0206] 以上のようなカラムツイストインターリーブを行うことにより、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800の全ての符号化率のLDPC符号について、同一のチェックノードに繋がっている複数のバリエブルノードに対応する複数の符号ビットが、16QAMの1個のシンボルとされること(同一のシンボルに含まれること)を回避することができる。その結果、イレイジャのある通信路での復号の性能を向上させることができる。
- [0207] 図23は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800の、11個の符号化率それぞれのLDPC符号について、カラムツイストインターリーブに必要なメモリ31のカラム数と、書き始めの位置のアドレスを、変調方式ごとに示している。
- [0208] 倍数bが1であり、かつ、変調方式として、例えば、QPSKが採用されることによって、1シンボルのビット数mが、2ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $2 \times 1 (=mb)$ ビットを記憶する2個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (2 \times 1)$ ビットを記憶する。
- [0209] そして、メモリ31の2個のカラムのうちの1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、それぞれされる。
- [0210] なお、例えば、デマルチプレクサ25(図8)の入れ替え処理の入れ替え方式として、図16の第1ないし第3の入れ替え方式のうちのいずれかが採用される場合等に、倍数bは1となる。
- [0211] 倍数bが2であり、かつ、変調方式として、例えば、QPSKが採用されることによって、1シンボルのビット数mが、2ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $2 \times 2$ ビットを記憶する4個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (2 \times 2)$ ビットを記憶する。
- [0212] そして、メモリ31の4個のカラムのうちの1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレ

スが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0213] なお、例えば、デマルチプレクサ25(図8)の入れ替え処理の入れ替え方式として、図17の第4の入れ替え方式が採用される場合等に、倍数 $b$ は2となる。

[0214] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、16QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、4ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $4 \times 1$ ビットを記憶する4個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (4 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0215] そして、メモリ31の4個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0216] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、16QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、4ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $4 \times 2$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (4 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0217] そして、メモリ31の8個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0218] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、64QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、6ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $6 \times 1$ ビットを記憶する6個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (6 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0219] そして、メモリ31の6個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが13の位置と、それぞれされる。

[0220] 倍数bが2であり、かつ、変調方式として、例えば、64QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数mが、6ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $6 \times 2$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (6 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0221] そして、メモリ31の12個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、それぞれされる。

[0222] 倍数bが1であり、かつ、変調方式として、例えば、256QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数mが、8ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $8 \times 1$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (8 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0223] そして、メモリ31の8個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、7番目のカラムの書き

始めの位置は、アドレスが7の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0224] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、256QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、8ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (8 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0225] そして、メモリ31の16個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが15の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが16の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが22の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが22の位置と、13番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが27の位置と、14番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが27の位置と、15番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが28の位置と、16番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが32の位置と、それぞれされる。

[0226] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、1024QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、10ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $10 \times 1$ ビットを記憶する10個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (10 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0227] そして、メモリ31の10個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが6の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが11の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが13の位置と、7番目のカラム

の書き始めの位置は、アドレスが15の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが17の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが18の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、それぞれされる。

[0228] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、1024QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、10ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $10 \times 2$ ビットを記憶する20個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (10 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0229] そして、メモリ31の20個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが6の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが6の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが13の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが14の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが14の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが16の位置と、13番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが21の位置と、14番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが21の位置と、15番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが23の位置と、16番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが25の位置と、17番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが25の位置と、18番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが26の位置と、19番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが28の位置と、20番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが30の位置と、それぞれされる。

[0230] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、4096QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、12ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $12 \times 1$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (12 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0231] そして、メモリ31の12個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、ア

ドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、それぞれされる。

[0232] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、4096QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、12ビットである場合、図23によれば、メモリ31は、ロウ方向に $12 \times 2$ ビットを記憶する24個のカラムを有し、カラム方向に $64800 / (12 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0233] そして、メモリ31の24個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが12の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが13の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが16の位置と、13番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが17の位置と、14番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが19の位置と、15番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが21の位置と、16番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが22の位置と、17番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが23の位置と、18番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが26の位置と、19番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが37の位置と、20番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが39の位置



と、21番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが40の位置と、22番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが41の位置と、23番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが41の位置と、24番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが41の位置と、それぞれされる。

[0234] 図24は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が16200の、10個の符号化率それぞれのLDPC符号について、カラムツイストインターリーブに必要なメモリ31のカラム数と、書き始めの位置のアドレスを、変調方式ごとに示している。

[0235] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、QPSKが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、2ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $2 \times 1$ ビットを記憶する2個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (2 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0236] そして、メモリ31の2個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、それぞれされる。

[0237] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、QPSKが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、2ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $2 \times 2$ ビットを記憶する4個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (2 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0238] そして、メモリ31の4個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、それぞれされる。

[0239] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、16QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、4ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $4 \times 1$ ビットを記憶する4個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (4 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0240] そして、メモリ31の4個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、3番目

のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、それぞれされる。

[0241] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、16QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、4ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $4 \times 2$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (4 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0242] そして、メモリ31の8個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが21の位置と、それぞれされる。

[0243] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、64QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、6ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $6 \times 1$ ビットを記憶する6個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (6 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0244] そして、メモリ31の6個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0245] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、64QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、6ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $6 \times 2$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (6 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0246] そして、メモリ31の12個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番

目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが6の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0247] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、256QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、8ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $8 \times 1$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (8 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0248] そして、メモリ31の8個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが20の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが21の位置と、それぞれされる。

[0249] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、1024QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、10ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $10 \times 1$ ビットを記憶する10個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (10 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0250] そして、メモリ31の10個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、7番目のカラムの書

き始めの位置は、アドレスが4の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが4の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0251] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、1024QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、10ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $10 \times 2$ ビットを記憶する20個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (10 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0252] そして、メモリ31の20個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、13番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが5の位置と、14番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、15番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、16番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、17番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、18番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、19番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが8の位置と、20番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、それぞれされる。

[0253] 倍数 $b$ が1であり、かつ、変調方式として、例えば、4096QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、12ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $12 \times 1$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (12 \times 1)$ ビットを記憶する。

[0254] そして、メモリ31の12個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、ア

ドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが6の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、それぞれされる。

[0255] 倍数 $b$ が2であり、かつ、変調方式として、例えば、4096QAMが採用されることによって、1シンボルのビット数 $m$ が、12ビットである場合、図24によれば、メモリ31は、ロウ方向に $12 \times 2$ ビットを記憶する24個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (12 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0256] そして、メモリ31の24個のカラムのうちの、1番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、2番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、3番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、4番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、5番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、6番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、7番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが0の位置と、8番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、9番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、10番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが1の位置と、11番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、12番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、13番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが2の位置と、14番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが3の位置と、15番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが7の位置と、16番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、17番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、18番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが9の位置と、19番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、20番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、21番目

のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、22番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、23番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが10の位置と、24番目のカラムの書き始めの位置は、アドレスが11の位置と、それぞれされる。

[0257] 次に、図25のフローチャートを参照して、図8の送信装置11で行われる送信処理について説明する。

[0258] LDPC符号化部21は、そこに、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、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22に供給して、処理は、ステップS102に進む。

[0259] ビットインターリーバ22は、ステップS102において、LDPC符号化部21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後のLDPC符号をシンボル化したシンボルを、マッピング部26に供給して、処理は、ステップS103に進む。

[0260] すなわち、ステップS102では、ビットインターリーバ22において、パリティインターリーバ23が、LDPC符号化部21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、カラムツイストインターリーバ24に供給する。

[0261] カラムツイストインターリーバ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、カラムツイストインターリーブを行い、デマルチプレクサ25に供給する。

[0262] デマルチプレクサ25は、カラムツイストインターリーバ24によるカラムツイストインターリーブ後のLDPC符号の符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、シンボルのシンボルビット(シンボルを表すビット)とする入れ替え処理を行う。

[0263] ここで、デマルチプレクサ25による入れ替え処理は、図16及び図17に示した第1ないし第4の入れ替え方式に従って行うことができる他、割り当てルールに従って行うことができる。割り当てルールは、LDPC符号の符号ビットを、シンボルを表すシンボルビットに割り当てるためのルールであり、その詳細については、後述する。

[0264] デマルチプレクサ25による入れ替え処理によって得られたシンボルは、デマルチプレクサ25から、マッピング部26に供給される。

- [0265] マッピング部26は、ステップS103において、デマルチプレクサ25からのシンボルを、直交変調部27で行われる直交変調の変調方式で定める信号点にマッピングし、直交変調部27に供給して、処理は、ステップS104に進む。
- [0266] 直交変調部27は、ステップS104において、マッピング部26からの信号点に従い、搬送波の直交変調を行って、処理は、ステップS105に進み、直交変調の結果得られる変調信号を送信して、処理を終了する。
- [0267] なお、図25の送信処理は繰り返しパイプラインで行われる。
- [0268] 以上のように、パリティインターリーブや、カラムツイスト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、イレージャやバースト誤りに対する耐性を向上させることができる。
- [0269] ここで、図8では、説明の便宜のため、パリティインターリーブを行うブロックであるパリティインターリーブ23と、カラムツイストインターリーブを行うブロックであるカラムツイストインターリーブ24とを、別個に構成するようにしたが、パリティインターリーブ23とカラムツイストインターリーブ24とは、一体的に構成することができる。
- [0270] すなわち、パリティインターリーブと、カラムツイスト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。
- [0271] したがって、パリティインターリーブを表す行列と、カラムツイスト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符号をカラムツイストインターリーブした結果を得ることができる。
- [0272] また、パリティインターリーブ23とカラムツイストインターリーブ24に加えて、デマルチプレクサ25も、一体的に構成することが可能である。
- [0273] すなわち、デマルチプレクサ25で行われる入れ替え処理も、LDPC符号を記憶するメモリ31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。
- [0274] したがって、パリティインターリーブを表す行列、カラムツイストインターリーブを表す

行列、及び、入れ替え処理を表す行列を乗算して得られる行列を求めておけば、その行列によって、パリティインターリーブ、カラムツイストインターリーブ、及び、入れ替え処理を、一括して行うことができる。

[0275] なお、パリティインターリーブと、カラムツイストインターリーブとについては、そのうちのいずれか一方だけを行うようにすること、又は、いずれも行わないようにすることが可能である。

[0276] 次に、図26ないし図28を参照して、図8の送信装置11について行った、エラーレート(bit error rate)を計測するシミュレーションについて説明する。

[0277] シミュレーションは、D/Uが0dBのフラッタ(flutter)がある通信路を採用して行った。

[0278] 図26は、シミュレーションで採用した通信路のモデルを示している。

[0279] すなわち、図26のAは、シミュレーションで採用したフラッタのモデルを示している。

[0280] また、図26のBは、図26のAのモデルで表されるフラッタがある通信路のモデルを示している。

[0281] なお、図26のBにおいて、Hは、図26のAのフラッタのモデルを表す。また、図26のBにおいて、Nは、ICI(Inter Carrier Interference)を表し、シミュレーションでは、そのパワーの期待値 $E[N^2]$ を、AWGNで近似した。

[0282] 図27及び図28は、シミュレーションで得られたエラーレートと、フラッタのドップラ周波数 $f_d$ との関係を示している。

[0283] なお、図27は、変調方式が16QAMで、符号化率(r)が3/4で、入れ替え方式が第1の入れ替え方式である場合の、エラーレートとドップラ周波数 $f_d$ との関係を示している。また、図28は、変調方式が64QAMで、符号化率(r)が5/6で、入れ替え方式が第1の入れ替え方式である場合の、エラーレートとドップラ周波数 $f_d$ との関係を示している。

[0284] さらに、図27及び図28において、太線は、パリティインターリーブ、カラムツイストインターリーブ、及び、入れ替え処理のすべてを行った場合の、エラーレートとドップラ周波数 $f_d$ との関係を示しており、細線は、パリティインターリーブ、カラムツイストインターリーブ、及び、入れ替え処理のうちの、入れ替え処理だけを行った場合の、エラーレートとドップラ周波数 $f_d$ との関係を示している。



- [0285] 図27及び図28のいずれにおいても、パリティインターリーブ、カラムツイストインターリーブ、及び、入れ替え処理のすべてを行った場合の方が、入れ替え処理だけを行った場合よりも、エラーレートが向上する(小さくなる)ことが分かる。
- [0286] 次に、図8のLDPC符号化部21について、さらに説明する。
- [0287] 図11で説明したように、DVB-S.2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。
- [0288] そして、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9$ 、及び $9/10$ が規定されており、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6$ 、及び $8/9$ が規定されている(図11のB)。
- [0289] LDPC符号化部21は、このような、符号長Nが64800ビットや16200ビットの各符号化率のLDPC符号による符号化(誤り訂正符号化)を、符号長Nごと、及び符号化率ごとに用意された検査行列Hに従って行う。
- [0290] 図29は、図8のLDPC符号化部21の構成例を示している。
- [0291] LDPC符号化部21は、符号化処理部601と記憶部602とから構成される。
- [0292] 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符号化部21に供給される対象データの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22(図8)に供給する。
- [0293] 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と符号化率とを設定する。
- [0294] 初期値テーブル読み出し部612は、符号化率設定部611が設定した符号長N及び符号化率に対応する、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。
- [0295] 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、符号化率設定部611が設定した符号長N及び符号化率に応じた情報長 $K(= \text{符号長} N - \text{パリティ長} M)$ に対応する情報行列 $H_A$ の1の要素を列方向に360列(巡回構造の単位の列数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。

[0296] 情報ビット読み出し部614は、LDPC符号化部21に供給される対象データから、情報長K分の情報ビットを読み出す(抽出する)。

[0297] 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、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し、符号語(LDPC符号)を生成する。

[0298] 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。

[0299] 記憶部602には、64800ビットと16200ビットとの2通りの符号長Nそれぞれについての、図11に示した複数の符号化率それぞれに対応する複数の検査行列初期値テーブル等が格納されている。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。

[0300] 図30は、図29のLDPC符号化部21の処理を説明するフローチャートである。

[0301] 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を決定(設定)する。

[0302] 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により決定された符号長N及び符号化率rに対応する、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。

[0303] 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により決定された符号長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。

[0304] ステップS204において、情報ビット読み出し部614は、LDPC符号化部21に供給される対象データから、符号化率設定部611により決定された符号長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。

[0305] ステップS205において、符号化パリティ演算部615は、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。

[0306]  $Hc^T=0$

... (8)

[0307] 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。

[0308] ここで、上述したように、LDPC符号(1符号語)としての行ベクトル $c$ のうちの、情報ビットの部分、行ベクトル $A$ で表すとともに、パリティビットの部分、行ベクトル $T$ で表す場合には、行ベクトル $c$ は、情報ビットとしての行ベクトル $A$ と、パリティビットとしての行ベクトル $T$ とによって、式 $c=[A|T]$ で表すことができる。

[0309] 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10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。

[0310] 符号化パリティ演算部615は、情報ビット $A$ に対して、パリティビット $T$ を求めると、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。

[0311] なお、符号語 $c$ は、64800ビット又は16200ビットである。

[0312] 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符号化すべき対象データが、まだある場合、処理は、ステップS201に戻り、以下、ステップS201ないしS206の処理が繰り返される。

[0313] また、ステップS206において、LDPC符号化を終了すると判定された場合、すなわち、例えば、LDPC符号化すべき対象データがない場合、LDPC符号化部21は、処理を終了する。

[0314] 以上のように、各符号長 $N$ 、及び、各符号化率 $r$ に対応する検査行列初期値テーブルが用意されており、LDPC符号化部21は、所定の符号長 $N$ の、所定の符号化率 $r$ のLDPC符号化を、その所定の符号長 $N$ 、及び、所定の符号化率 $r$ に対応する検査行列初期値テーブルから生成される検査行列 $H$ を用いて行う。

- [0315] 検査行列初期値テーブルは、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9)の1の要素の位置を360列(巡回構造の単位の列数 $P$ )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。
- [0316] 図31ないし図58は、DVB-S.2の規格に規定されている検査行列初期値テーブルの幾つかを示している。
- [0317] すなわち、図31は、DVB-S.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 $2/3$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0318] 図32ないし図34は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $2/3$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0319] なお、図33は、図32に続く図であり、図34は、図33に続く図である。
- [0320] 図35は、DVB-S.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 $3/4$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0321] 図36ないし図39は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $3/4$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0322] なお、図37は、図36に続く図であり、図38は、図37に続く図である。また、図39は、図38に続く図である。
- [0323] 図40は、DVB-S.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 $4/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0324] 図41ないし図44は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $4/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0325] なお、図42は、図41に続く図であり、図43は、図42に続く図である。また、図44は、図43に続く図である。
- [0326] 図45は、DVB-S.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 $5/6$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0327] 図46ないし図49は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $5/6$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0328] なお、図47は、図46に続く図であり、図48は、図47に続く図である。また、図49は

、図48に続く図である。

[0329] 図50は、DVB-S.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 $8/9$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0330] 図51ないし図54は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $8/9$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0331] なお、図52は、図51に続く図であり、図53は、図52に続く図である。また、図54は、図53に続く図である。

[0332] 図55ないし図58は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $9/10$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0333] なお、図56は、図55に続く図であり、図57は、図56に続く図である。また、図58は、図57に続く図である。

[0334] 検査行列生成部613(図29)は、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。

[0335] すなわち、図59は、検査行列初期値テーブルから検査行列 $H$ を求める方法を示している。

[0336] なお、図59の検査行列初期値テーブルは、図31に示した、DVB-S.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 $2/3$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0337] 検査行列初期値テーブルは、上述したように、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9)の1の要素の位置を、360列(巡回構造の単位の列数 $P$ )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。

[0338] ここで、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9)は、図19に示したように決まっているので、検査行列初期値テーブルによれば、検査行列 $H$ の、情報長 $K$ に対応する情報行列 $H_A$ (図9)が求められる。

[0339] 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。

[0340] 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。

[0341]  $K=(k+1) \times 360$

... (9)

[0342] ここで、式(9)の360は、図20で説明した巡回構造の単位の列数Pである。

[0343] 図59の検査行列初期値テーブルでは、1行目から3行目までに、13個の数値が並び、4行目からk+1行目(図59では、30行目)までに、3個の数値が並んでいる。

[0344] したがって、図59の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hの列重みは、1列目から、 $1+360 \times (3-1)-1$ 列目までは、13であり、 $1+360 \times (3-1)$ 列目から、K列目までは、3である。

[0345] 図59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。

[0346] また、図59の検査行列初期値テーブルの2行目は、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108となっており、これは、検査行列Hの361( $=1+360 \times (2-1)$ )列目において、行番号が、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108の行の要素が1であることを示している。

[0347] 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。

[0348] 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。

[0349] すなわち、例えば、 $2+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたものとなっており、次の $3+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $2 \times M/360(=2 \times q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの( $2+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの)となっている。

[0350] 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、 $h_{ij}$  と表すとともに、検査行列 $H$ の $w$ 列目の、 $j$ 個目の1の要素の行番号を、 $H_{w-j}$  と表すこととすると、検査行列 $H$ の $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列である $w$ 列目の、1の要素の行番号 $H_{w-j}$  は、式(10)で求めることができる。

$$[0351] \quad H_{w-j} = \text{mod}(h_{ij} + \text{mod}((w-1), P) \times q, M) \quad \dots (10)$$

[0352] ここで、 $\text{mod}(x, y)$ は $x$ を $y$ で割った余りを意味する。

[0353] また、 $P$ は、上述した巡回構造の単位の列数であり、例えば、DVB-S.2の規格では、上述のように、360である。さらに、 $q$ は、パリティ長 $M$ を、巡回構造の単位の列数 $P(=360)$ で除算することにより得られる値 $M/360$ である。

[0354] 検査行列生成部613(図29)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。

[0355] さらに、検査行列生成部613(図29)は、検査行列 $H$ の $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列である $w$ 列目の、1の要素の行番号 $H_{w-j}$  を、式(10)に従って求め、以上により得られた行番号の要素を1とする検査行列 $H$ を生成する。

[0356] ところで、DVB-S.2の規格に規定されている符号化率が $2/3$ のLDPC符号は、エラーフロアが、他の符号化率のLDPC符号に比較して劣っている(高い)ことが知られている。

[0357] ここで、 $S/N(E_s/N_0)$ が高くなるにつれ、誤り率(BER)の低下が鈍り、誤り率が低下しなくなる現象(エラーフロア現象)が生じるが、その、低下しなくなったときの誤り率が、エラーフロアである。

[0358] エラーフロアが高いと、一般に、通信路13(図7)におけるエラーに対する耐性が低下するため、エラーに対する耐性を向上させるための対策を施すことが望ましい。

[0359] エラーに対する耐性を向上させるための対策としては、例えば、デマルチプレクサ25(図8)で行われる入れ替え処理がある。

[0360] 入れ替え処理において、LDPC符号の符号ビットを入れ替える入れ替え方式としては、例えば、上述した第1ないし第4の入れ替え方式があるが、これらの第1ないし第4の入れ替え方式を含む既に提案されている方式よりも、エラーに対する耐性がより向上する方式の提案が要請されている。

[0361] そこで、デマルチプレクサ25(図8)では、図25で説明したように、割り当てルールに従って、入れ替え処理を行うことができるようになっている。

[0362] 以下、割り当てルールに従った入れ替え処理について説明するが、その前に、既に提案されている入れ替え方式(以下、現行方式ともいう)による入れ替え処理について説明する。

[0363] 図60及び図61を参照して、デマルチプレクサ25で、仮に、現行方式で入れ替え処理が行われるとした場合の、その入れ替え処理について説明する。

[0364] 図60は、LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0365] すなわち、図60のAは、LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数bが2である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0366] 変調方式が16QAMである場合、符号ビットの4(=m)ビットが、1個のシンボルとして、16QAMで定める16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。

[0367] さらに、符号長Nが64800ビットで、倍数bが2である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $4 \times 2(=mb)$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(4 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0368] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、64800ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $4 \times 2(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0369] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ を、例えば、図60のAに示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $4 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$ に割り当てるように、 $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0370] すなわち、入れ替え部32は、  
符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、



符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0371] 図60のBは、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が64QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0372] 変調方式が64QAMである場合、符号ビットの $6(=m)$ ビットが、1個のシンボルとして、64QAMで定める64個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。

[0373] さらに、符号長 $N$ が64800ビットで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $6 \times 2(=mb)$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(6 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0374] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、64800ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $6 \times 2(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0375] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $6 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}$ を、例えば、図60のBに示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $6 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}$ に割り当てるように、 $6 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0376] すなわち、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、

符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0377] 図60のCは、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0378] 変調方式が256QAMである場合、符号ビットの $8(=m)$ ビットが、1個のシンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。

[0379] さらに、符号長 $N$ が64800ビットで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $8 \times 2(=mb)$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0380] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、64800ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 2(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0381] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}$ を、例えば、図60のCに示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $8 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}, y_{12}, y_{13}, y_{14}, y_{15}$ に割り当てるように、 $8 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を入れ替える。

[0382] すなわち、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、

符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0383] 図61は、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0384] すなわち、図61のAは、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0385] 変調方式が16QAMである場合、符号ビットの $4(=m)$ ビットが、1個のシンボルとして、16QAMで定める16個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。

[0386] さらに、符号長 $N$ が16200ビットで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $4 \times 2(=mb)$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $16200/(4 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0387] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、16200ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き

込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $4 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0388] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $4 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ を、例えば、図61のAに示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $4 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$ に割り当てるように、 $4 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0389] すなわち、入れ替え部32は、上述した図60のAの場合と同様に、符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てる入れ替えを行う。

[0390] 図61のBは、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が64QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、現行方式の入れ替え処理の一例を示している。

[0391] 変調方式が64QAMである場合、符号ビットの $6 (=m)$ ビットが、1個のシンボルとして、64QAMで定める64個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。

[0392] さらに、符号長 $N$ が16200ビットで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $6 \times 2 (=mb)$ ビットを記憶する12個のカラムを有し、カラム方向に $16200 / (6 \times 2)$ ビットを記憶する。

[0393] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、16200ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $6 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0394] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}$ を、例えば、図61のBに示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $6 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}$ に割り当てるように、 $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0395] すなわち、入れ替え部32は、上述した図60のBの場合と同様に、符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を、シンボルビット $y_0$ ないし $y_{11}$ に割り当てる入れ替えを行う。

[0396] 図61のCは、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が1ある場合の、現行方式の入れ替

え処理の一例を示している。

- [0397] 変調方式が256QAMである場合、符号ビットの8(=m)ビットが、1個のシンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされる。
- [0398] さらに、符号長Nが16200ビットで、倍数bが1である場合、デマルチプレクサ25のメモリ31(図16、図17)は、ロウ方向に $8 \times 1(=mb)$ ビットを記憶する8個のカラムを有し、カラム方向に $16200/(8 \times 1)$ ビットを記憶する。
- [0399] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、メモリ31のカラム方向に書き込まれ、16200ビットの符号ビット(1符号語)の書き込みが終了すると、メモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 1(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。
- [0400] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 1(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ を、例えば、図61のCに示すように、 $1(=b)$ 個のシンボルの $8 \times 1(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$ に割り当てるように、 $8 \times 1(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。
- [0401] すなわち、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てて入れ替えを行う。
- [0402] 次に、割り当てルールに従った入れ替え処理(以下、新入れ替え方式での入れ替え処理ともいう)について説明する。
- [0403] 図62ないし図64は、新入れ替え方式を説明する図である。
- [0404] 新入れ替え方式では、デマルチプレクサ25の入れ替え部32は、mbビットの符号ビ

ットの入れ替えを、あらかじめ定めた割り当てルールに従って行う。

[0405] 割り当てルールとは、LDPC符号の符号ビットをシンボルビットに割り当てるためのルールである。割り当てルールでは、符号ビットの符号ビットグループと、その符号ビットグループの符号ビットを割り当てるシンボルビットのシンボルビットグループとの組み合わせであるグループセットと、そのグループセットの符号ビットグループ、及びシンボルビットグループそれぞれの符号ビット、及びシンボルビットのビット数(以下、グループビット数ともいう)とが規定されている。

[0406] ここで、符号ビットには、上述したように、エラー確率に違いがあり、シンボルビットにも、エラー確率に違いがある。符号ビットグループとは、符号ビットをエラー確率に応じてグループ分けするグループであり、シンボルビットグループとは、シンボルビットをエラー確率に応じてグループ分けするグループである。

[0407] 図62は、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、符号ビットグループとシンボルビットグループとを示している。

[0408] この場合、メモリ31から読み出される $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ は、エラー確率の違いに応じて、図62のAに示すように、5個の符号ビットグループ $Gb_1, Gb_2, Gb_3, Gb_4, Gb_5$ にグループ分けすることができる。

[0409] ここで、符号ビットグループ $Gb_i$ は、そのサフィックス $i$ が小さいほど、その符号ビットグループ $Gb_i$ に属する符号ビットのエラー確率が良い(小さい)グループである。

[0410] 図62のAでは、符号ビットグループ $Gb_1$ には、符号ビット $b_0$ が、符号ビットグループ $Gb_2$ には、符号ビット $b_1$ が、符号ビットグループ $Gb_3$ には、符号ビット $b_2$ ないし $b_9$ が、符号ビットグループ $Gb_4$ には、符号ビット $b_{10}$ が、符号ビットグループ $Gb_5$ には、符号ビット $b_{11}$ ないし $b_{15}$ が、それぞれ属する。

[0411] 変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ は、エラー確率の違いに応じて、図62のBに示すように、4個のシンボルビットグループ $Gy_1, Gy_2, Gy_3, Gy_4$ にグループ分けすることができる。

[0412] ここで、シンボルビットグループ $Gy_i$ は、符号ビットグループと同様に、そのサフィックス $i$ が小さいほど、そのシンボルビットグループ $Gy_i$ に属するシンボルビットのエラー確

率が良いグループである。

[0413] 図62のBでは、シンボルビットグループ $Gy_1$ には、シンボルビット $y_0, y_1, y_8, y_9$ が、シンボルビットグループ $Gy_2$ には、シンボルビット $y_2, y_3, y_{10}, y_{11}$ が、シンボルビットグループ $Gy_3$ には、シンボルビット $y_4, y_5, y_{12}, y_{13}$ が、シンボルビットグループ $Gy_4$ には、シンボルビット $y_6, y_7, y_{14}, y_{15}$ が、それぞれ属する。

[0414] 図63は、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、割り当てルールを示している。

[0415] 図63の割り当てルールでは、符号ビットグループ $Gb_1$ と、シンボルビットグループ $Gy_4$ との組み合わせが、1個のグループセットとして、図中、左から1番目に規定されている。そして、そのグループセットのグループビット数が1ビットに規定されている。

[0416] ここで、以下では、グループセットと、そのグループビット数とを、まとめて、グループセット情報という。そして、例えば、符号ビットグループ $Gb_1$ とシンボルビットグループ $Gy_4$ とのグループセットと、そのグループセットのグループビット数である1ビットを、グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ と記載する。

[0417] 図63の割り当てルールでは、グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ の他、グループセット情報 $(Gb_2, Gy_4, 1)$ ,  $(Gb_3, Gy_1, 3)$ ,  $(Gb_3, Gy_2, 1)$ ,  $(Gb_3, Gy_3, 2)$ ,  $(Gb_3, Gy_4, 2)$ ,  $(Gb_4, Gy_3, 1)$ ,  $(Gb_5, Gy_1, 1)$ ,  $(Gb_5, Gy_2, 3)$ ,  $(Gb_5, Gy_3, 1)$ が規定されている。

[0418] 例えば、グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ は、符号ビットグループ $Gb_1$ に属する符号ビットの1ビットを、シンボルビットグループ $Gy_4$ に属するシンボルビットの1ビットに割り当てることを意味する。

[0419] したがって、図63の割り当てルールでは、

グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ により、エラー確率が1番目に良い符号ビットグループ $Gb_1$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ $Gy_4$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_2, Gy_4, 1)$ により、エラー確率が2番目に良い符号ビットグループ $Gb_2$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ $Gy_4$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_3, Gy_1, 3$ )により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ  $Gb_3$  の符号ビットの3ビットを、エラー確率が1番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_1$  のシンボルビットの3ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_3, Gy_2, 1$ )により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ  $Gb_3$  の符号ビットの1ビットを、エラー確率が2番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_2$  のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_3, Gy_3, 2$ )により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ  $Gb_3$  の符号ビットの2ビットを、エラー確率が3番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_3$  のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_3, Gy_4, 2$ )により、エラー確率が3番目により符号ビットグループ  $Gb_3$  の符号ビットの2ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_4$  のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_4, Gy_3, 1$ )により、エラー確率が4番目により符号ビットグループ  $Gb_4$  の符号ビットの1ビットを、エラー確率が3番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_3$  のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_5, Gy_1, 1$ )により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ  $Gb_5$  の符号ビットの1ビットを、エラー確率が1番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_1$  のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_5, Gy_2, 3$ )により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ  $Gb_5$  の符号ビットの3ビットを、エラー確率が2番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_2$  のシンボルビットの3ビットに割り当てること、

及び、グループセット情報( $Gb_5, Gy_3, 1$ )により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ  $Gb_5$  の符号ビットの1ビットを、エラー確率が3番目に良いシンボルビットグループ  $Gy_3$  のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

が規定されている。

[0420] 上述したように、符号ビットグループは、符号ビットをエラー確率に応じてグループ分けするグループであり、シンボルビットグループは、シンボルビットをエラー確率に応じてグループ分けするグループである。したがって、割り当てルールは、符号ビット



のエラー確率と、その符号ビットを割り当てるシンボルビットのエラー確率との組み合わせを規定している、ということもできる。

[0421] このように、符号ビットのエラー確率と、その符号ビットを割り当てるシンボルビットのエラー確率との組み合わせを規定する割り当てルールは、例えば、BERを計測するシミュレーション等によって、エラーに対する耐性(ノイズに対する耐性)を、より良くするように決定される。

[0422] なお、ある符号ビットグループの符号ビットの割り当て先を、同一のシンボルビットグループのビットの中で変更しても、エラーに対する耐性には(ほとんど)影響しない。

[0423] したがって、エラーに対する耐性を向上させるには、エラーフロアを含むBER(Bit Error Rate)をより小さくするグループセット情報、つまり、符号ビットの符号ビットグループと、その符号ビットグループの符号ビットを割り当てるシンボルビットのシンボルビットグループとの組み合わせ(グループセット)と、そのグループセットの符号ビットグループ、及びシンボルビットグループそれぞれの符号ビット、及びシンボルビットのビット数(グループビット数)とを、割り当てルールとして規定し、その割り当てルールに従って、符号ビットを、シンボルビットに割り当てるように、符号ビットの入れ替えを行えばよい。

[0424] 但し、割り当てルールに従って、どの符号ビットを、どのシンボルに割り当てるかの具体的な割り当て方は、送信装置11及び受信装置12(図7)の間で、あらかじめ決めておく必要がある。

[0425] 図64は、図63の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの例を示している。

[0426] すなわち、図64のAは、LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数bが2である場合の、図63の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの第1の例を示している。

[0427] LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数bが2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(8 \times 2)) \times (8 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0428] 入れ替え部32は、図63の割り当てルールに従い、メモリ31から読み出される $8 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を、例えば、図64のAに示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $8 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ に割り当てるように、 $8 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を入れ替える。

[0429] すなわち、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 それぞれ割り当てて入れ替えを行う。

[0430] 図64のBは、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、図63の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの第2の例を示している。

[0431] 図64のBによれば、入れ替え部32は、図63の割り当てルールに従い、メモリ31から読み出される $8 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ について、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、

符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0432] ここで、図64のA及び図64のBに示した、符号ビット $b_i$ の、シンボルビット $y_i$ への割り当て方は、いずれも、図63の割り当てルールに従っている(割り当てルールを遵守している)。

[0433] 図65は、図62ないし図64で説明した新入れ替え方式の入れ替え処理のうちの図64のAの入れ替え処理を行った場合と、現行方式のうちの、図60のCで説明した入れ替え処理を行った場合の、BER(Bit Error Rate)のシミュレーションの結果を示している。

[0434] すなわち、図65は、符号長 $N$ が64800で、符号化率が2/3の、DVB-S.2の規格に規定されたLDPC符号を対象とし、変調方式として、256QAMを採用するとともに、倍数 $b$ として、2を採用した場合のBERを示している。

[0435] なお、図65において、横軸は、 $E_s/N_0$ を表し、縦軸は、BERを表す。また、丸印が、新入れ替え方式の入れ替え処理を行った場合のBERを表し、アスタリスク(星印)が、

現行方式の入れ替え処理を行った場合のBERを表す。

- [0436] 図65から、新入れ替え方式の入れ替え処理では、現行方式の入れ替え処理に比較して、エラーフロアが飛躍的に低下しており、エラーに対する耐性が向上していることが分かる。
- [0437] なお、本実施の形態では、説明の便宜上、デマルチプレクサ25において、入れ替え部32が、メモリ31から読み出された符号ビットを対象として、入れ替え処理を行うようにしたが、入れ替え処理は、メモリ31に対する符号ビットの書き込みや読み出しを制御することによって行うことができる。
- [0438] すなわち、入れ替え処理は、例えば、メモリ31からの符号ビットの読み出しを、入れ替え後の符号ビットの順番で行うように、符号ビットを読み出すアドレス(読み出しアドレス)を制御することにより行うことができる。
- [0439] 次に、エラーに対する耐性を向上させるための対策としては、エラーフロアを低くする入れ替え方式の入れ替え処理を採用する他、エラーフロアを低くするLDPC符号を採用する方法がある。
- [0440] そこで、LDPC符号化部21(図8)では、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $2/3$ のLDPC符号については、DVB-S.2の規格に規定されている検査行列初期値テーブルとは異なる、適切な検査行列 $H$ が求められる検査行列初期値テーブルを採用し、そ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、性能の良いLDPC符号への符号化を行うことができる。
- [0441] ここで、適切な検査行列 $H$ とは、検査行列 $H$ から得られるLDPC符号の変調信号を、低い $E_s/N_0$ (1シンボルあたりの信号電力対雑音電力比)、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)をより小にする、所定の条件を満たす検査行列である。また、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。
- [0442] 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符号の変調信号を、低い $E_s/N_0$ で送信したときのBERを計測するシミュレーションを行うことにより求めることができる。
- [0443] 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、検査行列Hにおいて、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、サイクル6が存在しないこと、等がある。

[0444] 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。

[0445] 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、LDPC符号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。

[0446] 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、LDPC符号の性能(検査行列の適切さ)の良し悪しを決めることができる。ここで、性能閾値としては、BERが落ち始める(小さくなる)ときの $E_b/N_0$ を採用することとする。

[0447] DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800で、符号化率rが2/3のLDPC符号(以下、規格符号ともいう)を、デンシティエボリューションで解析して得られる、規格符号についての性能閾値をVと表すこととすると、シミュレーションでは、性能閾値が、Vに所定のマージン $\Delta$ を加えた $V+\Delta$ 以下の値となる、符号長Nが64800で、符号化率rが2/3のLDPC符号(検査行列)を、性能の良いLDPC符号として選択した。

[0448] 図66ないし図68は、性能閾値としての $E_b/N_0$ が $V+\Delta$ 以下のLDPC符号(符号長Nが64800で、符号化率rが2/3のLDPC符号)のうちの1つの検査行列初期値テーブルを示している。

[0449] なお、図67は、図66に続く図であり、図68は、図67に続く図である。

[0450] 図66ないし図68の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hでは、サイクル4及びサイクル6は存在しない。

[0451] 図69は、図66ないし図68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LDPC符号(以下、提案符号ともいう)についてのBERのシミュレーションの結果を示している。

- [0452] すなわち、図69は、変調方式が256QAMである場合の、規格符号の $E_s/N_0$ に対するBER(図中、丸印で示す)と、提案符号の $E_s/N_0$ に対するBER(図中、矩形で示す)とを示している。なお、図69では、入れ替え処理として、図60のCの現行方式の入れ替え処理が採用されている。
- [0453] 図69から、提案符号は、規格符号よりも性能が良いこと、すなわち、特に、エラーフロアが大きく改善されていることが分かる。
- [0454] 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。
- [0455] 次に、図70は、図7の受信装置12の構成例を示すブロック図である。
- [0456] 図70において、受信装置12は、送信装置11(図7)からの変調信号を受信するデータ処理装置であり、直交復調部51、デマッピング部52、デインターリーブ53、及びLDPC復号部56から構成される。
- [0457] 直交復調部51は、送信装置11からの変調信号を受信し、直交復調を行って、その結果得られる信号点(I及びQ軸方向それぞれの値)を、デマッピング部52に供給する。
- [0458] デマッピング部52は、直交復調部51からの信号点を、LDPC符号の符号ビットをシンボル化したシンボルにするデマッピングを行い、デインターリーブ53に供給する。
- [0459] デインターリーブ53は、マルチプレクサ(MUX)54、及びカラムツイストデインターリーブ55から構成され、デマッピング部52からのシンボルのシンボルビットのデインターリーブを行う。
- [0460] すなわち、マルチプレクサ54は、デマッピング部52からのシンボルのシンボルビットを対象として、図8のデマルチプレクサ25が行う入れ替え処理に対応する逆入れ替え処理(入れ替え処理の逆の処理)、すなわち、入れ替え処理によって入れ替えられたLDPC符号の符号ビット(シンボルビット)の位置を元の位置に戻す逆入れ替え処理を行い、その結果得られるLDPC符号を、カラムツイストデインターリーブ55に供給する。
- [0461] カラムツイストデインターリーブ55は、マルチプレクサ54からのLDPC符号を対象と

して、図8のカラムツイストインターリーブ24が行う並び替え処理としてのカラムツイストインターリーブに対応するカラムツイストデインターリーブ(カラムツイストインターリーブの逆の処理)、すなわち、並び替え処理としてのカラムツイスト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、元の並びに戻す逆並び替え処理としての、例えば、カラムツイストデインターリーブを行う。

[0462] 具体的には、カラムツイストデインターリーブ55は、図22等にしたメモリ31と同様に構成される、デインターリーブ用のメモリに対して、LDPC符号の符号ビットを書き込み、さらに読み出すことで、カラムツイストデインターリーブを行う。

[0463] 但し、カラムツイストデインターリーブ55では、符号ビットの書き込みは、メモリ31からの符号ビットの読み出し時の読み出しアドレスを、書き込みアドレスとして用いて、デインターリーブ用のメモリのロウ方向に行われる。また、符号ビットの読み出しは、メモリ31への符号ビットの書き込み時の書き込みアドレスを、読み出しアドレスとして用いて、デインターリーブ用のメモリのカラム方向に行われる。

[0464] カラムツイストデインターリーブの結果得られるLDPC符号は、カラムツイストデインターリーブ55からLDPC復号部56に供給される。

[0465] ここで、デマッピング部52から、デインターリーブ53に供給されるLDPC符号には、パリティインターリーブ、カラムツイストインターリーブ、及び入れ替え処理が、その順番で施されているが、デインターリーブ53では、入れ替え処理に対応する逆入れ替え処理、及び、カラムツイストインターリーブに対応するカラムツイストデインターリーブしか行われず、したがって、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は、行われない。

[0466] したがって、デインターリーブ53(のカラムツイストデインターリーブ55)から、LDPC復号部56には、逆入れ替え処理、及び、カラムツイスト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。

[0467] LDPC復号部56は、デインターリーブ53からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPC符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列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い、その結果得られるデータを、対象データの復号結果として出力する。

[0468] 図71は、図70の受信装置12が行う受信処理を説明するフローチャートである。

[0469] 直交復調部51は、ステップS111において、送信装置11からの変調信号を受信して、処理は、ステップS112に進み、その変調信号の直交復調を行う。直交復調部51は、直交復調の結果得られる信号点を、デマッピング部52に供給して、処理は、ステップS112からステップS113に進む。

[0470] ステップS113では、デマッピング部52は、直交復調部51からの信号点をシンボルにするデマッピングを行い、デインターリーブ53に供給して、処理は、ステップS114に進む。

[0471] ステップS114では、デインターリーブ53は、デマッピング部52からのシンボルのシンボルビットのデインターリーブを行って、処理は、ステップS115に進む。

[0472] すなわち、ステップS114では、デインターリーブ53において、マルチプレクサ54が、デマッピング部52からのシンボルのシンボルビットを対象として、逆入れ替え処理を行い、その結果得られるLDPC符号の符号ビットを、カラムツイストデインターリーブ55に供給する。

[0473] カラムツイストデインターリーブ55は、マルチプレクサ54からのLDPC符号を対象として、カラムツイストデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号を、LDPC復号部56に供給する。

[0474] ステップS115では、LDPC復号部56が、カラムツイストデインターリーブ55からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPC符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列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い、その結果得られるデータを、対象データの復号結果として出力して、処理は終了する。

[0475] なお、図71の受信処理は、繰り返し行われる。

[0476] また、図70でも、図8の場合と同様に、説明の便宜のため、逆入れ替え処理を行うマルチプレクサ54と、カラムツイストデインターリーブを行うカラムツイストデインターリーブ55とを、別個に構成するようにしたが、マルチプレクサ54とカラムツイストデイン



ターリーバ55とは、一体的に構成することができる。

[0477] さらに、図8の送信装置11において、カラムツイストインターリーブを行わない場合には、図70の受信装置12において、カラムツイストデインターリーバ55は、設ける必要がない。

[0478] 次に、図70のLDPC復号部56で行われるLDPC復号について、さらに説明する。

[0479] 図70のLDPC復号部56では、上述したように、カラムツイストデインターリーバ55からの、逆入れ替え処理、及び、カラムツイストデインターリーブが行われ、かつ、パリティデインターリーブが行われていないLDPC符号のLDPC復号が、図8のLDPC符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列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われる。

[0480] ここで、LDPC復号を、変換検査行列を用いて行うことで、回路規模を抑制しつつ、動作周波数を十分実現可能な範囲に抑えることが可能となるLDPC復号が先に提案されている(例えば、特開2004-343170号公報を参照)。

[0481] そこで、まず、図72ないし図75を参照して、先に提案されている、変換検査行列を用いたLDPC復号について説明する。

[0482] 図72は、符号長Nが90で、符号化率が2/3のLDPC符号の検査行列Hの例を示している。

[0483] なお、図72では(後述する図73及び図74においても同様)、0を、ピリオド(.)で表現している。

[0484] 図72の検査行列Hでは、パリティ行列が階段構造になっている。

[0485] 図73は、図72の検査行列Hに、式(11)の行置換と、式(12)の列置換を施して得られる検査行列H'を示している。

[0486] 行置換: $6s+t+1$ 行目 $\rightarrow 5t+s+1$ 行目

... (11)

[0487] 列置換: $6x+y+61$ 列目 $\rightarrow 5y+x+61$ 列目

... (12)

[0488] 但し、式(11)及び(12)において、s, t, x, yは、それぞれ、 $0 \leq s < 5$ ,  $0 \leq t < 6$ ,  $0 \leq x < 5$ ,  $0 \leq y < 6$ の範囲の整数である。

- [0489] 式(11)の行置換によれば、6で割って余りが1になる1, 7, 13, 19, 25行目を、それぞれ、1, 2, 3, 4, 5行目に、6で割って余りが2になる2, 8, 14, 20, 26行目を、それぞれ、6, 7, 8, 9, 10行目に、という具合に置換が行われる。
- [0490] また、式(12)の列置換によれば、61列目以降(パリティ行列)に対して、6で割って余りが1になる61, 67, 73, 79, 85列目を、それぞれ、61, 62, 63, 64, 65列目に、6で割って余りが2になる62, 68, 74, 80, 86列目を、それぞれ、66, 67, 68, 69, 70列目に、という具合に置換が行われる。
- [0491] このようにして、図72の検査行列Hに対して、行と列の置換を行って得られた行列(matrix)が、図73の検査行列H'である。
- [0492] 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。
- [0493] 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、巡回構造の単位の列数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。
- [0494] 図73の検査行列(以下、適宜、置換検査行列という)H'に対して、図72の検査行列(以下、適宜、元の検査行列という)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。
- [0495] 以上から、図73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。
- [0496] 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73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。
- [0497] 図74は、 $5 \times 5$ の行列の単位に間隔を空けた、図73の変換検査行列H'を示してい

る。

[0498] 図74においては、変換検査行列 $H'$ は、 $5 \times 5$ 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)、 $5 \times 5$ の0行列の組合わせで表されている。

[0499] 図74の変換検査行列 $H'$ は、 $5 \times 5$ 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ことができる。そこで、変換検査行列 $H'$ を構成する、これらの $5 \times 5$ の行列を、以下、適宜、構成行列という。

[0500]  $P \times P$ の構成行列で表される検査行列で表されるLDPC符号の復号には、チェックノード演算、及びバリアブルノード演算を、 $P$ 個同時に行うアーキテクチャ(architecture)を用いることができる。

[0501] 図75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。

[0502] すなわち、図75は、図72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74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。

[0503] 図75の復号装置は、6つのFIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>からなる枝データ格納用メモリ300、FIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>を選択するセクタ301、チェックノード計算部302、2つのサイクリックシフト回路303及び308、18個のFIFO304<sub>1</sub>ないし304<sub>18</sub>からなる枝データ格納用メモリ304、FIFO304<sub>1</sub>ないし304<sub>18</sub>を選択するセクタ305、受信情報を格納する受信データ用メモリ306、バリアブルノード計算部307、復号語計算部309、受信データ並べ替え部310、復号データ並べ替え部311からなる。

[0504] まず、枝データ格納用メモリ300と304へのデータの格納方法について説明する。

[0505] 枝データ格納用メモリ300は、図74の変換検査行列 $H'$ の行数30を構成行列の行数5で除算した数である6つのFIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>から構成されている。FIFO300<sub>y</sub> ( $y=1, 2, \dots, 6$ )は、複数の段数の記憶領域からなり、各段数の記憶領域には、構成行列の行数及び列数である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出しもしくは書き込むことができるようになっている。また、FIFO300<sub>y</sub>の記憶領域の段数は、図

74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。

[0506] FIFO300<sub>1</sub>には、図74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<sub>v</sub>)が、各行共に横方向に詰められた形に(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、FIFO300<sub>1</sub>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。

[0507] FIFO300<sub>2</sub>には、図74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、FIFO300<sub>2</sub>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。

[0508] 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、その要素である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(FIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>のうちの同一のFIFO)に格納される。

[0509] 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。

[0510] FIFO300<sub>3</sub> ないし 300<sub>6</sub> 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。

[0511] 枝データ格納用メモリ304は、変換検査行列H'の列数90を、構成行列の列数である5で割った18個のFIFO304<sub>1</sub> ないし 304<sub>18</sub> から構成されている。FIFO304<sub>x</sub> (x=1, 2, ..., 18)は、複数の段数の記憶領域からなり、各段の記憶領域には、変換構成行列H'の行数及び列数である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出しもしくは書き込むことができるようになっている。

[0512] FIFO304<sub>1</sub> には、図74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<sub>j</sub>)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、FIFO304<sub>1</sub> 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。

[0513] 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、その要素である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(FIFO304<sub>1</sub> ないし 304<sub>18</sub> のうちの同一のFIFO)に格納される。

[0514] 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FIFO304<sub>1</sub> 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。

[0515] FIFO304<sub>2</sub> と 304<sub>3</sub> 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。FIFO304<sub>4</sub>ないし304<sub>12</sub>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。FIFO304<sub>13</sub>ないし304<sub>18</sub>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。

[0516] 次に、図75の復号装置の動作について説明する。

[0517] 枝データ格納用メモリ300は、6つのFIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>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、変換検査行列H'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、FIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>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、FIFO300<sub>1</sub>から5つのメッセージD300<sub>1</sub>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、FIFO300<sub>1</sub>からのメッセージの読み出しの終了後、FIFO300<sub>2</sub>ないし300<sub>6</sub>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。

[0518] セクタ301は、セレクト信号D301に従って、FIFO300<sub>1</sub>ないし300<sub>6</sub>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。

[0519] 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302<sub>1</sub>ないし302<sub>5</sub>からなり、セクタ301を通して供給されるメッセージD302(D302<sub>1</sub>ないしD302<sub>5</sub>)(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(D303<sub>1</sub>ないしD303<sub>5</sub>)(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。

[0520] 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D303<sub>1</sub>ないしD303<sub>5</sub>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。

[0521] 枝データ格納用メモリ304は、18個のFIFO304<sub>1</sub>ないし304<sub>18</sub>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、FIFO304<sub>1</sub>ないし

304<sub>18</sub>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、FIFO304<sub>1</sub>から5つのメッセージD306<sub>1</sub>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、FIFO304<sub>1</sub>からのデータの読み出しの終了後、FIFO304<sub>2</sub>ないし304<sub>18</sub>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。

[0522] セクタ305は、セレクト信号D307に従って、FIFO304<sub>1</sub>ないし304<sub>18</sub>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。

[0523] 一方、受信データ並べ替え部310は、通信路を通して受信した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。

[0524] 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307<sub>1</sub>ないし307<sub>5</sub>からなり、セクタ305を通して供給されるメッセージD308(D308<sub>1</sub>ないしD308<sub>5</sub>)(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(D310<sub>1</sub>ないしD310<sub>5</sub>)(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。

[0525] 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D310<sub>1</sub>ないしD310<sub>5</sub>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。

[0526] 以上の動作を1巡することで、LDPC符号の1回の復号を行うことができる。図75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。

[0527] すなわち、復号語計算部309は、5つの復号語計算器309<sub>1</sub>ないし309<sub>5</sub>からなり、セ

レクタ305が出力する5つのメッセージ $D308(D308_1 \text{ ないし } D308_5)$ (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 $u_{oi}$ )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。

[0528] 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。

[0529] 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 $P$ 個同時に行うアーキテクチャ(architecture)を採用することが可能となり、これにより、ノード演算を、 $P$ 個同時に行うことで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。

[0530] 図70の受信装置12を構成するLDPC復号部56は、図75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。

[0531] 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符号化部21が出力するLDPC符号の検査行列が、例えば、図72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、巡回構造の単位の列数 $P$ を5に、パリティ長 $M$ の約数 $q(=M/P)$ を6に、それぞれして行われる。

[0532] 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復号部56では、式(12)の列置換を行う必要がない。



- [0533] このため、図70の受信装置12では、上述したように、カラムツイストデインターリーブ55から、LDPC復号部56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復号部56では、式(12)の列置換を行わないことを除けば、図75の復号装置と同様の処理が行われる。
- [0534] すなわち、図76は、図70のLDPC復号部56の構成例を示している。
- [0535] 図76において、LDPC復号部56は、図75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75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75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。
- [0536] 以上のように、LDPC復号部56は、受信データ並べ替え部310を設けずに構成することができるので、図75の復号装置よりも、規模を削減することができる。
- [0537] なお、図72ないし図76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、巡回構造の単位の列数(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 $K$ 、巡回構造の単位の列数 $P$ 、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。
- [0538] すなわち、図8の送信装置11において、LDPC符号化部21が出力するのは、例えば、符号長 $N$ を64800又は16200と、情報長 $K$ を $N-Pq(=N-M)$ と、巡回構造の単位の列数 $P$ を360と、約数 $q$ を $M/P$ と、それぞれするLDPC符号であるが、図76のLDPC復号部56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復号を行う場合にも適用可能である。
- [0539] 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。
- [0540] そこで、図77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。
- [0541] プログラムは、コンピュータに内蔵されている記録媒体としてのハードディスク705

やROM703に予め記録しておくことができる。

[0542] あるいはまた、プログラムは、フレキシブルディスク、CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory)、MO(Magneto Optical)ディスク、DVD(Digital Versatile Disc)、磁気ディスク、半導体メモリなどのリムーバブル記録媒体711に、一時的あるいは永続的に格納(記録)しておくことができる。このようなリムーバブル記録媒体711は、いわゆるパッケージソフトウェアとして提供することができる。

[0543] なお、プログラムは、上述したようなリムーバブル記録媒体711からコンピュータにインストールする他、ダウンロードサイトから、デジタル衛星放送用の人工衛星を介して、コンピュータに無線で転送したり、LAN(Local Area Network)、インターネットといったネットワークを介して、コンピュータに有線で転送し、コンピュータでは、そのようにして転送されてくるプログラムを、通信部708で受信し、内蔵するハードディスク705にインストールすることができる。

[0544] コンピュータは、CPU(Central Processing Unit)702を内蔵している。CPU702には、バス701を介して、入出力インタフェース710が接続されており、CPU702は、入出力インタフェース710を介して、ユーザによって、キーボードや、マウス、マイク等で構成される入力部707が操作等されることにより指令が入力されると、それに従って、ROM(Read Only Memory)703に格納されているプログラムを実行する。あるいは、また、CPU702は、ハードディスク705に格納されているプログラム、衛星若しくはネットワークから転送され、通信部708で受信されてハードディスク705にインストールされたプログラム、又はドライブ709に装着されたリムーバブル記録媒体711から読み出されてハードディスク705にインストールされたプログラムを、RAM(Random Access Memory)704にロードして実行する。これにより、CPU702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、CPU702は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力インタフェース710を介して、LCD(Liquid Crystal Display)やスピーカ等で構成される出力部706から出力、あるいは、通信部708から送信、さらには、ハードディスク705に記録等させる。

[0545] 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。

[0546] 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。

[0547] 次に、送信装置11のLDPC符号化部21によるLDPC符号化の処理について、さらに説明する。

[0548] 例えば、DVB-S.2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。

[0549] そして、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9$ 、及び $9/10$ が規定されており、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率 $1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6$ 、及び $8/9$ が規定されている。

[0550] LDPC符号化部21は、このような、符号長Nが64800ビットや16200ビットの各符号化率のLDPC符号による符号化(誤り訂正符号化)を、符号長Nごと、及び符号化率ごとに用意された検査行列Hに従って行う。

[0551] すなわち、LDPC符号化部21は、検査行列Hを生成するための、後述する検査行列初期値テーブルを、符号長Nごと、及び符号化率ごとに記憶している。

[0552] ここで、DVB-S.2の規格では、上述のように、64800ビットと16200ビットとの2通りの符号長NのLDPC符号が規定されており、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率が、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率が、それぞれ規定されている。

[0553] したがって、送信装置11が、DVB-S.2の規格に準拠した処理を行う装置である場合、LDPC符号化部21には、符号長Nが64800ビットのLDPC符号についての、11個の符号化率それぞれに対応する検査行列初期値テーブルと、符号長Nが16200ビットのLDPC符号についての、10個の符号化率それぞれに対応する検査行列初期値テーブルとが記憶される。

[0554] LDPC符号化部21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と符号化率rとを設定する。ここで、以下、適宜、LDPC符号化部21で設定された符号長Nと符号化率rを、それぞれ、設定符号長Nと設定符号化率rともいう。

[0555] LDPC符号化部21は、設定符号長N及び設定符号化率rに対応する検査行列初期値テーブルに基づいて、設定符号長N及び設定符号化率rに応じた情報長K(=Nr=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(巡回構造の単位の列数P)ごとの周期で配置して検査行列Hを生成する。

[0556] そして、LDPC符号化部21は、送信装置11に供給される、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から、情報長K分の情報ビットを抽出する。さらに、LDPC符号化部21は、検査行列Hに基づいて、情報ビットに対するパリティビットを算出し、1符号長分の符号語(LDPC符号)を生成する。

[0557] すなわち、LDPC符号化部21は、次式を満たす符号語cのパリティビットを順次演算する。

$$[0558] \quad Hc^T=0$$

[0559] ここで、上式において、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。

[0560] LDPC符号(1符号語)としての行ベクトルcのうちの、情報ビットの部分を、行ベクトルAで表すとともに、パリティビットの部分を、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。

[0561] また、検査行列Hは、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。

[0562] さらに、例えば、DVB-S.2の規格では、検査行列 $H=[H_A | H_T]$ のパリティ行列 $H_T$ が階段構造になっている。

[0563] 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。

[0564] LDPC符号化部21は、情報ビットAに対して、パリティビットTを求めると、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 $c=[A \mid T]$ を、情報ビットAのLDPC符号化結果として出力する。

[0565] 以上のように、LDPC符号化部21は、各符号長N、及び、各符号化率rに対応する検査行列初期値テーブルを記憶しており、設定符号長Nの、設定符号化率rのLDPC符号化を、その設定符号長N、及び、設定符号化率rに対応する検査行列初期値テーブルから生成される検査行列Hを用いて行う。

[0566] 検査行列初期値テーブルは、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 $H_A$ の1の要素の位置を360列(巡回構造の単位の列数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。

[0567] 図78ないし図123は、DVB-S.2の規格に規定されている検査行列初期値テーブルを含む、様々な検査行列Hを生成するための検査行列初期値テーブルを示している。

[0568] すなわち、図78は、DVB-S.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の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0569] 図79ないし図81は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが2/3の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0570] なお、図80は、図79に続く図であり、図81は、図80に続く図である。

[0571] 図82は、DVB-S.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3/4の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0572] 図83ないし図86は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが3/4の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0573] なお、図84は、図83に続く図であり、図85は、図84に続く図である。また、図86は、図85に続く図である。

[0574] 図87は、DVB-S.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4/5の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。

- [0575] 図88ないし図91は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが4/5の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0576] なお、図89は、図88に続く図であり、図90は、図89に続く図である。また、図91は、図90に続く図である。
- [0577] 図92は、DVB-S.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5/6の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0578] 図93ないし図96は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが5/6の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0579] なお、図94は、図93に続く図であり、図95は、図94に続く図である。また、図96は、図95に続く図である。
- [0580] 図97は、DVB-S.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8/9の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0581] 図98ないし図101は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが8/9の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0582] なお、図99は、図98に続く図であり、図100は、図99に続く図である。また、図101は、図100に続く図である。
- [0583] 図102ないし図105は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが9/10の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0584] なお、図103は、図102に続く図であり、図104は、図103に続く図である。また、図105は、図104に続く図である。
- [0585] 図106及び図107は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが1/4の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0586] なお、図107は、図106に続く図である。
- [0587] 図108及び図109は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長Nが64800ビットの、符号化率rが1/3の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0588] なお、図109は、図108に続く図である。

- [0589] 図110及び図111は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $2/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0590] なお、図111は、図110に続く図である。
- [0591] 図112ないし図114は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $1/2$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0592] なお、図113は、図112に続く図であり、図114は、図113に続く図である。
- [0593] 図115ないし図117は、DVB-S.2の規格に規定されている、符号長 $N$ が64800ビットの、符号化率 $r$ が $3/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0594] なお、図116は、図115に続く図であり、図117は、図116に続く図である。
- [0595] 図118は、DVB-S.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 $1/4$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0596] 図119は、DVB-S.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 $1/3$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0597] 図120は、DVB-S.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 $2/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0598] 図121は、DVB-S.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 $1/2$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0599] 図122は、DVB-S.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 $3/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0600] 図123は、図122の検査行列初期値テーブルに代えて用いることができる、符号長 $N$ が16200ビットの、符号化率 $r$ が $3/5$ の検査行列 $H$ に対する検査行列初期値テーブルを示している。
- [0601] 送信装置11のLDPC符号化部21は、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。
- [0602] すなわち、図124は、検査行列初期値テーブルから検査行列 $H$ を求める方法を示している。
- [0603] なお、図124の検査行列初期値テーブルは、図78に示した、DVB-S.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 $2/3$ の検査行列 $H$ に対する検

査行列初期値テーブルを示している。

[0604] 検査行列初期値テーブルは、上述したように、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1の要素の位置を、360列(巡回構造の単位の列数 $P$ )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。

[0605] ここで、検査行列 $H$ の、パリティ長 $M$ に対応するパリティ行列 $H_T$ は、階段構造になっており、あらかじめ決まっていることとする。検査行列初期値テーブルによれば、検査行列 $H$ のうちの、情報長 $K$ に対応する情報行列 $H_A$ が求められる。

[0606] 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。

[0607] 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、次式の関係が成り立つ。

$$[0608] \quad K = (k+1) \times 360$$

[0609] ここで、上式の360は、巡回構造の単位の列数 $P$ である。

[0610] 図124の検査行列初期値テーブルでは、1行目から3行目までに、13個の数値が並び、4行目から $k+1$ 行目(図124では、30行目)までに、3個の数値が並んでいる。

[0611] したがって、図124の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列 $H$ の列重みは、1列目から、 $1+360 \times (3-1)-1$ 列目までは、13であり、 $1+360 \times (3-1)$ 列目から、 $K$ 列目までは、3である。

[0612] 図124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。

[0613] また、図124の検査行列初期値テーブルの2行目は、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108となっており、これは、検査行列 $H$ の361( $=1+360 \times (2-1)$ )列目において、行番号が、1,122,1516,3448,2880,1407,1847,3799,3529,373,971,4358,3108の行の要素が1であることを示している。

[0614] 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。

[0615] 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。

[0616] すなわち、例えば、 $2+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたものとなっており、次の $3+360 \times (i-1)$ 列目は、 $1+360 \times (i-1)$ 列目を、 $2 \times M/360(=2 \times q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの( $2+360 \times (i-1)$ 列目を、 $M/360(=q)$ だけ下方向にサイクリックシフトしたもの)となっている。

[0617] 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、 $h_{ij}$ 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、次式で求めることができる。

[0618] 
$$H_{w-j} = \text{mod}\{h_{ij} + \text{mod}((w-1), P) \times q, M\}$$

[0619] ここで、 $\text{mod}(x, y)$ は*x*を*y*で割った余りを意味する。

[0620] また、*P*は、上述した巡回構造の単位の列数であり、例えば、DVB-S.2の規格では、360である。さらに、*q*は、パリティ長*M*を、巡回構造の単位の列数*P*(=360)で除算することにより得られる値*M*/360である。

[0621] LDPC符号化部21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。

[0622] さらに、LDPC符号化部21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。

[0623] 次に、送信装置11におけるデマルチプレクサ25の入れ替え部32による入れ替え処理でのLDPC符号の符号ビットの入れ替え方、すなわち、LDPC符号の符号ビットと、シンボルを表すシンボルビットとの割り当てパターン(以下、ビット割り当てパターンともいう)のバリエーションについて説明する。

[0624] デマルチプレクサ25では、LDPC符号の符号ビットが、カラム方向×ロウ方向が(N/(

mb))×(mb)ビットのメモリ31のカラム方向に書き込まれ、その後、mbビット単位でロウ方向に読み出される。さらに、デマルチプレクサ25では、入れ替え部32において、メモリ31のロウ方向に読み出されるmbビットの符号ビットが入れ替えられ、入れ替え後の符号ビットが、(連続する)b個のシンボルのmbビットのシンボルビットとされる。

[0625] すなわち、入れ替え部32は、メモリ31のロウ方向に読み出されるmbビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、符号ビット $b_i$ とするとともに、(連続する)b個のシンボルのmbビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、シンボルビット $y_i$ として、所定のビット割り当てパターンに従い、mbビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{mb-1}$ を入れ替える。

[0626] 図125は、LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が5/6又は9/10のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数bが1である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0627] LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が5/6又は9/10のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数bが1である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が(64800/(12×1))×(12×1)ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、12×1(=mb)ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0628] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される12×1(=mb)ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を、図125に示すように、1(=b)個のシンボルの12×1(=mb)ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{11}$ に割り当てるように、12×1(=mb)ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0629] すなわち、図125によれば、入れ替え部32は、符号長Nが64800ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が5/6のLDPC符号、及び、符号化率が9/10のLDPC符号については、いずれのLDPC符号についても、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_8$ に、

符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_0$ に、

符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_6$ に、

符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_1$ に、

符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_4$ に、

符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0630] 図126は、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が5/6又は9/10のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0631] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が5/6又は9/10のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(12 \times 2)) \times (12 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $12 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0632] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $12 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{23}$ を、図126に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $12 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{23}$ に割り当てるように、 $12 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{23}$ を入れ替える。

[0633] すなわち、図126によれば、入れ替え部32は、符号長 $N$ が64800ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が5/6のLDPC符号、及び、符号化率が9/10のLDPC符号については、いずれのLDPC符号についても、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_4$ に、

符号ビット $b_{10}$  を、シンボルビット $y_5$  に、  
 符号ビット $b_{12}$  を、シンボルビット $y_2$  に、  
 符号ビット $b_{14}$  を、シンボルビット $y_3$  に、  
 符号ビット $b_{16}$  を、シンボルビット $y_7$  に、  
 符号ビット $b_{18}$  を、シンボルビット $y_{10}$  に、  
 符号ビット $b_{20}$  を、シンボルビット $y_{11}$  に、  
 符号ビット $b_{22}$  を、シンボルビット $y_9$  に、  
 符号ビット $b_1$  を、シンボルビット $y_{20}$  に、  
 符号ビット $b_3$  を、シンボルビット $y_{12}$  に、  
 符号ビット $b_5$  を、シンボルビット $y_{18}$  に、  
 符号ビット $b_7$  を、シンボルビット $y_{13}$  に、  
 符号ビット $b_9$  を、シンボルビット $y_{16}$  に、  
 符号ビット $b_{11}$  を、シンボルビット $y_{17}$  に、  
 符号ビット $b_{13}$  を、シンボルビット $y_{14}$  に、  
 符号ビット $b_{15}$  を、シンボルビット $y_{15}$  に、  
 符号ビット $b_{17}$  を、シンボルビット $y_{19}$  に、  
 符号ビット $b_{19}$  を、シンボルビット $y_{22}$  に、  
 符号ビット $b_{21}$  を、シンボルビット $y_{23}$  に、  
 符号ビット $b_{23}$  を、シンボルビット $y_{21}$  に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0634] ここで、図126のビット割り当てパターンは、倍数 $b$ が1である場合の図125のビット割り当てパターンを、そのまま利用している。すなわち、図126において、符号ビット $b_0, b_2, \dots, b_{22}$  のシンボルビット $y_i$  への割り当て方、及び、符号ビット $b_1, b_3, \dots, b_{23}$  のシンボルビット $y_i$  への割り当て方は、いずれも、図125の符号ビット $b_0$  ないし $b_{11}$  のシンボルビット $y_i$  への割り当て方と同様になっている。

[0635] 図127は、変調方式が1024QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/4, 5/6、又は8/9のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合と、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号長が3/4, 5/6、又は9/10のLDPC符号で

あり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0636] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/4$ ,  $5/6$ 、又は $8/9$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が1024QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(10 \times 2)) \times (10 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $10 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0637] また、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $3/4$ ,  $5/6$ 、又は $9/10$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が1024QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(10 \times 2)) \times (10 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $10 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0638] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $10 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{19}$ を、図127に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $10 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{19}$ に割り当てるように、 $10 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{19}$ を入れ替える。

[0639] すなわち、図127によれば、入れ替え部32は、符号長 $N$ が16200ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が $3/4$ のLDPC符号、符号化率が $5/6$ のLDPC符号、及び、符号化率が $8/9$ のLDPC符号、並びに、符号長 $N$ が64800ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が $3/4$ のLDPC符号、符号化率が $5/6$ のLDPC符号、及び、符号化率が $9/10$ のLDPC符号については、いずれのLDPC符号についても、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_{19}$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、

符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{17}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{18}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{16}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_{16}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_{17}$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_{18}$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_{19}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0640] 図128は、変調方式が4096QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $5/6$ 又は $8/9$ のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合と、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号長が $5/6$ 又は $9/10$ のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0641] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $5/6$ 又は $8/9$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(12 \times 2)) \times (12 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $12 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0642] また、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $5/6$ 又は $9/10$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が4096QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(12 \times 2)) \times (12 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $12 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0643] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $12 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{23}$ を、図128に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $12 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{23}$ に割り当てるように、 $12 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{23}$ を入れ替える。

[0644] すなわち、図128によれば、入れ替え部32は、符号長Nが16200ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が5/6のLDPC符号、及び、符号化率が8/9のLDPC符号、並びに、符号長Nが64800ビットのLDPC符号のうちの、符号化率が5/6のLDPC符号、及び、符号化率が9/10のLDPC符号については、いずれのLDPC符号についても、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_{19}$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_{21}$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_{16}$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_{23}$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_{18}$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{22}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{17}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_{20}$ に、  
 符号ビット $b_{16}$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_{17}$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_{18}$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_{19}$ を、シンボルビット $y_2$ に、

符号ビット $b_{20}$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
符号ビット $b_{21}$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
符号ビット $b_{22}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
符号ビット $b_{23}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

- [0645] 図125ないし図128に示したビット割り当てパターンによれば、複数種類のLDPC符号について、同一のビット割り当てパターンを採用することができ、しかも、その複数種類のLDPC符号のいずれについても、エラーに対する耐性を所望の性能とすることができる。
- [0646] すなわち、図129ないし図132は、図125ないし図128のビット割り当てパターンに従った入れ替え処理を行った場合のBER(Bit Error Rate)のシミュレーションの結果を示している。
- [0647] なお、図129ないし図132において、横軸は、 $E_s/N_0$  (1シンボルあたりの信号電力対雑音電力比)を表し、縦軸は、BERを表す。
- [0648] また、実線が、入れ替え処理を行った場合のBERを表し、一点鎖線が、入れ替え処理を行わない場合のBERを表す。
- [0649] 図129は、符号長 $N$ が64800で、符号化率が5/6及び9/10それぞれのLDPC符号について、変調方式として、4096QAMを採用し、倍数 $b$ を1として、図125のビット割り当てパターンに従った入れ替え処理を行った場合のBERを示している。
- [0650] 図130は、符号長 $N$ が64800で、符号化率が5/6及び9/10それぞれのLDPC符号について、変調方式として、4096QAMを採用し、倍数 $b$ を2として、図126のビット割り当てパターンに従った入れ替え処理を行った場合のBERを示している。
- [0651] なお、図129及び図130において、三角形の印を付してあるグラフが、符号化率が5/6のLDPC符号についてのBERを表し、アスタリスク(星印)を付してあるグラフが、符号化率が9/10のLDPC符号についてのBERを表す。
- [0652] 図131は、符号長 $N$ が16200で、符号化率が3/4,5/6、及び8/9それぞれのLDPC符号と、符号長 $N$ が64800で、符号化率が3/4,5/6、及び9/10それぞれのLDPC符号とについて、変調方式として、1024QAMを採用し、倍数 $b$ を2として、図127のビット割り



当てパターンに従った入れ替え処理を行った場合のBERを示している。

[0653] なお、図131において、アスタリスクを付してあるグラフが、符号長Nが64800で、符号化率が9/10のLDPC符号についてのBERを表し、上向きの三角形の印を付してあるグラフが、符号長Nが64800で、符号化率が5/6のLDPC符号についてのBERを表す。また、正方形の印を付してあるグラフが、符号長Nが64800で、符号化率が3/4のLDPC符号についてのBERを表す。

[0654] さらに、図131において、丸印を付してあるグラフが、符号長Nが16200で、符号化率が8/9のLDPC符号についてのBERを表し、下向きの三角形の印を付してあるグラフが、符号長Nが16200で、符号化率が5/6のLDPC符号についてのBERを表す。また、プラスの印を付してあるグラフが、符号長Nが16200で、符号化率が3/4のLDPC符号についてのBERを表す。

[0655] 図132は、符号長Nが16200で、符号化率が5/6及び8/9それぞれのLDPC符号と、符号長Nが64800で、符号化率が5/6及び9/10それぞれのLDPC符号とについて、変調方式として、4096QAMを採用し、倍数bを2として、図128のビット割り当てパターンに従った入れ替え処理を行った場合のBERを示している。

[0656] なお、図132において、アスタリスクを付してあるグラフが、符号長Nが64800で、符号化率が9/10のLDPC符号についてのBERを表し、上向きの三角形の印を付してあるグラフが、符号長Nが64800で、符号化率が5/6のLDPC符号についてのBERを表す。

[0657] また、図132において、丸印を付してあるグラフが、符号長Nが16200で、符号化率が8/9のLDPC符号についてのBERを表し、下向きの三角形の印を付してあるグラフが、符号長Nが16200で、符号化率が5/6のLDPC符号についてのBERを表す。

[0658] 図129ないし図132によれば、複数種類のLDPC符号について、同一のビット割り当てパターンを採用することができ、しかも、同一のビット割り当てパターンを採用した複数種類のLDPC符号のいずれについても、エラーに対する耐性を所望の性能とすることができることが分かる。

[0659] すなわち、符号長や符号化率が異なる複数種類のLDPC符号それぞれについて、そのLDPC符号に専用のビット割り当てパターンを採用する場合には、エラーに対す

る耐性を極めて高性能にすることができるが、異なる種類のLDPC符号ごとに、ビット割り当てパターンの変更が必要になる。

[06660] 一方、図125ないし図128のビット割り当てパターンによれば、符号長や符号化率が異なる複数種類のLDPC符号それぞれについて、同一のビット割り当てパターンを採用することができ、複数種類のLDPC符号それぞれについて、そのLDPC符号に専用のビット割り当てパターンを採用する場合のように、異なる種類のLDPC符号ごとに、ビット割り当てパターンの変更をする必要がなくなる。

[06661] さらに、図125ないし図128のビット割り当てパターンによれば、複数種類のLDPC符号それぞれについて、そのLDPC符号に専用のビット割り当てパターンを採用する場合には多少及ばないものの、それでも、エラーに対する耐性を高性能にすることができる。

[06662] すなわち、例えば、変調方式が4096QAMである場合には、符号長Nが64800で、符号化率が5/6及び9/10それぞれのLDPC符号については、いずれのLDPC符号についても、図125又は図126の、同一のビット割り当てパターンを採用することができる。そして、このように、同一のビット割り当てパターンを採用しても、エラーに対する耐性を高性能にすることができる。

[06663] さらに、例えば、変調方式が1024QAMである場合には、符号長Nが16200で、符号化率が3/4, 5/6、及び8/9それぞれのLDPC符号と、符号長Nが64800で、符号化率が3/4, 5/6、及び9/10それぞれのLDPC符号とについては、いずれのLDPC符号についても、図127の、同一のビット割り当てパターンを採用することができる。そして、このように、同一のビット割り当てパターンを採用しても、エラーに対する耐性を高性能にすることができる。

[06664] また、例えば、変調方式が4096QAMである場合には、符号長Nが16200で、符号化率が5/6及び8/9それぞれのLDPC符号と、符号長Nが64800で、符号化率が5/6及び9/10それぞれのLDPC符号とについては、いずれのLDPC符号についても、図128の、同一のビット割り当てパターンを採用することができる。そして、このように、同一のビット割り当てパターンを採用しても、エラーに対する耐性を高性能にすることができる。

[0665] ビット割り当てパターンのバリエーションについて、さらに説明する。

[0666] 図133は、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が、例えば、図78ないし図123に示した検査行列初期値テーブルから生成される検査行列 $H$ で定義されるLDPC符号の符号化率のうちの3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式がQPSKで、倍数 $b$ が1である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0667] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式がQPSKで、倍数 $b$ が1である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(N/(2 \times 1)) \times (2 \times 1)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $2 \times 1 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0668] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $2 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ を、図133に示すように、 $1 (=b)$ 個のシンボルの $2 \times 1 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ 及び $y_1$ に割り当てるように、 $2 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ を入れ替える。

[0669] すなわち、図133によれば、入れ替え部32は、  
符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0670] なお、この場合、入れ替えは行われず、符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ が、それぞれ、そのまま、シンボルビット $y_0$ 及び $y_1$ とされることがもできる。

[0671] 図134は、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0672] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(N/(4 \times 2)) \times (4 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $4 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0673] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $4 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、図134に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $4 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てるように、 $4 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0674] すなわち、図134によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てて入れ替えを行う。

[0675] 図135は、変調方式が64QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が $3/5$ 以外のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0676] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が $3/5$ 以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式が64QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向 $\times$ ロウ方向が $(N/(6 \times 2)) \times (6 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $6 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0677] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を、図135に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $6 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{11}$ に割り当てるように、 $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0678] すなわち、図135によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、

符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0679] 図136は、変調方式が256QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0680] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(8 \times 2)) \times (8 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0681] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_1$ を、図136に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $8 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ に割り当てるように、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を入れ替える。

[0682] すなわち、図136によれば、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、

符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0683] 図137は、変調方式が256QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、倍数 $b$ が1である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0684] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5以外のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が1である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(8 \times 1)) \times (8 \times 1)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 1 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0685] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、図137に示すように、 $1 (=b)$ 個のシンボルの $8 \times 1 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てるように、 $8 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0686] すなわち、図137によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_3$ に、

符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0687] 図138は、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式がQPSKで、倍数 $b$ が1である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0688] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200又は64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式がQPSKで、倍数 $b$ が1である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(N/(2 \times 1)) \times (2 \times 1)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $2 \times 1 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0689] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $2 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ を、図138に示すように、 $1 (=b)$ 個のシンボルの $2 \times 1 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ 及び $y_1$ に割り当てるように、 $2 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ を入れ替える。

[0690] すなわち、図138によれば、入れ替え部32は、  
 符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0691] なお、この場合、入れ替えは行われず、符号ビット $b_0$ 及び $b_1$ が、それぞれ、そのまま、シンボルビット $y_0$ 及び $y_1$ とされることがもできる。

[0692] 図139は、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0693] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さら

に、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(4 \times 2)) \times (4 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $4 \times 2(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0694] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、図139に示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $4 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てるように、 $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0695] すなわち、図139によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0696] 図140は、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0697] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が $3/5$ のLDPC符号であり、さらに、変調方式が16QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(4 \times 2)) \times (4 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $4 \times 2(=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0698] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、図140に示すように、連続する $2(=b)$ 個のシンボルの $4 \times 2(=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てるように、 $4 \times 2(=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。



[0699] すなわち、図140によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0700] 図141は、変調方式が64QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0701] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が64QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(6 \times 2)) \times (6 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $6 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0702] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_1$ を、図141に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $6 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{11}$ に割り当てるように、 $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0703] すなわち、図141によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_3$ に、

符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0704] 図142は、変調方式が64QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0705] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が64QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(6 \times 2)) \times (6 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $6 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0706] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を、図142に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $6 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{11}$ に割り当てるように、 $6 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{11}$ を入れ替える。

[0707] すなわち、図142によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_1$ に、

符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0708] 図143は、変調方式が256QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、倍数 $b$ が2である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0709] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(8 \times 2)) \times (8 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0710] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_1$ を、図143に示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $8 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ に割り当てるように、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を入れ替える。

[0711] すなわち、図143によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、

符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0712] 図144は、変調方式が256QAMであり、かつ、LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、倍数 $b$ が1である場合に採用することができるビット割り当てパターンの例を示している。

[0713] LDPC符号が、符号長 $N$ が16200ビットで、符号化率が3/5のLDPC符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が1である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(16200/(8 \times 1)) \times (8 \times 1)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 1 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32に供給される。

[0714] 入れ替え部32は、メモリ31から読み出される $8 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を、図144に示すように、 $1 (=b)$ 個のシンボルの $8 \times 1 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_7$ に割り当てるように、 $8 \times 1 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_7$ を入れ替える。

[0715] すなわち、図144によれば、入れ替え部32は、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0716] 次に、受信装置12を構成するデインターリーバ53について説明する。

[0717] 図145は、デインターリーバ53を構成するマルチプレクサ54の処理を説明する図である。

- [0718] すなわち、図145のAは、マルチプレクサ54の機能的な構成例を示している。
- [0719] マルチプレクサ54は、逆入れ替え部1001、及びメモリ1002から構成される。
- [0720] マルチプレクサ54は、前段のデマッピング部52から供給されるシンボルのシンボルビットを対象として、送信装置11のデマルチプレクサ25が行う入れ替え処理に対応する逆入れ替え処理(入れ替え処理の逆の処理)、すなわち、入れ替え処理によって入れ替えられたLDPC符号の符号ビット(シンボルビット)の位置を元の位置に戻す逆入れ替え処理を行い、その結果得られるLDPC符号を、後段のカラムツイストデインターリーバ55に供給する。
- [0721] すなわち、マルチプレクサ54において、逆入れ替え部1001には、(連続する) $b$ 個のシンボルの単位で、その $b$ 個のシンボルの $mb$ ビットのシンボルビット $y_0, y_1, \dots, y_{mb-1}$ が供給される。
- [0722] 逆入れ替え部1001は、 $mb$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{mb-1}$ を、元の $mb$ ビットの符号ビット $b_0, b_1, \dots, b_{mb-1}$ の並び(送信装置11側のデマルチプレクサ25を構成する入れ替え部32での入れ替えが行われる前の符号ビット $b_0$ ないし $b_{mb-1}$ の並び)に戻す逆入れ替えを行い、その結果得られる $mb$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{mb-1}$ を出力する。
- [0723] メモリ1002は、送信装置11側のデマルチプレクサ25を構成するメモリ31と同様に、ロウ(row)(横)方向に $mb$ ビットを記憶するとともに、カラム(column)(縦)方向に $N/(mb)$ ビットを記憶する記憶容量を有する。すなわち、メモリ1002は、 $N/(mb)$ ビットを記憶する $mb$ 個のカラムから構成される。
- [0724] 但し、メモリ1002では、送信装置11のデマルチプレクサ25のメモリ31からの符号ビットの読み出しが行われる方向に、逆入れ替え部1001が出力するLDPC符号の符号ビットの書き込みが行われ、メモリ31への符号ビットの書き込みが行われる方向に、メモリ1002に書き込まれた符号ビットの読み出しが行われる。
- [0725] すなわち、受信装置12のマルチプレクサ54では、図145のAに示すように、逆入れ替え部1001が出力するLDPC符号の符号ビットを、 $mb$ ビット単位で、ロウ方向に書き込むことが、メモリ1002の1行目から下の行に向かって順次行われる。
- [0726] そして、1符号長分の符号ビットの書き込みが終了すると、マルチプレクサ54では、メモリ1002から、符号ビットを、カラム方向に読み出して、後段のカラムツイストデイン

ターリーバ55に供給する。

[0727] ここで、図145のBは、メモリ1002からの符号ビットの読み出しを示す図である。

[0728] マルチプレクサ54では、LDPC符号の符号ビットを、メモリ1002を構成するカラムの上から下方向(カラム方向)に読み出すことが、左から右方向のカラムに向かって行われる。

[0729] 次に、図146を参照して、受信装置12におけるデインターリーバ53を構成するカラムツイストデインターリーバ55の処理を説明する。

[0730] 図146は、マルチプレクサ54のメモリ1002の構成例を示している。

[0731] メモリ1002は、カラム(縦)方向にmbビットを記憶するとともに、ロウ(横)方向にN/(mb)ビットを記憶する記憶容量を有し、mb個のカラムから構成される。

[0732] カラムツイストデインターリーバ55は、メモリ1002に対して、LDPC符号の符号ビットを、ロウ方向に書き込み、カラム方向に読み出すときの読み出し始めの位置を制御することで、カラムツイストデインターリーブを行う。

[0733] すなわち、カラムツイストデインターリーバ55では、複数のカラムそれぞれについて、符号ビットの読み出しを開始する読み出し始めの位置を、適宜変更することで、カラムツイストインターリーブで並び替えられた符号ビットの並びを、元の並びに戻す逆並び替え処理を行う。

[0734] ここで、図146は、変調方式が16QAMであり、かつ、倍数bが1である場合の、メモリ1002の構成例を示している。したがって、1シンボルのビット数mは、4ビットであり、また、メモリ1002は、4(=mb)個のカラムで構成される。

[0735] カラムツイストデインターリーバ55は、(マルチプレクサ54に代わり、)入れ替え部1001が出力するLDPC符号の符号ビットのロウ方向への書き込みを、メモリ1002の1行目から下の行に向かって順次行う。

[0736] そして、1符号長分の符号ビットの書き込みが終了すると、カラムツイストデインターリーバ55は、符号ビットを、メモリ1002の上から下方向(カラム方向)に読み出すことを、左から右方向のカラムに向かって行う。

[0737] 但し、カラムツイストデインターリーバ55は、送信装置11側のカラムツイストインターリーバ24が符号ビットを書き込む書き始めの位置を、符号ビットの読み出し始めの位

置として、メモリ1002からの符号ビットの読み出しを行う。

- [0738] すなわち、各カラムの先頭(一番上)の位置のアドレスを0として、カラム方向の各位置のアドレスを、昇順の整数で表すこととすると、変調方式が16QAMであり、かつ、倍数 $b$ が1である場合には、カラムツイストデインターリーブ55では、最も左のカラムについては、読み出し始めの位置を、アドレスが0の位置とし、(左から)2番目のカラムについては、読み出し始めの位置を、アドレスが2の位置とし、3番目のカラムについては、読み出し始めの位置を、アドレスが4の位置とし、4番目のカラムについては、読み出し始めの位置を、アドレスが7の位置とする。
- [0739] なお、読み出し始めの位置が、アドレスが0の位置以外の位置のカラムについては、符号ビットの読み出しを、最も下の位置まで行った後は、先頭(アドレスが0の位置)に戻り、読み出し始めの位置の直前の位置までの読み出しが行われる。そして、その後、次(右)のカラムからの読み出しが行われる。
- [0740] 以上のようなカラムツイストデインターリーブを行うことにより、カラムツイストインターリーブで並び替えられた符号ビットの並びが、元の並びに戻される。
- [0741] 次に、図147は、受信装置12の他の構成例を示すブロック図である。
- [0742] 図147において、受信装置12は、送信装置11からの変調信号を受信するデータ処理装置であり、直交復調部51、デマッピング部52、デインターリーブ53、及びLDPC復号部1021から構成される。
- [0743] 直交復調部51は、送信装置11からの変調信号を受信し、直交復調を行って、その結果得られるシンボル(I及びQ軸方向それぞれの値)を、デマッピング部52に供給する。
- [0744] デマッピング部52は、直交復調部51からのシンボルを、LDPC符号の符号ビットにするデマッピングを行い、デインターリーブ53に供給する。
- [0745] デインターリーブ53は、マルチプレクサ(MUX)54、カラムツイストデインターリーブ55、及び、パリティデインターリーブ1011から構成され、デマッピング部52からのLDPC符号の符号ビットのデインターリーブを行う。
- [0746] すなわち、マルチプレクサ54は、デマッピング部52からのLDPC符号を対象として、送信装置11のデマルチプレクサ25が行う入れ替え処理に対応する逆入れ替え処理

(入れ替え処理の逆の処理)、すなわち、入れ替え処理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逆入れ替え処理を行い、その結果得られるLDPC符号を、カラムツイストデインターリーブ55に供給する。

[0747] カラムツイストデインターリーブ55は、マルチプレクサ54からのLDPC符号を対象として、送信装置11のカラムツイストインターリーブ24が行う並び替え処理としてのカラムツイストインターリーブに対応するカラムツイストデインターリーブを行う。

[0748] カラムツイストデインターリーブの結果得られるLDPC符号は、カラムツイストデインターリーブ55からパリティデインターリーブ1011に供給される。

[0749] パリティデインターリーブ1011は、カラムツイストデインターリーブ55でのカラムツイスト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。

[0750] 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復号部1021に供給される。

[0751] したがって、図147の受信装置12では、LDPC復号部1021には、逆入れ替え処理、カラムツイストデインターリーブ、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。

[0752] LDPC復号部1021は、デインターリーブ53からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPC符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列Hそのもの、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い、その結果得られるデータを、対象データの復号結果として出力する。

[0753] ここで、図147の受信装置12では、デインターリーブ53(のパリティデインターリーブ1011)からLDPC復号部1021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符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列Hそのものを用いて行う場



合には、LDPC復号部1021は、例えば、メッセージ(チェックノードメッセージ、バリバブルノードメッセージ)の演算を1個のノードずつ順次行うフルシリアルデコーディング(full serial decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置や、メッセージの演算をすべてのノードについて同時(並列)に行うフルパラレルデコーディング(full parallel decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置で構成することができる。

[0754] また、LDPC復号部1021において、LDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPC符号化部21がLDPC符号化に用いた検査行列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場合には、チェックノード演算、及びバリバブルノード演算を、P(又はPの1以外の約数)個同時に行うアーキテクチャ(architecture)の復号装置であって、変換検査行列を得るための列置換と同様の列置換を、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を有する復号装置で構成することができる。

[0755] なお、図147では、説明の便宜のため、逆入れ替え処理を行うマルチプレクサ54、カラムツイストデインターリーブを行うカラムツイストデインターリーバ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バ1011それぞれを、別個に構成するようにしたが、マルチプレクサ54、カラムツイストデインターリーバ55、及び、パリティデインターリーバ1011の2以上は、送信装置11のパリティインターリーバ23、カラムツイストインターリーバ24、及び、デマルチプレクサ25と同様に、一体的に構成することができる。

[0756] 次に、図148は、受信装置12に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148において、受信システムは、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103から構成される。

[0758] 取得部1101は、番組の画像データや音声データ等の対象データを、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、図示せぬ伝送路を介して取得し、伝送路復号処理部1102に供給する。

- [0759] ここで、取得部1101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1101は、チューナやSTB(Set Top Box)等で構成される。また、取得部1101が取得する信号が、例えば、webサーバから、IPTV(Internet Protocol Television)のようにマルチキャストで送信されてくる場合には、取得部1101は、例えば、NIC(Network Interface Card)等のネットワーク/F(Inter face)で構成される。
- [0760] 伝送路復号処理部1102は、取得部1101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1103に供給する。
- [0761] すなわち、取得部1101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1102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。
- [0762] ここで、誤り訂正符号化としては、例えば、LDPC符号化や、リードソロモン符号化等がある。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。
- [0763] 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。
- [0764] 情報源復号処理部1103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。
- [0765] すなわち、取得部1101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1103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。
- [0766] なお、取得部1101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1103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。
- [0767] 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。

- [0768] 以上のように構成される受信システムでは、取得部1101において、例えば、画像や音声等のデータに対して、MPEG符号化等の圧縮符号化が施され、さらに、LDPC符号化等の誤り訂正符号化が施された信号が、伝送路を介して取得され、伝送路復号処理部1102に供給される。
- [0769] 伝送路復号処理部1102では、取得部1101からの信号に対して、例えば、直交復調部51や、デマッピング部52、デインターリーバ53、LDPC復号部56(又はLDPC復号部1021)と同様の処理が、伝送路復号処理として施され、その結果得られる信号が、情報源復号処理部1103に供給される。
- [0770] 情報源復号処理部1103では、伝送路復号処理部1102からの信号に対して、MP EG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。
- [0771] 以上のような図148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。
- [0772] なお、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103は、それぞれ、1つの独立した装置(ハードウェア(IC(Integrated Circuit)等))、又はソフトウェアモジュール)として構成することが可能である。
- [0773] また、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103については、取得部1101と伝送路復号処理部1102とのセットや、伝送路復号処理部1102と情報源復号処理部1103とのセット、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103のセットを、1つの独立した装置として構成することが可能である。
- [0774] 図149は、受信装置12に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。
- [0775] なお、図中、図148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。
- [0776] 図149の受信システムは、取得部1101、伝送路復号処理部1102、及び、情報源復号処理部1103を有する点で、図148の場合と共通し、出力部1111が新たに設けられている点で、図148の場合と相違する。

- [0777] 出力部1111は、例えば、画像を表示する表示装置や、音声を出力するスピーカであり、情報源復号処理部1103から出力される信号としての画像や音声等を出力する。すなわち、出力部1111は、画像を表示し、あるいは、音声を出力する。
- [0778] 以上のような図149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。
- [0779] なお、取得部1101において取得された信号に、圧縮符号化が施されていない場合には、伝送路復号処理部1102が出力する信号が、出力部1111に供給される。
- [0780] 図150は、受信装置12に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。
- [0781] なお、図中、図148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。
- [0782] 図150の受信システムは、取得部1101、及び、伝送路復号処理部1102を有する点で、図148の場合と共通する。
- [0783] 但し、図150の受信システムは、情報源復号処理部1103が設けられておらず、記録部1121が新たに設けられている点で、図148の場合と相違する。
- [0784] 記録部1121は、伝送路復号処理部1102が出力する信号(例えば、MPEGのTSのTSパケット)を、光ディスクや、ハードディスク(磁気ディスク)、フラッシュメモリ等の記録(記憶)媒体に記録する(記憶させる)。
- [0785] 以上のような図150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。
- [0786] なお、図150において、受信システムは、情報源復号処理部1103を設けて構成し、情報源復号処理部1103で、情報源復号処理が施された後の信号、すなわち、デコードによって得られる画像や音声を、記録部1121で記録することができる。
- [0787] ところで、図63の割り当てルールに従って、符号ビットを図64に示したように入れ替える新入れ替え方式の入れ替え処理によれば、図60のCに示したように符号ビットを入れ替える現行方式の入れ替え処理よりも、エラーに対する耐性を向上させることができる(図65)。

[0788] また、図66ないし図68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LDPC符号(提案符号)によれば、図69に示したように、規格符号よりも、エラーに対する耐性を向上させることができる。

[0789] 以上のように、新入れ替え方式、又は、提案符号を採用するだけでも、エラーに対する耐性を向上させることができるが、提案符号を採用し、かつ、その提案符号に適切な割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えを行う方式(以下、適切方式ともいう)の入れ替え処理を採用することで、エラーに対する耐性を、さらに向上させることができる。

[0790] 図151ないし図155は、適切方式を説明する図である。

[0791] すなわち、図151は、LDPC符号が、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3の、図66ないし図68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LDPC符号(提案符号)であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数bが2である場合の、符号ビットグループとシンボルビットグループとを示している。

[0792] この場合、メモリ31からは、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ の単位で読み出しが行われるが、その $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ は、エラー確率の違いに応じて、図151のAに示すように、5個の符号ビットグループ $Gb_1, Gb_2, Gb_3, Gb_4, Gb_5$ にグループ分けすることができる。

[0793] 図151のAでは、符号ビットグループ $Gb_1$ には、符号ビット $b_0$ が、符号ビットグループ $Gb_2$ には、符号ビット $b_1$ が、符号ビットグループ $Gb_3$ には、符号ビット $b_2$ ないし $b_9$ が、符号ビットグループ $Gb_4$ には、符号ビット $b_{10}$ が、符号ビットグループ $Gb_5$ には、符号ビット $b_{11}$ ないし $b_{15}$ が、それぞれ属する。

[0794] 変調方式が256QAMで、倍数bが2である場合、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ は、エラー確率の違いに応じて、図151のBに示すように、4個のシンボルビットグループ $Gy_1, Gy_2, Gy_3, Gy_4$ にグループ分けすることができる。

[0795] 図151のBでは、シンボルビットグループ $Gy_1$ には、シンボルビット $y_0, y_1, y_8, y_9$ が、シンボルビットグループ $Gy_2$ には、シンボルビット $y_2, y_3, y_{10}, y_{11}$ が、シンボルビットグループ $Gy_3$ には、シンボルビット $y_4, y_5, y_{12}, y_{13}$ が、シンボルビットグループ $Gy_4$ には、シンボルビット $y_6, y_7, y_{14}, y_{15}$ が、それぞれ属する。

[0796] 図152は、LDPC符号が、提案符号であり、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、適切方式の割り当てルールを示している。

[0797] 図152の割り当てルールでは、グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ ,  $(Gb_2, Gy_2, 1)$ ,  $(Gb_3, Gy_1, 2)$ ,  $(Gb_3, Gy_2, 2)$ ,  $(Gb_3, Gy_3, 2)$ ,  $(Gb_3, Gy_4, 2)$ ,  $(Gb_4, Gy_4, 1)$ ,  $(Gb_5, Gy_1, 2)$ ,  $(Gb_5, Gy_2, 1)$ ,  $(Gb_5, Gy_3, 2)$ が規定されている。

[0798] したがって、図152の割り当てルールでは、

グループセット情報 $(Gb_1, Gy_4, 1)$ により、エラー確率が1番目に良い符号ビットグループ $Gb_1$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ $Gy_4$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_2, Gy_2, 1)$ により、エラー確率が2番目に良い符号ビットグループ $Gb_2$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が2番目に良いシンボルビットグループ $Gy_2$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_3, Gy_1, 2)$ により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ $Gb_3$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が1番目に良いシンボルビットグループ $Gy_1$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_3, Gy_2, 2)$ により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ $Gb_3$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が2番目に良いシンボルビットグループ $Gy_2$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_3, Gy_3, 2)$ により、エラー確率が3番目に良い符号ビットグループ $Gb_3$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が3番目に良いシンボルビットグループ $Gy_3$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_3, Gy_4, 2)$ により、エラー確率が3番目により符号ビットグループ $Gb_3$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ $Gy_4$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_4, Gy_4, 1)$ により、エラー確率が4番目により符号ビットグループ $Gb_4$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が4番目に良いシンボルビットグループ $Gy_4$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

グループセット情報 $(Gb_5, Gy_1, 2)$ により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ

プ $Gb_5$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が1番目に良いシンボルビットグループ $Gy_1$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、

グループセット情報( $Gb_5, Gy_2, 1$ )により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ $Gb_5$ の符号ビットの1ビットを、エラー確率が2番目に良いシンボルビットグループ $Gy_2$ のシンボルビットの1ビットに割り当てること、

及び、グループセット情報( $Gb_5, Gy_3, 2$ )により、エラー確率が5番目により符号ビットグループ $Gb_5$ の符号ビットの2ビットを、エラー確率が3番目に良いシンボルビットグループ $Gy_3$ のシンボルビットの2ビットに割り当てること、  
が規定されている。

[0799] 図153は、図152の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの例を示している。

[0800] すなわち、図153のAは、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ の提案符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、図152の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの第1の例を示している。

[0801] LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ の提案符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合、デマルチプレクサ25では、カラム方向×ロウ方向が $(64800/(8 \times 2)) \times (8 \times 2)$ ビットのメモリ31に書き込まれた符号ビットが、ロウ方向に、 $8 \times 2 (=mb)$ ビット単位で読み出され、入れ替え部32(図16、図17)に供給される。

[0802] 入れ替え部32は、図152の割り当てルールに従い、メモリ31から読み出される $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を、例えば、図153のAに示すように、連続する $2 (=b)$ 個のシンボルの $8 \times 2 (=mb)$ ビットのシンボルビット $y_0$ ないし $y_{15}$ に割り当てるように、 $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ を入れ替える。

[0803] すなわち、入れ替え部32は、  
符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_0$ に、

符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

[0804] 図153のBは、LDPC符号が、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が2/3の提案符号であり、さらに、変調方式が256QAMで、倍数 $b$ が2である場合の、図152の割り当てルールに従った符号ビットの入れ替えの第2の例を示している。

[0805] 図153のBによれば、入れ替え部32は、図152の割り当てルールに従い、メモリ31から読み出される $8 \times 2 (=mb)$ ビットの符号ビット $b_0$ ないし $b_{15}$ について、

符号ビット $b_0$ を、シンボルビット $y_7$ に、  
 符号ビット $b_1$ を、シンボルビット $y_2$ に、  
 符号ビット $b_2$ を、シンボルビット $y_1$ に、  
 符号ビット $b_3$ を、シンボルビット $y_0$ に、  
 符号ビット $b_4$ を、シンボルビット $y_{13}$ に、  
 符号ビット $b_5$ を、シンボルビット $y_{12}$ に、  
 符号ビット $b_6$ を、シンボルビット $y_6$ に、  
 符号ビット $b_7$ を、シンボルビット $y_3$ に、  
 符号ビット $b_8$ を、シンボルビット $y_{15}$ に、  
 符号ビット $b_9$ を、シンボルビット $y_{11}$ に、



符号ビット $b_{10}$ を、シンボルビット $y_{14}$ に、  
 符号ビット $b_{11}$ を、シンボルビット $y_5$ に、  
 符号ビット $b_{12}$ を、シンボルビット $y_8$ に、  
 符号ビット $b_{13}$ を、シンボルビット $y_4$ に、  
 符号ビット $b_{14}$ を、シンボルビット $y_{10}$ に、  
 符号ビット $b_{15}$ を、シンボルビット $y_9$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う。

- [0806] ここで、図153のA及び図153のBに示した、符号ビット $b_i$ の、シンボルビット $y_i$ への割り当て方は、いずれも、図152の割り当てルールに従っている(割り当てルールを遵守している)。
- [0807] 図154及び図155は、図151ないし図153で説明した適切方式の入れ替え処理を行った場合のBERのシミュレーションの結果を示している。
- [0808] なお、図154及び図155において、横軸は、 $E_s/N_0$ を表し、縦軸は、BERを表す。また、図154及び図155において、変調方式は、256QAMであり、倍数 $b$ は、2である。
- [0809] 図154は、提案符号について、図151ないし図153で説明した適切方式のうちの図153のAの入れ替え処理を行った場合のBER(図中、丸印で示す)と、符号長 $N$ が64800で、符号化率が2/3の、DVB-S.2の規格に規定されたLDPC符号(規格符号)について、図60のCで説明した入れ替え処理(現行方式の入れ替え処理)を行った場合のBER(図中、アスタリスクで示す)とを示している。
- [0810] 図154から、提案符号について、適切方式の入れ替え処理を行うことにより、規格符号について、現行方式の入れ替え処理を行う場合よりも、エラーフロアを飛躍的に低下させ、エラーに対する耐性を向上させることができることが分かる。
- [0811] 図155は、提案符号について、適切方式の入れ替え処理を行った場合のBER(図中、丸印で示す)と、提案符号について、図60のCで説明した入れ替え処理(現行方式の入れ替え処理)を行った場合のBER(図中、アスタリスクで示す)とを示している。
- [0812] 図155から、提案符号について、適切方式の入れ替え処理を採用することにより、現行方式の入れ替え処理を採用する場合よりも、BERを低下させ、エラーに対する耐性を向上させることができることが分かる。

[0813] なお、本発明の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明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。

## 請求の範囲

- [1] 符号長がNビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットのmビットが1個のシンボルとされ、かつ、
- 所定の正の整数をbとして、
- 前記記憶手段は、前記ロウ方向にmbビットを記憶するとともに、前記カラム方向にN/(mb)ビットを記憶し、
- 前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、
- 前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出されるmbビットの符号ビットが、b個の前記シンボルにされる場合に、
- 前記mbビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替え手段を備え、
- 前記LDPC符号は、DVB-S.2又はDVB-T.2の規格に規定された、符号長Nが64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号であり、
- 前記mビットが8ビットであり、かつ、前記整数bが2であり、
- 前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、
- 前記記憶手段が、ロウ方向に8×2ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に64800/(8×2)ビットを記憶し、
- 前記入れ替え手段は、
- 前記記憶手段のロウ方向に読み出される8×2ビットの符号ビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの8×2ビットのシンボルビットの最上位ビットからi+1ビット目を、ビット $y_i$ として、
- ビット $b_0$ を、ビット $y_{15}$ に、
- ビット $b_1$ を、ビット $y_7$ に、
- ビット $b_2$ を、ビット $y_1$ に、
- ビット $b_3$ を、ビット $y_5$ に、

ビット $b_4$ を、ビット $y_6$ に、  
 ビット $b_5$ を、ビット $y_{13}$ に、  
 ビット $b_6$ を、ビット $y_{11}$ に、  
 ビット $b_7$ を、ビット $y_9$ に、  
 ビット $b_8$ を、ビット $y_8$ に、  
 ビット $b_9$ を、ビット $y_{14}$ に、  
 ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{12}$ に、  
 ビット $b_{11}$ を、ビット $y_3$ に、  
 ビット $b_{12}$ を、ビット $y_0$ に、  
 ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{10}$ に、  
 ビット $b_{14}$ を、ビット $y_4$ に、  
 ビット $b_{15}$ を、ビット $y_2$ に、  
 それぞれ割り当てる入れ替えを行う  
 データ処理装置。

- [2] 符号長が $N$ ビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットの $m$ ビットが1個のシンボルとされ、かつ、
- 所定の正の整数を $b$ として、
- 前記記憶手段は、前記ロウ方向に $mb$ ビットを記憶するとともに、前記カラム方向に $N/(mb)$ ビットを記憶し、
- 前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、
- 前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出される $mb$ ビットの符号ビットが、 $b$ 個の前記シンボルにされる場合に、
- 前記 $mb$ ビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替えステップを備え、
- 前記LDPC符号は、DVB-S.2又はDVB-T.2の規格に規定された、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号であり、

前記 $m$ ビットが8ビットであり、かつ、前記整数 $b$ が2であり、

前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、

前記記憶手段が、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶し、

前記入れ替えステップでは、

前記記憶手段のロウ方向に読み出される $8 \times 2$ ビットの符号ビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $y_i$ として、

ビット $b_0$ を、ビット $y_{15}$ に、

ビット $b_1$ を、ビット $y_7$ に、

ビット $b_2$ を、ビット $y_1$ に、

ビット $b_3$ を、ビット $y_5$ に、

ビット $b_4$ を、ビット $y_6$ に、

ビット $b_5$ を、ビット $y_{13}$ に、

ビット $b_6$ を、ビット $y_{11}$ に、

ビット $b_7$ を、ビット $y_9$ に、

ビット $b_8$ を、ビット $y_8$ に、

ビット $b_9$ を、ビット $y_{14}$ に、

ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{12}$ に、

ビット $b_{11}$ を、ビット $y_3$ に、

ビット $b_{12}$ を、ビット $y_0$ に、

ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{10}$ に、

ビット $b_{14}$ を、ビット $y_4$ に、

ビット $b_{15}$ を、ビット $y_2$ に、

それぞれ割り当てる入れ替えを行う

データ処理方法。

[3] LDPC(Low Density Parity Check)符号による符号化を行う符号化装置において、

符号長が64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号による符号化を行う符号化手段を備え、

前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長、及び前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、

前記検査行列初期値テーブルは、

317 2255 2324 2723 3538 3576 6194 6700 9101 10057 12739 17407 21039  
1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379  
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002  
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666

3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879  
7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432

1064 13555 17033  
679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151  
9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885



2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481  
3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414

10017 11269 16546

7169 10161 16928

10284 16791 20655

36 3175 8475

2605 16269 19290

8947 9178 15420

5687 9156 12408

8096 9738 14711

4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

からなる

符号化装置。

- [4] LDPC(Low Density Parity Check)符号による符号化を行う符号化装置の符号化方法において、

前記符号化装置が、符号長が64800ビットで、符号化率が2/3のLDPC符号による符号化を行うステップを含み、

前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長、及前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、

前記検査行列初期値テーブルは、

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

1958 2007 3294 4394 12762 14505 14593 14692 16522 17737 19245 21272 21379  
127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002  
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829

5024 17730 17879  
7031 12346 15024  
179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033  
679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883

7058 12924 15151  
9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165

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

4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

からなる

符号化方法。

- [5] 符号長が $N$ ビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットの $m$ ビットが1個のシンボルとされ、かつ、
- 所定の正の整数を $b$ として、
- 前記記憶手段は、前記ロウ方向に $mb$ ビットを記憶するとともに、前記カラム方向に $N/(mb)$ ビットを記憶し、
- 前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、
- 前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出される $mb$ ビットの符号ビットが、 $b$ 個の前記シンボルにされる場合に、
- 前記 $mb$ ビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替え手段を備え、
- 前記LDPC符号は、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号であり、
- 前記 $m$ ビットが8ビットであり、かつ、前記整数 $b$ が2であり、
- 前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、
- 前記記憶手段が、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶し、

前記入れ替え手段は、

前記記憶手段のロウ方向に読み出される $8 \times 2$ ビットの符号ビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $y_i$ として、

ビット $b_0$ を、ビット $y_7$ に、

ビット $b_1$ を、ビット $y_2$ に、

ビット $b_2$ を、ビット $y_9$ に、

ビット $b_3$ を、ビット $y_0$ に、

ビット $b_4$ を、ビット $y_4$ に、

ビット $b_5$ を、ビット $y_6$ に、

ビット $b_6$ を、ビット $y_{13}$ に、

ビット $b_7$ を、ビット $y_3$ に、

ビット $b_8$ を、ビット $y_{14}$ に、

ビット $b_9$ を、ビット $y_{10}$ に、

ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{15}$ に、

ビット $b_{11}$ を、ビット $y_5$ に、

ビット $b_{12}$ を、ビット $y_8$ に、

ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{12}$ に、

ビット $b_{14}$ を、ビット $y_{11}$ に、

ビット $b_{15}$ を、ビット $y_1$ に、

それぞれ割り当てる入れ替えを行い、

前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長 $N$ 、及び前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、

前記検査行列初期値テーブルは、

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

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



127 860 5001 5633 8644 9282 12690 14644 17553 19511 19681 20954 21002  
2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879

7031 12346 15024

179 6365 11352

2490 3143 5098

2643 3101 21259

4315 4724 13130

594 17365 18322

5983 8597 9627

10837 15102 20876

10448 20418 21478

3848 12029 15228

708 5652 13146

5998 7534 16117

2098 13201 18317

9186 14548 17776

5246 10398 18597

3083 4944 21021

13726 18495 19921

6736 10811 17545

10084 12411 14432

1064 13555 17033

679 9878 13547

3422 9910 20194

3640 3701 10046

5862 10134 11498

5923 9580 15060

1073 3012 16427

5527 20113 20883

7058 12924 15151

9764 12230 17375  
772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481

3351 6767 12840  
8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546  
7169 10161 16928  
10284 16791 20655  
36 3175 8475  
2605 16269 19290  
8947 9178 15420  
5687 9156 12408  
8096 9738 14711  
4935 8093 19266

2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

13115 17259 17332

からなる

データ処理装置。

- [6] 符号長が $N$ ビットのLDPC(Low Density Parity Check)符号の符号ビットを、ロウ方向とカラム方向に記憶する記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、前記ロウ方向に読み出される前記LDPC符号の符号ビットの $m$ ビットが1個のシンボルとされ、かつ、
- 所定の正の整数を $b$ として、
- 前記記憶手段は、前記ロウ方向に $mb$ ビットを記憶するとともに、前記カラム方向に $N/(mb)$ ビットを記憶し、
- 前記LDPC符号の符号ビットは、前記記憶手段の前記カラム方向に書き込まれ、その後、前記ロウ方向に読み出され、
- 前記記憶手段の前記ロウ方向に読み出される $mb$ ビットの符号ビットが、 $b$ 個の前記シンボルにされる場合に、
- 前記 $mb$ ビットの符号ビットを入れ替えて、入れ替え後の符号ビットを、前記シンボルを表すシンボルビットとする入れ替えステップを備え、
- 前記LDPC符号は、符号長 $N$ が64800ビットで、符号化率が $2/3$ のLDPC符号であり、前記 $m$ ビットが8ビットであり、かつ、前記整数 $b$ が2であり、
- 前記符号ビットの8ビットが、1個の前記シンボルとして、256QAMで定める256個の信号点のうちのいずれかにマッピングされ、
- 前記記憶手段が、ロウ方向に $8 \times 2$ ビットを記憶する16個のカラムを有し、カラム方向に $64800/(8 \times 2)$ ビットを記憶し、
- 前記入れ替えステップでは、

前記記憶手段のロウ方向に読み出される $8 \times 2$ ビットの符号ビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $b_i$ とするとともに、連続する2個の前記シンボルの $8 \times 2$ ビットのシンボルビットの最上位ビットから $i+1$ ビット目を、ビット $y_i$ として、

ビット $b_0$ を、ビット $y_7$ に、

ビット $b_1$ を、ビット $y_2$ に、

ビット $b_2$ を、ビット $y_9$ に、

ビット $b_3$ を、ビット $y_0$ に、

ビット $b_4$ を、ビット $y_4$ に、

ビット $b_5$ を、ビット $y_6$ に、

ビット $b_6$ を、ビット $y_{13}$ に、

ビット $b_7$ を、ビット $y_3$ に、

ビット $b_8$ を、ビット $y_{14}$ に、

ビット $b_9$ を、ビット $y_{10}$ に、

ビット $b_{10}$ を、ビット $y_{15}$ に、

ビット $b_{11}$ を、ビット $y_5$ に、

ビット $b_{12}$ を、ビット $y_8$ に、

ビット $b_{13}$ を、ビット $y_{12}$ に、

ビット $b_{14}$ を、ビット $y_{11}$ に、

ビット $b_{15}$ を、ビット $y_1$ に、

それぞれ割り当てる入れ替えを行い、

前記LDPC符号の検査行列は、その検査行列の、前記符号長 $N$ 、及び前記符号化率に応じた情報長に対応する情報行列の1の要素の位置を360列ごとに表す検査行列初期値テーブルによって定まる前記情報行列の1の要素を、列方向に360列ごとの周期で配置して構成され、

前記検査行列初期値テーブルは、

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

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

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

2514 2822 5781 6297 8063 9469 9551 11407 11837 12985 15710 20236 20393  
1565 3106 4659 4926 6495 6872 7343 8720 15785 16434 16727 19884 21325  
706 3220 8568 10896 12486 13663 16398 16599 19475 19781 20625 20961 21335  
4257 10449 12406 14561 16049 16522 17214 18029 18033 18802 19062 19526 20  
748  
412 433 558 2614 2978 4157 6584 9320 11683 11819 13024 14486 16860  
777 5906 7403 8550 8717 8770 11436 12846 13629 14755 15688 16392 16419  
4093 5045 6037 7248 8633 9771 10260 10809 11326 12072 17516 19344 19938  
2120 2648 3155 3852 6888 12258 14821 15359 16378 16437 17791 20614 21025  
1085 2434 5816 7151 8050 9422 10884 12728 15353 17733 18140 18729 20920  
856 1690 12787  
6532 7357 9151  
4210 16615 18152  
11494 14036 17470  
2474 10291 10323  
1778 6973 10739  
4347 9570 18748  
2189 11942 20666  
3868 7526 17706  
8780 14796 18268  
160 16232 17399  
1285 2003 18922  
4658 17331 20361  
2765 4862 5875  
4565 5521 8759  
3484 7305 15829  
5024 17730 17879  
7031 12346 15024

179 6365 11352  
2490 3143 5098  
2643 3101 21259  
4315 4724 13130  
594 17365 18322  
5983 8597 9627  
10837 15102 20876  
10448 20418 21478  
3848 12029 15228  
708 5652 13146  
5998 7534 16117  
2098 13201 18317  
9186 14548 17776  
5246 10398 18597  
3083 4944 21021  
13726 18495 19921  
6736 10811 17545  
10084 12411 14432  
1064 13555 17033  
679 9878 13547  
3422 9910 20194  
3640 3701 10046  
5862 10134 11498  
5923 9580 15060  
1073 3012 16427  
5527 20113 20883  
7058 12924 15151  
9764 12230 17375



772 7711 12723  
555 13816 15376  
10574 11268 17932  
15442 17266 20482  
390 3371 8781  
10512 12216 17180  
4309 14068 15783  
3971 11673 20009  
9259 14270 17199  
2947 5852 20101  
3965 9722 15363  
1429 5689 16771  
6101 6849 12781  
3676 9347 18761  
350 11659 18342  
5961 14803 16123  
2113 9163 13443  
2155 9808 12885  
2861 7988 11031  
7309 9220 20745  
6834 8742 11977  
2133 12908 14704  
10170 13809 18153  
13464 14787 14975  
799 1107 3789  
3571 8176 10165  
5433 13446 15481  
3351 6767 12840

8950 8974 11650  
1430 4250 21332  
6283 10628 15050  
8632 14404 16916  
6509 10702 16278  
15900 16395 17995  
8031 18420 19733  
3747 4634 17087  
4453 6297 16262  
2792 3513 17031  
14846 20893 21563  
17220 20436 21337  
275 4107 10497  
3536 7520 10027  
14089 14943 19455  
1965 3931 21104  
2439 11565 17932  
154 15279 21414  
10017 11269 16546  
7169 10161 16928  
10284 16791 20655  
36 3175 8475  
2605 16269 19290  
8947 9178 15420  
5687 9156 12408  
8096 9738 14711  
4935 8093 19266  
2667 10062 15972

6389 11318 14417

8800 18137 18434

5824 5927 15314

6056 13168 15179

3284 13138 18919

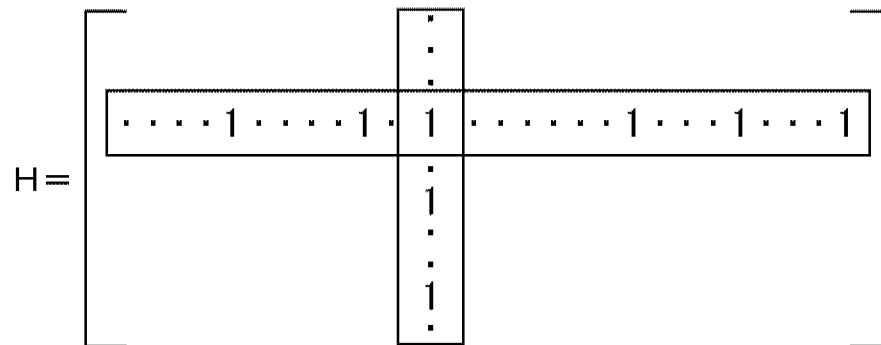
13115 17259 17332

からなる

データ処理方法。

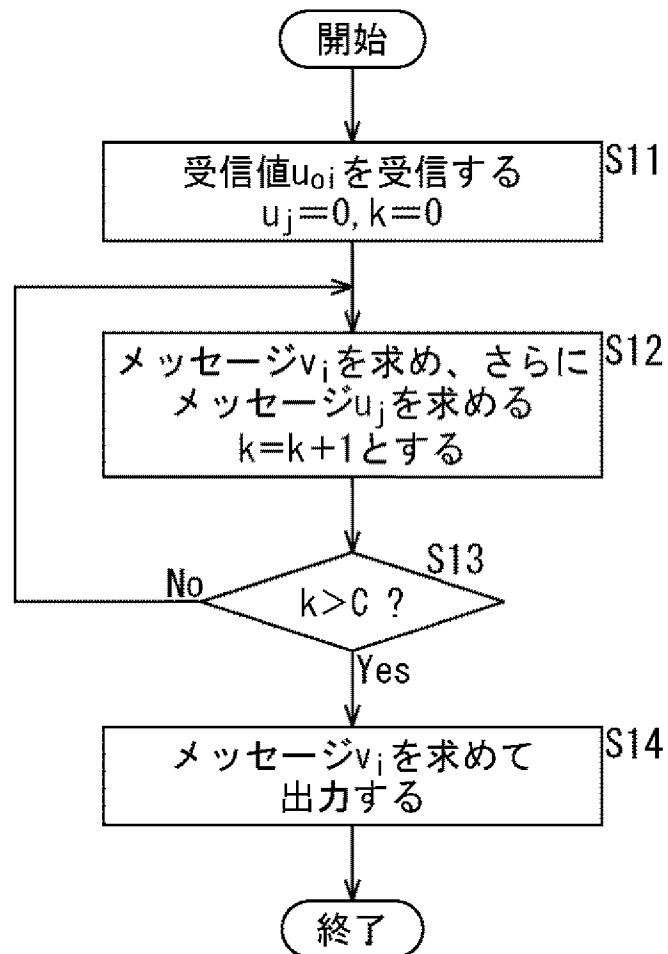
[図1]

図1



[図2]

図2



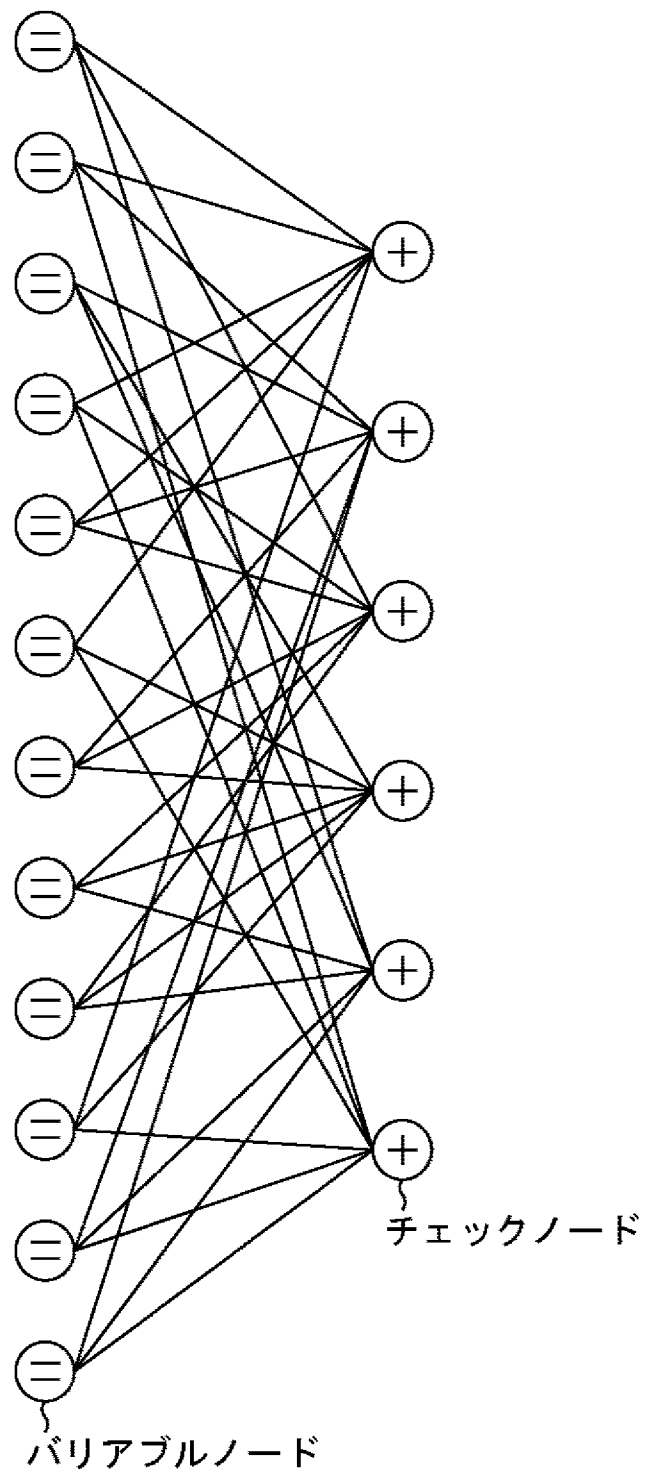
[図3]

図3

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

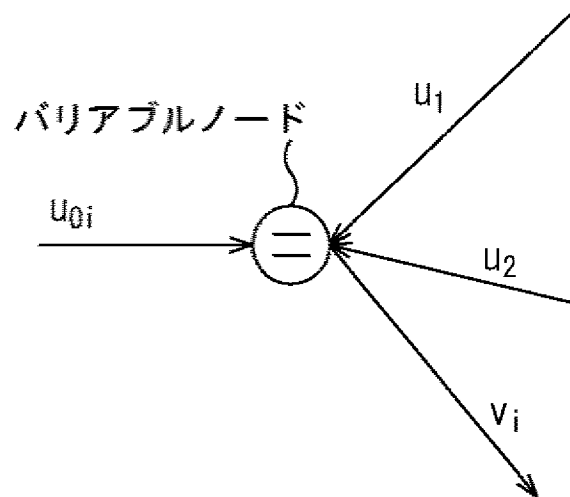
[図4]

図4



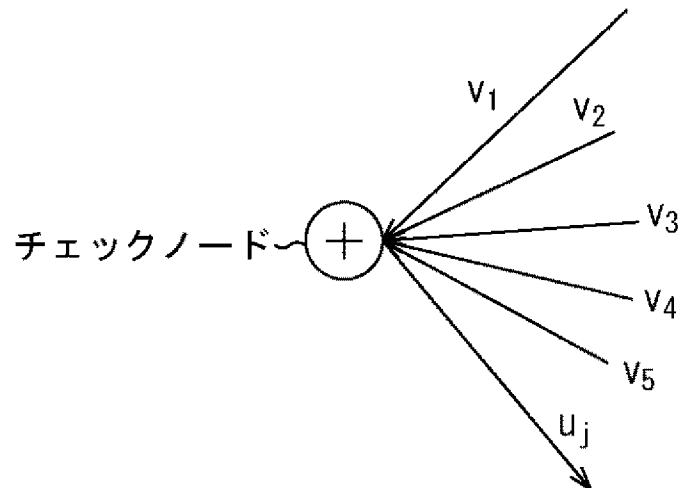
[図5]

図5



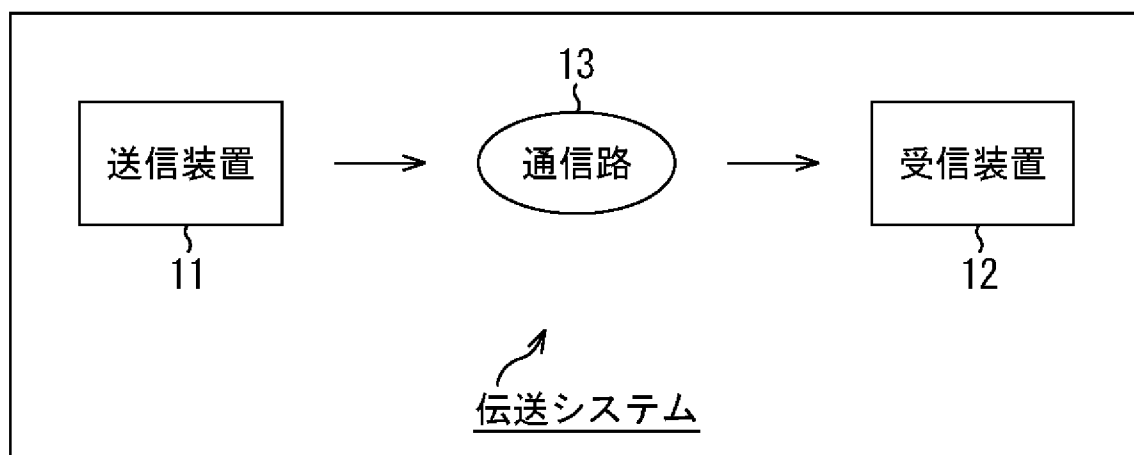
[図6]

図6



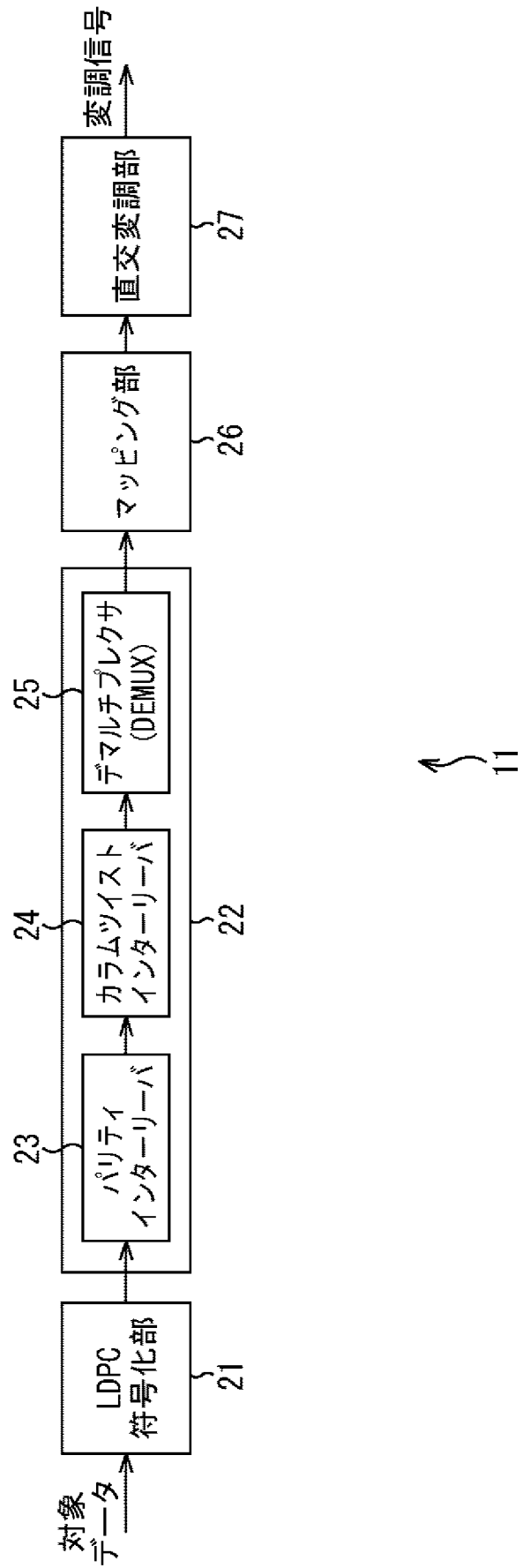
[図7]

図7



[図8]

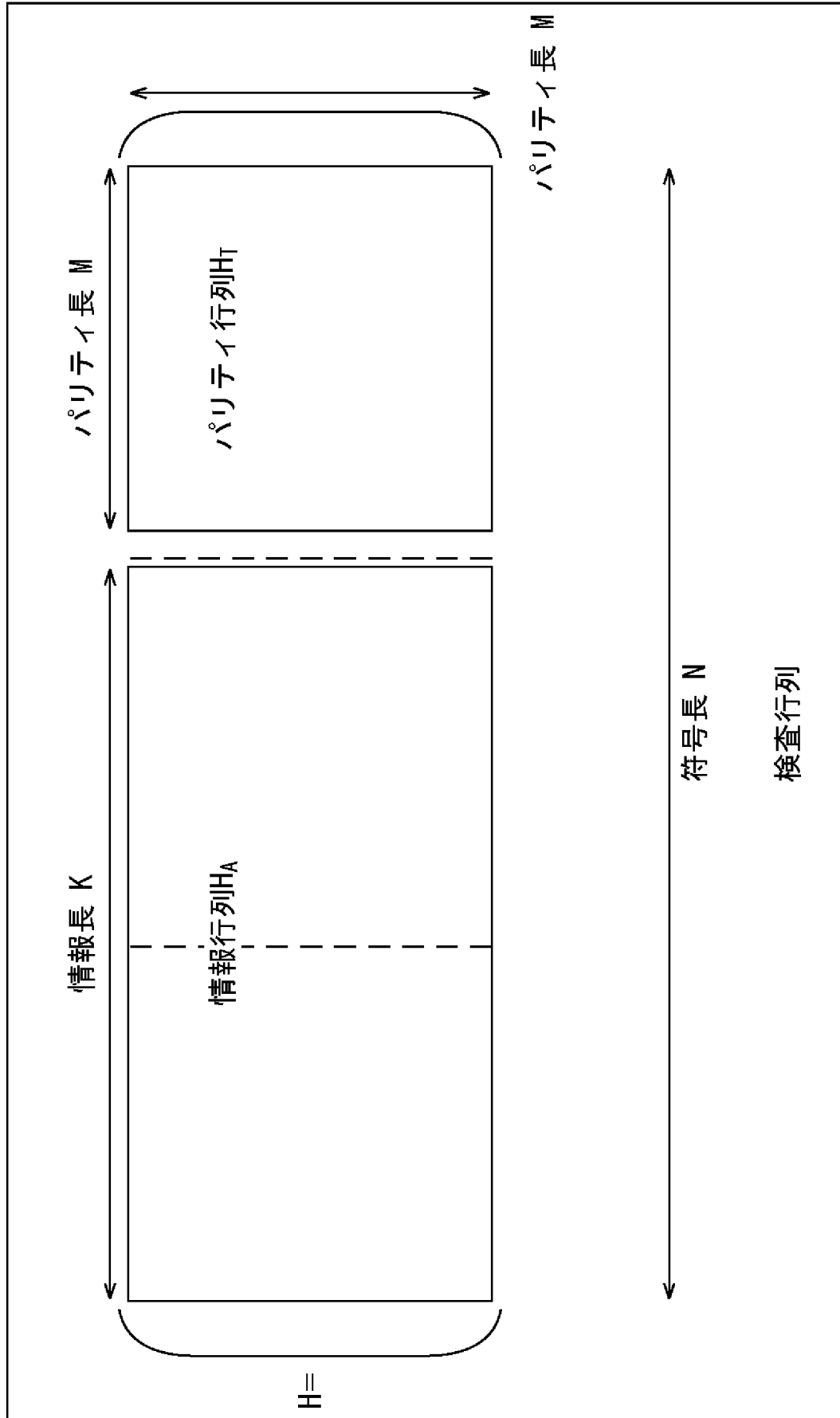
図8





[図9]

図9



[図10]

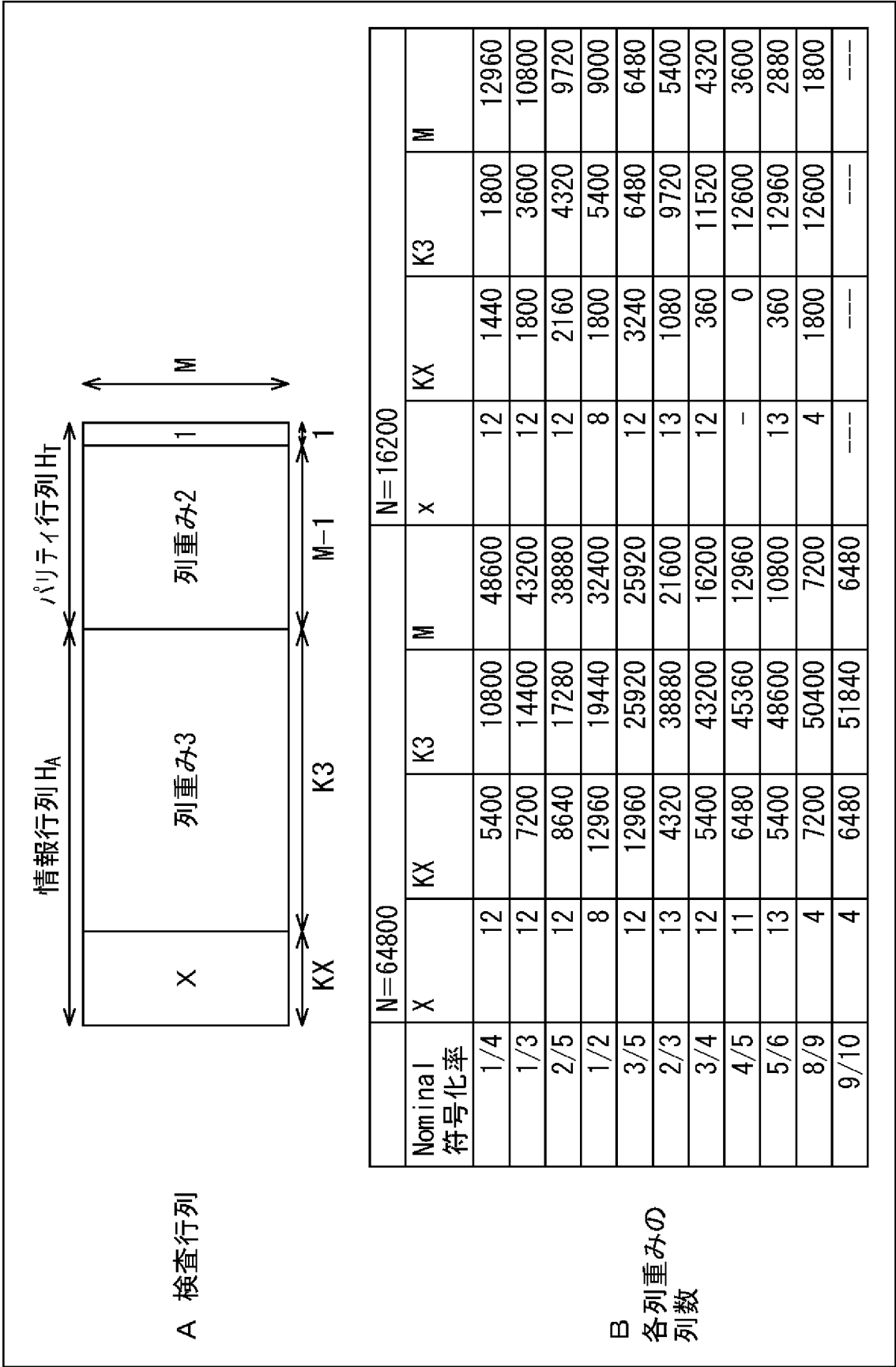
図10

$$H_T = \begin{pmatrix} \begin{array}{ccc|ccc} 1 & & & & & \\ 1 & 1 & & & & \\ & 1 & 1 & & & \\ & & & 1 & 1 & \\ & & & & 1 & 1 \\ & & & & & 1 & 1 \end{array} & 0 \\ 0 & \begin{array}{ccc|ccc} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{array} \end{pmatrix}$$

パリティ行列 $H_T$

[図11]

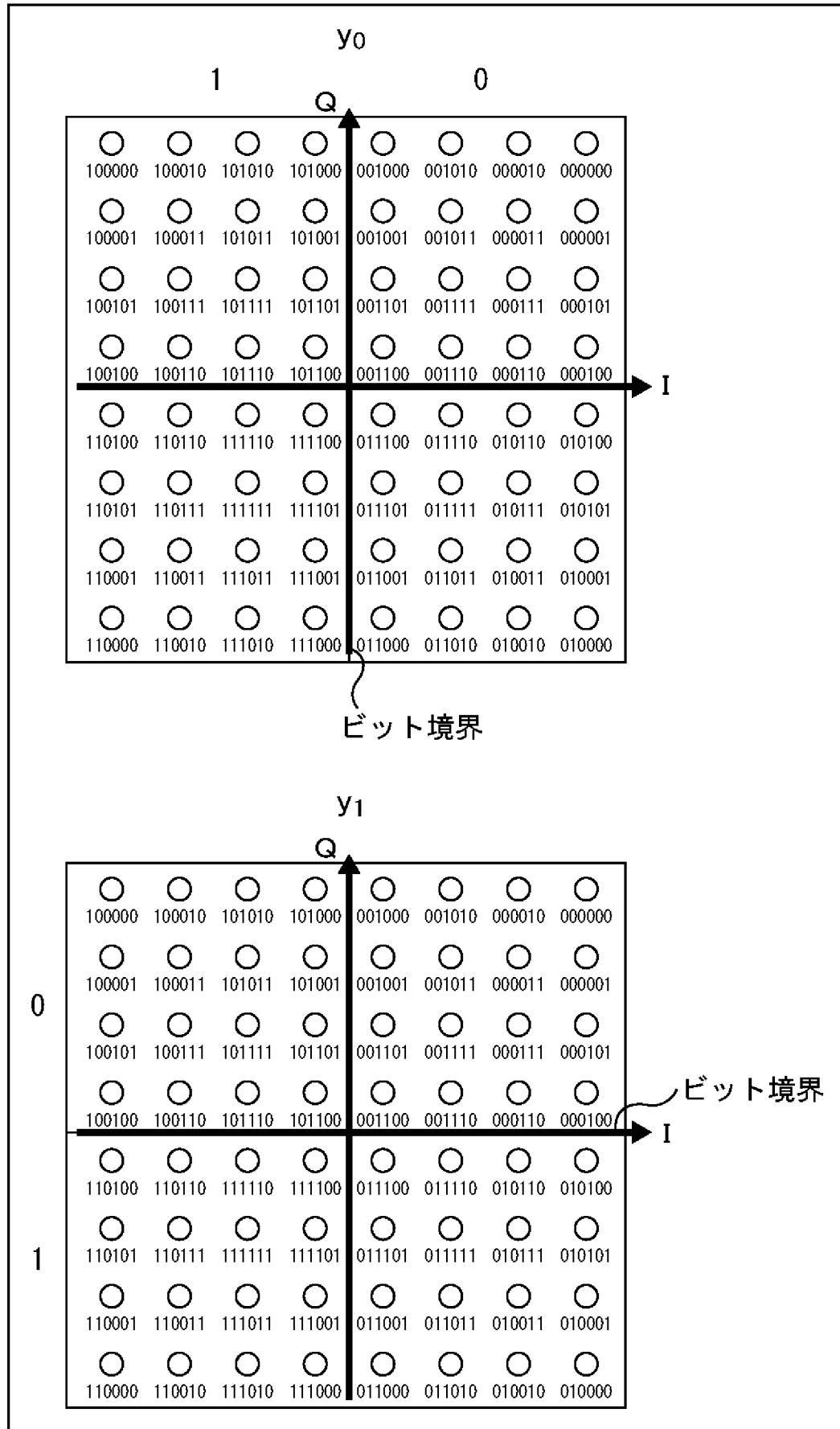
図11





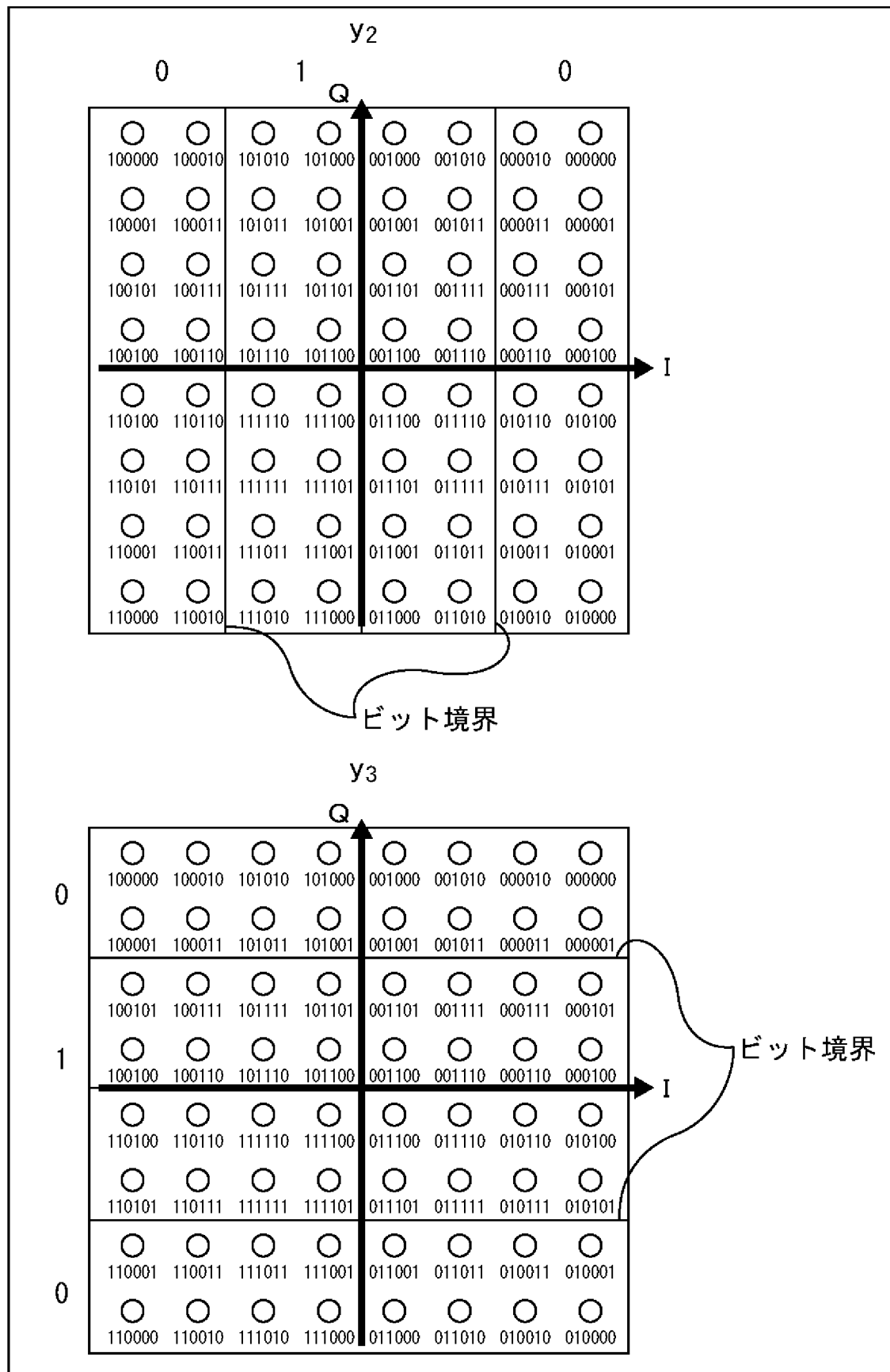
[図13]

図13



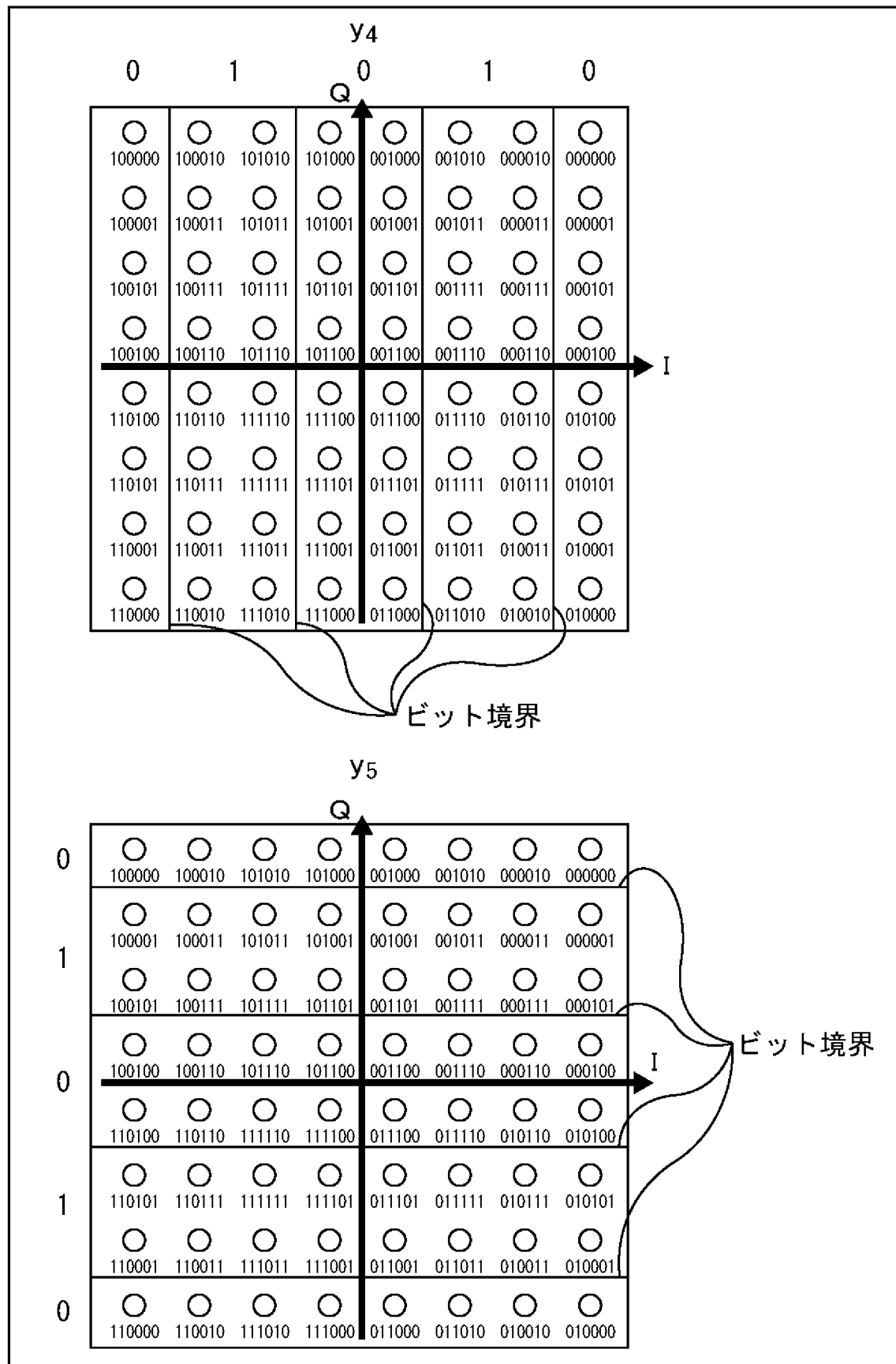
[図14]

図14



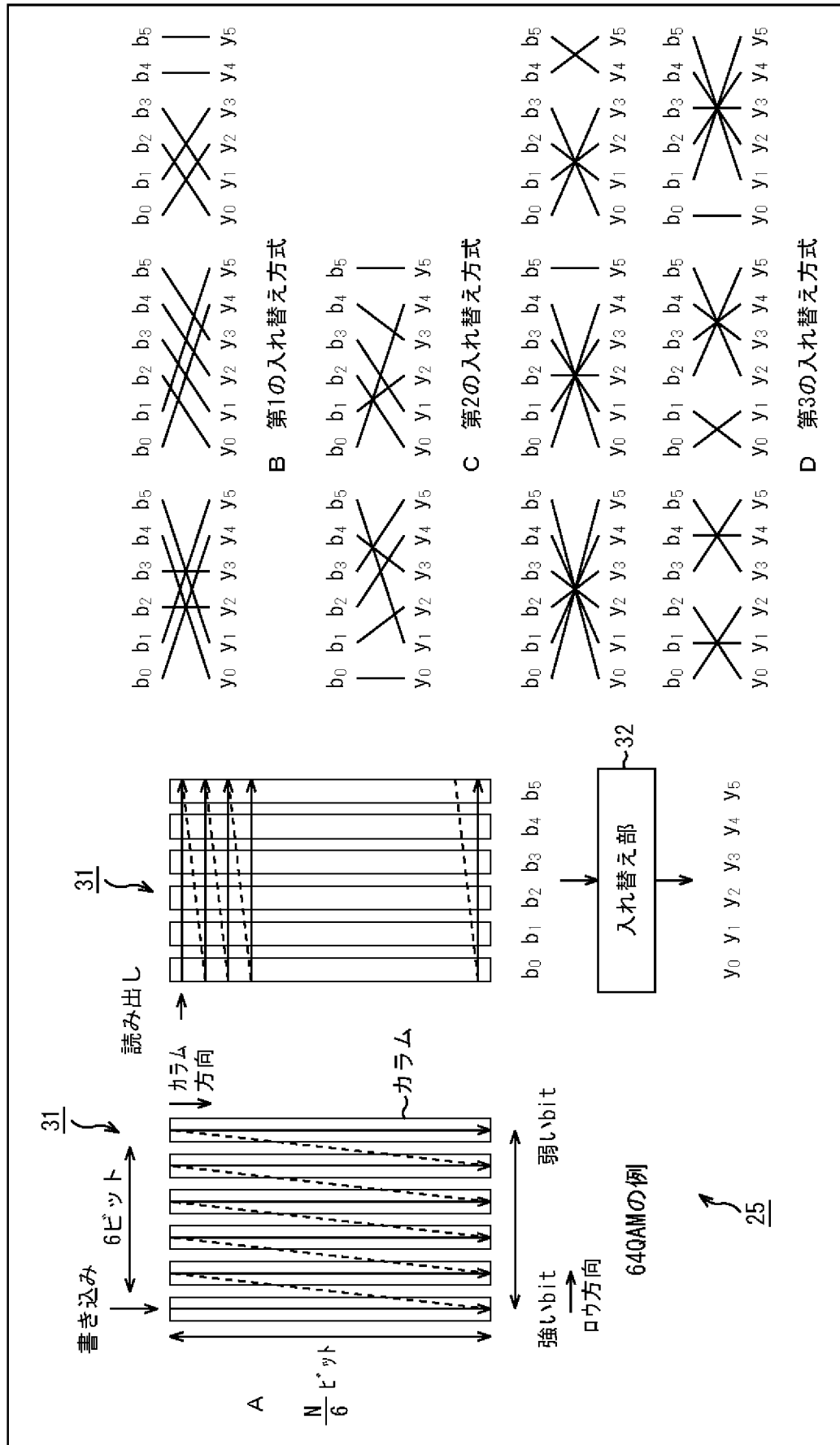
[図15]

図15



[図16]

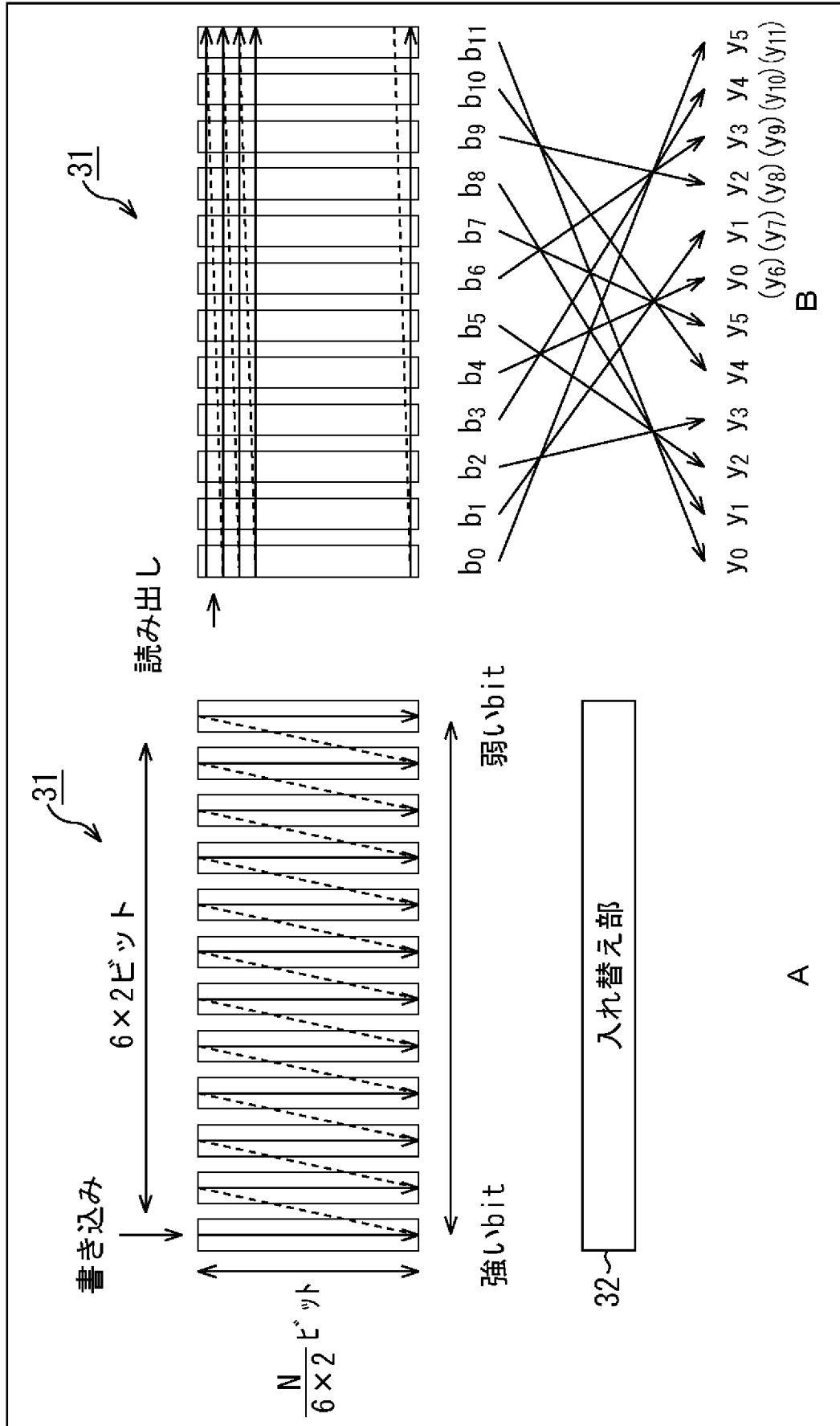
図16





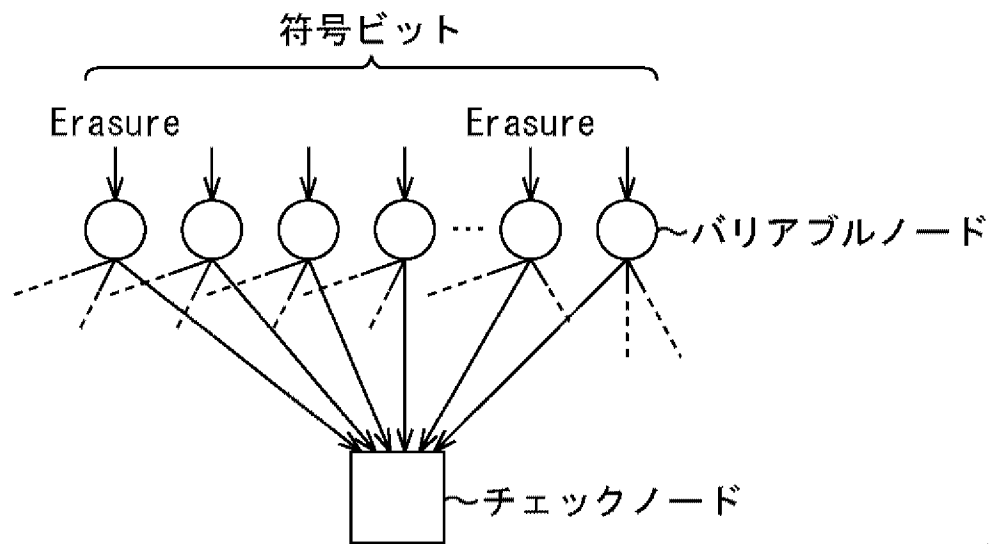
[図17]

図17



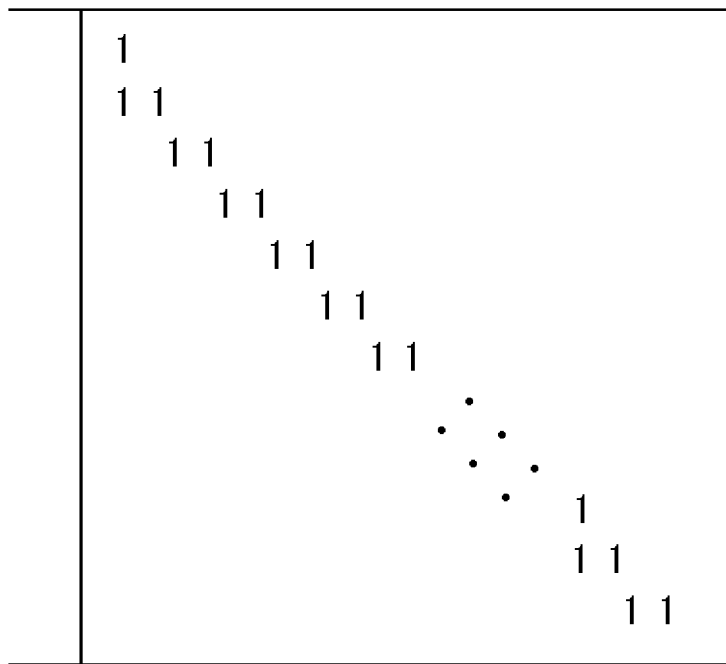
[図18]

図18



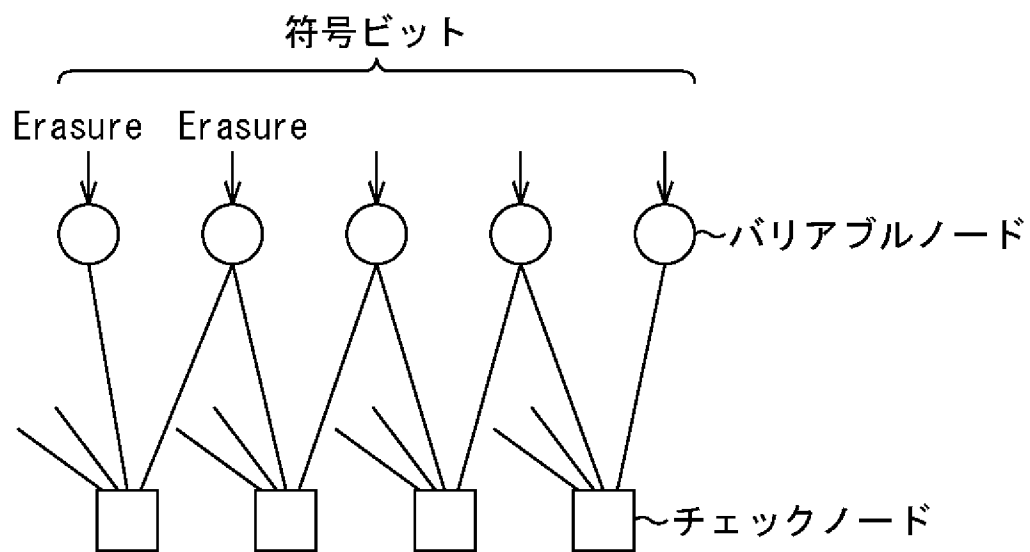
[図19]

図19



パリティ行列の階段構造

A

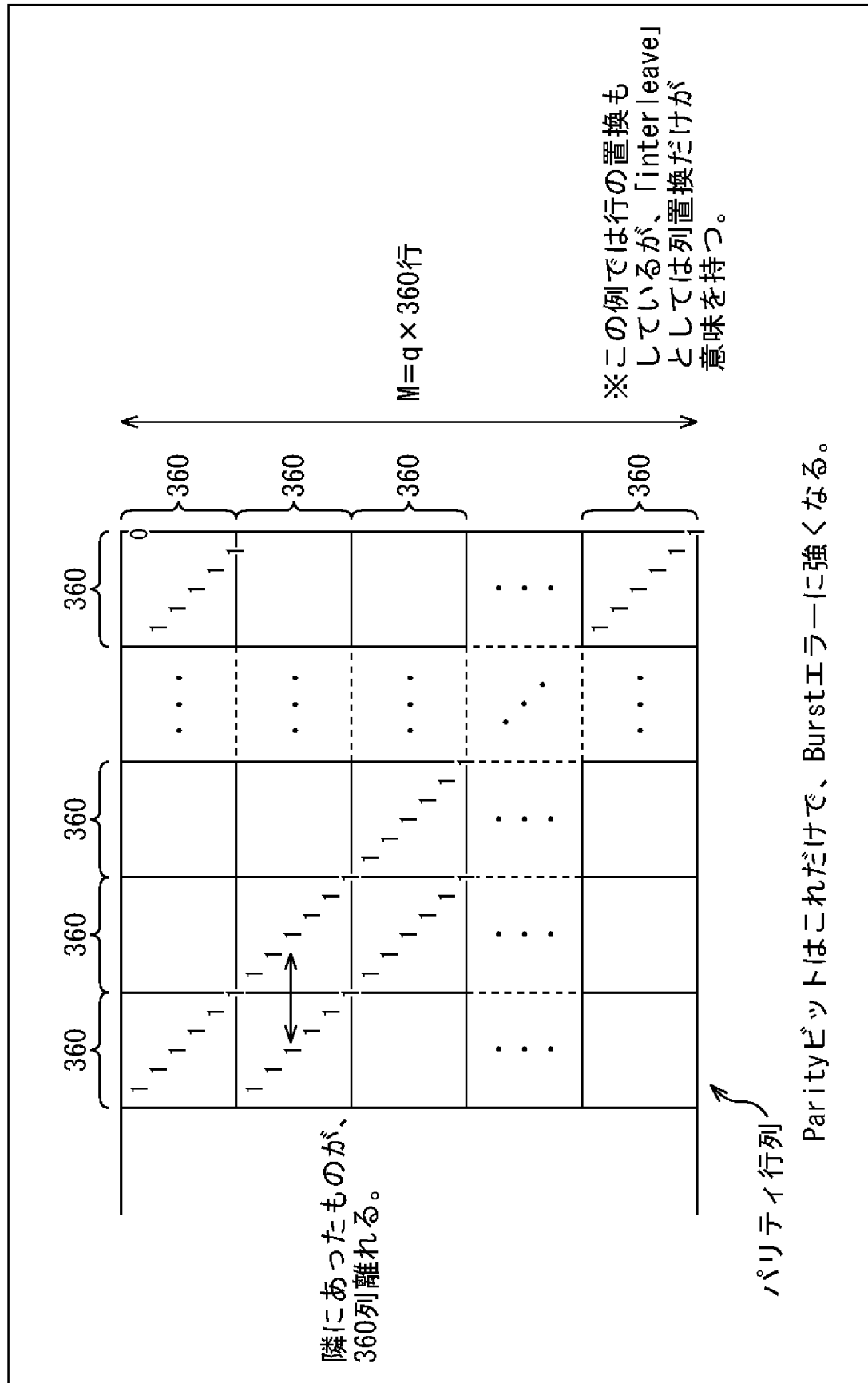


Tanner Graphの階段構造部分

B

[図20]

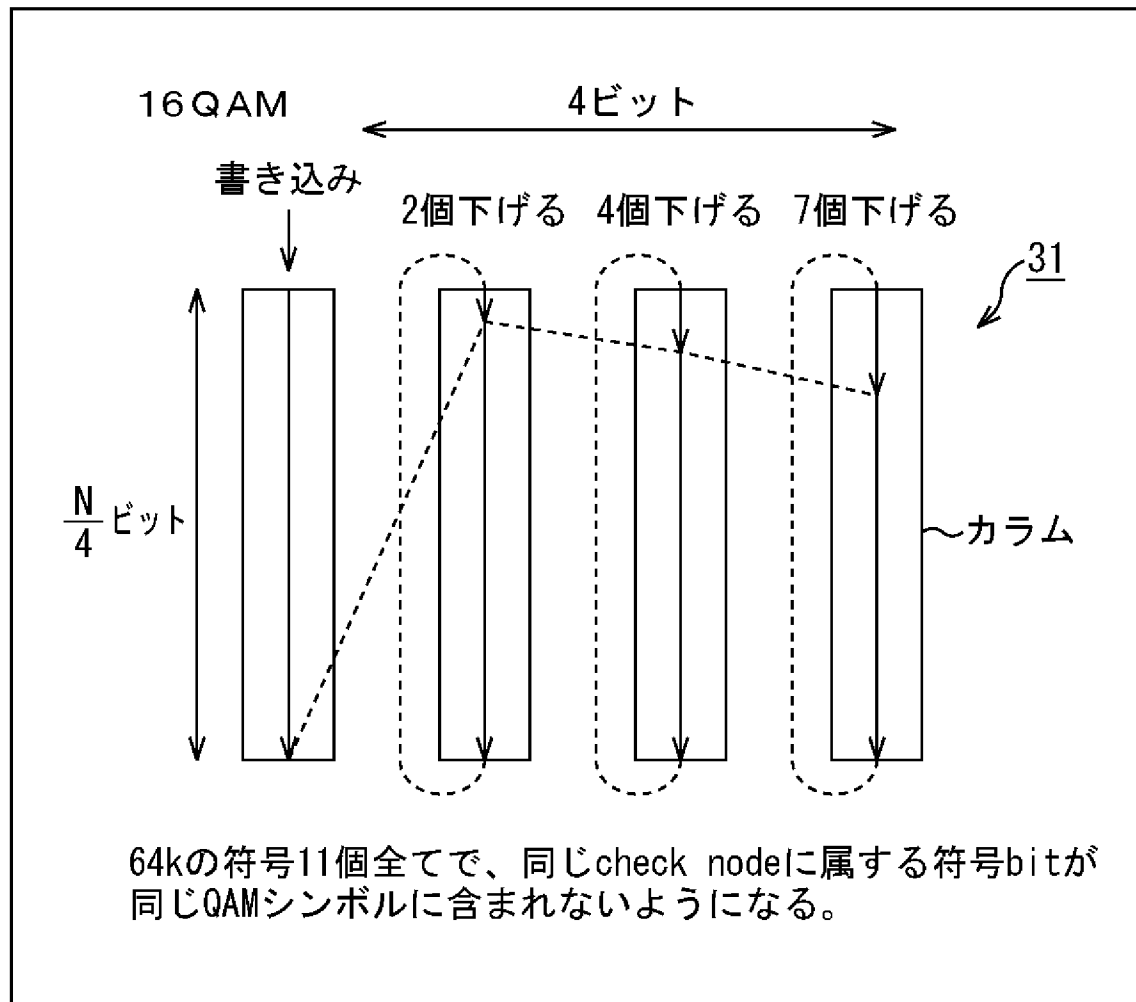
図20





[図22]

図22



[図23]

図23

| mb個の各カラムの書き始めの位置    |                                 |                            |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 必要な<br>xレカラム数<br>mb | b=1<br>（第1ないし<br>第3の<br>入れ替え方式） | b=2<br>（第4の<br>入れ替え<br>方式） | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |  |
|                     |                                 |                            | 0 | 2 |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 2                   | QPSK                            |                            | 0 | 2 |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 4                   | 16QAM                           | QPSK                       | 0 | 2 | 4 | 7 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 6                   | 64QAM                           |                            | 0 | 2 | 5 | 9 | 10 | 13 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 8                   | 256QAM                          | 16QAM                      | 0 | 0 | 2 | 4 | 4  | 5  | 7  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 10                  | 1024QAM                         |                            | 0 | 3 | 6 | 8 | 11 | 13 | 15 | 17 | 18 | 20 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 12                  | 4096QAM                         | 64QAM                      | 0 | 0 | 2 | 2 | 3  | 4  | 4  | 5  | 5  | 7  | 8  | 9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 16                  |                                 | 256QAM                     | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 3  | 7  | 15 | 16 | 20 | 22 | 22 | 27 | 27 | 28 | 32 |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 20                  |                                 | 1024QAM                    | 0 | 1 | 3 | 4 | 5  | 6  | 6  | 9  | 13 | 14 | 14 | 16 | 21 | 21 | 23 | 25 | 25 | 26 | 28 | 30 |    |    |    |    |  |
| 24                  |                                 | 4096QAM                    | 0 | 5 | 8 | 8 | 8  | 8  | 10 | 10 | 10 | 12 | 13 | 16 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 | 26 | 37 | 39 | 40 | 41 | 41 | 41 |  |

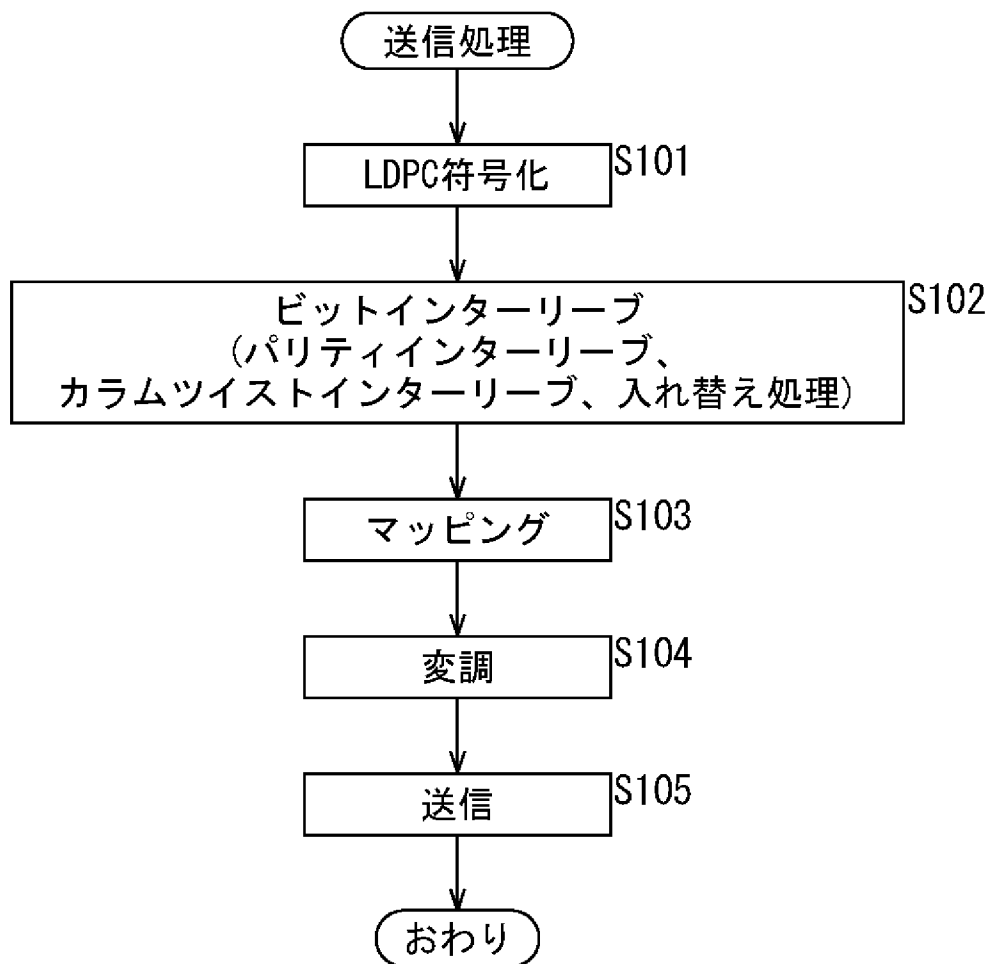
[図24]  
図24

| mb個の各カラムの書き始めの位置     |                                   |                              |   |   |   |   |   |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 必要な<br>メモリアドレス<br>mb | b = 1<br>（第1ないし<br>第3の<br>入れ替え方式） | b = 2<br>（第4の<br>入れ替え<br>方式） | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 2                    | QPSK                              |                              | 0 | 0 |   |   |   |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                    | 16QAM                             | QPSK                         | 0 | 2 | 3 | 3 |   |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 6                    | 64QAM                             |                              | 0 | 0 | 2 | 3 | 7 | 7  |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8                    | 256QAM                            | 16QAM                        | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 20 | 20 | 21 |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10                   | 1024QAM                           |                              | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3  | 4  | 4  | 5 | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12                   | 4096QAM                           | 64QAM                        | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2  | 3  | 3  | 3 | 6  | 7  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20                   |                                   | 1024QAM                      | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2  | 5 | 5  | 5  | 5  | 5  | 7  | 7  | 7  | 7  | 8  | 8  | 10 |    |    |    |    |
| 24                   |                                   | 4096QAM                      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 1  | 1 | 1  | 2  | 2  | 2  | 3  | 7  | 9  | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 |



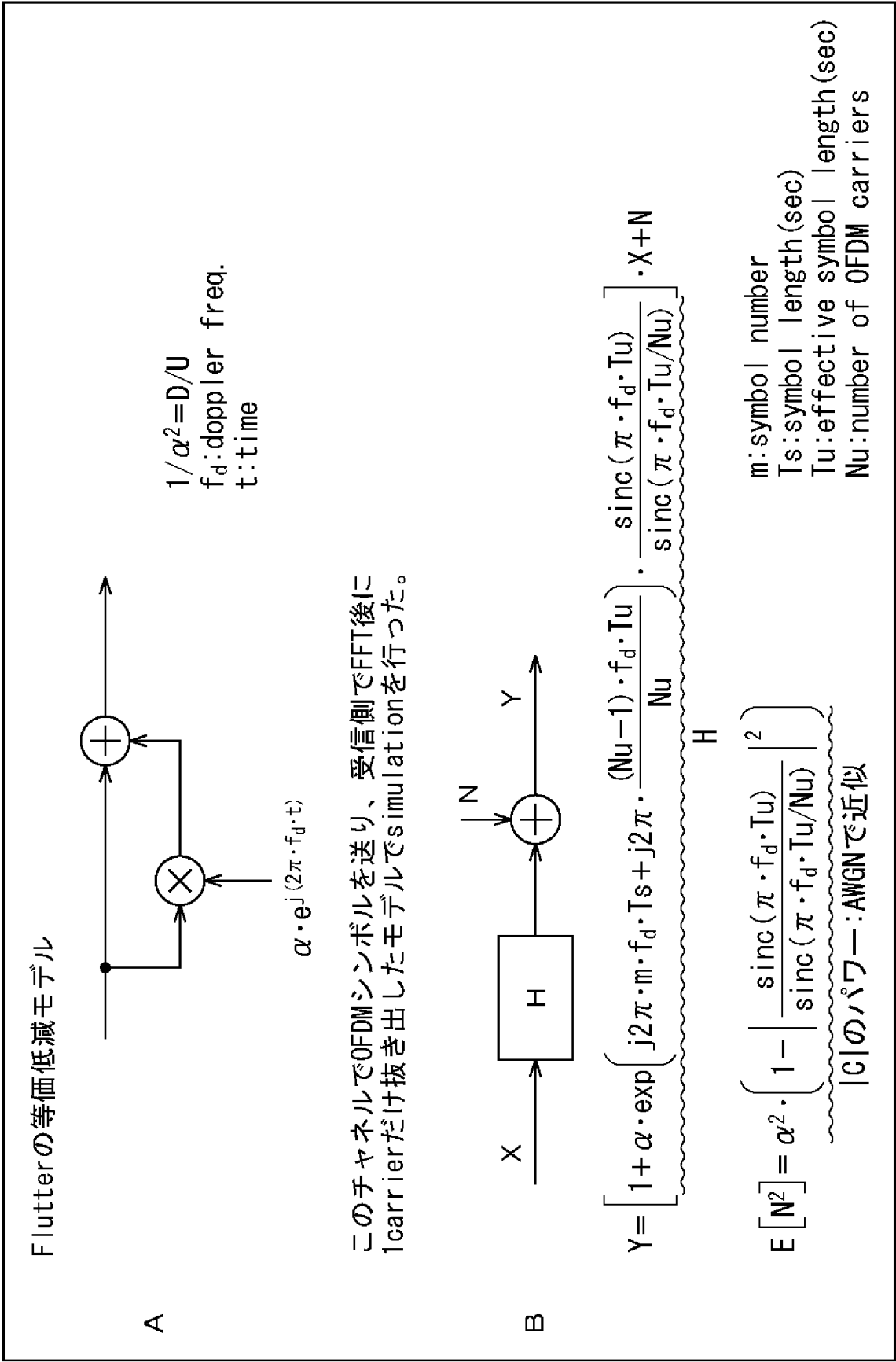
[図25]

図25



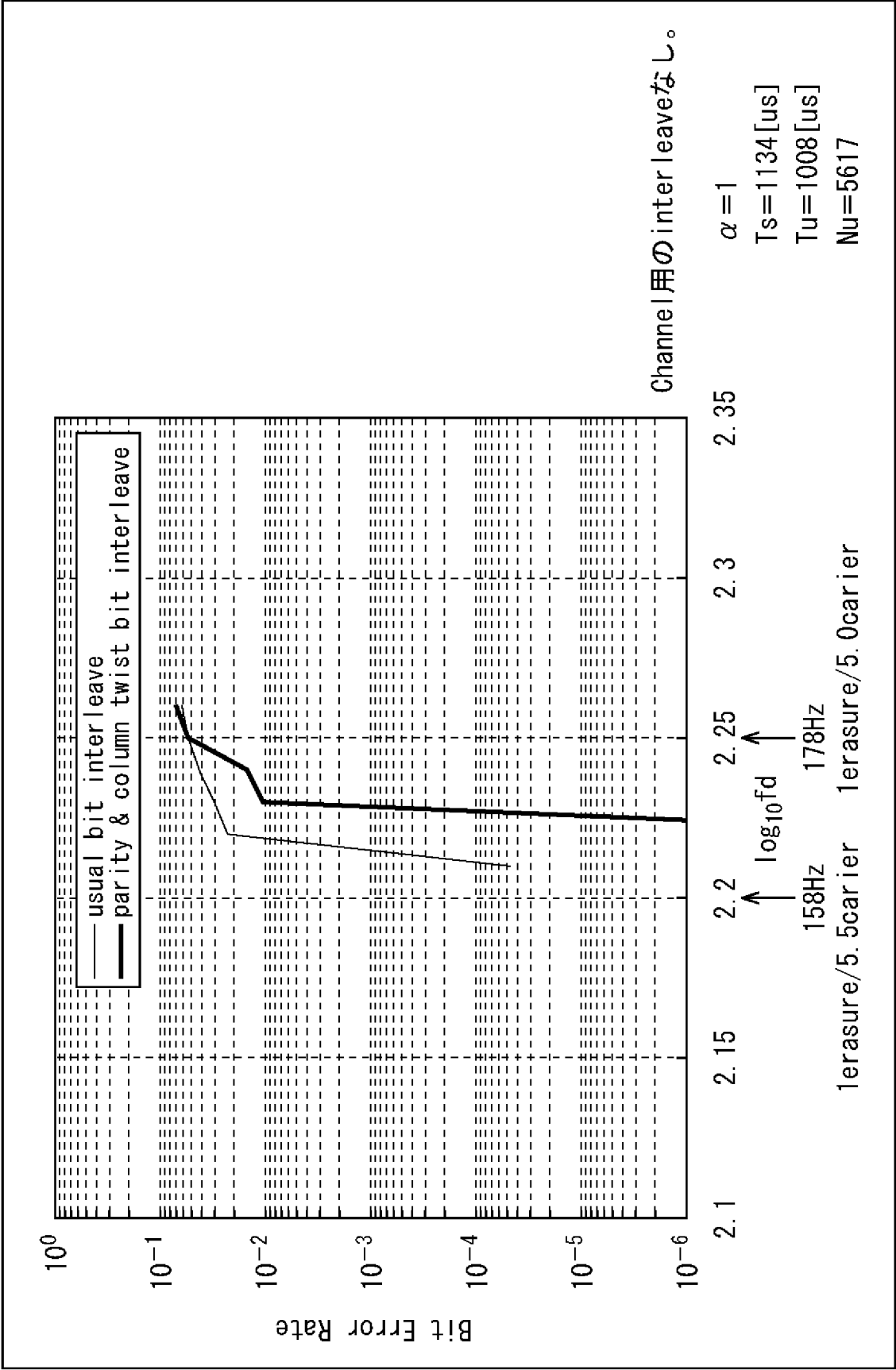
[図26]

図26



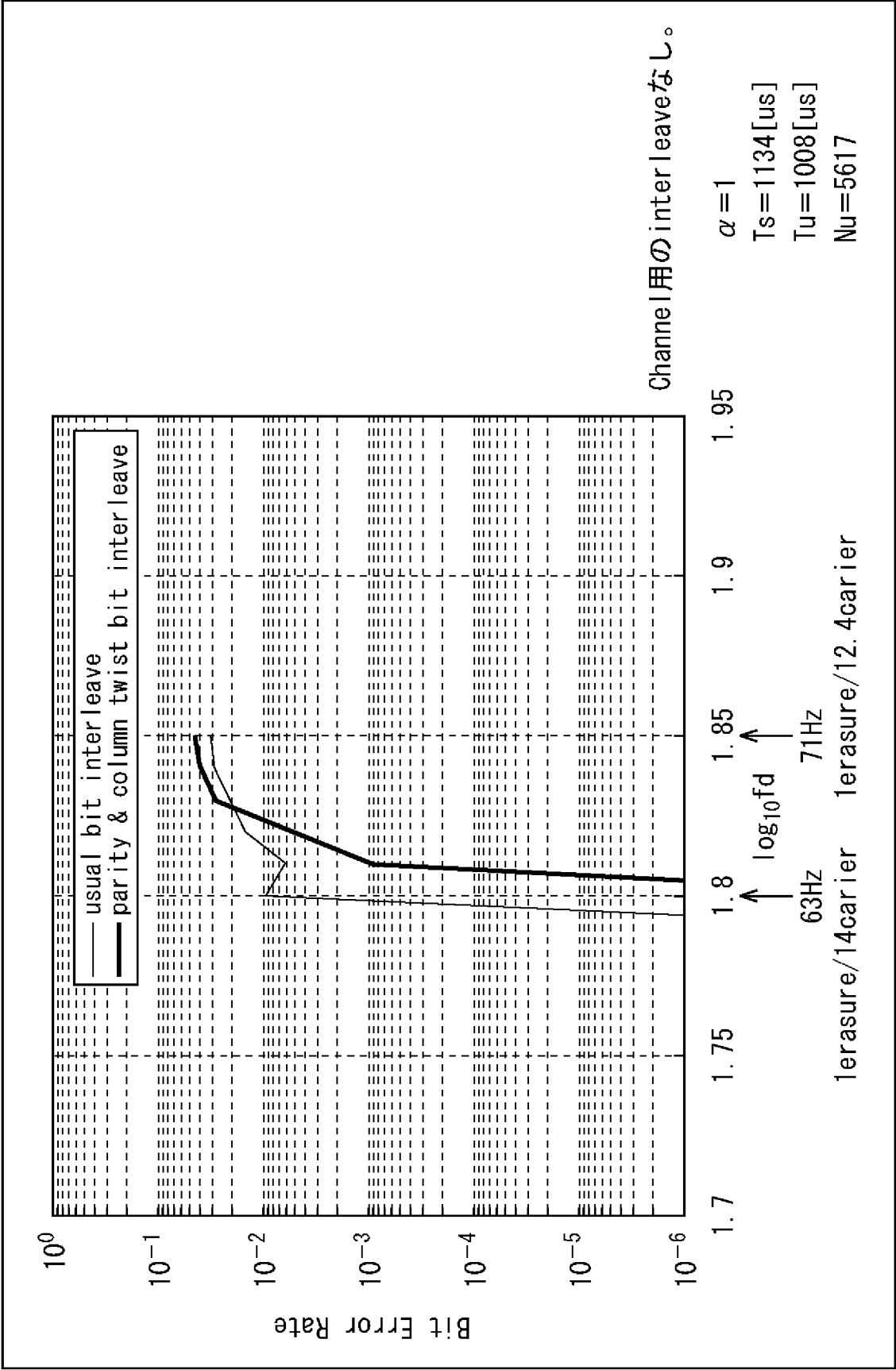
[図27]

図27



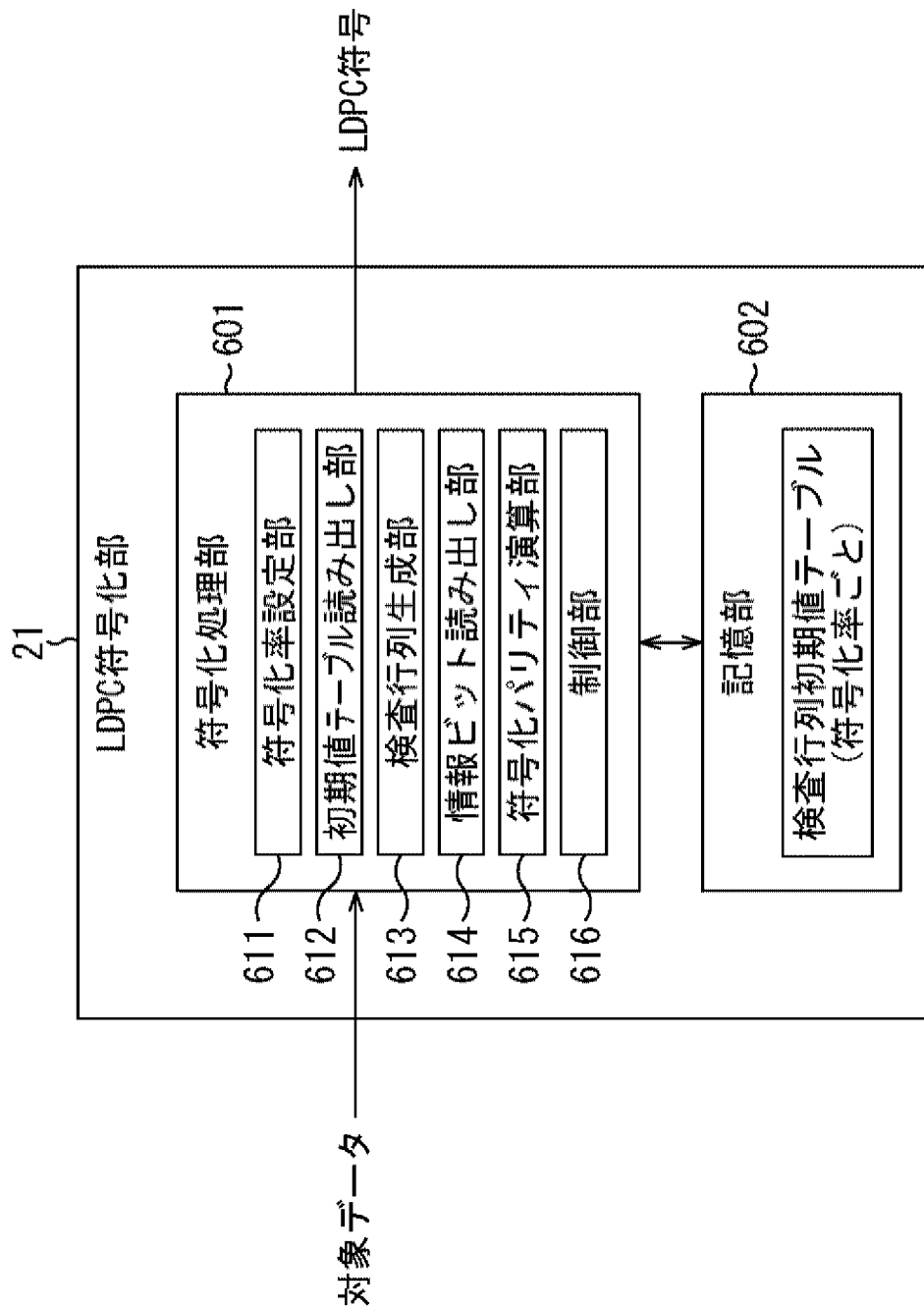
[図28]

図28



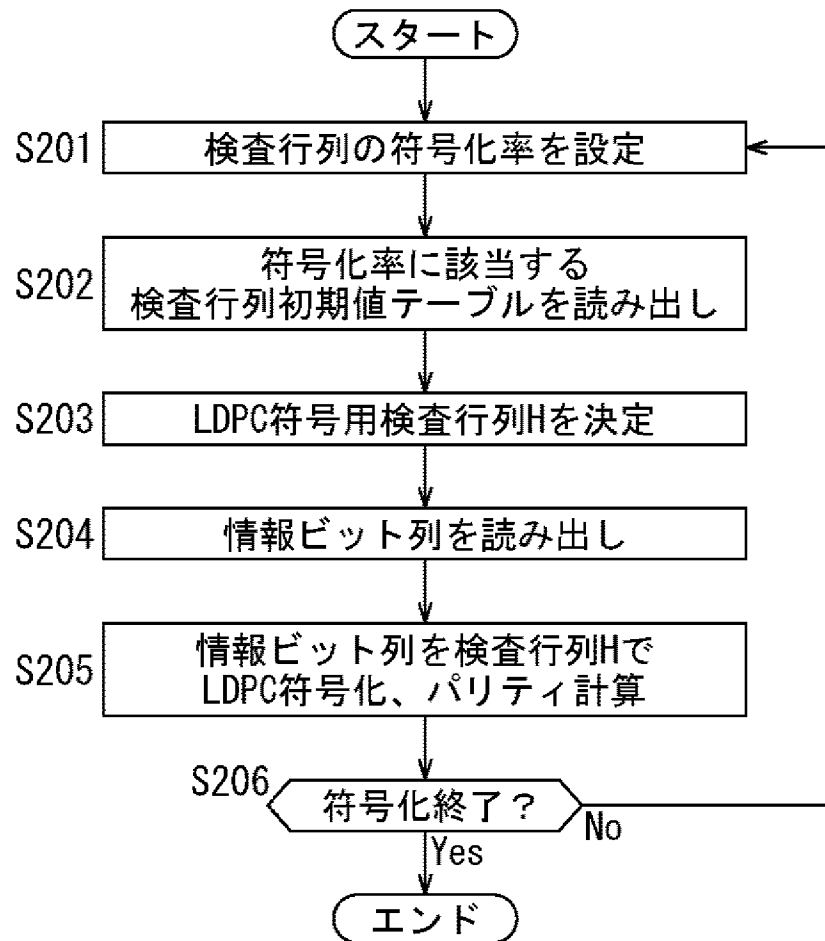
[図29]

図29



[[図30]

図30



[図31]

図31

| — r2/3 16K — |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| 0            | 2084 | 1613 | 1548 | 1286 | 1460 | 3196 | 4297 | 2481 | 3369 | 3451 | 4620 | 2622 |  |
| 1            | 122  | 1516 | 3448 | 2880 | 1407 | 1847 | 3799 | 3529 | 373  | 971  | 4358 | 3108 |  |
| 2            | 259  | 3399 | 929  | 2650 | 864  | 3996 | 3833 | 107  | 5287 | 164  | 3125 | 2350 |  |
| 3            | 342  | 3529 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 4            | 4198 | 2147 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 5            | 1880 | 4836 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 6            | 3864 | 4910 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 7            | 243  | 1542 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 8            | 3011 | 1436 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 9            | 2167 | 2512 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 10           | 4606 | 1003 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 11           | 2835 | 705  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 12           | 3426 | 2365 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 13           | 3848 | 2474 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 14           | 1360 | 1743 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 0            | 163  | 2536 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 1            | 2583 | 1180 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 2            | 1542 | 509  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 3            | 4418 | 1005 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 4            | 5212 | 5117 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 5            | 2155 | 2922 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 6            | 347  | 2696 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 7            | 226  | 4296 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 8            | 1560 | 487  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 9            | 3926 | 1640 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 10           | 149  | 2928 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 11           | 2364 | 563  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 12           | 635  | 688  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 13           | 231  | 1684 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 14           | 1129 | 3894 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |

$r = \frac{2}{3}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

图32

$$r = \frac{2}{3}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

Pr2/3 64K-

0 10491 16043 506 12826 8065 8226 2767 240 18673 9279 10579 20928  
1 17819 8313 6433 6224 5120 5824 12812 17187 9940 13447 13825 18483  
2 17957 6024 8681 18628 12794 5915 14576 10970 12064 20437 4455 7151  
3 19777 6183 9972 14536 8182 17749 11341 5556 4379 17434 15477 18532  
4 4651 19689 1608 659 16707 14335 6143 3058 14618 17894 20684 5306  
5 9778 2552 12096 12369 15198 16890 4851 3109 1700 18725 1997 15882  
6 486 6111 13743 11537 5591 7433 15227 14145 1483 3887 17431 12430  
7 20647 14311 11734 4180 8110 5525 12141 15761 18661 18441 10569 8192  
8 3791 14759 15264 19918 10132 9062 10010 12786 10675 9682 19246 5454  
9 19525 9485 7777 19999 8378 9209 3163 20232 6690 16518 716 7353  
10 4588 6709 20202 10905 915 4317 11073 13576 16433 368 3508 21171  
11 14072 4033 19959 12608 631 19494 14160 8249 10223 21504 12395 4322  
12 13800 14161  
13 2948 9647  
14 14693 16027  
15 20506 11082  
16 1143 9020  
17 13501 4014  
18 1548 2190  
19 12216 21556  
20 2095 19897  
21 4189 7958  
22 15940 10048  
23 515 12614  
24 8501 8450  
25 17595 16784  
26 5913 8495  
27 16394 10423  
28 7409 6981  
29 6678 15939  
30 20344 12987  
31 2510 14588  
32 17918 6655  
33 6703 19451  
34 496 4217  
35 7290 5766  
36 10521 8925  
37 20379 11905  
38 4090 5838  
39 19082 17040



[図33]

図33

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 40 | 20233 | 12352 |
| 41 | 19365 | 19546 |
| 42 | 6249  | 19030 |
| 43 | 11037 | 19193 |
| 44 | 19760 | 11772 |
| 45 | 19644 | 7428  |
| 46 | 16076 | 3521  |
| 47 | 11779 | 21062 |
| 48 | 13062 | 9682  |
| 49 | 8934  | 5217  |
| 50 | 11087 | 3319  |
| 51 | 18892 | 4356  |
| 52 | 7894  | 3898  |
| 53 | 5963  | 4360  |
| 54 | 7346  | 11726 |
| 55 | 5182  | 5609  |
| 56 | 2412  | 17295 |
| 57 | 9845  | 20494 |
| 58 | 6687  | 1864  |
| 59 | 20564 | 5216  |
| 0  | 18226 | 17207 |
| 1  | 9380  | 8266  |
| 2  | 7073  | 3065  |
| 3  | 18252 | 13437 |
| 4  | 9161  | 15642 |
| 5  | 10714 | 10153 |
| 6  | 11585 | 9078  |
| 7  | 5359  | 9418  |
| 8  | 9024  | 9515  |
| 9  | 1206  | 16354 |
| 10 | 14994 | 1102  |
| 11 | 9375  | 20796 |
| 12 | 15964 | 6027  |
| 13 | 14789 | 6452  |
| 14 | 8002  | 18591 |
| 15 | 14742 | 14089 |
| 16 | 253   | 3045  |
| 17 | 1274  | 19286 |
| 18 | 14777 | 2044  |
| 19 | 13920 | 9900  |
| 20 | 452   | 7374  |

[図]34]

図34

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 21 | 18206 | 9921  |
| 22 | 6131  | 5414  |
| 23 | 10077 | 9726  |
| 24 | 12045 | 5479  |
| 25 | 4322  | 7990  |
| 26 | 15616 | 5550  |
| 27 | 15561 | 10661 |
| 28 | 20718 | 7387  |
| 29 | 2518  | 18804 |
| 30 | 8984  | 2600  |
| 31 | 6516  | 17909 |
| 32 | 11148 | 98    |
| 33 | 20559 | 3704  |
| 34 | 7510  | 1569  |
| 35 | 16000 | 11692 |
| 36 | 9147  | 10303 |
| 37 | 16650 | 191   |
| 38 | 15577 | 18685 |
| 39 | 17167 | 20917 |
| 40 | 4256  | 3391  |
| 41 | 20092 | 17219 |
| 42 | 9218  | 5056  |
| 43 | 18429 | 8472  |
| 44 | 12093 | 20753 |
| 45 | 16345 | 12748 |
| 46 | 16023 | 11095 |
| 47 | 5048  | 17595 |
| 48 | 18995 | 4817  |
| 49 | 16483 | 3536  |
| 50 | 1439  | 16148 |
| 51 | 3661  | 3039  |
| 52 | 19010 | 18121 |
| 53 | 8968  | 11793 |
| 54 | 13427 | 18003 |
| 55 | 5303  | 3083  |
| 56 | 531   | 16668 |
| 57 | 4771  | 6722  |
| 58 | 5695  | 7960  |
| 59 | 3589  | 14630 |

[図35]

図35

| — r3/4 16K — |      |      |      |      |      |      |      |      |     |          |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|
| 3            | 3198 | 478  | 4207 | 1481 | 1009 | 2616 | 1924 | 3437 | 554 | 683 1801 |
| 4            | 2681 | 2135 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 3107 | 4027 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 2637 | 3373 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 3830 | 3449 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 4129 | 2060 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 4184 | 2742 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 3946 | 1070 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 2239 | 984  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 0            | 1458 | 3031 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 1            | 3003 | 1328 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 2            | 1137 | 1716 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 3            | 132  | 3725 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 4            | 1817 | 638  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 1774 | 3447 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 3632 | 1257 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 542  | 3694 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 1015 | 1945 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 1948 | 412  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 995  | 2238 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 4141 | 1907 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 0            | 2480 | 3079 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 1            | 3021 | 1088 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 2            | 713  | 1379 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 3            | 997  | 3903 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 4            | 2323 | 3361 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 1110 | 986  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 2532 | 142  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 1690 | 2405 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 1298 | 1881 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 615  | 174  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 1648 | 3112 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 1415 | 2808 |      |      |      |      |      |      |     |          |

$r = \frac{3}{4}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

└─ r3/4 64K.

[図37]

図37

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 40 | 15617 | 8146  |
| 41 | 4588  | 11218 |
| 42 | 13660 | 6243  |
| 43 | 8578  | 7874  |
| 44 | 11741 | 2686  |
| 0  | 1022  | 1264  |
| 1  | 12604 | 9965  |
| 2  | 8217  | 2707  |
| 3  | 3156  | 11793 |
| 4  | 354   | 1514  |
| 5  | 6978  | 14058 |
| 6  | 7922  | 16079 |
| 7  | 15087 | 12138 |
| 8  | 5053  | 6470  |
| 9  | 12687 | 14932 |
| 10 | 15458 | 1763  |
| 11 | 8121  | 1721  |
| 12 | 12431 | 549   |
| 13 | 4129  | 7091  |
| 14 | 1426  | 8415  |
| 15 | 9783  | 7604  |
| 16 | 6295  | 11329 |
| 17 | 1409  | 12061 |
| 18 | 8065  | 9087  |
| 19 | 2918  | 8438  |
| 20 | 1293  | 14115 |
| 21 | 3922  | 13851 |
| 22 | 3851  | 4000  |
| 23 | 5865  | 1768  |
| 24 | 2655  | 14957 |
| 25 | 5565  | 6332  |
| 26 | 4303  | 12631 |
| 27 | 11653 | 12236 |
| 28 | 16025 | 7632  |
| 29 | 4655  | 14128 |
| 30 | 9584  | 13123 |
| 31 | 13987 | 9597  |
| 32 | 15409 | 12110 |
| 33 | 8754  | 15490 |
| 34 | 7416  | 15325 |
| 35 | 2909  | 15549 |

[図38]

図38

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 36 | 2995  | 8257  |
| 37 | 9406  | 4791  |
| 38 | 11111 | 4854  |
| 39 | 2812  | 8521  |
| 40 | 8476  | 14717 |
| 41 | 7820  | 15360 |
| 42 | 1179  | 7939  |
| 43 | 2357  | 8678  |
| 44 | 7703  | 6216  |
| 0  | 3477  | 7067  |
| 1  | 3931  | 13845 |
| 2  | 7675  | 12899 |
| 3  | 1754  | 8187  |
| 4  | 7785  | 1400  |
| 5  | 9213  | 5891  |
| 6  | 2494  | 7703  |
| 7  | 2576  | 7902  |
| 8  | 4821  | 15682 |
| 9  | 10426 | 11935 |
| 10 | 1810  | 904   |
| 11 | 11332 | 9264  |
| 12 | 11312 | 3570  |
| 13 | 14916 | 2650  |
| 14 | 7679  | 7842  |
| 15 | 6089  | 13084 |
| 16 | 3938  | 2751  |
| 17 | 8509  | 4648  |
| 18 | 12204 | 8917  |
| 19 | 5749  | 12443 |
| 20 | 12613 | 4431  |
| 21 | 1344  | 4014  |
| 22 | 8488  | 13850 |
| 23 | 1730  | 14896 |
| 24 | 14942 | 7126  |
| 25 | 14983 | 8863  |
| 26 | 6578  | 8564  |
| 27 | 4947  | 396   |
| 28 | 297   | 12805 |
| 29 | 13878 | 6692  |
| 30 | 11857 | 11186 |
| 31 | 14395 | 11493 |

[図]39]

[図]39

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 32 | 16145 | 12251 |
| 33 | 13462 | 7428  |
| 34 | 14526 | 13119 |
| 35 | 2535  | 11243 |
| 36 | 6465  | 12690 |
| 37 | 6872  | 9334  |
| 38 | 15371 | 14023 |
| 39 | 8101  | 10187 |
| 40 | 11963 | 4848  |
| 41 | 15125 | 6119  |
| 42 | 8051  | 14465 |
| 43 | 11139 | 5167  |
| 44 | 2883  | 14521 |

[図40]

図40

| r4/5 16K |      |      |
|----------|------|------|
| 5        | 896  | 1565 |
| 6        | 2493 | 184  |
| 7        | 212  | 3210 |
| 8        | 727  | 1339 |
| 9        | 3428 | 612  |
| 0        | 2663 | 1947 |
| 1        | 230  | 2695 |
| 2        | 2025 | 2794 |
| 3        | 3039 | 283  |
| 4        | 862  | 2889 |
| 5        | 376  | 2110 |
| 6        | 2034 | 2286 |
| 7        | 951  | 2068 |
| 8        | 3108 | 3542 |
| 9        | 307  | 1421 |
| 0        | 2272 | 1197 |
| 1        | 1800 | 3280 |
| 2        | 331  | 2308 |
| 3        | 465  | 2552 |
| 4        | 1038 | 2479 |
| 5        | 1383 | 343  |
| 6        | 94   | 236  |
| 7        | 2619 | 121  |
| 8        | 1497 | 2774 |
| 9        | 2116 | 1855 |
| 0        | 722  | 1584 |
| 1        | 2767 | 1881 |
| 2        | 2701 | 1610 |
| 3        | 3283 | 1732 |
| 4        | 168  | 1099 |
| 5        | 3074 | 243  |
| 6        | 3460 | 945  |
| 7        | 2049 | 1746 |
| 8        | 566  | 1427 |
| 9        | 3545 | 1168 |

$r = \frac{4}{5}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル



$$r = \frac{4}{5}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

-r4/5 64K-

0 149 11212 5575 6360 12559 8108 8505 408 10026 12828  
1 5237 490 10677 4998 3869 3734 3092 3509 7703 10305  
2 8742 5553 2820 7085 12116 10485 564 7795 2972 2157  
3 2699 4304 8350 712 2841 3250 4731 10105 517 7516  
4 12067 1351 11992 12191 11267 5161 537 6166 4246 2363  
5 6828 7107 2127 3724 5743 11040 10756 4073 1011 3422  
6 11259 1216 9526 1466 10816 940 3744 2815 11506 11573  
7 4549 11507 1118 1274 11751 5207 7854 12803 4047 6484  
8 8430 4115 9440 413 4455 2262 7915 12402 8579 7052  
9 3885 9126 5665 4505 2343 253 4707 3742 4166 1556  
10 1704 8936 6775 8639 8179 7954 8234 7850 8883 8713  
11 11716 4344 9087 11264 2274 8832 9147 11930 6054 5455  
12 7323 3970 10329 2170 8262 3854 2087 12899 9497 11700  
13 4418 1467 2490 5841 817 11453 533 11217 11962 5251  
14 1541 4525 7976 3457 9536 7725 3788 2982 6307 5997  
15 11484 2739 4023 12107 6516 551 2572 6628 8150 9852  
16 6070 1761 4627 6534 7913 3730 11866 1813 12306 8249  
17 12441 5489 8748 7837 7660 2102 11341 2936 6712 11977  
18 10155 4210  
19 1010 10483  
20 8900 10250  
21 10243 12278  
22 7070 4397  
23 12271 3887  
24 11980 6836  
25 9514 4356  
26 7137 10281  
27 11881 2526  
28 1969 11477  
29 3044 10921  
30 2236 8724  
31 9104 6340  
32 7342 8582  
33 11675 10405  
34 6467 12775  
35 3186 12198  
0 9621 11445  
1 7486 5611  
2 4319 4879  
3 2196 344

[図42]

図42

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 4  | 7527  | 6650  |
| 5  | 10693 | 2440  |
| 6  | 6755  | 2706  |
| 7  | 5144  | 5998  |
| 8  | 11043 | 8033  |
| 9  | 4846  | 4435  |
| 10 | 4157  | 9228  |
| 11 | 12270 | 6562  |
| 12 | 11954 | 7592  |
| 13 | 7420  | 2592  |
| 14 | 8810  | 9636  |
| 15 | 689   | 5430  |
| 16 | 920   | 1304  |
| 17 | 1253  | 11934 |
| 18 | 9559  | 6016  |
| 19 | 312   | 7589  |
| 20 | 4439  | 4197  |
| 21 | 4002  | 9555  |
| 22 | 12232 | 7779  |
| 23 | 1494  | 8782  |
| 24 | 10749 | 3969  |
| 25 | 4368  | 3479  |
| 26 | 6316  | 5342  |
| 27 | 2455  | 3493  |
| 28 | 12157 | 7405  |
| 29 | 6598  | 11495 |
| 30 | 11805 | 4455  |
| 31 | 9625  | 2090  |
| 32 | 4731  | 2321  |
| 33 | 3578  | 2608  |
| 34 | 8504  | 1849  |
| 35 | 4027  | 1151  |
| 0  | 5647  | 4935  |
| 1  | 4219  | 1870  |
| 2  | 10968 | 8054  |
| 3  | 6970  | 5447  |
| 4  | 3217  | 5638  |
| 5  | 8972  | 669   |
| 6  | 5618  | 12472 |
| 7  | 1457  | 1280  |
| 8  | 8868  | 3883  |

[図43]

図43

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 9  | 8866  | 1224  |
| 10 | 8371  | 5972  |
| 11 | 266   | 4405  |
| 12 | 3706  | 3244  |
| 13 | 6039  | 5844  |
| 14 | 7200  | 3283  |
| 15 | 1502  | 11282 |
| 16 | 12318 | 2202  |
| 17 | 4523  | 965   |
| 18 | 9587  | 7011  |
| 19 | 2552  | 2051  |
| 20 | 12045 | 10306 |
| 21 | 11070 | 5104  |
| 22 | 6627  | 6906  |
| 23 | 9889  | 2121  |
| 24 | 829   | 9701  |
| 25 | 2201  | 1819  |
| 26 | 6689  | 12925 |
| 27 | 2139  | 8757  |
| 28 | 12004 | 5948  |
| 29 | 8704  | 3191  |
| 30 | 8171  | 10933 |
| 31 | 6297  | 7116  |
| 32 | 616   | 7146  |
| 33 | 5142  | 9761  |
| 34 | 10377 | 8138  |
| 35 | 7616  | 5811  |
| 0  | 7285  | 9863  |
| 1  | 7764  | 10867 |
| 2  | 12343 | 9019  |
| 3  | 4414  | 8331  |
| 4  | 3464  | 642   |
| 5  | 6960  | 2039  |
| 6  | 786   | 3021  |
| 7  | 710   | 2086  |
| 8  | 7423  | 5601  |
| 9  | 8120  | 4885  |
| 10 | 12385 | 11990 |
| 11 | 9739  | 10034 |
| 12 | 424   | 10162 |
| 13 | 1347  | 7597  |

[図44]

図44

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 14 | 1450  | 112   |
| 15 | 7965  | 8478  |
| 16 | 8945  | 7397  |
| 17 | 6590  | 8316  |
| 18 | 6838  | 9011  |
| 19 | 6174  | 9410  |
| 20 | 255   | 113   |
| 21 | 6197  | 5835  |
| 22 | 12902 | 3844  |
| 23 | 4377  | 3505  |
| 24 | 5478  | 8672  |
| 25 | 4453  | 2132  |
| 26 | 9724  | 1380  |
| 27 | 12131 | 11526 |
| 28 | 12323 | 9511  |
| 29 | 8231  | 1752  |
| 30 | 497   | 9022  |
| 31 | 9288  | 3080  |
| 32 | 2481  | 7515  |
| 33 | 2696  | 268   |
| 34 | 4023  | 12341 |
| 35 | 7108  | 5553  |

[図45]

図45

| — r5/6 16K — |      |      |      |     |     |     |      |     |      |                |
|--------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|----------------|
| 3            | 2409 | 499  | 1481 | 908 | 559 | 716 | 1270 | 333 | 2508 | 2264 1702 2805 |
| 4            | 2447 | 1926 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 414  | 1224 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 2114 | 842  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 212  | 573  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 2383 | 2112 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 2286 | 2348 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 545  | 819  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1264 | 143  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 1701 | 2258 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 964  | 166  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 114  | 2413 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2243 | 81   |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 1245 | 1581 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 775  | 169  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 1696 | 1104 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1914 | 2831 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 532  | 1450 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 91   | 974  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 497  | 2228 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2326 | 1579 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 2482 | 256  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 1117 | 1261 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 1257 | 1658 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1478 | 1225 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 2511 | 980  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 2320 | 2675 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 435  | 1278 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 228  | 503  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 1885 | 2369 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 57   | 483  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 838  | 1050 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1231 | 1990 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 1738 | 68   |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 2392 | 951  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 163  | 645  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2644 | 1704 |      |     |     |     |      |     |      |                |

$r = \frac{5}{6}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

图46

$$r = \frac{5}{6}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

-r5/6 64K-

0 4362 416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723  
1 2479 1786 8978 3011 4339 9313 6397 2957 7288 5484 6031 10217  
2 10175 9009 9889 3091 4985 7267 4092 8874 5671 2777 2189 8716  
3 9052 4795 3924 3370 10058 1128 9996 10165 9360 4297 434 5138  
4 2379 7834 4835 2327 9843 804 329 8353 7167 3070 1528 7311  
5 3435 7871 348 3693 1876 6585 10340 7144 5870 2084 4052 2780  
6 3917 3111 3476 1304 10331 5939 5199 1611 1991 699 8316 9960  
7 6883 3237 1717 10752 7891 9764 4745 3888 10009 4176 4614 1567  
8 10587 2195 1689 2968 5420 2580 2883 6496 111 6023 1024 4449  
9 3786 8593 2074 3321 5057 1450 3840 5444 6572 3094 9892 1512  
10 8548 1848 10372 4585 7313 6536 6379 1766 9462 2456 5606 9975  
11 8204 10593 7935 3636 3882 394 5968 8561 2395 7289 9267 9978  
12 7795 74 1633 9542 6867 7352 6417 7568 10623 725 2531 9115  
13 7151 2482 4260 5003 10105 7419 9203 6691 8798 2092 8263 3755  
14 3600 570 4527 200 9718 6771 1995 8902 5446 768 1103 6520  
15 6304 7621  
16 6498 9209  
17 7293 6786  
18 5950 1708  
19 8521 1793  
20 6174 7854  
21 9773 1190  
22 9517 10268  
23 2181 9349  
24 1949 5560  
25 1556 555  
26 8600 3827  
27 5072 1057  
28 7928 3542  
29 3226 3762  
0 7045 2420  
1 9645 2641  
2 2774 2452  
3 5331 2031  
4 9400 7503  
5 1850 2338  
6 10456 9774  
7 1692 9276  
8 10037 4038  
9 3964 338

[図47]

図47

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 10 | 2640  | 5087  |
| 11 | 858   | 3473  |
| 12 | 5582  | 5683  |
| 13 | 9523  | 916   |
| 14 | 4107  | 1559  |
| 15 | 4506  | 3491  |
| 16 | 8191  | 4182  |
| 17 | 10192 | 6157  |
| 18 | 5668  | 3305  |
| 19 | 3449  | 1540  |
| 20 | 4766  | 2697  |
| 21 | 4069  | 6675  |
| 22 | 1117  | 1016  |
| 23 | 5619  | 3085  |
| 24 | 8483  | 8400  |
| 25 | 8255  | 394   |
| 26 | 6338  | 5042  |
| 27 | 6174  | 5119  |
| 28 | 7203  | 1989  |
| 29 | 1781  | 5174  |
| 0  | 1464  | 3559  |
| 1  | 3376  | 4214  |
| 2  | 7238  | 67    |
| 3  | 10595 | 8831  |
| 4  | 1221  | 6513  |
| 5  | 5300  | 4652  |
| 6  | 1429  | 9749  |
| 7  | 7878  | 5131  |
| 8  | 4435  | 10284 |
| 9  | 6331  | 5507  |
| 10 | 6662  | 4941  |
| 11 | 9614  | 10238 |
| 12 | 8400  | 8025  |
| 13 | 9156  | 5630  |
| 14 | 7067  | 8878  |
| 15 | 9027  | 3415  |
| 16 | 1690  | 3866  |
| 17 | 2854  | 8469  |
| 18 | 6206  | 630   |
| 19 | 363   | 5453  |
| 20 | 4125  | 7008  |

[図48]

図48

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 21 | 1612  | 6702  |
| 22 | 9069  | 9226  |
| 23 | 5767  | 4060  |
| 24 | 3743  | 9237  |
| 25 | 7018  | 5572  |
| 26 | 8892  | 4536  |
| 27 | 853   | 6064  |
| 28 | 8069  | 5893  |
| 29 | 2051  | 2885  |
| 0  | 10691 | 3153  |
| 1  | 3602  | 4055  |
| 2  | 328   | 1717  |
| 3  | 2219  | 9299  |
| 4  | 1939  | 7898  |
| 5  | 617   | 206   |
| 6  | 8544  | 1374  |
| 7  | 10676 | 3240  |
| 8  | 6672  | 9489  |
| 9  | 3170  | 7457  |
| 10 | 7868  | 5731  |
| 11 | 6121  | 10732 |
| 12 | 4843  | 9132  |
| 13 | 580   | 9591  |
| 14 | 6267  | 9290  |
| 15 | 3009  | 2268  |
| 16 | 195   | 2419  |
| 17 | 8016  | 1557  |
| 18 | 1516  | 9195  |
| 19 | 8062  | 9064  |
| 20 | 2095  | 8968  |
| 21 | 753   | 7326  |
| 22 | 6291  | 3833  |
| 23 | 2614  | 7844  |
| 24 | 2303  | 646   |
| 25 | 2075  | 611   |
| 26 | 4687  | 362   |
| 27 | 8684  | 9940  |
| 28 | 4830  | 2065  |
| 29 | 7038  | 1363  |
| 0  | 1769  | 7837  |
| 1  | 3801  | 1689  |



[図49]

図49

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 2  | 10070 | 2359  |
| 3  | 3667  | 9918  |
| 4  | 1914  | 6920  |
| 5  | 4244  | 5669  |
| 6  | 10245 | 7821  |
| 7  | 7648  | 3944  |
| 8  | 3310  | 5488  |
| 9  | 6346  | 9666  |
| 10 | 7088  | 6122  |
| 11 | 1291  | 7827  |
| 12 | 10592 | 8945  |
| 13 | 3609  | 7120  |
| 14 | 9168  | 9112  |
| 15 | 6203  | 8052  |
| 16 | 3330  | 2895  |
| 17 | 4264  | 10563 |
| 18 | 10556 | 6496  |
| 19 | 8807  | 7645  |
| 20 | 1999  | 4530  |
| 21 | 9202  | 6818  |
| 22 | 3403  | 1734  |
| 23 | 2106  | 9023  |
| 24 | 6881  | 3883  |
| 25 | 3895  | 2171  |
| 26 | 4062  | 6424  |
| 27 | 3755  | 9536  |
| 28 | 4683  | 2131  |
| 29 | 7347  | 8027  |

[図50]

図50

$$r = \frac{8}{9}, N = 16200 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

| r8/9 16K |      |      |      |  |
|----------|------|------|------|--|
| 0        | 1558 | 712  | 805  |  |
| 1        | 1450 | 873  | 1337 |  |
| 2        | 1741 | 1129 | 1184 |  |
| 3        | 294  | 806  | 1566 |  |
| 4        | 482  | 605  | 923  |  |
| 0        | 926  | 1578 |      |  |
| 1        | 777  | 1374 |      |  |
| 2        | 608  | 151  |      |  |
| 3        | 1195 | 210  |      |  |
| 4        | 1484 | 692  |      |  |
| 0        | 427  | 488  |      |  |
| 1        | 828  | 1124 |      |  |
| 2        | 874  | 1366 |      |  |
| 3        | 1500 | 835  |      |  |
| 4        | 1496 | 502  |      |  |
| 0        | 1006 | 1701 |      |  |
| 1        | 1155 | 97   |      |  |
| 2        | 657  | 1403 |      |  |
| 3        | 1453 | 624  |      |  |
| 4        | 429  | 1495 |      |  |
| 0        | 809  | 385  |      |  |
| 1        | 367  | 151  |      |  |
| 2        | 1323 | 202  |      |  |
| 3        | 960  | 318  |      |  |
| 4        | 1451 | 1039 |      |  |
| 0        | 1098 | 1722 |      |  |
| 1        | 1015 | 1428 |      |  |
| 2        | 1261 | 1564 |      |  |
| 3        | 544  | 1190 |      |  |
| 4        | 1472 | 1246 |      |  |
| 0        | 508  | 630  |      |  |
| 1        | 421  | 1704 |      |  |
| 2        | 284  | 898  |      |  |
| 3        | 392  | 577  |      |  |
| 4        | 1155 | 556  |      |  |
| 0        | 631  | 1000 |      |  |
| 1        | 732  | 1368 |      |  |
| 2        | 1328 | 329  |      |  |
| 3        | 1515 | 506  |      |  |
| 4        | 1104 | 1172 |      |  |

[図51]

図51

 $r = \frac{8}{9}$ ,  $N = 64800$  の検査行列初期値テーブル

r8/9 64K

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 0  | 6235 | 2848 | 3222 |
| 1  | 5800 | 3492 | 5348 |
| 2  | 2757 | 927  | 90   |
| 3  | 6961 | 4516 | 4739 |
| 4  | 1172 | 3237 | 6264 |
| 5  | 1927 | 2425 | 3683 |
| 6  | 3714 | 6309 | 2495 |
| 7  | 3070 | 6342 | 7154 |
| 8  | 2428 | 613  | 3761 |
| 9  | 2906 | 264  | 5927 |
| 10 | 1716 | 1950 | 4273 |
| 11 | 4613 | 6179 | 3491 |
| 12 | 4865 | 3286 | 6005 |
| 13 | 1343 | 5923 | 3529 |
| 14 | 4589 | 4035 | 2132 |
| 15 | 1579 | 3920 | 6737 |
| 16 | 1644 | 1191 | 5998 |
| 17 | 1482 | 2381 | 4620 |
| 18 | 6791 | 6014 | 6596 |
| 19 | 2738 | 5918 | 3786 |
| 0  | 5156 | 6166 |      |
| 1  | 1504 | 4356 |      |
| 2  | 130  | 1904 |      |
| 3  | 6027 | 3187 |      |
| 4  | 6718 | 759  |      |
| 5  | 6240 | 2870 |      |
| 6  | 2343 | 1311 |      |
| 7  | 1039 | 5465 |      |
| 8  | 6617 | 2513 |      |
| 9  | 1588 | 5222 |      |
| 10 | 6561 | 535  |      |
| 11 | 4765 | 2054 |      |
| 12 | 5966 | 6892 |      |
| 13 | 1969 | 3869 |      |
| 14 | 3571 | 2420 |      |
| 15 | 4632 | 981  |      |
| 16 | 3215 | 4163 |      |
| 17 | 973  | 3117 |      |
| 18 | 3802 | 6198 |      |
| 19 | 3794 | 3948 |      |

[図52]

図52

|    |      |      |
|----|------|------|
| 0  | 3196 | 6126 |
| 1  | 573  | 1909 |
| 2  | 850  | 4034 |
| 3  | 5622 | 1601 |
| 4  | 6005 | 524  |
| 5  | 5251 | 5783 |
| 6  | 172  | 2032 |
| 7  | 1875 | 2475 |
| 8  | 497  | 1291 |
| 9  | 2566 | 3430 |
| 10 | 1249 | 740  |
| 11 | 2944 | 1948 |
| 12 | 6528 | 2899 |
| 13 | 2243 | 3616 |
| 14 | 867  | 3733 |
| 15 | 1374 | 4702 |
| 16 | 4698 | 2285 |
| 17 | 4760 | 3917 |
| 18 | 1859 | 4058 |
| 19 | 6141 | 3527 |
| 0  | 2148 | 5066 |
| 1  | 1306 | 145  |
| 2  | 2319 | 871  |
| 3  | 3463 | 1061 |
| 4  | 5554 | 6647 |
| 5  | 5837 | 339  |
| 6  | 5821 | 4932 |
| 7  | 6356 | 4756 |
| 8  | 3930 | 418  |
| 9  | 211  | 3094 |
| 10 | 1007 | 4928 |
| 11 | 3584 | 1235 |
| 12 | 6982 | 2869 |
| 13 | 1612 | 1013 |
| 14 | 953  | 4964 |
| 15 | 4555 | 4410 |
| 16 | 4925 | 4842 |
| 17 | 5778 | 600  |
| 18 | 6509 | 2417 |
| 19 | 1260 | 4903 |
| 0  | 3369 | 3031 |

[図53]

図53

|    |      |      |
|----|------|------|
| 1  | 3557 | 3224 |
| 2  | 3028 | 583  |
| 3  | 3258 | 440  |
| 4  | 6226 | 6655 |
| 5  | 4895 | 1094 |
| 6  | 1481 | 6847 |
| 7  | 4433 | 1932 |
| 8  | 2107 | 1649 |
| 9  | 2119 | 2065 |
| 10 | 4003 | 6388 |
| 11 | 6720 | 3622 |
| 12 | 3694 | 4521 |
| 13 | 1164 | 7050 |
| 14 | 1965 | 3613 |
| 15 | 4331 | 66   |
| 16 | 2970 | 1796 |
| 17 | 4652 | 3218 |
| 18 | 1762 | 4777 |
| 19 | 5736 | 1399 |
| 0  | 970  | 2572 |
| 1  | 2062 | 6599 |
| 2  | 4597 | 4870 |
| 3  | 1228 | 6913 |
| 4  | 4159 | 1037 |
| 5  | 2916 | 2362 |
| 6  | 395  | 1226 |
| 7  | 6911 | 4548 |
| 8  | 4618 | 2241 |
| 9  | 4120 | 4280 |
| 10 | 5825 | 474  |
| 11 | 2154 | 5558 |
| 12 | 3793 | 5471 |
| 13 | 5707 | 1595 |
| 14 | 1403 | 325  |
| 15 | 6601 | 5183 |
| 16 | 6369 | 4569 |
| 17 | 4846 | 896  |
| 18 | 7092 | 6184 |
| 19 | 6764 | 7127 |
| 0  | 6358 | 1951 |
| 1  | 3117 | 6960 |

[図54]

図54

|    |      |      |
|----|------|------|
| 2  | 2710 | 7062 |
| 3  | 1133 | 3604 |
| 4  | 3694 | 657  |
| 5  | 1355 | 110  |
| 6  | 3329 | 6736 |
| 7  | 2505 | 3407 |
| 8  | 2462 | 4806 |
| 9  | 4216 | 214  |
| 10 | 5348 | 5619 |
| 11 | 6627 | 6243 |
| 12 | 2644 | 5073 |
| 13 | 4212 | 5088 |
| 14 | 3463 | 3889 |
| 15 | 5306 | 478  |
| 16 | 4320 | 6121 |
| 17 | 3961 | 1125 |
| 18 | 5699 | 1195 |
| 19 | 6511 | 792  |
| 0  | 3934 | 2778 |
| 1  | 3238 | 6587 |
| 2  | 1111 | 6596 |
| 3  | 1457 | 6226 |
| 4  | 1446 | 3885 |
| 5  | 3907 | 4043 |
| 6  | 6839 | 2873 |
| 7  | 1733 | 5615 |
| 8  | 5202 | 4269 |
| 9  | 3024 | 4722 |
| 10 | 5445 | 6372 |
| 11 | 370  | 1828 |
| 12 | 4695 | 1600 |
| 13 | 680  | 2074 |
| 14 | 1801 | 6690 |
| 15 | 2669 | 1377 |
| 16 | 2463 | 1681 |
| 17 | 5972 | 5171 |
| 18 | 5728 | 4284 |
| 19 | 1696 | 1459 |

[図55]

図55

$$r = \frac{9}{10}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

| r9/10 64K |      |      |      |
|-----------|------|------|------|
| 0         | 5611 | 2563 | 2900 |
| 1         | 5220 | 3143 | 4813 |
| 2         | 2481 | 834  | 81   |
| 3         | 6265 | 4064 | 4265 |
| 4         | 1055 | 2914 | 5638 |
| 5         | 1734 | 2182 | 3315 |
| 6         | 3342 | 5678 | 2246 |
| 7         | 2185 | 552  | 3385 |
| 8         | 2615 | 236  | 5334 |
| 9         | 1546 | 1755 | 3846 |
| 10        | 4154 | 5561 | 3142 |
| 11        | 4382 | 2957 | 5400 |
| 12        | 1209 | 5329 | 3179 |
| 13        | 1421 | 3528 | 6063 |
| 14        | 1480 | 1072 | 5398 |
| 15        | 3843 | 1777 | 4369 |
| 16        | 1334 | 2145 | 4163 |
| 17        | 2368 | 5055 | 260  |
| 0         | 6118 | 5405 |      |
| 1         | 2994 | 4370 |      |
| 2         | 3405 | 1669 |      |
| 3         | 4640 | 5550 |      |
| 4         | 1354 | 3921 |      |
| 5         | 117  | 1713 |      |
| 6         | 5425 | 2866 |      |
| 7         | 6047 | 683  |      |
| 8         | 5616 | 2582 |      |
| 9         | 2108 | 1179 |      |
| 10        | 933  | 4921 |      |
| 11        | 5953 | 2261 |      |
| 12        | 1430 | 4699 |      |
| 13        | 5905 | 480  |      |
| 14        | 4289 | 1846 |      |
| 15        | 5374 | 6208 |      |
| 16        | 1775 | 3476 |      |
| 17        | 3216 | 2178 |      |
| 0         | 4165 | 884  |      |
| 1         | 2896 | 3744 |      |
| 2         | 874  | 2801 |      |
| 3         | 3423 | 5579 |      |

[図56]

図56

|    |      |      |
|----|------|------|
| 4  | 3404 | 3552 |
| 5  | 2876 | 5515 |
| 6  | 516  | 1719 |
| 7  | 765  | 3631 |
| 8  | 5059 | 1441 |
| 9  | 5629 | 598  |
| 10 | 5405 | 473  |
| 11 | 4724 | 5210 |
| 12 | 155  | 1832 |
| 13 | 1689 | 2229 |
| 14 | 449  | 1164 |
| 15 | 2308 | 3088 |
| 16 | 1122 | 669  |
| 17 | 2268 | 5758 |
| 0  | 5878 | 2609 |
| 1  | 782  | 3359 |
| 2  | 1231 | 4231 |
| 3  | 4225 | 2052 |
| 4  | 4286 | 3517 |
| 5  | 5531 | 3184 |
| 6  | 1935 | 4560 |
| 7  | 1174 | 131  |
| 8  | 3115 | 956  |
| 9  | 3129 | 1088 |
| 10 | 5238 | 4440 |
| 11 | 5722 | 4280 |
| 12 | 3540 | 375  |
| 13 | 191  | 2782 |
| 14 | 906  | 4432 |
| 15 | 3225 | 1111 |
| 16 | 6296 | 2583 |
| 17 | 1457 | 903  |
| 0  | 855  | 4475 |
| 1  | 4097 | 3970 |
| 2  | 4433 | 4361 |
| 3  | 5198 | 541  |
| 4  | 1146 | 4426 |
| 5  | 3202 | 2902 |
| 6  | 2724 | 525  |
| 7  | 1083 | 4124 |
| 8  | 2326 | 6003 |



[図57]

図57

|    |      |      |
|----|------|------|
| 9  | 5605 | 5990 |
| 10 | 4376 | 1579 |
| 11 | 4407 | 984  |
| 12 | 1332 | 6163 |
| 13 | 5359 | 3975 |
| 14 | 1907 | 1854 |
| 15 | 3601 | 5748 |
| 16 | 6056 | 3266 |
| 17 | 3322 | 4085 |
| 0  | 1768 | 3244 |
| 1  | 2149 | 144  |
| 2  | 1589 | 4291 |
| 3  | 5154 | 1252 |
| 4  | 1855 | 5939 |
| 5  | 4820 | 2706 |
| 6  | 1475 | 3360 |
| 7  | 4266 | 693  |
| 8  | 4156 | 2018 |
| 9  | 2103 | 752  |
| 10 | 3710 | 3853 |
| 11 | 5123 | 931  |
| 12 | 6146 | 3323 |
| 13 | 1939 | 5002 |
| 14 | 5140 | 1437 |
| 15 | 1263 | 293  |
| 16 | 5949 | 4665 |
| 17 | 4548 | 6380 |
| 0  | 3171 | 4690 |
| 1  | 5204 | 2114 |
| 2  | 6384 | 5565 |
| 3  | 5722 | 1757 |
| 4  | 2805 | 6264 |
| 5  | 1202 | 2616 |
| 6  | 1018 | 3244 |
| 7  | 4018 | 5289 |
| 8  | 2257 | 3067 |
| 9  | 2483 | 3073 |
| 10 | 1196 | 5329 |
| 11 | 649  | 3918 |
| 12 | 3791 | 4581 |
| 13 | 5028 | 3803 |

[図58]

図58

|    |      |      |
|----|------|------|
| 14 | 3119 | 3506 |
| 15 | 4779 | 431  |
| 16 | 3888 | 5510 |
| 17 | 4387 | 4084 |
| 0  | 5836 | 1692 |
| 1  | 5126 | 1078 |
| 2  | 5721 | 6165 |
| 3  | 3540 | 2499 |
| 4  | 2225 | 6348 |
| 5  | 1044 | 1484 |
| 6  | 6323 | 4042 |
| 7  | 1313 | 5603 |
| 8  | 1303 | 3496 |
| 9  | 3516 | 3639 |
| 10 | 5161 | 2293 |
| 11 | 4682 | 3845 |
| 12 | 3045 | 643  |
| 13 | 2818 | 2616 |
| 14 | 3267 | 649  |
| 15 | 6236 | 593  |
| 16 | 646  | 2948 |
| 17 | 4213 | 1442 |
| 0  | 5779 | 1596 |
| 1  | 2403 | 1237 |
| 2  | 2217 | 1514 |
| 3  | 5609 | 716  |
| 4  | 5155 | 3858 |
| 5  | 1517 | 1312 |
| 6  | 2554 | 3158 |
| 7  | 5280 | 2643 |
| 8  | 4990 | 1353 |
| 9  | 5648 | 1170 |
| 10 | 1152 | 4366 |
| 11 | 3561 | 5368 |
| 12 | 3581 | 1411 |
| 13 | 5647 | 4661 |
| 14 | 1542 | 5401 |
| 15 | 5078 | 2687 |
| 16 | 316  | 1755 |
| 17 | 3392 | 1991 |

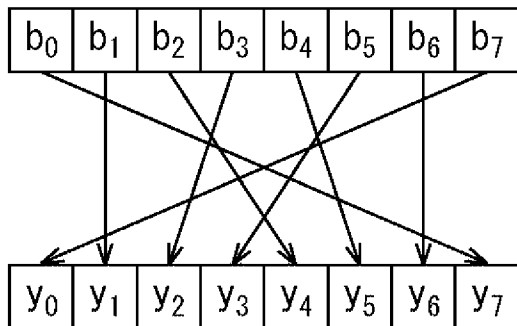


[図60]

図60

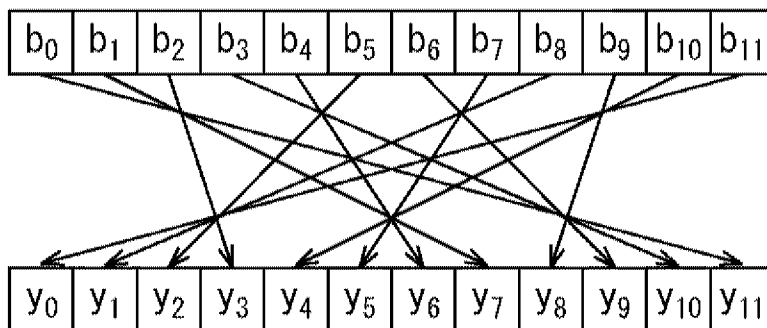
16QAM

A



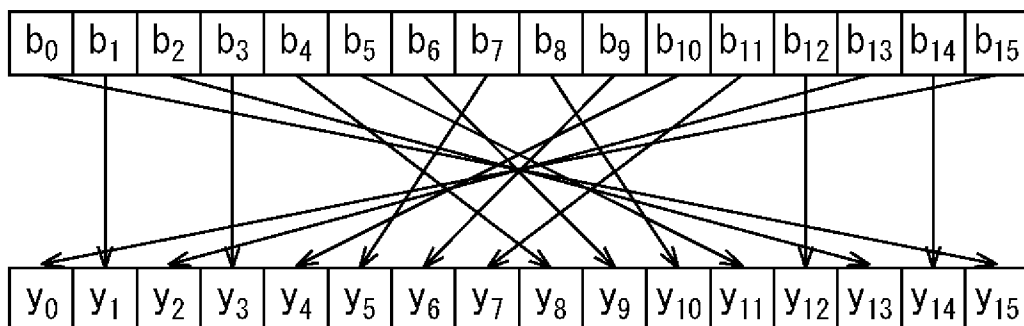
64QAM

B



256QAM

C



[図61]

図61

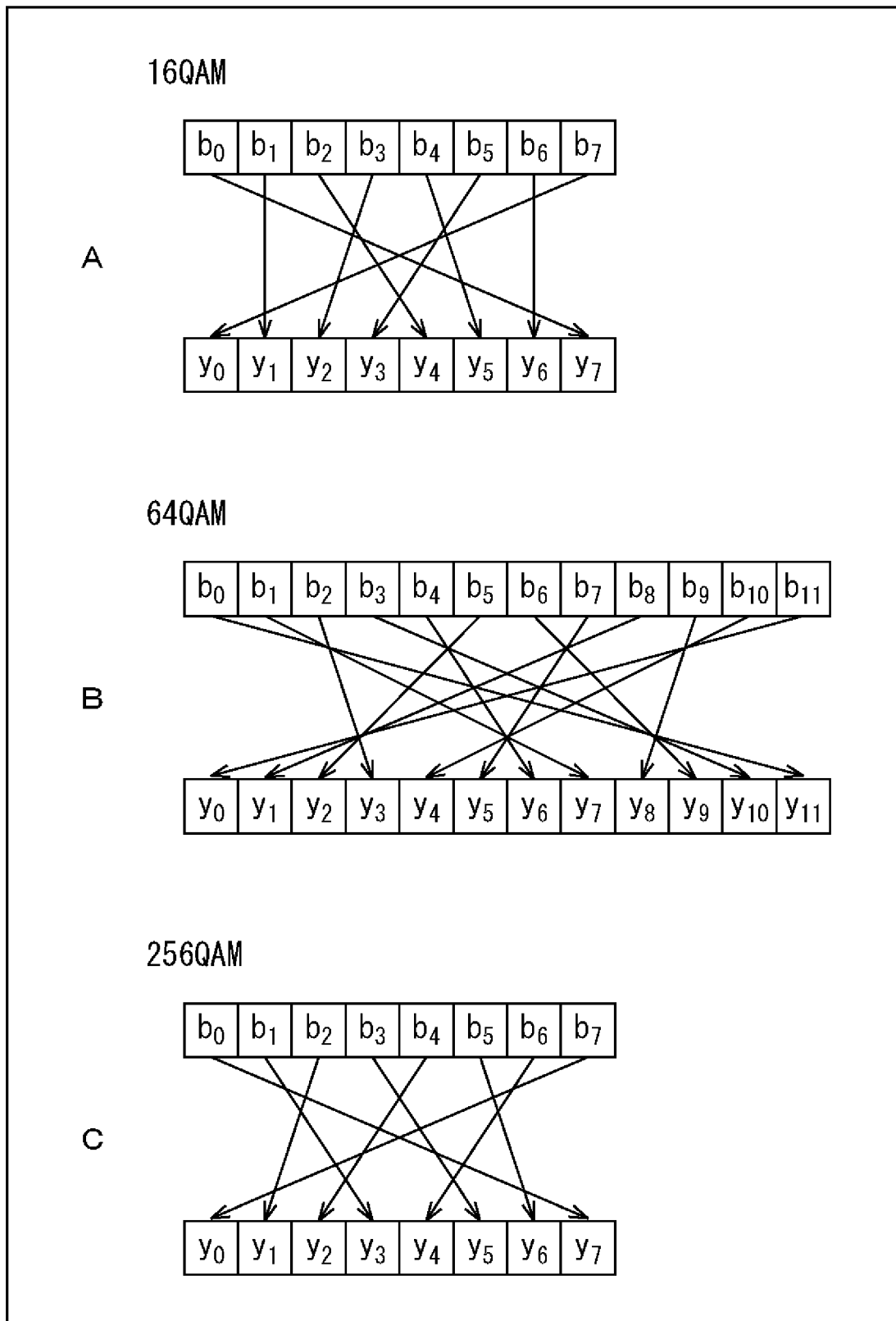


图62

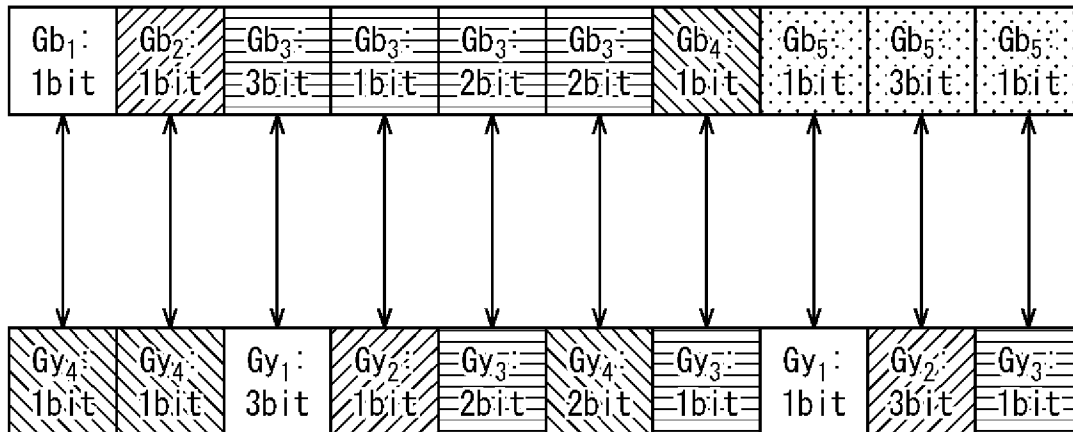
A 符号ビットト

トインボルト

|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $y_0$           | $y_1$           | $y_2$           | $y_3$           | $y_4$           | $y_5$           | $y_6$           | $y_7$           | $y_8$           | $y_9$           | $y_{10}$        | $y_{11}$        | $y_{12}$        | $y_{13}$        | $y_{14}$        | $y_{15}$        |
| Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>4</sub> |

[図63]

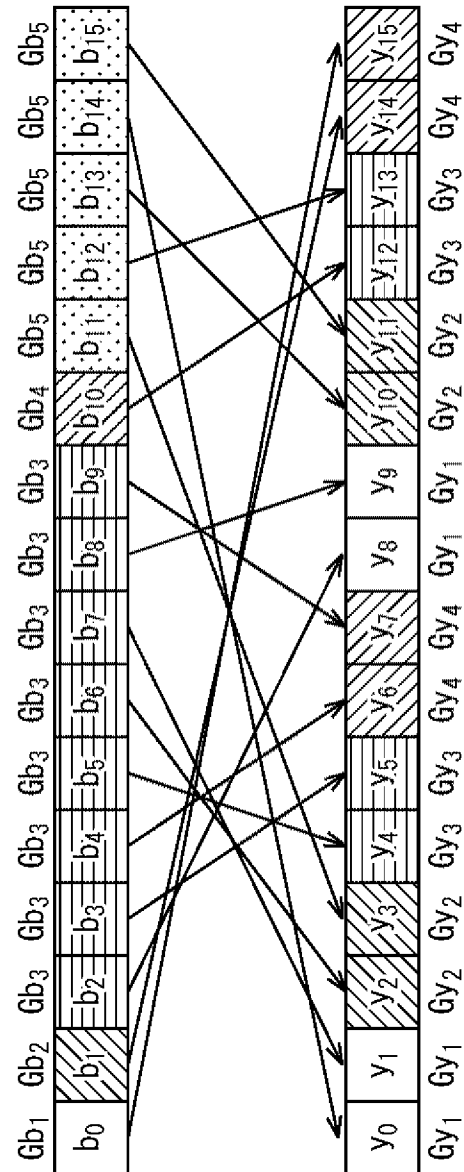
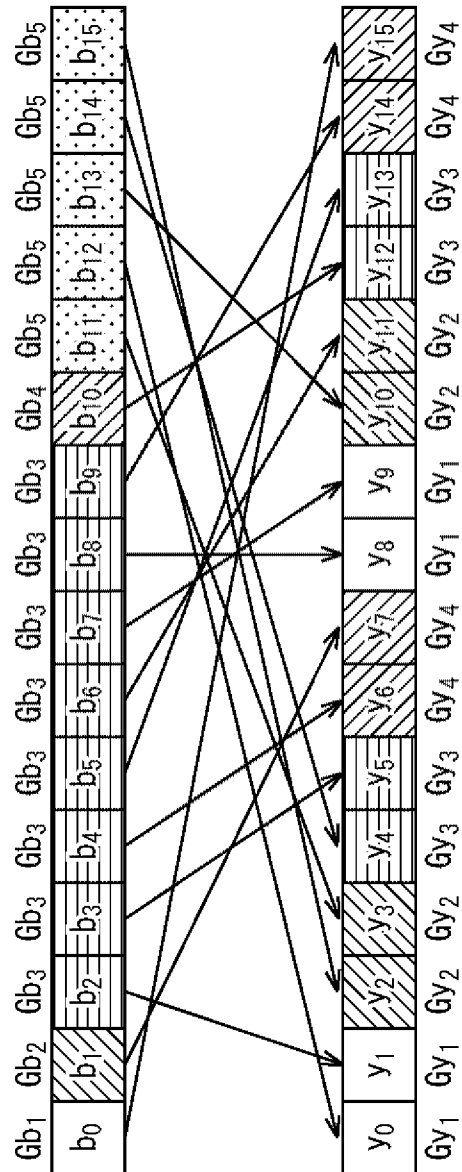
図63

256QAM r2/3 64K

[図64]

図64

256QAM r2/3 64K





[図65]

図65

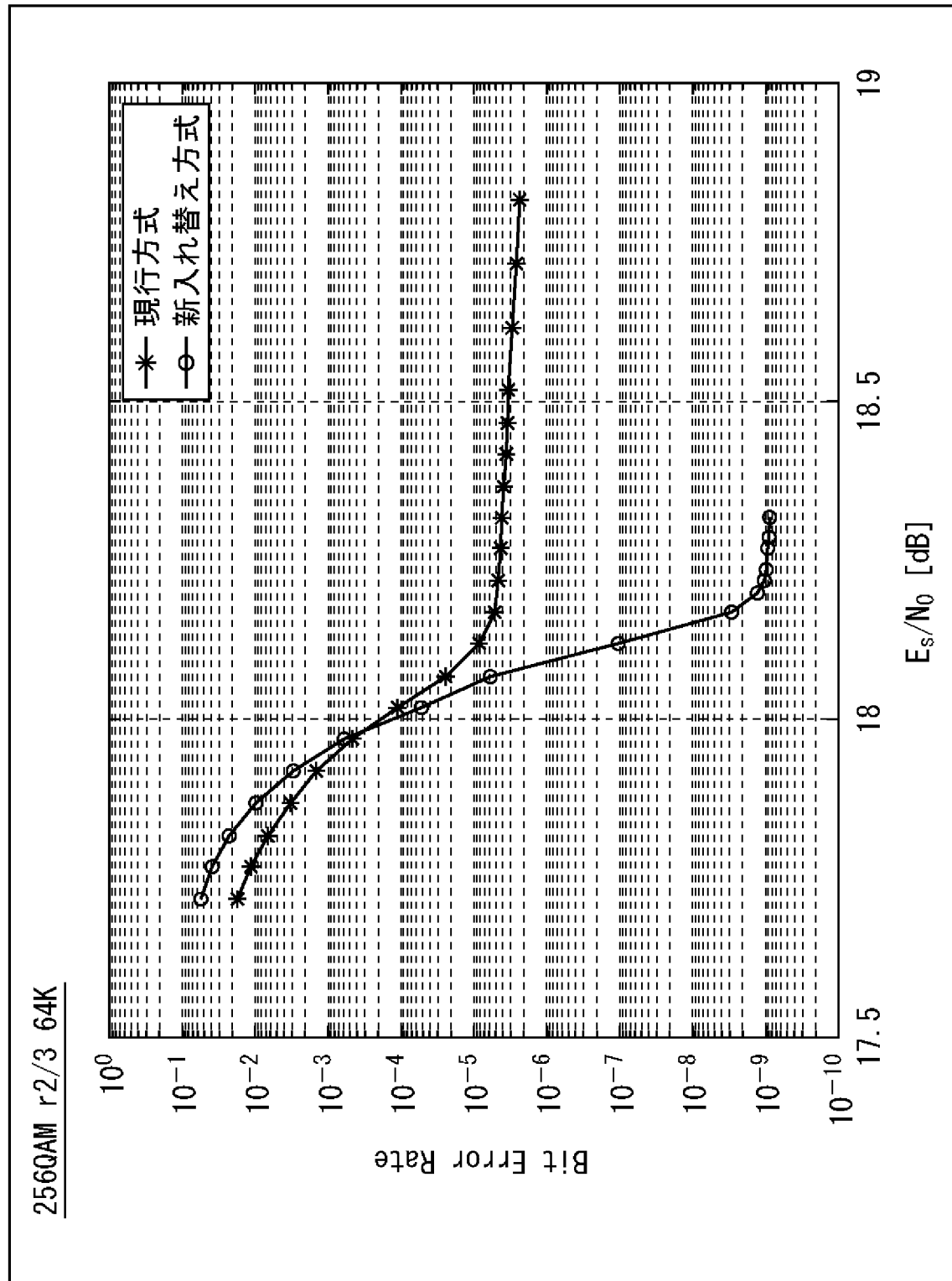


图 66

[illegible]

[図67]

図67

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 3083  | 4944  | 21021 |
| 13726 | 18495 | 19921 |
| 6736  | 10811 | 17545 |
| 10084 | 12411 | 14432 |
| 1064  | 13555 | 17033 |
| 679   | 9878  | 13547 |
| 3422  | 9910  | 20194 |
| 3640  | 3701  | 10046 |
| 5862  | 10134 | 11498 |
| 5923  | 9580  | 15060 |
| 1073  | 3012  | 16427 |
| 5527  | 20113 | 20883 |
| 7058  | 12924 | 15151 |
| 9764  | 12230 | 17375 |
| 772   | 7711  | 12723 |
| 555   | 13816 | 15376 |
| 10574 | 11268 | 17932 |
| 15442 | 17266 | 20482 |
| 390   | 3371  | 8781  |
| 10512 | 12216 | 17180 |
| 4309  | 14068 | 15783 |
| 3971  | 11673 | 20009 |
| 9259  | 14270 | 17199 |
| 2947  | 5852  | 20101 |
| 3965  | 9722  | 15363 |
| 1429  | 5689  | 16771 |
| 6101  | 6849  | 12781 |
| 3676  | 9347  | 18761 |
| 350   | 11659 | 18342 |
| 5961  | 14803 | 16123 |
| 2113  | 9163  | 13443 |
| 2155  | 9808  | 12885 |
| 2861  | 7988  | 11031 |
| 7309  | 9220  | 20745 |
| 6834  | 8742  | 11977 |
| 2133  | 12908 | 14704 |
| 10170 | 13809 | 18153 |
| 13464 | 14787 | 14975 |
| 799   | 1107  | 3789  |
| 3571  | 8176  | 10165 |
| 5433  | 13446 | 15481 |
| 3351  | 6767  | 12840 |
| 8950  | 8974  | 11650 |
| 1430  | 4250  | 21332 |

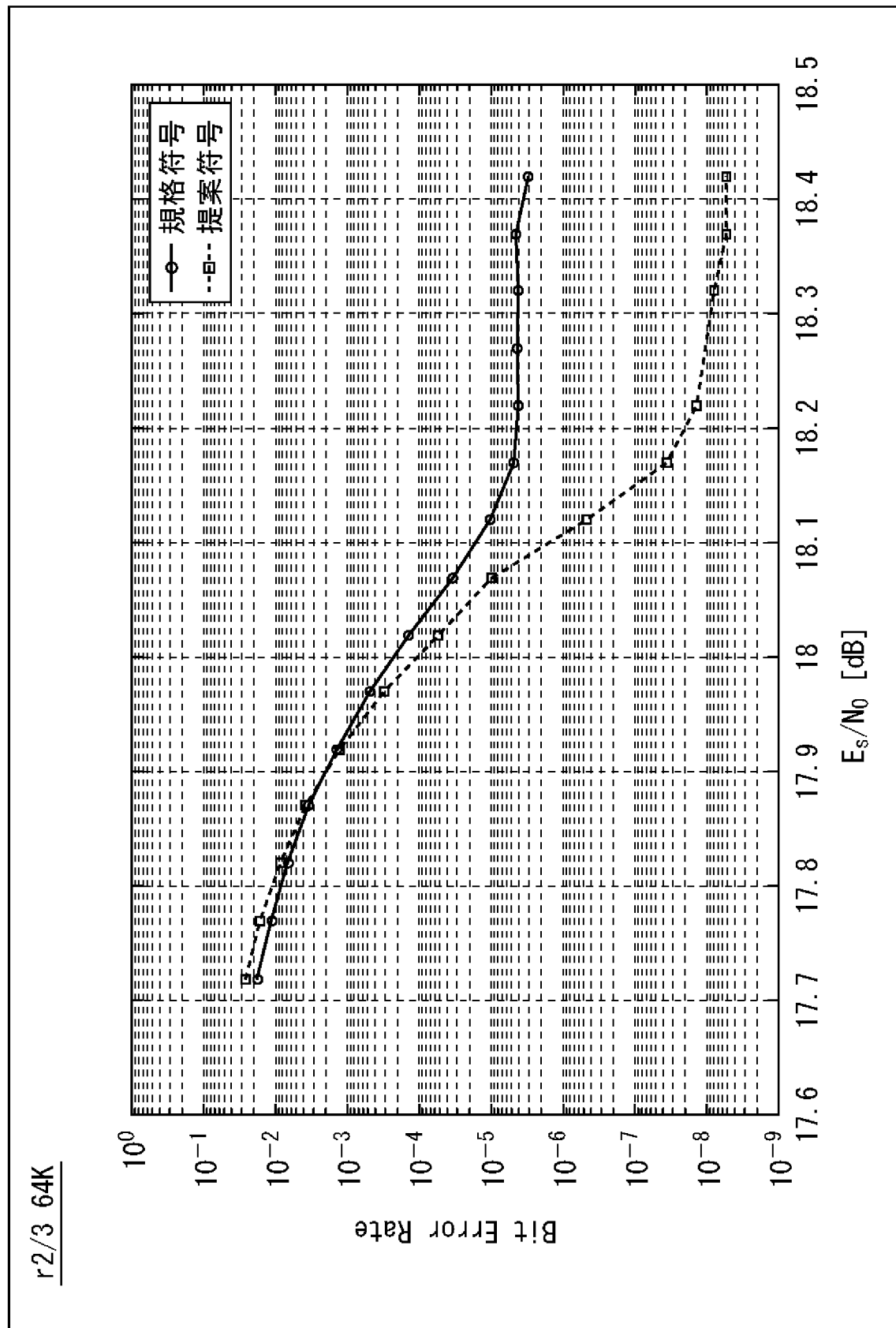
[図68]

図68

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 6283  | 10628 | 15050 |
| 8632  | 14404 | 16916 |
| 6509  | 10702 | 16278 |
| 15900 | 16395 | 17995 |
| 8031  | 18420 | 19733 |
| 3747  | 4634  | 17087 |
| 4453  | 6297  | 16262 |
| 2792  | 3513  | 17031 |
| 14846 | 20893 | 21563 |
| 17220 | 20436 | 21337 |
| 275   | 4107  | 10497 |
| 3536  | 7520  | 10027 |
| 14089 | 14943 | 19455 |
| 1965  | 3931  | 21104 |
| 2439  | 11565 | 17932 |
| 154   | 15279 | 21414 |
| 10017 | 11269 | 16546 |
| 7169  | 10161 | 16928 |
| 10284 | 16791 | 20655 |
| 36    | 3175  | 8475  |
| 2605  | 16269 | 19290 |
| 8947  | 9178  | 15420 |
| 5687  | 9156  | 12408 |
| 8096  | 9738  | 14711 |
| 4935  | 8093  | 19266 |
| 2667  | 10062 | 15972 |
| 6389  | 11318 | 14417 |
| 8800  | 18137 | 18434 |
| 5824  | 5927  | 15314 |
| 6056  | 13168 | 15179 |
| 3284  | 13138 | 18919 |
| 13115 | 17259 | 17332 |

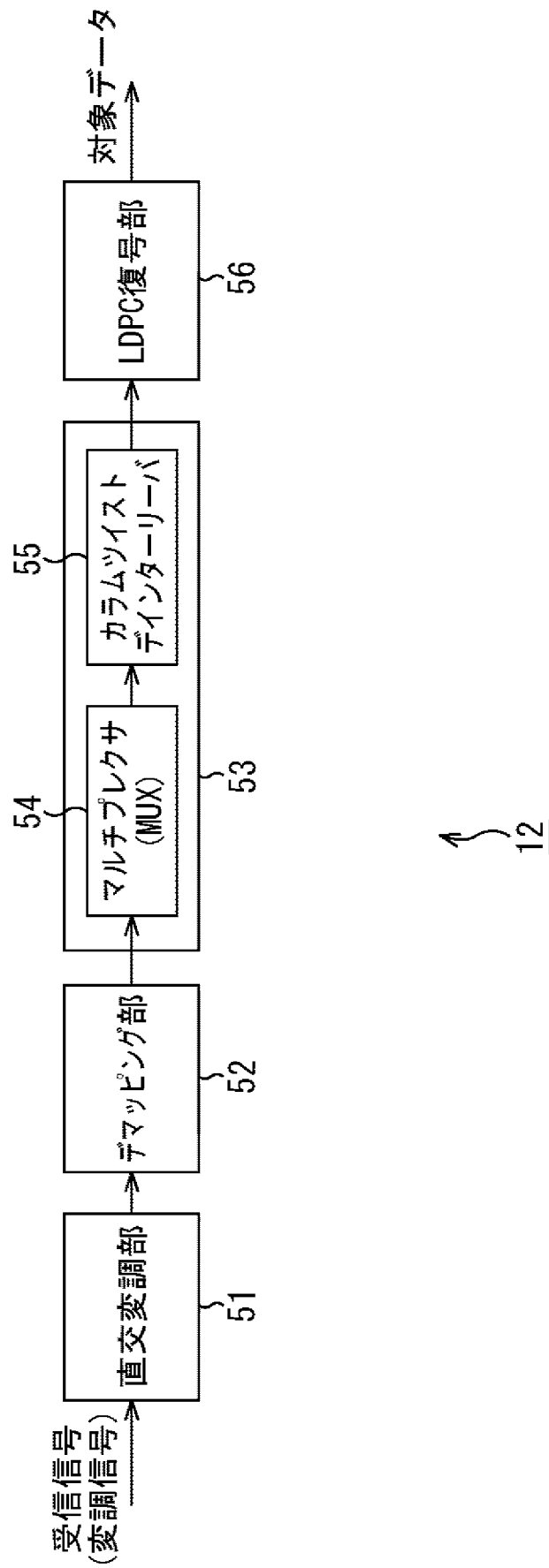
[図69]

図69



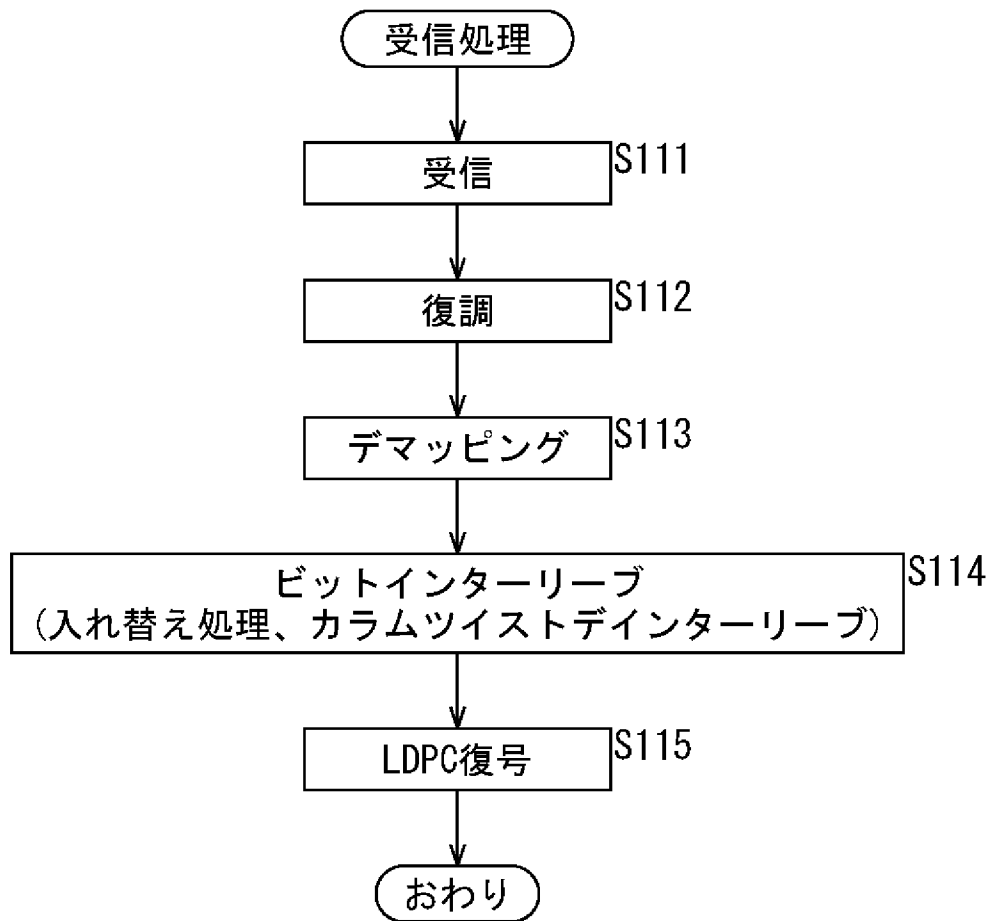
[図70]

図70



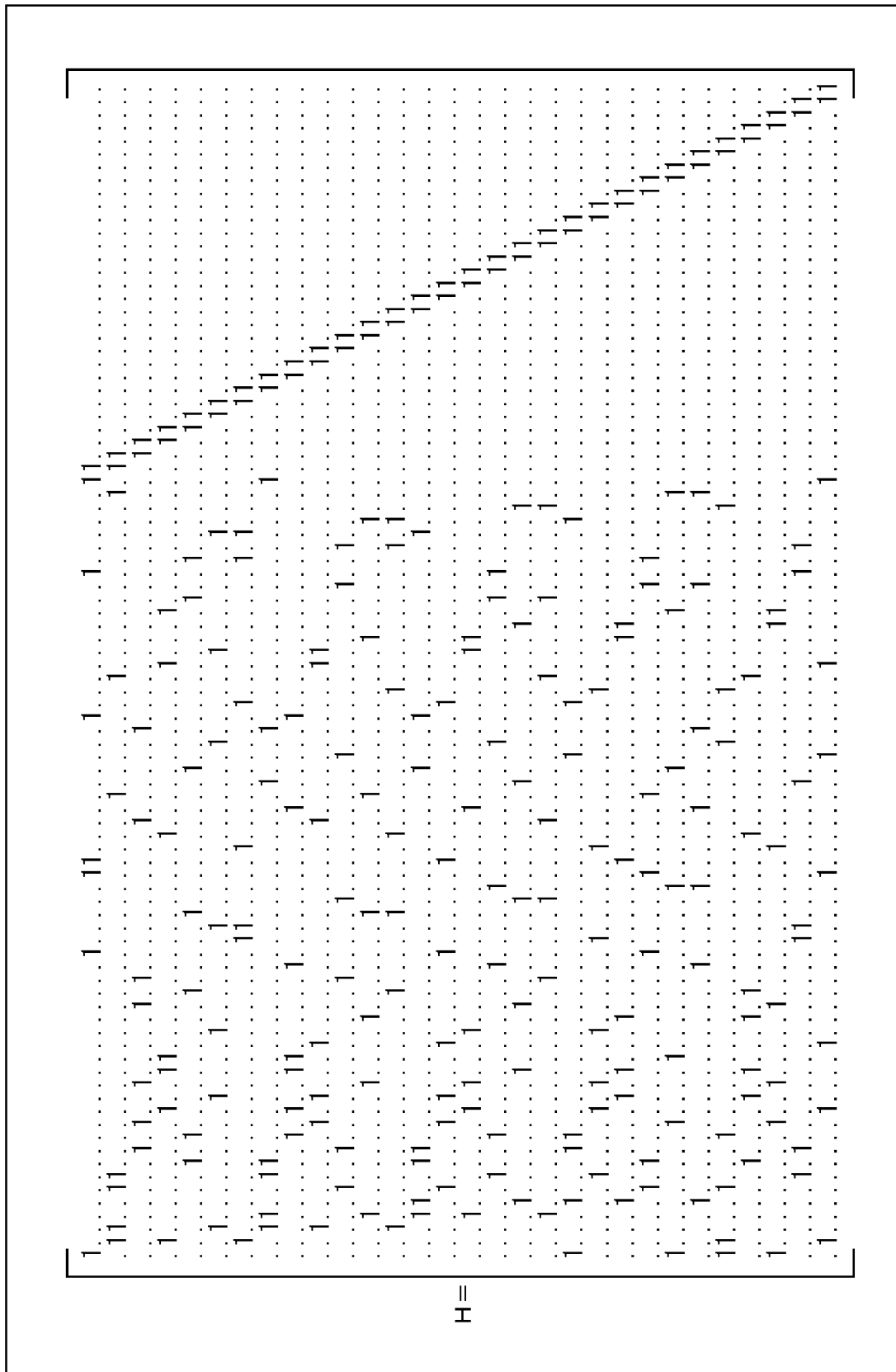
[図71]

図71



[[図72]

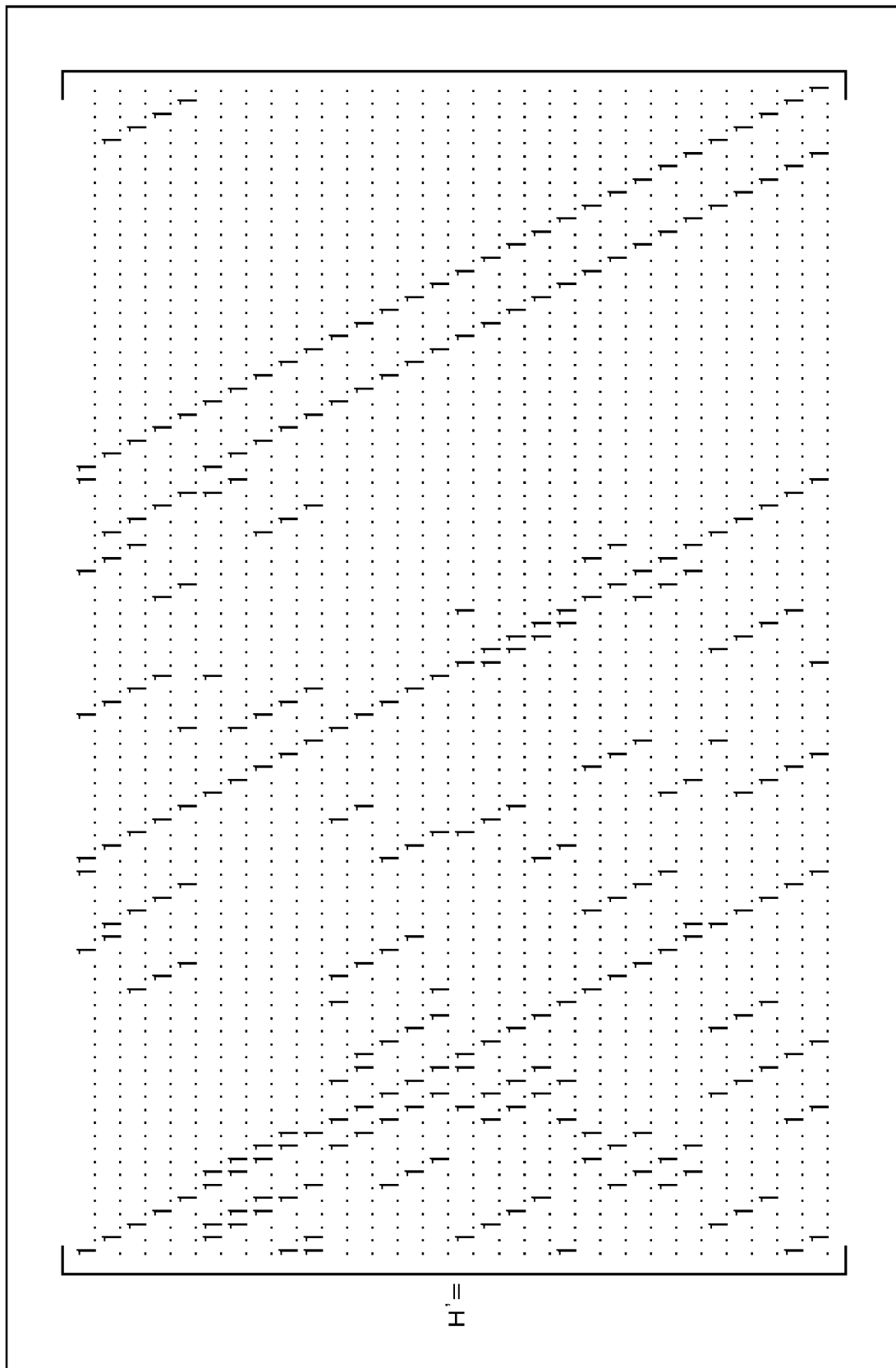
図72





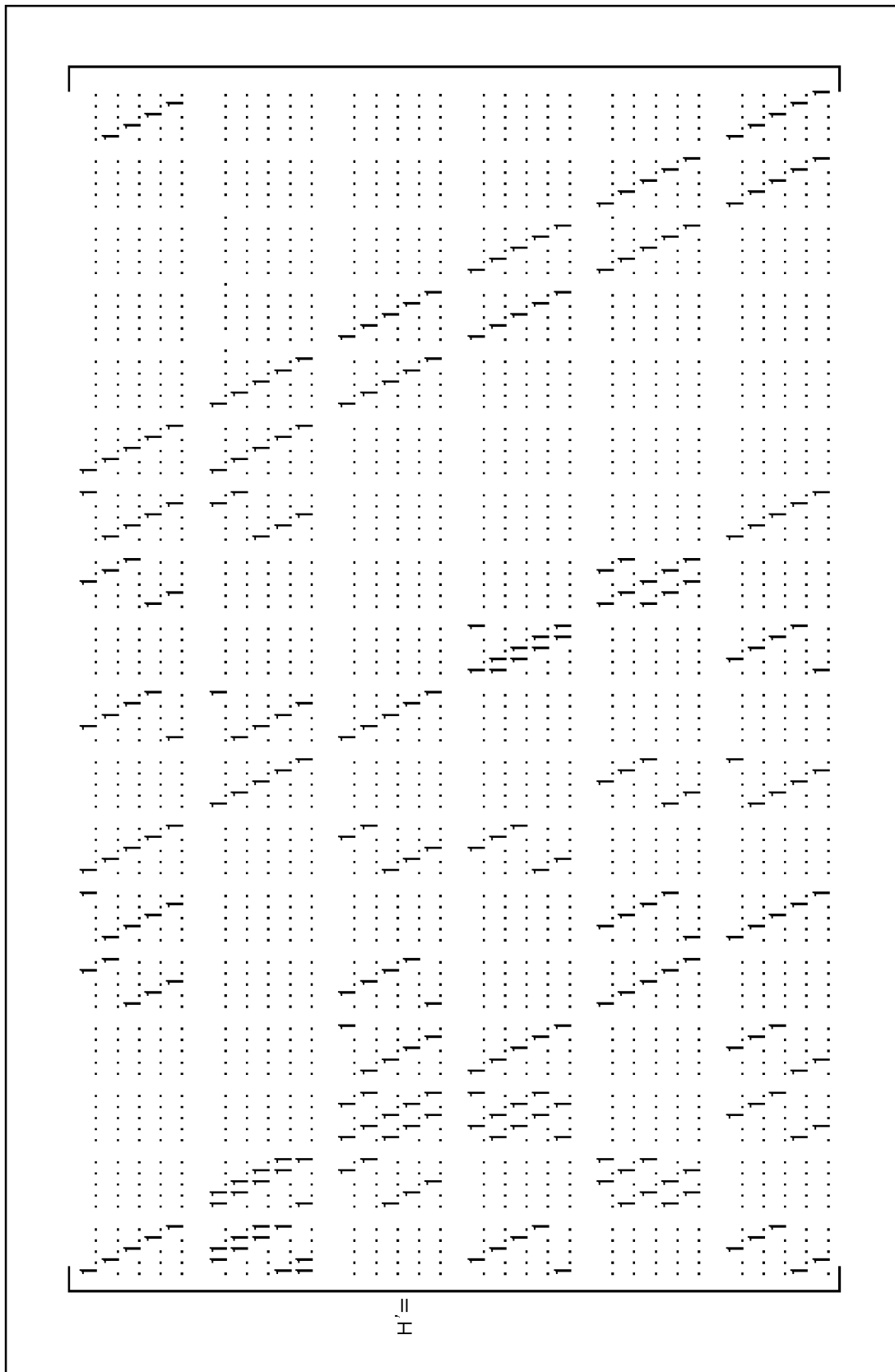
[図73]

図73



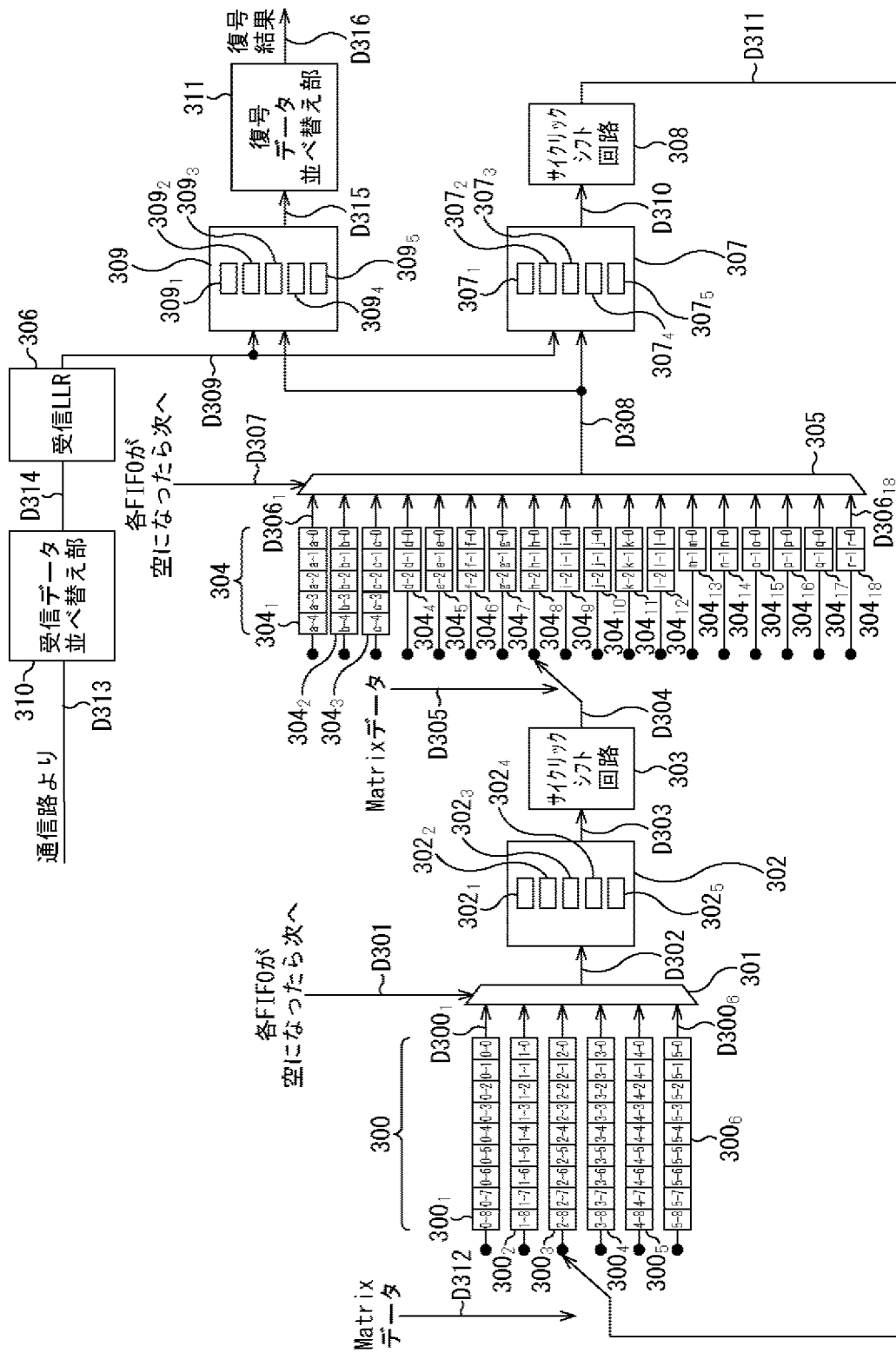
[図74]

図74



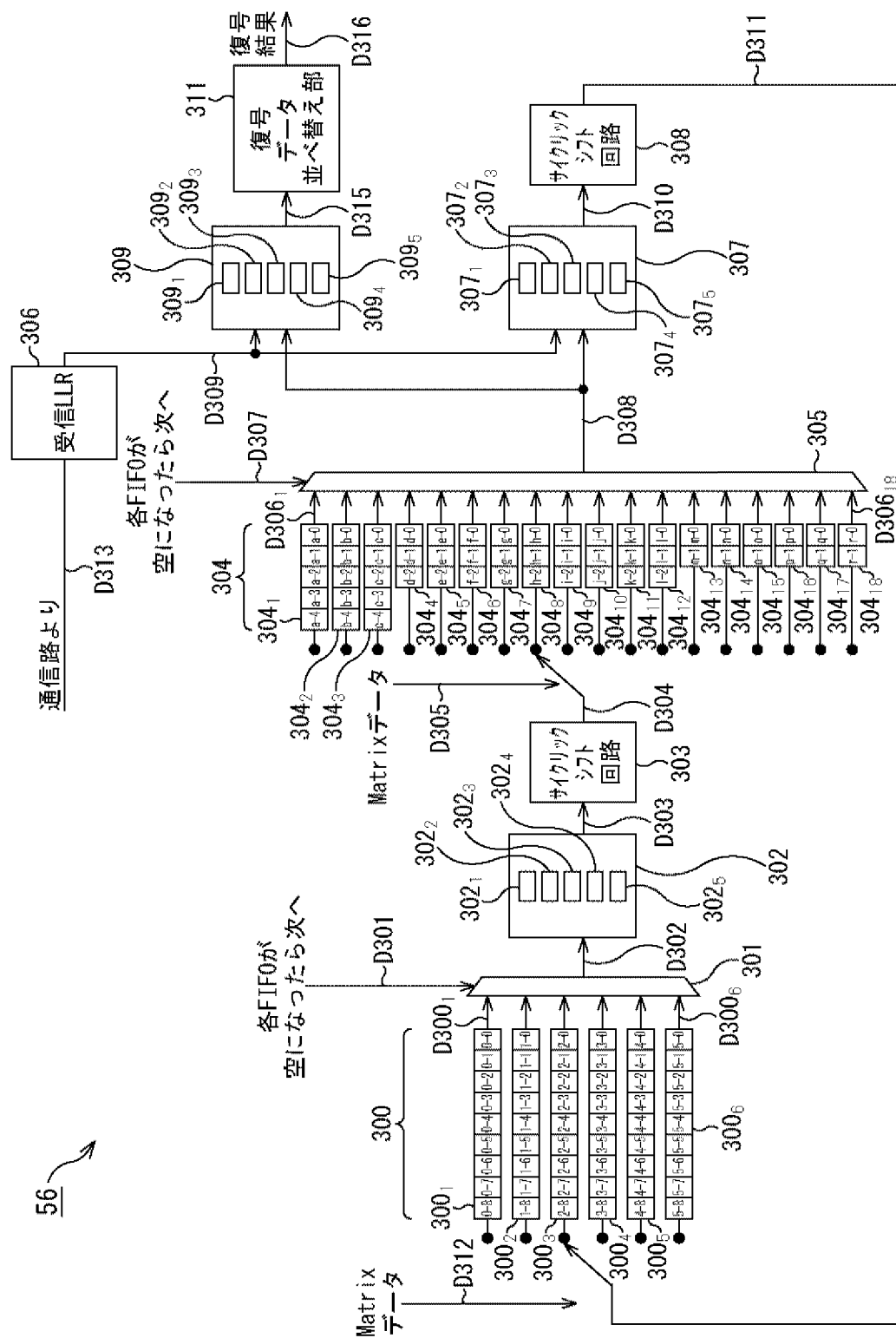
[図75]

図75



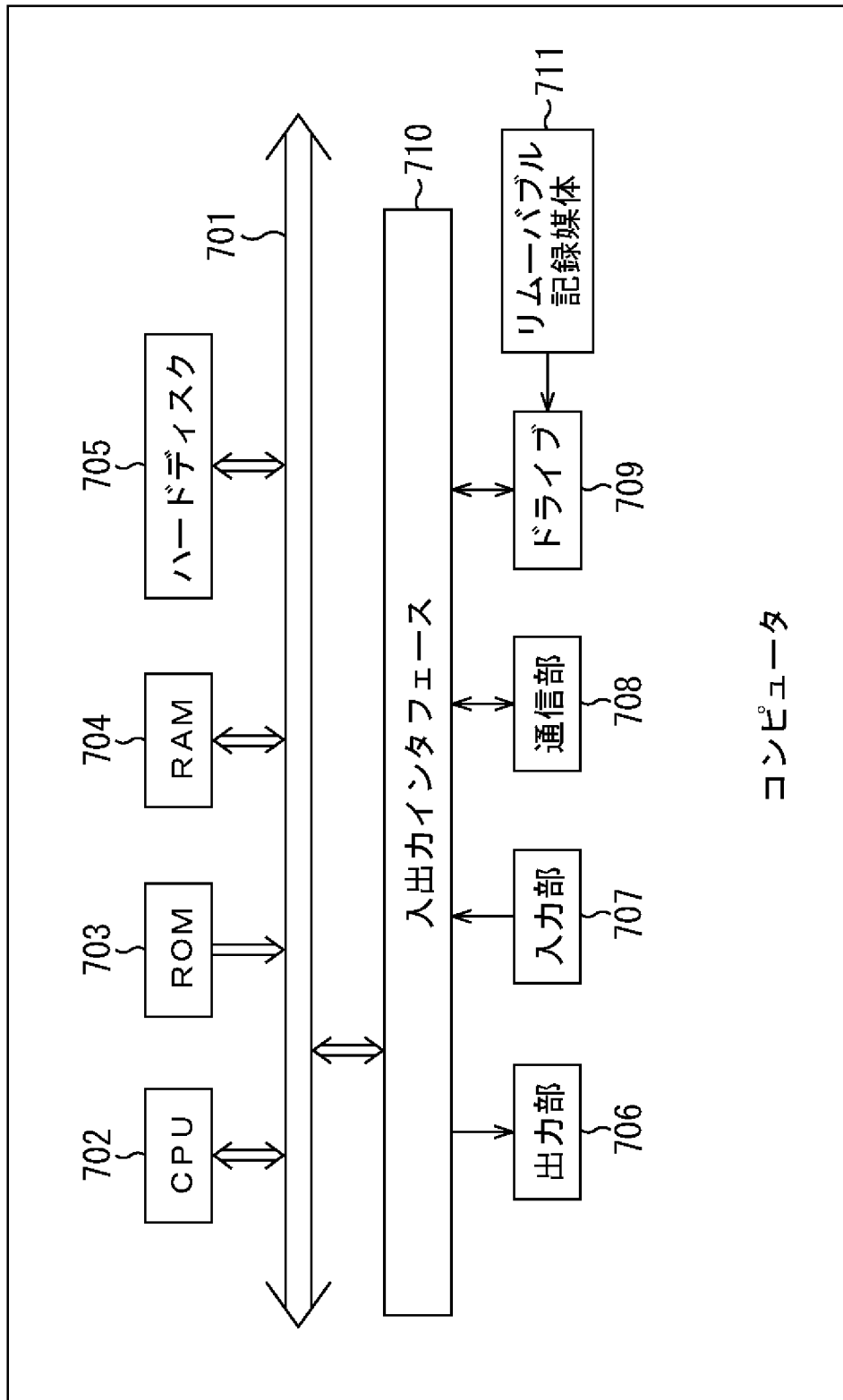
[図76]

图76



[図77]

図77



[図78]

図78

| — r2/3 16K — |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0            | 2084 | 1613 | 1548 | 1286 | 1460 | 3196 | 4297 | 2481 | 3369 | 3451 | 4620 | 2622 |
| 1            | 122  | 1516 | 3448 | 2880 | 1407 | 1847 | 3799 | 3529 | 373  | 971  | 4358 | 3108 |
| 2            | 259  | 3399 | 929  | 2650 | 864  | 3996 | 3833 | 107  | 5287 | 164  | 3125 | 2350 |
| 3            | 342  | 3529 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4            | 4198 | 2147 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5            | 1880 | 4836 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6            | 3864 | 4910 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7            | 243  | 1542 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8            | 3011 | 1436 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9            | 2167 | 2512 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10           | 4606 | 1003 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11           | 2835 | 705  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 12           | 3426 | 2365 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13           | 3848 | 2474 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 14           | 1360 | 1743 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 0            | 163  | 2536 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1            | 2583 | 1180 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2            | 1542 | 509  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3            | 4418 | 1005 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4            | 5212 | 5117 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5            | 2155 | 2922 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6            | 347  | 2696 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7            | 226  | 4296 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8            | 1560 | 487  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9            | 3926 | 1640 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10           | 149  | 2928 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11           | 2364 | 563  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 12           | 635  | 688  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13           | 231  | 1684 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 14           | 1129 | 3894 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

$r = \frac{2}{3}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

0 10491 16043 506 12826 8065 8226 2767 240 18673 9279 10579 20928  
1 17819 8313 6433 6224 5120 5824 12812 17187 9940 13447 13825 18483  
2 17957 6024 8681 18628 12794 5915 14576 10970 12064 20437 4455 7151  
3 19777 6183 9972 14536 8182 17749 11341 5556 4379 17434 15477 18532  
4 4651 19689 1608 659 16707 14335 6143 3058 14618 17894 20684 5306  
5 9778 2552 12096 12369 15198 16890 4851 3109 1700 18725 1997 15882  
6 486 6111 13743 11537 5591 7433 15227 14145 1483 3887 17431 12430  
7 20647 14311 11734 4180 8110 5525 12141 15761 18661 18441 10569 8192  
8 3791 14759 15264 19918 10132 9062 10010 12786 10675 9682 19246 5454  
9 19525 9485 7777 19999 8378 9209 3163 20232 6690 16518 716 7353  
10 4588 6709 20202 10905 915 4317 11073 13576 16433 368 3508 21171  
11 14072 4033 19959 12608 631 19494 14160 8249 10223 21504 12395 4322  
12 13800 14161  
13 2948 9647  
14 14693 16027  
15 20506 11082  
16 1143 9020  
17 13501 4014  
18 1548 2190  
19 12216 21556  
20 2095 19897  
21 4189 7958  
22 15940 10048  
23 515 12614  
24 8501 8450  
25 17595 16784  
26 5913 8495  
27 16394 10423  
28 7409 6981  
29 6678 15939  
30 20344 12987  
31 2510 14588  
32 17918 6655  
33 6703 19451  
34 496 4217  
35 7290 5766  
36 10521 8925  
37 20379 11905  
38 4090 5838  
39 19082 17040

[図80]

図80

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 40 | 20233 | 12352 |
| 41 | 19365 | 19546 |
| 42 | 6249  | 19030 |
| 43 | 11037 | 19193 |
| 44 | 19760 | 11772 |
| 45 | 19644 | 7428  |
| 46 | 16076 | 3521  |
| 47 | 11779 | 21062 |
| 48 | 13062 | 9682  |
| 49 | 8934  | 5217  |
| 50 | 11087 | 3319  |
| 51 | 18892 | 4356  |
| 52 | 7894  | 3898  |
| 53 | 5963  | 4360  |
| 54 | 7346  | 11726 |
| 55 | 5182  | 5609  |
| 56 | 2412  | 17295 |
| 57 | 9845  | 20494 |
| 58 | 6687  | 1864  |
| 59 | 20564 | 5216  |
| 0  | 18226 | 17207 |
| 1  | 9380  | 8266  |
| 2  | 7073  | 3065  |
| 3  | 18252 | 13437 |
| 4  | 9161  | 15642 |
| 5  | 10714 | 10153 |
| 6  | 11585 | 9078  |
| 7  | 5359  | 9418  |
| 8  | 9024  | 9515  |
| 9  | 1206  | 16354 |
| 10 | 14994 | 1102  |
| 11 | 9375  | 20796 |
| 12 | 15964 | 6027  |
| 13 | 14789 | 6452  |
| 14 | 8002  | 18591 |
| 15 | 14742 | 14089 |
| 16 | 253   | 3045  |
| 17 | 1274  | 19286 |
| 18 | 14777 | 2044  |
| 19 | 13920 | 9900  |
| 20 | 452   | 7374  |



[図81]

図81

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 21 | 18206 | 9921  |
| 22 | 6131  | 5414  |
| 23 | 10077 | 9726  |
| 24 | 12045 | 5479  |
| 25 | 4322  | 7990  |
| 26 | 15616 | 5550  |
| 27 | 15561 | 10661 |
| 28 | 20718 | 7387  |
| 29 | 2518  | 18804 |
| 30 | 8984  | 2600  |
| 31 | 6516  | 17909 |
| 32 | 11148 | 98    |
| 33 | 20559 | 3704  |
| 34 | 7510  | 1569  |
| 35 | 16000 | 11692 |
| 36 | 9147  | 10303 |
| 37 | 16650 | 191   |
| 38 | 15577 | 18685 |
| 39 | 17167 | 20917 |
| 40 | 4256  | 3391  |
| 41 | 20092 | 17219 |
| 42 | 9218  | 5056  |
| 43 | 18429 | 8472  |
| 44 | 12093 | 20753 |
| 45 | 16345 | 12748 |
| 46 | 16023 | 11095 |
| 47 | 5048  | 17595 |
| 48 | 18995 | 4817  |
| 49 | 16483 | 3536  |
| 50 | 1439  | 16148 |
| 51 | 3661  | 3039  |
| 52 | 19010 | 18121 |
| 53 | 8968  | 11793 |
| 54 | 13427 | 18003 |
| 55 | 5303  | 3083  |
| 56 | 531   | 16668 |
| 57 | 4771  | 6722  |
| 58 | 5695  | 7960  |
| 59 | 3589  | 14630 |

[図82]

図82

| — r3/4 16K — |      |      |      |      |      |      |      |      |     |          |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|
| 3            | 3198 | 478  | 4207 | 1481 | 1009 | 2616 | 1924 | 3437 | 554 | 683 1801 |
| 4            | 2681 | 2135 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 3107 | 4027 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 2637 | 3373 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 3830 | 3449 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 4129 | 2060 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 4184 | 2742 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 3946 | 1070 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 2239 | 984  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 0            | 1458 | 3031 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 1            | 3003 | 1328 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 2            | 1137 | 1716 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 3            | 132  | 3725 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 4            | 1817 | 638  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 1774 | 3447 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 3632 | 1257 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 542  | 3694 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 1015 | 1945 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 1948 | 412  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 995  | 2238 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 4141 | 1907 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 0            | 2480 | 3079 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 1            | 3021 | 1088 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 2            | 713  | 1379 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 3            | 997  | 3903 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 4            | 2323 | 3361 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 5            | 1110 | 986  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 6            | 2532 | 142  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 7            | 1690 | 2405 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 8            | 1298 | 1881 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 9            | 615  | 174  |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 10           | 1648 | 3112 |      |      |      |      |      |      |     |          |
| 11           | 1415 | 2808 |      |      |      |      |      |      |     |          |

$r = \frac{3}{4}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

[図83]

図83

 $r = \frac{3}{4}$ , N=64800の検査行列初期値テーブル

| $r = \frac{3}{4}$ 64K |                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| 0                     | 6385 7901 14611 13389 11200 3252 5243 2504 2722 821 7374     |
| 1                     | 11359 2698 357 13824 12772 7244 6752 15310 852 2001 11417    |
| 2                     | 7862 7977 6321 13612 12197 14449 15137 13860 1708 6399 13444 |
| 3                     | 1560 11804 6975 13292 3646 3812 8772 7306 5795 14327 7866    |
| 4                     | 7626 11407 14599 9689 1628 2113 10809 9283 1230 15241 4870   |
| 5                     | 1610 5699 15876 9446 12515 1400 6303 5411 14181 13925 7358   |
| 6                     | 4059 8836 3405 7853 7992 15336 5970 10368 10278 9675 4651    |
| 7                     | 4441 3963 9153 2109 12683 7459 12030 12221 629 15212 406     |
| 8                     | 6007 8411 5771 3497 543 14202 875 9186 6235 13908 3563       |
| 9                     | 3232 6625 4795 546 9781 2071 7312 3399 7250 4932 12652       |
| 10                    | 8820 10088 11090 7069 6585 13134 10158 7183 488 7455 9238    |
| 11                    | 1903 10818 119 215 7558 11046 10615 11545 14784 7961 15619   |
| 12                    | 3655 8736 4917 15874 5129 2134 15944 14768 7150 2692 1469    |
| 13                    | 8316 3820 505 8923 6757 806 7957 4216 15589 13244 2622       |
| 14                    | 14463 4852 15733 3041 11193 12860 13673 8152 6551 15108 8758 |
| 15                    | 3149 11981                                                   |
| 16                    | 13416 6906                                                   |
| 17                    | 13098 13352                                                  |
| 18                    | 2009 14460                                                   |
| 19                    | 7207 4314                                                    |
| 20                    | 3312 3945                                                    |
| 21                    | 4418 6248                                                    |
| 22                    | 2669 13975                                                   |
| 23                    | 7571 9023                                                    |
| 24                    | 14172 2967                                                   |
| 25                    | 7271 7138                                                    |
| 26                    | 6135 13670                                                   |
| 27                    | 7490 14559                                                   |
| 28                    | 8657 2466                                                    |
| 29                    | 8599 12834                                                   |
| 30                    | 3470 3152                                                    |
| 31                    | 13917 4365                                                   |
| 32                    | 6024 13730                                                   |
| 33                    | 10973 14182                                                  |
| 34                    | 2464 13167                                                   |
| 35                    | 5281 15049                                                   |
| 36                    | 1103 1849                                                    |
| 37                    | 2058 1069                                                    |
| 38                    | 9654 6095                                                    |
| 39                    | 14311 7667                                                   |

[図84]

図84

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 40 | 15617 | 8146  |
| 41 | 4588  | 11218 |
| 42 | 13660 | 6243  |
| 43 | 8578  | 7874  |
| 44 | 11741 | 2686  |
| 0  | 1022  | 1264  |
| 1  | 12604 | 9965  |
| 2  | 8217  | 2707  |
| 3  | 3156  | 11793 |
| 4  | 354   | 1514  |
| 5  | 6978  | 14058 |
| 6  | 7922  | 16079 |
| 7  | 15087 | 12138 |
| 8  | 5053  | 6470  |
| 9  | 12687 | 14932 |
| 10 | 15458 | 1763  |
| 11 | 8121  | 1721  |
| 12 | 12431 | 549   |
| 13 | 4129  | 7091  |
| 14 | 1426  | 8415  |
| 15 | 9783  | 7604  |
| 16 | 6295  | 11329 |
| 17 | 1409  | 12061 |
| 18 | 8065  | 9087  |
| 19 | 2918  | 8438  |
| 20 | 1293  | 14115 |
| 21 | 3922  | 13851 |
| 22 | 3851  | 4000  |
| 23 | 5865  | 1768  |
| 24 | 2655  | 14957 |
| 25 | 5565  | 6332  |
| 26 | 4303  | 12631 |
| 27 | 11653 | 12236 |
| 28 | 16025 | 7632  |
| 29 | 4655  | 14128 |
| 30 | 9584  | 13123 |
| 31 | 13987 | 9597  |
| 32 | 15409 | 12110 |
| 33 | 8754  | 15490 |
| 34 | 7416  | 15325 |
| 35 | 2909  | 15549 |

[図85]

図85

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 36 | 2995  | 8257  |
| 37 | 9406  | 4791  |
| 38 | 11111 | 4854  |
| 39 | 2812  | 8521  |
| 40 | 8476  | 14717 |
| 41 | 7820  | 15360 |
| 42 | 1179  | 7939  |
| 43 | 2357  | 8678  |
| 44 | 7703  | 6216  |
| 0  | 3477  | 7067  |
| 1  | 3931  | 13845 |
| 2  | 7675  | 12899 |
| 3  | 1754  | 8187  |
| 4  | 7785  | 1400  |
| 5  | 9213  | 5891  |
| 6  | 2494  | 7703  |
| 7  | 2576  | 7902  |
| 8  | 4821  | 15682 |
| 9  | 10426 | 11935 |
| 10 | 1810  | 904   |
| 11 | 11332 | 9264  |
| 12 | 11312 | 3570  |
| 13 | 14916 | 2650  |
| 14 | 7679  | 7842  |
| 15 | 6089  | 13084 |
| 16 | 3938  | 2751  |
| 17 | 8509  | 4648  |
| 18 | 12204 | 8917  |
| 19 | 5749  | 12443 |
| 20 | 12613 | 4431  |
| 21 | 1344  | 4014  |
| 22 | 8488  | 13850 |
| 23 | 1730  | 14896 |
| 24 | 14942 | 7126  |
| 25 | 14983 | 8863  |
| 26 | 6578  | 8564  |
| 27 | 4947  | 396   |
| 28 | 297   | 12805 |
| 29 | 13878 | 6692  |
| 30 | 11857 | 11186 |
| 31 | 14395 | 11493 |

[図86]

図86

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 32 | 16145 | 12251 |
| 33 | 13462 | 7428  |
| 34 | 14526 | 13119 |
| 35 | 2535  | 11243 |
| 36 | 6465  | 12690 |
| 37 | 6872  | 9334  |
| 38 | 15371 | 14023 |
| 39 | 8101  | 10187 |
| 40 | 11963 | 4848  |
| 41 | 15125 | 6119  |
| 42 | 8051  | 14465 |
| 43 | 11139 | 5167  |
| 44 | 2883  | 14521 |

[図87]

図87

| r4/5 16K |      |      |
|----------|------|------|
| 5        | 896  | 1565 |
| 6        | 2493 | 184  |
| 7        | 212  | 3210 |
| 8        | 727  | 1339 |
| 9        | 3428 | 612  |
| 0        | 2663 | 1947 |
| 1        | 230  | 2695 |
| 2        | 2025 | 2794 |
| 3        | 3039 | 283  |
| 4        | 862  | 2889 |
| 5        | 376  | 2110 |
| 6        | 2034 | 2286 |
| 7        | 951  | 2068 |
| 8        | 3108 | 3542 |
| 9        | 307  | 1421 |
| 0        | 2272 | 1197 |
| 1        | 1800 | 3280 |
| 2        | 331  | 2308 |
| 3        | 465  | 2552 |
| 4        | 1038 | 2479 |
| 5        | 1383 | 343  |
| 6        | 94   | 236  |
| 7        | 2619 | 121  |
| 8        | 1497 | 2774 |
| 9        | 2116 | 1855 |
| 0        | 722  | 1584 |
| 1        | 2767 | 1881 |
| 2        | 2701 | 1610 |
| 3        | 3283 | 1732 |
| 4        | 168  | 1099 |
| 5        | 3074 | 243  |
| 6        | 3460 | 945  |
| 7        | 2049 | 1746 |
| 8        | 566  | 1427 |
| 9        | 3545 | 1168 |

$r = \frac{4}{5}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

图 88

$$r = \frac{4}{5}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

-r4/5 64K-

0 149 11212 5575 6360 12559 8108 8505 408 10026 12828  
1 5237 490 10677 4998 3869 3734 3092 3509 7703 10305  
2 8742 5553 2820 7085 12116 10485 564 7795 2972 2157  
3 2699 4304 8350 712 2841 3250 4731 10105 517 7516  
4 12067 1351 11992 12191 11267 5161 537 6166 4246 2363  
5 6828 7107 2127 3724 5743 11040 10756 4073 1011 3422  
6 11259 1216 9526 1466 10816 940 3744 2815 11506 11573  
7 4549 11507 1118 1274 11751 5207 7854 12803 4047 6484  
8 8430 4115 9440 413 4455 2262 7915 12402 8579 7052  
9 3885 9126 5665 4505 2343 253 4707 3742 4166 1556  
10 1704 8936 6775 8639 8179 7954 8234 7850 8883 8713  
11 11716 4344 9087 11264 2274 8832 9147 11930 6054 5455  
12 7323 3970 10329 2170 8262 3854 2087 12899 9497 11700  
13 4418 1467 2490 5841 817 11453 533 11217 11962 5251  
14 1541 4525 7976 3457 9536 7725 3788 2982 6307 5997  
15 11484 2739 4023 12107 6516 551 2572 6628 8150 9852  
16 6070 1761 4627 6534 7913 3730 11866 1813 12306 8249  
17 12441 5489 8748 7837 7660 2102 11341 2936 6712 11977  
18 10155 4210  
19 1010 10483  
20 8900 10250  
21 10243 12278  
22 7070 4397  
23 12271 3887  
24 11980 6836  
25 9514 4356  
26 7137 10281  
27 11881 2526  
28 1969 11477  
29 3044 10921  
30 2236 8724  
31 9104 6340  
32 7342 8582  
33 11675 10405  
34 6467 12775  
35 3186 12198  
0 9621 11445  
1 7486 5611  
2 4319 4879  
3 2196 344



[図]89]

[図]89

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 4  | 7527  | 6650  |
| 5  | 10693 | 2440  |
| 6  | 6755  | 2706  |
| 7  | 5144  | 5998  |
| 8  | 11043 | 8033  |
| 9  | 4846  | 4435  |
| 10 | 4157  | 9228  |
| 11 | 12270 | 6562  |
| 12 | 11954 | 7592  |
| 13 | 7420  | 2592  |
| 14 | 8810  | 9636  |
| 15 | 689   | 5430  |
| 16 | 920   | 1304  |
| 17 | 1253  | 11934 |
| 18 | 9559  | 6016  |
| 19 | 312   | 7589  |
| 20 | 4439  | 4197  |
| 21 | 4002  | 9555  |
| 22 | 12232 | 7779  |
| 23 | 1494  | 8782  |
| 24 | 10749 | 3969  |
| 25 | 4368  | 3479  |
| 26 | 6316  | 5342  |
| 27 | 2455  | 3493  |
| 28 | 12157 | 7405  |
| 29 | 6598  | 11495 |
| 30 | 11805 | 4455  |
| 31 | 9625  | 2090  |
| 32 | 4731  | 2321  |
| 33 | 3578  | 2608  |
| 34 | 8504  | 1849  |
| 35 | 4027  | 1151  |
| 0  | 5647  | 4935  |
| 1  | 4219  | 1870  |
| 2  | 10968 | 8054  |
| 3  | 6970  | 5447  |
| 4  | 3217  | 5638  |
| 5  | 8972  | 669   |
| 6  | 5618  | 12472 |
| 7  | 1457  | 1280  |
| 8  | 8868  | 3883  |

[図90]

図90

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 9  | 8866  | 1224  |
| 10 | 8371  | 5972  |
| 11 | 266   | 4405  |
| 12 | 3706  | 3244  |
| 13 | 6039  | 5844  |
| 14 | 7200  | 3283  |
| 15 | 1502  | 11282 |
| 16 | 12318 | 2202  |
| 17 | 4523  | 965   |
| 18 | 9587  | 7011  |
| 19 | 2552  | 2051  |
| 20 | 12045 | 10306 |
| 21 | 11070 | 5104  |
| 22 | 6627  | 6906  |
| 23 | 9889  | 2121  |
| 24 | 829   | 9701  |
| 25 | 2201  | 1819  |
| 26 | 6689  | 12925 |
| 27 | 2139  | 8757  |
| 28 | 12004 | 5948  |
| 29 | 8704  | 3191  |
| 30 | 8171  | 10933 |
| 31 | 6297  | 7116  |
| 32 | 616   | 7146  |
| 33 | 5142  | 9761  |
| 34 | 10377 | 8138  |
| 35 | 7616  | 5811  |
| 0  | 7285  | 9863  |
| 1  | 7764  | 10867 |
| 2  | 12343 | 9019  |
| 3  | 4414  | 8331  |
| 4  | 3464  | 642   |
| 5  | 6960  | 2039  |
| 6  | 786   | 3021  |
| 7  | 710   | 2086  |
| 8  | 7423  | 5601  |
| 9  | 8120  | 4885  |
| 10 | 12385 | 11990 |
| 11 | 9739  | 10034 |
| 12 | 424   | 10162 |
| 13 | 1347  | 7597  |

[図91]

図91

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 14 | 1450  | 112   |
| 15 | 7965  | 8478  |
| 16 | 8945  | 7397  |
| 17 | 6590  | 8316  |
| 18 | 6838  | 9011  |
| 19 | 6174  | 9410  |
| 20 | 255   | 113   |
| 21 | 6197  | 5835  |
| 22 | 12902 | 3844  |
| 23 | 4377  | 3505  |
| 24 | 5478  | 8672  |
| 25 | 4453  | 2132  |
| 26 | 9724  | 1380  |
| 27 | 12131 | 11526 |
| 28 | 12323 | 9511  |
| 29 | 8231  | 1752  |
| 30 | 497   | 9022  |
| 31 | 9288  | 3080  |
| 32 | 2481  | 7515  |
| 33 | 2696  | 268   |
| 34 | 4023  | 12341 |
| 35 | 7108  | 5553  |

[図92]

図92

| — r5/6 16K — |      |      |      |     |     |     |      |     |      |                |
|--------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|----------------|
| 3            | 2409 | 499  | 1481 | 908 | 559 | 716 | 1270 | 333 | 2508 | 2264 1702 2805 |
| 4            | 2447 | 1926 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 414  | 1224 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 2114 | 842  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 212  | 573  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 2383 | 2112 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 2286 | 2348 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 545  | 819  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1264 | 143  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 1701 | 2258 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 964  | 166  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 114  | 2413 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2243 | 81   |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 1245 | 1581 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 775  | 169  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 1696 | 1104 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1914 | 2831 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 532  | 1450 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 91   | 974  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 497  | 2228 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2326 | 1579 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 2482 | 256  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 1117 | 1261 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 1257 | 1658 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1478 | 1225 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 2511 | 980  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 2320 | 2675 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 435  | 1278 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 228  | 503  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 0            | 1885 | 2369 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 1            | 57   | 483  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 2            | 838  | 1050 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 3            | 1231 | 1990 |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 4            | 1738 | 68   |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 5            | 2392 | 951  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 6            | 163  | 645  |      |     |     |     |      |     |      |                |
| 7            | 2644 | 1704 |      |     |     |     |      |     |      |                |

$r = \frac{5}{6}$ , N=16200の検査行列初期値テーブル

$$r = \frac{5}{6}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

Pr5/6 64K-

0 4362 416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723  
1 2479 1786 8978 3011 4339 9313 6397 2957 7288 5484 6031 10217  
2 10175 9009 9889 3091 4985 7267 4092 8874 5671 2777 2189 8716  
3 9052 4795 3924 3370 10058 1128 9996 10165 9360 4297 434 5138  
4 2379 7834 4835 2327 9843 804 329 8353 7167 3070 1528 7311  
5 3435 7871 348 3693 1876 6585 10340 7144 5870 2084 4052 2780  
6 3917 3111 3476 1304 10331 5939 5199 1611 1991 699 8316 9960  
7 6883 3237 1717 10752 7891 9764 4745 3888 10009 4176 4614 1567  
8 10587 2195 1689 2968 5420 2580 2883 6496 111 6023 1024 4449  
9 3786 8593 2074 3321 5057 1450 3840 5444 6572 3094 9892 1512  
10 8548 1848 10372 4585 7313 6536 6379 1766 9462 2456 5606 9975  
11 8204 10593 7935 3636 3882 394 5968 8561 2395 7289 9267 9978  
12 7795 74 1633 9542 6867 7352 6417 7568 10623 725 2531 9115  
13 7151 2482 4260 5003 10105 7419 9203 6691 8798 2092 8263 3755  
14 3600 570 4527 200 9718 6771 1995 8902 5446 768 1103 6520  
15 6304 7621  
16 6498 9209  
17 7293 6786  
18 5950 1708  
19 8521 1793  
20 6174 7854  
21 9773 1190  
22 9517 10268  
23 2181 9349  
24 1949 5560  
25 1556 555  
26 8600 3827  
27 5072 1057  
28 7928 3542  
29 3226 3762  
0 7045 2420  
1 9645 2641  
2 2774 2452  
3 5331 2031  
4 9400 7503  
5 1850 2338  
6 10456 9774  
7 1692 9276  
8 10037 4038  
9 3964 338

[図]94]

図94

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 10 | 2640  | 5087  |
| 11 | 858   | 3473  |
| 12 | 5582  | 5683  |
| 13 | 9523  | 916   |
| 14 | 4107  | 1559  |
| 15 | 4506  | 3491  |
| 16 | 8191  | 4182  |
| 17 | 10192 | 6157  |
| 18 | 5668  | 3305  |
| 19 | 3449  | 1540  |
| 20 | 4766  | 2697  |
| 21 | 4069  | 6675  |
| 22 | 1117  | 1016  |
| 23 | 5619  | 3085  |
| 24 | 8483  | 8400  |
| 25 | 8255  | 394   |
| 26 | 6338  | 5042  |
| 27 | 6174  | 5119  |
| 28 | 7203  | 1989  |
| 29 | 1781  | 5174  |
| 0  | 1464  | 3559  |
| 1  | 3376  | 4214  |
| 2  | 7238  | 67    |
| 3  | 10595 | 8831  |
| 4  | 1221  | 6513  |
| 5  | 5300  | 4652  |
| 6  | 1429  | 9749  |
| 7  | 7878  | 5131  |
| 8  | 4435  | 10284 |
| 9  | 6331  | 5507  |
| 10 | 6662  | 4941  |
| 11 | 9614  | 10238 |
| 12 | 8400  | 8025  |
| 13 | 9156  | 5630  |
| 14 | 7067  | 8878  |
| 15 | 9027  | 3415  |
| 16 | 1690  | 3866  |
| 17 | 2854  | 8469  |
| 18 | 6206  | 630   |
| 19 | 363   | 5453  |
| 20 | 4125  | 7008  |

[図95]

図95

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 21 | 1612  | 6702  |
| 22 | 9069  | 9226  |
| 23 | 5767  | 4060  |
| 24 | 3743  | 9237  |
| 25 | 7018  | 5572  |
| 26 | 8892  | 4536  |
| 27 | 853   | 6064  |
| 28 | 8069  | 5893  |
| 29 | 2051  | 2885  |
| 0  | 10691 | 3153  |
| 1  | 3602  | 4055  |
| 2  | 328   | 1717  |
| 3  | 2219  | 9299  |
| 4  | 1939  | 7898  |
| 5  | 617   | 206   |
| 6  | 8544  | 1374  |
| 7  | 10676 | 3240  |
| 8  | 6672  | 9489  |
| 9  | 3170  | 7457  |
| 10 | 7868  | 5731  |
| 11 | 6121  | 10732 |
| 12 | 4843  | 9132  |
| 13 | 580   | 9591  |
| 14 | 6267  | 9290  |
| 15 | 3009  | 2268  |
| 16 | 195   | 2419  |
| 17 | 8016  | 1557  |
| 18 | 1516  | 9195  |
| 19 | 8062  | 9064  |
| 20 | 2095  | 8968  |
| 21 | 753   | 7326  |
| 22 | 6291  | 3833  |
| 23 | 2614  | 7844  |
| 24 | 2303  | 646   |
| 25 | 2075  | 611   |
| 26 | 4687  | 362   |
| 27 | 8684  | 9940  |
| 28 | 4830  | 2065  |
| 29 | 7038  | 1363  |
| 0  | 1769  | 7837  |
| 1  | 3801  | 1689  |

[図96]

図96

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 2  | 10070 | 2359  |
| 3  | 3667  | 9918  |
| 4  | 1914  | 6920  |
| 5  | 4244  | 5669  |
| 6  | 10245 | 7821  |
| 7  | 7648  | 3944  |
| 8  | 3310  | 5488  |
| 9  | 6346  | 9666  |
| 10 | 7088  | 6122  |
| 11 | 1291  | 7827  |
| 12 | 10592 | 8945  |
| 13 | 3609  | 7120  |
| 14 | 9168  | 9112  |
| 15 | 6203  | 8052  |
| 16 | 3330  | 2895  |
| 17 | 4264  | 10563 |
| 18 | 10556 | 6496  |
| 19 | 8807  | 7645  |
| 20 | 1999  | 4530  |
| 21 | 9202  | 6818  |
| 22 | 3403  | 1734  |
| 23 | 2106  | 9023  |
| 24 | 6881  | 3883  |
| 25 | 3895  | 2171  |
| 26 | 4062  | 6424  |
| 27 | 3755  | 9536  |
| 28 | 4683  | 2131  |
| 29 | 7347  | 8027  |



[図97]

図97

$$r = \frac{8}{9}, N = 16200 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

| r8/9 16K |      |      |      |  |
|----------|------|------|------|--|
| 0        | 1558 | 712  | 805  |  |
| 1        | 1450 | 873  | 1337 |  |
| 2        | 1741 | 1129 | 1184 |  |
| 3        | 294  | 806  | 1566 |  |
| 4        | 482  | 605  | 923  |  |
| 0        | 926  | 1578 |      |  |
| 1        | 777  | 1374 |      |  |
| 2        | 608  | 151  |      |  |
| 3        | 1195 | 210  |      |  |
| 4        | 1484 | 692  |      |  |
| 0        | 427  | 488  |      |  |
| 1        | 828  | 1124 |      |  |
| 2        | 874  | 1366 |      |  |
| 3        | 1500 | 835  |      |  |
| 4        | 1496 | 502  |      |  |
| 0        | 1006 | 1701 |      |  |
| 1        | 1155 | 97   |      |  |
| 2        | 657  | 1403 |      |  |
| 3        | 1453 | 624  |      |  |
| 4        | 429  | 1495 |      |  |
| 0        | 809  | 385  |      |  |
| 1        | 367  | 151  |      |  |
| 2        | 1323 | 202  |      |  |
| 3        | 960  | 318  |      |  |
| 4        | 1451 | 1039 |      |  |
| 0        | 1098 | 1722 |      |  |
| 1        | 1015 | 1428 |      |  |
| 2        | 1261 | 1564 |      |  |
| 3        | 544  | 1190 |      |  |
| 4        | 1472 | 1246 |      |  |
| 0        | 508  | 630  |      |  |
| 1        | 421  | 1704 |      |  |
| 2        | 284  | 898  |      |  |
| 3        | 392  | 577  |      |  |
| 4        | 1155 | 556  |      |  |
| 0        | 631  | 1000 |      |  |
| 1        | 732  | 1368 |      |  |
| 2        | 1328 | 329  |      |  |
| 3        | 1515 | 506  |      |  |
| 4        | 1104 | 1172 |      |  |

[図98]

図98

 $r = \frac{8}{9}$ , N=64800の検査行列初期値テーブル

r8/9 64K

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 0  | 6235 | 2848 | 3222 |
| 1  | 5800 | 3492 | 5348 |
| 2  | 2757 | 927  | 90   |
| 3  | 6961 | 4516 | 4739 |
| 4  | 1172 | 3237 | 6264 |
| 5  | 1927 | 2425 | 3683 |
| 6  | 3714 | 6309 | 2495 |
| 7  | 3070 | 6342 | 7154 |
| 8  | 2428 | 613  | 3761 |
| 9  | 2906 | 264  | 5927 |
| 10 | 1716 | 1950 | 4273 |
| 11 | 4613 | 6179 | 3491 |
| 12 | 4865 | 3286 | 6005 |
| 13 | 1343 | 5923 | 3529 |
| 14 | 4589 | 4035 | 2132 |
| 15 | 1579 | 3920 | 6737 |
| 16 | 1644 | 1191 | 5998 |
| 17 | 1482 | 2381 | 4620 |
| 18 | 6791 | 6014 | 6596 |
| 19 | 2738 | 5918 | 3786 |
| 0  | 5156 | 6166 |      |
| 1  | 1504 | 4356 |      |
| 2  | 130  | 1904 |      |
| 3  | 6027 | 3187 |      |
| 4  | 6718 | 759  |      |
| 5  | 6240 | 2870 |      |
| 6  | 2343 | 1311 |      |
| 7  | 1039 | 5465 |      |
| 8  | 6617 | 2513 |      |
| 9  | 1588 | 5222 |      |
| 10 | 6561 | 535  |      |
| 11 | 4765 | 2054 |      |
| 12 | 5966 | 6892 |      |
| 13 | 1969 | 3869 |      |
| 14 | 3571 | 2420 |      |
| 15 | 4632 | 981  |      |
| 16 | 3215 | 4163 |      |
| 17 | 973  | 3117 |      |
| 18 | 3802 | 6198 |      |
| 19 | 3794 | 3948 |      |

[図]99]

[図]99

|    |      |      |
|----|------|------|
| 0  | 3196 | 6126 |
| 1  | 573  | 1909 |
| 2  | 850  | 4034 |
| 3  | 5622 | 1601 |
| 4  | 6005 | 524  |
| 5  | 5251 | 5783 |
| 6  | 172  | 2032 |
| 7  | 1875 | 2475 |
| 8  | 497  | 1291 |
| 9  | 2566 | 3430 |
| 10 | 1249 | 740  |
| 11 | 2944 | 1948 |
| 12 | 6528 | 2899 |
| 13 | 2243 | 3616 |
| 14 | 867  | 3733 |
| 15 | 1374 | 4702 |
| 16 | 4698 | 2285 |
| 17 | 4760 | 3917 |
| 18 | 1859 | 4058 |
| 19 | 6141 | 3527 |
| 0  | 2148 | 5066 |
| 1  | 1306 | 145  |
| 2  | 2319 | 871  |
| 3  | 3463 | 1061 |
| 4  | 5554 | 6647 |
| 5  | 5837 | 339  |
| 6  | 5821 | 4932 |
| 7  | 6356 | 4756 |
| 8  | 3930 | 418  |
| 9  | 211  | 3094 |
| 10 | 1007 | 4928 |
| 11 | 3584 | 1235 |
| 12 | 6982 | 2869 |
| 13 | 1612 | 1013 |
| 14 | 953  | 4964 |
| 15 | 4555 | 4410 |
| 16 | 4925 | 4842 |
| 17 | 5778 | 600  |
| 18 | 6509 | 2417 |
| 19 | 1260 | 4903 |
| 0  | 3369 | 3031 |

[図100]

図100

|    |      |      |
|----|------|------|
| 1  | 3557 | 3224 |
| 2  | 3028 | 583  |
| 3  | 3258 | 440  |
| 4  | 6226 | 6655 |
| 5  | 4895 | 1094 |
| 6  | 1481 | 6847 |
| 7  | 4433 | 1932 |
| 8  | 2107 | 1649 |
| 9  | 2119 | 2065 |
| 10 | 4003 | 6388 |
| 11 | 6720 | 3622 |
| 12 | 3694 | 4521 |
| 13 | 1164 | 7050 |
| 14 | 1965 | 3613 |
| 15 | 4331 | 66   |
| 16 | 2970 | 1796 |
| 17 | 4652 | 3218 |
| 18 | 1762 | 4777 |
| 19 | 5736 | 1399 |
| 0  | 970  | 2572 |
| 1  | 2062 | 6599 |
| 2  | 4597 | 4870 |
| 3  | 1228 | 6913 |
| 4  | 4159 | 1037 |
| 5  | 2916 | 2362 |
| 6  | 395  | 1226 |
| 7  | 6911 | 4548 |
| 8  | 4618 | 2241 |
| 9  | 4120 | 4280 |
| 10 | 5825 | 474  |
| 11 | 2154 | 5558 |
| 12 | 3793 | 5471 |
| 13 | 5707 | 1595 |
| 14 | 1403 | 325  |
| 15 | 6601 | 5183 |
| 16 | 6369 | 4569 |
| 17 | 4846 | 896  |
| 18 | 7092 | 6184 |
| 19 | 6764 | 7127 |
| 0  | 6358 | 1951 |
| 1  | 3117 | 6960 |

[図101]

図101

|    |      |      |
|----|------|------|
| 2  | 2710 | 7062 |
| 3  | 1133 | 3604 |
| 4  | 3694 | 657  |
| 5  | 1355 | 110  |
| 6  | 3329 | 6736 |
| 7  | 2505 | 3407 |
| 8  | 2462 | 4806 |
| 9  | 4216 | 214  |
| 10 | 5348 | 5619 |
| 11 | 6627 | 6243 |
| 12 | 2644 | 5073 |
| 13 | 4212 | 5088 |
| 14 | 3463 | 3889 |
| 15 | 5306 | 478  |
| 16 | 4320 | 6121 |
| 17 | 3961 | 1125 |
| 18 | 5699 | 1195 |
| 19 | 6511 | 792  |
| 0  | 3934 | 2778 |
| 1  | 3238 | 6587 |
| 2  | 1111 | 6596 |
| 3  | 1457 | 6226 |
| 4  | 1446 | 3885 |
| 5  | 3907 | 4043 |
| 6  | 6839 | 2873 |
| 7  | 1733 | 5615 |
| 8  | 5202 | 4269 |
| 9  | 3024 | 4722 |
| 10 | 5445 | 6372 |
| 11 | 370  | 1828 |
| 12 | 4695 | 1600 |
| 13 | 680  | 2074 |
| 14 | 1801 | 6690 |
| 15 | 2669 | 1377 |
| 16 | 2463 | 1681 |
| 17 | 5972 | 5171 |
| 18 | 5728 | 4284 |
| 19 | 1696 | 1459 |

[図102]

図102

$$r = \frac{9}{10}, N = 64800 \text{ の検査行列初期値テーブル}$$

| r9/10 64K |      |      |      |
|-----------|------|------|------|
| 0         | 5611 | 2563 | 2900 |
| 1         | 5220 | 3143 | 4813 |
| 2         | 2481 | 834  | 81   |
| 3         | 6265 | 4064 | 4265 |
| 4         | 1055 | 2914 | 5638 |
| 5         | 1734 | 2182 | 3315 |
| 6         | 3342 | 5678 | 2246 |
| 7         | 2185 | 552  | 3385 |
| 8         | 2615 | 236  | 5334 |
| 9         | 1546 | 1755 | 3846 |
| 10        | 4154 | 5561 | 3142 |
| 11        | 4382 | 2957 | 5400 |
| 12        | 1209 | 5329 | 3179 |
| 13        | 1421 | 3528 | 6063 |
| 14        | 1480 | 1072 | 5398 |
| 15        | 3843 | 1777 | 4369 |
| 16        | 1334 | 2145 | 4163 |
| 17        | 2368 | 5055 | 260  |
| 0         | 6118 | 5405 |      |
| 1         | 2994 | 4370 |      |
| 2         | 3405 | 1669 |      |
| 3         | 4640 | 5550 |      |
| 4         | 1354 | 3921 |      |
| 5         | 117  | 1713 |      |
| 6         | 5425 | 2866 |      |
| 7         | 6047 | 683  |      |
| 8         | 5616 | 2582 |      |
| 9         | 2108 | 1179 |      |
| 10        | 933  | 4921 |      |
| 11        | 5953 | 2261 |      |
| 12        | 1430 | 4699 |      |
| 13        | 5905 | 480  |      |
| 14        | 4289 | 1846 |      |
| 15        | 5374 | 6208 |      |
| 16        | 1775 | 3476 |      |
| 17        | 3216 | 2178 |      |
| 0         | 4165 | 884  |      |
| 1         | 2896 | 3744 |      |
| 2         | 874  | 2801 |      |
| 3         | 3423 | 5579 |      |

[図103]

図103

|    |      |      |
|----|------|------|
| 4  | 3404 | 3552 |
| 5  | 2876 | 5515 |
| 6  | 516  | 1719 |
| 7  | 765  | 3631 |
| 8  | 5059 | 1441 |
| 9  | 5629 | 598  |
| 10 | 5405 | 473  |
| 11 | 4724 | 5210 |
| 12 | 155  | 1832 |
| 13 | 1689 | 2229 |
| 14 | 449  | 1164 |
| 15 | 2308 | 3088 |
| 16 | 1122 | 669  |
| 17 | 2268 | 5758 |
| 0  | 5878 | 2609 |
| 1  | 782  | 3359 |
| 2  | 1231 | 4231 |
| 3  | 4225 | 2052 |
| 4  | 4286 | 3517 |
| 5  | 5531 | 3184 |
| 6  | 1935 | 4560 |
| 7  | 1174 | 131  |
| 8  | 3115 | 956  |
| 9  | 3129 | 1088 |
| 10 | 5238 | 4440 |
| 11 | 5722 | 4280 |
| 12 | 3540 | 375  |
| 13 | 191  | 2782 |
| 14 | 906  | 4432 |
| 15 | 3225 | 1111 |
| 16 | 6296 | 2583 |
| 17 | 1457 | 903  |
| 0  | 855  | 4475 |
| 1  | 4097 | 3970 |
| 2  | 4433 | 4361 |
| 3  | 5198 | 541  |
| 4  | 1146 | 4426 |
| 5  | 3202 | 2902 |
| 6  | 2724 | 525  |
| 7  | 1083 | 4124 |
| 8  | 2326 | 6003 |

[図104]

図104

|    |      |      |
|----|------|------|
| 9  | 5605 | 5990 |
| 10 | 4376 | 1579 |
| 11 | 4407 | 984  |
| 12 | 1332 | 6163 |
| 13 | 5359 | 3975 |
| 14 | 1907 | 1854 |
| 15 | 3601 | 5748 |
| 16 | 6056 | 3266 |
| 17 | 3322 | 4085 |
| 0  | 1768 | 3244 |
| 1  | 2149 | 144  |
| 2  | 1589 | 4291 |
| 3  | 5154 | 1252 |
| 4  | 1855 | 5939 |
| 5  | 4820 | 2706 |
| 6  | 1475 | 3360 |
| 7  | 4266 | 693  |
| 8  | 4156 | 2018 |
| 9  | 2103 | 752  |
| 10 | 3710 | 3853 |
| 11 | 5123 | 931  |
| 12 | 6146 | 3323 |
| 13 | 1939 | 5002 |
| 14 | 5140 | 1437 |
| 15 | 1263 | 293  |
| 16 | 5949 | 4665 |
| 17 | 4548 | 6380 |
| 0  | 3171 | 4690 |
| 1  | 5204 | 2114 |
| 2  | 6384 | 5565 |
| 3  | 5722 | 1757 |
| 4  | 2805 | 6264 |
| 5  | 1202 | 2616 |
| 6  | 1018 | 3244 |
| 7  | 4018 | 5289 |
| 8  | 2257 | 3067 |
| 9  | 2483 | 3073 |
| 10 | 1196 | 5329 |
| 11 | 649  | 3918 |
| 12 | 3791 | 4581 |
| 13 | 5028 | 3803 |



[図105]

図105

|    |      |      |
|----|------|------|
| 14 | 3119 | 3506 |
| 15 | 4779 | 431  |
| 16 | 3888 | 5510 |
| 17 | 4387 | 4084 |
| 0  | 5836 | 1692 |
| 1  | 5126 | 1078 |
| 2  | 5721 | 6165 |
| 3  | 3540 | 2499 |
| 4  | 2225 | 6348 |
| 5  | 1044 | 1484 |
| 6  | 6323 | 4042 |
| 7  | 1313 | 5603 |
| 8  | 1303 | 3496 |
| 9  | 3516 | 3639 |
| 10 | 5161 | 2293 |
| 11 | 4682 | 3845 |
| 12 | 3045 | 643  |
| 13 | 2818 | 2616 |
| 14 | 3267 | 649  |
| 15 | 6236 | 593  |
| 16 | 646  | 2948 |
| 17 | 4213 | 1442 |
| 0  | 5779 | 1596 |
| 1  | 2403 | 1237 |
| 2  | 2217 | 1514 |
| 3  | 5609 | 716  |
| 4  | 5155 | 3858 |
| 5  | 1517 | 1312 |
| 6  | 2554 | 3158 |
| 7  | 5280 | 2643 |
| 8  | 4990 | 1353 |
| 9  | 5648 | 1170 |
| 10 | 1152 | 4366 |
| 11 | 3561 | 5368 |
| 12 | 3581 | 1411 |
| 13 | 5647 | 4661 |
| 14 | 1542 | 5401 |
| 15 | 5078 | 2687 |
| 16 | 316  | 1755 |
| 17 | 3392 | 1991 |

[図106]

図106

r1/4 64K

23606 36098 1140 28859 18148 18510 6226 540 42014 20879 23802 47088  
 16419 24928 16609 17248 7693 24997 42587 16858 34921 21042 37024 20692  
 1874 40094 18704 14474 14004 11519 13106 28826 38669 22363 30255 31105  
 22254 40564 22645 22532 6134 9176 39998 23892 8937 15608 16854 31009  
 8037 40401 13550 19526 41902 28782 13304 32796 24679 27140 45980 10021  
 40540 44498 13911 22435 32701 18405 39929 25521 12497 9851 39223 34823  
 15233 45333 5041 44979 45710 42150 19416 1892 23121 15860 8832 10308  
 10468 44296 3611 1480 37581 32254 13817 6883 32892 40258 46538 11940  
 6705 21634 28150 43757 895 6547 20970 28914 30117 25736 41734 11392  
 22002 5739 27210 27828 34192 37992 10915 6998 3824 42130 4494 35739  
 8515 1191 13642 30950 25943 12673 16726 34261 31828 3340 8747 39225  
 18979 17058 43130 4246 4793 44030 19454 29511 47929 15174 24333 19354  
 16694 8381 29642 46516 32224 26344 9405 18292 12437 27316 35466 41992  
 15642 5871 46489 26723 23396 7257 8974 3156 37420 44823 35423 13541  
 42858 32008 41282 38773 26570 2702 27260 46974 1469 20887 27426 38553  
 22152 24261 8297  
 19347 9978 27802  
 34991 6354 33561  
 29782 30875 29523  
 9278 48512 14349  
 38061 4165 43878  
 8548 33172 34410  
 22535 28811 23950  
 20439 4027 24186  
 38618 8187 30947  
 35538 43880 21459  
 7091 45616 15063  
 5505 9315 21908  
 36046 32914 11836  
 7304 39782 33721  
 16905 29962 12980  
 11171 23709 22460  
 34541 9937 44500  
 14035 47316 8815  
 15057 45482 24461  
 30518 36877 879  
 7583 13364 24332  
 448 27056 4682  
 12083 31378 21670  
 1159 18031 2221  
 17028 38715 9350  
 17343 24530 29574

WO 2009/069580

PCT/JP2008/071312

[図107]

図107

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 46128 | 31039 | 32818 |
| 20373 | 36967 | 18345 |
| 46685 | 20622 | 32806 |

[図108]

図108

r1/3 64K

```

34903 20927 32093 1052 25611 16093 16454 5520 506 37399 18518 21120
11636 14594 22158 14763 15333 6838 22222 37856 14985 31041 18704 32910
17449 1665 35639 16624 12867 12449 10241 11650 25622 34372 19878 26894
29235 19780 36056 20129 20029 5457 8157 35554 21237 7943 13873 14980
9912 7143 35911 12043 17360 37253 25588 11827 29152 21936 24125 40870
40701 36035 39556 12366 19946 29072 16365 35495 22686 11106 8756 34863
19165 15702 13536 40238 4465 40034 40590 37540 17162 1712 20577 14138
31338 19342 9301 39375 3211 1316 33409 28670 12282 6118 29236 35787
11504 30506 19558 5100 24188 24738 30397 33775 9699 6215 3397 37451
34689 23126 7571 1058 12127 27518 23064 11265 14867 30451 28289 2966
11660 15334 16867 15160 38343 3778 4265 39139 17293 26229 42604 13486
31497 1365 14828 7453 26350 41346 28643 23421 8354 16255 11055 24279
15687 12467 13906 5215 41328 23755 20800 6447 7970 2803 33262 39843
5363 22469 38091 28457 36696 34471 23619 2404 24229 41754 1297 18563
3673 39070 14480 30279 37483 7580 29519 30519 39831 20252 18132 20010
34386 7252 27526 12950 6875 43020 31566 39069 18985 15541 40020 16715
1721 37332 39953 17430 32134 29162 10490 12971 28581 29331 6489 35383
736 7022 42349 8783 6767 11871 21675 10325 11548 25978 431 24085
1925 10602 28585 12170 15156 34404 8351 13273 20208 5800 15367 21764
16279 37832 34792 21250 34192 7406 41488 18346 29227 26127 25493 7048
39948 28229 24899
17408 14274 38993
38774 15968 28459
41404 27249 27425
41229 6082 43114
13957 4979 40654
3093 3438 34992
34082 6172 28760
42210 34141 41021
14705 17783 10134
41755 39884 22773
14615 15593 1642
29111 37061 39860
9579 33552 633
12951 21137 39608
38244 27361 29417
2939 10172 36479
29094 5357 19224
9562 24436 28637

```

[図109]

図109

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 40177 | 2326  | 13504 |
| 6834  | 21583 | 42516 |
| 40651 | 42810 | 25709 |
| 31557 | 32138 | 38142 |
| 18624 | 41867 | 39296 |
| 37560 | 14295 | 16245 |
| 6821  | 21679 | 31570 |
| 25339 | 25083 | 22081 |
| 8047  | 697   | 35268 |
| 9884  | 17073 | 19995 |
| 26848 | 35245 | 8390  |
| 18658 | 16134 | 14807 |
| 12201 | 32944 | 5035  |
| 25236 | 1216  | 38986 |
| 42994 | 24782 | 8681  |
| 28321 | 4932  | 34249 |
| 4107  | 29382 | 32124 |
| 22157 | 2624  | 14468 |
| 38788 | 27081 | 7936  |
| 4368  | 26148 | 10578 |
| 25353 | 4122  | 39751 |

[図110]

図110

r2/5 64K

```

31413 18834 28884 947 23050 14484 14809 4968 455 33659 16666 19008
13172 19939 13354 13719 6132 20086 34040 13442 27958 16813 29619 16553
1499 32075 14962 11578 11204 9217 10485 23062 30936 17892 24204 24885
32490 18086 18007 4957 7285 32073 19038 7152 12486 13483 24808 21759
32321 10839 15620 33521 23030 10646 26236 19744 21713 36784 8016 12869
35597 11129 17948 26160 14729 31943 20416 10000 7882 31380 27858 33356
14125 12131 36199 4058 35992 36594 33698 15475 1566 18498 12725 7067
17406 8372 35437 2888 1184 30068 25802 11056 5507 26313 32205 37232
15254 5365 17308 22519 35009 718 5240 16778 23131 24092 20587 33385
27455 17602 4590 21767 22266 27357 30400 8732 5596 3060 33703 3596
6882 873 10997 24738 20770 10067 13379 27409 25463 2673 6998 31378
15181 13645 34501 3393 3840 35227 15562 23615 38342 12139 19471 15483
13350 6707 23709 37204 25778 21082 7511 14588 10010 21854 28375 33591
12514 4695 37190 21379 18723 5802 7182 2529 29936 35860 28338 10835
34283 25610 33026 31017 21259 2165 21807 37578 1175 16710 21939 30841
27292 33730 6836 26476 27539 35784 18245 16394 17939 23094 19216 17432
11655 6183 38708 28408 35157 17089 13998 36029 15052 16617 5638 36464
15693 28923 26245 9432 11675 25720 26405 5838 31851 26898 8090 37037
24418 27583 7959 35562 37771 17784 11382 11156 37855 7073 21685 34515
10977 13633 30969 7516 11943 18199 5231 13825 19589 23661 11150 35602
19124 30774 6670 37344 16510 26317 23518 22957 6348 34069 8845 20175
34985 14441 25668 4116 3019 21049 37308 24551 24727 20104 24850 12114
38187 28527 13108 13985 1425 21477 30807 8613 26241 33368 35913 32477
5903 34390 24641 26556 23007 27305 38247 2621 9122 32806 21554 18685
17287 27292 19033
25796 31795 12152
12184 35088 31226
38263 33386 24892
23114 37995 29796
34336 10551 36245
35407 175 7203
14654 38201 22605
28404 6595 1018
19932 3524 29305
31749 20247 8128
18026 36357 26735
7543 29767 13588
13333 25965 8463
14504 36796 19710
4528 25299 7318
35091 25550 14798

```

[図111]

図111

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| 7824  | 215   | 1248  |
| 30848 | 5362  | 17291 |
| 28932 | 30249 | 27073 |
| 13062 | 2103  | 16206 |
| 7129  | 32062 | 19612 |
| 9512  | 21936 | 38833 |
| 35849 | 33754 | 23450 |
| 18705 | 28656 | 18111 |
| 22749 | 27456 | 32187 |
| 28229 | 31684 | 30160 |
| 15293 | 8483  | 28002 |
| 14880 | 13334 | 12584 |
| 28646 | 2558  | 19687 |
| 6259  | 4499  | 26336 |
| 11952 | 28386 | 8405  |
| 10609 | 961   | 7582  |
| 10423 | 13191 | 26818 |
| 15922 | 36654 | 21450 |
| 10492 | 1532  | 1205  |
| 30551 | 36482 | 22153 |
| 5156  | 11330 | 34243 |
| 28616 | 35369 | 13322 |
| 8962  | 1485  | 21186 |
| 23541 | 17445 | 35561 |
| 33133 | 11593 | 19895 |
| 33917 | 7863  | 33651 |
| 20063 | 28331 | 10702 |
| 13195 | 21107 | 21859 |
| 4364  | 31137 | 4804  |
| 5585  | 2037  | 4830  |
| 30672 | 16927 | 14800 |

[図112]

図112

r1/2 64K

```

54 9318 14392 27561 26909 10219 2534 8597
55 7263 4635 2530 28130 3033 23830 3651
56 24731 23583 26036 17299 5750 792 9169
57 5811 26154 18653 11551 15447 13685 16264
58 12610 11347 28768 2792 3174 29371 12997
59 16789 16018 21449 6165 21202 15850 3186
60 31016 21449 17618 6213 12166 8334 18212
61 22836 14213 11327 5896 718 11727 9308
62 2091 24941 29966 23634 9013 15587 5444
63 22207 3983 16904 28534 21415 27524 25912
64 25687 4501 22193 14665 14798 16158 5491
65 4520 17094 23397 4264 22370 16941 21526
66 10490 6182 32370 9597 30841 25954 2762
67 22120 22865 29870 15147 13668 14955 19235
68 6689 18408 18346 9918 25746 5443 20645
69 29982 12529 13858 4746 30370 10023 24828
70 1262 28032 29888 13063 24033 21951 7863
71 6594 29642 31451 14831 9509 9335 31552
72 1358 6454 16633 20354 24598 624 5265
73 19529 295 18011 3080 13364 8032 15323
74 11981 1510 7960 21462 9129 11370 25741
75 9276 29656 4543 30699 20646 21921 28050
76 15975 25634 5520 31119 13715 21949 19605
77 18688 4608 31755 30165 13103 10706 29224
78 21514 23117 12245 26035 31656 25631 30699
79 9674 24966 31285 29908 17042 24588 31857
80 21856 27777 29919 27000 14897 11409 7122
81 29773 23310 263 4877 28622 20545 22092
82 15605 5651 21864 3967 14419 22757 15896
83 30145 1759 10139 29223 26086 10556 5098
84 18815 16575 2936 24457 26738 6030 505
85 30326 22298 27562 20131 26390 6247 24791
86 928 29246 21246 12400 15311 32309 18608
87 20314 6025 26689 16302 2296 3244 19613
88 6237 11943 22851 15642 23857 15112 20947
89 26403 25168 19038 18384 8882 12719 7093
0 14567 24965
1 3908 100
2 10279 240

```



[図113]

図113

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 3  | 24102 | 764   |
| 4  | 12383 | 4173  |
| 5  | 13861 | 15918 |
| 6  | 21327 | 1046  |
| 7  | 5288  | 14579 |
| 8  | 28158 | 8069  |
| 9  | 16583 | 11098 |
| 10 | 16681 | 28363 |
| 11 | 13980 | 24725 |
| 12 | 32169 | 17989 |
| 13 | 10907 | 2767  |
| 14 | 21557 | 3818  |
| 15 | 26676 | 12422 |
| 16 | 7676  | 8754  |
| 17 | 14905 | 20232 |
| 18 | 15719 | 24646 |
| 19 | 31942 | 8589  |
| 20 | 19978 | 27197 |
| 21 | 27060 | 15071 |
| 22 | 6071  | 26649 |
| 23 | 10393 | 11176 |
| 24 | 9597  | 13370 |
| 25 | 7081  | 17677 |
| 26 | 1433  | 19513 |
| 27 | 26925 | 9014  |
| 28 | 19202 | 8900  |
| 29 | 18152 | 30647 |
| 30 | 20803 | 1737  |
| 31 | 11804 | 25221 |
| 32 | 31683 | 17783 |
| 33 | 29694 | 9345  |
| 34 | 12280 | 26611 |
| 35 | 6526  | 26122 |
| 36 | 26165 | 11241 |
| 37 | 7666  | 26962 |
| 38 | 16290 | 8480  |
| 39 | 11774 | 10120 |
| 40 | 30051 | 30426 |
| 41 | 1335  | 15424 |
| 42 | 6865  | 17742 |
| 43 | 31779 | 12489 |
| 44 | 32120 | 21001 |
| 45 | 14508 | 6996  |

[図114]

図114

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 46 | 979   | 25024 |
| 47 | 4554  | 21896 |
| 48 | 7989  | 21777 |
| 49 | 4972  | 20661 |
| 50 | 6612  | 2730  |
| 51 | 12742 | 4418  |
| 52 | 29194 | 595   |
| 53 | 19267 | 20113 |

[図115]

図115

r3/5 64K

```

22422 10282 11626 19997 11161 2922 3122 99 5625 17064 8270 179
25087 16218 17015 828 20041 25656 4186 11629 22599 17305 22515 6463
11049 22853 25706 14388 5500 19245 8732 2177 13555 11346 17265 3069
16581 22225 12563 19717 23577 11555 25496 6853 25403 5218 15925 21766
16529 14487 7643 10715 17442 11119 5679 14155 24213 21000 1116 15620
5340 8636 16693 1434 5635 6516 9482 20189 1066 15013 25361 14243
18506 22236 20912 8952 5421 15691 6126 21595 500 6904 13059 6802
8433 4694 5524 14216 3685 19721 25420 9937 23813 9047 25651 16826
21500 24814 6344 17382 7064 13929 4004 16552 12818 8720 5286 2206
22517 2429 19065 2921 21611 1873 7507 5661 23006 23128 20543 19777
1770 4636 20900 14931 9247 12340 11008 12966 4471 2731 16445 791
6635 14556 18865 22421 22124 12697 9803 25485 7744 18254 11313 9004
19982 23963 18912 7206 12500 4382 20067 6177 21007 1195 23547 24837
756 11158 14646 20534 3647 17728 11676 11843 12937 4402 8261 22944
9306 24009 10012 11081 3746 24325 8060 19826 842 8836 2898 5019
7575 7455 25244 4736 14400 22981 5543 8006 24203 13053 1120 5128
3482 9270 13059 15825 7453 23747 3656 24585 16542 17507 22462 14670
15627 15290 4198 22748 5842 13395 23918 16985 14929 3726 25350 24157
24896 16365 16423 13461 16615 8107 24741 3604 25904 8716 9604 20365
3729 17245 18448 9862 20831 25326 20517 24618 13282 5099 14183 8804
16455 17646 15376 18194 25528 1777 6066 21855 14372 12517 4488 17490
1400 8135 23375 20879 8476 4084 12936 25536 22309 16582 6402 24360
25119 23586 128 4761 10443 22536 8607 9752 25446 15053 1856 4040
377 21160 13474 5451 17170 5938 10256 11972 24210 17833 22047 16108
13075 9648 24546 13150 23867 7309 19798 2988 16858 4825 23950 15125
20526 3553 11525 23366 2452 17626 19265 20172 18060 24593 13255 1552
18839 21132 20119 15214 14705 7096 10174 5663 18651 19700 12524 14033
4127 2971 17499 16287 22368 21463 7943 18880 5567 8047 23363 6797
10651 24471 14325 4081 7258 4949 7044 1078 797 22910 20474 4318
21374 13231 22985 5056 3821 23718 14178 9978 19030 23594 8895 25358
6199 22056 7749 13310 3999 23697 16445 22636 5225 22437 24153 9442
7978 12177 2893 20778 3175 8645 11863 24623 10311 25767 17057 3691
20473 11294 9914 22815 2574 8439 3699 5431 24840 21908 16088 18244
8208 5755 19059 8541 24924 6454 11234 10492 16406 10831 11436 9649
16264 11275 24953 2347 12667 19190 7257 7174 24819 2938 2522 11749
3627 5969 13862 1538 23176 6353 2855 17720 2472 7428 573 15036
0 18539 18661
1 10502 3002
2 9368 10761

```

[図116]

図116

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 3  | 12299 | 7828  |
| 4  | 15048 | 13362 |
| 5  | 18444 | 24640 |
| 6  | 20775 | 19175 |
| 7  | 18970 | 10971 |
| 8  | 5329  | 19982 |
| 9  | 11296 | 18655 |
| 10 | 15046 | 20659 |
| 11 | 7300  | 22140 |
| 12 | 22029 | 14477 |
| 13 | 11129 | 742   |
| 14 | 13254 | 13813 |
| 15 | 19234 | 13273 |
| 16 | 6079  | 21122 |
| 17 | 22782 | 5828  |
| 18 | 19775 | 4247  |
| 19 | 1660  | 19413 |
| 20 | 4403  | 3649  |
| 21 | 13371 | 25851 |
| 22 | 22770 | 21784 |
| 23 | 10757 | 14131 |
| 24 | 16071 | 21617 |
| 25 | 6393  | 3725  |
| 26 | 597   | 19968 |
| 27 | 5743  | 8084  |
| 28 | 6770  | 9548  |
| 29 | 4285  | 17542 |
| 30 | 13568 | 22599 |
| 31 | 1786  | 4617  |
| 32 | 23238 | 11648 |
| 33 | 19627 | 2030  |
| 34 | 13601 | 13458 |
| 35 | 13740 | 17328 |
| 36 | 25012 | 13944 |
| 37 | 22513 | 6687  |
| 38 | 4934  | 12587 |
| 39 | 21197 | 5133  |
| 40 | 22705 | 6938  |
| 41 | 7534  | 24633 |
| 42 | 24400 | 12797 |
| 43 | 21911 | 25712 |
| 44 | 12039 | 1140  |
| 45 | 24306 | 1021  |

図117

图 118

```
-r1/4 16K-----
6295 9626 304 7695 4839 4936 1660 144 11203 5567 6347 12557
10691 4988 3859 3734 3071 3494 7687 10313 5964 8069 8296 11090
10774 3613 5208 11177 7676 3549 8746 6583 7239 12265 2674 4292
11869 3708 5981 8718 4908 10650 6805 3334 2627 10461 9285 11120
7844 3079 10773
3385 10854 5747
1360 12010 12202
6189 4241 2343
9840 12726 4977
```

[図119]

図119

r1/3 16K

416 8909 4156 3216 3112 2560 2912 6405 8593 4969 6723 6912  
 8978 3011 4339 9312 6396 2957 7288 5485 6031 10218 2226 3575  
 3383 10059 1114 10008 10147 9384 4290 434 5139 3536 1965 2291  
 2797 3693 7615 7077 743 1941 8716 6215 3840 5140 4582 5420  
 6110 8551 1515 7404 4879 4946 5383 1831 3441 9569 10472 4306  
 1505 5682 7778  
 7172 6830 6623  
 7281 3941 3505  
 10270 8669 914  
 3622 7563 9388  
 9930 5058 4554  
 4844 9609 2707  
 6883 3237 1714  
 4768 3878 10017  
 10127 3334 8267

[図120]

図120

r2/5 16K

5650 4143 8750 583 6720 8071 635 1767 1344 6922 738 6658  
 5696 1685 3207 415 7019 5023 5608 2605 857 6915 1770 8016  
 3992 771 2190 7258 8970 7792 1802 1866 6137 8841 886 1931  
 4108 3781 7577 6810 9322 8226 5396 5867 4428 8827 7766 2254  
 4247 888 4367 8821 9660 324 5864 4774 227 7889 6405 8963  
 9693 500 2520 2227 1811 9330 1928 5140 4030 4824 806 3134  
 1652 8171 1435  
 3366 6543 3745  
 9286 8509 4645  
 7397 5790 8972  
 6597 4422 1799  
 9276 4041 3847  
 8683 7378 4946  
 5348 1993 9186  
 6724 9015 5646  
 4502 4439 8474  
 5107 7342 9442  
 1387 8910 2660

[図121]

図121

r1/2 16K

|    |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 20 | 712  | 2386 | 6354 | 4061 | 1062 | 5045 | 5158 |
| 21 | 2543 | 5748 | 4822 | 2348 | 3089 | 6328 | 5876 |
| 22 | 926  | 5701 | 269  | 3693 | 2438 | 3190 | 3507 |
| 23 | 2802 | 4520 | 3577 | 5324 | 1091 | 4667 | 4449 |
| 24 | 5140 | 2003 | 1263 | 4742 | 6497 | 1185 | 6202 |
| 0  | 4046 | 6934 |      |      |      |      |      |
| 1  | 2855 | 66   |      |      |      |      |      |
| 2  | 6694 | 212  |      |      |      |      |      |
| 3  | 3439 | 1158 |      |      |      |      |      |
| 4  | 3850 | 4422 |      |      |      |      |      |
| 5  | 5924 | 290  |      |      |      |      |      |
| 6  | 1467 | 4049 |      |      |      |      |      |
| 7  | 7820 | 2242 |      |      |      |      |      |
| 8  | 4606 | 3080 |      |      |      |      |      |
| 9  | 4633 | 7877 |      |      |      |      |      |
| 10 | 3884 | 6868 |      |      |      |      |      |
| 11 | 8935 | 4996 |      |      |      |      |      |
| 12 | 3028 | 764  |      |      |      |      |      |
| 13 | 5988 | 1057 |      |      |      |      |      |
| 14 | 7411 | 3450 |      |      |      |      |      |

图 122

2765 5713 6426 3596 1374 4811 2182 544 3394 2840 4310 771  
4951 211 2208 723 1246 2928 398 5739 265 5601 5993 2615  
210 4730 5777 3096 4282 6238 4939 1119 6463 5298 6320 4016  
4167 2063 4757 3157 5664 3956 6045 563 4284 2441 3412 6334  
4201 2428 4474 59 1721 736 2997 428 3807 1513 4732 6195  
2670 3081 5139 3736 1999 5889 4362 3806 4534 5409 6384 5809  
5516 1622 2906 3285 1257 5797 3816 817 875 2311 3543 1205  
4244 2184 5415 1705 5642 4886 2333 287 1848 1121 3595 6022  
2142 2830 4069 5654 1295 2951 3919 1356 884 1786 396 4738  
0 2161 2653  
1 1380 1461  
2 2502 3707  
3 3971 1057  
4 5985 6062  
5 1733 6028  
6 3786 1936  
7 4292 956  
8 5692 3417  
9 266 4878  
10 4913 3247  
11 4763 3937  
12 3590 2903  
13 2566 4215  
14 5208 4707  
15 3940 3388  
16 5109 4556  
17 4908 4177



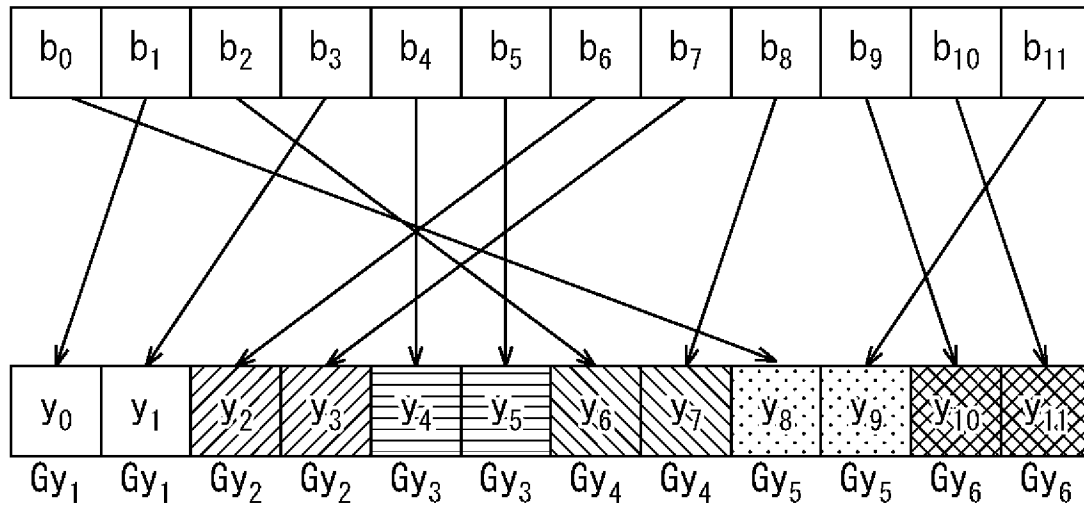
图 123

71 1478 1901 2240 2649 2725 3592 3708 3965 4080 5733 6198  
393 1384 1435 1878 2773 3182 3586 5465 6091 6110 6114 6327  
160 1149 1281 1526 1566 2129 2929 3095 3223 4250 4276 4612  
289 1446 1602 2421 3559 3796 5590 5750 5763 6168 6271 6340  
947 1227 2008 2020 2266 3365 3588 3867 4172 4250 4865 6290  
3324 3704 4447  
1206 2565 3089  
529 4027 5891  
141 1187 3206  
1990 2972 5120  
752 796 5976  
1129 2377 4030  
6077 6108 6231  
61 1053 1781  
2820 4109 5307  
2088 5834 5988  
3725 3945 4010  
1081 2780 3389  
659 2221 4822  
3033 6060 6160  
756 1489 2350  
3350 3624 5470  
357 1825 5242  
585 3372 6062  
561 1417 2348  
971 3719 5567  
1005 1675 2062

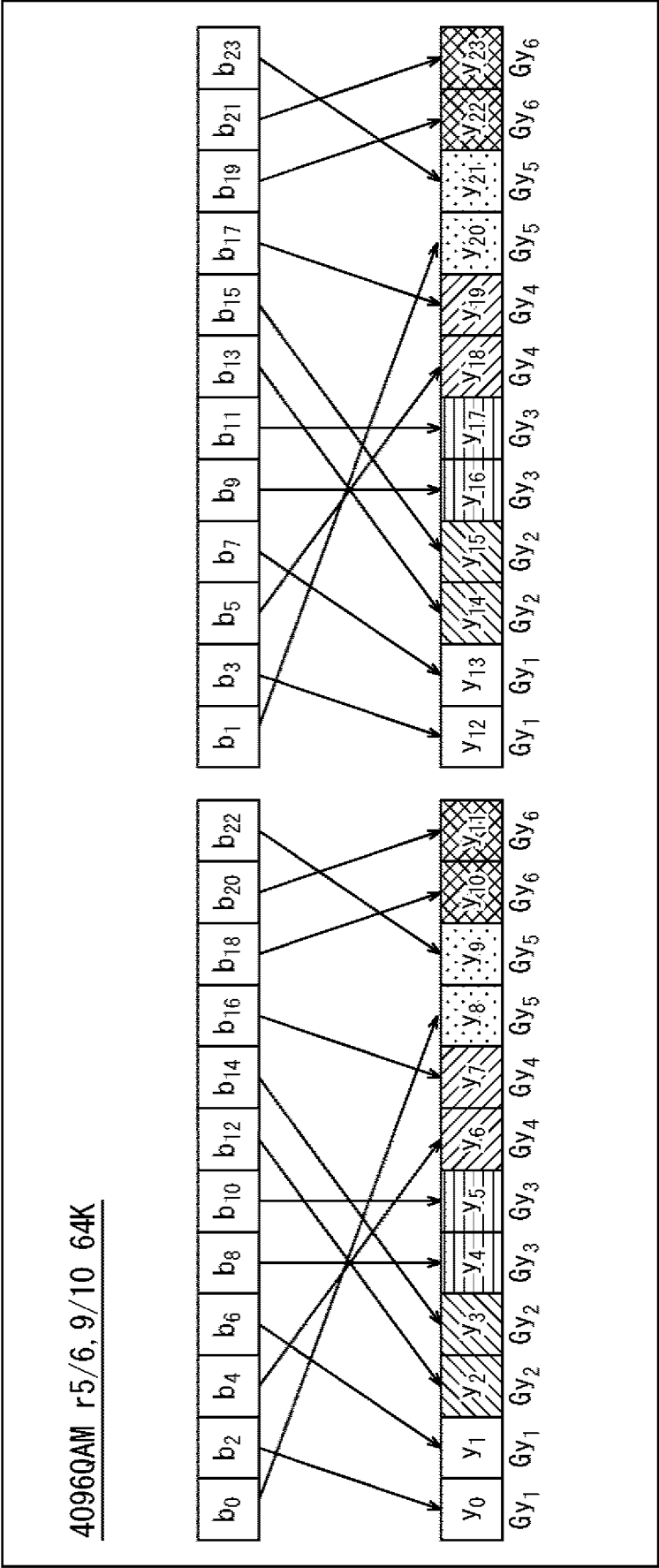


[図125]

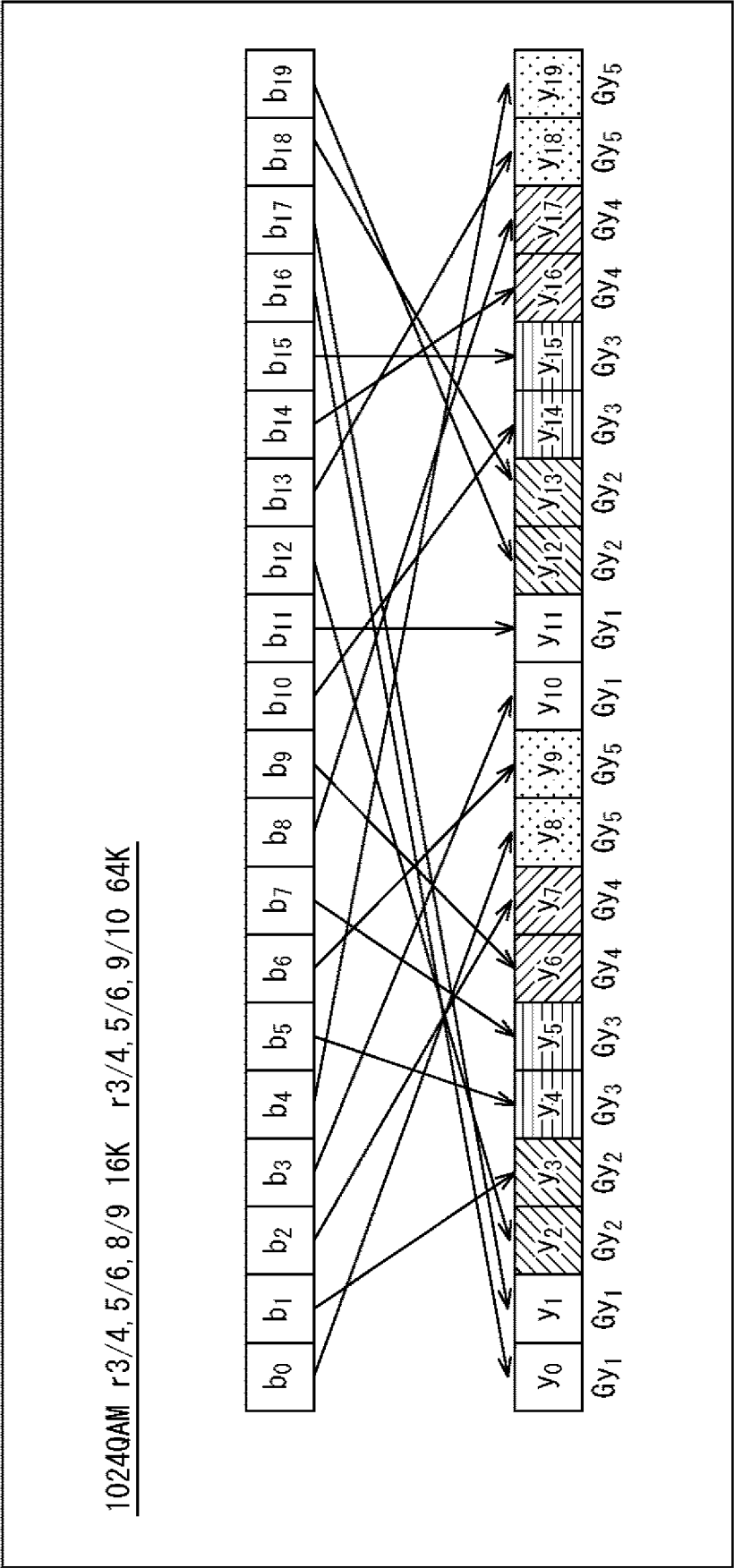
図125

4096QAM r5/6, 9/10 64K

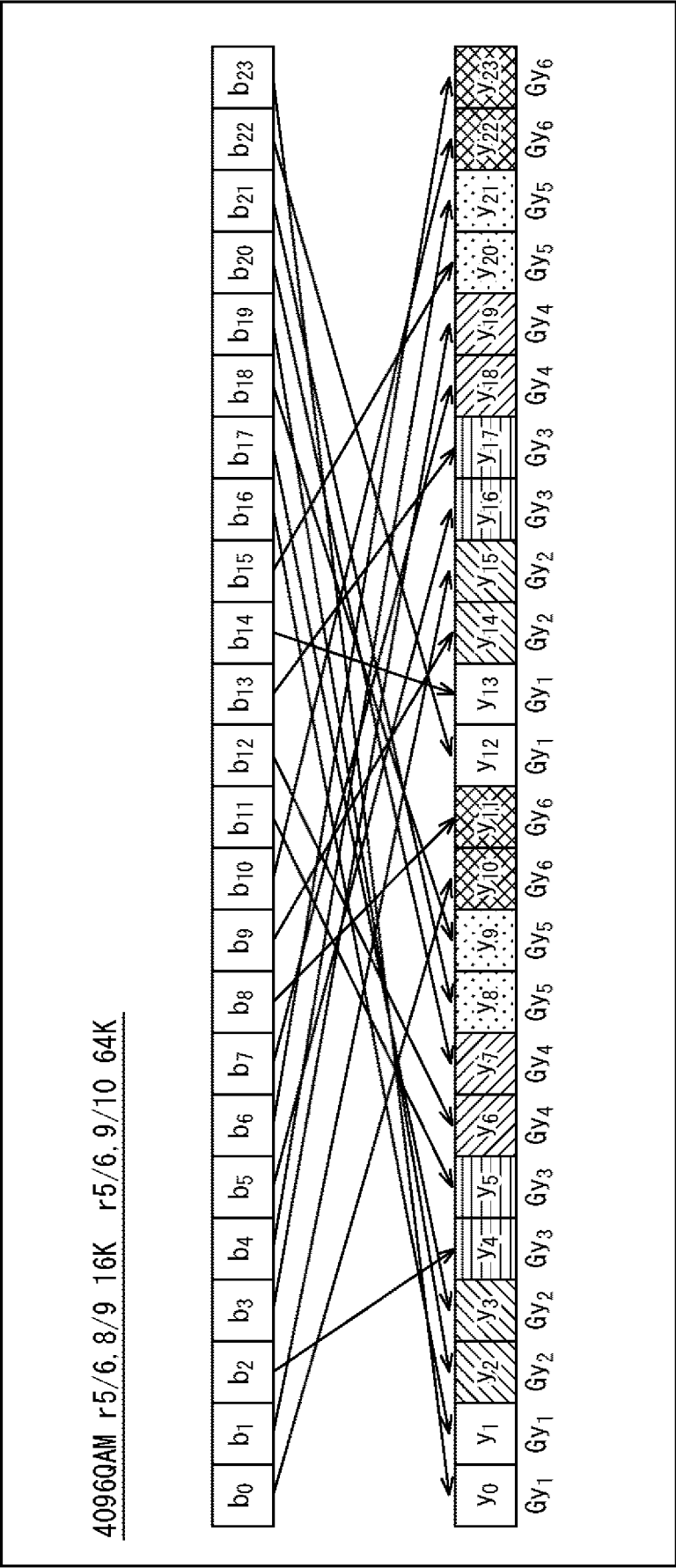
[図126]  
図126



[図127]  
図127

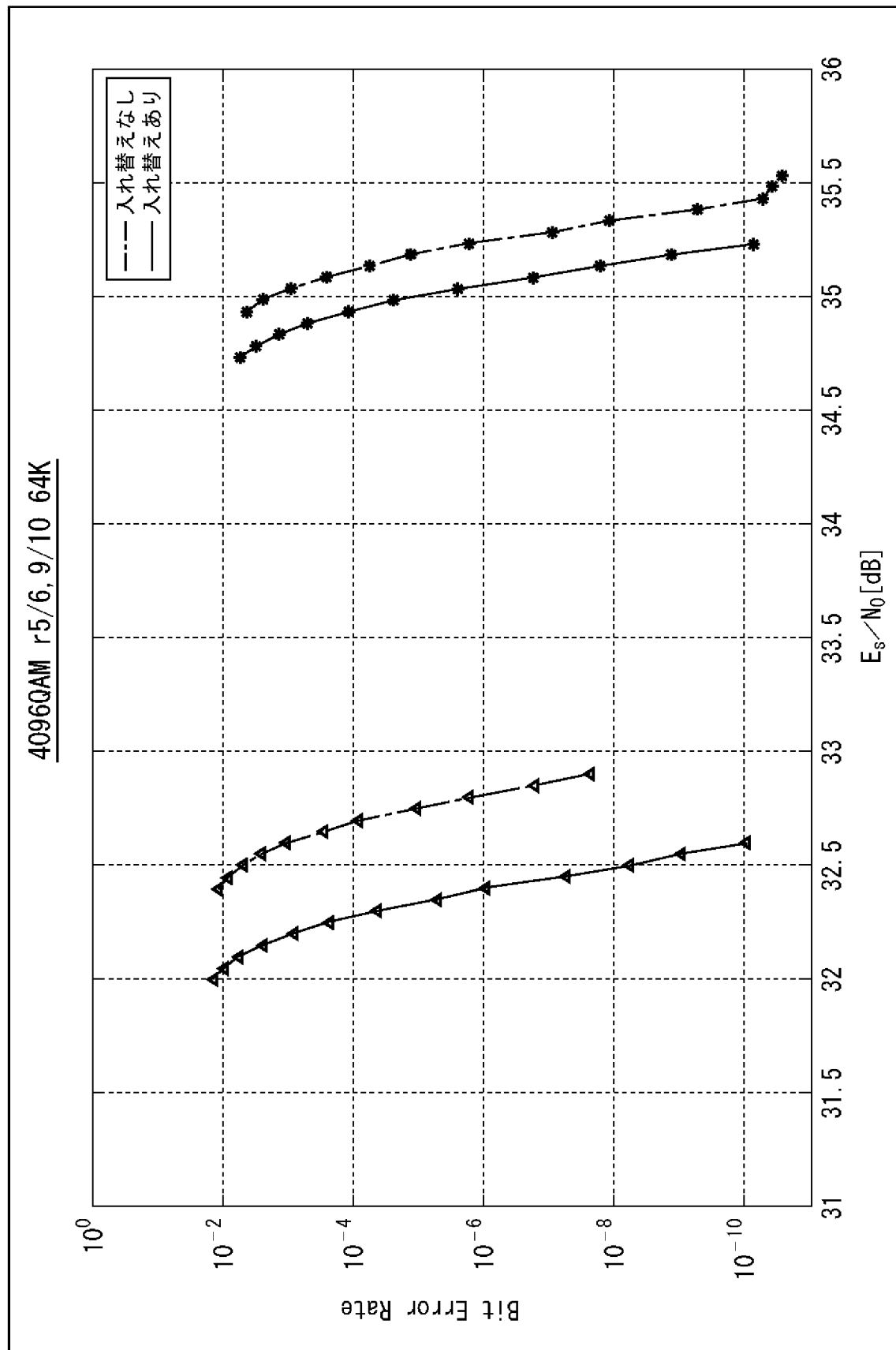


[図128]  
図128



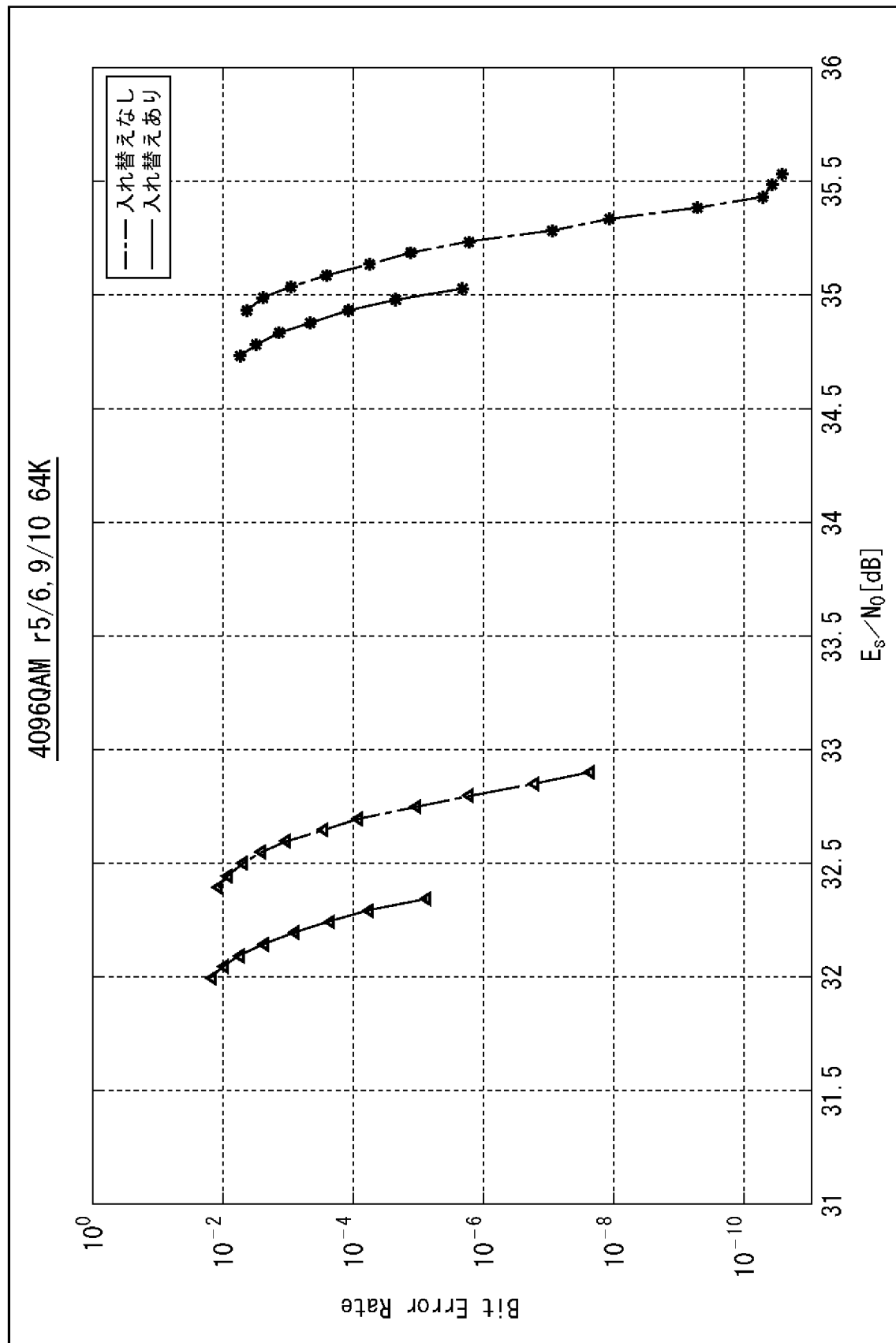
[図129]

図129



[図130]

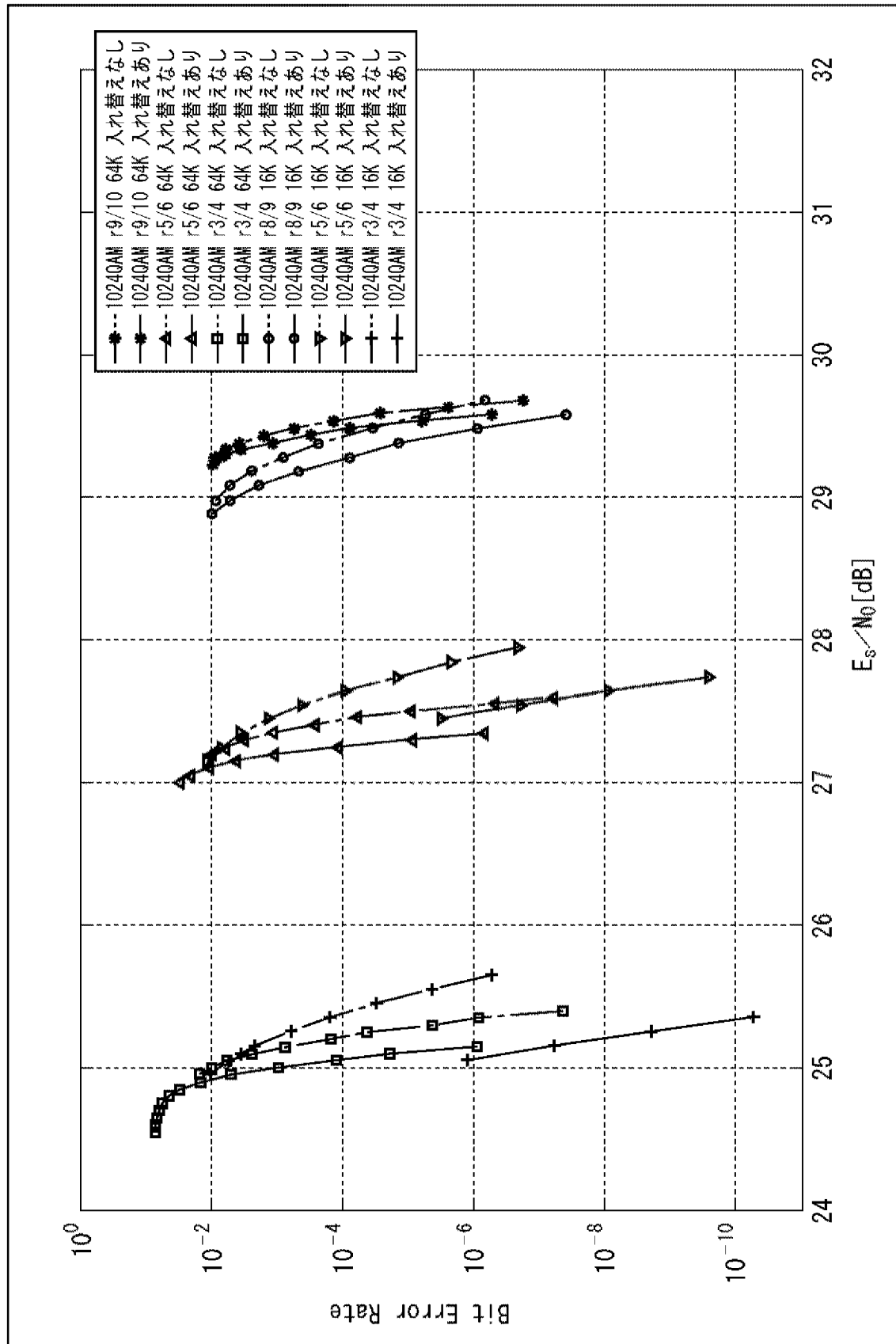
図130





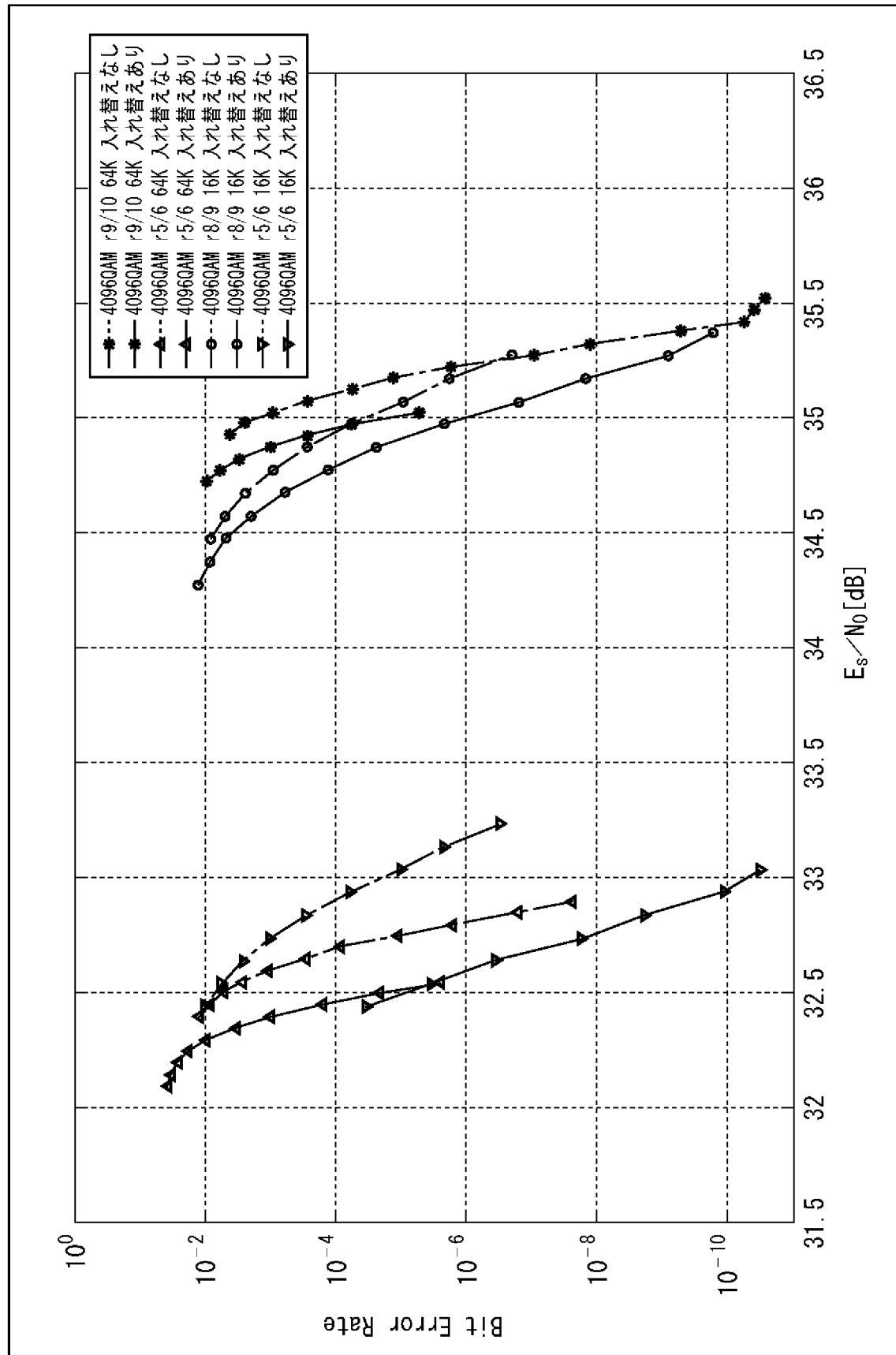
[図131]

図131



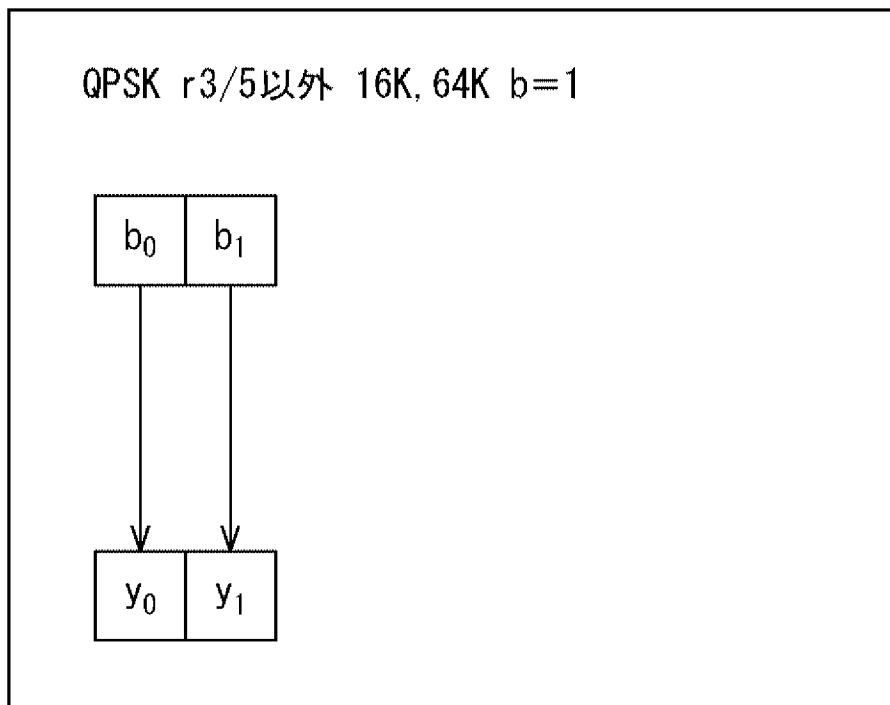
[図132]

図132



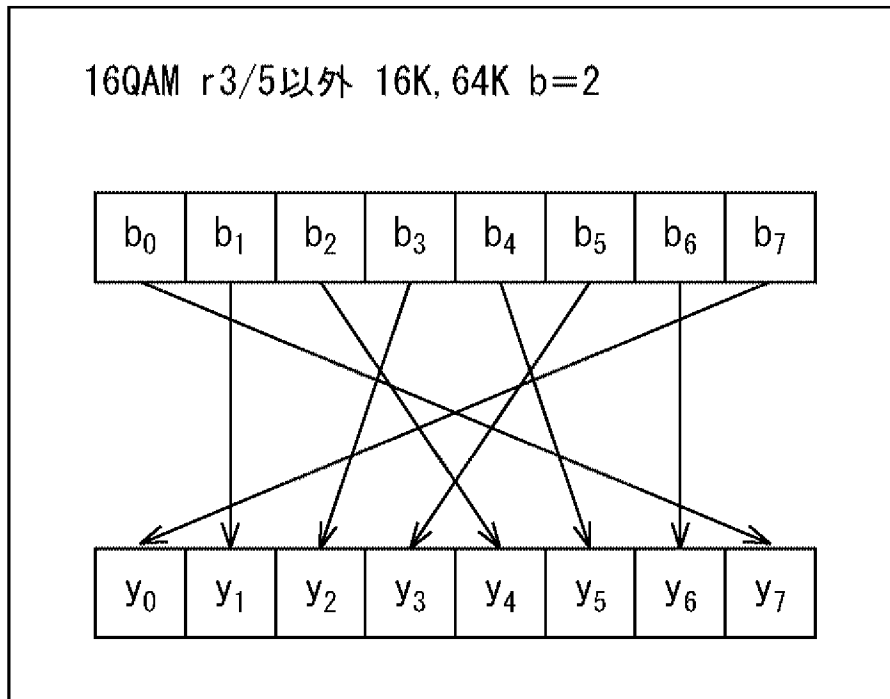
[図133]

図133

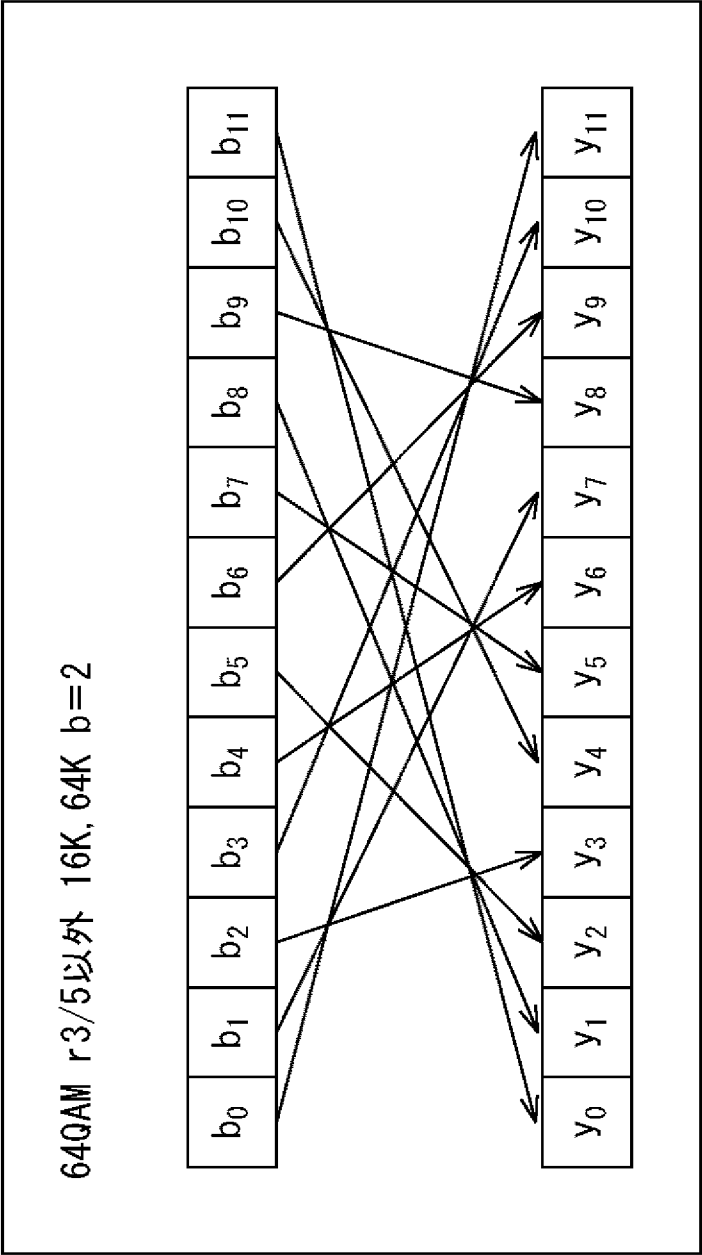


[図134]

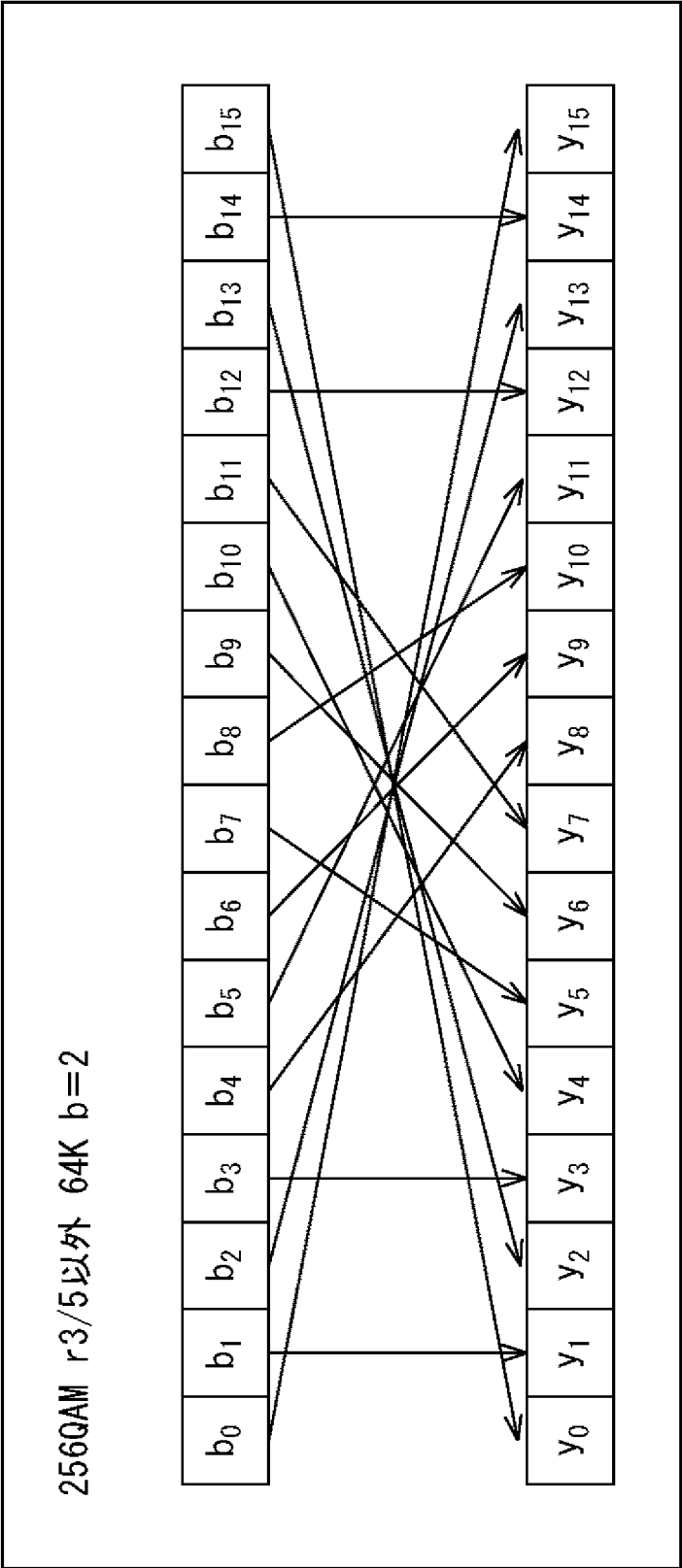
図134



[図135]  
図135

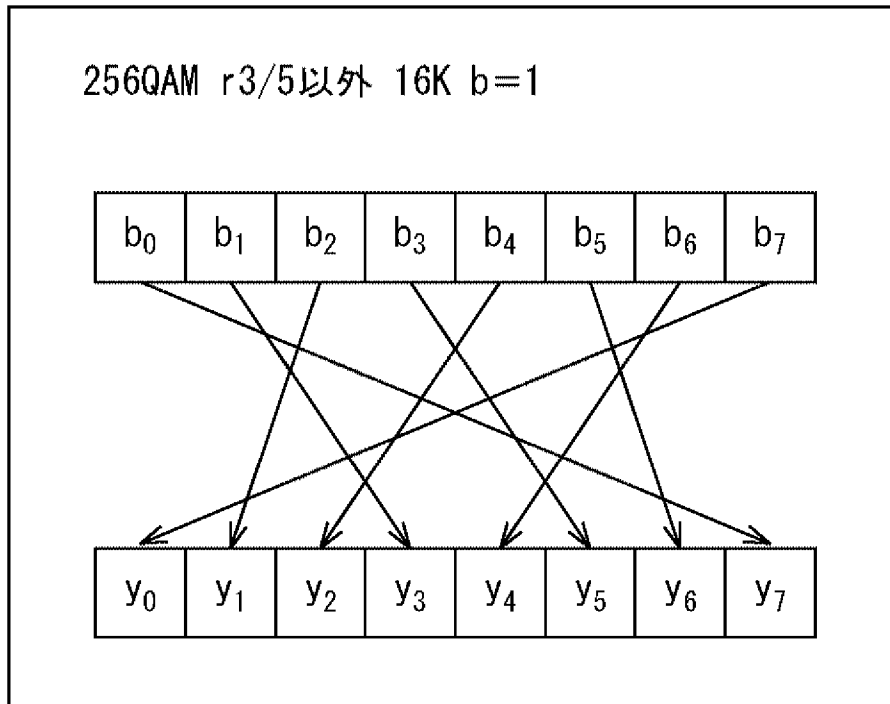


[図136]  
図136



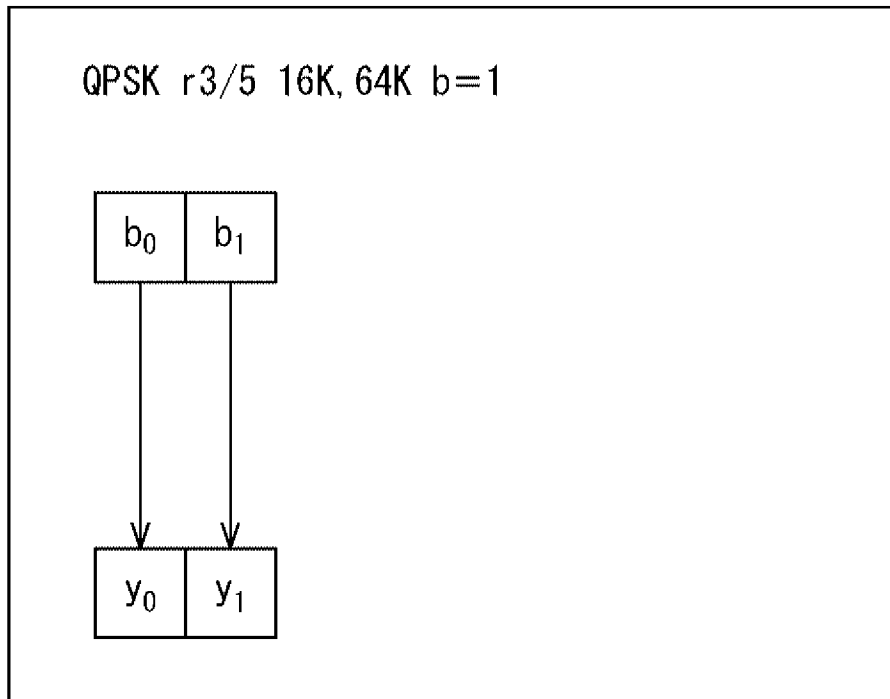
[図137]

図137



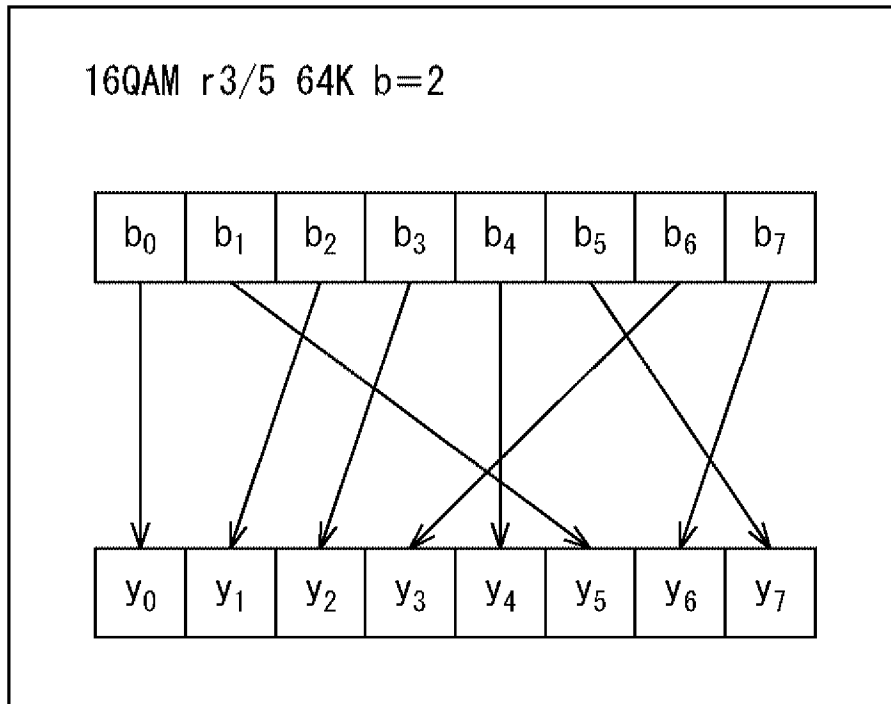
[図138]

図138



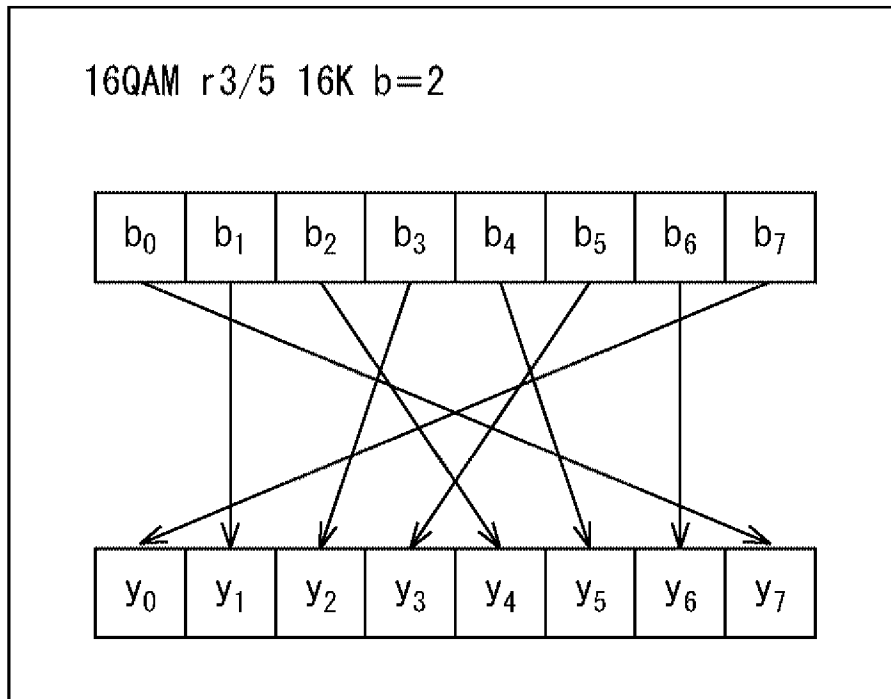
[図139]

図139

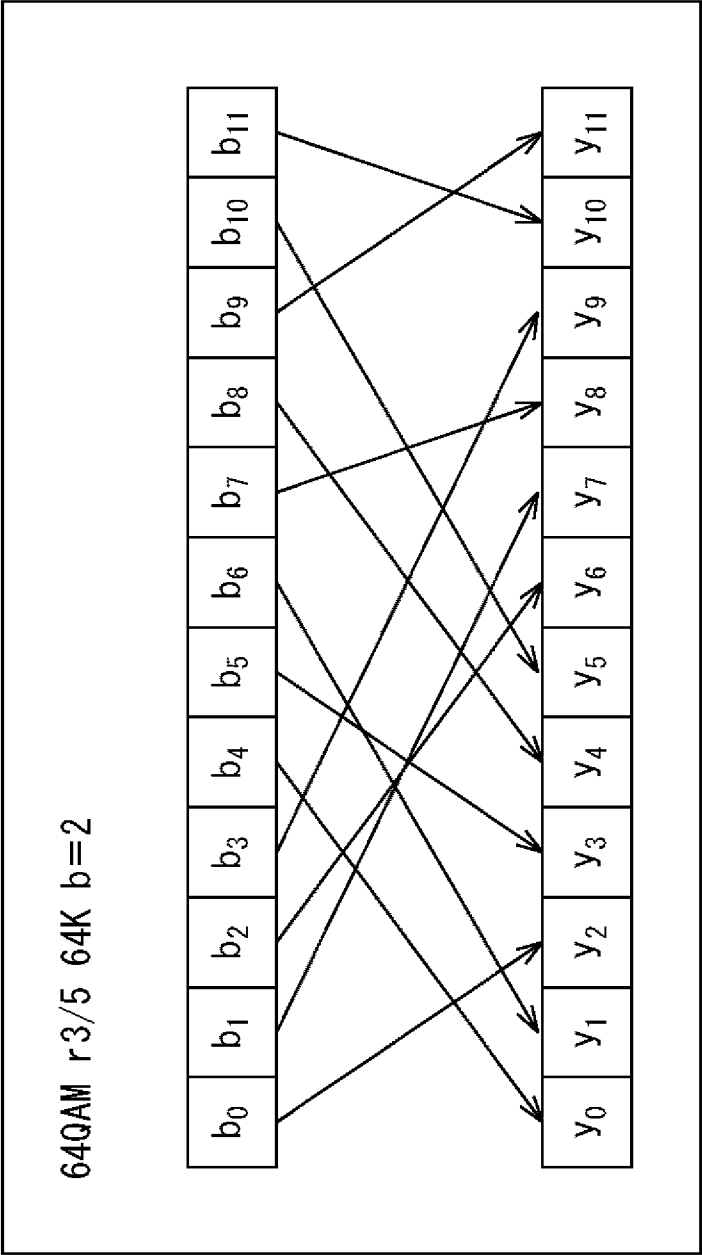


[図140]

図140

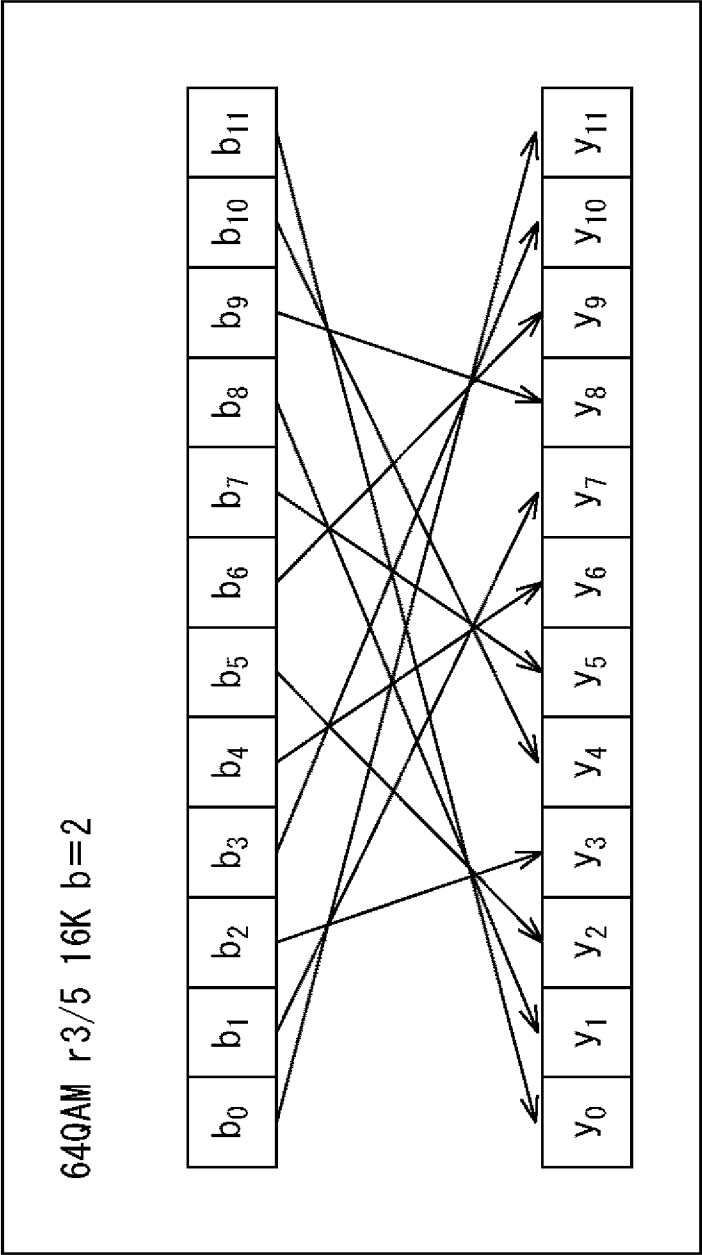


[図141]  
図141

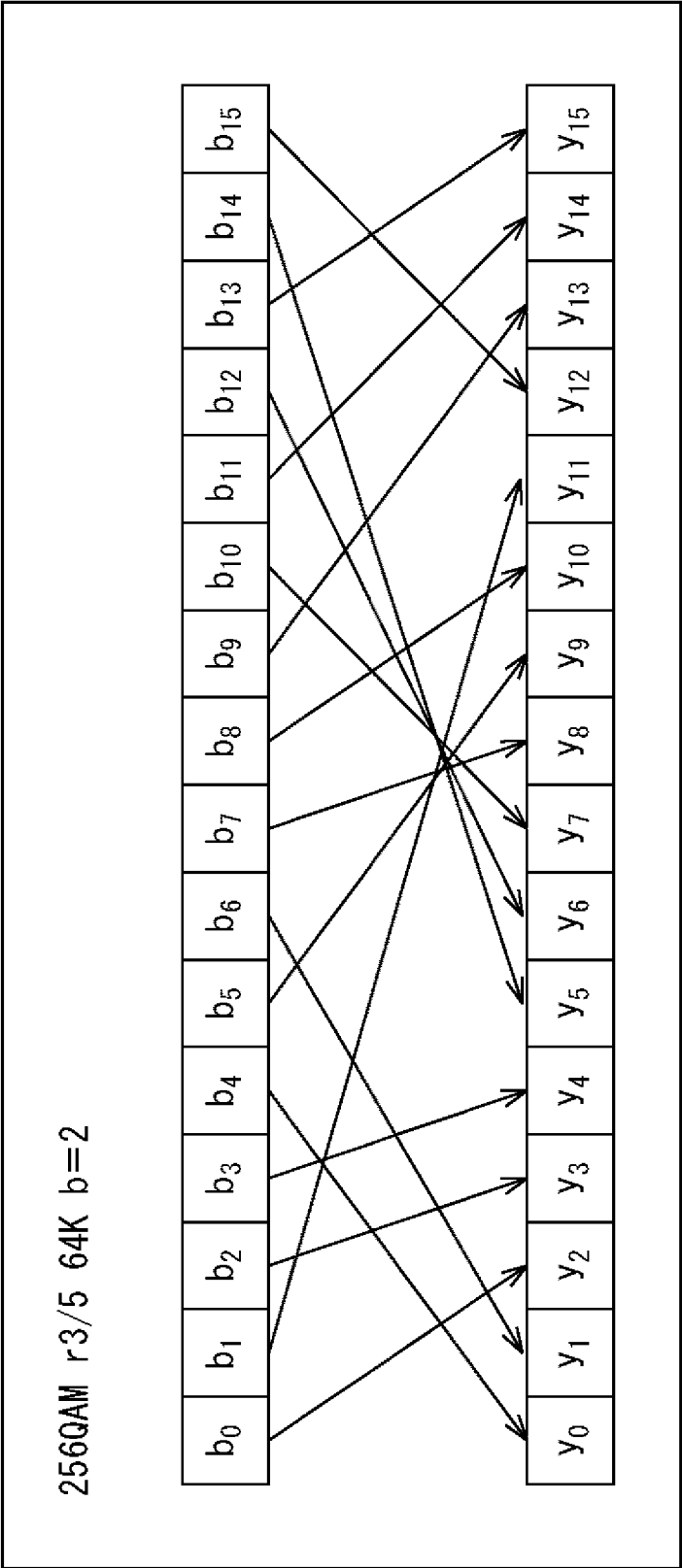




[図142]  
図142

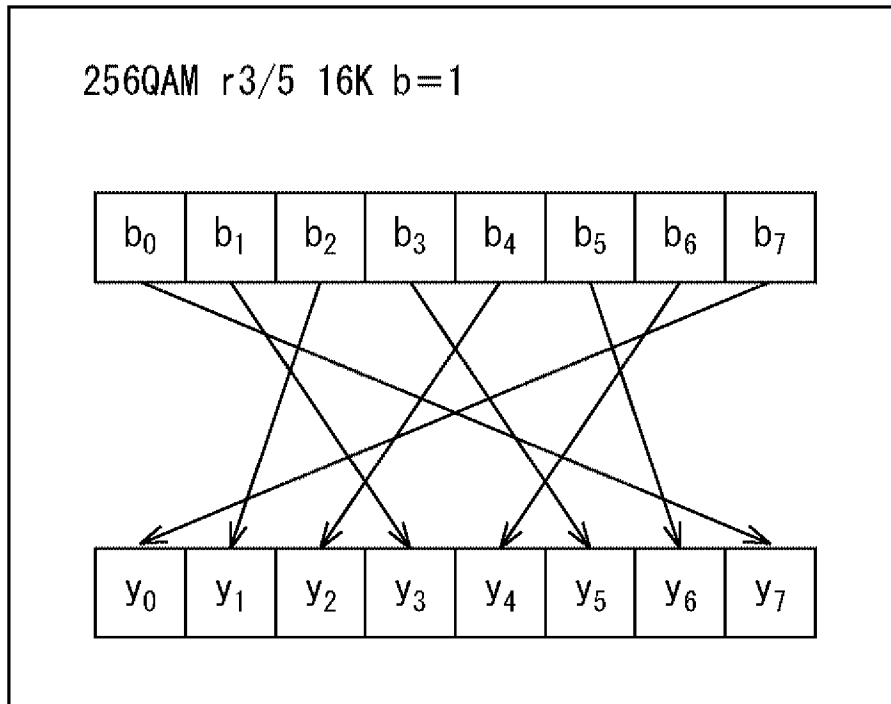


[図143]  
図143



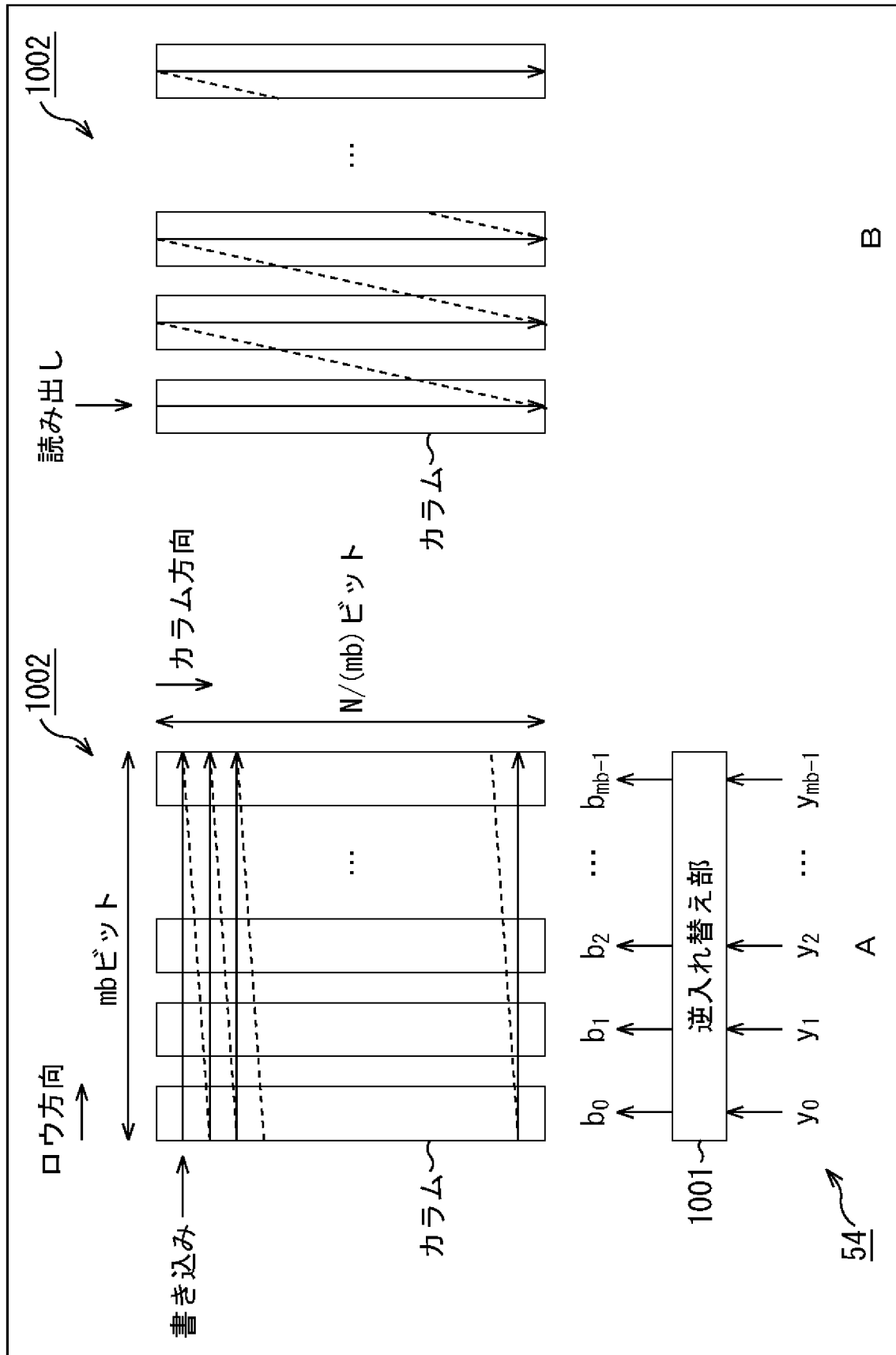
[図144]

図144



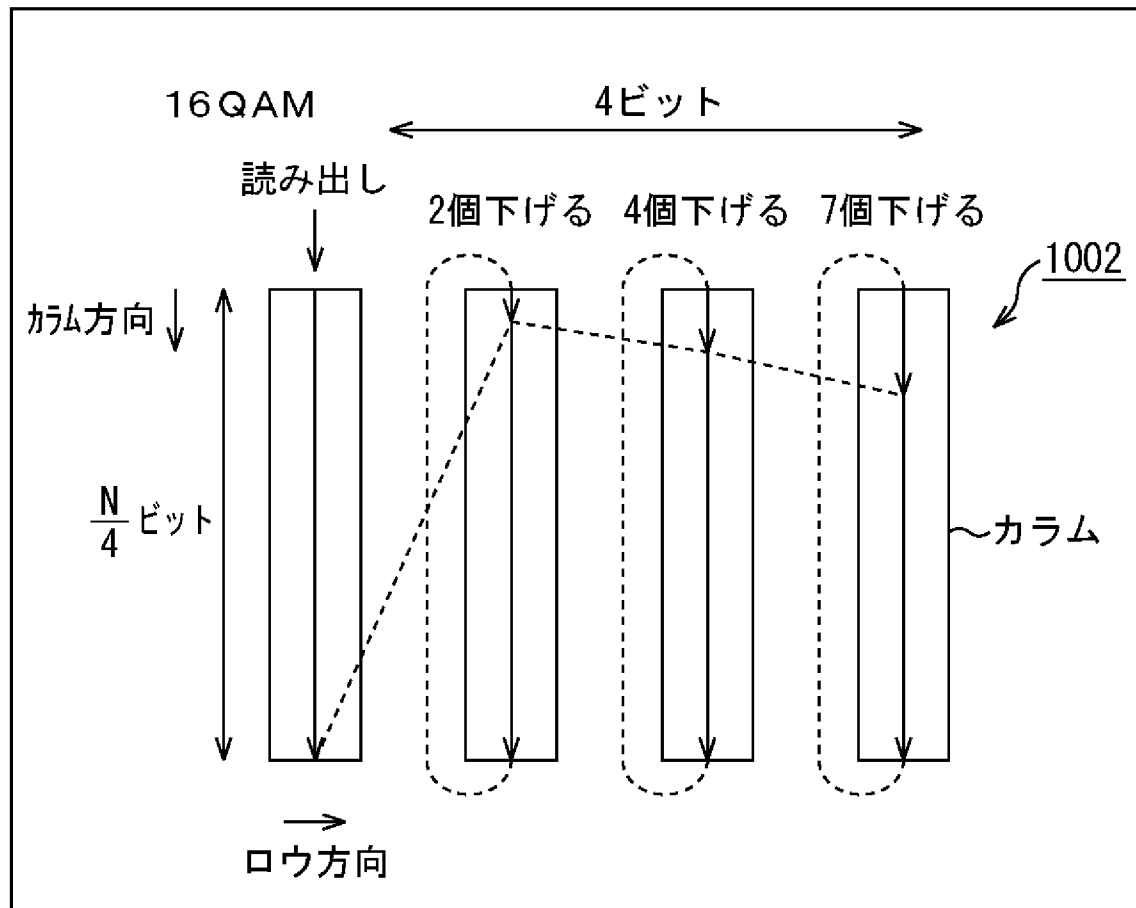
[図145]

図145

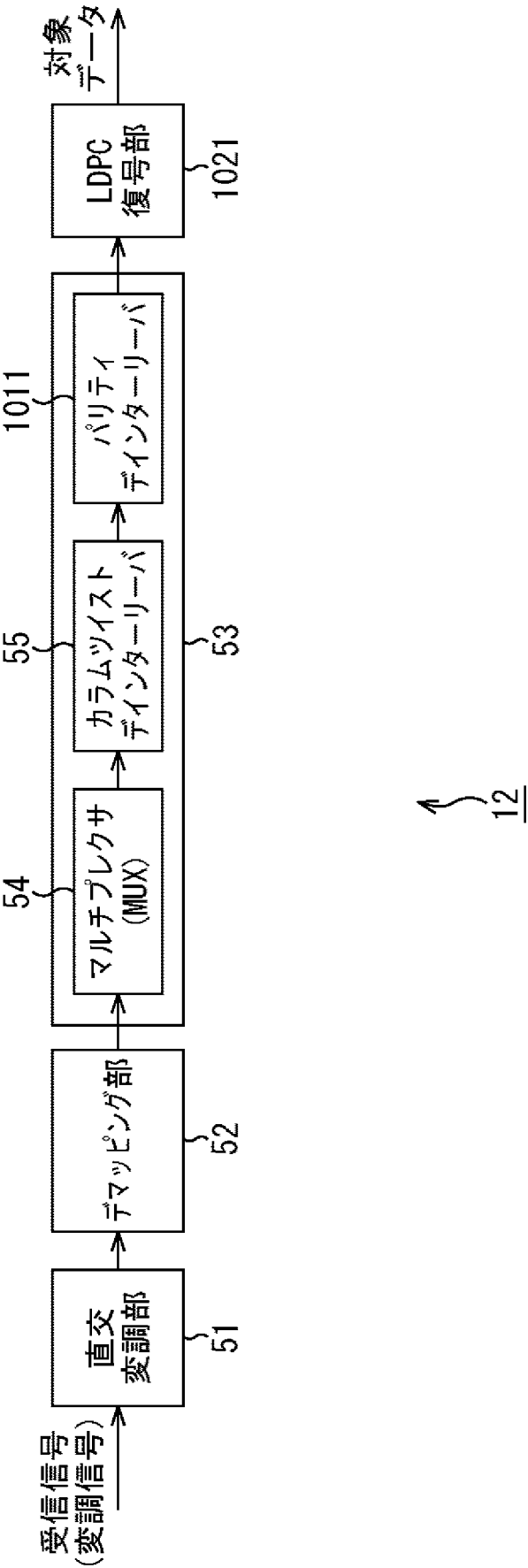


[図146]

図146

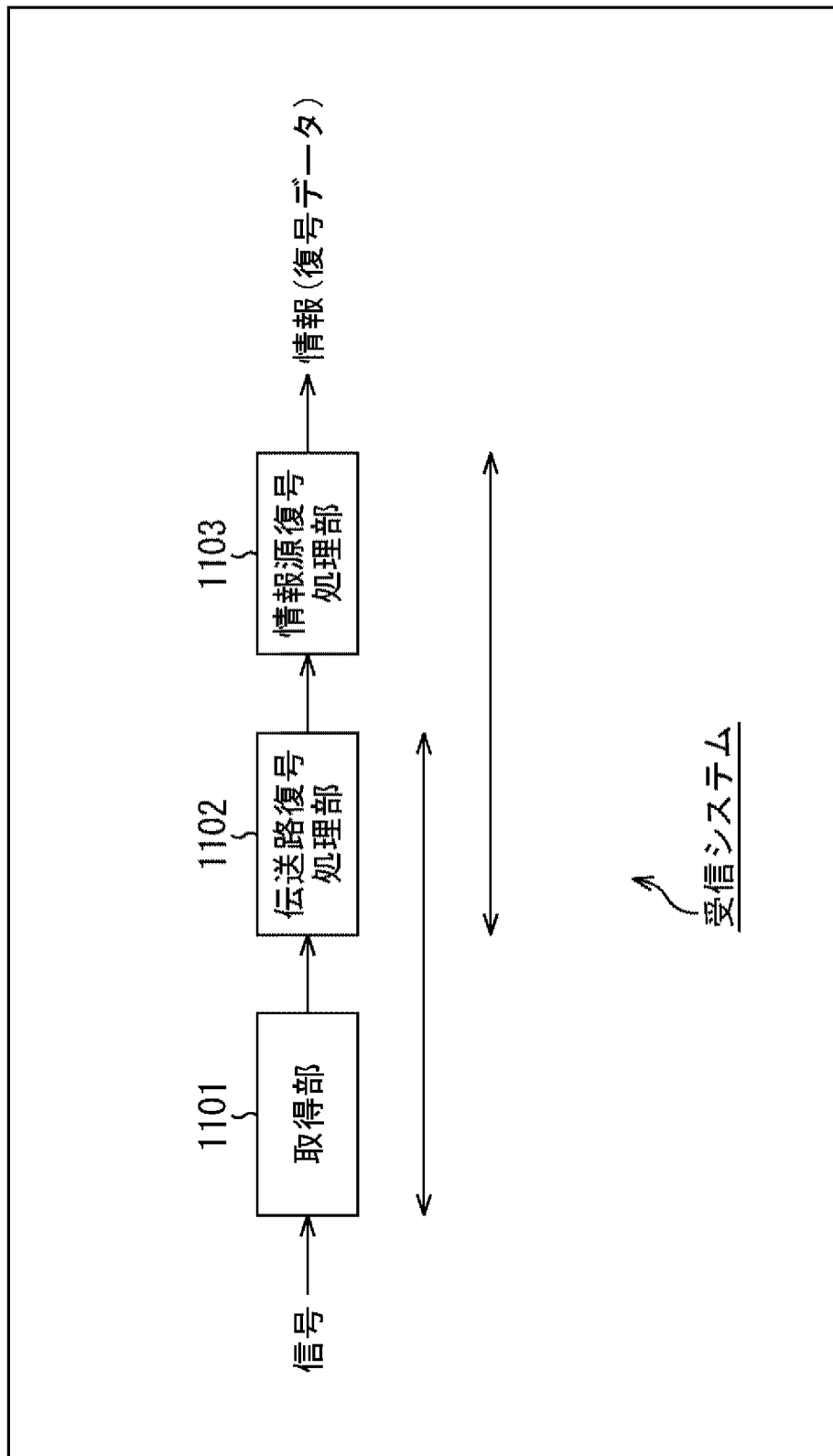


[図147]  
図147



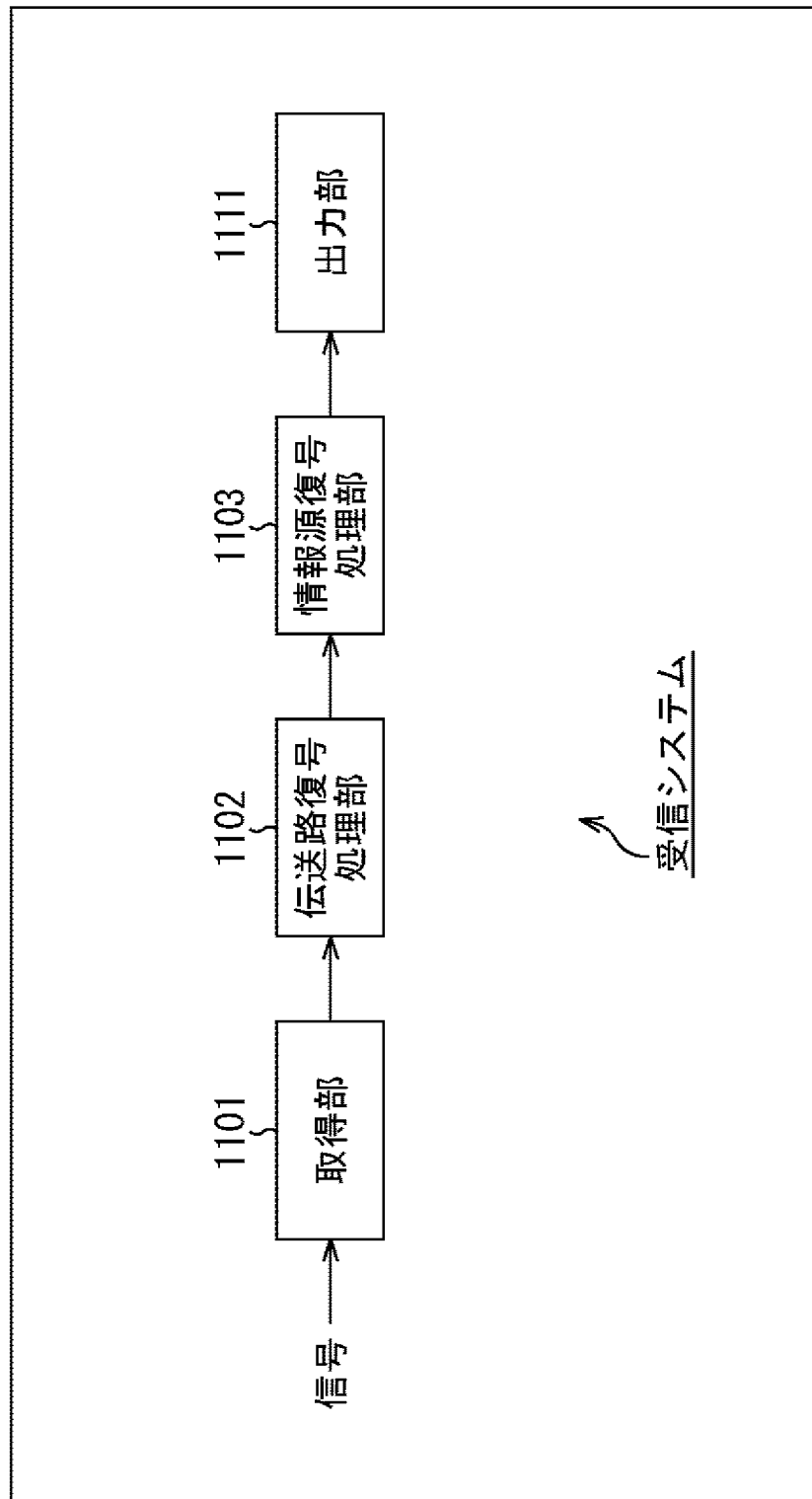
[図148]

図148



[図149]

図149





[図150]

図150

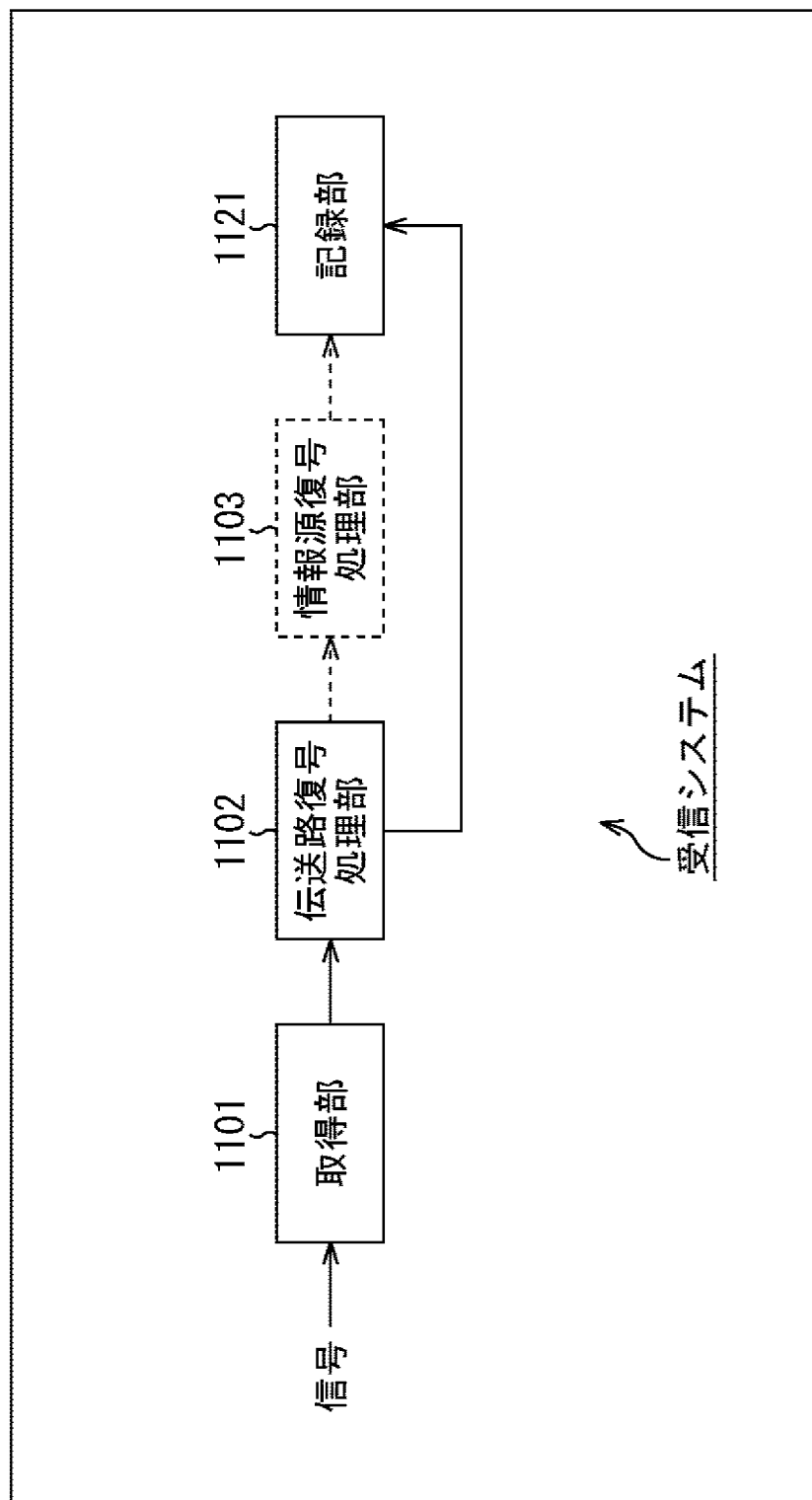


图151

A 符号ビット

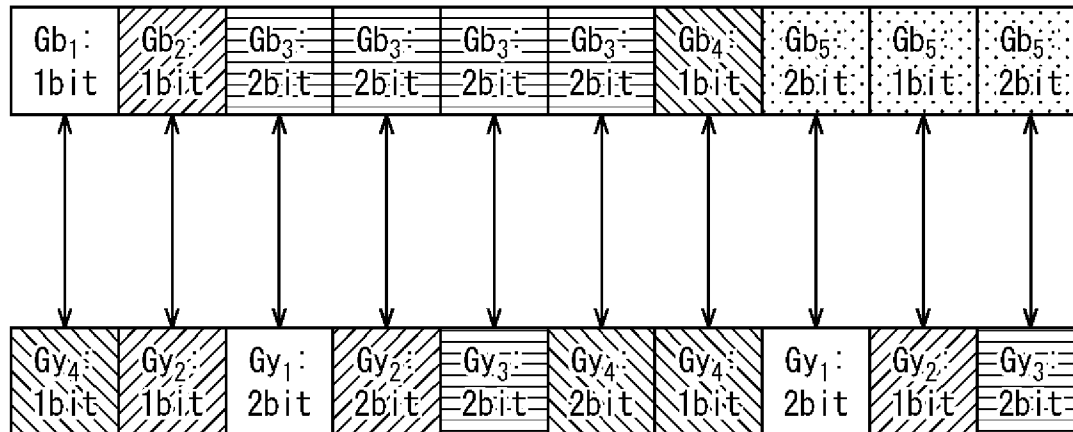
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\mathbf{Gb}_1$ | $\mathbf{Gb}_2$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$ | $\mathbf{Gb}_3$   | $\mathbf{Gb}_4$   | $\mathbf{Gb}_5$   | $\mathbf{Gb}_5$   | $\mathbf{Gb}_5$   | $\mathbf{Gb}_5$   |
| $\mathbf{b}_0$  | $\mathbf{b}_1$  | $\mathbf{b}_2$  | $\mathbf{b}_3$  | $\mathbf{b}_4$  | $\mathbf{b}_5$  | $\mathbf{b}_6$  | $\mathbf{b}_7$  | $\mathbf{b}_8$  | $\mathbf{b}_9$  | $\mathbf{b}_{10}$ | $\mathbf{b}_{11}$ | $\mathbf{b}_{12}$ | $\mathbf{b}_{13}$ | $\mathbf{b}_{14}$ | $\mathbf{b}_{15}$ |

トビゴビット

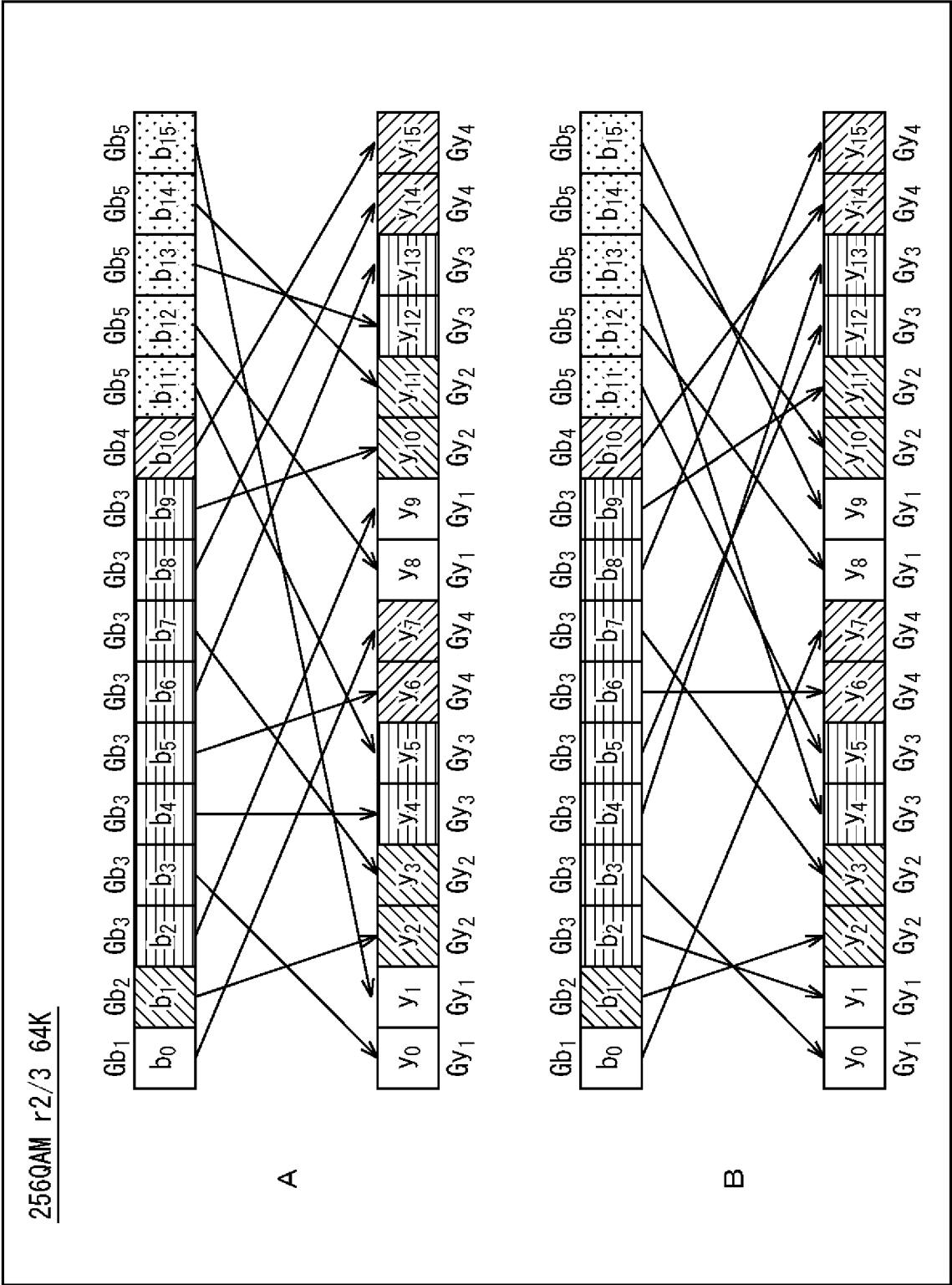
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $y_0$           | $y_1$           | $y_2$           | $y_3$           | $y_4$           | $y_5$           | $y_6$           | $y_7$           | $y_8$           | $y_9$           | $y_{10}$        | $y_{11}$        | $y_{12}$        | $y_{13}$        | $y_{14}$        | $y_{15}$        |
| Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>1</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>2</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>3</sub> | Gy <sub>4</sub> | Gy <sub>4</sub> |

[図152]

図152

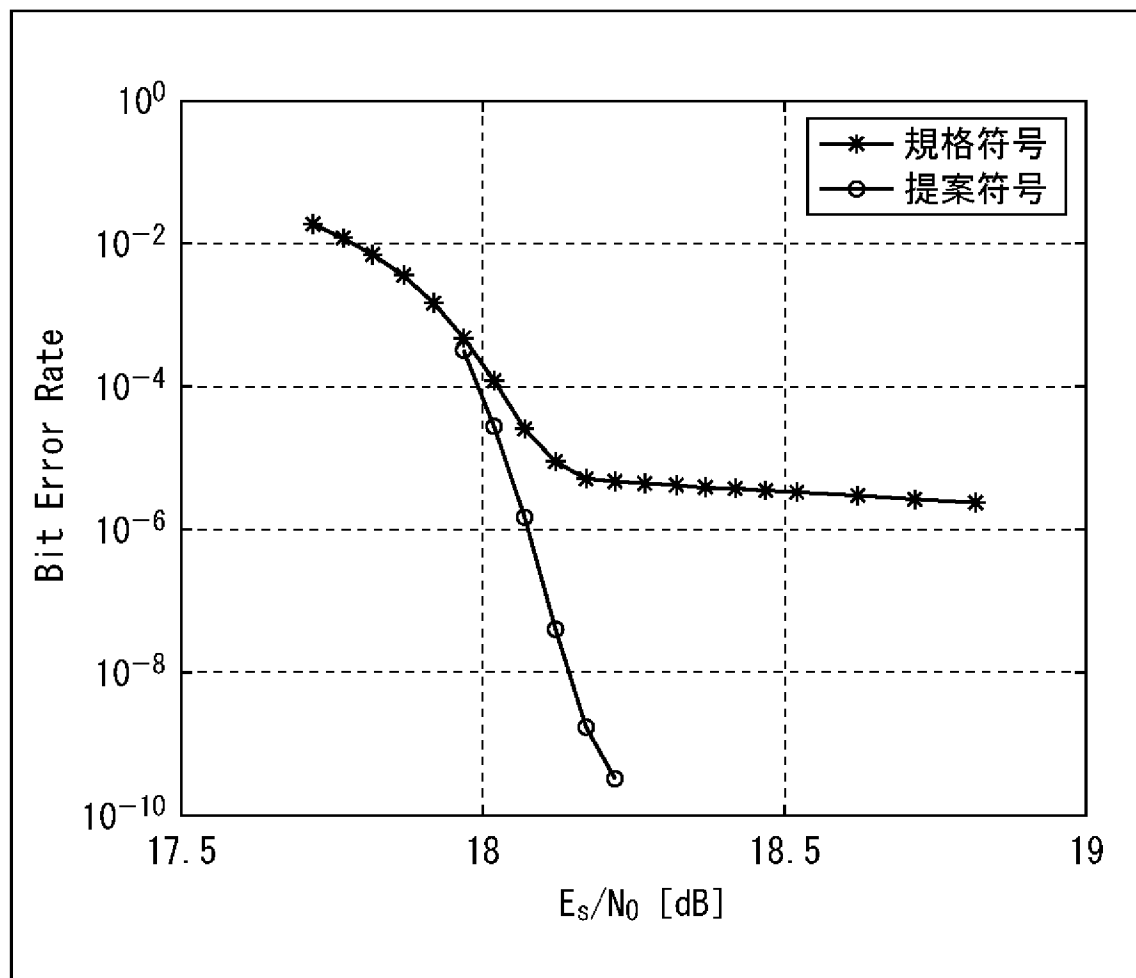
256QAM r2/3 64K

[図153]  
図153



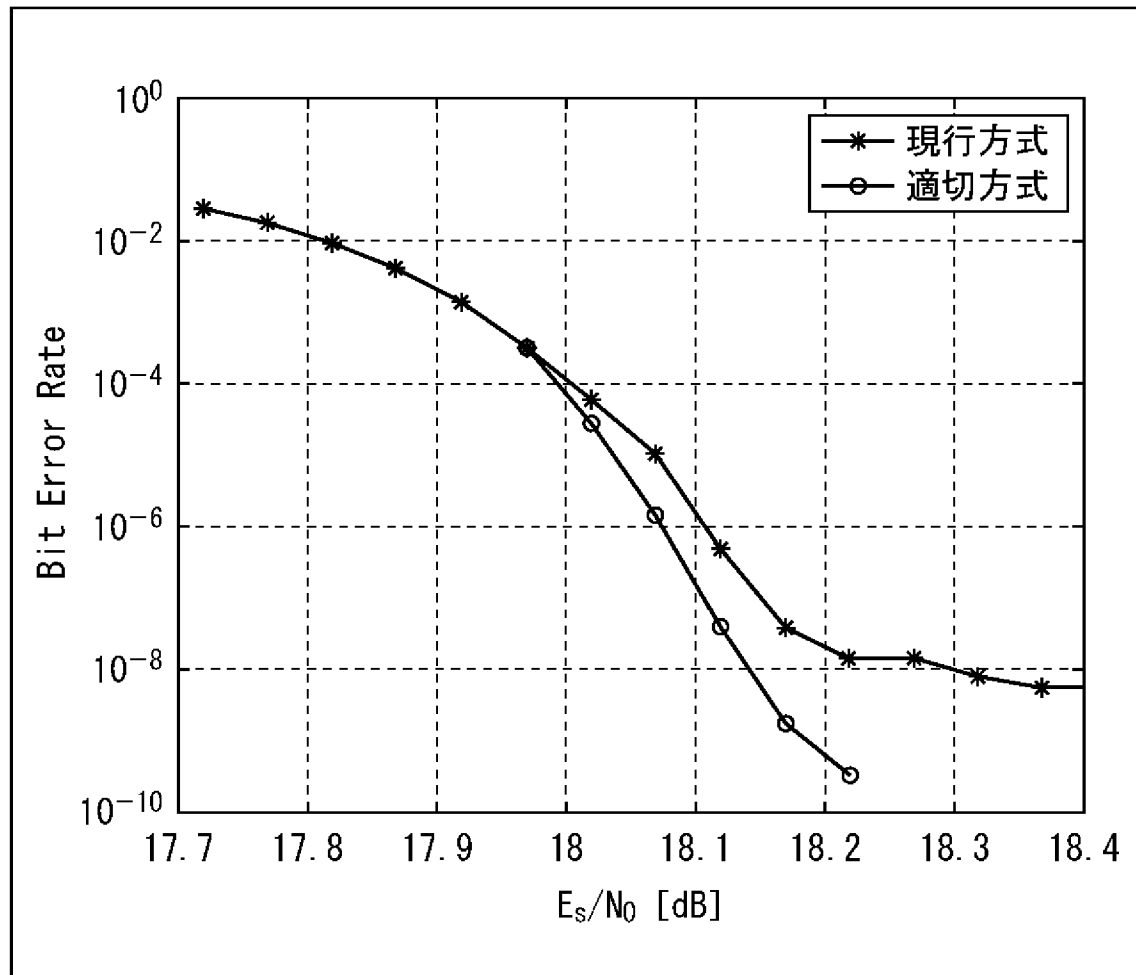
[図154]

図154



[図155]

図155



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/071312

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M13/19(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03M13/19

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2008 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2008 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2008 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                  | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | Le Goff, S.Y., "Signal constellations for bit-interleaved coded modulation", Information Theory, IEEE Transactions on, Volume 49, Issue 1, Jan. 2003, Page(s):307 - 313                             | 1-6                   |
| A         | Maddock, R.D.; Banihashemi, A.H., "Reliability-based coded modulation with low-density parity-check codes", Communications, IEEE Transactions on, Volume 54, Issue 3, March 2006, Page(s):403 - 406 | 1-6                   |
| E, A      | JP 2008-263566 A (Nippon Hoso Kyokai), 30 October, 2008 (30.10.08), Full text; all drawings (Family: none)                                                                                          | 1-6                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
15 December, 2008 (15.12.08)

Date of mailing of the international search report  
22 December, 2008 (22.12.08)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03M13/19(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03M13/19

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 0 8 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 0 8 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 0 8 年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                                                     | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| A               | Le Goff, S. Y., "Signal constellations for bit-interleaved coded modulation", Information Theory, IEEE Transactions on, Volume 49, Issue 1, Jan. 2003, Page(s):307 - 313                              | 1-6              |
| A               | Maddock, R. D.; Banihashemi, A. H., "Reliability-based coded modulation with low-density parity-check codes", Communications, IEEE Transactions on, Volume 54, Issue 3, March 2006, Page(s):403 - 406 | 1-6              |

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 1 2 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

2 2 . 1 2 . 2 0 0 8

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

矢頭 尚之

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 9 3

5 X

8 8 3 8



| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                              |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                            | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| E, A                  | JP 2008-263566 A (日本放送協会) 2008. 10. 30, 全文, 全図 (ファ<br>ミリーなし) | 1-6              |