

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 4 月 2 日(02.04.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/045901 A1

- (51) 国際特許分類:
H03M 13/19 (2006.01) H03M 13/27 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/074200
- (22) 国際出願日: 2014 年 9 月 12 日(12.09.2014)
- (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 2013-199089 2013 年 9 月 26 日(26.09.2013) JP
- (71) 出願人: 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: 篠原 雄二 (SHINOHARA Yuji); 〒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); 〒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).
- (74) 代理人: 西川 孝, 外 (NISHIKAWA Takashi et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 5 番 2 5 号 西新宿木村屋ビルディング 9 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: データ処理装置、及びデータ処理方法

[図117]

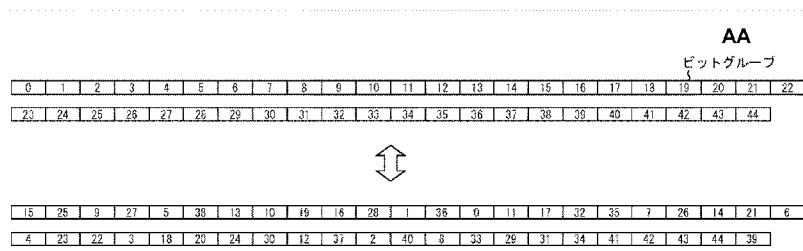


FIG. 117
AA Bit group

(57) Abstract: This technology pertains to a data processing device and a data processing method that make it possible to ensure good communication quality when using an LDPC code to transmit data. In group-wise interleaving, an LDPC code having a code length of 16,200 bits and a code rate of 10/15, 11/15, 12/15, or 13/15 is interleaved on a per-bit-group basis, each bit group being 360 bits long. In group-wise deinterleaving, the interleaved LDPC code is restored to the original ordering thereof. This technology can be applied, for example, to data transmission or the like using an LDPC code.

(57) 要約: 本技術は、LDPC 符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができるようにするデータ処理装置、及びデータ処理方法に関する。グループワイズインターリーブでは、符号長が 16200 ビットであり符号化率が 10/15、11/15、12/15、又は、13/15 の LDPC 符号が、360 ビットのビットグループ単位でインターリーブされる。グループワイズデインターリーブでは、グループワイズインターリーブ後の LDPC 符号の並びが元の並びに戻される。本技術は、例えば、LDPC 符号を用いたデータ伝送等を行う場合に適用できる。

WO 2015/045901 A1

WO 2015/045901 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：データ処理装置、及びデータ処理方法

技術分野

[0001] 本技術は、データ処理装置、及びデータ処理方法に関し、特に、例えば、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができるようにするデータ処理装置、及び、データ処理方法に関する。

背景技術

[0002] 本明細書および図面中に掲載する情報の一部は、ソニー株式会社と共同開発を行うSamsung Electronics Co., Ltd.（以下、Samsungと表記）から提供を受けたものである（図面中に明示）。

[0003] LDPC(Low Density Parity Check)符号は、高い誤り訂正能力を有し、近年では、例えば、欧州等のDVB(Digital Video Broadcasting)-S.2や、DVB-T.2、DVB-C.2、米国等のATSC(Advanced Television Systems Committee)3.0等のデジタル放送を含む伝送方式に広く採用されている（例えば、非特許文献1を参照）。

[0004] LDPC符号は、近年の研究により、ターボ符号等と同様に、符号長を長くしていくにしたがって、シャノン限界に近い性能が得られることがわかりつつある。また、LDPC符号は、最小距離が符号長に比例するという性質があることから、その特徴として、ブロック誤り確率特性がよく、さらに、ターボ符号等の復号特性において観測される、いわゆるエラーフロア現象が殆ど生じないことも利点として挙げられる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：DVB-S.2：ETSI EN 302 307 V1.2.1（2009-08）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] LDPC符号を用いたデータ伝送では、例えば、LDPC符号が、QPSK(Quadrature

Phase Shift Keying)等の直交変調（デジタル変調）のシンボルとされ（シンボル化され）、そのシンボルが、直交変調の信号点にマッピングされて送信される。

[0007] 以上のようなLDPC符号を用いたデータ伝送は、世界的に拡がりつつあり、良好な通信品質を確保することが要請されている。

[0008] 本技術は、このような状況に鑑みてなされたものであり、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができるようにするものである。

課題を解決するための手段

[0009] 本技術の第1のデータ処理装置／データ処理方法は、符号長が16200ビットであり符号化率が10/15、11/15、12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部／ステップを備え、前記16200ビットのLDPC符号の先頭から*i*+1番目のビットグループを、ビットグループ*i*として、前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブするデータ処理装置／方法である。

[0010] 本技術の第1のデータ処理装置／データ処理方法においては、符号長が16200ビットであり符号化率が10/15、11/15、12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブが行われる。前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0011] 本技術の第2のデータ処理装置／データ処理方法は、符号長が16200ビットであり符号化率が10/15、11/15、12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部を備え、前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブする送信装置から送信されてくるデータから得られる、グループワイズインターリーブ後の前記LDPC符号の並びを元の並びに戻すグループワイズインターリーブ部／ステップを備えるデータ処理装置／データ処理方法である。

[0012] 本技術の第2のデータ処理装置／データ処理方法においては、符号長が16200ビットであり符号化率が10/15、11/15、12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部を備え、前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブする送信装置から送信されてくるデータから得られる、グループワイズインターリーブ後の前記LDPC符号の並びが元の並びに戻される。

[0013] なお、データ処理装置は、独立した装置であっても良いし、1個の装置を構成している内部ブロックであっても良い。

発明の効果

[0014] 本技術によれば、LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

[0015] なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

図面の簡単な説明

[0016] [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]本技術を適用した伝送システムの一実施の形態の構成例を示す図である。

[図8]送信装置11の構成例を示すブロック図である。

[図9]ビットインターリーバ116の構成例を示すブロック図である。

[図10]検査行列を示す図である。

[図11]パリティ行列を示す図である。

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

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

[図14]LDPC符号の復号についてのタナーグラフを示す図である。

[図15]階段構造になっているパリティ行列 H_T と、そのパリティ行列 H_T に対応するタナーグラフを示す図である。

[図16]パリティインターリーブ後のLDPC符号に対応する検査行列Hのパリティ

行列 H_T を示す図である。

[図17]ビットインターリーバ116、及び、マップ117で行われる処理を説明するフローチャートである。

[図18]LDPCエンコーダ115の構成例を示すブロック図である。

[図19]LDPCエンコーダ115の処理を説明するフローチャートである。

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

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

[図22]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $7/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図23]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $7/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図24]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $7/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図25]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $9/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図26]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $9/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図27]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $9/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図28]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $11/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図29]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $11/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図30]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $11/15$ の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図31]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が $13/15$ の第1の新LDPC符号の検査

行列初期値テーブルを示す図である。

[図32]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が13/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図33]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が13/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図34]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が6/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図35]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が8/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図36]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図37]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図38]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図39]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図40]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が6/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図41]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が6/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図42]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が8/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図43]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が8/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図44]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が8/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図45]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が10/15の第2の新LDPC符号の検査

行列初期値テーブルを示す図である。

[図46]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が10/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図47]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が10/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図48]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が12/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図49]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が12/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図50]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が12/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図51]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が7/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図52]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が9/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図53]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が11/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図54]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が13/15の第2の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルを示す図である。

[図55]列重みが3で、行重みが6であるというデグリーシーケンスのアンサンブルのタナーグラフの例を示す図である。

[図56]マルチエッジタイプのアンサンブルのタナーグラフの例を示す図である。

[図57]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が7/15, 9/15, 11/15, 13/15の第1の新LDPC符号の検査行列の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[図58]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が7/15, 9/15, 11/15, 13/15の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図59]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が7/15, 9/15, 11/15, 13/15の第1

の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図60]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が7/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図61]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が9/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図62]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が11/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図63]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が13/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図64]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が6/15, 8/15, 10/15, 12/15の第1の新LDPC符号の検査行列の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[図65]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が6/15, 8/15, 10/15, 12/15の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図66]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が6/15, 8/15, 10/15, 12/15の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図67]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が6/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図68]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が8/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図69]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図70]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図71]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[図72]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図73]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図74]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が10/15の他の第1の新LDPC符号についてのBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図75]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[図76]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図77]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の他の第1の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図78]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が12/15の他の第1の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図79]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が6/15, 8/15, 10/15, 12/15の第2の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図80]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が6/15, 8/15, 10/15, 12/15の第2の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図81]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が6/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図82]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が8/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図83]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が10/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図84]符号長 N が64kビットで、符号化率 r が12/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図85]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が7/15, 9/15, 11/15, 13/15の第2の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図86]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が7/15, 9/15, 11/15, 13/15の第2の新LDPC符号の検査行列を説明する図である。

[図87]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が7/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図88]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が9/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図89]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が11/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図90]符号長 N が16kビットで、符号化率 r が13/15の第2の新LDPC符号についてのBER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図91]コンスタレーションの種類例を示す図である。

[図92]変調方式が16QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[図93]変調方式が64QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[図94]変調方式が256QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[図95]変調方式が1024QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[図96]変調方式が16QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図97]変調方式が64QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図98]変調方式が256QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図99]変調方式が1024QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、及び、1D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[図100]変調方式がQPSKである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について共通に使用されるUCの信号点の座標を示す図である。

[図101]変調方式が16QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。

[図102]変調方式が64QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。

[図103]変調方式が256QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。

[図104]変調方式が1024QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される1D NUCの信号点の座標を示す図である。

[図105]シンボル y と、そのシンボル y に対応する1D NUCの信号点 z_q の座標としての複素数のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ それぞれとの関係を示す図である。

[図106]ブロックインターリーバ25の構成例を示すブロック図である。

[図107]符号長 N と変調方式との組み合わせに対するパート1及び2のカラム数 C 、並びに、パートカラム長 $R1$ 及び $R2$ を示す図である。

[図108]ブロックインターリーバ25で行われるブロックインターリーブを説明する図である。

[図109]グループワイズインターリーバ24で行われるグループワイズインターリーブを説明する図である。

[図110]符号長 N が64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1の例を示す図である。

[図111]符号長 N が64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第2の例を示す図である。

[図112]符号長 N が64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第3の例を示す図である。

[図113]符号長 N が64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の例を示す図である。

[図114]符号長 N が16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1の例を示す図である。

[図115]符号長 N が16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第2の例を示す図である。

[図116]符号長 N が16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第3の例を示す図である。

[図117]符号長 N が16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の例を示す図である。

[図118]受信装置12の構成例を示すブロック図である。

[図119]ビットデインターリーバ165の構成例を示すブロック図である。

[図120]デマッパ164、ビットデインターリーバ165、及び、LDPCデコーダ166が行う処理を説明するフローチャートである。

[図121]LDPC符号の検査行列の例を示す図である。

[図122]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123]5×5単位に分割した変換検査行列を示す図である。

[図124]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125]LDPCデコーダ166の構成例を示すブロック図である。

[図126]ブロックデインターリーバ54の構成例を示すブロック図である。

[図127]ビットデインターリーバ165の他の構成例を示すブロック図である。

[図128]受信装置12を適用可能な受信システムの第1の構成例を示すブロック図である。

[図129]受信装置12を適用可能な受信システムの第2の構成例を示すブロック図である。

[図130]受信装置12を適用可能な受信システムの第3の構成例を示すブロック図である。

[図131]本技術を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本技術の実施の形態について説明するが、その前に、LDPC符号について説明する。

[0018] <LDPC符号>

[0019] 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。

[0020] 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。

[0021] 図1は、LDPC符号の検査行列Hの例を示す図である。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] 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。

[0025] 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。

[0026] 図2は、LDPC符号の復号の手順を示すフローチャートである。

[0027] なお、以下、適宜、受信側で受信したLDPC符号（1符号語）のi番目の符号ビットの、値の"0"らしさを対数尤度比(log likelihood ratio)で表現した実数値（受信LLR）を、受信値 u_{0i} ともいう。また、チェックノードから出力されるメッセージを u_j とし、バリアブルノードから出力されるメッセージを v_i とする。

[0028] 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S 1 2に進む。ステップS 1 2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。

[0029] [数1]

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

[0030] [数2]

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

[0031] ここで、式（1）と式（2）における d_v と d_c は、それぞれ、検査行列 H の縦方向（列）と横方向（行）の”1”の個数を示す任意に選択可能とされるパラメータである。例えば、図1に示したような列重みが3で、行重みが6の検査行列 H に対するLDPC符号（(3,6)LDPC符号）の場合には、 $d_v=3$ 、 $d_c=6$ となる。

[0032] 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。

[0033]

[数3]

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

[0034] [数4]

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

[0035] ステップS 1 2では、さらに、変数kが”1”だけインクリメントされ、ステップS 1 3に進む。ステップS 1 3では、変数kが所定の繰り返し復号回数Cよりも大きいか否かが判定される。ステップS 1 3において、変数kがCよりも大きくないと判定された場合、ステップS 1 2に戻り、以下、同様の処理が繰り返される。

[0036] また、ステップS 1 3において、変数kがCよりも大きいと判定された場合、ステップS 1 4に進み、式(5)に示す演算を行うことによって最終的に出力する復号結果としてのメッセージ v_i が求められて出力され、LDPC符号の復号処理が終了する。

[0037] [数5]

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

[0038] 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。

[0039] 図3は、(3,6)LDPC符号(符号化率1/2、符号長12)の検査行列Hの例を示す図である。

[0040] 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。

[0041] 図4は、図3の検査行列Hのタナーグラフを示す図である。

[0042] ここで、図4において、プラス“+”で表わされるのが、チェックノードであり、イコール“=”で表わされるのが、バリエブルノードである。チェックノードとバリエブルノードは、それぞれ、検査行列Hの行と列に対応する。チェックノードとバリエブルノードとの間の結線は、枝(edge)であり、検査行列の要素の“1”に相当する。

[0043] すなわち、検査行列の第j行第i列の要素が1である場合には、図4において、上からi番目のバリエブルノード(“=”のノード)と、上からj番目のチェックノード(“+”のノード)とが、枝により接続される。枝は、バリエブルノードに対応する符号ビットが、チェックノードに対応する拘束条件を持つことを表す。

[0044] LDPC符号の復号方法であるサンプロダクトアルゴリズム(Sum Product Algorithm)では、バリエブルノード演算とチェックノード演算とが繰り返し行われる。

[0045] 図5は、バリエブルノードで行われるバリエブルノード演算を示す図である。

[0046] バリエブルノードでは、計算しようとしている枝に対応するメッセージ v_i は、バリエブルノードに繋がっている残りの枝からのメッセージ u_1 および u_2 と、受信値 u_0 を用いた式(1)のバリエブルノード演算により求められる。他の枝に対応するメッセージも同様に求められる。

[0047] 図6は、チェックノードで行われるチェックノード演算を示す図である。

[0048] 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。

[0049]

[数6]

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

[0050] $x \geq 0$ 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。

[0051] [数7]

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

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] なお、式 (7) の関数 $\phi(x)$ は、式 $\phi(x) = \ln((e^x + 1)/(e^x - 1))$ で表すことができ、 $x > 0$ において、 $\phi(x) = \phi^{-1}(x)$ である。関数 $\phi(x)$ および $\phi^{-1}(x)$ をハードウェアに実装する際には、LUT(Look Up Table)を用いて実装される場合があるが、両者共に同一のLUTとなる。

[0055] <本技術を適用した伝送システムの構成例>

[0056] 図7は、本技術を適用した伝送システム（システムとは、複数の装置が論

理的に集合した物をいい、各構成の装置が同一筐体中にあるか否かは、問わない)の一実施の形態の構成例を示す図である。

[0057] 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。

[0058] 送信装置11は、例えば、テレビジョン放送の番組等の送信(放送)(伝送)を行う。すなわち、送信装置11は、例えば、番組としての画像データや音声データ等の、送信の対象である対象データをLDPC符号に符号化し、例えば、衛星回線や、地上波、ケーブル(有線回線)等の通信路13を介して送信する。

[0059] 受信装置12は、送信装置11から通信路13を介して送信されてくるLDPC符号を受信し、対象データに復号して出力する。

[0060] 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。

[0061] 一方、通信路13では、バースト(burst)誤りやイレージャ(erasure)が発生することがある。例えば、特に、通信路13が地上波である場合、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)システムでは、D/U(Desired to Undesired Ratio)が0dB(Undesired=echoのパワーがDesired=メインパスのパワーと等しい)のマルチパス環境において、エコー(echo)(メインパス以外のパス)の遅延(delay)に応じて、特定のシンボルのパワーが0になってしまう(erasure)ことがある。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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_{0i} ）の加算を伴う式（1）のバリエブルノード演算が行われるため、そのバリエブルノード演算に用いられる符号ビットにエラーが生じると、求められるメッセージの精度が低下する。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] そこで、図7の伝送システムでは、AWGN通信路（AWGNチャネル）での性能を維持しつつ、バースト誤りやイレージャへの耐性を向上させることが可能になっている。

[0068] <送信装置11の構成例>

[0069] 図8は、図7の送信装置11の構成例を示すブロック図である。

[0070] 送信装置11では、対象データとしての1以上のインプットストリーム(Input Streams)が、モードアダプテーション／マルチプレクサ(Mode Adaptation/Multiplexer)111に供給される。

[0071] モードアダプテーション／マルチプレクサ111は、モード選択、及び、そこに供給される1以上のインプットストリームの多重化等の処理を必要に

応じて行い、その結果得られるデータを、パダー(padder) 1 1 2に供給する。

[0072] パダー 1 1 2は、モードアダプテーション／マルチプレクサ 1 1 1からのデータに対して、必要なゼロ詰め (Nullの挿入) を行い、その結果得られるデータを、BBスクランブラ(BB Scrambler) 1 1 3に供給する。

[0073] BBスクランブラ 1 1 3は、パダー 1 1 2からのデータに、BBスクランブル(Base-Band Scrambling)を施し、その結果得られるデータを、BCHエンコーダ(BCH encoder) 1 1 4に供給する。

[0074] BCHエンコーダ 1 1 4は、BBスクランブラ 1 1 3からのデータをBCH符号化し、その結果得られるデータを、LDPC符号化の対象であるLDPC対象データとして、LDPCエンコーダ(LDPC encoder) 1 1 5に供給する。

[0075] LDPCエンコーダ 1 1 5は、BCHエンコーダ 1 1 4からのLDPC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、LDPC対象データを情報ビットとするLDPC符号を出力する。

[0076] すなわち、LDPCエンコーダ 1 1 5は、LDPC対象データを、例えば、DVB-S.2や、DVB-T.2, DVB-C.2等の所定の規格に規定されている(検査行列に対応する) LDPC符号や、ATSC3.0で採用予定の(検査行列に対応する) LDPC符号等に符号化するLDPC符号化を行い、その結果得られるLDPC符号を出力する。

[0077] ここで、DVB-T.2の規格に規定されているLDPC符号や、ATSC3.0で採用予定の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。

[0078] LDPCエンコーダ 1 1 5が出力するLDPC符号は、ビットインターリーバ(Bit Interleaver) 1 1 6に供給される。

- [0079] ビットインターリーバ116は、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号について、後述するビットインターリーブを行い、そのビットインターリーブ後のLDPC符号を、マッパ(Mapper)117に供給する。
- [0080] マッパ117は、ビットインターリーバ116からのLDPC符号を、そのLDPC符号の1ビット以上の符号ビットの単位（シンボル単位）で、直交変調の1つのシンボルを表す信号点にマッピングして直交変調（多値変調）を行う。
- [0081] すなわち、マッパ117は、ビットインターリーバ116からのLDPC符号を、搬送波と同相のI成分を表すI軸と、搬送波と直交するQ成分を表すQ軸とで規定されるIQ平面（IQコンスタレーション）上の、LDPC符号の直交変調を行う変調方式で定める信号点にマッピングして直交変調を行う。
- [0082] マッパ117で行われる直交変調の変調方式で定める信号点の数が、 2^m 個である場合、LDPC符号のmビットの符号ビットを、シンボル（1シンボル）として、マッパ117では、ビットインターリーバ116からのLDPC符号が、シンボル単位で、 2^m 個の信号点のうちの、シンボルを表す信号点にマッピングされる。
- [0083] ここで、マッパ117で行われる直交変調の変調方式としては、例えば、DVB-T.2の規格等に規定されている変調方式や、ATSC3.0で採用予定の変調方式、その他の変調方式、すなわち、例えば、BPSK(Binary Phase Shift Keying)や、QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 8PSK(Phase-Shift Keying), 16APSK(Amplitude Phase-Shift Keying), 32APSK, 16QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM, 4PAM(Pulse Amplitude Modulation)等がある。マッパ117において、いずれの変調方式による直交変調が行われるかは、例えば、送信装置11のオペレータの操作等に従って、あらかじめ設定される。
- [0084] マッパ117での処理により得られるデータ（シンボルを信号点にマッピングしたマッピング結果）は、時間インターリーバ(Time Interleaver)118に供給される。
- [0085] 時間インターリーバ118は、マッパ117からのデータについて、シン

ボル単位での時間インターリーブ（時間方向のインターリーブ）を行い、その結果得られるデータを、SISO/MISOエンコーダ(SISO/MISO(Single Input Single Output/Multiple Input Single Output) encoder) 119に供給する。

[0086] SISO/MISOエンコーダ119は、時間インターリーバ118からのデータに、時空間符号化を施し、周波数インターリーバ(Frequency Interleaver) 120に供給する。

[0087] 周波数インターリーバ120は、SISO/MISOエンコーダ119からのデータについて、シンボル単位での周波数インターリーブ（周波数方向のインターリーブ）を行い、フレームビルダ/リソースアロケーション部(Frame Builder & Resource Allocation) 131に供給する。

[0088] 一方、BCHエンコーダ121には、例えば、BBシグナリング(Base Band Signalling)(BB Header)等の伝送制御用の制御データ (signalling)が供給される。

[0089] BCHエンコーダ121は、そこに供給される制御データを、BCHエンコーダ114と同様にBCH符号化し、その結果得られるデータを、LDPCエンコーダ122に供給する。

[0090] LDPCエンコーダ122は、BCHエンコーダ121からのデータを、LDPC対象データとして、LDPCエンコーダ115と同様にLDPC符号化し、その結果得られるLDPC符号を、マッパ123に供給する。

[0091] マッパ123は、マッパ117と同様に、LDPCエンコーダ122からのLDPC符号を、そのLDPC符号の1ビット以上の符号ビットの単位（シンボル単位）で、直交変調の1つのシンボルを表す信号点にマッピングして直交変調を行い、その結果得られるデータを、周波数インターリーバ124に供給する。

[0092] 周波数インターリーバ124は、周波数インターリーバ120と同様に、マッパ123からのデータについて、シンボル単位での周波数インターリーブを行い、フレームビルダ/リソースアロケーション部131に供給する。

[0093] フレームビルダ/リソースアロケーション部131は、周波数インターリーバ120、及び、124からのデータ（シンボル）の必要な位置に、パイ

ロット(Pilot)のシンボルを挿入し、その結果得られるデータ(シンボル)から、所定の数のシンボルで構成されるフレーム(例えば、PL(Physical Layer)フレームや、T2フレーム、C2フレーム等)を構成して、OFDM生成部(OFDM generation)132に供給する。

[0094] OFDM生成部132は、フレームビルダ/リソースアロケーション部131からのフレームから、そのフレームに対応するOFDM信号を生成し、通信路13(図7)を介して送信する。

[0095] なお、送信装置11は、例えば、時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124等の、図8に図示したブロックの一部を設けずに構成することができる。

[0096] <ビットインターリーバ116の構成例>

[0097] 図9は、図8のビットインターリーバ116の構成例を示すブロック図である。

[0098] ビットインターリーバ116は、データをインターリーブする機能を有し、パリティインターリーバ(Parity Interleaver)23、グループワイズインターリーバ(Group-Wise Interleaver)24、及びブロックインターリーバ(Block Interleaver)25から構成される。

[0099] パリティインターリーバ23は、LDPCエンコーダ115からのLDPC符号のパリティビットを、他のパリティビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブを行い、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号を、グループワイズインターリーバ24に供給する。

[0100] グループワイズインターリーバ24は、パリティインターリーバ23からのLDPC符号について、グループワイズインターリーブを行い、そのグループワイズインターリーブ後のLDPC符号を、ブロックインターリーバ25に供給する。

[0101] ここで、グループワイズインターリーブでは、1符号分のLDPC符号を、その先頭から、後述する巡回構造の単位の列数Pに等しい360ビット単位に区分し

た、その1区分の360ビットを、ビットグループとして、パリティインターリーバ23からのLDPC符号が、ビットグループ単位でインターリーブされる。

[0102] グループワイズインターリーブを行う場合には、グループワイズインターリーブを行わない場合に比較して、エラーレートを向上させることができ、その結果、データ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

[0103] ブロックインターリーバ25は、グループワイズインターリーバ24からのLDPC符号を逆多重化するためのブロックインターリーブを行うことで、1符号分のLDPC符号を、マッピングの単位であるmビットのシンボルにシンボル化し、マッパ117（図8）に供給する。

[0104] ここで、ブロックインターリーブでは、例えば、カラム(column)（縦）方向に所定のビット数を記憶する記憶領域としてのカラムが、ロウ(row)（横）方向に、シンボルのビット数mに等しい数だけ並んだ記憶領域に対して、グループワイズインターリーバ24からのLDPC符号が、カラム方向に書き込まれ、ロウ方向に読み出されることで、1符号分のLDPC符号が、mビットのシンボルにされる。

[0105] <LDPC符号の検査行列>

[0106] 図10は、図8のLDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列Hを示す図である。

[0107] 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。

[0108] ここで、1符号のLDPC符号（1符号語）の符号ビットのうちの情報ビットのビット数と、パリティビットのビット数を、それぞれ、情報長Kと、パリティ長Mというとともに、1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。

[0109] 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。

[0110] 図11は、図8のLDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列 H のパリティ行列 H_T の例を示す図である。

[0111] LDPCエンコーダ115でLDPC符号化に用いられる検査行列 H のパリティ行列 H_T は、例えば、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列 H のパリティ行列 H_T と同様になっている。

[0112] DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列 H のパリティ行列 H_T は、図11に示すように、1の要素が、いわば階段状に並ぶ階段構造の行列(lower bidiagonal matrix)になっている。パリティ行列 H_T の行重みは、1行目については1で、残りの全ての行については2になっている。また、列重みは、最後の1列については1で、残りの全ての列で2になっている。

[0113] 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。

[0114] 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 で表すこととする。

[0115] 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。

[0116] 検査行列 H と、LDPC符号としての行ベクトル $c = [A|T]$ とは、式 $Hc^T = 0$ を満たす必要があり、かかる式 $Hc^T = 0$ を満たす行ベクトル $c = [A|T]$ を構成するパリティビットとしての行ベクトル T は、検査行列 $H = [H_A|H_T]$ のパリティ行列 H_T が、図11に示した階段構造になっている場合には、式 $Hc^T = 0$ における列ベクトル Hc^T の1行目の要素から順に、各行の要素を0にしていこうようにすることで、逐次的(順番)に求めることができる。

[0117] 図 1 2 は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

[0118] DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列Hの 1 列目からのKX列については、列重みがXに、その後のK3列については、列重みが3に、その後のM-1列については、列重みが2に、最後の 1 列については、列重みが1に、それぞれなっている。

[0119] ここで、 $KX+K3+M-1+1$ は、符号長Nに等しい。

[0120] 図 1 3 は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の各符号化率rについての、列数KX、K3、及びM、並びに、列重みXを示す図である。

[0121] DVB-T.2等の規格では、64800ビットと16200ビットの符号長NのLDPC符号が規定されている。

[0122] そして、符号長Nが64800ビットのLDPC符号については、11個の符号化率(nominal rate)1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9、及び9/10が規定されており、符号長Nが16200ビットのLDPC符号については、10個の符号化率1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6、及び8/9が規定されている。

[0123] ここで、以下、64800ビットの符号長Nを、64kビットともいい、16200ビットの符号長Nを、16kビットともいう。

[0124] LDPC符号については、検査行列Hの列重みが大の列に対応する符号ビットほど、エラーレートが低い傾向がある。

[0125] 図 1 2 及び図 1 3 に示した、DVB-T.2等の規格に規定されている検査行列Hでは、先頭側（左側）の列ほど、列重みが大の傾向にあり、したがって、その検査行列Hに対応するLDPC符号については、先頭の符号ビットほど、エラーに強く（エラーに対する耐性があり）、終わりの符号ビットほど、エラーに弱い傾向がある。

[0126] <パリティインターリーブ>

[0127] 図 1 4 ないし図 1 6 を参照して、図 9 のパリティインターリーブ23によるパリティインターリーブについて説明する。

[0128] 図 1 4 は、LDPC符号の検査行列のタナーグラフ（の一部）の例を示す図で

ある。

- [0129] チェックノードは、図14に示すように、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノード（に対応する符号ビット）の2個等の複数が同時にイレージャ等のエラーになると、そのチェックノードに繋がっている全バリエブルノードに、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを戻す。このため、同一のチェックノードに繋がっている複数のバリエブルノードが同時にイレージャ等になると、復号の性能が劣化する。
- [0130] ところで、図8のLDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号は、DVB-S.2等の規格に規定されているLDPC符号と同様に、IRA符号であり、検査行列 H_T のパリティ行列 H_T は、図11に示したように、階段構造になっている。
- [0131] 図15は、図11に示したように、階段構造になっているパリティ行列 H_T と、そのパリティ行列 H_T に対応するタナグラフの例を示す図である。
- [0132] 図15のAは、階段構造になっているパリティ行列 H_T の例を示しており、図15のBは、図15のAのパリティ行列 H_T に対応するタナグラフを示している。
- [0133] 階段構造になっているパリティ行列 H_T では、各行において、1の要素が隣接する（1行目を除く）。このため、パリティ行列 H_T のタナグラフにおいて、パリティ行列 H_T の値が1になっている隣接する2つの要素の列に対応する、隣接する2つのバリエブルノードは、同一のチェックノードに繋がっている。
- [0134] したがって、バースト誤りやイレージャ等によって、上述の隣接する2つのバリエブルノードに対応するパリティビットが同時にエラーとなると、そのエラーとなった2つのパリティビットに対応する2つのバリエブルノード（パリティビットを用いてメッセージを求めるバリエブルノード）に繋がっているチェックノードは、値が0である確率と1である確率とが等確率のメッセージを、そのチェックノードに繋がっているバリエブルノードに戻すため、復号の性能が劣化する。そして、バースト長（連続してエラーとなるパリティビットのビット数）が大になると、等確率のメッセージを戻すチェックノードが増加し、復号の性能は、さらに劣化する。

- [0135] そこで、パリティインターリーブ23（図9）は、上述した復号の性能の劣化を防止するため、LDPCエンコーダ115からの、LDPC符号のパリティビットを、他のパリティビットの位置にインターリーブするパリティインターリーブを行う。
- [0136] 図16は、図9のパリティインターリーブ23が行うパリティインターリーブ後のLDPC符号に対応する検査行列Hのパリティ行列 H_T を示す図である。
- [0137] ここで、LDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号に対応する検査行列Hの情報行列 H_A は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号に対応する検査行列Hの情報行列と同様に、巡回構造になっている。
- [0138] 巡回構造とは、ある列が、他の列をサイクリックシフトしたものと一致している構造をいい、例えば、P列ごとに、そのP列の各行の1の位置が、そのP列の最初の列を、パリティ長Mを除算して得られる値qに比例する値だけ、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。
- [0139] DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号としては、図12及び図13で説明したように、符号長Nが64800ビットと16200ビットとの、2種類のLDPC符号があり、その2種類のLDPC符号のいずれについても、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。
- [0140] また、パリティ長Mは、符号化率によって異なる値qを用いて、式 $M=q \times P=q \times 360$ で表される素数以外の値になっている。したがって、値qも、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）。
- [0141] パリティインターリーブ23は、上述したように、情報長をKとし、また、0以上P未満の整数をxとするとともに、0以上q未満の整数をyとすると、パリティインターリーブとして、NビットのLDPC符号の符号ビットのうちの、 $K+qx$

+y+1番目の符号ビットを、 $K+P_y+x+1$ 番目の符号ビットの位置にインターリーブする。

[0142] $K+q_x+y+1$ 番目の符号ビット、及び、 $K+P_y+x+1$ 番目の符号ビットは、いずれも、 $K+1$ 番目以降の符号ビットであるから、パリティビットであり、したがって、パリティインターリーブによれば、LDPC符号のパリティビットの位置が移動される。

[0143] このようなパリティインターリーブによれば、同一のチェックノードに繋がれるバリエブルノード（に対応するパリティビット）が、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エブルノードの複数が同時にエラーになる事態を避けることができ、その結果、バースト誤りに対する耐性を改善することができる。

[0144] なお、 $K+q_x+y+1$ 番目の符号ビットを、 $K+P_y+x+1$ 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、 $K+q_x+y+1$ 番目の列を、 $K+P_y+x+1$ 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。

[0145] また、変換検査行列のパリティ行列には、図16に示すように、 P 列（図16では、360列）を単位とする擬似巡回構造が現れる。

[0146] 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。

[0147] DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列に対して、パリティインターリーブに相当する列置換を施して得られる変換検査行列は、変換検査行列の右隅部分の360行×360列の部分（後述するシフト行列）に、1の要素が1つだけならず（0の要素になっており）、その点で、（完全な）巡回構造ではなく、いわば、擬似巡回構造になっている。

[0148] LDPCエンコーダ115が出力するLDPC符号の検査行列に対する変換検査行列は、DVB-T.2等の規格に規定されているLDPC符号の検査行列に対する変換検査行列と同様に、擬似巡回構造になっている。

- [0149] なお、図 1 6 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。
- [0150] 図 1 7 は、図 8 のLDPCエンコーダ 1 1 5、ビットインターリーバ 1 1 6、及び、マップ 1 1 7 で行われる処理を説明するフローチャートである。
- [0151] LDPCエンコーダ 1 1 5 は、BCHエンコーダ 1 1 4 から、LDPC対象データが供給されるのを待って、ステップ S 1 0 1 において、LDPC対象データを、LDPC符号に符号化し、そのLDPC符号を、ビットインターリーバ 1 1 6 に供給して、処理は、ステップ S 1 0 2 に進む。
- [0152] ビットインターリーバ 1 1 6 は、ステップ S 1 0 2 において、LDPCエンコーダ 1 1 5 からのLDPC符号を対象として、ビットインターリーブを行い、そのビットインターリーブによって得られるシンボルを、マップ 1 1 7 に供給して、処理は、ステップ S 1 0 3 に進む。
- [0153] すなわち、ステップ S 1 0 2 では、ビットインターリーバ 1 1 6（図 9）において、パリティインターリーバ 2 3 が、LDPCエンコーダ 1 1 5 からのLDPC符号を対象として、パリティインターリーブを行い、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号を、グループワイズインターリーバ 2 4 に供給する。
- [0154] グループワイズインターリーバ 2 4 は、パリティインターリーバ 2 3 からのLDPC符号を対象として、グループワイズインターリーブを行い、ブロックインターリーバ 2 5 に供給する。
- [0155] ブロックインターリーバ 2 5 は、グループワイズインターリーバ 2 4 によるグループワイズインターリーブ後のLDPC符号を対象として、ブロックインターリーブを行い、その結果得られるmビットのシンボルを、マップ 1 1 7 に供給する。
- [0156] マップ 1 1 7 は、ステップ S 1 0 3 において、ブロックインターリーバ 2 5 からのシンボルを、マップ 1 1 7 で行われる直交変調の変調方式で定める 2^m 個の信号点のいずれかにマッピングして直交変調し、その結果得られるデータを、時間インターリーバ 1 1 8 に供給する。

- [0157] 以上のように、パリティインターリーブや、グループワイズインターリーブを行うことで、LDPC符号の複数の符号ビットを1個のシンボルとして送信する場合のエラーレートを向上（改善）することができる。
- [0158] ここで、図9では、説明の便宜のため、パリティインターリーブを行うブロックであるパリティインターリーブ23と、グループワイズインターリーブを行うブロックであるグループワイズインターリーブ24とを、別個に構成するようにしたが、パリティインターリーブ23とグループワイズインターリーブ24とは、一体的に構成することができる。
- [0159] すなわち、パリティインターリーブと、グループワイズインターリーブとは、いずれも、メモリに対する符号ビットの書き込み、及び読み出しによって行うことができ、符号ビットの書き込みを行うアドレス（書き込みアドレス）を、符号ビットの読み出しを行うアドレス（読み出しアドレス）に変換する行列によって表すことができる。
- [0160] したがって、パリティインターリーブを表す行列と、グループワイズインターリーブを表す行列とを乗算して得られる行列を求めておけば、それらの行列によって、符号ビットを変換することで、パリティインターリーブを行い、さらに、そのパリティインターリーブ後のLDPC符号をグループワイズインターリーブした結果を得ることができる。
- [0161] また、パリティインターリーブ23とグループワイズインターリーブ24に加えて、ブロックインターリーブ25も、一体的に構成することが可能である。
- [0162] すなわち、ブロックインターリーブ25で行われるブロックインターリーブも、LDPC符号を記憶するメモリの書き込みアドレスを、読み出しアドレスに変換する行列によって表すことができる。
- [0163] したがって、パリティインターリーブを表す行列、グループワイズインターリーブを表す行列、及び、ブロックインターリーブを表す行列を乗算して得られる行列を求めておけば、それらの行列によって、パリティインターリーブ、グループワイズインターリーブ、及び、ブロックインターリーブを、

一括して行うことができる。

[0164] <LDPCエンコーダ 1 1 5 の構成例>

[0165] 図 1 8 は、図 8 の LDPC エンコーダ 1 1 5 の構成例を示すブロック図である。

[0166] なお、図 8 の LDPC エンコーダ 1 2 2 も、同様に構成される。

[0167] 図 1 2 及び図 1 3 で説明したように、DVB-S.2 等の規格では、64800 ビットと 16200 ビットとの 2 通りの符号長 N の LDPC 符号が規定されている。

[0168] 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 1 2 及び図 1 3）。

[0169] LDPC エンコーダ 1 1 5 は、例えば、このような、符号長 N が 64800 ビットや 16200 ビットの各符号化率の LDPC 符号による符号化（誤り訂正符号化）を、符号長 N ごと、及び符号化率ごとに用意された検査行列 H に従って行うことができる。

[0170] LDPC エンコーダ 1 1 5 は、符号化処理部 6 0 1 と記憶部 6 0 2 とから構成される。

[0171] 符号化処理部 6 0 1 は、符号化率設定部 6 1 1、初期値テーブル読み出し部 6 1 2、検査行列生成部 6 1 3、情報ビット読み出し部 6 1 4、符号化パリティ演算部 6 1 5、及び制御部 6 1 6 から構成され、LDPC エンコーダ 1 1 5 に供給される LDPC 対象データの LDPC 符号化を行い、その結果得られる LDPC 符号を、ビットインターリーバ 1 1 6（図 8）に供給する。

[0172] すなわち、符号化率設定部 6 1 1 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。

[0173] 初期値テーブル読み出し部 6 1 2 は、符号化率設定部 6 1 1 が設定した符号長 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 6 0 2 から読み出す。

[0174] 検査行列生成部 6 1 3 は、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 が読み出した

検査行列初期値テーブルに基づいて、符号化率設定部 6 1 1 が設定した符号長 N 及び符号化率に応じた情報長 K ($=$ 符号長 N -パリティ長 M) に対応する情報行列 H_A の 1 の要素を列方向に 360 列 (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 6 0 2 に格納する。

[0175] 情報ビット読み出し部 6 1 4 は、LDPCエンコーダ 1 1 5 に供給されるLDPC対象データから、情報長 K 分の情報ビットを読み出す (抽出する)。

[0176] 符号化パリティ演算部 6 1 5 は、検査行列生成部 6 1 3 が生成した検査行列 H を記憶部 6 0 2 から読み出し、その検査行列 H を用いて、情報ビット読み出し部 6 1 4 が読み出した情報ビットに対するパリティビットを所定の式に基づいて算出することにより、符号語 (LDPC符号) を生成する。

[0177] 制御部 6 1 6 は、符号化処理部 6 0 1 を構成する各ブロックを制御する。

[0178] 記憶部 6 0 2 には、例えば、64800ビットや16200ビット等の符号長 N それぞれについての、図 1 2 及び図 1 3 に示した複数の符号化率等それぞれに対応する複数の検査行列初期値テーブル等が格納されている。また、記憶部 6 0 2 は、符号化処理部 6 0 1 の処理上必要なデータを一時記憶する。

[0179] 図 1 9 は、図 1 8 のLDPCエンコーダ 1 1 5 の処理の例を説明するフローチャートである。

[0180] ステップ S 2 0 1 において、符号化率設定部 6 1 1 は、LDPC符号化を行う符号長 N 及び符号化率 r を決定 (設定) する。

[0181] ステップ S 2 0 2 において、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 は、符号化率設定部 6 1 1 により決定された符号長 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 6 0 2 から読み出す。

[0182] ステップ S 2 0 3 において、検査行列生成部 6 1 3 は、初期値テーブル読み出し部 6 1 2 が記憶部 6 0 2 から読み出した検査行列初期値テーブルを用いて、符号化率設定部 6 1 1 により決定された符号長 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 6 0 2 に供給して格納する。

[0183] ステップ S 2 0 4 において、情報ビット読み出し部 6 1 4 は、LDPCエンコーダ 1 1 5 に供給されるLDPC対象データから、符号化率設定部 6 1 1 により

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。

[0184] ステップ S205 において、符号化パリティ演算部 615 は、情報ビット読み出し部 614 からの情報ビットと検査行列 H とを用い、式(8)を満たす符号語 c のパリティビットを順次演算する。

$$[0185] \quad Hc^T = 0 \quad \dots (8)$$

[0186] 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。

[0187] 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。

[0188] 検査行列 H と、LDPC符号としての行ベクトル $c = [A|T]$ とは、式 $Hc^T = 0$ を満たす必要があり、かかる式 $Hc^T = 0$ を満たす行ベクトル $c = [A|T]$ を構成するパリティビットとしての行ベクトル T は、検査行列 $H = [H_A | H_T]$ のパリティ行列 H_T が、図11に示した階段構造になっている場合には、式 $Hc^T = 0$ における列ベクトル Hc^T の1行目の要素から順に、各行の要素を0にしていくようにすることで、逐次的に求めることができる。

[0189] 符号化パリティ演算部 615 は、情報ビット読み出し部 614 からの情報ビット A に対して、パリティビット T を求め、その情報ビット A とパリティビット T とによって表される符号語 $c = [A|T]$ を、情報ビット A のLDPC符号化結果として出力する。

[0190] その後、ステップ S206 において、制御部 616 は、LDPC符号化を終了するかどうかを判定する。ステップ S206 において、LDPC符号化を終了しないと判定された場合、すなわち、例えば、LDPC符号化すべきLDPC対象デー

タが、まだある場合、処理は、ステップS 2 0 1（又は、ステップS 2 0 4）に戻り、以下、ステップS 2 0 1（又は、ステップS 2 0 4）ないしS 2 0 6の処理が繰り返される。

[0191] また、ステップS 2 0 6において、LDPC符号化を終了すると判定された場合、すなわち、例えば、LDPC符号化すべきLDPC対象データがない場合、LDPCエンコーダ1 1 5は、処理を終了する。

[0192] 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エンコーダ1 1 5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。

[0193] <検査行列初期値テーブルの例>

[0194] 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1 0）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。

[0195] 図2 0は、検査行列初期値テーブルの例を示す図である。

[0196] すなわち、図2 0は、DVB-T.2の規格に規定されている、符号長 N が16200ビットの、符号化率（DVB-T.2の表記上の符号化率） r が $1/4$ の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0197] 検査行列生成部6 1 3（図1 8）は、検査行列初期値テーブルを用いて、以下のように、検査行列 H を求める。

[0198] 図2 1は、検査行列初期値テーブルから検査行列 H を求める方法を説明する図である。

[0199] すなわち、図2 1は、DVB-T.2の規格に規定されている、符号長 N が16200ビットの、符号化率 r が $2/3$ の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示している。

[0200] 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 10) 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。

[0201] 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 10) は、図 15 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 10) が求められる。

[0202] 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。

[0203] 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。

$$[0204] \quad K = (k+1) \times 360$$

. . . (9)

[0205] ここで、式 (9) の 360 は、図 16 で説明した巡回構造の単位の列数 P である。

[0206] 図 21 の検査行列初期値テーブルでは、1 行目から 3 行目までに、13 個の数値が並び、4 行目から $k+1$ 行目 (図 21 では、30 行目) までに、3 個の数値が並んでいる。

[0207] したがって、図 21 の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列 H の列重みは、1 列目から、 $1+360 \times (3-1)-1$ 列目までは、13 であり、 $1+360 \times (3-1)$ 列目から、 K 列目までは、3 である。

[0208] 図 21 の検査行列初期値テーブルの 1 行目は、0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622 となっており、これは、検査行列 H の 1 列目において、行番号が、0, 2084, 1613, 1548, 1286, 1460, 3196, 4297, 2481, 3369, 3451, 4620, 2622 の行の要素が 1 であること (かつ、他の要素が 0 であること) を示している。

[0209] また、図 21 の検査行列初期値テーブルの 2 行目は、1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108 となっており、これは、検査行列

Hの361 ($= 1 + 360 \times (2 - 1)$) 列目において、行番号が、1, 122, 1516, 3448, 2880, 1407, 1847, 3799, 3529, 373, 971, 4358, 3108の行の要素が1であることを示している。

[0210] 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。

[0211] 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。

[0212] 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。

[0213] いま、検査行列初期値テーブルの*i*行目（上から*i*番目）の*j*列目（左から*j*番目）の数値を、 $h_{i,j}$ と表すとともに、検査行列Hの*w*列目の、*j*個目の1の要素の行番号を、 H_{w-j} と表すこととすると、検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列目以外の列である*w*列目の、1の要素の行番号 H_{w-j} は、式（10）で求めることができる。

$$[0214] \quad H_{w-j} = \text{mod} \{ h_{i,j} + \text{mod}((w-1), P) \times q, M \} \quad \dots (10)$$

[0215] ここで、 $\text{mod}(x, y)$ は x を y で割った余りを意味する。

[0216] 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, DVB-T.2、及び、DVB-C.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。

[0217] 検査行列生成部613（図18）は、検査行列初期値テーブルによって、検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列目の1の要素の行番号を特定する。

[0218] さらに、検査行列生成部613（図18）は、検査行列Hの $1+360 \times (i-1)$ 列

目以外の列である w 列目の、1の要素の行番号 H_{w-j} を、式(10)に従って求め、以上により得られた行番号の要素を1とする検査行列 H を生成する。

[0219] <新LDPC符号>

[0220] ところで、現在、ATSC3.0と呼ばれる、地上波のデジタルテレビジョン放送の規格が策定中である。

[0221] そこで、ATSC3.0その他のデータ伝送において用いることができる、新たなLDPC符号（以下、新LDPC符号ともいう）について説明する。

[0222] なお、新LDPC符号については、DVB-T.2等との親和性(compatibility)を、なるべく維持する観点から、DVB-T.2等に規定されているLDPC符号と同様に、検査行列 H のパリティ行列 H_T は、階段構造とする（図11）。

[0223] さらに、新LDPC符号については、DVB-T.2等に規定されているLDPC符号と同様に、検査行列 H の情報行列 H_A は、巡回構造とし、巡回構造の単位の列数 P は、360とする。

[0224] LDPCエンコーダ115（図8、図18）は、以下のような、符号長 N が16kビット又は64kビットで、符号化率 r が6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15、若しくは、13/15のうちのいずれかの新LDPC符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列 H を用いて、新LDPC符号へのLDPC符号化を行うことができる。

[0225] この場合、LDPCエンコーダ115（図8）の記憶部602には、新LDPC符号の検査行列初期値テーブルが記憶される。

[0226] 図22、図23、及び、図24は、符号長 N が64kビットで、符号化率 r が7/15の第1の新LDPC符号（以下、(64k, 7/15)の第1の新LDPC符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0227] なお、図23は、図22に続く図であり、図24は、図23に続く図である。

[0228] 図25、図26、及び、図27は、符号長 N が64kビットで、符号化率 r が9/15の第1の新LDPC符号（以下、(64k, 9/15)の第1の新LDPC符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0229] なお、図 26 は、図 25 に続く図であり、図 27 は、図 26 に続く図である。

[0230] 図 28、図 29、及び、図 30 は、符号長 N が 64k ビットで、符号化率 r が $11/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(64k, 11/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0231] なお、図 29 は、図 28 に続く図であり、図 30 は、図 29 に続く図である。

[0232] 図 31、図 32、及び、図 33 は、符号長 N が 64k ビットで、符号化率 r が $13/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(64k, 13/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0233] なお、図 32 は、図 31 に続く図であり、図 33 は、図 32 に続く図である。

[0234] 図 34 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $6/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(16k, 6/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0235] 図 35 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $8/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(16k, 8/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0236] 図 36 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $10/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(16k, 10/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0237] 図 37 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $12/15$ の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(16k, 12/15) の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0238] 図 38 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $10/15$ の他の第 1 の新 LDPC 符号（以下、(16k, 10/15) の他の第 1 の新 LDPC 符号ともいう）の検査行列 H に対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0239] 図 39 は、符号長 N が 16k ビットで、符号化率 r が $12/15$ の他の第 1 の新 LDPC

符号（以下、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0240] 図40、及び、図41は、符号長Nが64kビットで、符号化率rが6/15の第2の新LDPC符号（以下、(64k, 6/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0241] なお、図41は、図40に続く図である。

[0242] 図42、図43、及び、図44は、符号長Nが64kビットで、符号化率rが8/15の第2の新LDPC符号（以下、(64k, 8/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0243] なお、図43は、図42に続く図であり、図44は、図43に続く図である。

[0244] 図45、図46、及び、図47は、符号長Nが64kビットで、符号化率rが10/15の第2の新LDPC符号（以下、(64k, 10/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0245] なお、図46は、図45に続く図であり、図47は、図46に続く図である。

[0246] 図48、図49、及び、図50は、符号長Nが64kビットで、符号化率rが12/15の第2の新LDPC符号（以下、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0247] なお、図49は、図48に続く図であり、図50は、図49に続く図である。

[0248] 図51は、符号長Nが16kビットで、符号化率rが7/15の第2の新LDPC符号（以下、(16k, 7/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0249] 図52は、符号長Nが16kビットで、符号化率rが9/15の第2の新LDPC符号（以下、(16k, 9/15)の第2の新LDPC符号ともいう）の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0250] 図53は、符号長Nが16kビットで、符号化率rが11/15の第2の新LDPC符号

(以下、(16k, 11/15)の第2の新LDPC符号ともいう)の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0251] 図54は、符号長Nが16kビットで、符号化率rが13/15の第2の新LDPC符号(以下、(16k, 13/15)の第2の新LDPC符号ともいう)の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブルを示す図である。

[0252] なお、図40ないし図54の第2のLDPC符号(の検査行列Hに対する検査行列初期値テーブル)は、Samsungより提供されたLDPC符号である。

[0253] 第1の新LDPC符号、及び、他の第1の新LDPC符号は、性能の良いLDPC符号になっている。

[0254] ここで、性能の良いLDPC符号とは、適切な検査行列Hから得られるLDPC符号である。

[0255] また、適切な検査行列Hとは、検査行列Hから得られるLDPC符号を、低い E_b/N_0 、又は E_b/N_0 (1ビットあたりの信号電力対雑音電力比)で送信したときに、BER(及びFER)をより小にする、所定の条件を満たす検査行列である。

[0256] 適切な検査行列Hは、例えば、所定の条件を満たす様々な検査行列から得られるLDPC符号を、低い E_b/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。

[0257] 適切な検査行列Hが満たすべき所定の条件としては、例えば、デンシティエボリューション(Density Evolution)と呼ばれる符号の性能の解析法で得られる解析結果が良好であること、サイクル4と呼ばれる、1の要素のループが存在しないこと、等がある。

[0258] ここで、情報行列 H_A において、サイクル4のように、1の要素が密集していると、LDPC符号の復号性能が劣化することが知られており、このため、適切な検査行列Hが満たすべき所定の条件として、サイクル4が存在しないことが要求される。

[0259] 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。

[0260] 図55及び図56は、適切な検査行列Hが満たすべき所定の条件としての解析結果が得られるデンシティエボリューションを説明する図である。

[0261] デンシティエボリューションとは、後述するデグリーシーケンス (degree sequence) で特徴付けられる符号長 N が ∞ のLDPC符号全体 (アンサンブル (ensemble)) に対して、そのエラー確率の期待値を計算する、符号の解析法である。

[0262] 例えば、AWGNチャネル上で、ノイズの分散値を0からどんどん大きくしていくと、あるアンサンブルのエラー確率の期待値は、最初は0であるが、ノイズの分散値が、ある閾値 (threshold) 以上となると、0ではなくなる。

[0263] デンシティエボリューションによれば、そのエラー確率の期待値が0ではなくなる、ノイズの分散値の閾値 (以下、性能閾値ともいう) を比較することで、アンサンブルの性能 (検査行列の適切さ) の良し悪しを決めることができる。

[0264] なお、具体的なLDPC符号に対して、そのLDPC符号が属するアンサンブルを決定し、そのアンサンブルに対してデンシティエボリューションを行うと、そのLDPC符号のおおまかな性能を予想することができる。

[0265] したがって、性能の良いLDPC符号は、性能の良いアンサンブルを見つけられれば、そのアンサンブルに属するLDPC符号の中から見つけることができる。

[0266] ここで、上述のデグリーシーケンスとは、LDPC符号の符号長 N に対して、各値の重みをもつバリアブルノードやチェックノードがどれくらいの割合だけあるかを表す。

[0267] 例えば、符号化率が $1/2$ のregular (3, 6) LDPC符号は、すべてのバリアブルノードの重み (列重み) が3で、すべてのチェックノードの重み (行重み) が6であるというデグリーシーケンスによって特徴付けられるアンサンブルに属する。

[0268] 図55は、そのようなアンサンブルのタナーグラフ (Tanner graph) を示している。

[0269] 図55のタナーグラフでは、図中丸印 (○印) で示すバリアブルノードが

、符号長 N に等しい N 個だけ存在し、図中四角形（□印）で示すチェックノードが、符号長 N に符号化率 $1/2$ を乗算した乗算値に等しい $N/2$ 個だけ存在する。

[0270] 各バリエブルノードには、列重みに等しい3本の枝(edge)が接続されており、したがって、 N 個のバリエブルノードに接続している枝は、全部で、 $3N$ 本だけ存在する。

[0271] また、各チェックノードには、行重みに等しい6本の枝が接続されており、したがって、 $N/2$ 個のチェックノードに接続している枝は、全部で、 $3N$ 本だけ存在する。

[0272] さらに、図55のタナーグラフでは、1つのインターリーバが存在する。

[0273] インターリーバは、 N 個のバリエブルノードに接続している $3N$ 本の枝をランダムに並べ替え、その並べ替え後の各枝を、 $N/2$ 個のチェックノードに接続している $3N$ 本の枝のうちのいずれかに繋げる。

[0274] インターリーバでの、 N 個のバリエブルノードに接続している $3N$ 本の枝を並べ替える並べ替えパターンは、 $(3N)!$ ($= (3N) \times (3N-1) \times \dots \times 1$) 通りだけある。したがって、すべてのバリエブルノードの重みが3で、すべてのチェックノードの重みが6であるというデグリーリーケンスによって特徴付けられるアンサンブルは、 $(3N)!$ 個のLDPC符号の集合となる。

[0275] 性能の良いLDPC符号（適切な検査行列）を求めるシミュレーションでは、デンシティエボリューションにおいて、マルチエッジタイプ(multi-edge type)のアンサンブルを用いた。

[0276] マルチエッジタイプでは、バリエブルノードに接続している枝と、チェックノードに接続している枝とが経由するインターリーバが、複数(multi edge)に分割され、これにより、アンサンブルの特徴付けが、より厳密に行われる。

[0277] 図56は、マルチエッジタイプのアンサンブルのタナーグラフの例を示している。

[0278] 図56のタナーグラフでは、第1インターリーバと第2インターリーバとの2つのインターリーバが存在する。

[0279] また、図56のタナーグラフでは、第1インターリーバに繋がる枝が1本で、第2インターリーバに繋がる枝が0本のバリエブルノードが v_1 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が1本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のバリエブルノードが v_2 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が0本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のバリエブルノードが v_3 個だけ、それぞれ存在する。

[0280] さらに、図56のタナーグラフでは、第1インターリーバに繋がる枝が2本で、第2インターリーバに繋がる枝が0本のチェックノードが c_1 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が2本で、第2インターリーバに繋がる枝が2本のチェックノードが c_2 個だけ、第1インターリーバに繋がる枝が0本で、第2インターリーバに繋がる枝が3本のチェックノードが c_3 個だけ、それぞれ存在する。

[0281] 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。

[0282] 第1の新LDPC符号及び、他の第1の新LDPC符号（の検査行列初期値テーブル）を求めるシミュレーションでは、マルチエッジタイプのデンシティエボリューションによって、BERが落ち始める（小さくなっていく） E_b/N_0 （1ビットあたりの信号電力対雑音電力比）である性能閾値が、所定値以下になるアンサンブルを見つけ、そのアンサンブルに属するLDPC符号の中から、QPSK等の1以上の直交変調を用いた場合のBERを小さくするLDPC符号を、性能の良いLDPC符号として選択した。

[0283] 上述の第1の新LDPC符号及び、他の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルは、以上のようなシミュレーションにより求められた。

[0284] したがって、かかる検査行列初期値テーブルから得られる第1の新LDPC符号及び、他の第1の新LDPC符号によれば、データ伝送において、良好な通信品質を確保することができる。

- [0285] 図5 7は、図2 2ないし図3 3の(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列H（以下、「(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列H」のようにも記載する）の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。
- [0286] ここで、最小サイクル長(girth)とは、検査行列Hにおいて、1の要素によって構成されるループの長さ（ループ長）の最小値を意味する。
- [0287] (64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hには、いずれにも、サイクル4（ループ長が4の、1の要素のループ）は、存在しない。
- [0288] また、(64k, 7/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、-0.093751に、(64k, 9/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、1.658523に、(64k, 11/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、3.351930に、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、5.301749に、それぞれなっている。
- [0289] 図5 8は、図2 2ないし図3 3の(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。
- [0290] (64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hの1列目からのKX1列については、列重みがX1に、その後のKX2列については、列重みがX2に、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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。
- [0291] ここで、 $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ は、(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の符号長 $N=64800$ ビットに等しい。
- [0292] 図5 9は、(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hの、図5 8の列数KX1, KX2, KY1, KY2、及びM、並びに、列重みX1, X2, Y1、及び、Y2を示す図である。
- [0293] (64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hについては、図1 2及び図1 3で説明した検査行列と同様

に、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、新LDPC符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い（エラーに対する耐性がある）傾向がある。

[0294] 図60は、(64k, 7/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)を計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0295] 図61は、(64k, 9/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0296] 図62は、(64k, 11/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0297] 図63は、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0298] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数Cとして、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想定した。

[0299] 図60ないし図63において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BER/FERを表す。なお、実線がBERを表し、点線がFERを表す。

[0300] 図60ないし図63によれば、(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号について、良好なBER/FERが得られており、したがって、(64k, 7/15), (64k, 9/15), (64k, 11/15)、及び、(64k, 13/15)の第1の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。

[0301] 図64は、図34ないし図37の(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hの最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

- [0302] (16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDP C符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hには、いずれにも、サイクル4は、存在しない。
- [0303] また、(16k, 6/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、0.01に、(16k, 8/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、0.805765に、(16k, 10/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、2.471011に、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号の性能閾値は、4.269922に、それぞれなっている。
- [0304] 図65は、図34ないし図37の(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。
- [0305] (16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDP C符号の検査行列Hの1列目からのKX1列については、列重みがX1に、その後のKX2列については、列重みがX2に、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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。
- [0306] ここで、 $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ は、(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号の符号長 $N=16200$ ビットに等しい。
- [0307] 図66は、(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号の検査行列Hの、図65の列数KX1, KX2, KY1, KY2、及びM、並びに、列重みX1, X2, Y1、及び、Y2を示す図である。
- [0308] (16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDP C符号の検査行列Hについては、図12及び図13で説明した検査行列と同様に、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、新LDP C符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い傾向がある。
- [0309] 図67は、(16k, 6/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)を計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0310] 図68は、(16k, 8/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション

結果を示す図である。

[0311] 図69は、(16k, 10/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0312] 図70は、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0313] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数Cとして、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想定した。

[0314] 図67ないし図70において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BER/FERを表す。なお、実線がBERを表し、点線がFERを表す。

[0315] 図67ないし図70によれば、(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号について、良好なBER/FERが得られており、したがって、(16k, 6/15), (16k, 8/15), (16k, 10/15)、及び、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。

[0316] 図71は、図38の(16k, 10/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hの最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[0317] (16k, 10/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列Hには、サイクル4は、存在しない。

[0318] (16k, 10/15)の他の第1の新LDPC符号の性能閾値は、1.35になっている。

[0319] 図72は、(16k, 10/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

[0320] (16k, 10/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hの1列目からのKX列については、列重みがXに、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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、それぞれになっている。

[0321] ここで、 $KX+KY1+KY2+M-1+1$ は、 $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号の符号長 $N=16200$ ビットに等しい。

[0322] 図73は、 $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号の検査行列 H の、図72の列数 KX , $KY1$, $KY2$ 、及び M 、並びに、列重み X , $Y1$ 、及び、 $Y2$ を示す図である。

[0323] $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号の検査行列 H については、図12及び図13で説明した検査行列と同様に、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、新LDPC符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い傾向がある。

[0324] 図74は、 $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号について、変調方式としてBPSKを採用して行った、BERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0325] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数 C として、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想定した。

[0326] 図74において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BERを表す。

[0327] 図74によれば、 $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号について、良好なBERが得られており、したがって、 $(16k, 10/15)$ の他の第1の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。

[0328] 図75は、図39の $(16k, 12/15)$ の他の第1の新LDPC符号の検査行列 H の最小サイクル長と性能閾値とを示す図である。

[0329] $(16k, 12/15)$ の他の第1の新LDPC符号の検査行列初期値テーブルから求められる検査行列 H には、サイクル4は、存在しない。

[0330] また、 $(16k, 12/15)$ の他の第1の新LDPC符号の性能閾値は、4.237556になっている。

[0331] 図76は、図39の $(16k, 12/15)$ の他の第1の新LDPC符号の検査行列 H を説明する図である。

- [0332] (16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hの1列目からのKX1列については、列重みがX1に、その後のKX2列については、列重みがX2に、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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。
- [0333] ここで、 $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ は、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号の符号長 $N=16200$ ビットに等しい。
- [0334] 図77は、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hの、図76の列数KX1, KX2, KY1, KY2、及びM、並びに、列重みX1, X2, Y1、及び、Y2を示す図である。
- [0335] (16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号の検査行列Hについては、図12及び図13で説明した検査行列と同様に、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、新LDPC符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い傾向がある。
- [0336] 図78は、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FER(Bit Error Rate/Frame Error Rate)を計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0337] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数Cとして、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想定した。
- [0338] 図78において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BER/FERを表す。なお、実線がBERを表し、点線がFERを表す。
- [0339] 図78によれば、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号について、良好なBER/FERが得られており、したがって、(16k, 12/15)の他の第1の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。
- [0340] 図79は、図40ないし図50の(64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

- [0341] (64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号の検査行列Hの1列目からのKX1列については、列重みがX1に、その後のKX2列については、列重みがX2に、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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。
- [0342] ここで、 $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ は、(64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号の符号長 $N=64800$ ビットに等しい。
- [0343] 図80は、(64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号の検査行列Hの、図79の列数KX1, KX2, KY1, KY2、及びM、並びに、列重みX1, X2, Y1、及び、Y2を示す図である。
- [0344] (64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号の検査行列Hについては、図12及び図13で説明した検査行列と同様に、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、新LDPC符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い傾向がある。
- [0345] 図81は、(64k, 6/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0346] 図82は、(64k, 8/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0347] 図83は、(64k, 10/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0348] 図84は、(64k, 12/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0349] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数Cとして、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想

定した。

[0350] 図 8 1 ないし図 8 4 において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BER/FERを表す。なお、実線がBERを表し、点線がFERを表す。

[0351] 図 8 1 ないし図 8 4 によれば、(64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第 2 の新LDPC符号について、良好なBER/FERが得られており、したがって、(64k, 6/15), (64k, 8/15), (64k, 10/15)、及び、(64k, 12/15)の第 2 の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。

[0352] 図 8 5 は、図 5 1 ないし図 5 4 の(16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第 2 の新LDPC符号の検査行列Hを説明する図である。

[0353] (16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第 2 の新LDPC符号の検査行列Hの 1 列目からのKX1列については、列重みがX1に、その後のKX2列については、列重みがX2に、その後のKY1列については、列重みがY1に、その後のKY2列については、列重みがY2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。

[0354] ここで、 $KX1+KX2+KY1+KY2+M-1+1$ は、(16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第 2 の新LDPC符号の符号長 $N=16200$ ビットに等しい。

[0355] 図 8 6 は、(16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第 2 の新LDPC符号の検査行列Hの、図 8 5 の列数KX1, KX2, KY1, KY2、及びM、並びに、列重みX1, X2, Y1、及び、Y2を示す図である。

[0356] (16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第 2 の新LDPC符号の検査行列Hについては、図 1 2 及び図 1 3 で説明した検査行列と同様に、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、新LDPC符号の先頭の符号ビットほど、エラーに強い傾向がある。

[0357] 図 8 7 は、(16k, 7/15)の第 2 の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0358] 図 8 8 は、(16k, 9/15)の第 2 の新LDPC符号について、変調方式としてQPSK

を採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0359] 図89は、(16k, 11/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0360] 図90は、(16k, 13/15)の第2の新LDPC符号について、変調方式としてQPSKを採用して行った、BER/FERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0361] シミュレーションでは、LDPC符号を復号する際の繰り返し復号回数Cとして、50回を採用するとともに、通信路13（図7）として、AWGNチャネルを想定した。

[0362] 図87ないし図90において、横軸は、 E_s/N_0 を表し、縦軸は、BER/FERを表す。なお、実線がBERを表し、点線がFERを表す。

[0363] 図87ないし図90によれば、(16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第2の新LDPC符号について、良好なBER/FERが得られており、したがって、(16k, 7/15), (16k, 9/15), (16k, 11/15)、及び、(16k, 13/15)の第2の新LDPC符号を用いたデータ伝送において、良好な通信品質が確保されることを確認することができる。

[0364] なお、図79ないし図90は、Samsungより提供されたデータに基づく。

[0365] <コンスタレーション>

[0366] 図91は、図7の伝送システムで採用するコンスタレーションの種類の例を示す図である。

[0367] 図7の伝送システムでは、例えば、ATSC3.0で採用予定のコンスタレーションを採用することができる。

[0368] 図91は、ATSC3.0で採用予定の(IQ)コンスタレーションの種類を示している。

[0369] ATSC3.0では、変調方式とLDPC符号との組み合わせであるMODCODに対して、そのMODCODで使用するコンスタレーションが設定される。

[0370] ここで、ATSC3.0では、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM、及び、1024QAM(1kQAM)の5種類の変調方式が採用予定である。

[0371] また、ATSC3.0では、16kビットと64kビットとの2種類の符号長 N それぞれについて、6/15、7/15、8/15、9/15、10/15、11/15、12/15、及び、13/15の8種類の符号化率 r のLDPC符号、すなわち、16種類のLDPC符号の採用が予定されている。

[0372] ATSC3.0では、16種類のLDPC符号を、符号化率 r によって、(符号長 N によらない) 8種類に分類し、その8種類のLDPC符号(符号化率 r が、6/15、7/15、8/15、9/15、10/15、11/15、12/15、及び、13/15のLDPC符号それぞれ)と、5種類の変調方式との40(=8×5)種類の組み合わせを、コンスタレーションの設定が可能なMODCODとして採用することが予定されている。

[0373] したがって、ATSC3.0では、MODCODは、LDPC符号の8種類の符号化率 r と、5種類の変調方式との組み合わせを表す。

[0374] 図91において、“NUC Shape”の欄に記載されている、例えば、“NUC_16_6/15”等が、その“NUC Shape”の欄の行に対応するMODCODに使用するコンスタレーションを表す。

[0375] ここで、例えば、“NUC_16_6/15”は、変調方式が16QAMであり、LDPC符号の符号化率 r が6/15のMODCODで使用するコンスタレーションを表す。

[0376] 図91によれば、変調方式がQPSKである場合には、LDPC符号の8種類の符号化率 r について、同一のコンスタレーションが使用される。

[0377] また、図91によれば、変調方式が、16QAM、64QAM、256QAM、又は、1024QAMである場合には、LDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれごとに異なるコンスタレーションが使用される。

[0378] したがって、ATSC3.0では、QPSKについては、1種類のコンスタレーションが用意され、16QAM、64QAM、256QAM、及び、1024QAMについては、それぞれ、8種類のコンスタレーションが用意されている。

[0379] ここで、コンスタレーションには、信号点の配置が一様になっているUC(Uniform Constellation)と、一様になっていないNUC(Non Uniform Constellation)

on)とがある。

[0380] また、NUCには、例えば、1D NUC(1-dimensional M²-QAM non-uniform constellation)と呼ばれるコンスタレーションや、2D NUC(2-dimensional QAM non-uniform constellation)と呼ばれるコンスタレーション等がある。

[0381] QPSKのコンスタレーションとしては、UCが採用される。また、16QAM、64QAM、及び、256QAMのコンスタレーションとしては、例えば、2D NUCが採用される。1024QAMのコンスタレーションとしては、例えば、1D NUCが採用される。

[0382] 図9 2は、変調方式が16QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[0383] 図9 3は、変調方式が64QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[0384] 図9 4は、変調方式が256QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[0385] 図9 5は、変調方式が1024QAMである場合のLDPC符号の8種類の符号化率 r それぞれに対するコンスタレーションの例を示す図である。

[0386] 図9 2ないし図9 5において、横軸及び縦軸は、それぞれ、I軸及びQ軸であり、 $\text{Re}\{x_i\}$ 及び $\text{Im}\{x_i\}$ は、それぞれ、信号点 x_i の座標としての、信号点 x_i のリアルパート及びイマジナリパートを表す。

[0387] また、図9 2ないし図9 5において、“for CR”の後に記載されている数値は、LDPC符号の符号化率 r を表す。

[0388] なお、LDPC符号の符号化率 r が、7/15、9/15、11/15、及び、13/15のコンスタレーションは、Samsungより提供されたデータに基づく。

[0389] 図9 6は、変調方式が16QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

[0390] 図9 7は、変調方式が64QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。

- [0391] 図98は、変調方式が256QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、1D NUC、及び、2D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0392] 図99は、変調方式が1024QAMである場合のコンスタレーションとして、UC、及び、1D NUCのそれぞれを使用した場合のBERを計測するシミュレーションのシミュレーション結果を示す図である。
- [0393] 図96ないし図99において、横軸は、SNR(Signal to Noise Ratio)を表し、縦軸は、BERを表す。
- [0394] 変調方式が、16QAM、64QAM、又は、256QAMである場合には、図96ないし図98に示すように、UCよりも1D NUCの方が、BERが改善し、さらに、1D NUCよりも2D NUCの方が、BERが改善することを確認することができる。
- [0395] また、変調方式が、1024QAMである場合には、図99に示すように、UCよりも1D NUCの方が、BERが改善することを確認することができる。
- [0396] 図100は、変調方式がQPSKである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r ($=6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15$ 、及び、 $13/15$)について共通に使用されるUCの信号点の座標を示す図である。
- [0397] 図100において、“Input cell word y ”は、QPSKのUCにマッピングする2ビットのシンボルを表し、“Constellation point z_q ”は、信号点 z_q の座標を表す。なお、信号点 z_q のインデクス q は、シンボルの離散時間（あるシンボルと次のシンボルとの間の時間間隔）を表す。
- [0398] 図100では、信号点 z_q の座標は、複素数の形で表されており、 i は、虚数単位($\sqrt{-1}$)を表す。
- [0399] 図101は、変調方式が16QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。
- [0400] 図102は、変調方式が64QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。
- [0401] 図103は、変調方式が256QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される2D NUCの信号点の座標を示す図である。

- [0402] 図101ないし図103において、 $\text{NUC_}2^m_r$ は、変調方式が 2^mQAM で、LDPC符号の符号化率が r である場合に使用される2D NUCの信号点の座標を表す。
- [0403] 図101ないし図103では、図100と同様に、信号点 z_q の座標は、複素数の形で表されており、 i は、虚数単位を表す。
- [0404] 図101ないし図103において、 $w\#k$ は、コンスタレーションの第1象限の信号点の座標を表す。
- [0405] 2D NUCにおいて、コンスタレーションの第2象限の信号点は、第1象限の信号点を、 Q 軸に対して対称に移動した位置に配置され、コンスタレーションの第3象限の信号点は、第1象限の信号点を、原点に対して対称に移動した位置に配置される。そして、コンスタレーションの第4象限の信号点は、第1象限の信号点を、 I 軸に対して対称に移動した位置に配置される。
- [0406] ここで、変調方式が 2^mQAM である場合には、 m ビットを1個のシンボルとして、その1個のシンボルが、そのシンボルに対応する信号点にマッピングされる。
- [0407] m ビットのシンボルは、例えば、 0 ないし 2^m-1 の整数値で表現されるが、いま、 $b=2^m/4$ とすると、 0 ないし 2^m-1 の整数値で表現されるシンボル $y(0)$, $y(1)$, $\dots$, $y(2^m-1)$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$, $y(b)$ ないし $y(2b-1)$, $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ 、及び、 $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の4つに分類することができる。
- [0408] 図101ないし図103において、 $w\#k$ のサフィックス k は、 0 ないし $b-1$ の範囲の整数値をとり、 $w\#k$ は、シンボル $y(0)$ ないし $y(b-1)$ の範囲のシンボル $y(k)$ に対応する信号点の座標を表す。
- [0409] そして、シンボル $y(b)$ ないし $y(2b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+b)$ に対応する信号点の座標は、 $-\text{conj}(w\#k)$ で表され、シンボル $y(2b)$ ないし $y(3b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+2b)$ に対応する信号点の座標は、 $\text{conj}(w\#k)$ で表される。また、シンボル $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+3b)$ に対応する信号点の座標は、 $-w\#k$ で表される。
- [0410] ここで、 $\text{conj}(w\#k)$ は、 $w\#k$ の複素共役を表す。
- [0411] 例えば、変調方式が 16QAM である場合には、 $m=4$ ビットのシンボル $y(0)$, $y(1)$

), $\dots$, $y(15)$ は、 $b=2^4/4=4$ として、シンボル $y(0)$ ないし $y(3)$, $y(4)$ ないし $y(7)$, $y(8)$ ないし $y(11)$ 、及び、 $y(12)$ ないし $y(15)$ の4つに分類される。

[0412] そして、シンボル $y(0)$ ないし $y(15)$ のうちの、例えば、シンボル $y(12)$ は、シンボル $y(3b)$ ないし $y(4b-1)$ の範囲のシンボル $y(k+3b)=y(0+3\times 4)$ であり、 $k=0$ であるから、シンボル $y(12)$ に対応する信号点の座標は、 $-w\#k=-w_0$ となる。

[0413] いま、LDPC符号の符号化率 r が、例えば、 $9/15$ であるとする、図101によれば、変調方式が16QAMで、符号化率 r が、 $9/15$ である場合(NUC_16_9/15)の w_0 は、 $0.4909+1.2007i$ であるので、シンボル $y(12)$ に対応する信号点の座標 $-w_0$ は、 $-(0.4909+1.2007i)$ となる。

[0414] 図104は、変調方式が1024QAMである場合に、LDPC符号の8種類の符号化率 r について使用される1D NUCの信号点の座標を示す図である。

[0415] 図104において、NUC_1k_rの列は、変調方式が1024QAMで、LDPC符号の符号化率が r である場合に使用される1D NUCの信号点の座標を表す $u\#k$ がとる値を表す。

[0416] $u\#k$ は、1D NUCの信号点 z_q の座標としての複素数のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を表す。

[0417] 図105は、シンボル y と、そのシンボル y に対応する1D NUCの信号点 z_q の座標を表す複素数のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ 及びイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ それぞれとしての $u\#k$ との関係を示す図である。

[0418] いま、1024QAMの10ビットのシンボル y を、その先頭のビット（最上位ビット）から、 $y_{0,q}$, $y_{1,q}$, $y_{2,q}$, $y_{3,q}$, $y_{4,q}$, $y_{5,q}$, $y_{6,q}$, $y_{7,q}$, $y_{8,q}$, $y_{9,q}$ と表すこととする。

[0419] 図105のAは、シンボル y の奇数番目の5ビット $y_{0,q}$, $y_{2,q}$, $y_{4,q}$, $y_{6,q}$, $y_{8,q}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_q の（座標の）リアルパート $\text{Re}(z_q)$ を表す $u\#k$ との対応関係を表している。

[0420] 図105のBは、シンボル y の偶数番目の5ビット $y_{1,q}$, $y_{3,q}$, $y_{5,q}$, $y_{7,q}$, $y_{9,q}$ と、そのシンボル y に対応する信号点 z_q の（座標の）イマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ を表す $u\#k$ との対応関係を表している。

- [0421] 1024QAMの10ビットのシンボル $y=(y_{0,q}, y_{1,q}, y_{2,q}, y_{3,q}, y_{4,q}, y_{5,q}, y_{6,q}, y_{7,q}, y_{8,q}, y_{9,q})$ が、例えば、 $(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ である場合、奇数番目の5ビット $(y_{0,q}, y_{2,q}, y_{4,q}, y_{6,q}, y_{8,q})$ は、 $(0, 1, 0, 1, 0)$ であり、偶数番目の5ビット $(y_{1,q}, y_{3,q}, y_{5,q}, y_{7,q}, y_{9,q})$ は、 $(0, 0, 1, 1, 0)$ である。
- [0422] 図105のAでは、奇数番目の5ビット $(0, 1, 0, 1, 0)$ は、 u_3 に対応付けられており、したがって、シンボル $y=(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ は、 u_3 になる。
- [0423] また、図105のBでは、偶数番目の5ビット $(0, 0, 1, 1, 0)$ は、 u_{11} に対応付けられており、したがって、シンボル $y=(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_q のイマジナリパート $\text{Im}(z_q)$ は、 u_{11} になる。
- [0424] 一方、LDPC符号の符号化率 r が、例えば、 $7/15$ であるとする、上述の図104によれば、変調方式が1024QAMで、LDPC符号の符号化率 $r=7/15$ である場合に使用される1D NUC(NUC_1k_7/15)については、 u_3 は、1.04であり、 u_{11} は、6.28である。
- [0425] したがって、シンボル $y=(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_q のリアルパート $\text{Re}(z_q)$ は、 $u_3=1.04$ になり、 $\text{Im}(z_q)$ は、 $u_{11}=6.28$ になる。その結果、シンボル $y=(0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0)$ に対応する信号点 z_q の座標は、 $1.04+6.28i$ で表される。
- [0426] なお、1D NUCの信号点は、I軸に平行な直線上やQ軸に平行な直線上に、格子状に並ぶ。但し、信号点どうしの間隔は、一定にはならない。また、信号点（にマッピングされたデータ）の送信にあたって、コンスタレーション上の信号点の平均電力は正規化される。正規化は、コンスタレーション上の信号点（の座標）のすべてについての絶対値の自乗平均値を P_{ave} と表すこととすると、その自乗平均値 P_{ave} の平方根 $\sqrt{P_{\text{ave}}}$ の逆数 $1/(\sqrt{P_{\text{ave}}})$ を、コンスタレーション上の各信号点 z_q に乗算することによって行われる。
- [0427] 図92ないし図105で説明したコンスタレーションによれば、良好なエラーレートが得られることが確認されている。
- [0428] <ブロックインターリーバ25>

[0429] 図106は、図9のブロックインターリーブ25の構成例を示すブロック図である。

[0430] ブロックインターリーブ25は、パート1(part 1)と呼ばれる記憶領域と、パート2(part 2)と呼ばれる記憶領域とを有する。

[0431] パート1及び2は、いずれも、ロウ（横）方向に、1ビットを記憶し、カラム（縦）方向に所定のビット数を記憶する記憶領域としてのカラム(column)が、ロウ方向に、シンボルのビット数 m に等しい数 C だけ並んで構成される。

[0432] パート1のカラムがカラム方向に記憶するビット数（以下、パートカラム長ともいう）を、 $R1$ と表すとともに、パート2のカラムのパートカラム長を、 $R2$ と表すこととすると、 $(R1+R2) \times C$ は、ブロックインターリーブの対象のLDPC符号の符号長 N （本実施の形態では、64800ビット、又は、16200ビット）に等しい。

[0433] また、パートカラム長 $R1$ は、巡回構造の単位の列数 P である360ビットの倍数に等しく、パートカラム長 $R2$ は、パート1のパートカラム長 $R1$ とパート2のパートカラム長 $R2$ との和（以下、カラム長ともいう） $R1+R2$ を、巡回構造の単位の列数 P である360ビットで除算したときの剰余に等しい。

[0434] ここで、カラム長 $R1+R2$ は、ブロックインターリーブの対象のLDPC符号の符号長 N を、シンボルのビット数 m で除算した値に等しい。

[0435] 例えば、符号長 N が16200ビットのLDPC符号について、変調方式として、16QAMを採用する場合には、シンボルのビット数 m は、4ビットであるから、カラム長 $R1+R2$ は、4050($=16200/4$)ビットになる。

[0436] さらに、カラム長 $R1+R2=4050$ を、巡回構造の単位の列数 P である360ビットで除算したときの剰余は、90であるから、パート2のパートカラム長 $R2$ は、90ビットとなる。

[0437] そして、パート1のパートカラム長 $R1$ は、 $R1+R2-R2=4050-90=3960$ ビットとなる。

[0438] 図107は、符号長 N と変調方式との組み合わせに対するパート1及び2のカラム数 C 、並びに、パートカラム長（行数） $R1$ 及び $R2$ を示す図である。

- [0439] 図 107 には、符号長 N が 16200 ビット及び 64800 ビットの LDPC 符号のそれぞれと、変調方式が、16QAM, 64QAM, 256QAM、及び、1024QAM である場合のそれぞれとの組み合わせに対するパート 1 及び 2 のカラム数 C 、並びに、パートカラム長 $R1$ 及び $R2$ が示されている。
- [0440] 図 108 は、図 106 のブロックインターリーブ 25 で行われるブロックインターリーブを説明する図である。
- [0441] ブロックインターリーブ 25 は、パート 1 及び 2 に対して、LDPC 符号を書き込んで読み出すことにより、ブロックインターリーブを行う。
- [0442] すなわち、ブロックインターリーブでは、図 108 の A に示すように、1 符号語の LDPC 符号の符号ビットを、パート 1 の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。
- [0443] そして、符号ビットの書き込みが、パート 1 のカラムの最も右のカラム（ C 番目のカラム）の一番下まで終了すると、残りの符号ビットをパート 2 の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。
- [0444] その後、符号ビットの書き込みが、パート 2 のカラムの最も右のカラム（ C 番目のカラム）の一番下まで終了すると、図 108 の B に示すように、パート 1 の C 個すべてのカラムの 1 行目から、ロウ方向に、 $C=m$ ビット単位で、符号ビットが読み出される。
- [0445] そして、パート 1 の C 個すべてのカラムからの符号ビットの読み出しは、下の行に向かって順次行われ、その読み出しが最後の行である $R1$ 行目まで終了すると、パート 2 の C 個すべてのカラムの 1 行目から、ロウ方向に、 $C=m$ ビット単位で、符号ビットが読み出される。
- [0446] パート 2 の C 個すべてのカラムからの符号ビットの読み出しは、下の行に向かって順次行われ、最後の行である $R2$ 行目まで行われる。
- [0447] 以上のようにして、パート 1 及び 2 から m ビット単位で読み出される符号ビットは、シンボルとして、マッパ 117（図 8）に供給される。
- [0448] <グループワイズインターリーブ>

[0449] 図109は、図9のグループワイズインターリーブ24で行われるグループワイズインターリーブを説明する図である。

[0450] グループワイズインターリーブでは、1符号語のLDPC符号を、その先頭から、巡回構造の単位の列数Pに等しい360ビット単位に区分した、その1区分の360ビットを、ビットグループとして、1符号語のLDPC符号が、ビットグループ単位で、所定のパターン（以下、GWパターンともいう）に従ってインターリーブされる。

[0451] ここで、1符号語のLDPC符号をビットグループに区分したときの先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、以下、ビットグループ i とも記載する。

[0452] 例えば、符号長Nが1800ビットのLDPC符号は、ビットグループ0, 1, 2, 3, 4の5(=1800/360)個のビットグループに区分される。さらに、例えば、符号長Nが16200ビットのLDPC符号は、ビットグループ0, 1, ..., 44の45(=16200/360)個のビットグループに区分され、符号長Nが64800ビットのLDPC符号は、ビットグループ0, 1, ..., 179の180(=64800/360)個のビットグループに区分される。

[0453] また、以下では、GWパターンを、ビットグループを表す数字の並びで表すこととする。例えば、符号長Nが1800ビットのLDPC符号について、例えば、GWパターン4, 2, 0, 3, 1は、ビットグループ0, 1, 2, 3, 4の並びを、ビットグループ4, 2, 0, 3, 1の並びにインターリーブする（並び替える）ことを表す。

[0454] GWパターンは、少なくとも、LDPC符号の符号長Nごとに設定することができる。

[0455] 図110は、符号長Nが64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第1の例を示す図である。

[0456] 図110のGWパターンによれば、64kビットのLDPC符号のビットグループ0ないし179の並びが、ビットグループ

178, 140, 44, 100, 107, 89, 169, 166, 36, 52, 33, 160, 14, 165, 109, 35, 74, 136, 99, 97, 28, 59, 7, 29, 164, 119, 41, 55, 17, 115, 138, 93, 96, 24, 31, 179, 120, 91, 98, 43, 6, 56, 148, 68, 45, 103, 5, 4

, 10, 58, 1, 76, 112, 124, 110, 66, 0, 85, 64, 163, 75, 105, 117, 87
 , 159, 146, 34, 57, 145, 143, 101, 53, 123, 48, 79, 13, 134, 71, 135
 , 81, 125, 30, 131, 139, 46, 12, 157, 23, 127, 61, 82, 84, 32, 22, 94
 , 170, 167, 126, 176, 51, 102, 171, 18, 104, 73, 152, 72, 25, 83, 80
 , 149, 142, 77, 137, 177, 19, 20, 173, 153, 54, 69, 49, 11, 156, 133
 , 162, 63, 122, 106, 42, 174, 88, 62, 78, 86, 116, 155, 129, 3, 9, 47
 , 50, 144, 114, 154, 121, 161, 92, 37, 38, 39, 108, 95, 70, 113, 141
 , 15, 147, 151, 111, 2, 118, 158, 60, 132, 168, 150, 21, 16, 175, 27
 , 90, 128, 130, 67, 172, 65, 26, 40, 8

の並びにインターリーブされる。

[0457] 図 1 1 1 は、符号長Nが64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第2の例を示す図である。

[0458] 図 1 1 1 のGWパターンによれば、64kビットのLDPC符号のビットグループ0ないし179の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0459] 図 1 1 2 は、符号長Nが64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第3の

例を示す図である。

[0460] 図 1 1 2 のGWパターンによれば、64kビットのLDPC符号のビットグループ0
ないし179の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0461] 図 1 1 3 は、符号長Nが64kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の
例を示す図である。

[0462] 図 1 1 3 のGWパターンによれば、64kビットのLDPC符号のビットグループ0
ないし179の並びが、ビットグループ

0, 154, 6, 53, 30, 97, 105, 121, 12, 156, 94, 77, 47, 78, 13, 19, 8
2, 60, 85, 162, 62, 58, 116, 127, 48, 177, 80, 138, 8, 145, 132, 134
, 90, 28, 83, 170, 87, 59, 49, 11, 39, 101, 31, 139, 148, 22, 37, 15
, 166, 1, 42, 120, 106, 119, 35, 70, 122, 56, 24, 140, 136, 126, 144
, 167, 29, 163, 112, 175, 10, 73, 41, 99, 98, 107, 117, 66, 17, 57, 7
, 151, 51, 33, 158, 141, 150, 110, 137, 123, 9, 18, 14, 71, 147, 52,
164, 45, 111, 108, 21, 91, 109, 160, 74, 169, 88, 63, 174, 89, 2, 130
, 124, 146, 84, 176, 149, 159, 155, 44, 43, 173, 179, 86, 168, 165, 9

5, 135, 27, 69, 23, 65, 125, 104, 178, 171, 46, 55, 26, 75, 129, 54,
153, 114, 152, 61, 68, 103, 16, 40, 128, 3, 38, 72, 92, 81, 93, 100,
34, 79, 115, 133, 102, 76, 131, 36, 32, 5, 64, 143, 20, 172, 50, 157
, 25, 113, 118, 161, 142, 96, 4, 67

の並びにインターリーブされる。

[0463] 図 1 1 4 は、符号長Nが16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 1 の例を示す図である。

[0464] 図 1 1 4 のGWパターンによれば、16kビットのLDPC符号のビットグループ0
ないし44の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0465] 図 1 1 5 は、符号長Nが16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 2 の例を示す図である。

[0466] 図 1 1 5 のGWパターンによれば、16kビットのLDPC符号のビットグループ0
ないし44の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0467] 図 1 1 6 は、符号長Nが16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第 3 の例を示す図である。

[0468] 図 1 1 6 のGWパターンによれば、16kビットのLDPC符号のビットグループ0
ないし44の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0469] 図 1 1 7 は、符号長 N が16kビットのLDPC符号に対するGWパターンの第4の例を示す図である。

[0470] 図 1 1 7 のGWパターンによれば、16kビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びが、ビットグループ

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

の並びにインターリーブされる。

[0471] ところで、グループワイズインターリーブについては、GWパターンを、LDPC符号の符号長 N の他、LDPC符号の符号化率 r や変調方式との組み合わせごとに設定することで、各組み合わせについて、エラーレートをより向上させることができる。

[0472] しかしながら、GWパターンを、LDPC符号の符号長 N と、符号化率 r と、変調方式との全通り組み合わせそれぞれに対して、別個に設定したのでは、送信装置 1 1 で採用するLDPC符号や変調方式を変更するごとに、GWパターンも変更しなければならず、処理が煩雑になる。

[0473] そこで、グループワイズインターリーブについては、例えば、LDPC符号の符号化率 r を、低レート（例えば、6/15, 7/15/, 8/15, 9/15）と、高レート（例えば、10/15, 11/15/, 12/15, 13/15）とに分け、LDPC符号の符号長 N が、16kビット及び64kビットのうちのいずれであるかと、LDPC符号の符号化率 r が、低レート及び高レートのうちのいずれであるかと、変調方式が、16QAM, 64QAM, 256QAM、及び、1024QAMのうちのいずれであるかとの組み合わせごとに、GWパターンを設定することができる。

[0474] いま、上述の符号長 N 、符号化率 r 、及び、変調方式の組み合わせを、（符号長 N 、符号化率 r 、変調方式）で表すこととすると、符号長 N 、符号化率 r 、及び、変調方式の組み合わせとしては、例えば、（16k、低レート、16QAM）、（16k、低レート、64QAM）、（16k、低レート、256QAM）、（16k、低レ

ト、1024QAM)、(16k、高レート、16QAM)、(16k、高レート、64QAM)、(16k、高レート、256QAM)、(16k、高レート、1024QAM)、(64k、低レート、16QAM)、(64k、低レート、64QAM)、(64k、低レート、256QAM)、(64k、低レート、1024QAM)、(64k、高レート、16QAM)、(64k、高レート、64QAM)、(64k、高レート、256QAM)、及び、(64k、高レート、1024QAM)の16通りの組み合わせを想定することができる。

[0475] LDPC符号の符号長Nが64kになっている組み合わせ(64k、低レート、16QAM)、(64k、低レート、64QAM)、(64k、低レート、256QAM)、(64k、低レート、1024QAM)、(64k、高レート、16QAM)、(64k、高レート、64QAM)、(64k、高レート、256QAM)、及び、(64k、高レート、1024QAM)に対しては、それぞれ、図110ないし図113の4パターンのGWパターンのうちの、エラーレートを最も向上させるGWパターンを適用することができる。

[0476] 例えば、図110のGWパターンは、組み合わせ(64k、高レート、16QAM)に、図111のGWパターンは、組み合わせ(64k、低レート、64QAM)に、図112のGWパターンは、組み合わせ(64k、高レート、256QAM)に、図113のGWパターンは、組み合わせ(64k、低レート、1024QAM)に、それぞれ適用することができる。

[0477] LDPC符号の符号長Nが16kになっている組み合わせ(16k、低レート、16QAM)、(16k、低レート、64QAM)、(16k、低レート、256QAM)、(16k、低レート、1024QAM)、(16k、高レート、16QAM)、(16k、高レート、64QAM)、(16k、高レート、256QAM)、及び、(16k、高レート、1024QAM)に対しては、それぞれ、図114ないし図117の4パターンのGWパターンのうちの、エラーレートを最も向上させるGWパターンを適用することができる。

[0478] 例えば、図114のGWパターンは、組み合わせ(16k、低レート、16QAM)に、図115のGWパターンは、組み合わせ(16k、高レート、64QAM)に、図116のGWパターンは、組み合わせ(16k、低レート、256QAM)に、図117のGWパターンは、組み合わせ(16k、高レート、1024QAM)に、それぞれ適用することができる。

- [0479] 本件発明者が行ったシミュレーションによれば、図 1 1 0 の GW パターンについては、(64k, 10/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(64k, 11/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(64k, 12/15) の第 2 の新 LDPC 符号、及び、(64k, 13/15) の第 1 の新 LDPC 符号それぞれと、図 9 2 ないし図 1 0 5 でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの 16QAM との組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。
- [0480] 図 1 1 1 の GW パターンについては、(64k, 6/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(64k, 7/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(64k, 8/15) の第 2 の新 LDPC 符号、及び、(64k, 9/15) の第 1 の新 LDPC 符号それぞれと、図 9 2 ないし図 1 0 5 でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの 64QAM との組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。
- [0481] 図 1 1 2 の GW パターンについては、(64k, 10/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(64k, 11/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(64k, 12/15) の第 2 の新 LDPC 符号、及び、(64k, 13/15) の第 1 の新 LDPC 符号それぞれと、図 9 2 ないし図 1 0 5 でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの 256QAM との組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。
- [0482] 図 1 1 3 の GW パターンについては、(64k, 6/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(64k, 7/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(64k, 8/15) の第 2 の新 LDPC 符号、及び、(64k, 9/15) の第 1 の新 LDPC 符号それぞれと、図 9 2 ないし図 1 0 5 でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの 1024QAM との組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。
- [0483] 図 1 1 4 の GW パターンについては、(16k, 6/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(16k, 7/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(16k, 8/15) の第 1 の新 LDPC 符号、及び、(16k, 9/15) の第 2 の新 LDPC 符号それぞれと、図 9 2 ないし図 1 0 5 でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの 16QAM との組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。
- [0484] 図 1 1 5 の GW パターンについては、(16k, 10/15) の第 1 の新 LDPC 符号、(16k, 11/15) の第 2 の新 LDPC 符号、(16k, 12/15) の第 1 の新 LDPC 符号、及び、(16k,

13/15)の第2の新LDPC符号それぞれと、図92ないし図105でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの64QAMとの組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。

[0485] 図116のGWパターンについては、(16k, 6/15)の第1の新LDPC符号、(16k, 7/15)の第2の新LDPC符号、(16k, 8/15)の第1の新LDPC符号、及び、(16k, 9/15)の第2の新LDPC符号それぞれと、図92ないし図105でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの256QAMとの組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。

[0486] 図117のGWパターンについては、(16k, 10/15)の第1の新LDPC符号、(16k, 11/15)の第2の新LDPC符号、(16k, 12/15)の第1の新LDPC符号、及び、(16k, 13/15)の第2の新LDPC符号それぞれと、図92ないし図105でコンスタレーションを説明した変調方式のうちの1024QAMとの組み合わせに対して、特に、良好なエラーレートを達成することができることが確認された。

[0487] <受信装置12の構成例>

[0488] 図118は、図7の受信装置12の構成例を示すブロック図である。

[0489] OFDM処理部(OFDM operation)151は、送信装置11(図7)からのOFDM信号を受信し、そのOFDM信号の信号処理を行う。OFDM処理部151が信号処理を行うことにより得られるデータは、フレーム管理部(Frame Management)152に供給される。

[0490] フレーム管理部152は、OFDM処理部151から供給されるデータで構成されるフレームの処理(フレーム解釈)を行い、その結果得られる対象データの信号と、制御データの信号とを、周波数デインターリーバ(Frequency Deinterleaver)161と153とに、それぞれ供給する。

[0491] 周波数デインターリーバ153は、フレーム管理部152からのデータについて、シンボル単位での周波数デインターリーブを行い、デマッパ(Demapper)154に供給する。

[0492] デマッパ154は、周波数デインターリーバ153からのデータ(コンスタレーション上のデータ)を、送信装置11側で行われる直交変調で定めら

れる信号点の配置（コンスタレーション）に基づいてデマッピング（信号点配置復号）して直交復調し、その結果得られるデータ（LDPC符号（の尤度））を、LDPCデコーダ(LDPC decoder) 155に供給する。

[0493] LDPCデコーダ155は、デマッパ154からのLDPC符号のLDPC復号を行い、その結果得られるLDPC対象データ（ここでは、BCH符号）を、BCHデコーダ(BCH decoder) 156に供給する。

[0494] BCHデコーダ156は、LDPCデコーダ155からのLDPC対象データのBCH復号を行い、その結果得られる制御データ（シグナリング）を出力する。

[0495] 一方、周波数デインターリーバ161は、フレーム管理部152からのデータについて、シンボル単位での周波数デインターリーブを行い、SISO/MISOデコーダ(SISO/MISO decoder) 162に供給する。

[0496] SISO/MISOデコーダ162は、周波数デインターリーバ161からのデータの時空間復号を行い、時間デインターリーバ(Time Deinterleaver) 163に供給する。

[0497] 時間デインターリーバ163は、SISO/MISOデコーダ162からのデータについて、シンボル単位での時間デインターリーブを行い、デマッパ(Demapper) 164に供給する。

[0498] デマッパ164は、時間デインターリーバ163からのデータ（コンスタレーション上のデータ）を、送信装置11側で行われる直交変調で定められる信号点の配置（コンスタレーション）に基づいてデマッピング（信号点配置復号）して直交復調し、その結果得られるデータを、ビットデインターリーバ(Bit Deinterleaver) 165に供給する。

[0499] ビットデインターリーバ165は、デマッパ164からのデータのビットデインターリーブを行い、そのビットデインターリーブ後のデータであるLDPC符号（の尤度）を、LDPCデコーダ166に供給する。

[0500] LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーバ165からのLDPC符号のLDPC復号を行い、その結果得られるLDPC対象データ（ここでは、BCH符号）を、BCHデコーダ167に供給する。

- [0501] BCHデコーダ167は、LDPCデコーダ155からのLDPC対象データのBCH復号を行い、その結果得られるデータを、BBデスクランブラ(BB DeScrambler)168に供給する。
- [0502] BBデスクランブラ168は、BCHデコーダ167からのデータに、BBデスクランブルを施し、その結果得られるデータを、ヌル削除部(Null Deletion)169に供給する。
- [0503] ヌル削除部169は、BBデスクランブラ168からのデータから、図8のパダー112で挿入されたNullを削除し、デマルチプレクサ(Demultiplexer)170に供給する。
- [0504] デマルチプレクサ170は、ヌル削除部169からのデータに多重化されている1以上のストリーム(対象データ)それぞれを分離し、必要な処理を施して、アウトプットストリーム(Output stream)として出力する。
- [0505] なお、受信装置12は、図118に図示したブロックの一部を設けずに構成することができる。すなわち、例えば、送信装置11(図8)を、時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124を設けずに構成する場合には、受信装置12は、送信装置11の時間インターリーバ118、SISO/MISOエンコーダ119、周波数インターリーバ120、及び、周波数インターリーバ124にそれぞれ対応するブロックである時間デインターリーバ163、SISO/MISOデコーダ162、周波数デインターリーバ161、及び、周波数デインターリーバ153を設けずに構成することができる。
- [0506] <ビットデインターリーバ165の構成例>
- [0507] 図119は、図118のビットデインターリーバ165の構成例を示すブロック図である。
- [0508] ビットデインターリーバ165は、ブロックデインターリーバ54、及びグループワイズデインターリーバ55から構成され、デマッパ164(図118)からのデータであるシンボルのシンボルビットの(ビット)デインターリーブを行う。

- [0509] すなわち、ブロックデインターリーブ54は、デマッパ164からのシンボルのシンボルビットを対象として、図9のブロックデインターリーブ25が行うブロックデインターリーブに対応するブロックデインターリーブ（ブロックデインターリーブの逆の処理）、すなわち、ブロックデインターリーブによって並び替えられたLDPC符号の符号ビット（の尤度）の位置を元の位置に戻すブロックデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号を、グループワイズデインターリーブ55に供給する。
- [0510] グループワイズデインターリーブ55は、ブロックデインターリーブ54からのLDPC符号を対象として、図9のグループワイズデインターリーブ24が行うグループワイズデインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブ（グループワイズデインターリーブの逆の処理）、すなわち、例えば、図110ないし図117で説明したグループワイズデインターリーブによってビットグループ単位で並びが変更されたLDPC符号の符号ビットを、ビットグループ単位で並び替えることにより、元の並びに戻すグループワイズデインターリーブを行う。
- [0511] ここで、デマッパ164から、ビットデインターリーブ165に供給されるLDPC符号に、パリティデインターリーブ、グループワイズデインターリーブ、及びブロックデインターリーブが施されている場合、ビットデインターリーブ165では、パリティデインターリーブに対応するパリティデインターリーブ（パリティデインターリーブの逆の処理、すなわち、パリティデインターリーブによって並びが変更されたLDPC符号の符号ビットを、元の並びに戻すパリティデインターリーブ）、ブロックデインターリーブに対応するブロックデインターリーブ、及び、グループワイズデインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブのすべてを行うことができる。
- [0512] 但し、図119のビットデインターリーブ165では、ブロックデインターリーブに対応するブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーブ54、及び、グループワイズデインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーブ55は、設けられて

いるが、パリティインターリーブに対応するパリティデインターリーブを行うブロックは、設けられておらず、パリティデインターリーブは、行われない。

[0513] したがって、ビットデインターリーバ165（のグループワイズデインターリーバ55）から、LDPCデコーダ166には、ブロックデインターリーブ、及び、グループワイズデインターリーブが行われ、かつ、パリティデインターリーブが行われていないLDPC符号が供給される。

[0514] LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーバ165からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hに対して、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、LDPC対象データの復号結果として出力する。

[0515] 図120は、図119のデマッパ164、ビットデインターリーバ165、及び、LDPCデコーダ166が行う処理を説明するフローチャートである。

[0516] ステップS111において、デマッパ164は、時間デインターリーバ163からのデータ（信号点にマッピングされたコンスタレーション上のデータ）をデマッピングして直交復調し、ビットデインターリーバ165に供給して、処理は、ステップS112に進む。

[0517] ステップS112では、ビットデインターリーバ165は、デマッパ164からのデータのデインターリーブ（ビットデインターリーブ）を行って、処理は、ステップS113に進む。

[0518] すなわち、ステップS112では、ビットデインターリーバ165において、ブロックデインターリーバ54が、デマッパ164からのデータ（シンボル）を対象として、ブロックデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号の符号ビットを、グループワイズデインターリーバ55に供給する。

[0519] グループワイズデインターリーバ55は、ブロックデインターリーバ54からのLDPC符号を対象として、グループワイズデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号（の尤度）を、LDPCデコーダ166に供給する。

[0520] ステップS 1 1 3では、LDPCデコーダ1 6 6が、グループワイズデインターリーバ5 5からのLDPC符号のLDPC復号を、図8のLDPCエンコーダ1 1 5がLDPC符号化に用いた検査行列Hを用いて行い、すなわち、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、LDPC対象データの復号結果として、BCHデコーダ1 6 7に出力する。

[0521] なお、図1 1 9でも、図9の場合と同様に、説明の便宜のため、ブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーバ5 4と、グループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーバ5 5とを、別個に構成するようにしたが、ブロックデインターリーバ5 4とグループワイズデインターリーバ5 5とは、一体的に構成することができる。

[0522] <LDPC復号>

[0523] 図1 1 8のLDPCデコーダ1 6 6で行われるLDPC復号について、さらに説明する。

[0524] 図1 1 8のLDPCデコーダ1 6 6では、上述したように、グループワイズデインターリーバ5 5からの、ブロックデインターリーブ、及び、グループワイズデインターリーブが行われ、かつ、パリティデインターリーブが行われていないLDPC符号のLDPC復号が、図8のLDPCエンコーダ1 1 5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。

[0525] ここで、LDPC復号を、変換検査行列を用いて行うことで、回路規模を抑制しつつ、動作周波数を十分実現可能な範囲に抑えることが可能となるLDPC復号が先に提案されている（例えば、特許第4224777号を参照）。

[0526] そこで、まず、図1 2 1ないし図1 2 4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。

[0527] 図1 2 1は、符号長Nが90で、符号化率が2/3のLDPC符号の検査行列Hの例を示す図である。

[0528] なお、図1 2 1では（後述する図1 2 2及び図1 2 3においても同様）、0

を、ピリオド(.)で表現している。

[0529] 図 1 2 1 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。

[0530] 図 1 2 2 は、図 1 2 1 の検査行列Hに、式 (1 1) の行置換と、式 (1 2) の列置換を施して得られる検査行列H'を示す図である。

[0531] 行置換: $6s+t+1$ 行目 $\rightarrow$ $5t+s+1$ 行目

... (1 1)

[0532] 列置換: $6x+y+61$ 列目 $\rightarrow$ $5y+x+61$ 列目

... (1 2)

[0533] 但し、式 (1 1) 及び (1 2) において、 s , t , x , y は、それぞれ、 $0 \leq s < 5$, $0 \leq t < 6$, $0 \leq x < 5$, $0 \leq t < 6$ の範囲の整数である。

[0534] 式 (1 1) 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。

[0535] また、式 (1 2) 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。

[0536] このようにして、図 1 2 1 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 1 2 2 の検査行列H'である。

[0537] 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。

[0538] また、式 (1 2) 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。

- [0539] したがって、図 1 2 2 の検査行列 H' は、図 1 2 1 の検査行列（以下、適宜、元の検査行列という） H の、 $K+qx+y+1$ 番目の列を、 $K+Py+x+1$ 番目の列に置換する列置換を、少なくとも行って得られる変換検査行列である。
- [0540] 図 1 2 2 の変換検査行列 H' に対して、図 1 2 1 の元の検査行列 H の LDPC 符号に、式 (1 2) 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 (1 2) 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。
- [0541] 以上から、図 1 2 2 の変換検査行列 H' は、元の検査行列 H の LDPC 符号 c に、式 (1 2) 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。
- [0542] したがって、元の検査行列 H の LDPC 符号 c に、式 (1 2) の列置換を行い、その列置換後の LDPC 符号 c' を、図 1 2 2 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 (1 2) 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。
- [0543] 図 1 2 3 は、 5×5 の行列の単位に間隔を空けた、図 1 2 2 の変換検査行列 H' を示す図である。
- [0544] 図 1 2 3 においては、変換検査行列 H' は、 5×5 ($=P \times P$) の単位行列、その単位行列の 1 のうち 1 個以上が 0 になった行列（以下、適宜、準単位行列という）、単位行列または準単位行列をサイクリックシフト(cyclic shift)した行列（以下、適宜、シフト行列という）、単位行列、準単位行列、またはシフト行列のうちの 2 以上の和（以下、適宜、和行列という）、 5×5 の 0 行列の組合わせで表されている。
- [0545] 図 1 2 3 の変換検査行列 H' は、 5×5 の単位行列、準単位行列、シフト行列、和行列、0 行列で構成されているといえることができる。そこで、変換検査行列 H' を構成する、これらの 5×5 の行列（単位行列、準単位行列、シフト行列、和行列、0 行列）を、以下、適宜、構成行列という。

- [0546] $P \times P$ の構成行列で表される検査行列のLDPC符号の復号には、チェックノード演算、及びバリエブルノード演算を、 P 個同時に行うアーキテクチャ(architecture)を用いることができる。
- [0547] 図124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。
- [0548] すなわち、図124は、図121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123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。
- [0549] 図124の復号装置は、6つのFIFO300₁ないし300₆からなる枝データ格納用メモリ300、FIFO300₁ないし300₆を選択するセレクタ301、チェックノード計算部302、2つのサイクリックシフト回路303及び308、18個のFIFO304₁ないし304₁₈からなる枝データ格納用メモリ304、FIFO304₁ないし304₁₈を選択するセレクタ305、受信データを格納する受信データ用メモリ306、バリエブルノード計算部307、復号語計算部309、受信データ並べ替え部310、復号データ並べ替え部311からなる。
- [0550] 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。
- [0551] 枝データ格納用メモリ300は、図123の変換検査行列 H' の行数30を構成行列の行数(巡回構造の単位の列数 P)5で除算した数である6つのFIFO300₁ないし300₆から構成されている。FIFO300 _{y} ($y=1, 2, \dots, 6$)は、複数の段数の記憶領域からなり、各段の記憶領域については、構成行列の行数及び列数(巡回構造の単位の列数 P)である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出すこと、及び、書き込むことができるようになっている。また、FIFO300 _{y} の記憶領域の段数は、図123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。
- [0552] FIFO300₁には、図123の変換検査行列 H' の第1行目から第5行目までの1の位置に対応するデータ(バリエブルノードからのメッセージ v_i)が、各

行共に横方向に詰めた形に（0を無視した形で）格納される。すなわち、第 j 行第 i 列を、 (j, i) と表すこととすると、FIF03 0 0₁の第1段の記憶領域には、変換検査行列 H' の $(1, 1)$ から $(5, 5)$ の 5×5 の単位行列の1の位置に対応するデータが格納される。第2段の記憶領域には、変換検査行列 H' の $(1, 21)$ から $(5, 25)$ のシフト行列（ 5×5 の単位行列を右方向に3つだけサイクリックシフトしたシフト行列）の1の位置に対応するデータが格納される。第3から第8段の記憶領域も同様に、変換検査行列 H' と対応付けてデータが格納される。そして、第9段の記憶領域には、変換検査行列 H' の $(1, 86)$ から $(5, 90)$ のシフト行列（ 5×5 の単位行列のうちの1行目の1を0に置き換えて1つだけ左にサイクリックシフトしたシフト行列）の1の位置に対応するデータが格納される。

[0553] FIF03 0 0₂には、図123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、FIF03 0 0₂の第1段の記憶領域には、変換検査行列 H' の $(6, 1)$ から $(10, 5)$ の和行列（ 5×5 の単位行列を右に1つだけサイクリックシフトした第1のシフト行列と、右に2つだけサイクリックシフトした第2のシフト行列の和である和行列）を構成する第1のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。また、第2段の記憶領域には、変換検査行列 H' の $(6, 1)$ から $(10, 5)$ の和行列を構成する第2のシフト行列の1の位置に対応するデータが格納される。

[0554] すなわち、重みが2以上の構成行列については、その構成行列を、重みが1である $P \times P$ の単位行列、単位行列の要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、又は単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列のうちの複数の和の形で表現したときの、その重みが1の単位行列、準単位行列、又はシフト行列の1の位置に対応するデータ（単位行列、準単位行列、又はシフト行列に属する枝に対応するメッセージ）は、同一アドレス（FIF03 0 0₁ないし3 0 0₆のうちの同一のFIF0）に格納される。

[0555] 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。

[0556] FIF0300₃ないし300₆も同様に変換検査行列H'に対応付けてデータを格納する。

[0557] 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（巡回構造の単位の列数P）である5で割った18個のFIF0304₁ないし304₁₈から構成されている。FIF0304_x（x=1, 2, ..., 18）は、複数の段数の記憶領域からなり、各段の記憶領域については、構成行列の行数及び列数（巡回構造の単位の列数P）である5つの枝に対応するメッセージを同時に読み出すこと、及び、書き込むことができるようになっている。

[0558] FIF0304₁には、図123の変換検査行列H'の第1列目から第5列目までの1の位置に対応するデータ（チェックノードからのメッセージu_j）が、各列共に縦方向に詰めた形に（0を無視した形で）格納される。すなわち、FIF0304₁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。

[0559] すなわち、重みが2以上の構成行列については、その構成行列を、重みが1であるP×Pの単位行列、単位行列の要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、又は単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列のうちの複数の和の形で表現したときの、その重みが1の単位行列、準単位行列、又はシフト行列の1の位置に対応するデータ（単位行列、準単位行列、又はシフト行列に属する枝に対応するメッセージ）は、同一アドレス（FIF0304₁ないし304₁₈のうちの同一のFIF0）に格納される。

[0560] 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FIF0304₁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。

[0561] FIF0304₂と304₃も同様に変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さ（段数）は、5である。FIF0304₄ないし304₁₂も同様に、変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さは3である。FIF0304₁₃ないし304₁₈も同様に、変換検査行列H'に対応付けてデータを格納し、それぞれの長さは2である。

[0562] 次に、図124の復号装置の動作について説明する。

[0563] 枝データ格納用メモリ300は、6つのFIF0300₁ないし300₆からなり、前段のサイクリックシフト回路308から供給される5つのメッセージD311が、図123の変換検査行列H'のどの行に属するかの情報（Matrixデータ）D312に従って、データを格納するFIF0を、FIF0300₁ないし300₆の中から選び、選んだFIF0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、FIF0300₁から5つのメッセージD300₁を順番に読み出し、次段のセクタ301に供給する。枝データ格納用メモリ300は、FIF0300₁からのメッセージの読み出しの終了後、FIF0300₂ないし300₆からも、順番に、メッセージを読み出し、セクタ301に供給する。

[0564] セクタ301は、セレクト信号D301に従って、FIF0300₁ないし300₆のうちの、現在データが読み出されているFIF0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。

[0565] チェックノード計算部302は、5つのチェックノード計算器302₁ないし302₅からなり、セクタ301を通して供給されるメッセージD302(D302₁ないしD302₅)（式（7）のメッセージ v_i ）を用いて、式（7）に従ってチェックノード演算を行い、そのチェックノード演算の結果得られる5つのメッセージD303(D303₁ないしD303₅)（式（7）のメッセージ u_i ）をサイクリックシフト回路303に供給する。

[0566] 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 $D303_1$ ないし $D303_5$ を、対応する枝が変換検査行列 H' において元となる単位行列（又は準単位行列）を幾つサイクリックシフトしたものであるかの情報（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。

[0567] 枝データ格納用メモリ304は、18個の $FIF0304_1$ ないし 304_{18} 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、 $FIF0304_1$ ないし 304_{18} 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、 $FIF0304_1$ から5つのメッセージ $D306_1$ 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、 $FIF0304_1$ からのデータの読み出しの終了後、 $FIF0304_2$ ないし 304_{18} 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。

[0568] セクタ305は、セレクト信号 $D307$ に従って、 $FIF0304_1$ ないし 304_{18} 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。

[0569] 一方、受信データ並べ替え部310は、通信路13を通して受信した、図121の検査行列 H に対応するLDPC符号 $D313$ を、式(12)の列置換を行うことにより並べ替え、受信データ $D314$ として、受信データ用メモリ306に供給する。受信データ用メモリ306は、受信データ並べ替え部310から供給される受信データ $D314$ から、受信LLR（対数尤度比）を計算して記憶し、その受信LLRを5個ずつまとめて受信値 $D309$ として、バリアブルノード計算部307と復号語計算部309に供給する。

[0570] 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_1 ないし 307_5 からなり、セクタ305を通して供給されるメッセージ $D308$ （ $D308_1$ ないし $D308_5$ ）（式(1)のメッセージ u_j ）と、受信データ用メモリ306

から供給される5つの受信値D309（式（1）の受信値 u_{0i} ）を用いて、式（1）に従ってバリアブルノード演算を行い、その演算の結果得られるメッセージD310（D310₁ないしD310₅）（式（1）のメッセージ v_i ）を、サイクリックシフト回路308に供給する。

[0571] サイクリックシフト回路308は、バリアブルノード計算部307で計算されたメッセージD310₁ないしD310₅を、対応する枝が変換検査行列 H' において元となる単位行列（又は準単位行列）を幾つサイクリックシフトしたものであるかの情報を元にサイクリックシフトし、その結果をメッセージD311として、枝データ格納用メモリ300に供給する。

[0572] 以上の動作を1巡することで、LDPC符号の1回の復号（バリアブルノード演算及びチェックノード演算）を行うことができる。図124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。

[0573] すなわち、復号語計算部309は、5つの復号語計算器309₁ないし309₅からなり、セレクタ305が出力する5つのメッセージD308（D308₁ないしD308₅）（式（5）のメッセージ u_j ）と、受信データ用メモリ306から供給される5つの受信値D309（式（5）の受信値 u_{0i} ）を用い、複数回の復号の最終段として、式（5）に基づいて、復号結果（復号語）を計算して、その結果得られる復号データD315を、復号データ並べ替え部311に供給する。

[0574] 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。

[0575] 以上のように、検査行列（元の検査行列）に対して、行置換と列置換のうちの一方又は両方を施し、 $P \times P$ の単位行列、その要素の1のうち1個以上が0になった準単位行列、単位行列もしくは準単位行列をサイクリックシフトしたシフト行列、単位行列、準単位行列、もしくはシフト行列の複数の和である和行列、 $P \times P$ の0行列の組合せ、つまり、構成行列の組み合わせで表すことができる検査行列（変換検査行列）に変換することで、LDPC符号の復号

を、チェックノード演算とバリエブルノード演算を、検査行列の行数や列数より小さい数のP個同時に行うアーキテクチャ(architecture)を採用することが可能となる。ノード演算（チェックノード演算とバリエブルノード演算）を、検査行列の行数や列数より小さい数のP個同時に行うアーキテクチャを採用する場合、ノード演算を、検査行列の行数や列数に等しい数だけ同時に行う場合に比較して、動作周波数を実現可能な範囲に抑えて、多数の繰り返し復号を行うことができる。

[0576] 図 1 1 8 の受信装置 1 2 を構成するLDPCデコーダ 1 6 6 は、例えば、図 1 2 4 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。

[0577] すなわち、いま、説明を簡単にするために、図 8 の送信装置 1 1 を構成するLDPCエンコーダ 1 1 5 が出力するLDPC符号の検査行列が、例えば、図 1 2 1 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 1 1 のパリティインターリーブ 2 3 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。

[0578] このパリティインターリーブは、上述したように、式 (1 2) の列置換に相当するから、LDPCデコーダ 1 6 6 では、式 (1 2) の列置換を行う必要がない。

[0579] このため、図 1 1 8 の受信装置 1 2 では、上述したように、グループワイズデインターリーブ 5 5 から、LDPCデコーダ 1 6 6 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 (1 2) の列置換が行われた状態のLDPC符号が供給され、LDPCデコーダ 1 6 6 では、式 (1 2) の列置換を行わないことを除けば、図 1 2 4 の復号装置と同様の処理が行われる。

[0580] すなわち、図 1 2 5 は、図 1 1 8 のLDPCデコーダ 1 6 6 の構成例を示す図である。

[0581] 図125において、LDPCデコーダ166は、図124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124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124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。

[0582] 以上のように、LDPCデコーダ166は、受信データ並べ替え部310を設けずに構成することができるので、図124の復号装置よりも、規模を削減することができる。

[0583] なお、図121ないし図125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。

[0584] すなわち、図8の送信装置11において、LDPCエンコーダ115が出力するのは、例えば、符号長 N を64800や16200等と、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125のLDPCデコーダ166は、そのようなLDPC符号を対象として、チェックノード演算とバリアブルノード演算を P 個同時に行うことで、LDPC復号を行う場合に適用可能である。

[0585] <ブロックデインターリーバ54の構成例>

[0586] 図126は、図119のブロックデインターリーバ54の構成例を示すブロック図である。

[0587] ブロックデインターリーバ54は、図106で説明したブロックインターリーバ25と同様に構成される。

[0588] したがって、ブロックデインターリーバ54は、パート1(part 1)と呼ばれる記憶領域と、パート2(part 2)と呼ばれる記憶領域とを有し、パート1及び2は、いずれも、ロウ方向に、1ビットを記憶し、カラム方向に所定のビット数を記憶する記憶領域としてのカラムが、ロウ方向に、シンボルのビット数 m に等しい数 C だけ並んで構成される。

- [0589] ブロックデインターリーバ54は、パート1及び2に対して、LDPC符号を書き込んで読み出すことにより、ブロックデインターリーブを行う。
- [0590] 但し、ブロックデインターリーブでは、（シンボルとなっている）LDPC符号の書き込みは、図106のブロックインターリーバ25がLDPC符号を読み出す順に行われる。
- [0591] さらに、ブロックデインターリーブでは、LDPC符号の読み出しは、図106のブロックインターリーバ25がLDPC符号を書き込む順に行われる。
- [0592] すなわち、図106のブロックインターリーバ25によるブロックインターリーブでは、LDPC符号が、パート1及び2に対して、カラム方向に書き込まれ、ロウ方向に読み出されるが、図126のブロックデインターリーバ54によるブロックデインターリーブでは、LDPC符号が、パート1及び2に対して、ロウ方向に書き込まれ、カラム方向に読み出される。
- [0593] <ビットデインターリーバ165の他の構成例>
- [0594] 図127は、図118のビットデインターリーバ165の他の構成例を示すブロック図である。
- [0595] なお、図中、図119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。
- [0596] すなわち、図127のビットデインターリーバ165は、パリティデインターリーバ1011が新たに設けられている他は、図119の場合と同様に構成されている。
- [0597] 図127では、ビットデインターリーバ165は、ブロックデインターリーバ54、グループワイズデインターリーバ55、及び、パリティデインターリーバ1011から構成され、デマッパ164からのLDPC符号の符号ビットのビットデインターリーブを行う。
- [0598] すなわち、ブロックデインターリーバ54は、デマッパ164からのLDPC符号を対象として、送信装置11のブロックインターリーバ25が行うブロックインターリーブに対応するブロックデインターリーブ（ブロックインターリーブの逆の処理）、すなわち、ブロックインターリーブによって入れ替

えられた符号ビットの位置を元の位置に戻すブロックデインターリーブを行い、その結果得られるLDPC符号を、グループワイズデインターリーバ55に供給する。

[0599] グループワイズデインターリーバ55は、ブロックデインターリーバ54からのLDPC符号を対象として、送信装置11のグループワイズインターリーバ24が行う並び替え処理としてのグループワイズインターリーブに対応するグループワイズデインターリーブを行う。

[0600] グループワイズデインターリーブの結果得られるLDPC符号は、グループワイズデインターリーバ55からパリティデインターリーバ1011に供給される。

[0601] パリティデインターリーバ1011は、グループワイズデインターリーバ55でのグループワイズデインターリーブ後の符号ビットを対象として、送信装置11のパリティインターリーバ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。

[0602] 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バ1011からLDPCデコーダ166に供給される。

[0603] したがって、図127のビットデインターリーバ165では、LDPCデコーダ166には、ブロックデインターリーブ、グループワイズデインターリーブ、及び、パリティデインターリーブが行われたLDPC符号、すなわち、検査行列Hに従ったLDPC符号化によって得られるLDPC符号が供給される。

[0604] LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーバ165からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hを用いて行う。すなわち、LDPCデコーダ166は、ビットデインターリーバ165からのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hそのものを用いて、又は、その検査行列Hに対して、パリティインターリーブに相当する列置換を少なくとも行って得

られる変換検査行列を用いて行う。

[0605] ここで、図127では、ビットデインターリーバ165（のパリティデインターリーバ1011）からLDPCデコーダ166に対して、検査行列Hに従ったLDPC符号化によって得られるLDPC符号が供給されるため、そのLDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列Hそのものを用いて行う場合には、LDPCデコーダ166は、例えば、メッセージ（チェックノードメッセージ、バリバブルノードメッセージ）の演算を1個のノードずつ順次行うフルシリアルデコーディング(full serial decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置や、メッセージの演算をすべてのノードについて同時（並列）に行うフルパラレルデコーディング(full parallel decoding)方式によるLDPC復号を行う復号装置で構成することができる。

[0606] また、LDPCデコーダ166において、LDPC符号のLDPC復号を、送信装置11のLDPCエンコーダ115がLDPC符号化に用いた検査行列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、LDPCデコーダ166は、チェックノード演算、及びバリバブルノード演算を、P（又はPの1以外の約数）個同時に行うアーキテクチャ(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（図124）で構成することができる。

[0607] なお、図127では、説明の便宜のため、ブロックデインターリーブを行うブロックデインターリーバ54、グループワイズデインターリーブを行うグループワイズデインターリーバ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、ブロックデインターリーバ54、グループワイズデインターリーバ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、グループワイズインターリーバ24、及び、ブロックインターリーバ25と同様に、一体的に構成することができる。

[0608] <受信システムの構成例>

[0609] 図 1 2 8 は、受信装置 1 2 を適用可能な受信システムの第 1 の構成例を示すブロック図である。

[0610] 図 1 2 8 において、受信システムは、取得部 1 1 0 1、伝送路復号処理部 1 1 0 2、及び、情報源復号処理部 1 1 0 3 から構成される。

[0611] 取得部 1 1 0 1 は、番組の画像データや音声データ等の LDPC 対象データを、少なくとも LDPC 符号化することで得られる LDPC 符号を含む信号を、例えば、地上デジタル放送、衛星デジタル放送、CATV 網、インターネットその他のネットワーク等の、図示せぬ伝送路（通信路）を介して取得し、伝送路復号処理部 1 1 0 2 に供給する。

[0612] ここで、取得部 1 1 0 1 が取得する信号が、例えば、放送局から、地上波や、衛星波、CATV(Cable Television) 網等を介して放送されてくる場合には、取得部 1 1 0 1 は、チューナや STB(Set Top Box) 等で構成される。また、取得部 1 1 0 1 が取得する信号が、例えば、web サーバから、IPTV(Internet Protocol Television) のようにマルチキャストで送信されてくる場合には、取得部 1 1 0 1 は、例えば、NIC(Network Interface Card) 等のネットワーク I/F(Inter face) で構成される。

[0613] 伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、受信装置 1 2 に相当する。伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号に対して、伝送路で生じる誤りを訂正する処理を少なくとも含む伝送路復号処理を施し、その結果得られる信号を、情報源復号処理部 1 1 0 3 に供給する。

[0614] すなわち、取得部 1 1 0 1 が伝送路を介して取得した信号は、伝送路で生じる誤りを訂正するための誤り訂正符号化を、少なくとも行うことで得られた信号であり、伝送路復号処理部 1 1 0 2 は、そのような信号に対して、例えば、誤り訂正処理等の伝送路復号処理を施す。

[0615] ここで、誤り訂正符号化としては、例えば、LDPC 符号化や、BCH 符号化等がある。ここでは、誤り訂正符号化として、少なくとも、LDPC 符号化が行われている。

- [0616] 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。
- [0617] 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。
- [0618] 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。
- [0619] 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。
- [0620] 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。
- [0621] 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。
- [0622] 伝送路復号処理部 1102 では、取得部 1101 からの信号に対して、例えば、受信装置 12 が行うのと同様の処理等が、伝送路復号処理として施され、その結果得られる信号が、情報源復号処理部 1103 に供給される。
- [0623] 情報源復号処理部 1103 では、伝送路復号処理部 1102 からの信号に対して、MPEGデコード等の情報源復号処理が施され、その結果得られる画像、又は音声が出力される。
- [0624] 以上のような図 128 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。
- [0625] 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(Integr

ated 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。

[0626] 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。

[0627] 図 129 は、受信装置 12 を適用可能な受信システムの第 2 の構成例を示すブロック図である。

[0628] なお、図中、図 128 の場合と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は、適宜省略する。

[0629] 図 129 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 128 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 128 の場合と相違する。

[0630] 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。

[0631] 以上のような図 129 の受信システムは、例えば、ディ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。

[0632] 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。

[0633] 図 130 は、受信装置 12 を適用可能な受信システムの第 3 の構成例を示すブロック図である。

[0634] なお、図中、図１２８の場合と対応する部分については、同一の符号を付してあり、以下では、その説明は、適宜省略する。

[0635] 図１３０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１２８の場合と共通する。

[0636] 但し、図１３０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１２８の場合と相違する。

[0637] 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）。

[0638] 以上のような図１３０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。

[0639] なお、図１３０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。

[0640] ＜コンピュータの一実施の形態＞

[0641] 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。

[0642] そこで、図１３１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。

[0643] 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。

[0644] 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。

[0645] 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。

[0646] コンピュータは、CPU(Central Processing Unit) 702 を内蔵している。CPU 702 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、CPU 702 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、CPU 702 は、ハードディスク 705 に格納されているプログラム、衛星若しくはネットワークから転送され、通信部 708 で受信されてハードディスク 705 にインストールされたプログラム、又はドライブ 709 に装着されたリムーバブル記録媒体 711 から読み出されてハードディスク 705 にインストールされたプログラムを、RAM(Random Access Memory) 704 にロードして実行する。これにより、CPU 702 は、上述したフローチャートに従った処理、あるいは上述したブロック図の構成により行われる処理を行う。そして、CPU 702 は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力インタフェース 710 を介して、LCD(Liquid Crystal Display)やスピーカ等で構成される出力部 706 から出力、あるいは、通信部 708 から送信、さらには、ハードディスク 705 に記録等させる。

[0647] 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。

[0648] 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。

[0649] なお、本技術の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本技術の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

[0650] すなわち、例えば、上述した新LDPC符号（の検査行列初期値テーブル）は、通信路13（図7）は、衛星回線や、地上波、ケーブル（有線回線）、その他のいずれであっても用いることが可能である。さらに、新LDPC符号は、デジタル放送以外のデータ伝送にも用いることができる。

[0651] また、上述のGWパターンは、新LDPC符号以外にも適用することができる。さらに、上述のGWパターンを適用する変調方式は、16QAMや、64QAM、256QAM、1024QAMに限定されるものではない。

[0652] なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、他の効果があってもよい。

符号の説明

[0653] 11 送信装置, 12 受信装置, 23 パリティインターリーバ,
24 グループワイズインターリーバ, 25 ブロックインターリーバ,
31 メモリ, 32 入れ替え部, 54 ブロックデインターリーバ,
55 グループワイズデインターリーバ, 111 モードアダプテーション／マルチプレクサ,
112 パダー, 113 BBスクランブラ,
114 BCHエンコーダ, 115 LDPCエンコーダ, 116 ビットインターリーバ,
117 マップ, 118 時間インターリーバ, 119 SISO/MISOエンコーダ,
120 周波数インターリーバ, 121

BCHエンコーダ, 122 LDPCエンコーダ, 123 マップ, 124
周波数インターリーバ, 131 フレームビルダ／リソースアロケーショ
ン部 132 OFDM生成部, 151 OFDM処理部, 152 フレーム管
理部, 153 周波数デインターリーバ, 154 デマップ, 155
LDPCデコーダ, 156 BCHデコーダ, 161 周波数デインターリー
バ, 162 SISO/MISOデコーダ, 163 時間デインターリーバ, 1
64 デマップ, 165 ビットデインターリーバ, 166 LDPCデコ
ーダ, 167 BCHデコーダ, 168 BBデスクランブラ, 169 ヌ
ル削除部, 170 デマルチプレкса, 300 枝データ格納用メモリ
, 301 セレクタ, 302 チェックノード計算部, 303 サイ
クリックシフト回路, 304 枝データ格納用メモリ, 305 セレク
タ, 306 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, 70
1 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, 10
11 パリティデインターリーバ, 1101 取得部, 1101 伝送
路復号処理部, 1103 情報源復号処理部, 1111 出力部, 1
121 記録部

請求の範囲

[請求項1] 符号長が16200ビットであり符号化率が10/15, 11/15, 12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部を備え、

前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、

前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブする

データ処理装置。

[請求項2] 前記LDPC符号を、10ビット単位で、変調方式で定める1024個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピング部をさらに備える

請求項1に記載のデータ処理装置。

[請求項3] 符号長が16200ビットであり符号化率が10/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 358
8 3770 3821 4384 4470 4884 5012 5036 5084 5101 5271 5281 5353
505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 28

75 3007 3254 3519 3687 4331 4439 4532 4940 5011 5076 5113 5367
268 346 650 919 1260 4389 4653 4721 4838 5054 5157 5162 5275
5362
220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 500
3 5037
381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 51
73 5242
88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 490
1 5047
749 1502 2201 3189
2873 3245 3427
2158 2605 3165
1 3438 3606
10 3019 5221
371 2901 2923
9 3935 4683
1937 3502 3735
507 3128 4994
25 3854 4550
1178 4737 5366
2 223 5304
1146 5175 5197
1816 2313 3649
740 1951 3844
1320 3703 4791
1754 2905 4058
7 917 5277
3048 3954 5396

4804 4824 5105

2812 3895 5226

0 5318 5358

1483 2324 4826

2266 4752 5387

である

請求項 1 に記載のデータ処理装置。

[請求項4] 符号長が16200ビットであり符号化率が11/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

108 297 703 742 1345 1443 1495 1628 1812 2341 2559 2669 2810

2877 3442 3690 3755 3904 4264

180 211 477 788 824 1090 1272 1578 1685 1948 2050 2195 2233

2546 2757 2946 3147 3299 3544

627 741 1135 1157 1226 1333 1378 1427 1454 1696 1757 1772 20

99 2208 2592 3354 3580 4066 4242

9 795 959 989 1006 1032 1135 1209 1382 1484 1703 1855 1985 2

043 2629 2845 3136 3450 3742

230 413 801 829 1108 1170 1291 1759 1793 1827 1976 2000 2423

2466 2917 3010 3600 3782 4143

56 142 236 381 1050 1141 1372 1627 1985 2247 2340 3023 3434

3519 3957 4013 4142 4164 4279

298 1211 2548 3643

73 1070 1614 1748

1439 2141 3614

284 1564 2629

607 660 855

1195 2037 2753

49 1198 2562

296 1145 3540

1516 2315 2382

154 722 4016

759 2375 3825

162 194 1749

2335 2422 2632

6 1172 2583

726 1325 1428

985 2708 2769

255 2801 3181

2979 3720 4090

208 1428 4094

199 3743 3757

1229 2059 4282

458 1100 1387

1199 2481 3284

1161 1467 4060

959 3014 4144

2666 3960 4125

2809 3834 4318

である

請求項 1 に記載のデータ処理装置。

[請求項5] 符号長が16200ビットであり符号化率が12/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

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

59 136 528 781 803 928 1293 1489 1944 2041 2200 2613 2690 28
47

155 245 311 621 1114 1269 1281 1783 1995 2047 2672 2803 2885
3014

79 870 974 1326 1449 1531 2077 2317 2467 2627 2811 3083 3101
3132

4 582 660 902 1048 1482 1697 1744 1928 2628 2699 2728 3045 3
104

175 395 429 1027 1061 1068 1154 1168 1175 2147 2359 2376 261
3 2682

1388 2241 3118 3148

143 506 2067 3148

1594 2217 2705

398 988 2551

1149 2588 2654

678 2844 3115

1508 1547 1954

1199 1267 1710

2589 3163 3207

1 2583 2974

2766 2897 3166

929 1823 2742

1113 3007 3239

1753 2478 3127

0 509 1811

1672 2646 2984

965 1462 3230

3 1077 2917

1183 1316 1662

968 1593 3239

64 1996 2226

1442 2058 3181

513 973 1058

1263 3185 3229

681 1394 3017

419 2853 3217

3 2404 3175

2417 2792 2854

1879 2940 3235

647 1704 3060

である

請求項 1 に記載のデータ処理装置。

[請求項6] 符号長が16200ビットであり符号化率が13/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、
前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、
前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パ

リティビットに対応するパリティ行列部とを含み、

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

37 144 161 199 220 496 510 589 731 808 834 965 1249 1264 131

1 1377 1460 1520 1598 1707 1958 2055 2099 2154

20 27 165 462 546 583 742 796 1095 1110 1129 1145 1169 1190

1254 1363 1383 1463 1718 1835 1870 1879 2108 2128

288 362 463 505 638 691 745 861 1006 1083 1124 1175 1247 127

5 1337 1353 1378 1506 1588 1632 1720 1868 1980 2135

405 464 478 511 566 574 641 766 785 802 836 996 1128 1239 12

47 1449 1491 1537 1616 1643 1668 1950 1975 2149

86 192 245 357 363 374 700 713 852 903 992 1174 1245 1277 13

42 1369 1381 1417 1463 1712 1900 1962 2053 2118

101 327 378 550

186 723 1318 1550

118 277 504 1835

199 407 1776 1965

387 1253 1328 1975

62 144 1163 2017

100 475 572 2136

431 865 1568 2055

283 640 981 1172

220 1038 1903 2147

483 1318 1358 2118

92 961 1709 1810

112 403 1485 2042

431 1110 1130 1365

587 1005 1206 1588

704 1113 1943

375 1487 2100

1507 1950 2110

962 1613 2038

554 1295 1501

488 784 1446

871 1935 1964

54 1475 1504

1579 1617 2074

1856 1967 2131

330 1582 2107

40 1056 1809

1310 1353 1410

232 554 1939

168 641 1099

333 437 1556

153 622 745

719 931 1188

237 638 1607

である

請求項 1 に記載のデータ処理装置。

[請求項7]

符号長が16200ビットであり符号化率が10/15, 11/15, 12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブステップを備え、

前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、

前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブする

データ処理方法。

[請求項8]

符号長が16200ビットであり符号化率が10/15, 11/15, 12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部を備え、

前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、

前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

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

の並びにインターリーブする

送信装置

から送信されてくるデータから得られる、グループワイズインターリーブ後の前記LDPC符号の並びを元の並びに戻すグループワイズデインターリーブ部を備える

データ処理装置。

[請求項9]

前記LDPC符号を、10ビット単位で、変調方式で定める1024個の信号点のうちのいずれかにマッピングするマッピング部をさらに備える

前記送信装置

から送信されてくるデータから得られる前記マッピングされたデー

タをデマッピングするデマッピング部をさらに備える

請求項 8 に記載のデータ処理装置。

〔請求項10〕 符号長が16200ビットであり符号化率が10/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 358

8 3770 3821 4384 4470 4884 5012 5036 5084 5101 5271 5281 5353

505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 28

75 3007 3254 3519 3687 4331 4439 4532 4940 5011 5076 5113 5367

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

5362

220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 500

3 5037

381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 51

73 5242

88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 490

1 5047

749 1502 2201 3189

2873 3245 3427

2158 2605 3165

1 3438 3606

10 3019 5221

371 2901 2923

9 3935 4683
1937 3502 3735
507 3128 4994
25 3854 4550
1178 4737 5366
2 223 5304
1146 5175 5197
1816 2313 3649
740 1951 3844
1320 3703 4791
1754 2905 4058
7 917 5277
3048 3954 5396
4804 4824 5105
2812 3895 5226
0 5318 5358
1483 2324 4826
2266 4752 5387

である

前記送信装置

から送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部をさらに備える

請求項8に記載のデータ処理装置。

[請求項11] 符号長が16200ビットであり符号化率が11/15のLDPC符号の検査行列に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、
前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、
前記検査行列は、前記情報ビットに対応する情報行列部及び前記パリティビットに対応するパリティ行列部とを含み、

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

108 297 703 742 1345 1443 1495 1628 1812 2341 2559 2669 2810
2877 3442 3690 3755 3904 4264
180 211 477 788 824 1090 1272 1578 1685 1948 2050 2195 2233
2546 2757 2946 3147 3299 3544
627 741 1135 1157 1226 1333 1378 1427 1454 1696 1757 1772 20
99 2208 2592 3354 3580 4066 4242
9 795 959 989 1006 1032 1135 1209 1382 1484 1703 1855 1985 2
043 2629 2845 3136 3450 3742
230 413 801 829 1108 1170 1291 1759 1793 1827 1976 2000 2423
2466 2917 3010 3600 3782 4143
56 142 236 381 1050 1141 1372 1627 1985 2247 2340 3023 3434
3519 3957 4013 4142 4164 4279
298 1211 2548 3643
73 1070 1614 1748
1439 2141 3614
284 1564 2629
607 660 855
1195 2037 2753
49 1198 2562
296 1145 3540
1516 2315 2382
154 722 4016
759 2375 3825
162 194 1749
2335 2422 2632

6 1172 2583
726 1325 1428
985 2708 2769
255 2801 3181
2979 3720 4090
208 1428 4094
199 3743 3757
1229 2059 4282
458 1100 1387
1199 2481 3284
1161 1467 4060
959 3014 4144
2666 3960 4125
2809 3834 4318

である

前記送信装置

から送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部をさらに備える

請求項8に記載のデータ処理装置。

[請求項12] 符号長が16200ビットであり符号化率が12/15のLDPC符号の検査行列

に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

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

3155

59 136 528 781 803 928 1293 1489 1944 2041 2200 2613 2690 28

47

155 245 311 621 1114 1269 1281 1783 1995 2047 2672 2803 2885

3014

79 870 974 1326 1449 1531 2077 2317 2467 2627 2811 3083 3101

3132

4 582 660 902 1048 1482 1697 1744 1928 2628 2699 2728 3045 3

104

175 395 429 1027 1061 1068 1154 1168 1175 2147 2359 2376 261

3 2682

1388 2241 3118 3148

143 506 2067 3148

1594 2217 2705

398 988 2551

1149 2588 2654

678 2844 3115

1508 1547 1954

1199 1267 1710

2589 3163 3207

1 2583 2974

2766 2897 3166

929 1823 2742

1113 3007 3239

1753 2478 3127

0 509 1811

1672 2646 2984

965 1462 3230

3 1077 2917

1183 1316 1662

968 1593 3239

64 1996 2226

1442 2058 3181

513 973 1058

1263 3185 3229

681 1394 3017

419 2853 3217

3 2404 3175

2417 2792 2854

1879 2940 3235

647 1704 3060

である

前記送信装置

から送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部をさらに備える

請求項8に記載のデータ処理装置。

[請求項13] 符号長が16200ビットであり符号化率が13/15のLDPC符号の検査行列

に基づき、LDPC符号化を行う符号化部をさらに備え、

前記LDPC符号は、情報ビットとパリティビットを含み、

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

前記情報行列部は、検査行列初期値テーブルによって表され、

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

37 144 161 199 220 496 510 589 731 808 834 965 1249 1264 131

1 1377 1460 1520 1598 1707 1958 2055 2099 2154

20 27 165 462 546 583 742 796 1095 1110 1129 1145 1169 1190
1254 1363 1383 1463 1718 1835 1870 1879 2108 2128
288 362 463 505 638 691 745 861 1006 1083 1124 1175 1247 127
5 1337 1353 1378 1506 1588 1632 1720 1868 1980 2135
405 464 478 511 566 574 641 766 785 802 836 996 1128 1239 12
47 1449 1491 1537 1616 1643 1668 1950 1975 2149
86 192 245 357 363 374 700 713 852 903 992 1174 1245 1277 13
42 1369 1381 1417 1463 1712 1900 1962 2053 2118
101 327 378 550
186 723 1318 1550
118 277 504 1835
199 407 1776 1965
387 1253 1328 1975
62 144 1163 2017
100 475 572 2136
431 865 1568 2055
283 640 981 1172
220 1038 1903 2147
483 1318 1358 2118
92 961 1709 1810
112 403 1485 2042
431 1110 1130 1365
587 1005 1206 1588
704 1113 1943
375 1487 2100
1507 1950 2110
962 1613 2038
554 1295 1501

488 784 1446

871 1935 1964

54 1475 1504

1579 1617 2074

1856 1967 2131

330 1582 2107

40 1056 1809

1310 1353 1410

232 554 1939

168 641 1099

333 437 1556

153 622 745

719 931 1188

237 638 1607

である

前記送信装置

から送信されてくるデータから得られる前記LDPC符号を復号する復号部をさらに備える

請求項8に記載のデータ処理装置。

[請求項14]

符号長が16200ビットであり符号化率が10/15, 11/15, 12/15、又は、13/15のLDPC符号を、360ビットのビットグループ単位でインターリーブするグループワイズインターリーブを行うグループワイズインターリーブ部を備え、

前記16200ビットのLDPC符号の先頭から $i+1$ 番目のビットグループを、ビットグループ i として、

前記グループワイズインターリーブでは、前記16200ビットのLDPC符号のビットグループ0ないし44の並びを、ビットグループ

15, 25, 9, 27, 5, 38, 13, 10, 19, 16, 28, 1, 36, 0, 11, 17,

32, 35, 7, 26, 14, 21, 6, 4, 23, 22, 3, 18, 20, 24, 30, 12, 37
, 2, 40, 8, 33, 29, 31, 34, 41, 42, 43, 44, 39

の並びにインターリーブする

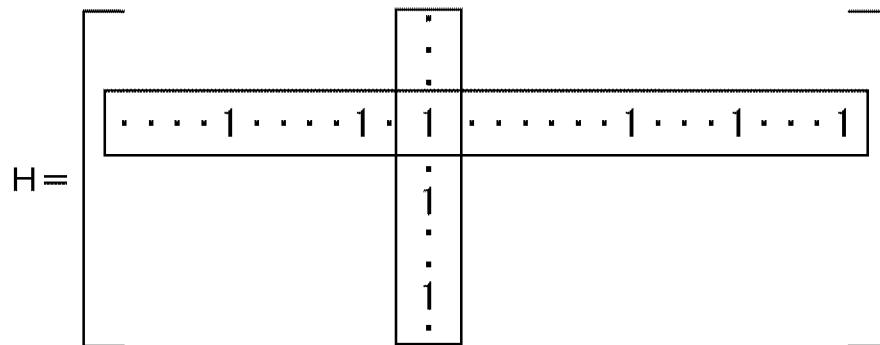
送信装置

から送信されてくるデータから得られる、グループワイズインター
リーブ後の前記LDPC符号の並びを元の並びに戻すグループワイズデ
インターリーブステップを備える

データ処理方法。

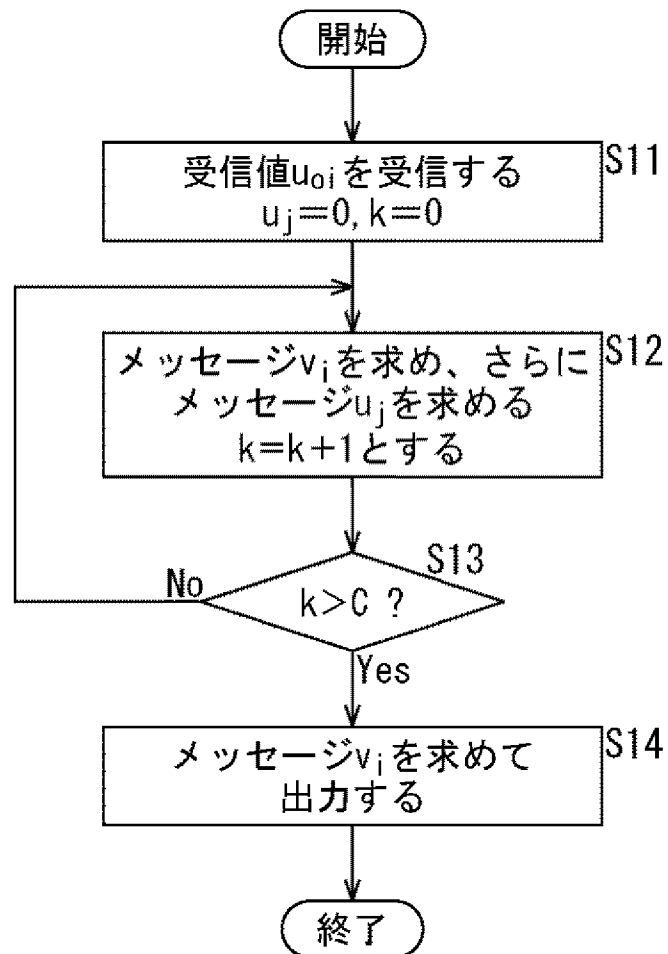
[図1]

図1



[図2]

図2



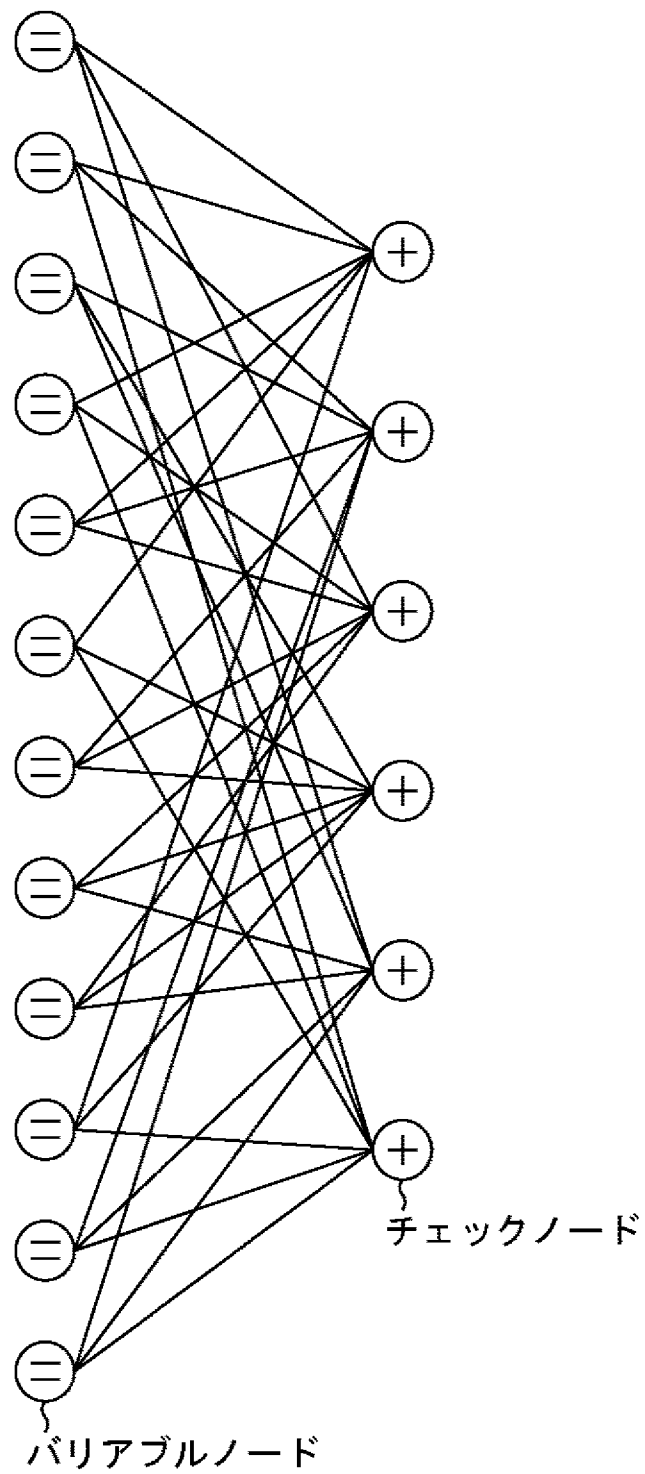
[図3]

図3

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

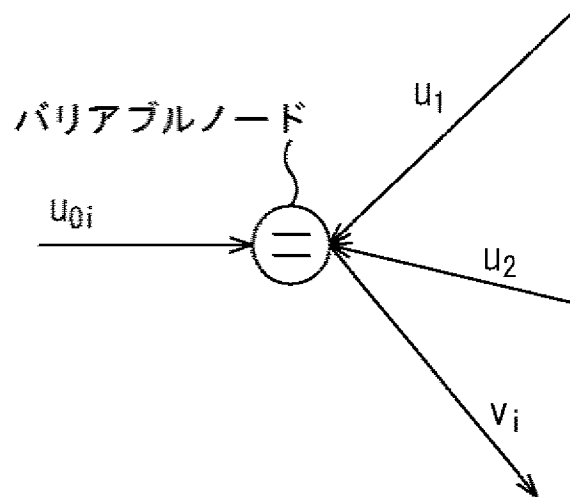
[図4]

図4



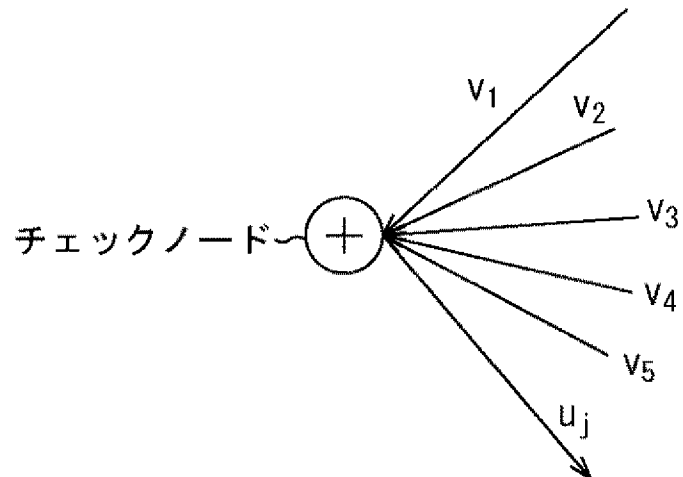
[図5]

図5



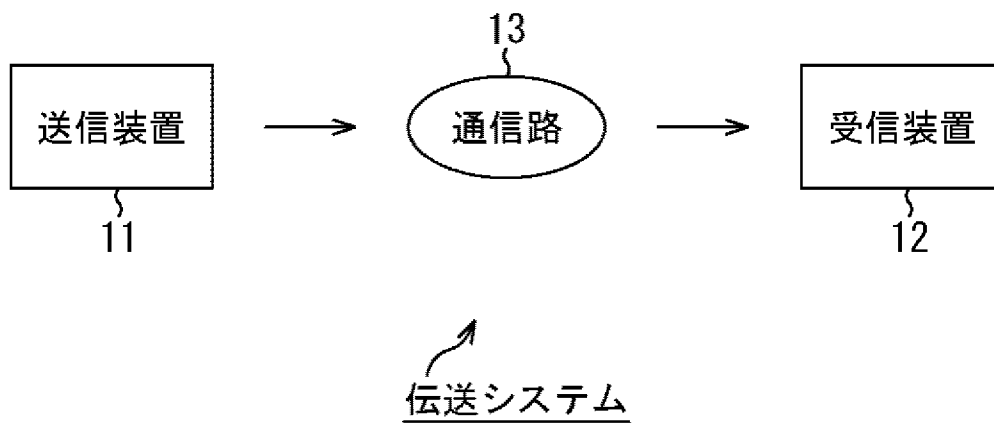
[図6]

図6



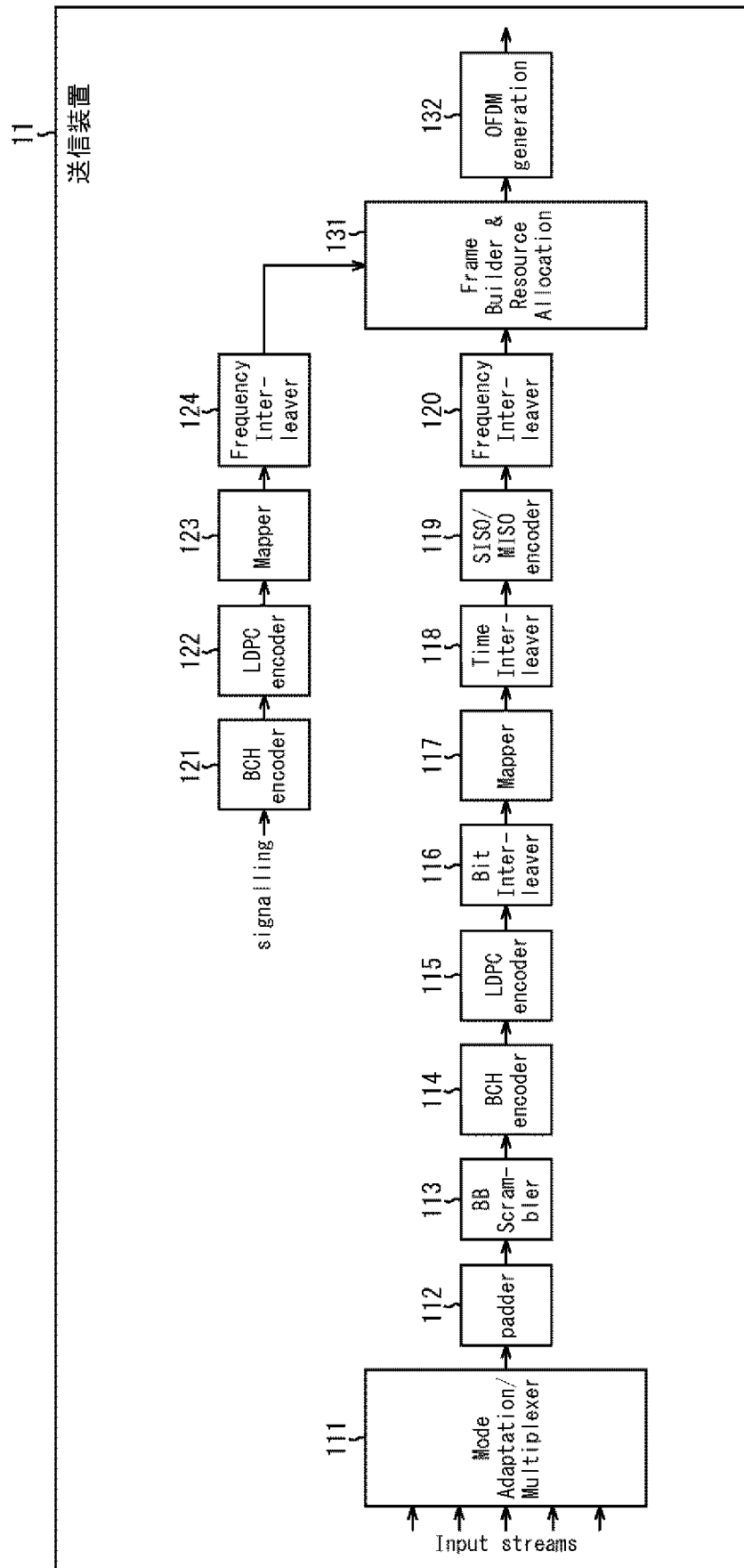
[図7]

図7



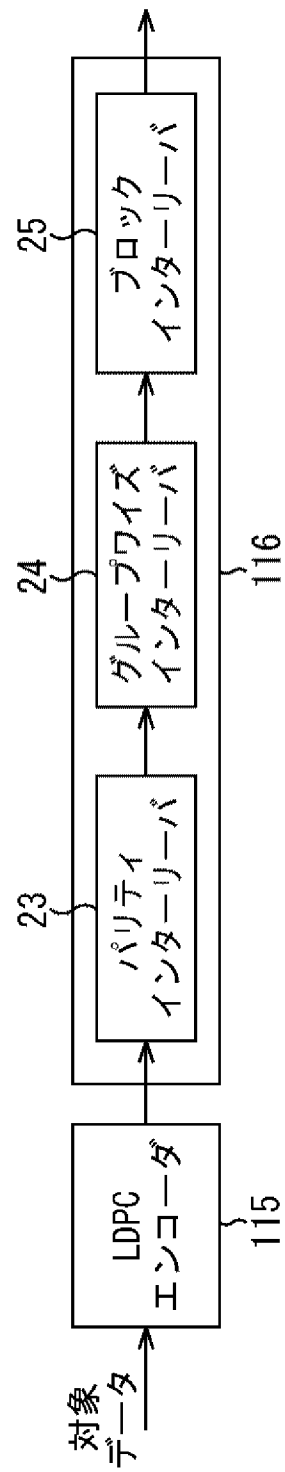
[図8]

図8



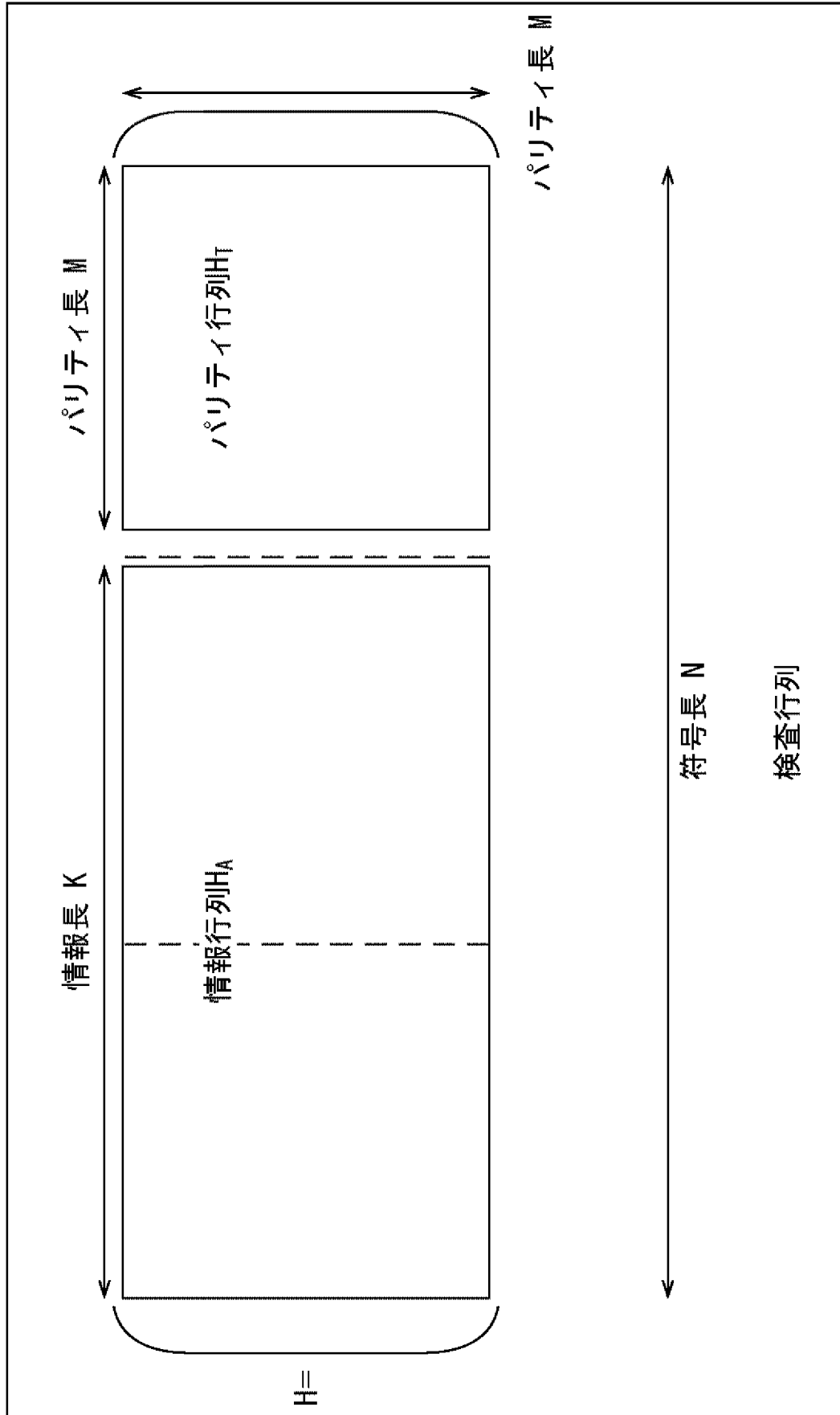
[図9]

図9



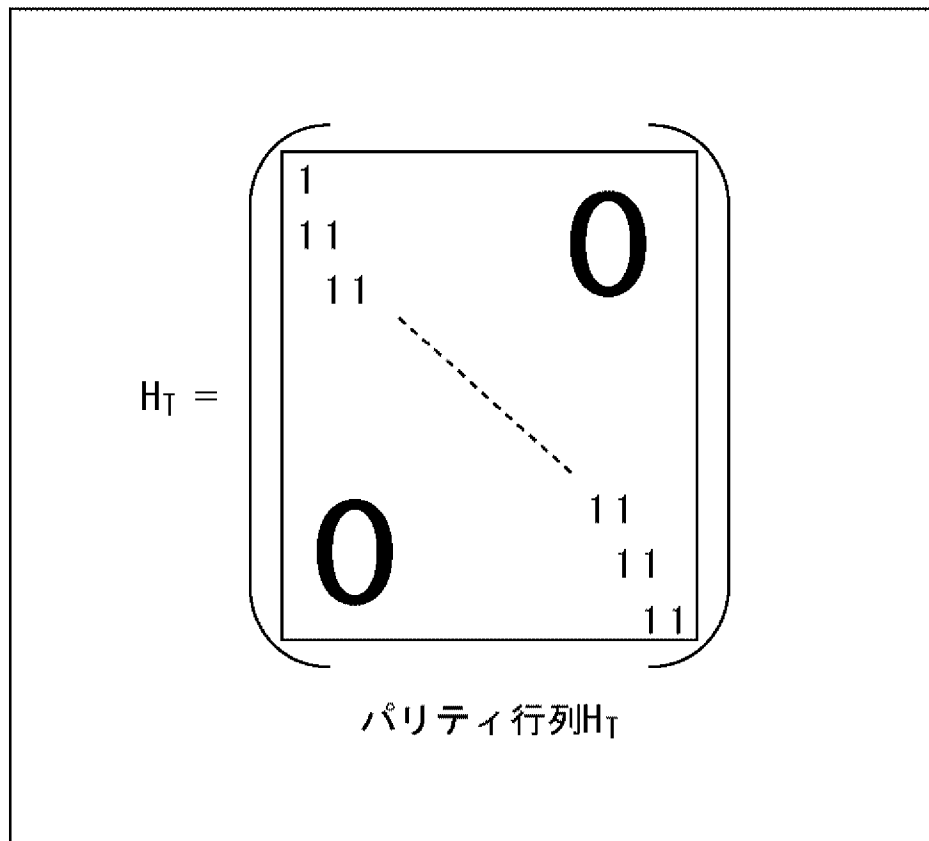
[図10]

図10



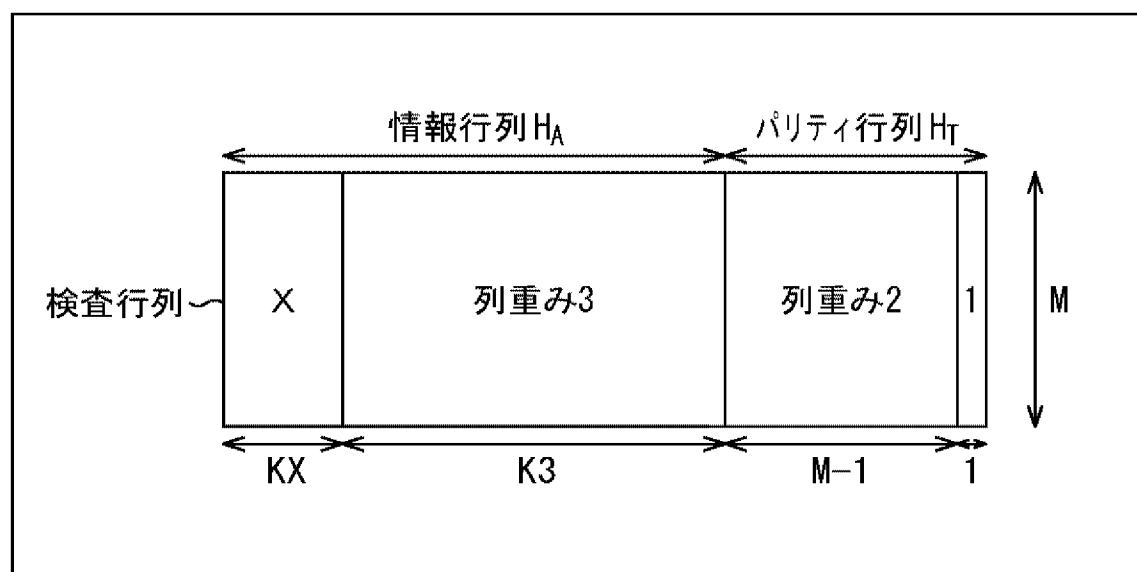
[図11]

図11



[図12]

図12



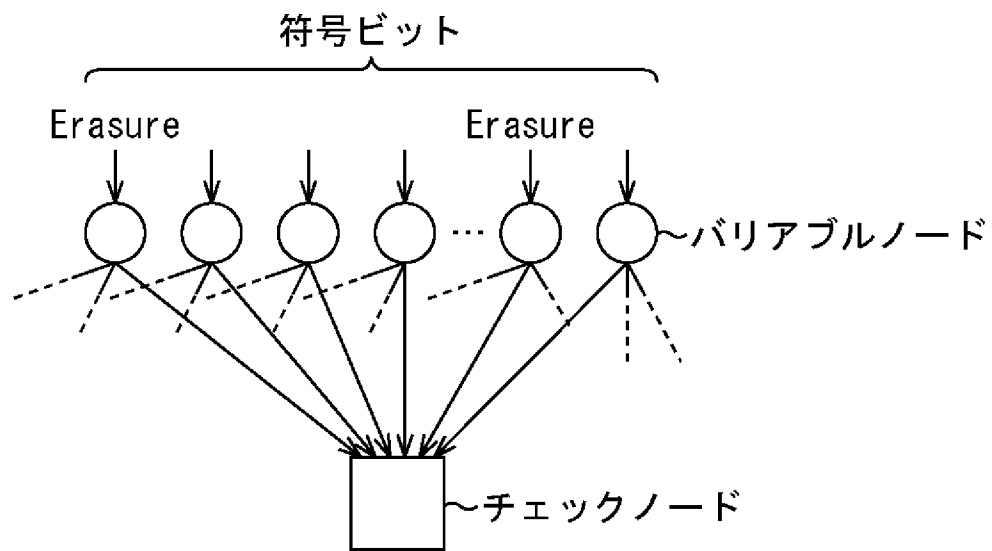
[図13]
図13

N=16200									
N=64800					N=16200				
Nominal 符号化率	X	KX	K3	M	X	KX	K3	M	
1/4	12	5400	10800	48600	12	1440	1800	12960	
1/3	12	7200	14400	43200	12	1800	3600	10800	
2/5	12	8640	17280	38880	12	2160	4320	9720	
1/2	8	12960	19440	32400	8	1800	5400	9000	
3/5	12	12960	25920	25920	12	3240	6480	6480	
2/3	13	4320	38880	21600	13	1080	9720	5400	
3/4	12	5400	43200	16200	12	360	11520	4320	
4/5	11	6480	45360	12960	-	0	12600	3600	
5/6	13	5400	48600	10800	13	360	12960	2880	
8/9	4	7200	50400	7200	4	1800	12600	1800	
9/10	4	6480	51840	6480	---	---	---	---	

各列重みの
列数

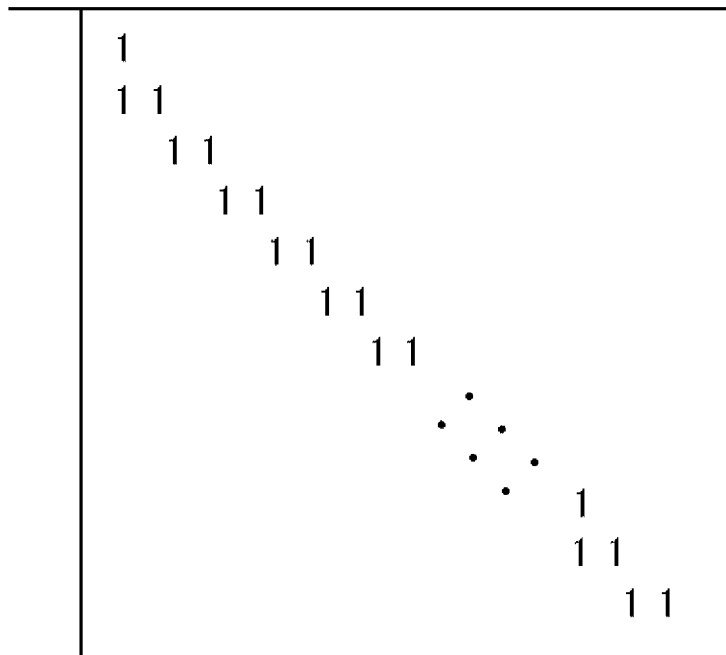
[図14]

図14



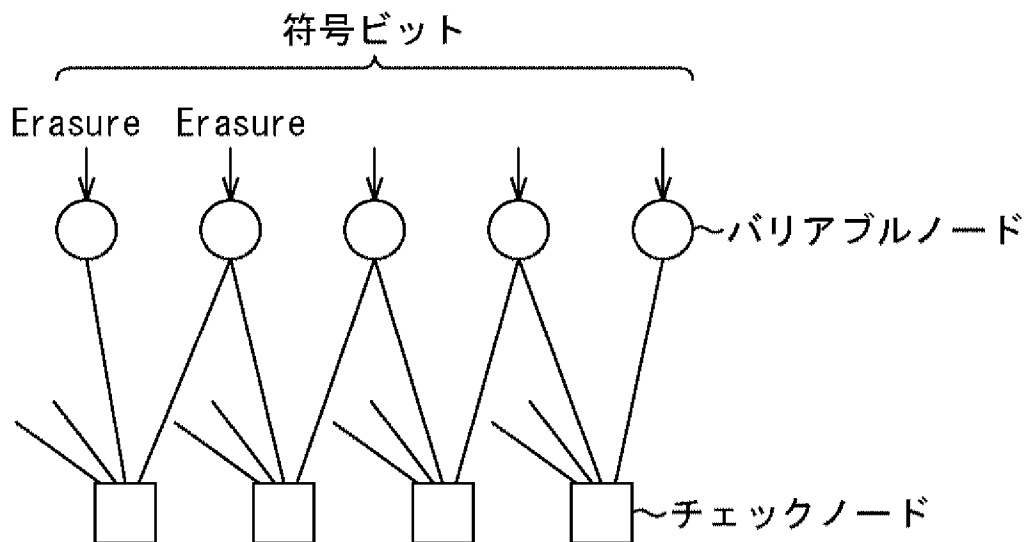
[図15]

図15



パリティ行列の階段構造

A

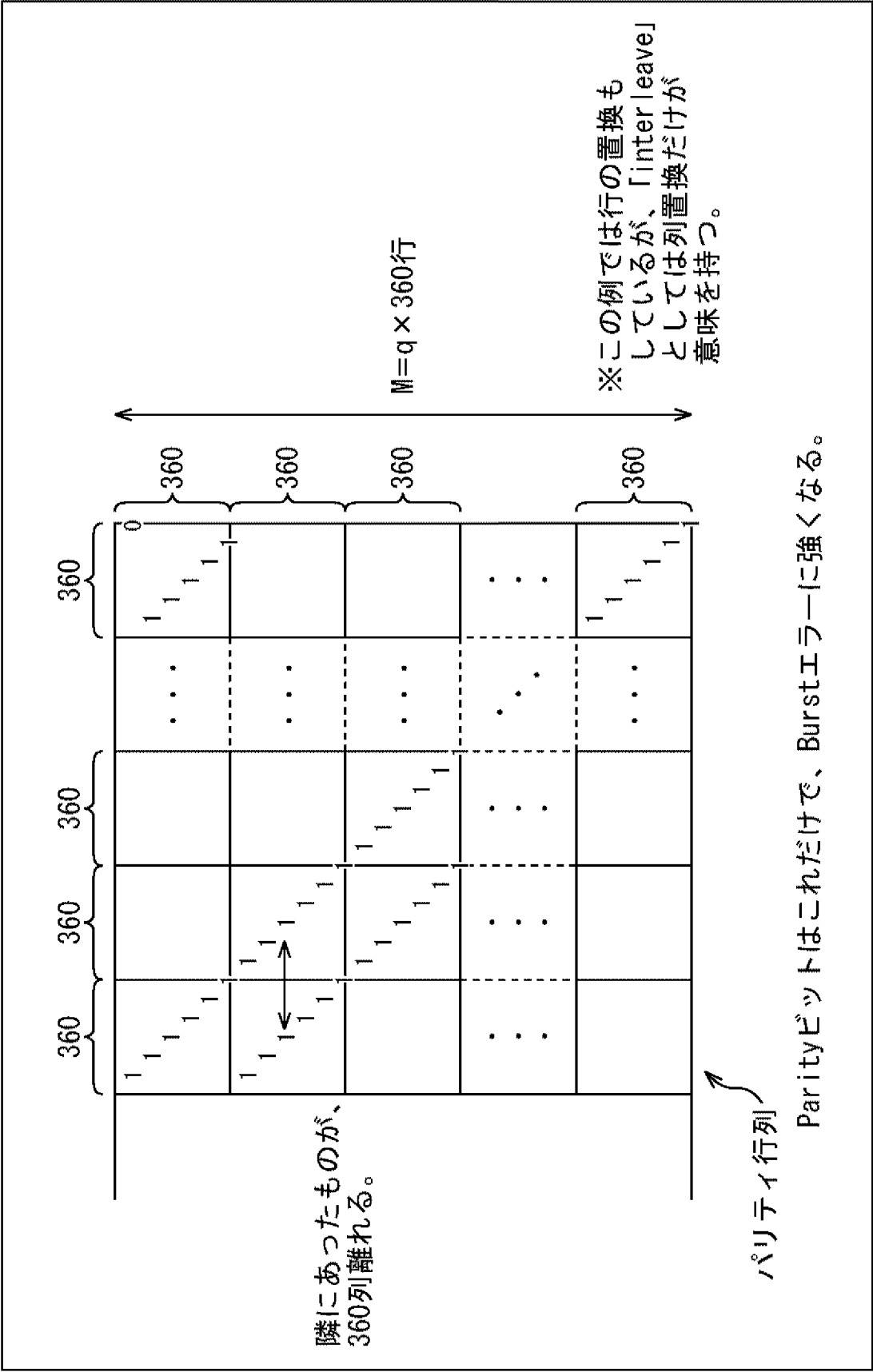


Tanner Graphの階段構造部分

B

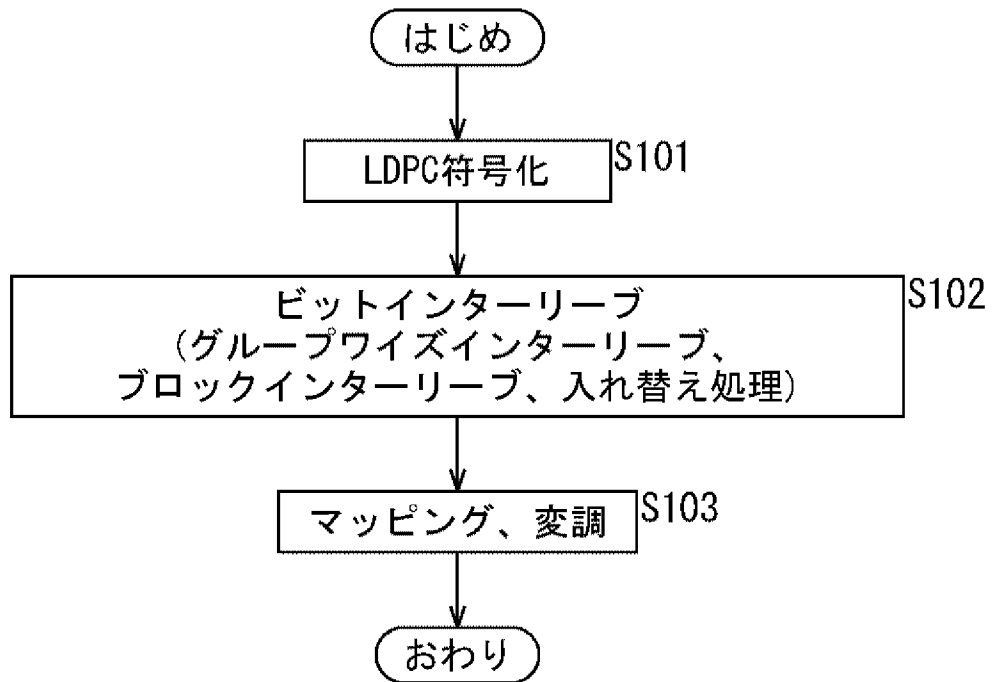
[図16]

図16

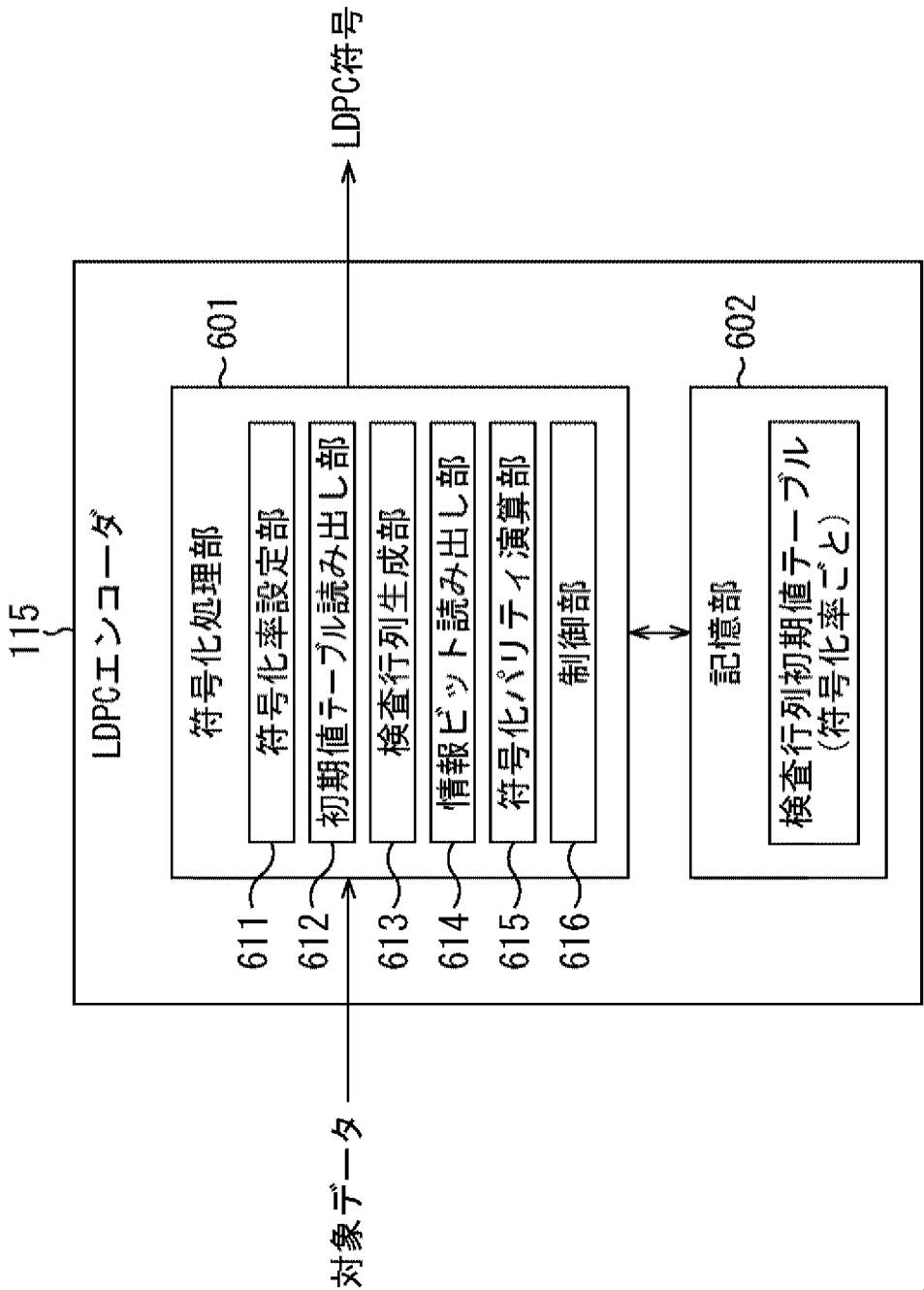


[図17]

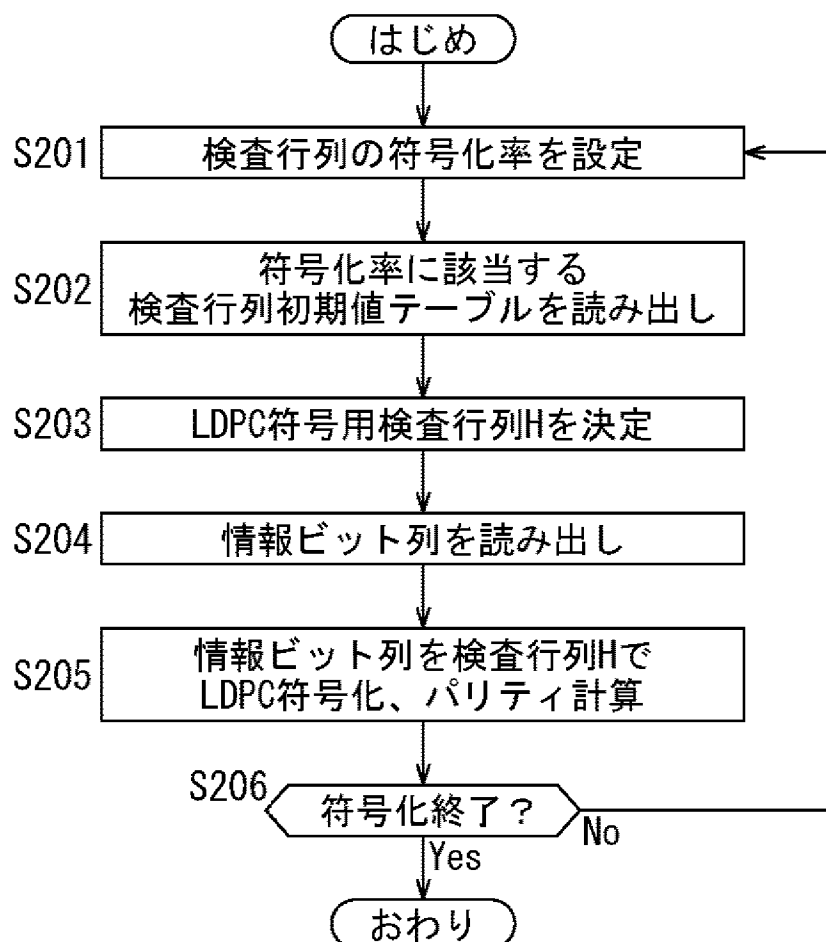
図17



[図18]
図18



[図20]
図20

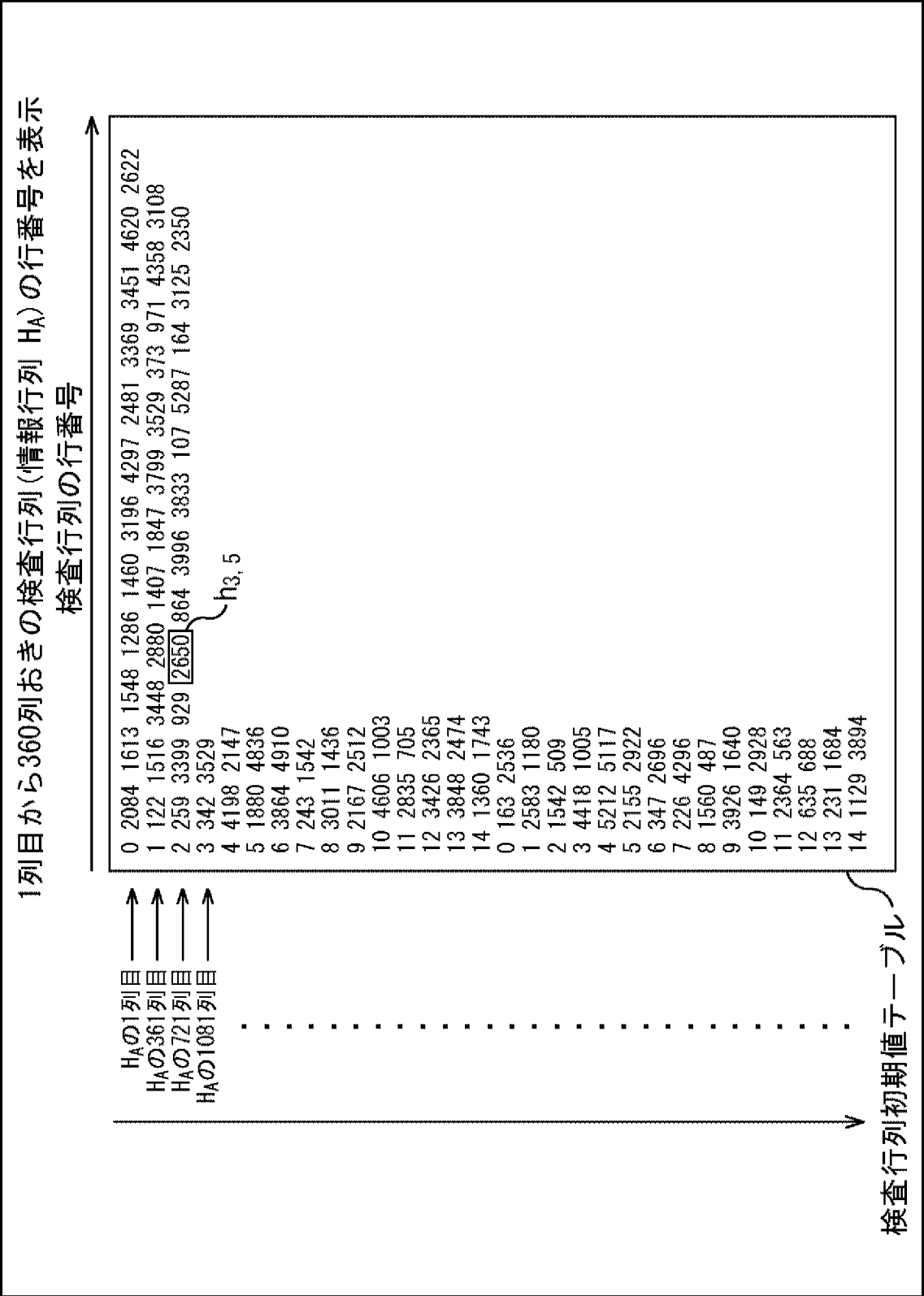


```

r1/4 16K
6295 9626 304 7695 4839 4936 1660 144 11203 5567 6347 12557
10691 4988 3859 3734 3071 3494 7687 10313 5964 8069 8296 11090
10774 3613 5208 11177 7676 3549 8746 6583 7239 12265 2674 4292
11869 3708 5981 8718 4908 10650 6805 3334 2627 10461 9285 11120
7844 3079 10773
3385 10854 5747
1360 12010 12202
6189 4241 2343
9840 12726 4977

```

[図21]
図21



[図22]

図22

N=64800, rate=7/15

7 15 26 69 1439 3712 5756 5792 5911 8456 10579 19462 19782 21709 23214 25142 26040
 30206 30475 31211 31427 32105 32989 33082 33502 34116 34241 34288 34292 34318 34373
 34390 34465

83 1159 2271 6500 6807 7823 10344 10700 13367 14162 14242 14352 15015 17301 18952
 20811 24974 25795 27868 28081 33077 33204 33262 33350 33516 33677 33680 33930 34090
 34250 34290 34377 34398

25 2281 2995 3321 6006 7482 8428 11489 11601 14011 17409 26210 29945 30675 31101
 31355 31421 31543 31697 32056 32216 33282 33453 33487 33696 34044 34107 34213 34247
 34261 34276 34467 34495

0 43 87 2530 4485 4595 9951 11212 12270 12344 15566 21335 24699 26580 28518 28564
 28812 29821 30418 31467 31871 32513 32597 33187 33402 33706 33838 33932 33977 34084
 34283 34440 34473

81 3344 5540 7711 13308 15400 15885 18265 18632 22209 23657 27736 29158 29701
 29845 30409 30654 30855 31420 31604 32519 32901 33267 33444 33525 33712 33878 34031
 34172 34432 34496 34502 34541

42 50 66 2501 4706 6715 6970 8637 9999 14555 22776 26479 27442 27984 28534 29587
 31309 31783 31907 31927 31934 32313 32369 32830 33364 33434 33553 33654 33725 33889
 33962 34467 34482

6534 7122 8723 13137 13183 15818 18307 19324 20017 26389 29326 31464 32678 33668
 34217

50 113 2119 5038 5581 6397 6550 10987 22308 25141 25943 29299 30186 33240 33399
 7262 8787 9246 10032 10505 13090 14587 14790 16374 19946 21129 25726 31033 33660
 33675

5004 5087 5291 7949 9477 11845 12698 14585 15239 17486 18100 18259 21409 21789
 24280

28 82 3939 5007 6682 10312 12485 14384 21570 25512 26612 26854 30371 31114 32689
 437 3055 9100 9517 12369 19030 19950 21328 24196 24236 25928 28458 30013 32181
 33560

18 3590 4832 7053 8919 21149 24256 26543 27266 30747 31839 32671 33089 33571 34296
 2678 4569 4667 6551 7639 10057 24276 24563 25818 26592 27879 28028 29444 29873
 34017

72 77 2874 9092 10041 13669 20676 20778 25566 28470 28888 30338 31772 32143 33939
 296 2196 7309 11901 14025 15733 16768 23587 25489 30936 31533 33749 34331 34431
 34507

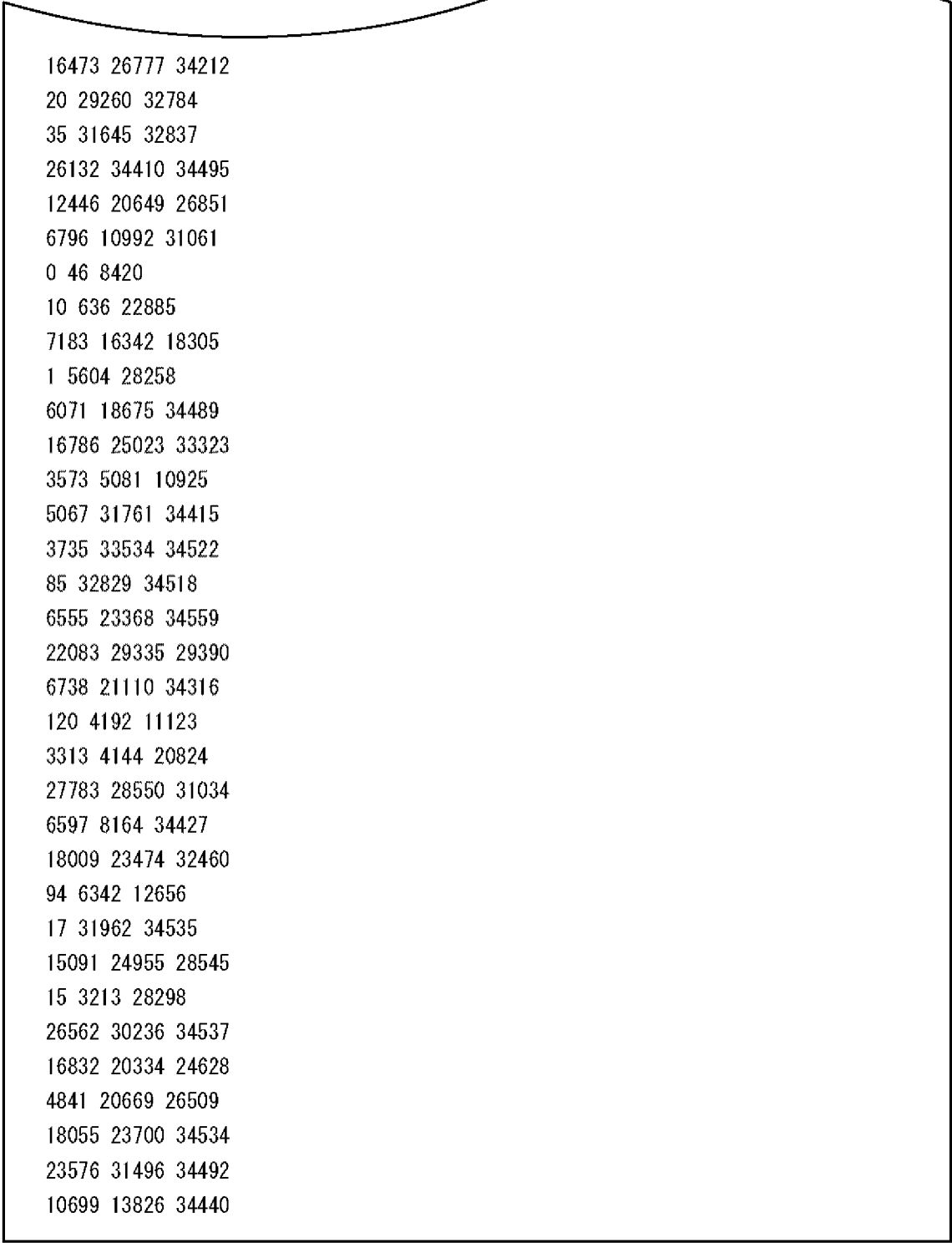
[図23]

図23

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

[図24]

図24



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

[図25]

図25

N=64800, rate=9/15

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

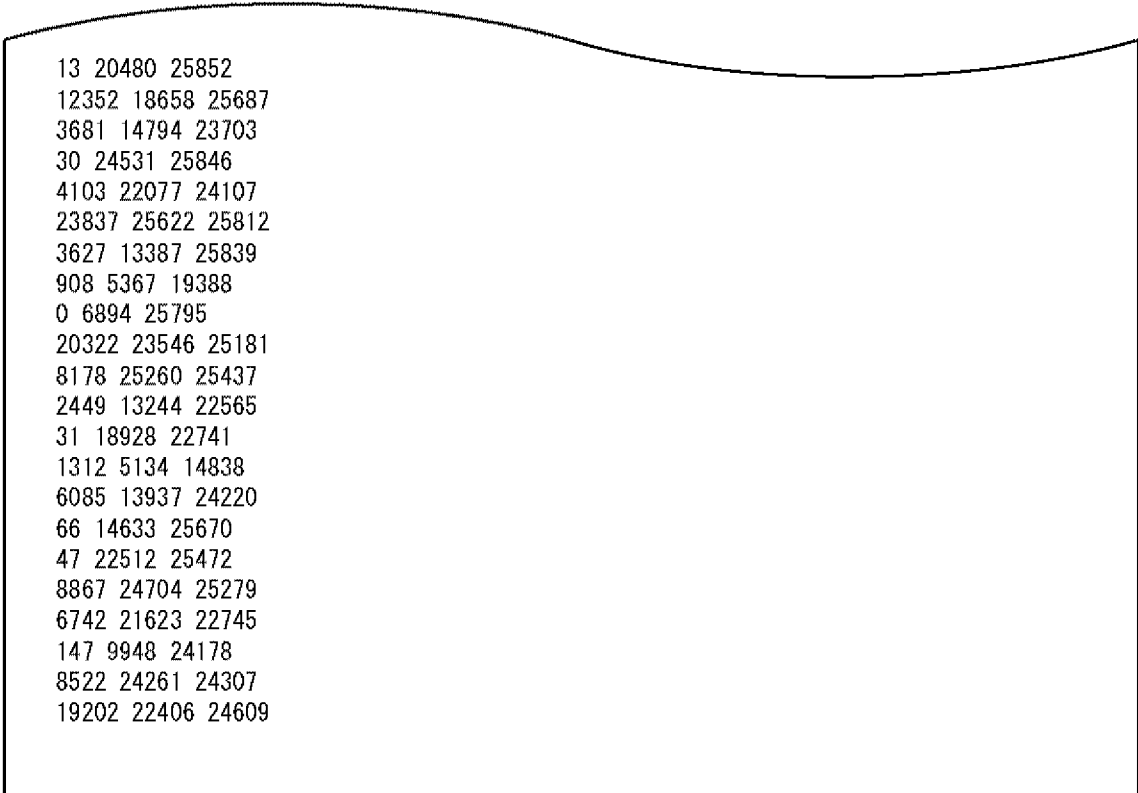
[図26]

図26

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

[図27]

図27



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

[図28]

図28

N=64800, rate=11/15

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

[図29]

図29

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

[図30]

図30

2841 15068 17068
24 3620 17003
9880 15718 16764
1784 10240 17209
2731 10293 10846
3121 8723 16598
8563 15662 17088
13 1167 14676
29 13850 15963
3654 7553 8114
23 4362 14865
4434 14741 16688
8362 13901 17244
13687 16736 17232
46 4229 13394
13169 16383 16972
16031 16681 16952
3384 9894 12580
9841 14414 16165
5013 17099 17115
2130 8941 17266
6907 15428 17241
16 1860 17235
2151 16014 16643
14954 15958 17222
3969 8419 15116
31 15593 16984
11514 16605 17255

[図31]

図31

N=64800, rate=13/15

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

[図32]

図32

10 4193 7720
1967 2151 4608
22 738 3513
3385 5066 8152
440 1118 8537
3429 6058 7716
5213 7519 8382
5564 8365 8620
43 3219 8603
4 5409 5815
5 6376 7654
4091 5724 5953
5348 6754 8613
1634 6398 6632
72 2058 8605
3497 5811 7579
3846 6743 8559
15 5933 8629
2133 5859 7068
4151 4617 8566
2960 8270 8410
2059 3617 8210
544 1441 6895
4043 7482 8592
294 2180 8524
3058 8227 8373
364 5756 8617
5383 8555 8619
1704 2480 4181
7338 7929 7990
2615 3905 7981
4298 4548 8296
8262 8319 8630
892 1893 8028
5694 7237 8595
1487 5012 5810
4335 8593 8624
3509 4531 5273
10 22 830
4161 5208 6280
275 7063 8634
4 2725 3113
2279 7403 8174
1637 3328 3930
2810 4939 5624
3 1234 7687
2799 7740 8616
22 7701 8636
4302 7857 7993
7477 7794 8592
9 6111 8591
5 8606 8628
347 3497 4033

[図33]

図33

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

13 88 136 188 398 794 855 918 954 1950 2762 2837 2847 4209 4342 5092 5334 5498 5731 5837 6150 6942 7127 7402 7936 8235 8307
8600 9001 9419 9442 9710
619 792 1002 1148 1528 1533 1925 2207 2766 3021 3267 3593 3947 4832 4873 5109 5488 5882 6079 6097 6276 6499 6584 6738 6795
7550 7723 7786 8732 9060 9270 9401
499 717 1551 1791 2535 3135 3582 3813 4047 4309 5126 5186 5219 5716 5977 6236 6406 6586 6591 7085 7199 7485 7726 7878 8027
8066 8425 8802 9309 9464 9553 9671
658 4058 7824 8512
3245 4743 8117 9369
465 6559 8112 9461
975 2368 4444 6095
4128 5993 9182 9473
9 3822 5306 5320
4 8311 9571 9669
13 8122 8949 9656
3353 4449 5829 8053
7885 9118 9674
7575 9591 9670
431 8123 9271
4228 7587 9270
8847 9146 9556
11 5213 7763

[図35]

図35

N=16200, rate=8/15

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

[図36]

図36

N=16200, rate=10/15

```

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

```

图37

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

图 38

N=16200, r=10/15の検査行列初期値テーブル

76 545 1005 1029 1390 1970 2525 2971 3448 3845 4088 4114 4163 4373 4640 4705 4970 5094
114 463 600 1676 2239 2319 2326 2815 2887 4278 4457 4493 4597 4918 4989 5038 5261 5384
451 632 829 1006 1530 1723 2205 2587 2801 3041 3849 4382 4595 4727 5006 5156 5224 5286
211 265 1293 1777 1926 2214 2909 2957 3178 3278 3771 4547 4563 4737 4879 5068 5232 5344
6 2901 3925 5384
2858 4152 5006 5202
9 1232 2063 2768
7 11 2781 3871
12 2161 2820 4078
3 3510 4668 5323
253 411 3215 5241
3919 4789 5040 5302
12 5113 5256 5352
9 1461 4004 5241
1688 3585 4480 5394
8 2127 3469 4360
2827 4049 5084 5379
1770 3331 5315 5386
1885 2817 4900 5088
2568 3854 4660
1604 3565 5373
2317 4636 5156
2480 2816 4094
14 4518 4826
127 1192 3872
93 2282 3663
2962 5085 5314
2078 4277 5089
9 5280 5292
50 2847 4742

[図39]

図39

N=16200, rate=12/15

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

[図40]

図40

NN=64800, rate=6/15

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

Samsungより提供

[図41]

図41

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

Samsungより提供

[図42]

図42

N=64800, rate=8/15

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

Samsungより提供

[図43]

図43

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

Samsungより提供

[図44]

図44

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

Samsungより提供

[図45]

図45

N=64800, rate=10/15

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

Samsungより提供

[図46]

図46

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

Samsungより提供

[図47]

図47

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

Samsungより提供

[図48]

図48

N=64800, rate=12/15

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

Samsungより提供

[図49]

図49

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

Samsungより提供

[図50]

図50

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

Samsungより提供

[図51]

図51

N=16200, rate=7/15

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

Samsungより提供

[図52]

図52

N=16200, rate=9/15

350 462 1291 1383 1821 2235 2493 3328 3353 3772 3872 3923 4259 4426 4542 4972 5347 6217 6246
6332 6386

177 869 1214 1253 1398 1482 1737 2014 2161 2331 3108 3297 3438 4388 4430 4456 4522 4783 5273
6037 6395

347 501 658 966 1622 1659 1934 2117 2527 3168 3231 3379 3427 3739 4218 4497 4894 5000 5167
5728 5975

319 398 599 1143 1796 3198 3521 3886 4139 4453 4556 4636 4688 4753 4986 5199 5224 5496 5698
5724 6123

162 257 304 524 945 1695 1855 2527 2780 2902 2958 3439 3484 4224 4769 4928 5156 5303 5971
6358 6477

807 1695 2941 4276

2652 2857 4660 6358

329 2100 2412 3632

1151 1231 3872 4869

1561 3565 5138 5303

407 794 1455

3438 5683 5749

1504 1985 3563

440 5021 6321

194 3645 5923

1217 1462 6422

1212 4715 5973

4098 5100 5642

5512 5857 6226

2583 5506 5933

784 1801 4890

4734 4779 4875

938 5081 5377

127 4125 4704

1244 2178 3352

3659 6350 6465

1686 3464 4336

Samsungより提供

[図53]

図53

N=16200, rate=11/15

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

Samsungより提供

[図54]

図54

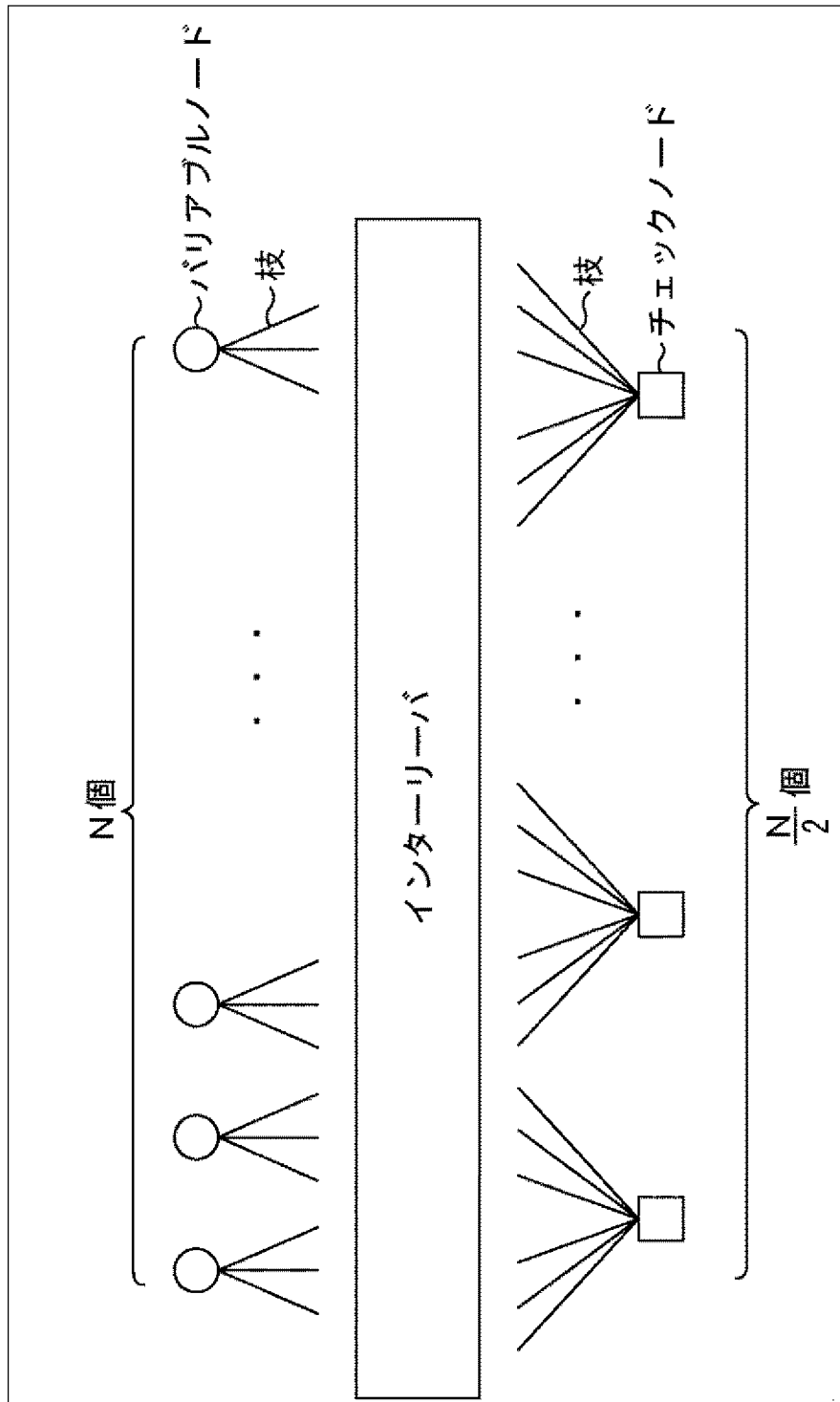
N=16200, rate=13/15

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

Samsungより提供

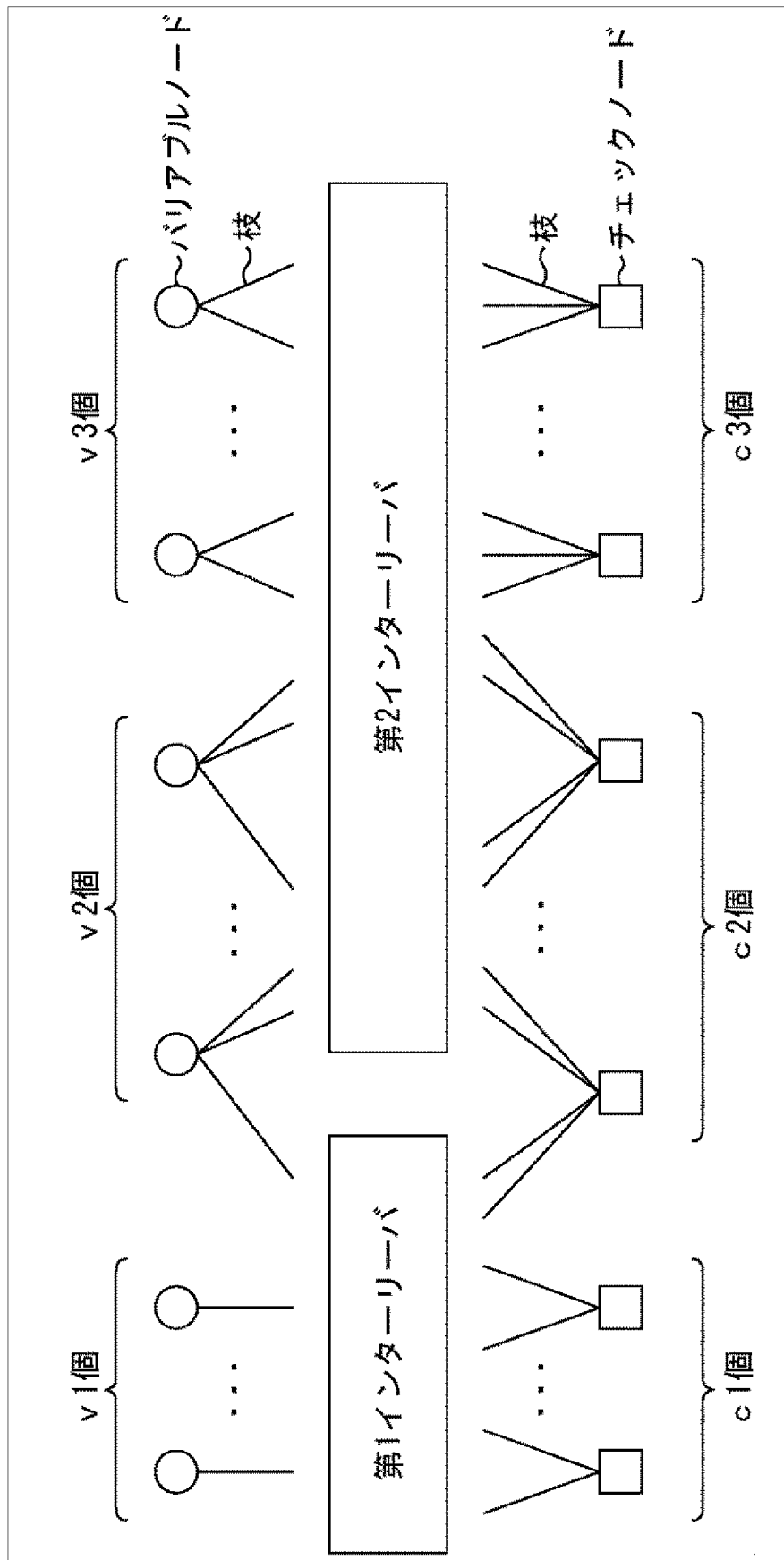
[図55]

図55



[図56]

図56



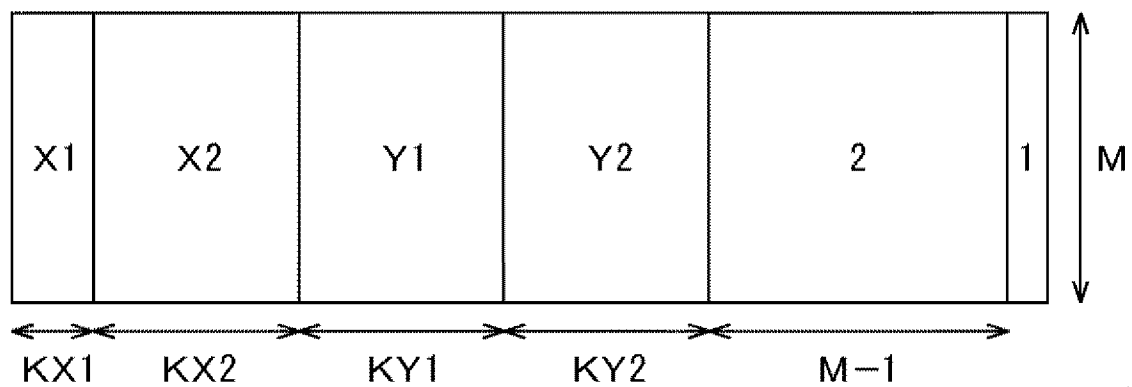
[図57]

図57

符号長: $N=64800$		
符号化率: $\{7, 9, 11, 13\}/15$		
Rate	性能閾値 (E_s/N_0)	最小サイクル長
7/15	-0.093751	6
9/15	1.658523	8
11/15	3.351930	6
13/15	5.901749	6

[図58]

図58



WO 2015/045901

PCT/JP2014/074200

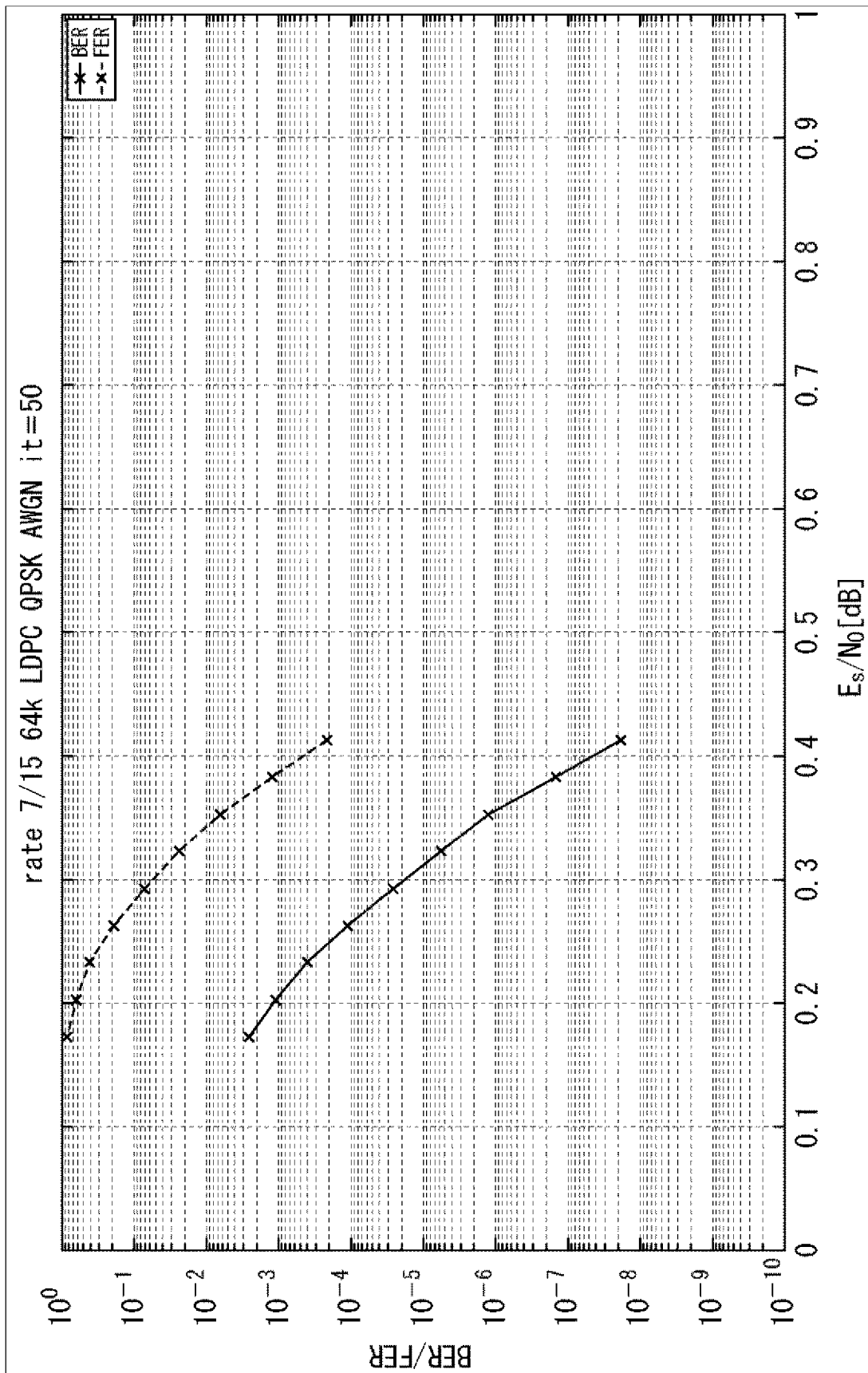
[図59]

図59

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

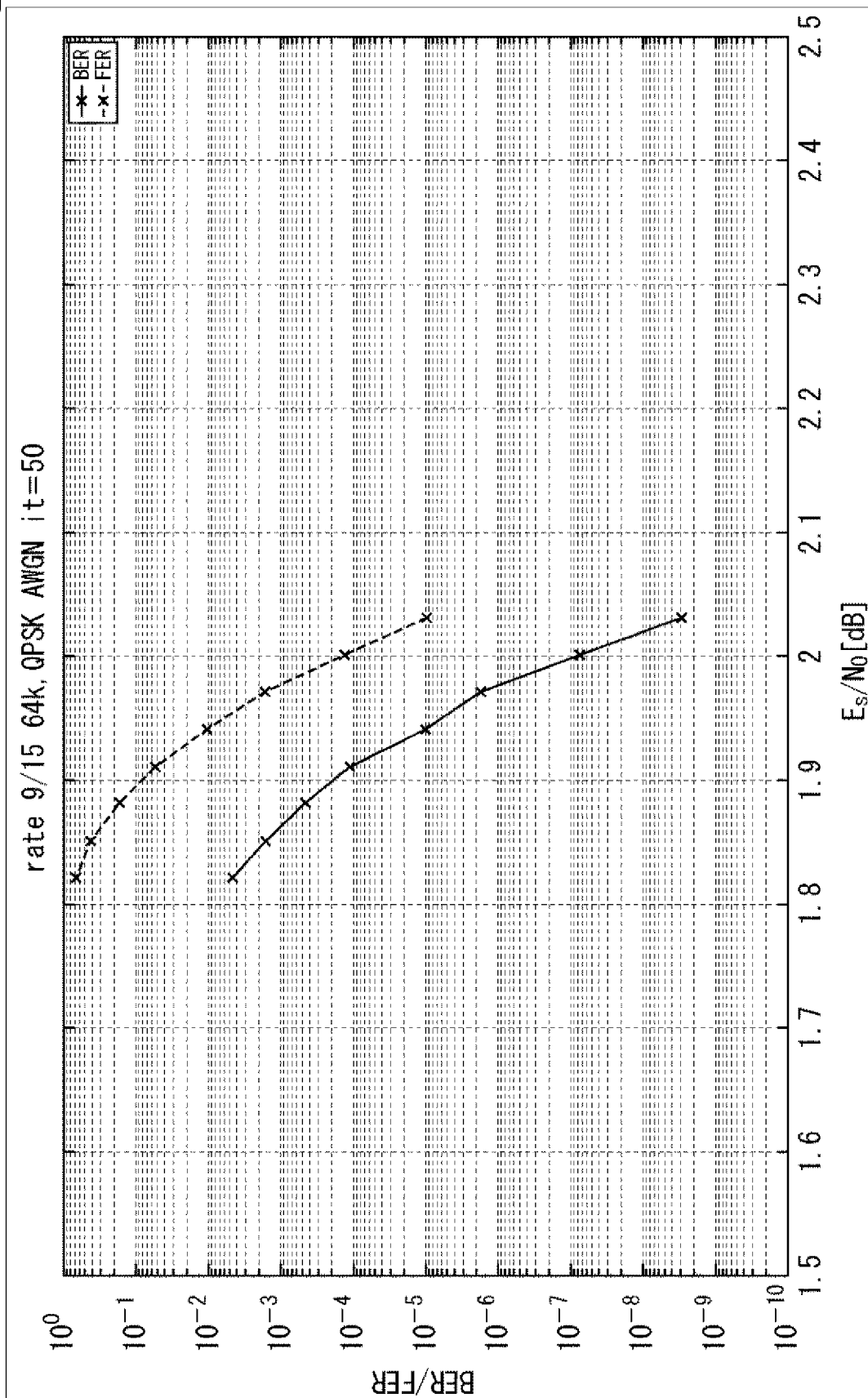
[図60]

図60



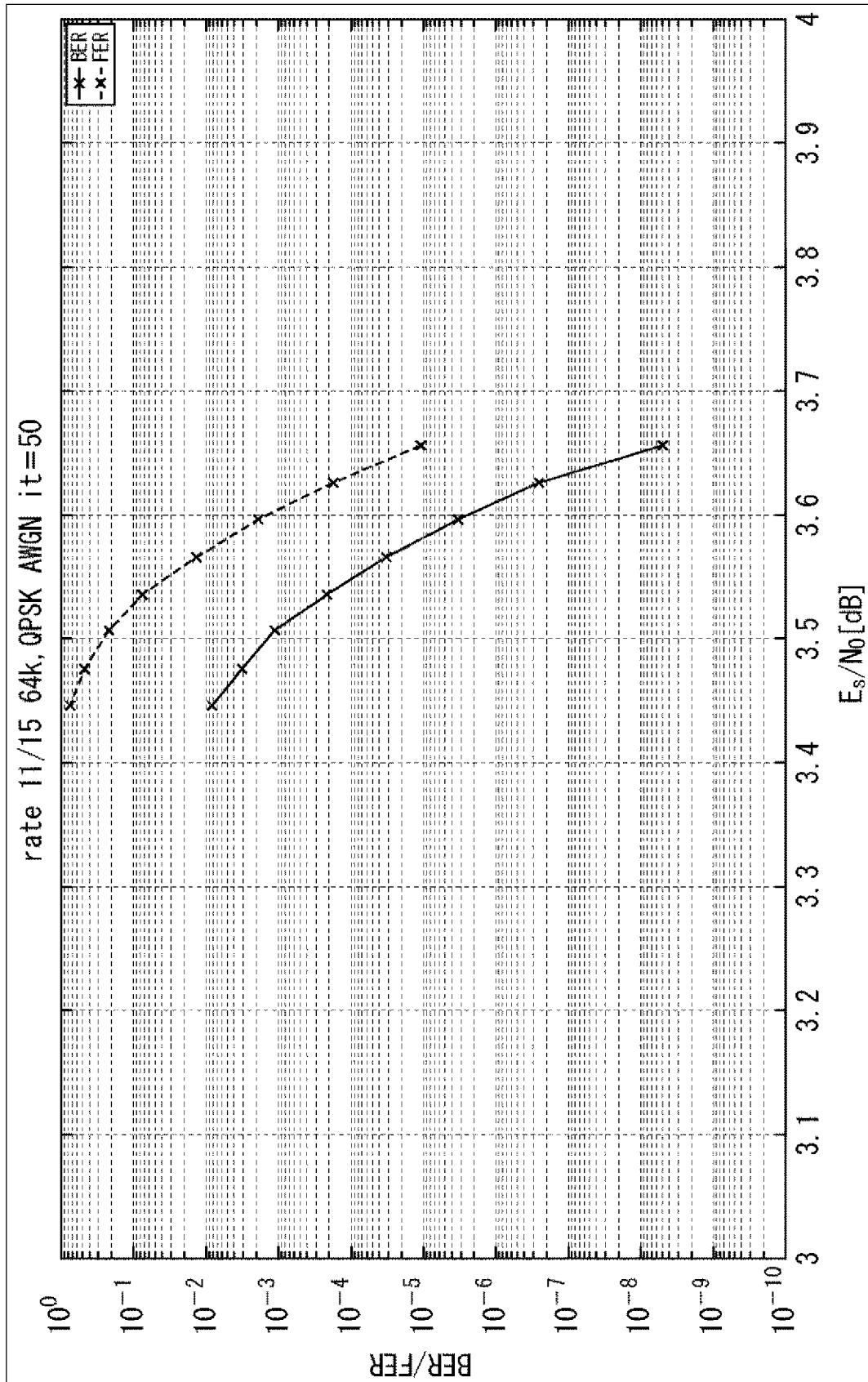
[図61]

図61



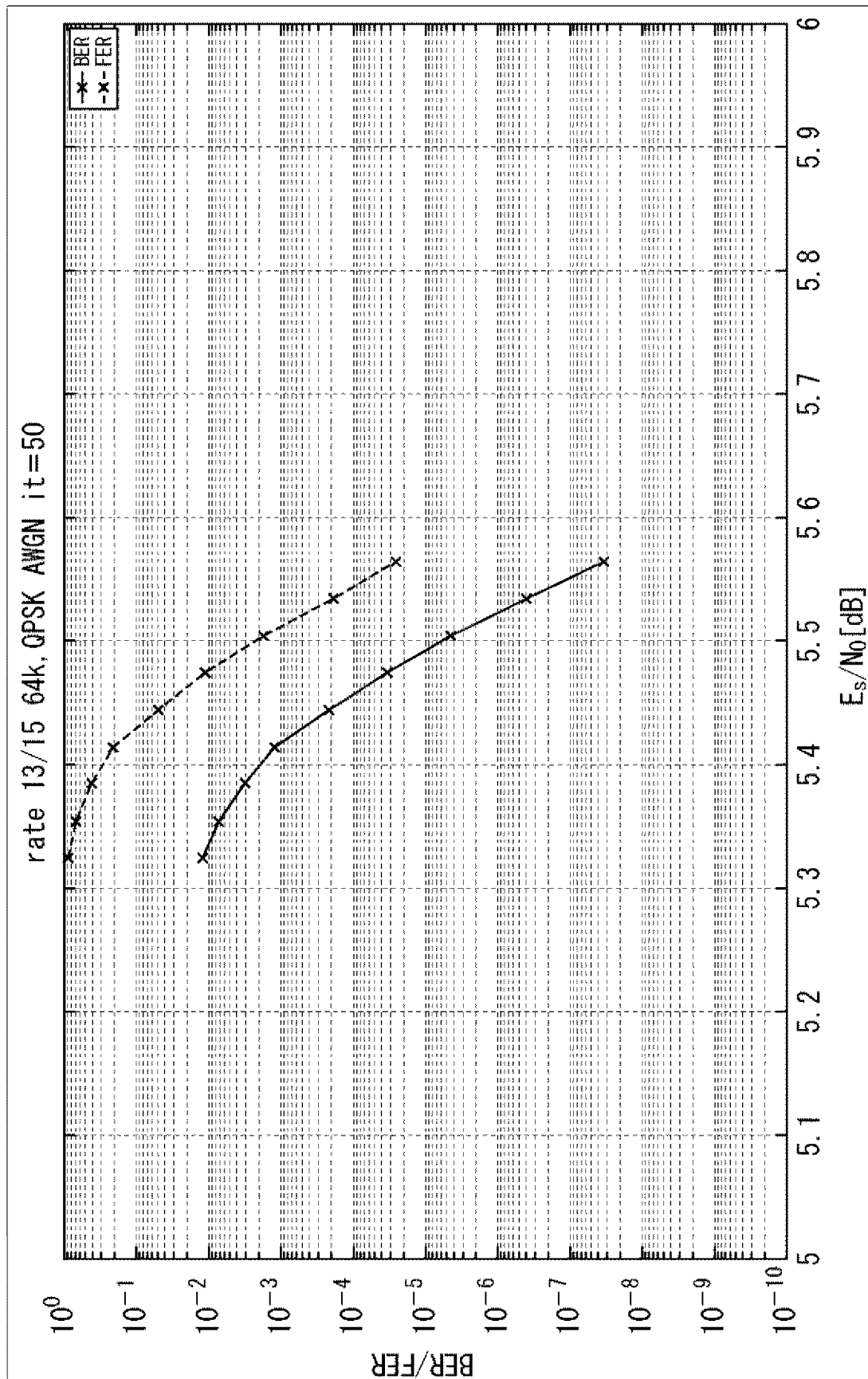
[図62]

図62



[図63]

図63



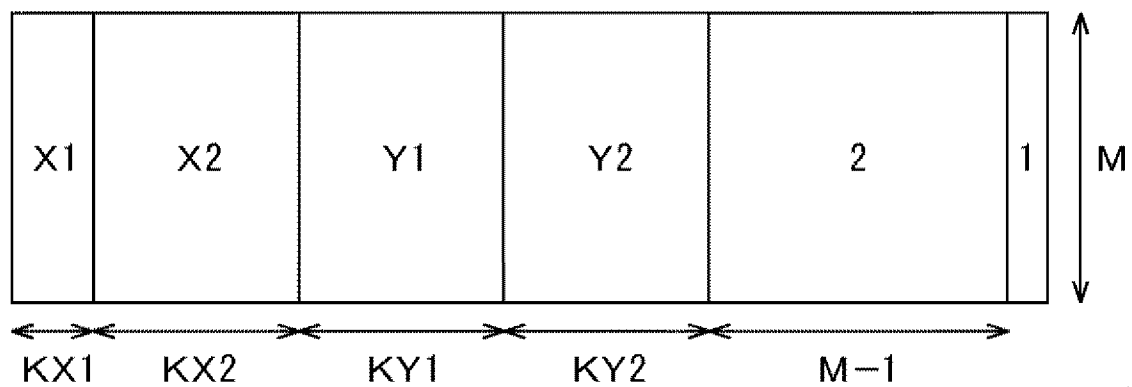
[図64]

図64

符号長: $N=16200$		
符号化率: $\{6, 8, 10, 12\}/15$		
Rate	性能閾値 (E_s/N_0)	最小サイクル長
6/15	0.1	6
8/15	0.805765	6
10/15	2.471011	6
12/15	4.269922	6

[図65]

図65



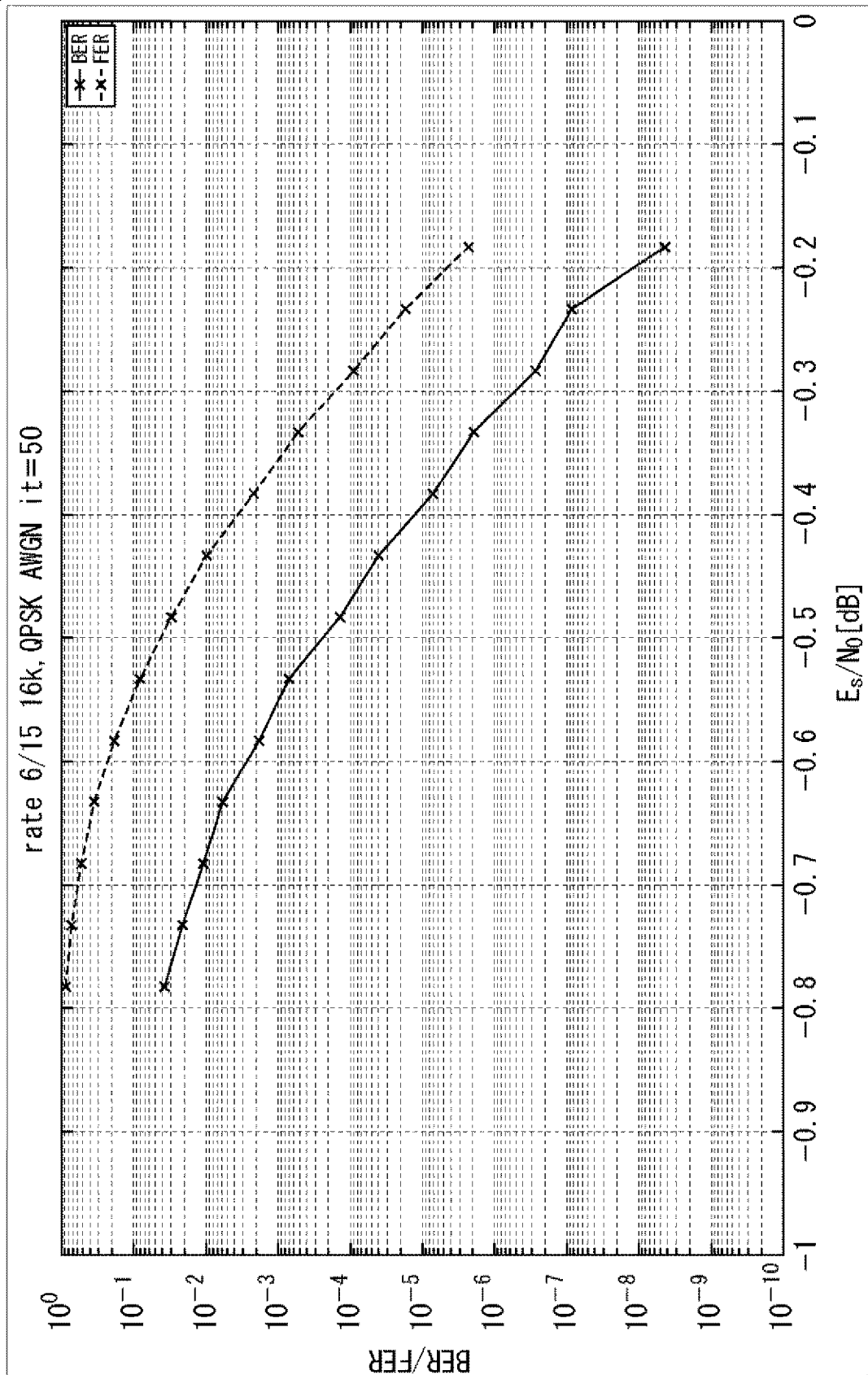
[図66]

図66

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

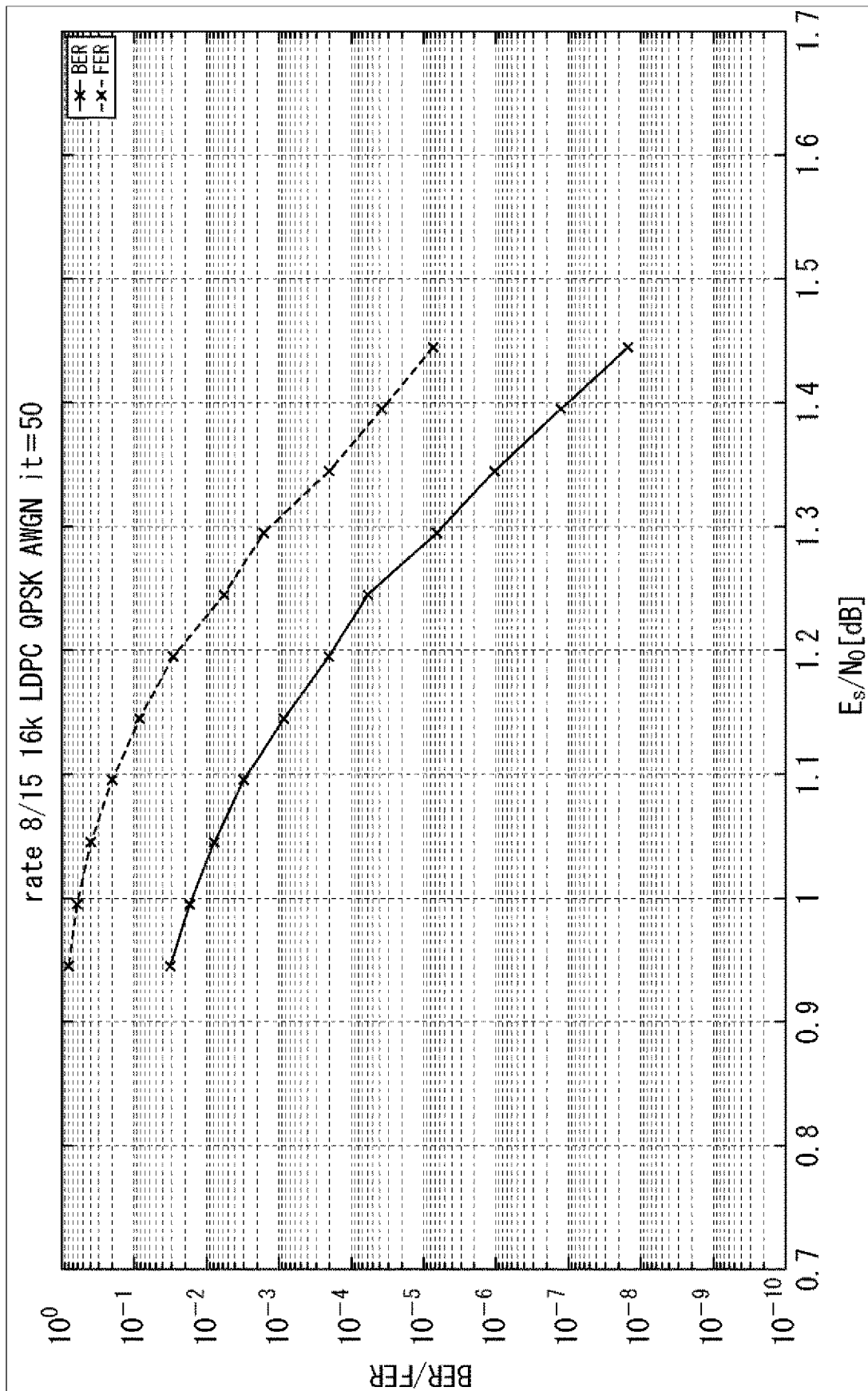
[図67]

図67



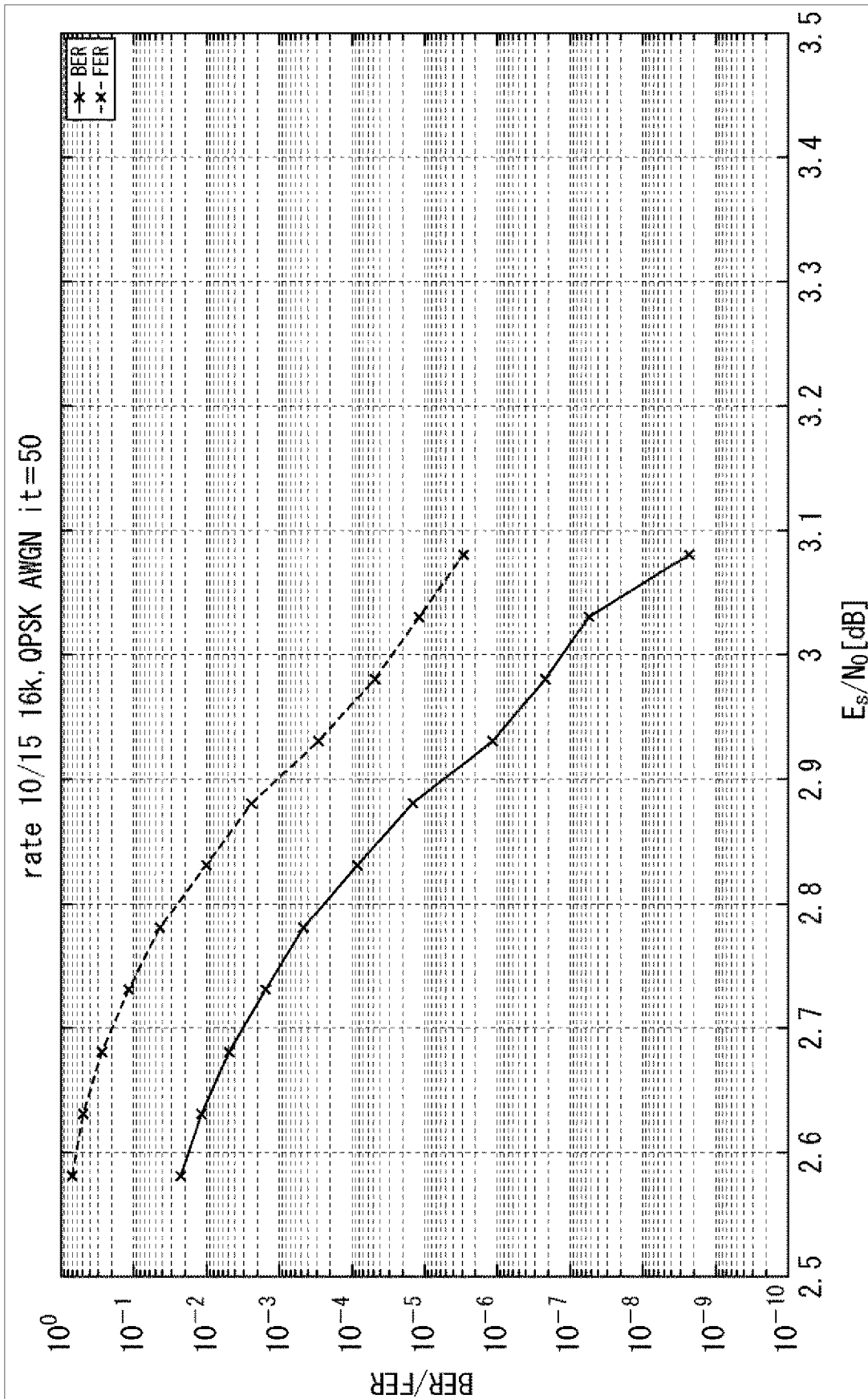
[図68]

図68



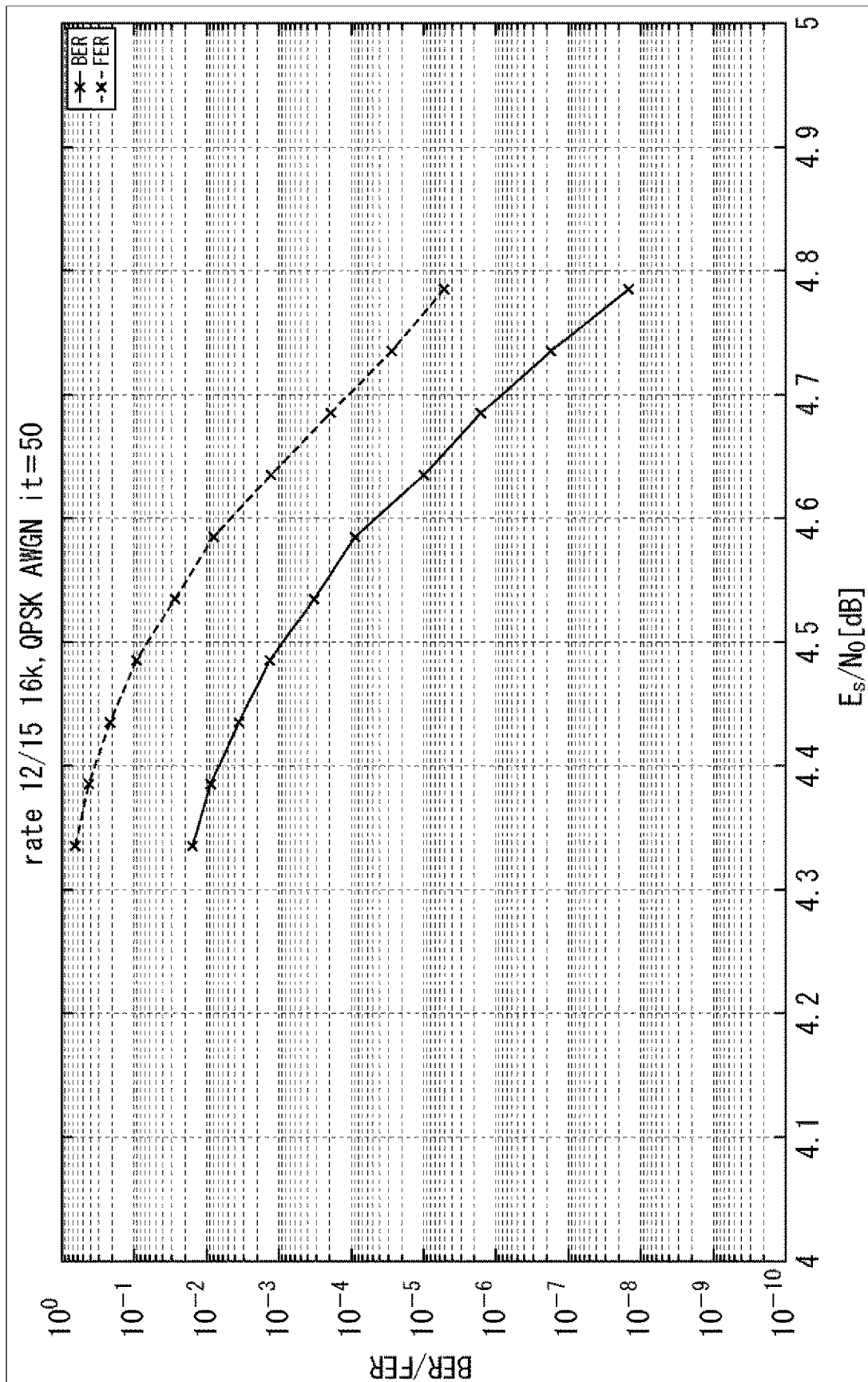
[図69]

図69



[図70]

図70



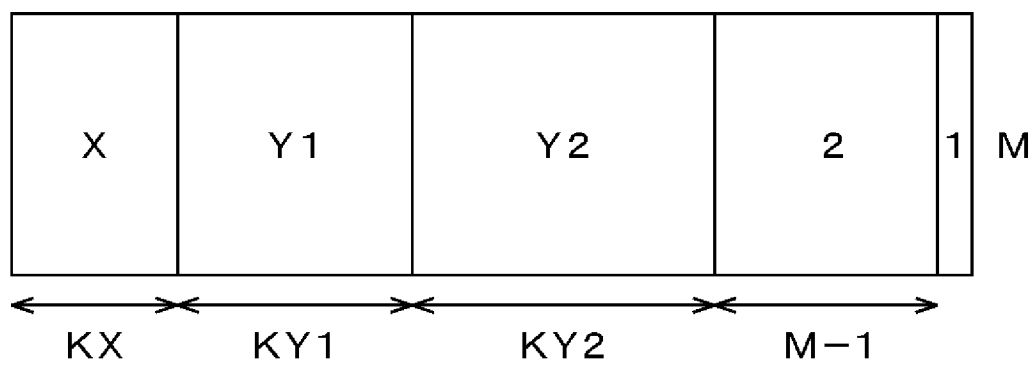
[図71]

図71

符号化率	最小サイクル長	性能閾値 (Eb/No)
10/15	6	1.35

[図72]

図72

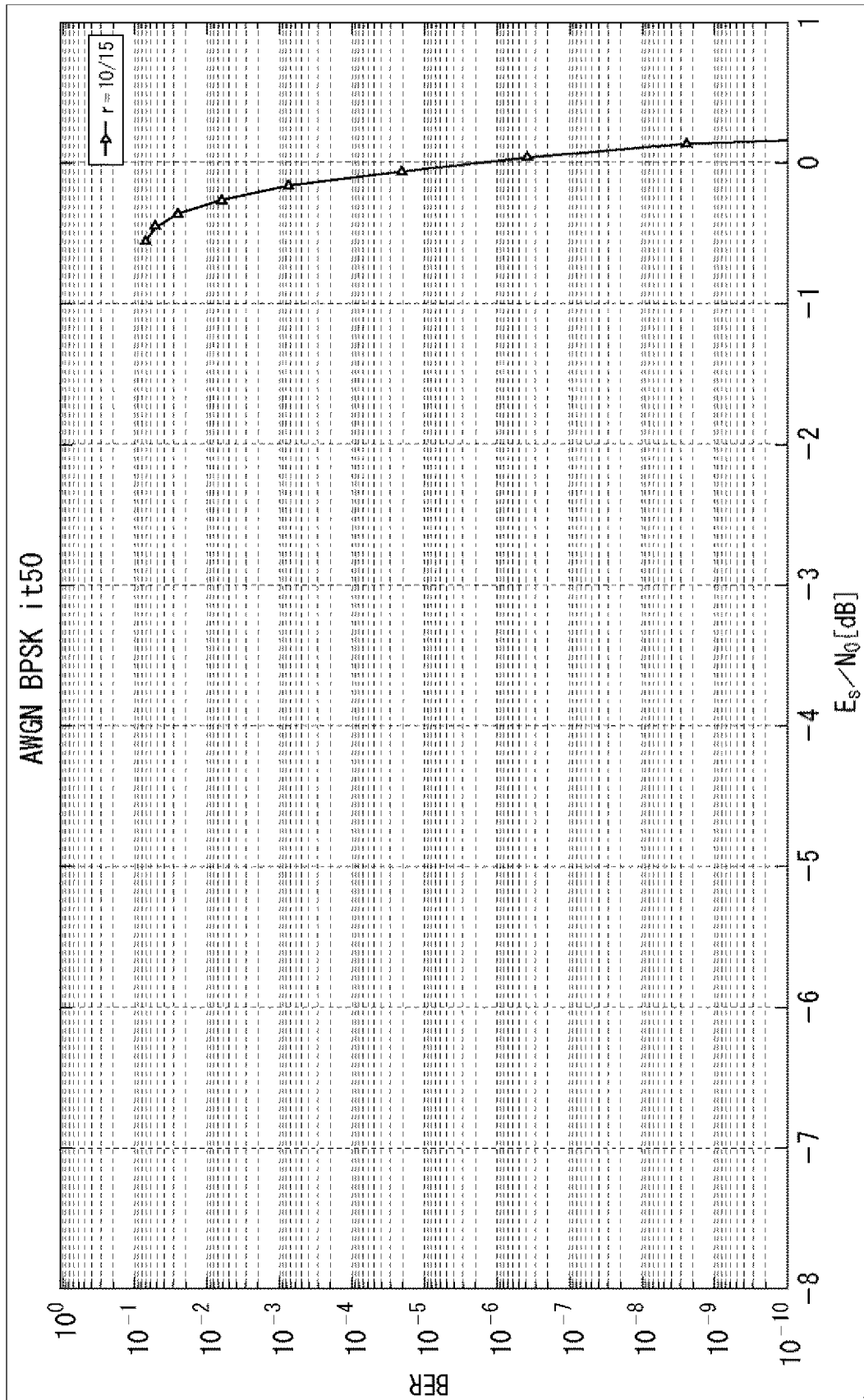


[図73]
図73

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

[図74]

図74



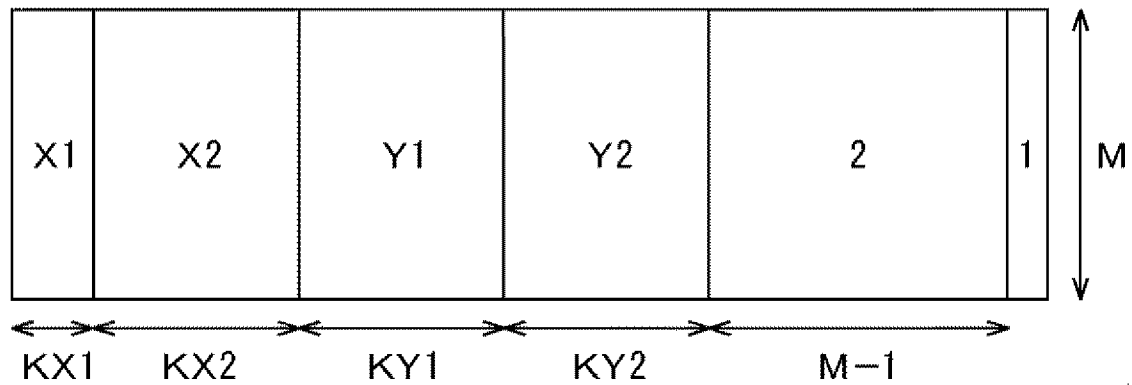
[図75]

図75

符号長: $N=16200$		
符号化率: 12/15		
Rate	性能閾値 (E_s/N_0)	最小サイクル長
12/15	4. 237556	6

[図76]

図76

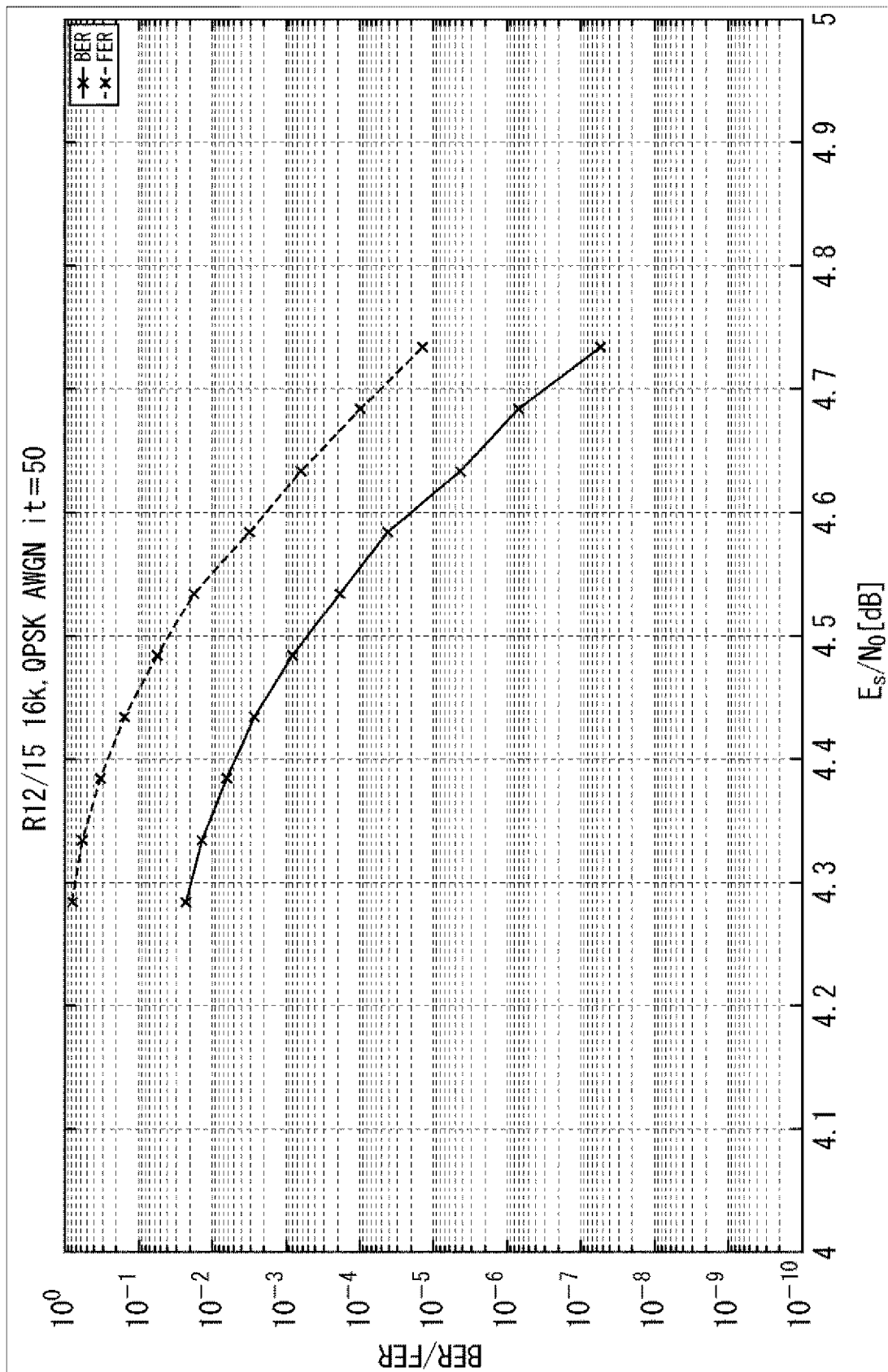


[図77]
図77

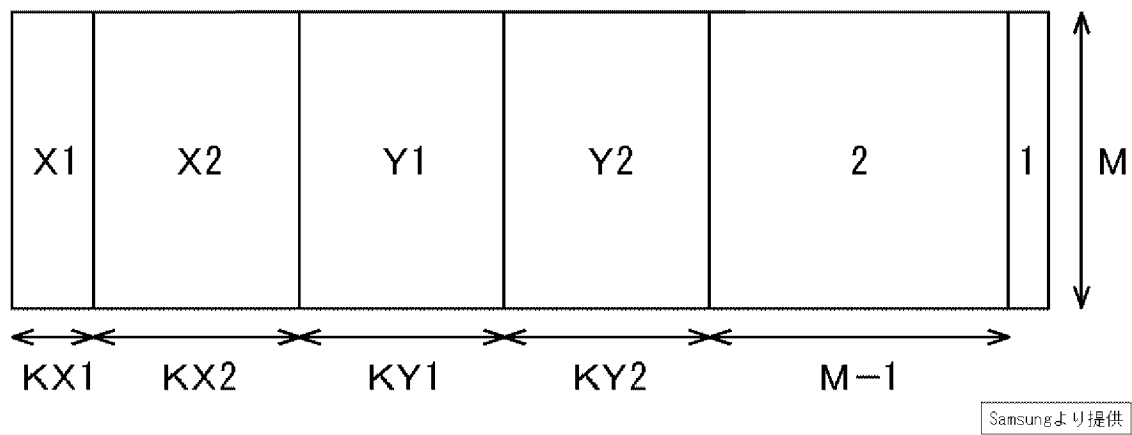
X1	KX1	X2	KX2	Y1	KY1	Y2	KY2	M
18	360	16	1800	4	1080	3	9720	3240

[図78]

図78



[図79]
図79



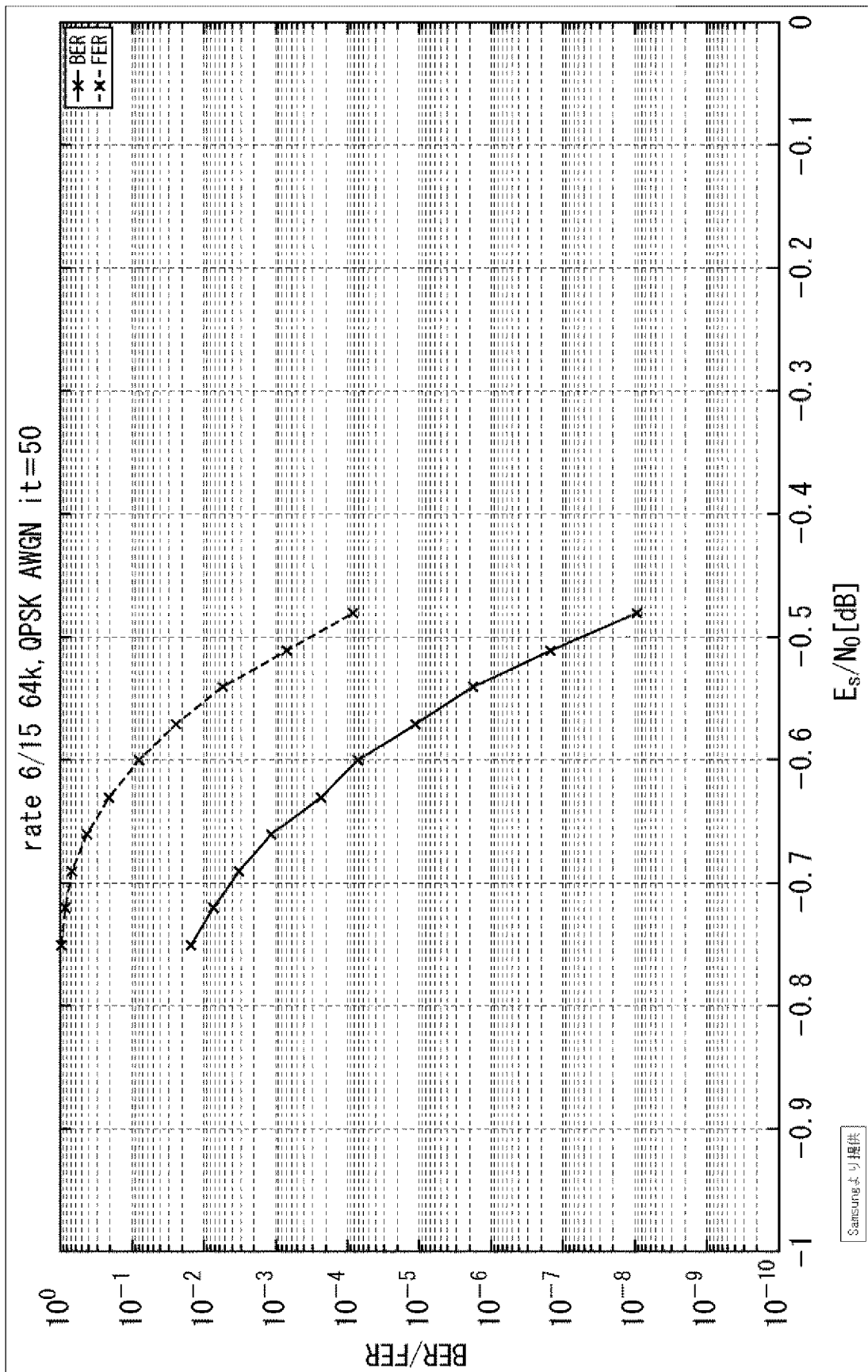
[図80]
図80

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

Samsungより提供

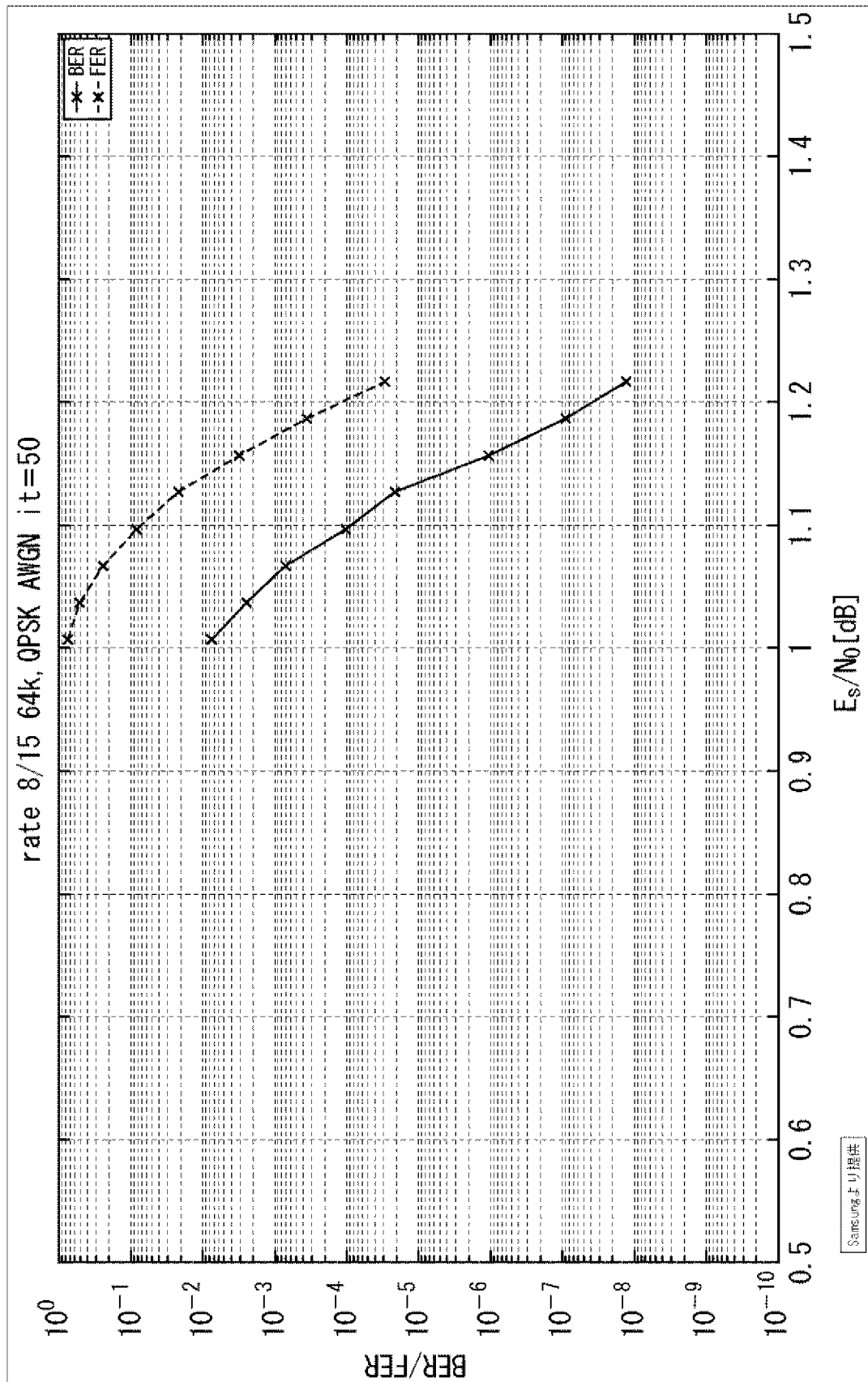
[図81]

図81



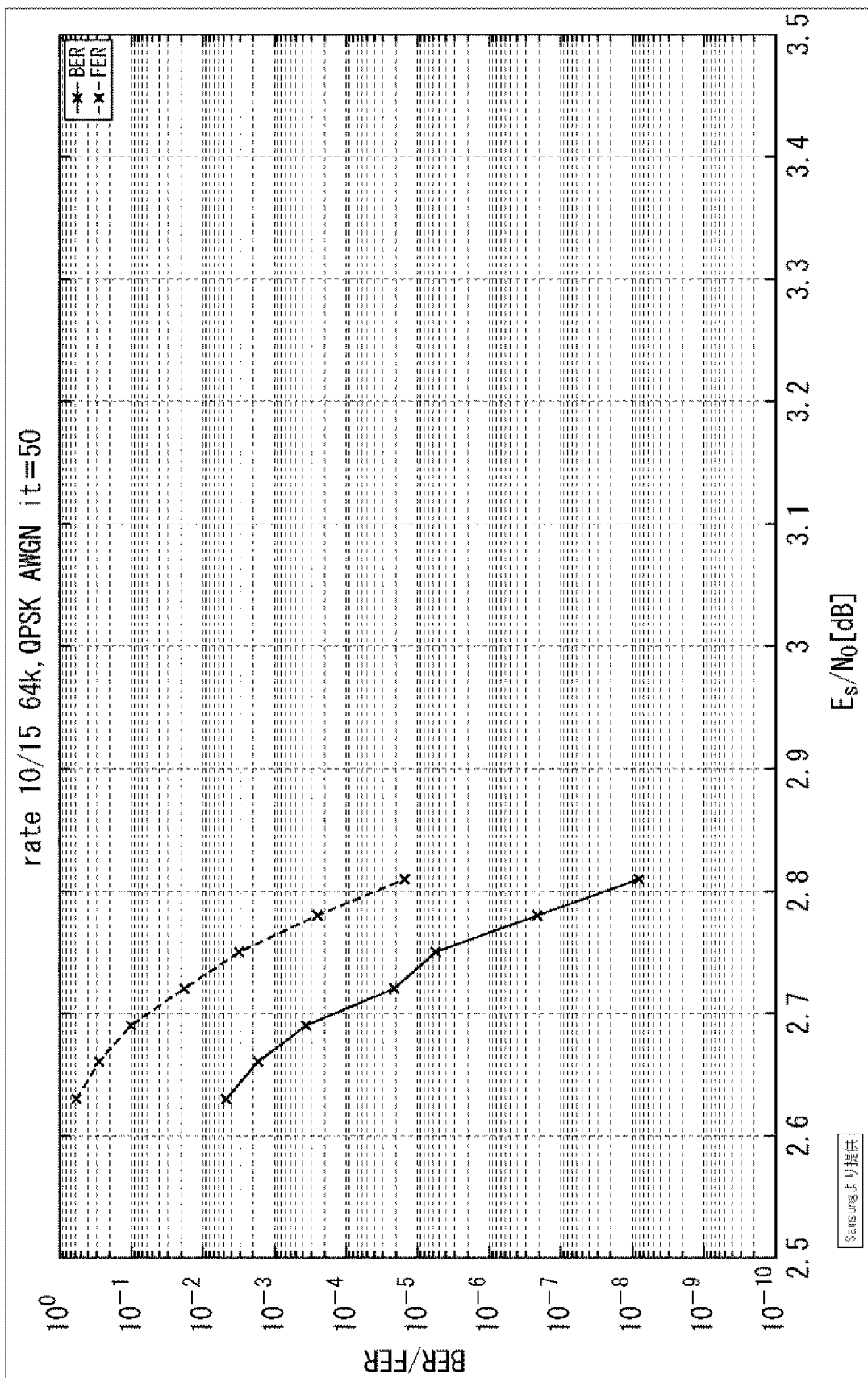
[図82]

図82



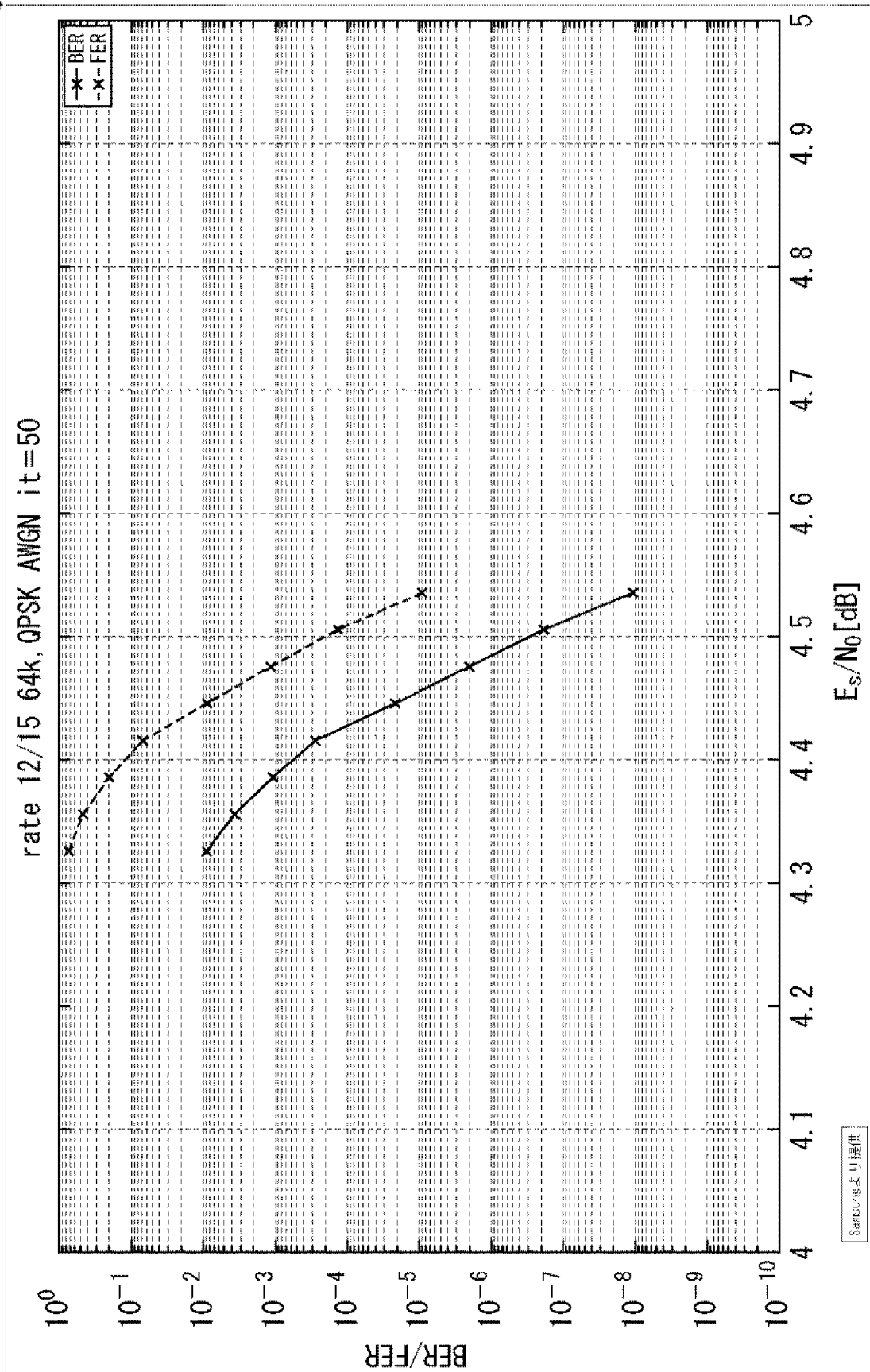
[図83]

図83

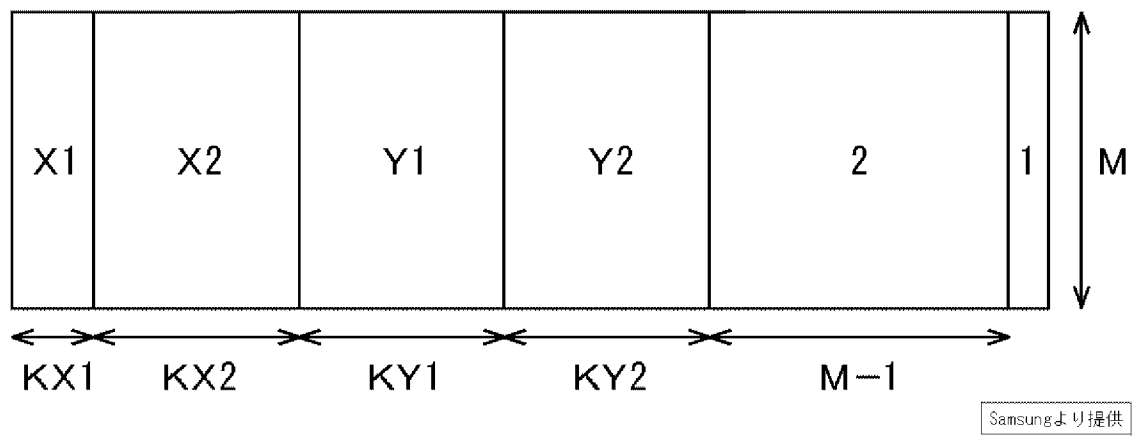


[図84]

図84



[図85]
図85



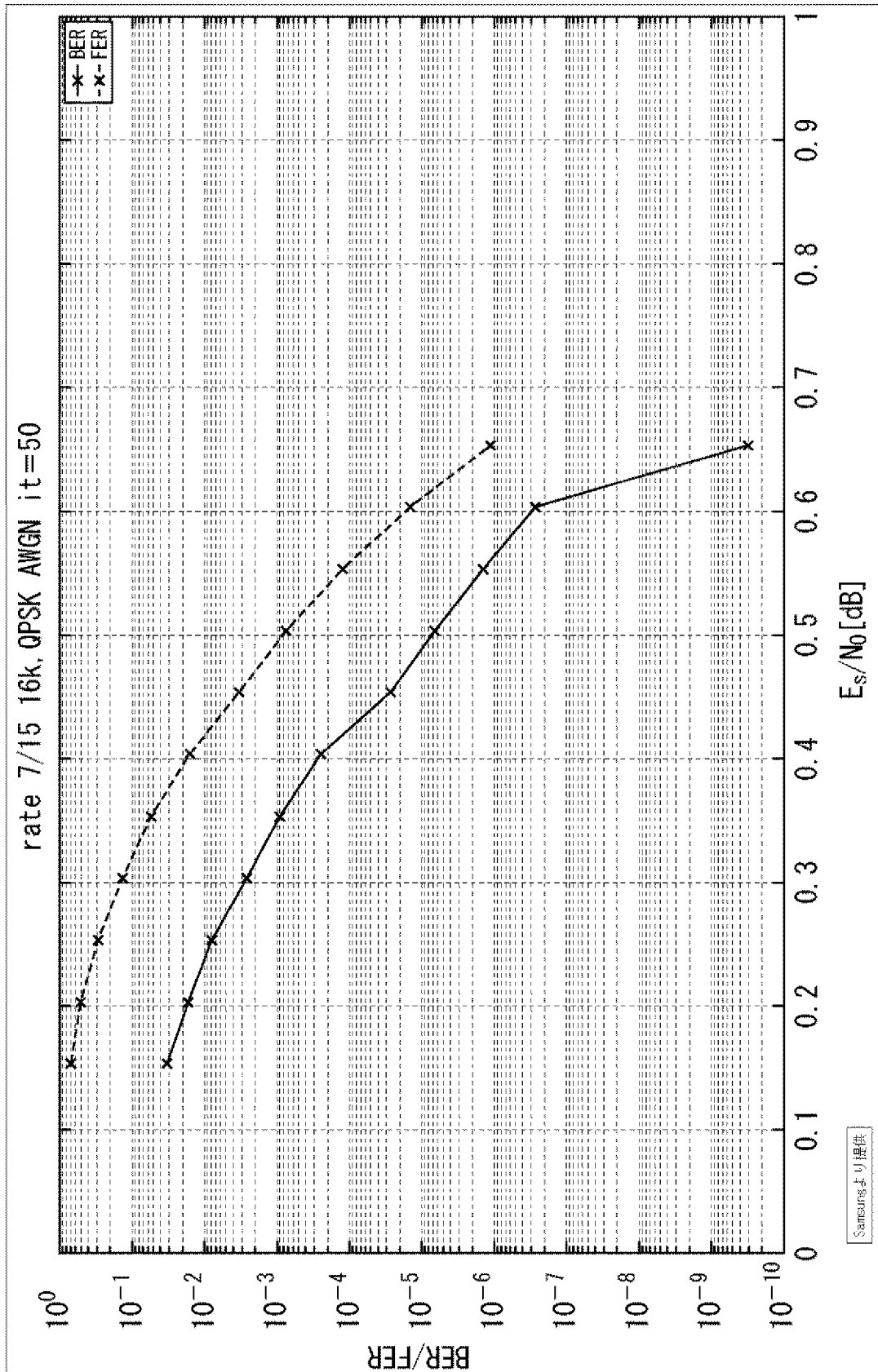
[図86]
図86

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

Samsungより提供

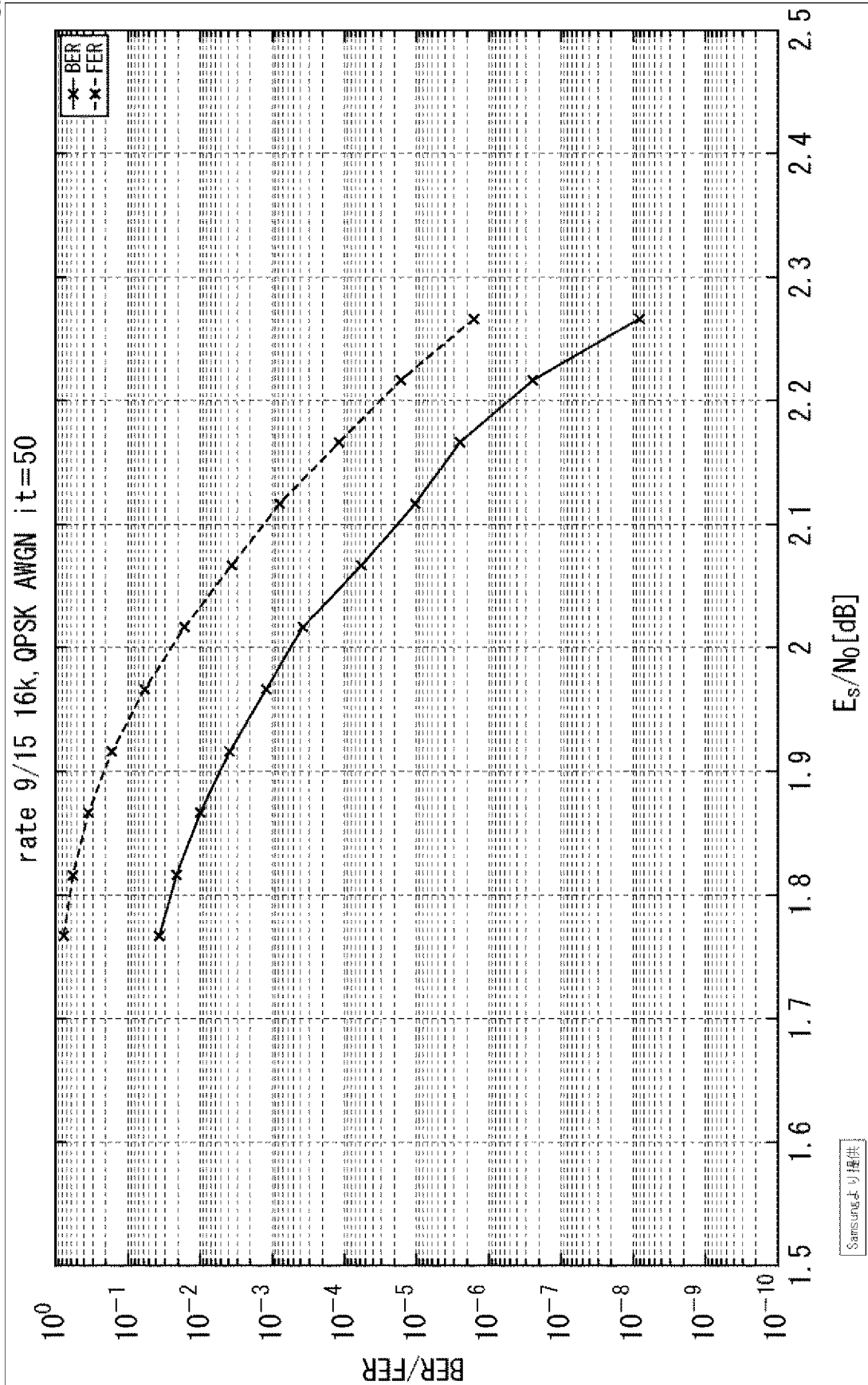
[図87]

図87



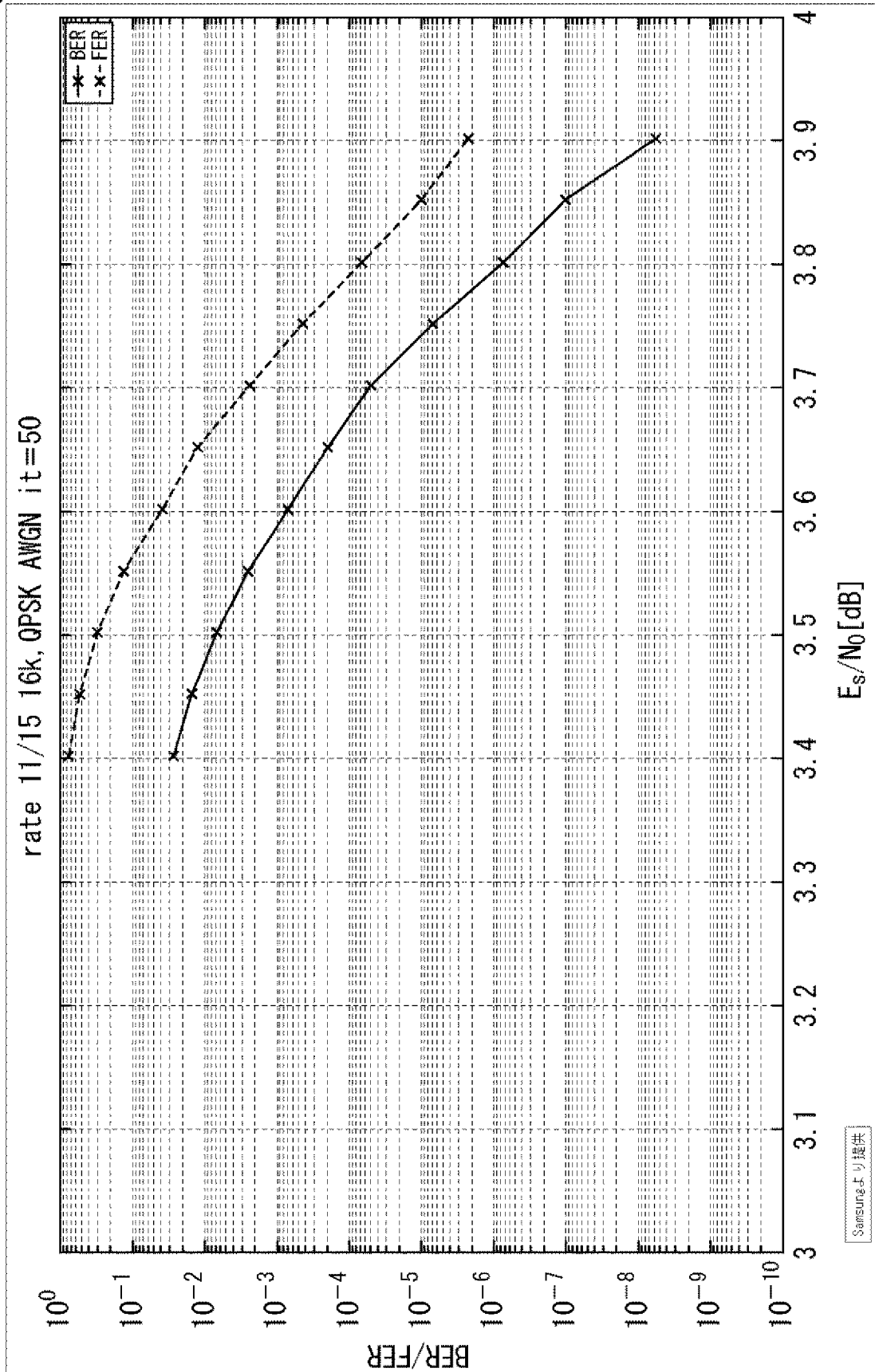
[図88]

図88



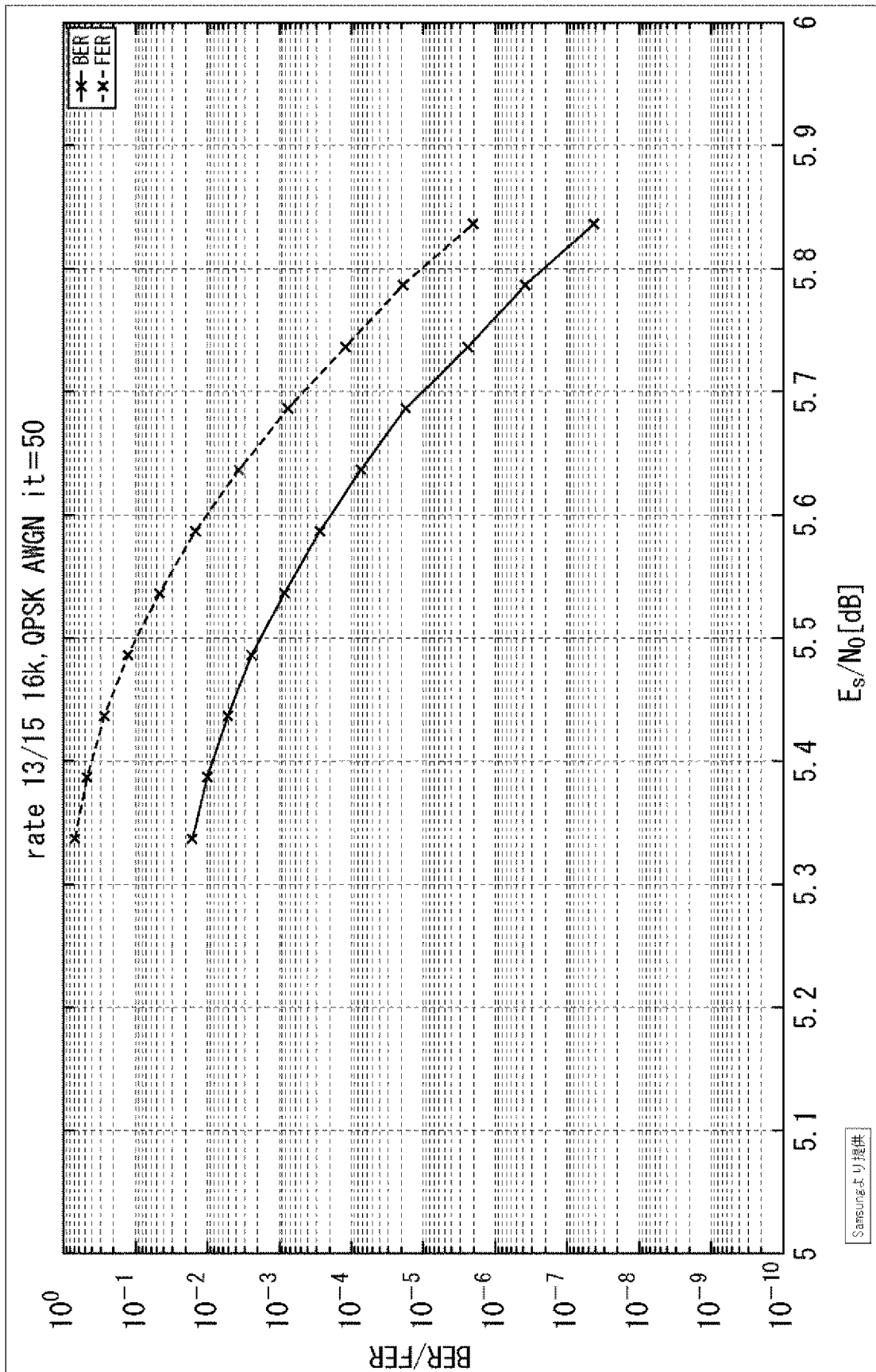
[図89]

図89



[図90]

図90



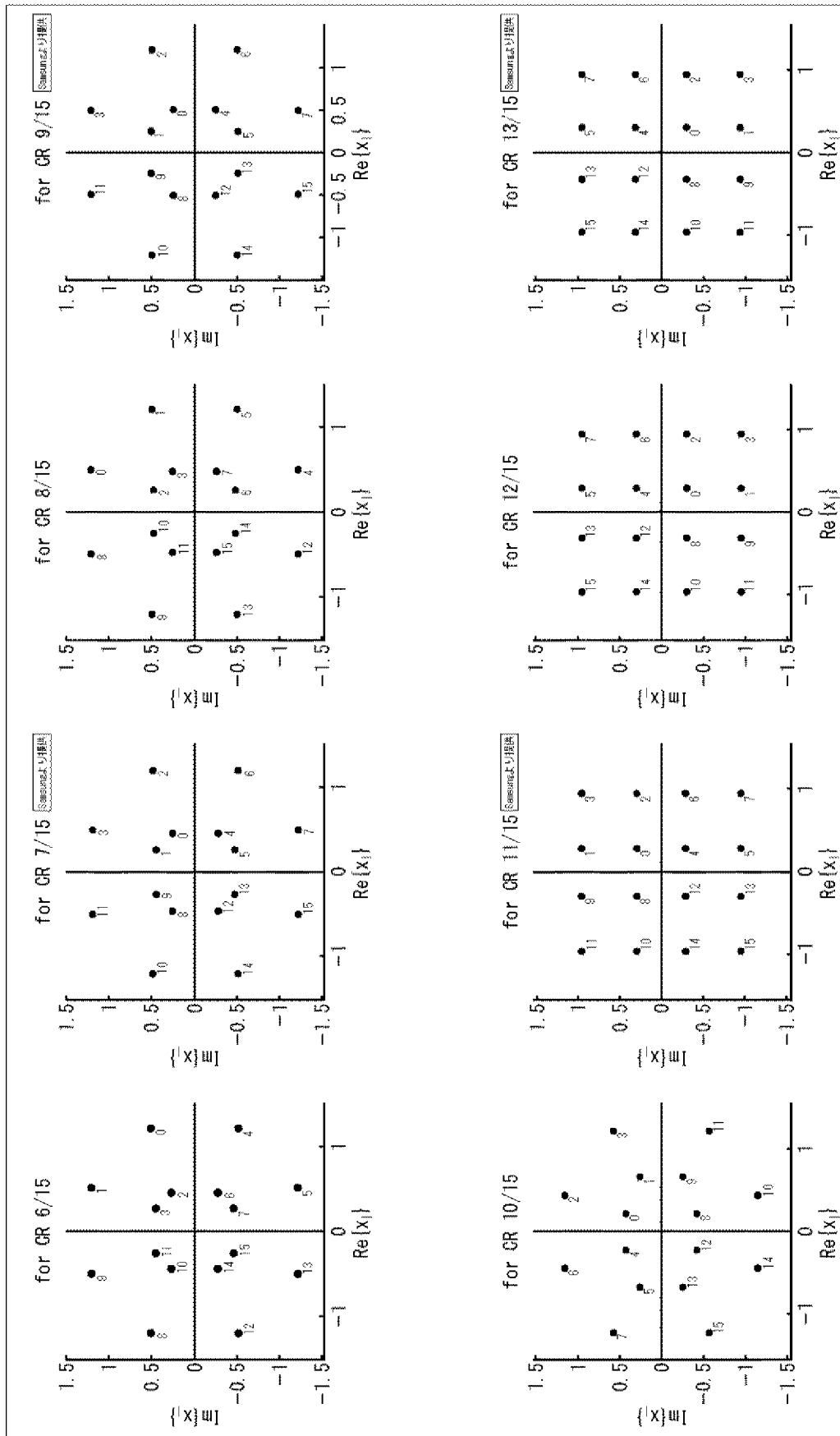
[図91]

図91

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

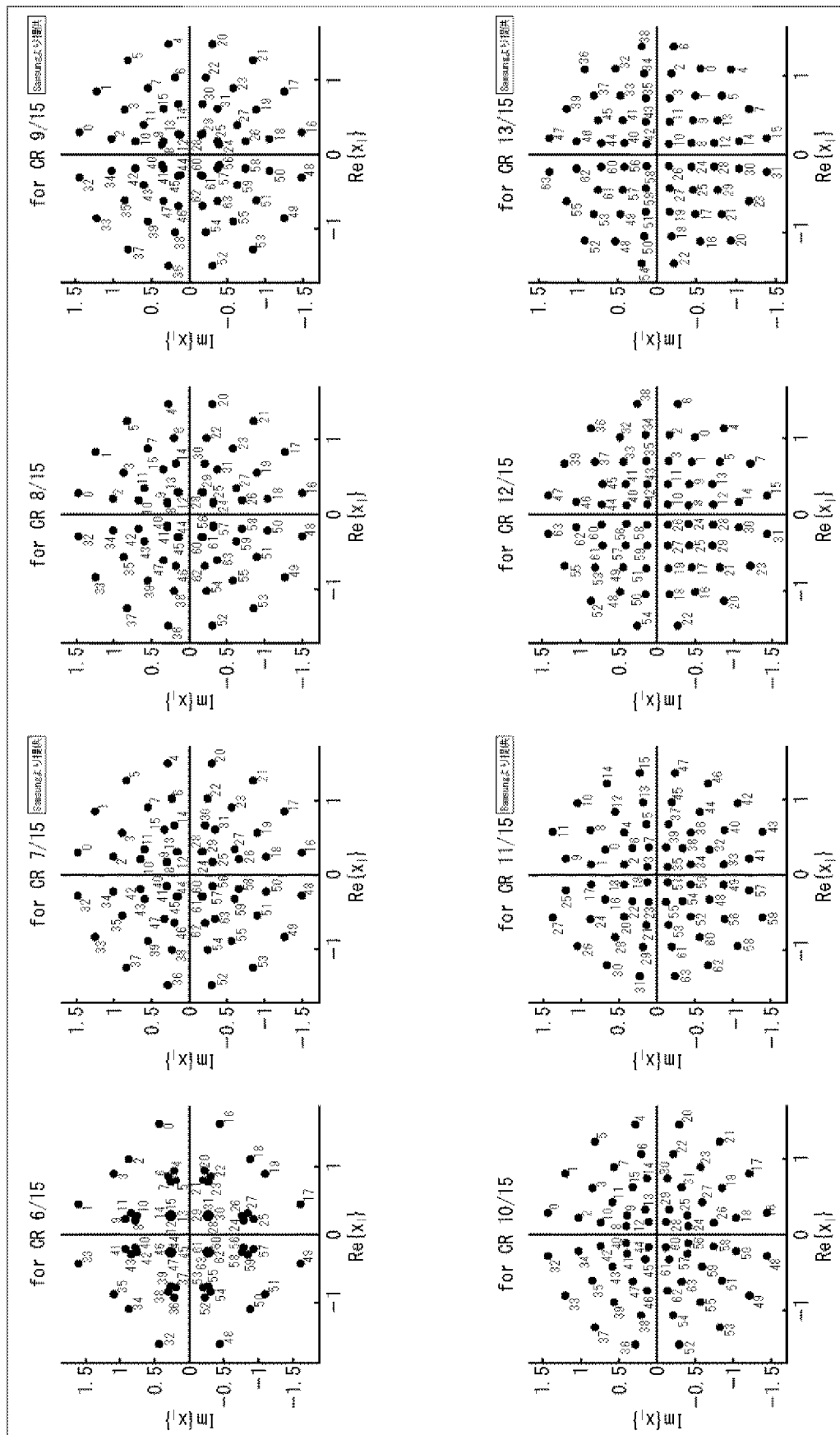
[図92]

図92



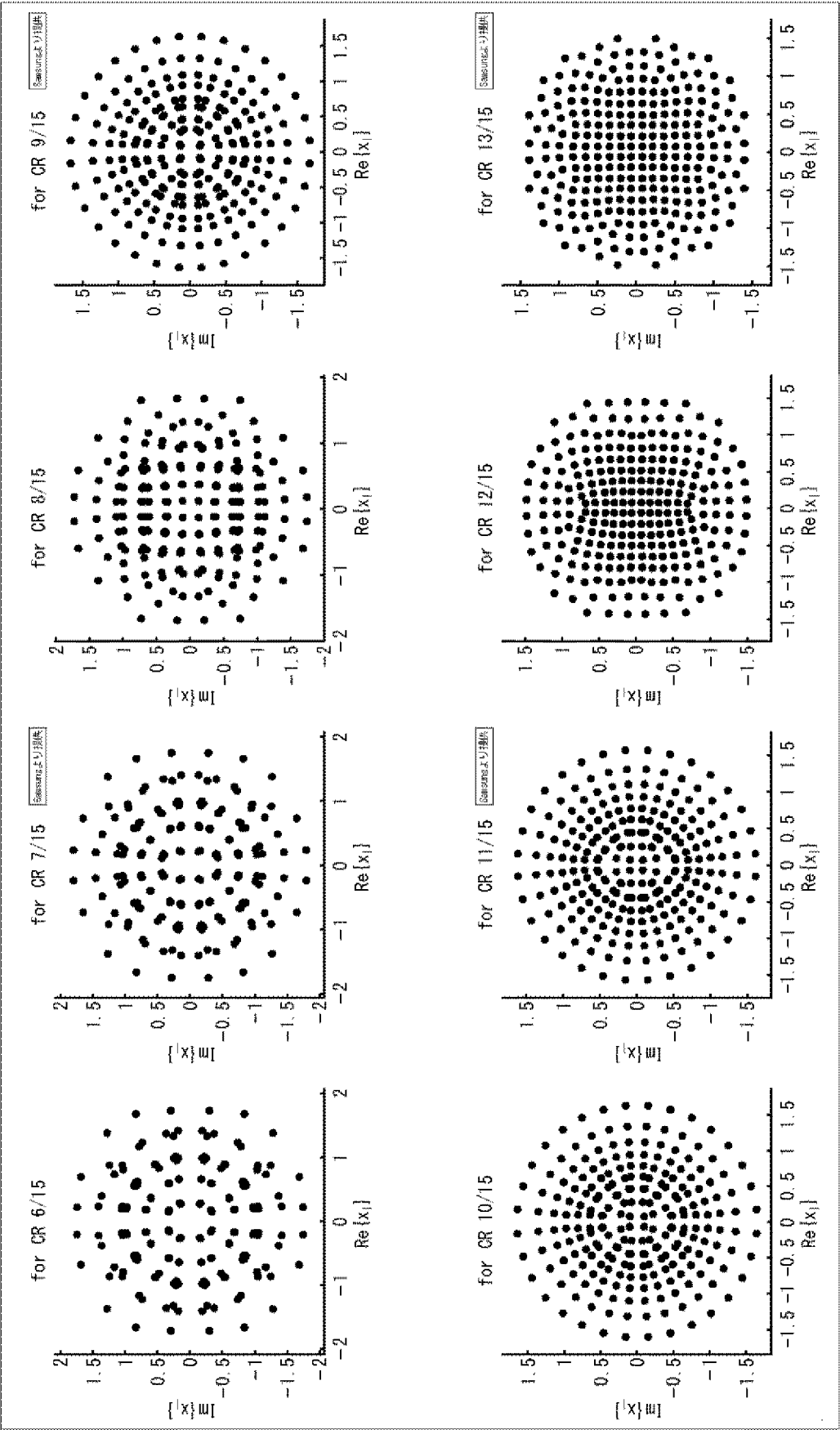
[図93]

図93



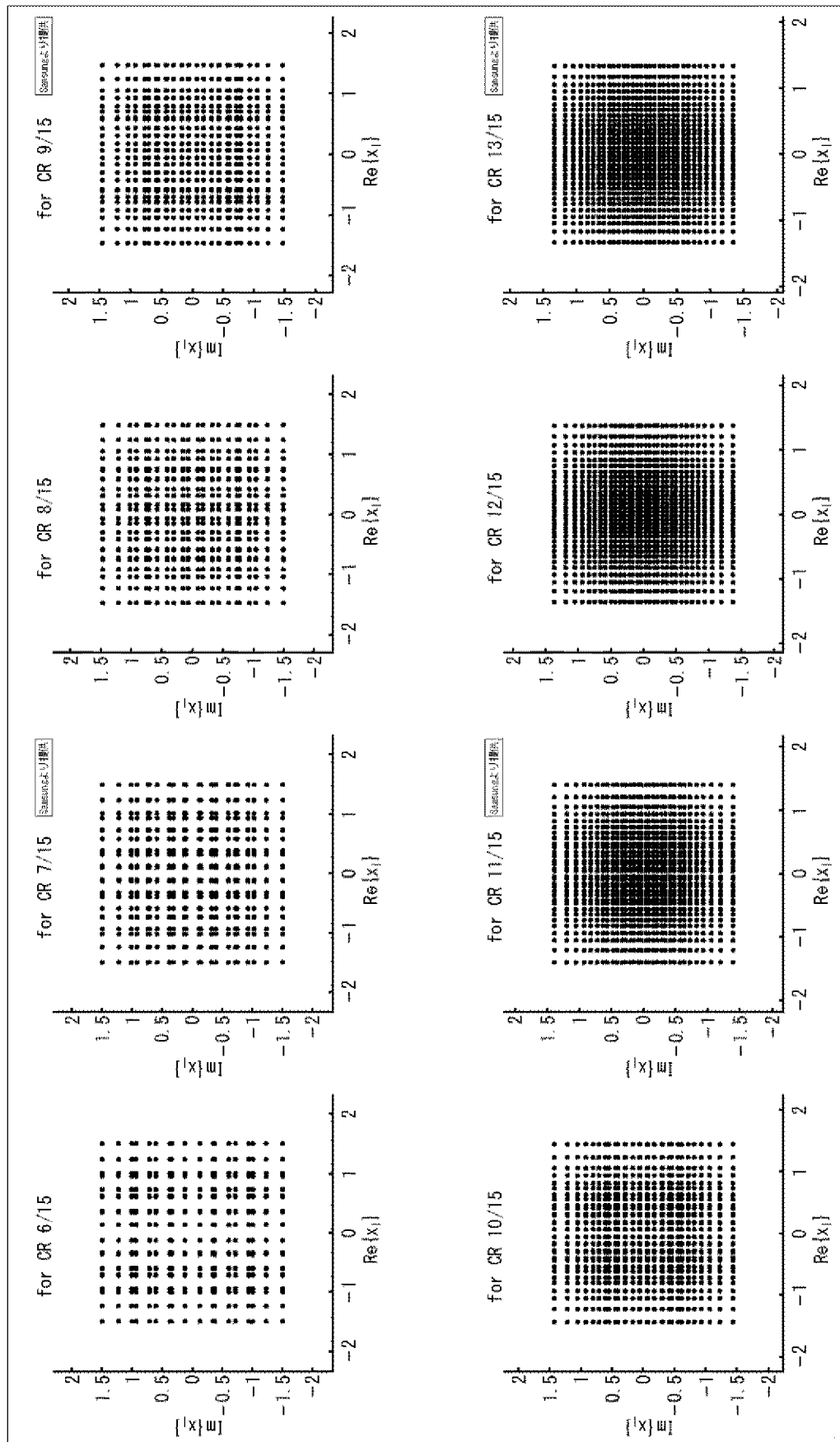
[図94]

図94

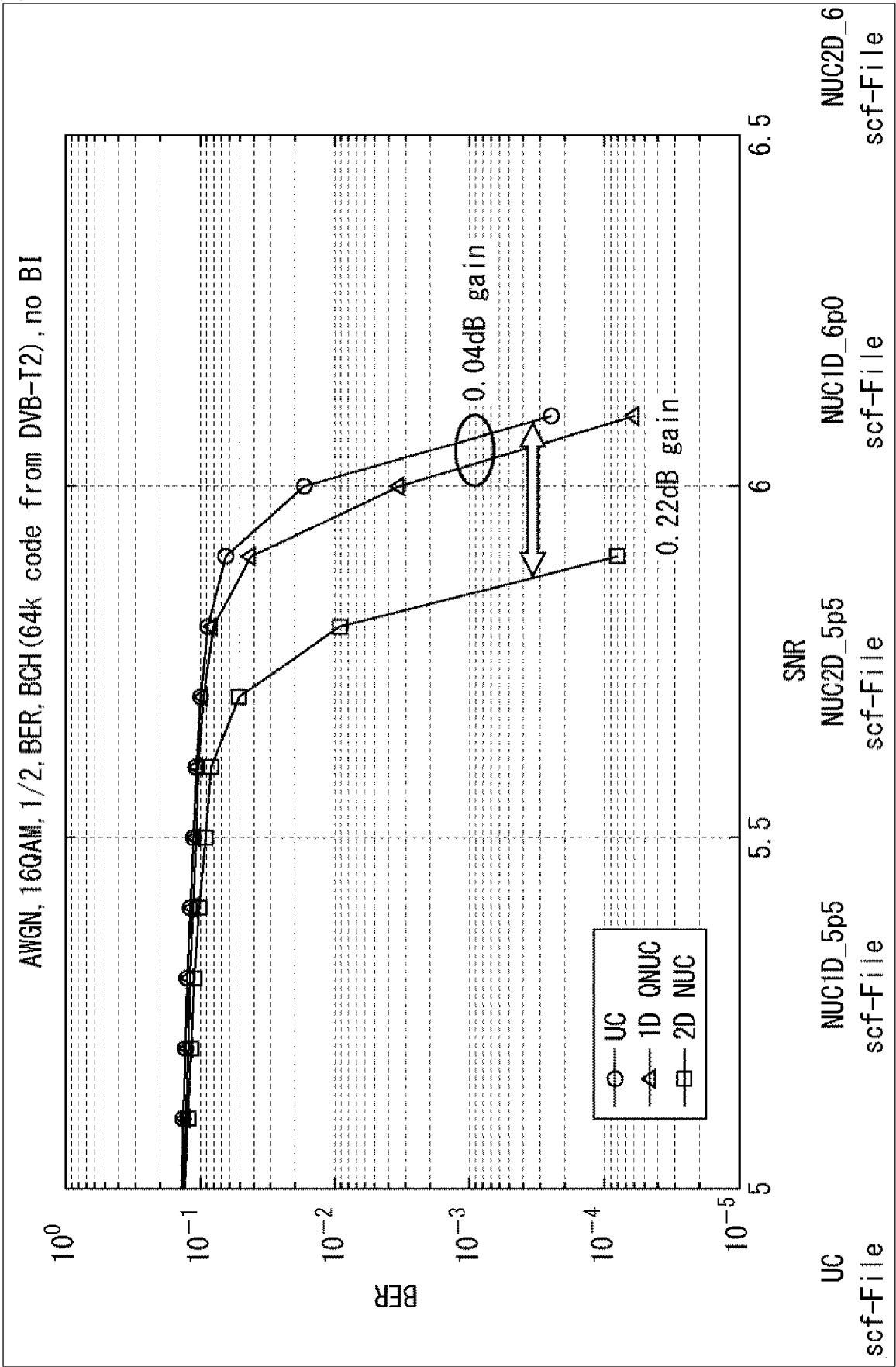


[図95]

図95

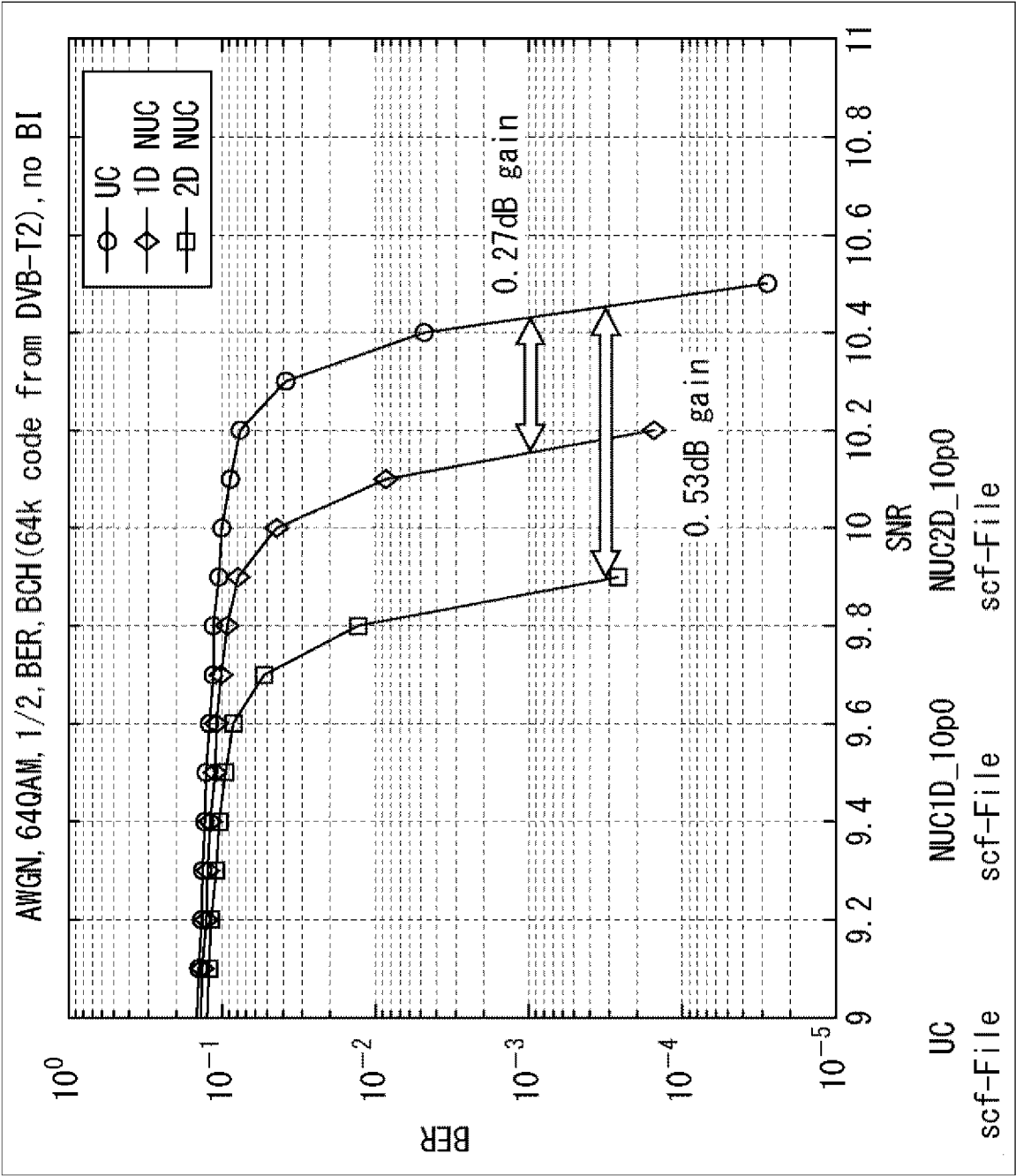


[96]
96

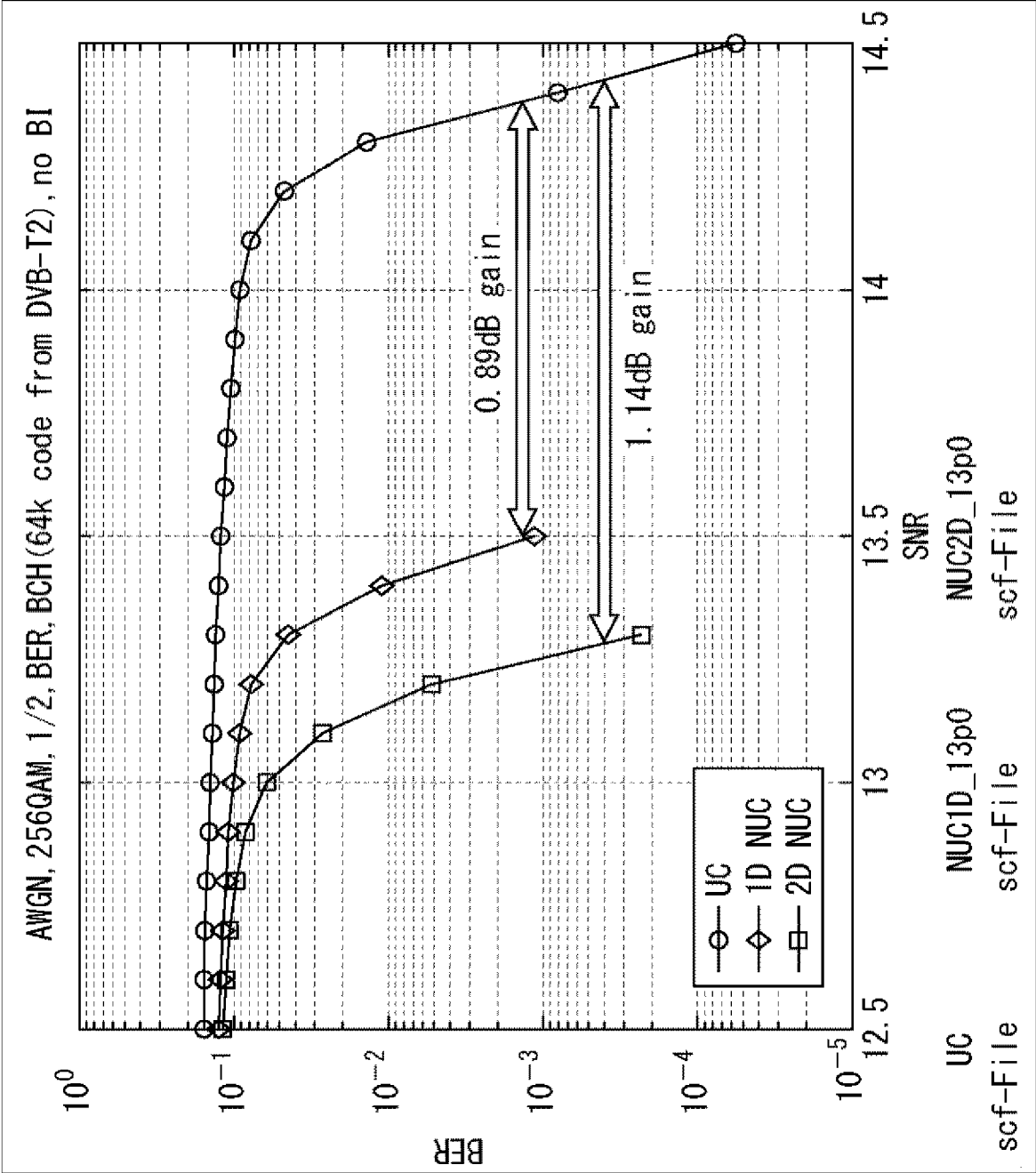


[図97]

図97

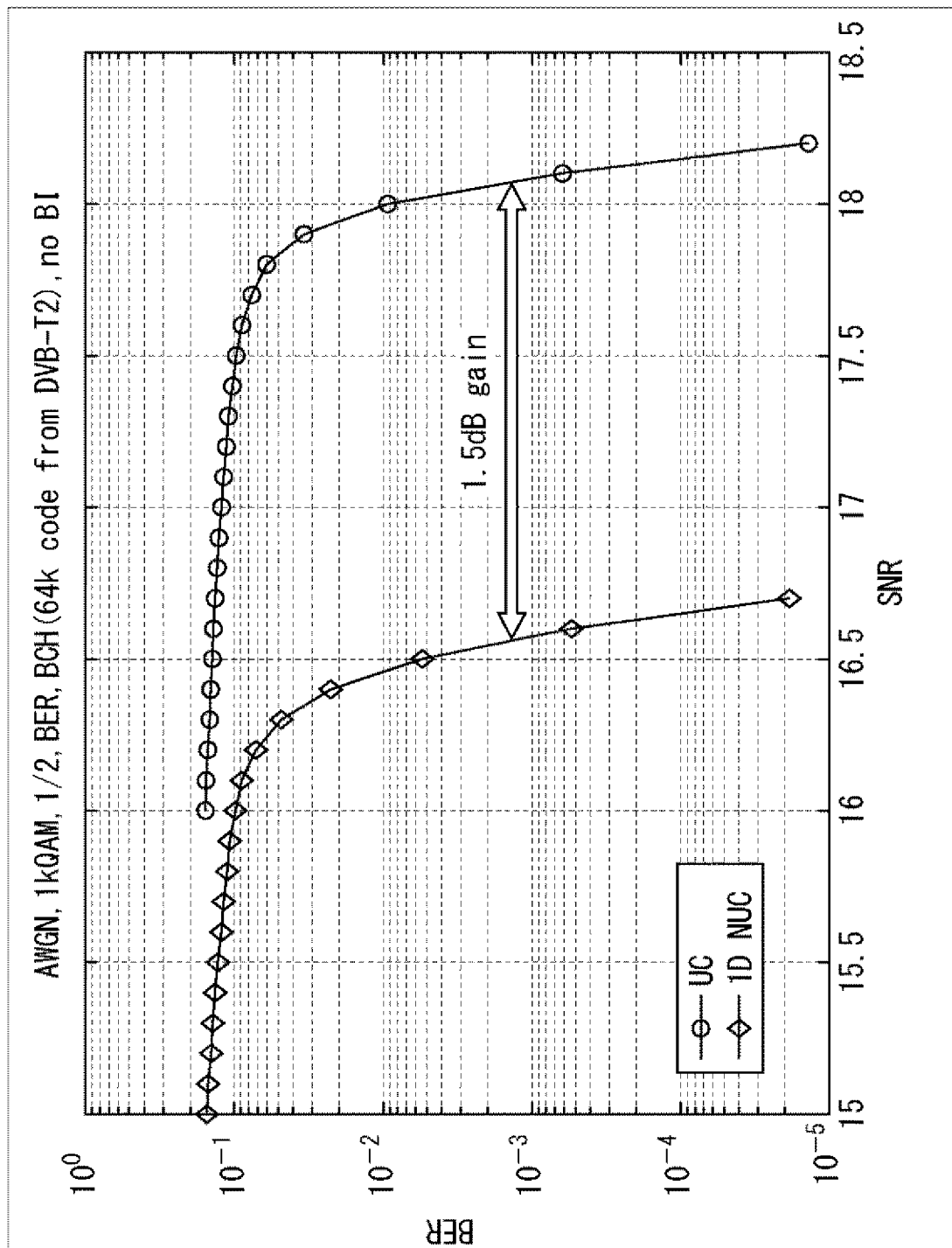


[図98]
図98



[図99]

図99



[図100]

図100

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

[図101]

図101

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

[図102]

図102

w/Shape	NUC_64_6/15	NUC_64_7/15	NUC_64_8/15	NUC_64_9/15	NUC_64_10/15	NUC_64_11/15	NUC_64_12/15	NUC_64_13/15
w0	0.4387+0.6023i	0.3352+0.6028i	1.4827+0.2920i	0.3547+0.6149i	1.4388+0.2878i	0.3317+0.6970i	1.0854+0.5394i	0.4108+0.7473i
w1	1.6023+0.4387i	0.2077+0.6584i	1.2563+0.8411i	0.1581+0.6842i	1.2150+0.8133i	0.1386+0.8824i	0.7353+0.4623i	0.1343+0.5338i
w2	0.8753+1.0881i	0.1711+0.3028i	1.0211+0.2174i	0.1567+0.2749i	1.0386+0.2219i	0.1323+0.4437i	1.0474+0.1695i	0.1570+0.9240i
w3	1.0881+0.8753i	0.1556+0.3035i	0.8798+0.5702i	0.1336+0.2700i	0.8494+0.6145i	0.1015+0.1372i	0.7243+0.1504i	0.1230+0.1605i
w4	0.2202+0.9238i	0.6028+0.3345i	0.2920+1.4827i	0.6177+0.4030i	0.2931+1.4656i	0.5682+0.4500i	1.0693+0.9408i	0.6285+0.4617i
w5	0.2019+0.7818i	0.6577+0.2084i	0.8410+1.2563i	0.7262+0.1756i	0.8230+1.2278i	0.6739+0.1435i	0.7092+0.8073i	0.3648+0.3966i
w6	0.3049+0.8454i	0.3021+0.1711i	0.2174+1.0211i	0.3568+0.1756i	0.2069+1.0649i	0.3597+0.3401i	1.4261+0.2216i	0.6907+0.1541i
w7	0.2653+0.7540i	0.3028+0.1556i	0.5702+0.8798i	0.3771+0.1336i	0.5677+0.8971i	0.3660+0.1204i	0.6106+1.1783i	0.3994+0.1308i
w8	0.7818+0.2019i	0.5556+0.8922i	0.3040+0.1475i	0.5639+0.8864i	0.4119+0.1177i	0.6004+0.8922i	0.1392+0.4078i	0.7288+0.8208i
w9	0.9238+0.2202i	0.2352+1.0190i	0.3028+0.1691i	0.1980+1.0277i	0.3998+0.2516i	0.2120+1.2253i	0.4262+0.4205i	1.0463+0.9495i
w10	0.7540+0.2653i	0.8450+1.2619i	0.6855+0.1871i	0.8199+1.2515i	0.7442+0.1559i	0.9594+1.0714i	0.1407+0.1336i	0.1866+1.2733i
w11	0.8454+0.3049i	0.2922+1.4894i	0.6126+0.3563i	0.2854+1.4691i	0.5954+0.4328i	0.5829+1.3995i	0.4265+0.1388i	0.5507+1.1793i
w12	0.2675+0.2479i	0.8929+0.5549i	0.1475+0.3040i	0.8654+0.6058i	0.1166+0.1678i	0.8439+0.5675i	0.1388+0.7057i	0.9283+0.5140i
w13	0.2479+0.2675i	1.0197+0.2359i	0.1691+0.3028i	1.0382+0.2141i	0.1582+0.3325i	0.9769+0.1959i	0.4197+0.7206i	1.2648+0.5826i
w14	0.2890+0.2701i	1.2626+0.8457i	0.1871+0.6855i	1.2362+0.8416i	0.1355+0.7408i	1.2239+0.6760i	0.1682+1.0316i	0.9976+0.1718i
w15	0.2701+0.2890i	1.4894+0.2922i	0.3563+0.6126i	1.4663+0.2973i	0.3227+0.6200i	1.3653+0.2323i	0.2287+1.3914i	1.3412+0.1944i

[図103]

図103

w/Shape	NUC_256_6/15	NUC_256_7/15	NUC_256_8/15	NUC_256_9/15	NUC_256_10/15	NUC_256_11/15	NUC_256_12/15	NUC_256_13/15
w0	0.6800+1.6926i	1.2905+1.3099i	1.0804+1.3788i	1.3231+1.1506i	1.6097+0.1548i	0.3105+0.3382i	1.1014+1.1870i	0.3556+0.3497i
w1	0.3911+1.3645i	1.0504+0.9577i	1.0487+0.9862i	0.9851+1.2311i	1.5549+0.4605i	0.4342+0.3360i	0.8557+1.2421i	0.3579+0.4945i
w2	0.2191+1.7524i	1.5329+0.8935i	1.6464+0.7428i	1.1439+0.8974i	1.3226+0.1290i	0.3149+0.4829i	1.2957+0.8039i	0.5049+0.3571i
w3	0.2274+1.4208i	1.1577+0.8116i	1.3245+0.9414i	0.9343+0.9271i	1.2772+0.3829i	0.4400+0.4807i	1.0881+0.8956i	0.5056+0.5063i
w4	0.8878+1.2487i	1.7881+0.2509i	0.7198+1.2427i	1.5398+0.7962i	1.2753+1.0242i	0.1811+0.3375i	0.5795+1.2110i	0.2123+0.3497i
w5	0.7275+1.1667i	1.4275+0.1400i	0.8108+1.0040i	0.8092+0.5599i	1.4434+0.7540i	0.0833+0.3404i	0.6637+1.4215i	0.2116+0.4800i
w6	0.8747+1.0470i	1.4784+0.5201i	0.5595+1.0317i	1.2222+0.6574i	1.0491+0.8478i	0.1818+0.4851i	0.6930+1.0032i	0.0713+0.3489i
w7	0.7930+1.0406i	1.3408+0.4346i	0.6118+0.9722i	0.9579+0.6373i	1.1861+0.6253i	0.0633+0.4815i	0.8849+0.9647i	0.0690+0.4860i
w8	0.2098+0.9768i	0.7837+0.5867i	1.6768+0.2002i	0.7748+1.5867i	0.9326+0.0970i	0.3084+0.1971i	1.2063+0.5115i	0.3527+0.2086i
w9	0.2241+1.0454i	0.8250+0.8455i	0.9997+0.6844i	0.6878+1.2489i	0.8962+0.2804i	0.4356+0.1993i	1.0059+0.4952i	0.3497+0.0713i
w10	0.1858+0.9878i	0.8258+0.5601i	1.4212+0.4789i	0.5992+0.9208i	1.1044+0.1102i	0.3098+0.0676i	1.4171+0.5901i	0.4960+0.2123i
w11	0.1901+1.0659i	0.8777+0.8110i	1.1479+0.6312i	0.6796+0.9743i	1.0648+0.3287i	0.4342+0.0691i	1.0486+0.8935i	0.4974+0.0698i
w12	0.5547+0.8312i	1.0090+0.1843i	0.6079+0.6586i	0.5838+0.5879i	0.7325+0.6071i	0.1775+0.1985i	0.6639+0.6286i	0.2086+0.2079i
w13	0.5479+0.8651i	1.0759+0.1721i	0.7284+0.6957i	0.6915+0.5789i	0.8260+0.4559i	0.0640+0.1978i	0.8953+0.5951i	0.2094+0.0690i
w14	0.8073+0.8182i	1.0058+0.2758i	0.5724+0.7031i	0.5858+0.7058i	0.8744+0.7153i	0.1775+0.0676i	0.6879+0.8022i	0.0676+0.2079i
w15	0.5955+0.8420i	1.0862+0.2964i	0.6302+0.7259i	0.6889+0.6793i	0.9882+0.5300i	0.0647+0.0669i	0.8634+0.7822i	0.0698+0.0683i
w16	1.4070+0.1790i	0.8334+1.5554i	0.1457+1.4010i	1.6118+0.1497i	0.1646+1.6407i	0.7455+0.3411i	0.1213+1.4366i	0.3568+0.7859i
w17	1.7227+0.2900i	0.8155+1.1092i	0.1866+1.7345i	0.9511+0.1140i	0.4867+1.5743i	0.5811+0.3396i	0.1077+1.2098i	0.3571+0.6932i
w18	1.3246+0.2562i	0.6092+1.2729i	0.1174+1.1035i	1.2970+0.1234i	0.1363+1.3579i	0.7556+0.4669i	0.0651+0.9801i	0.5034+0.8271i
w19	1.3836+0.3654i	0.6728+1.1456i	0.1095+1.0132i	1.0286+0.1191i	0.4023+1.3026i	0.5882+0.4756i	0.2009+1.0115i	0.5063+0.6600i
w20	1.3708+1.2834i	0.3061+1.7469i	0.4357+1.3636i	1.5831+0.4496i	1.0542+1.2584i	0.9556+0.3280i	0.3784+1.4284i	0.2146+0.7862i
w21	1.8701+0.8403i	0.1327+1.4056i	0.5853+1.6820i	0.9329+0.3586i	0.7875+1.4450i	1.1787+0.3091i	0.3237+1.2130i	0.2109+0.6340i
w22	1.1614+0.7909i	0.3522+1.3414i	0.3439+1.0889i	1.2796+0.3894i	0.8687+1.0407i	0.9673+0.4720i	0.5205+0.9814i	0.0713+0.8093i
w23	1.2241+0.7367i	0.2273+1.3081i	0.3234+0.9962i	1.0188+0.3447i	0.6502+1.1951i	1.2051+0.5135i	0.3615+1.0183i	0.0698+0.6467i
w24	0.9769+0.1863i	0.5007+0.8098i	0.1092+0.6174i	0.5940+0.1059i	0.0982+0.9745i	0.7387+0.2015i	0.0715+0.8596i	0.2789+1.0882i
w25	0.9452+0.2057i	0.5528+0.8347i	0.1074+0.6307i	0.7215+0.1100i	0.2842+0.9344i	0.5811+0.2015i	0.2116+0.6597i	0.2806+1.2755i
w26	1.0100+0.2182i	0.4843+0.8486i	0.1109+0.6996i	0.5883+0.1138i	0.1142+1.1448i	0.7316+0.0669i	0.0729+0.8131i	0.4328+0.9804i
w27	0.9795+0.2417i	0.5304+0.8759i	0.1076+0.7345i	0.6909+0.1166i	0.3385+1.0973i	0.5782+0.0669i	0.2158+0.8246i	0.4551+1.1812i
w28	0.8241+0.4856i	0.1715+0.9147i	0.3291+0.6264i	0.5843+0.3604i	0.6062+0.7485i	0.9082+0.1871i	0.5036+0.6467i	0.2303+0.9414i
w29	0.8232+0.4837i	0.1540+0.9510i	0.3126+0.6373i	0.6870+0.3592i	0.4607+0.8538i	1.2829+0.1185i	0.3528+0.8572i	0.1077+1.3891i
w30	0.8799+0.5391i	0.1964+0.9438i	0.3392+0.6999i	0.5809+0.3250i	0.7263+0.8784i	0.9156+0.0735i	0.5185+0.8086i	0.0772+0.9852i
w31	0.8796+0.5356i	0.1788+0.9832i	0.3202+0.7282i	0.6678+0.3290i	0.5450+1.0067i	1.1011+0.0735i	0.3593+0.8245i	0.0802+1.1753i
w32	0.1376+0.3342i	0.3752+0.1667i	0.9652+0.1066i	0.1406+1.6182i	0.2655+0.0746i	0.3244+0.8044i	1.2545+0.1010i	0.8301+0.3727i
w33	0.1383+0.3292i	0.3734+0.1667i	0.9075+0.1686i	0.1272+1.2984i	0.2664+0.0759i	0.4589+0.8218i	1.0676+0.0956i	0.8256+0.5258i
w34	0.1363+0.3322i	0.3758+0.1661i	0.9724+0.1171i	0.1211+0.9844i	0.4571+0.0852i	0.3207+0.8415i	1.4782+0.1167i	0.8593+0.3688i
w35	0.1370+0.3273i	0.3746+0.1649i	0.9186+0.1752i	0.1220+1.0393i	0.4516+0.1062i	0.4509+0.8371i	0.8981+0.0882i	0.6623+0.5182i
w36	0.1855+0.3265i	0.4013+0.1230i	0.6342+0.1372i	0.1124+0.6101i	0.2559+0.1790i	0.1920+0.8196i	0.5513+0.0890i	1.0186+0.3645i
w37	0.1856+0.3227i	0.4001+0.1230i	0.6550+0.1495i	0.1177+0.6041i	0.2586+0.1772i	0.0633+0.8167i	0.6903+0.0552i	1.0001+0.5242i
w38	0.1834+0.3246i	0.4037+0.1230i	0.6290+0.1393i	0.1136+0.7455i	0.3592+0.2811i	0.1811+0.8371i	0.5742+0.1997i	1.1857+0.2725i
w39	0.1836+0.3208i	0.4019+0.1218i	0.6494+0.1504i	0.1185+0.7160i	0.3728+0.2654i	0.0640+0.8415i	0.7374+0.1584i	1.3928+0.3408i
w40	0.1779+0.6841i	0.6025+0.3934i	1.3127+0.1240i	0.4924+1.5879i	0.7706+0.0922i	0.3331+1.0669i	1.2378+0.3049i	0.8011+0.2227i
w41	0.1828+0.6845i	0.5946+0.3928i	0.9572+0.4344i	0.3984+1.2825i	0.7407+0.2260i	0.4855+1.0087i	1.0518+0.3032i	0.7981+0.0735i
w42	0.1745+0.6828i	0.6116+0.3879i	1.2403+0.2631i	0.3786+0.9534i	0.6180+0.0927i	0.3433+1.2865i	1.4584+0.3511i	0.6459+0.2198i
w43	0.1793+0.6829i	0.6019+0.3937i	1.0254+0.4130i	0.3663+1.0301i	0.6019+0.1658i	0.5004+1.5062i	0.9107+0.2603i	0.6490+0.0713i
w44	0.3547+0.6009i	0.7377+0.1818i	0.6086+0.4214i	0.3687+0.5995i	0.6007+0.4980i	0.1971+1.0051i	0.6321+0.4729i	0.9681+0.2205i
w45	0.3593+0.6011i	0.7298+0.1582i	0.6773+0.4284i	0.3328+0.5960i	0.6673+0.3928i	0.0735+1.0298i	0.7880+0.4392i	0.9615+0.0735i
w46	0.3576+0.5990i	0.7274+0.1782i	0.5995+0.4102i	0.3687+0.7194i	0.4786+0.3935i	0.1498+1.5018i	0.6045+0.3274i	1.3327+0.1039i
w47	0.3824+0.5994i	0.7185+0.1746i	0.6531+0.4101i	0.3373+0.6954i	0.5176+0.3991i	0.0855+1.2553i	0.7629+0.2965i	1.1959+0.0809i
w48	0.2897+0.1443i	0.1509+0.2425i	0.1250+0.1153i	0.1085+0.1146i	0.0757+0.1003i	0.7811+0.8080i	0.0596+0.0739i	0.8382+0.8709i
w49	0.2704+0.1433i	0.1503+0.2400i	0.1252+0.1158i	0.1145+0.1108i	0.0753+0.1004i	0.6187+0.8153i	0.1787+0.0731i	0.8145+0.6834i
w50	0.2644+0.1442i	0.1515+0.2437i	0.1245+0.1152i	0.1053+0.1274i	0.0777+0.4798i	0.7836+0.6255i	0.0612+0.2198i	0.6645+0.8486i
w51	0.2850+0.1482i	0.1503+0.2425i	0.1247+0.1156i	0.1134+0.1236i	0.0867+0.4754i	0.8000+0.8327i	0.1815+0.2192i	0.6600+0.6786i
w52	0.2763+0.1638i	0.1285+0.2388i	0.3768+0.1244i	0.1111+0.3821i	0.1023+0.2243i	0.9898+0.7680i	0.4218+0.0715i	1.1612+0.6949i
w53	0.2768+0.1626i	0.1279+0.2419i	0.3707+0.1237i	0.1186+0.3867i	0.1010+0.2242i	1.5855+0.1498i	0.2978+0.0725i	0.9785+0.6942i
w54	0.2715+0.1630i	0.1279+0.2431i	0.3779+0.1280i	0.1080+0.3431i	0.1950+0.3919i	0.9476+0.8175i	0.4337+0.2115i	1.3688+0.6259i
w55	0.2719+0.1618i	0.1279+0.2406i	0.3717+0.1252i	0.1177+0.3459i	0.1881+0.3969i	1.4625+0.4015i	0.3057+0.2167i	1.2183+0.4841i
w56	0.6488+0.1698i	0.3394+0.5764i	0.1161+0.3693i	0.3644+0.1080i	0.0930+0.8122i	0.8276+1.0225i	0.0687+0.5124i	0.7989+1.0498i
w57	0.6462+0.1706i	0.3364+0.5722i	0.1157+0.3645i	0.3282+0.1104i	0.2215+0.7840i	0.6313+1.0364i	0.2008+0.5095i	0.4395+1.4203i
w58	0.6456+0.1745i	0.3328+0.5758i	0.1176+0.3469i	0.3681+0.1173i	0.0937+0.6514i	0.8315+1.2865i	0.0625+0.3858i	0.6113+1.0246i
w59	0.6431+0.1753i	0.3303+0.5698i	0.1171+0.3424i	0.3289+0.1196i	0.1540+0.6366i	0.6342+1.2705i	0.1899+0.3642i	0.6303+1.2421i
w60	0.5854+0.3186i	0.1491+0.6316i	0.3530+0.3899i	0.3665+0.3758i	0.4810+0.6306i	1.0422+0.9593i	0.4818+0.4946i	1.0550+0.8924i
w61	0.5862+0.3167i	0.1461+0.6280i	0.3422+0.3808i	0.3310+0.3795i	0.3956+0.7037i	1.2749+0.8538i	0.3380+0.5050i	0.8612+1.2800i
w62	0.5864+0.3275i	0.1509+0.6280i	0.3614+0.3755i	0.3672+0.3353i	0.3527+0.5230i	1.1556+1.1847i	0.4571+0.3499i	1.2688+0.8899i
w63	0.5873+0.3254i	0.1473+0.6225i	0.3509+0.3856i	0.3338+0.3402i	0.3100+0.5559i	1.4771+0.8742i	0.3216+0.3598i	1.0342+1.1181i

[図104]

図104

u/Shape	NUC_1k_6/15	NUC_1k_7/15	NUC_1k_8/15	NUC_1k_9/15	NUC_1k_10/15	NUC_1k_11/15	NUC_1k_12/15	NUC_1k_13/15
u1	1.0003	1	1.0005	1	1.0772	1.16666667	2.5983	2.85714286
u2	1.0149	1.04	2.0897	2.78571429	2.8011	3.08333333	4.5193	4.85714286
u3	1.0158	1.04	2.0888	2.78571429	2.9634	3.33333333	6.1649	6.85714286
u4	2.6848	3	3.9945	4.85714286	4.8127	5.16666667	8.2107	8.85714286
u5	2.6903	3.04	3.9931	4.85714286	5.1864	5.75	9.9594	11
u6	2.882	3.28	5.3843	6.85714286	6.7838	7.41666667	12.0321	13.2857143
u7	2.8747	3.32	5.3894	6.85714286	7.5029	8.5	13.9574	15.7142857
u8	4.7815	5.24	7.5206	9.14285714	9.238	10.08333333	16.2598	18.1428571
u9	4.7619	5.32	7.6013	9.28571429	10.32	11.58333333	18.4269	20.7142857
u10	5.5779	6.04	9.3371	11.5714286	12.0115	13.33333333	20.9273	23.4285714
u11	5.6434	6.28	9.8429	12.2142857	13.5356	15.25	23.4863	26.2857143
u12	7.3854	8.24	11.9255	14.6428571	15.6099	17.33333333	26.4823	29.2857143
u13	7.8797	8.84	13.3962	16.4285714	17.7524	19.75	29.7085	32.4285714
u14	9.635	11.04	15.8981	19.4285714	20.5256	22.41666667	33.6247	35.7142857
u15	11.7874	13.68	19.1591	23.2857143	24.1254	25.58333333	38.5854	39.4285714

図105

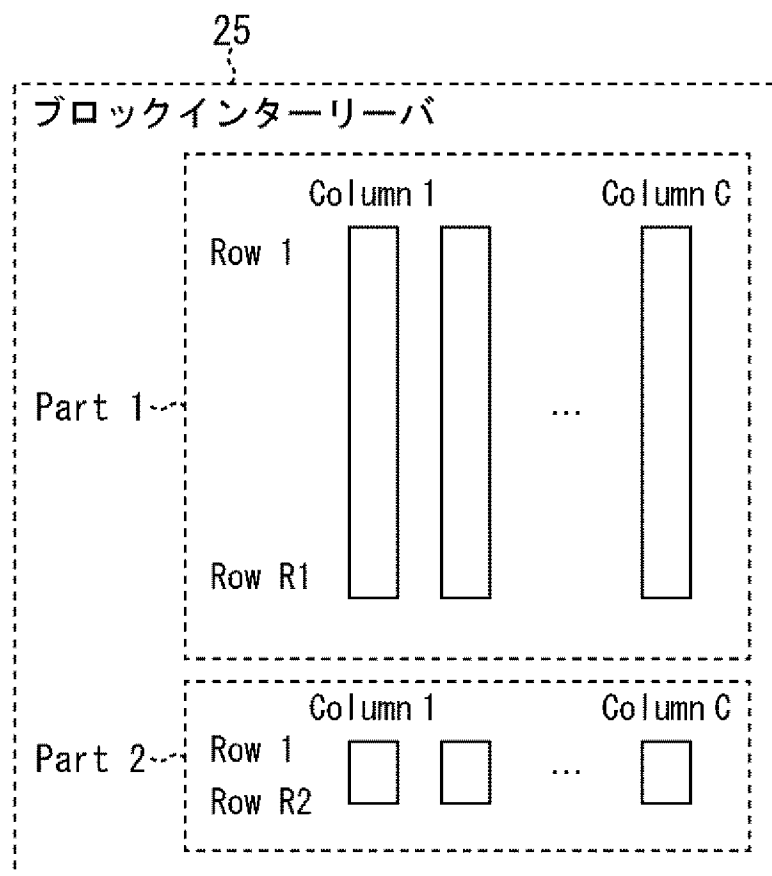
y0,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y2,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y4,q	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y6,q	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y8,q	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
Re(z _q)	-u ₁₅	-u ₁₄	-u ₁₃	-u ₁₂	-u ₁₁	-u ₁₀	-u ₉	-u ₈	-u ₇	-u ₆	-u ₅	-u ₄	-u ₃	-u ₂	-u ₁	-1	
Y0,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y2,q	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y4,q	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
y6,q	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
y8,q	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
Re(z _q)	1	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉	u ₁₀	u ₁₁	u ₁₂	u ₁₃	u ₁₄	u ₁₅	

△

y1,q	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
y3,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y5,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y7,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y9,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Im(z _q)	-u ₁₅	-u ₁₄	-u ₁₃	-u ₁₂	-u ₁₁	-u ₁₀	-u ₉	-u ₈	-u ₇	-u ₆	-u ₅	-u ₄	-u ₃	-u ₂	-u ₁	-1	-1	-1
y1,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y3,q	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y5,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y7,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
y9,q	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Im(z _a)	1	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	u ₇	u ₈	u ₉	u ₁₀	u ₁₁	u ₁₂	u ₁₃	u ₁₄	u ₁₅	u ₁₆	u ₁₇

[図106]

図106



[図107]

図107

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

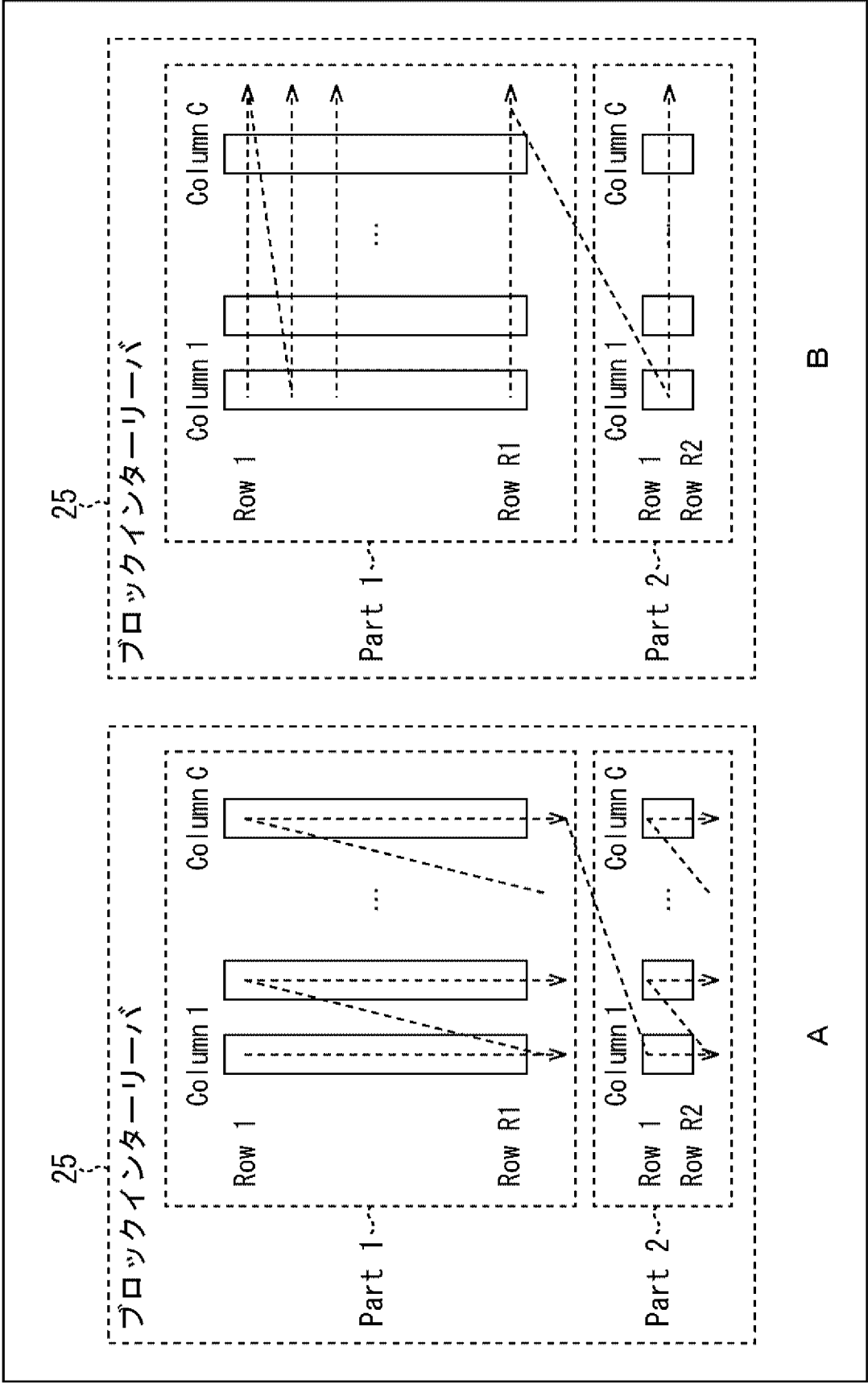
	N=16200			
	16QAM	64QAM	256QAM	1024QAM
C	4	6	8	10
R1	3960	2520	1800	1440
R2	90	180	225	180

C: column数(シンボルビット数)

R1: Part1の行数

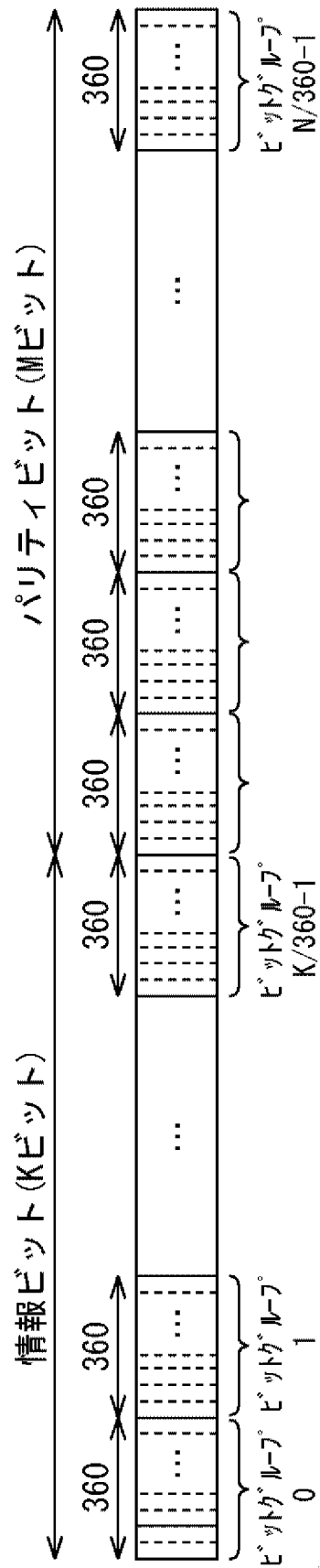
R2: Part2の行数

[図108]
図108



[図109]

図109



[図110]

図110

ビットグループ

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



义 111

ビットグループ

[illegible]

[図112]

図112

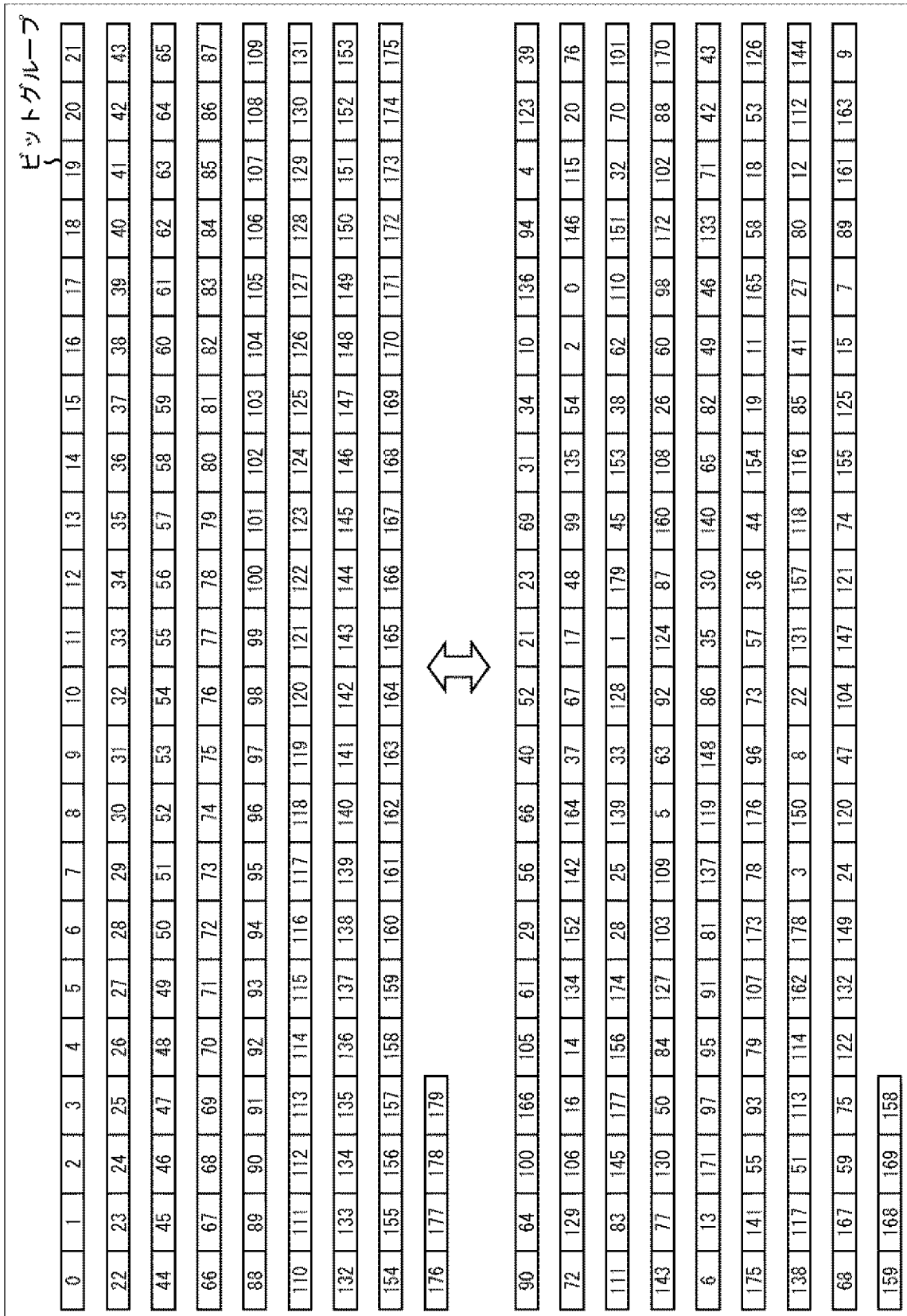


图 113

ピットグループ

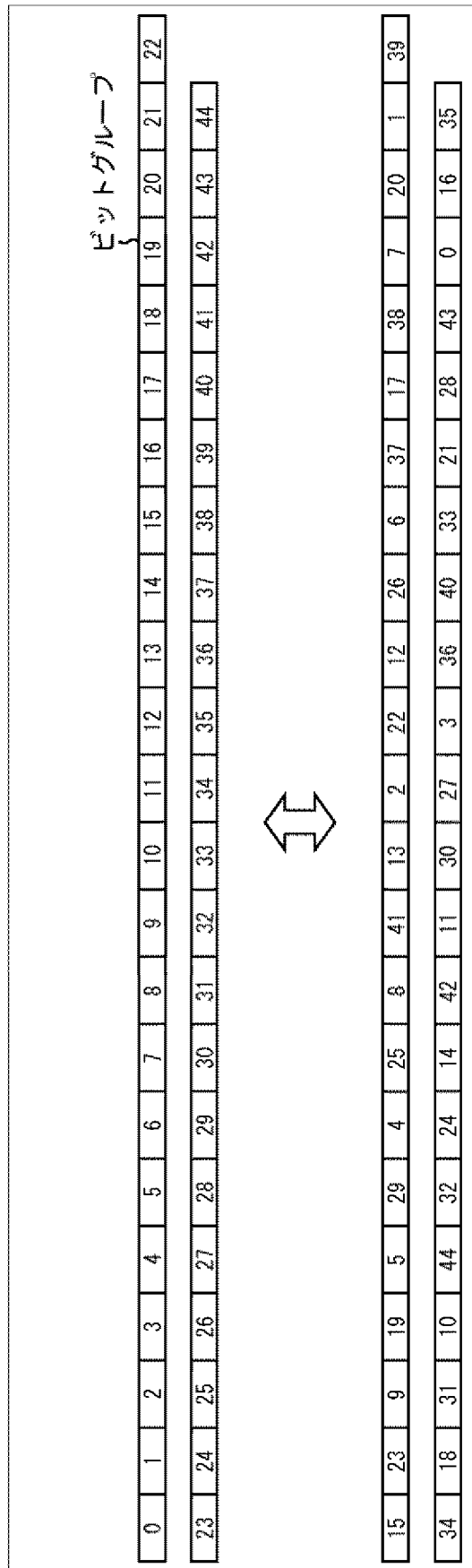
176	177	178	179
-----	-----	-----	-----



142	96	4	67
-----	----	---	----

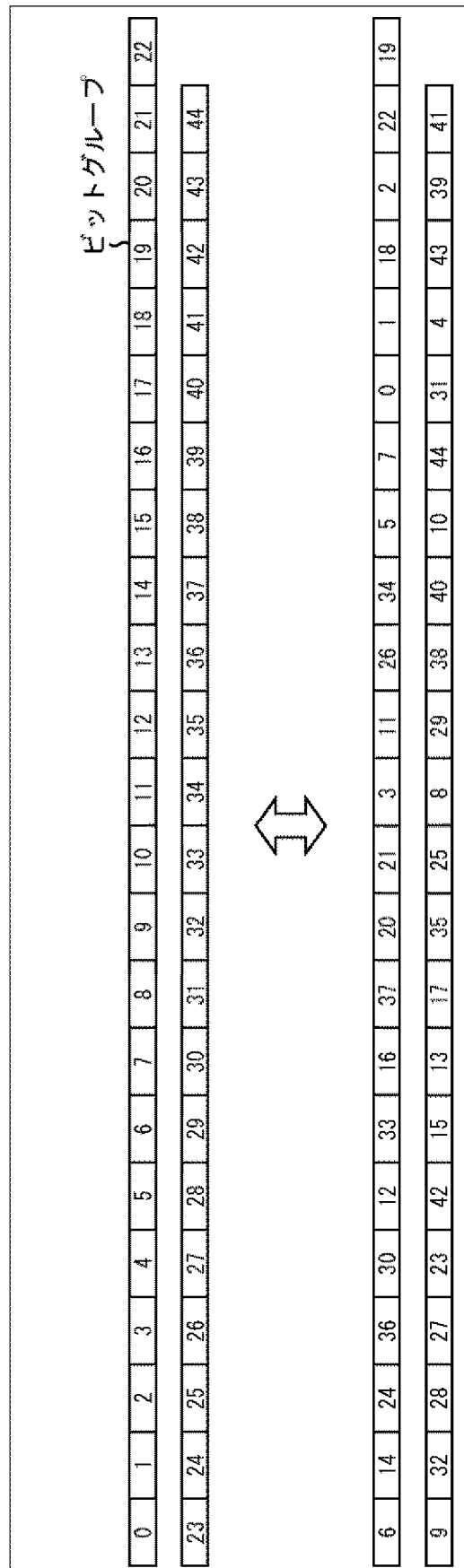
[図114]

図114

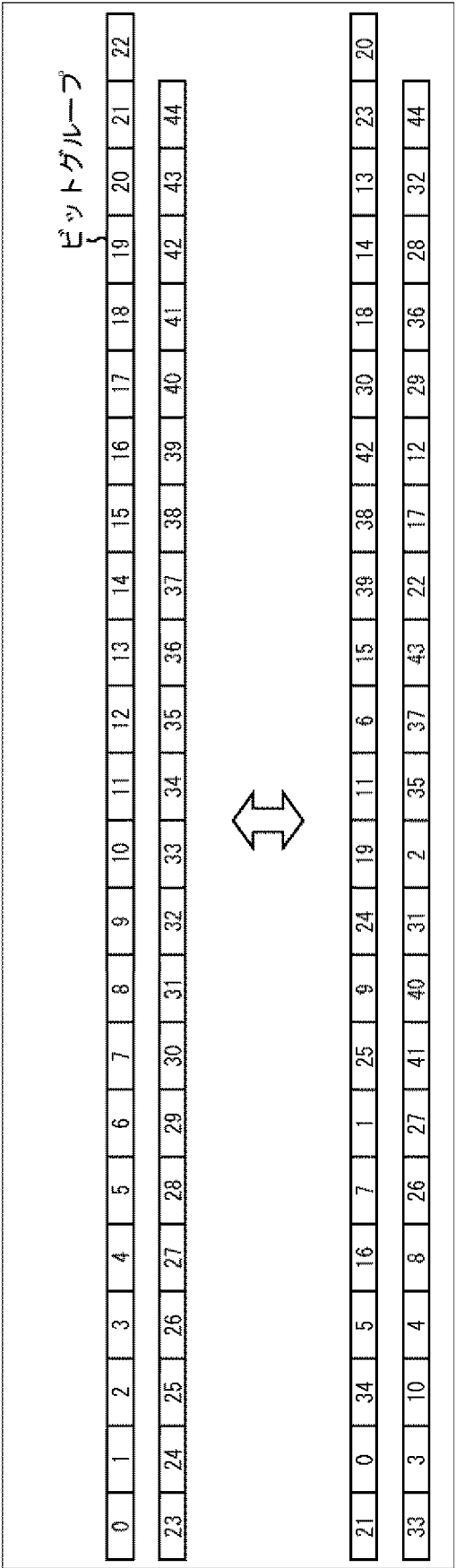


[図115]

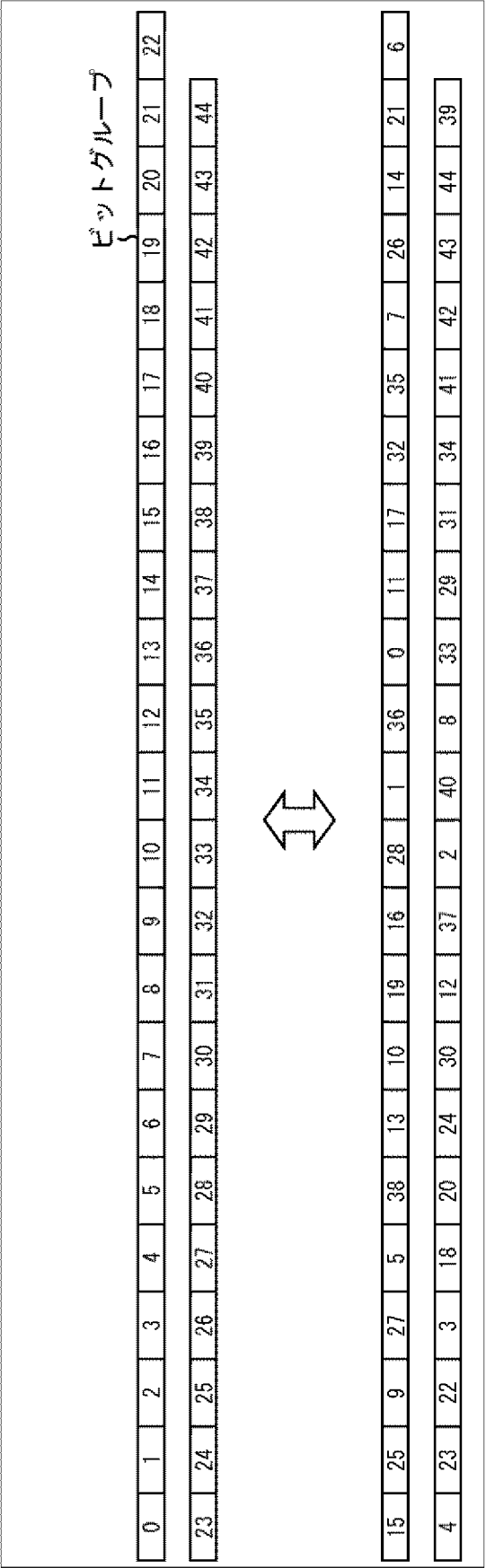
図115



[図116]
図116

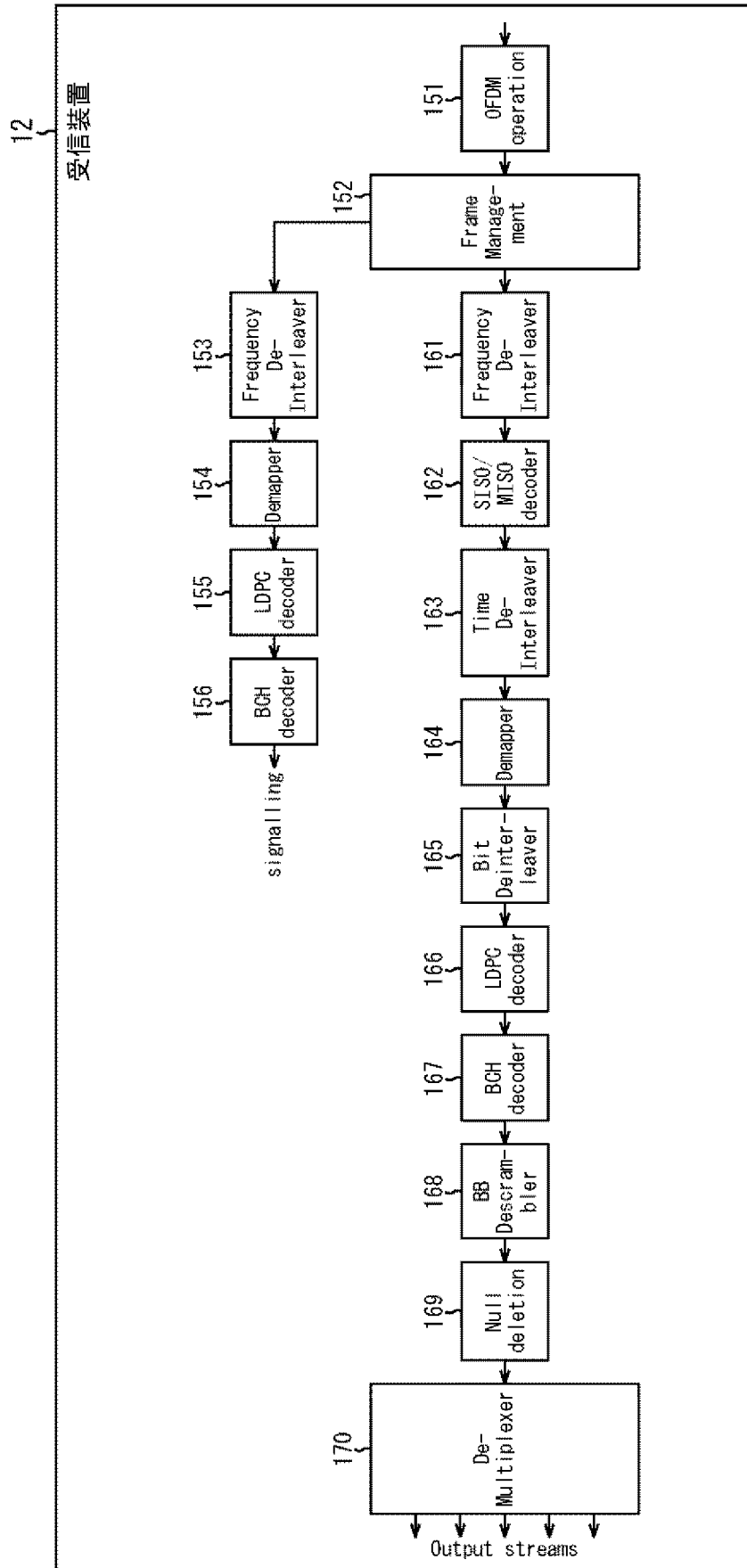


[図117]
図117



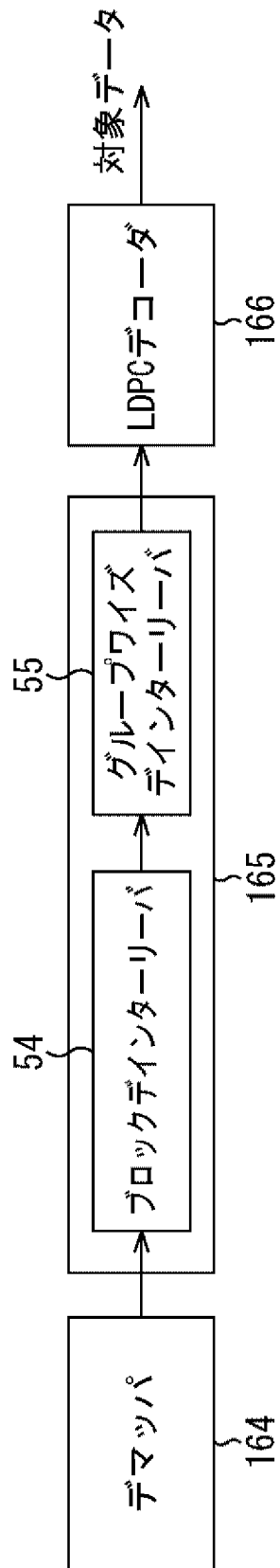
[図118]

図118



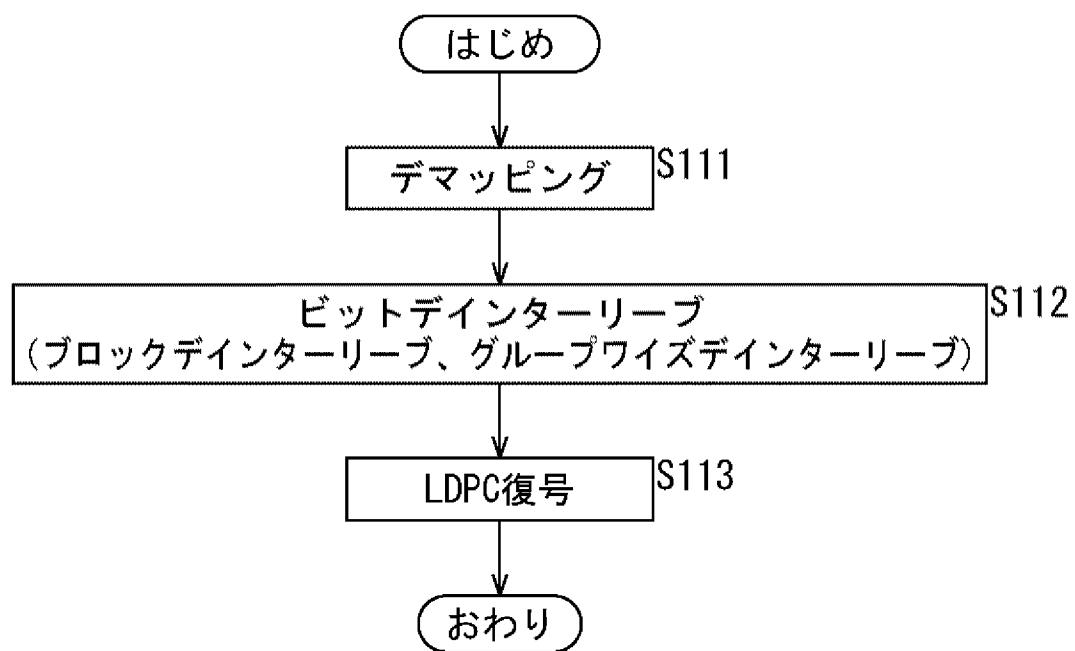
[図119]

図119



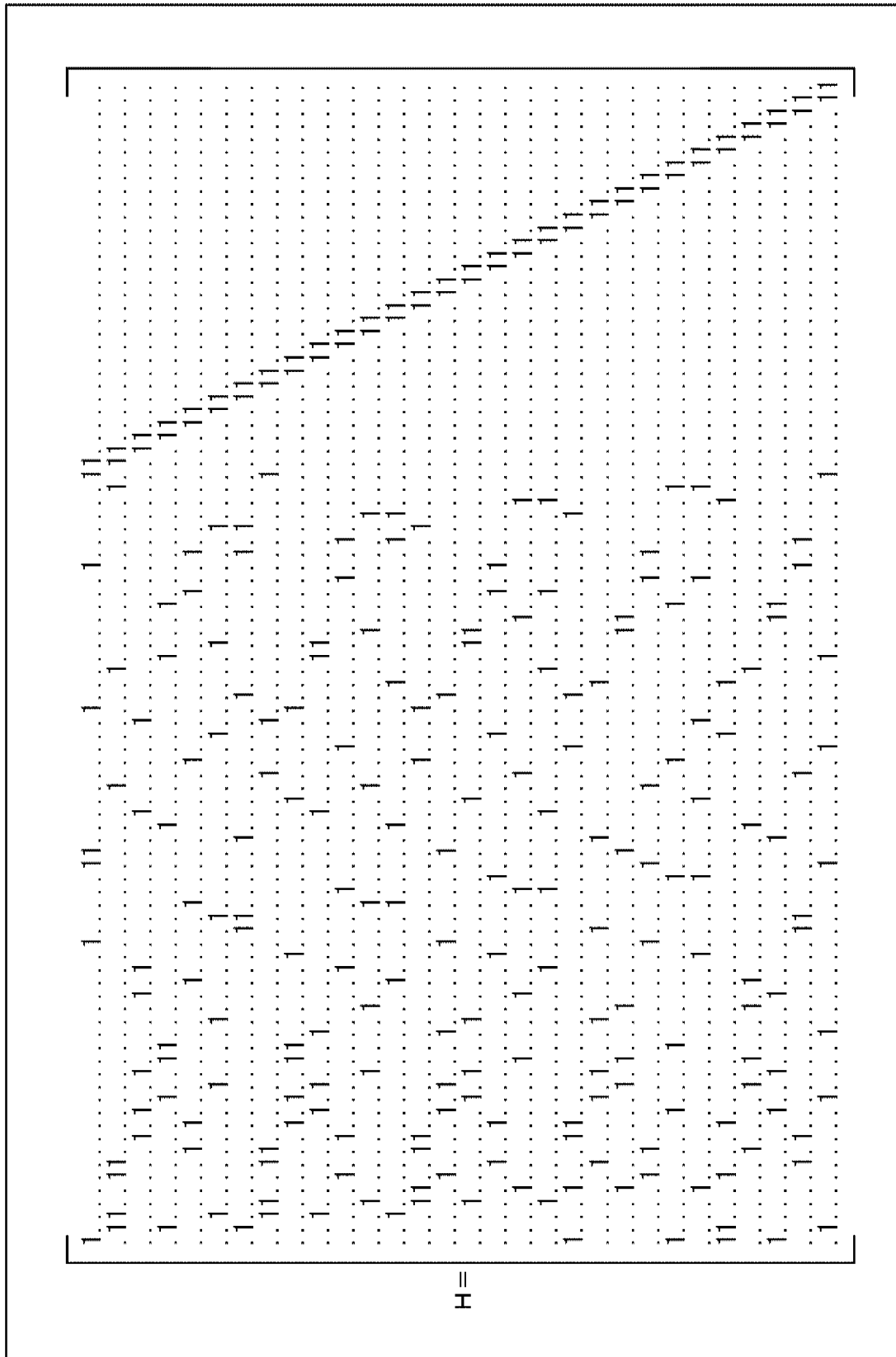
[図120]

図120



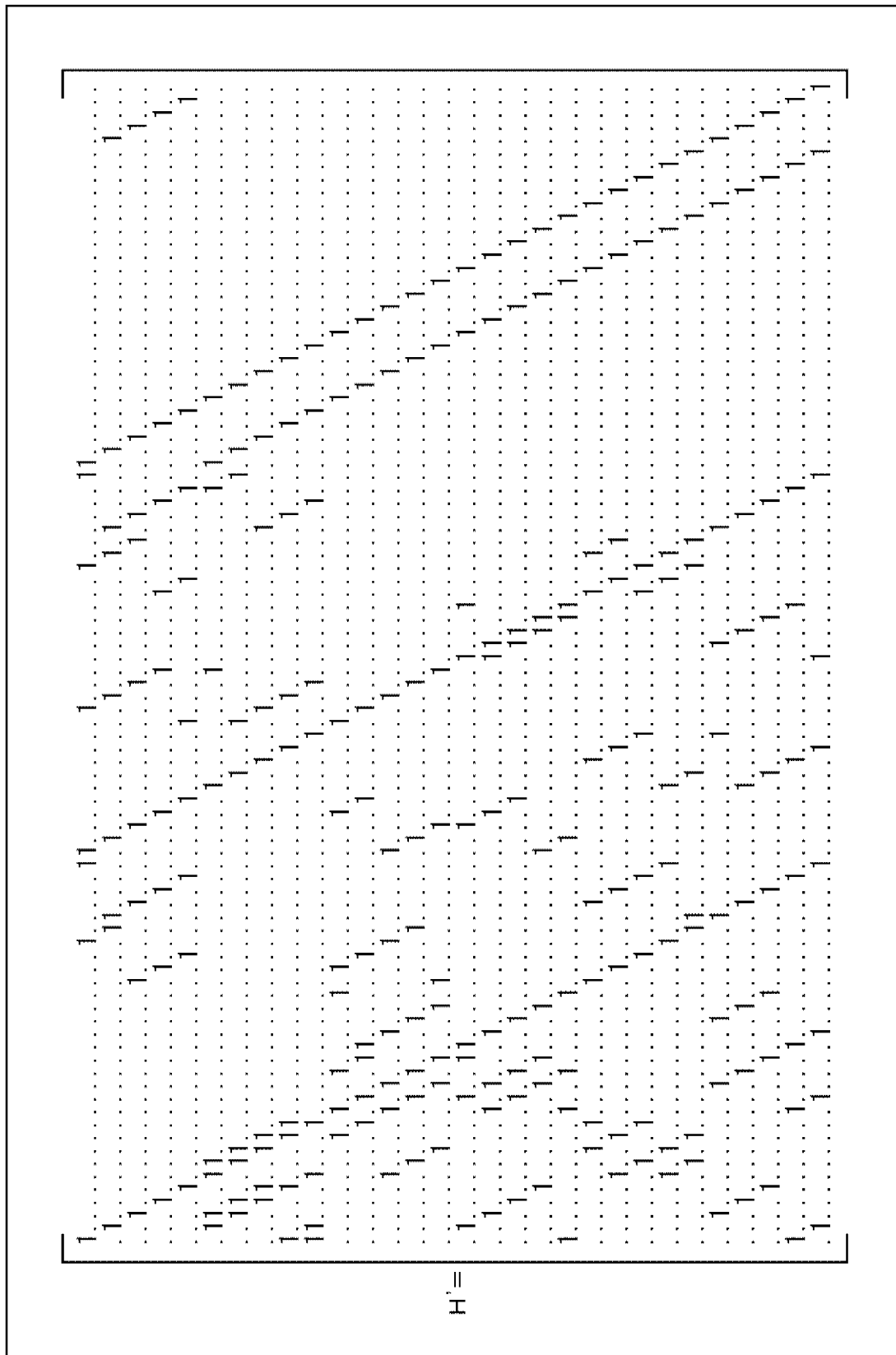
[図121]

図121



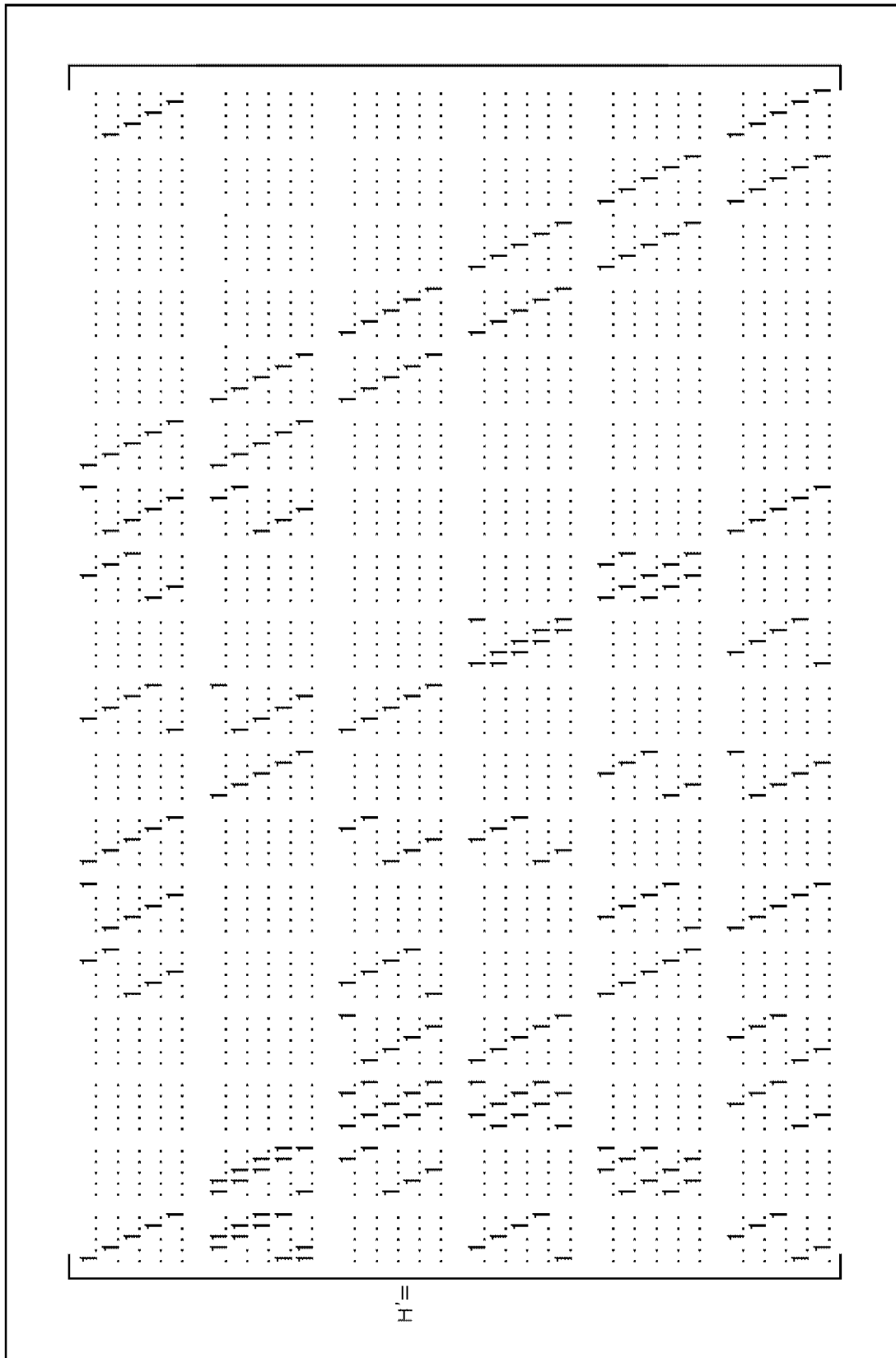
[図122]

図122



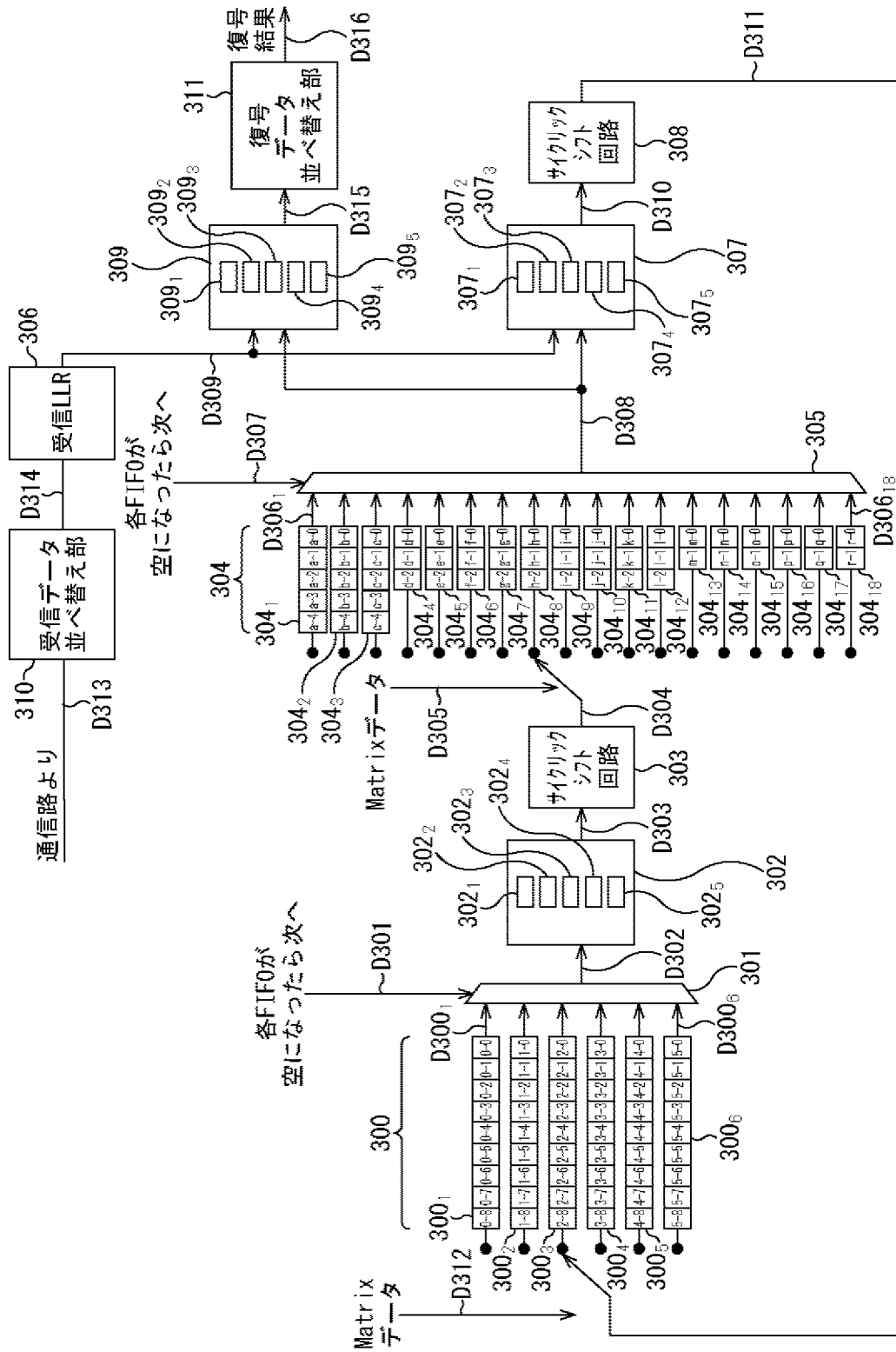
[図123]

図123



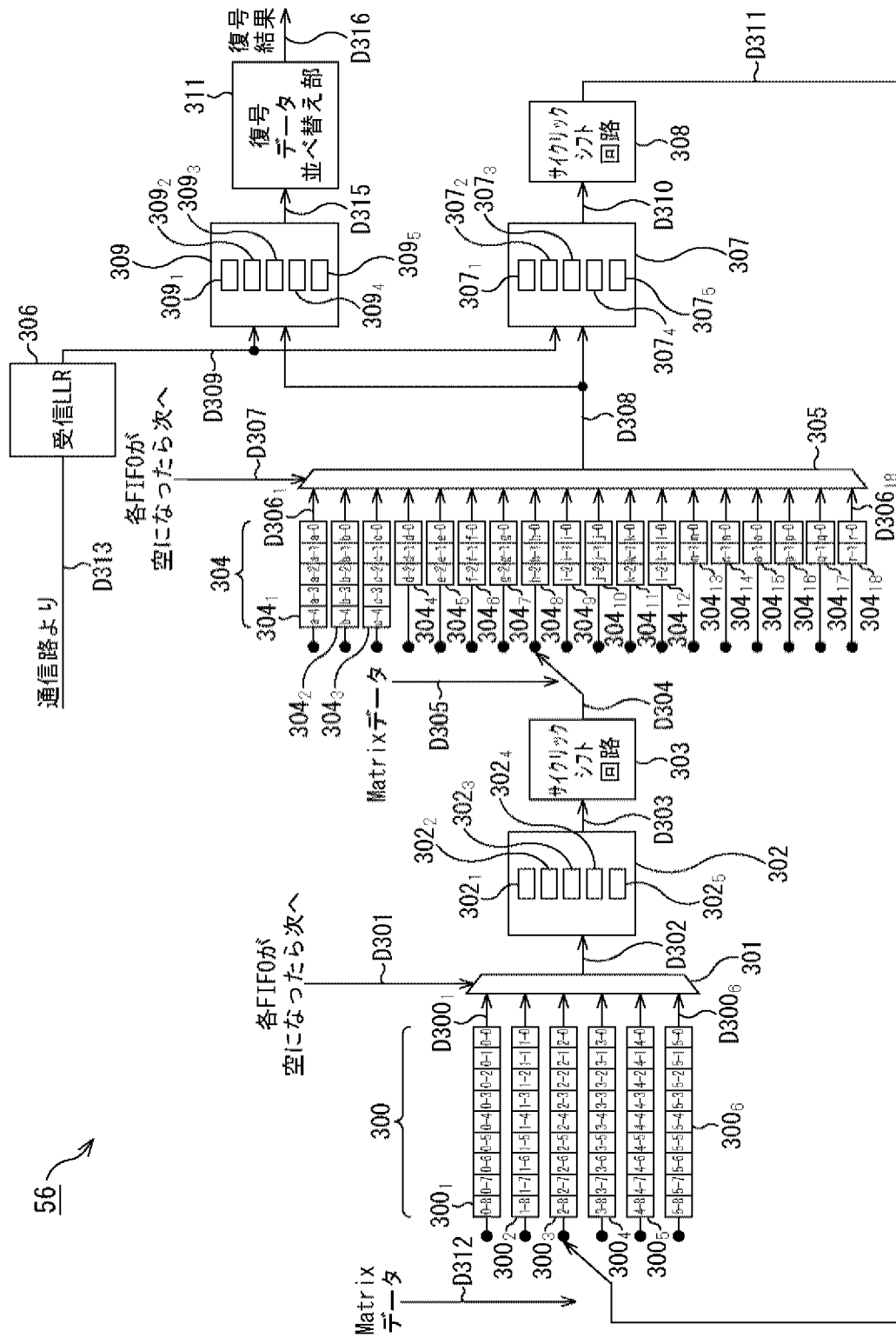
[図124]

図124



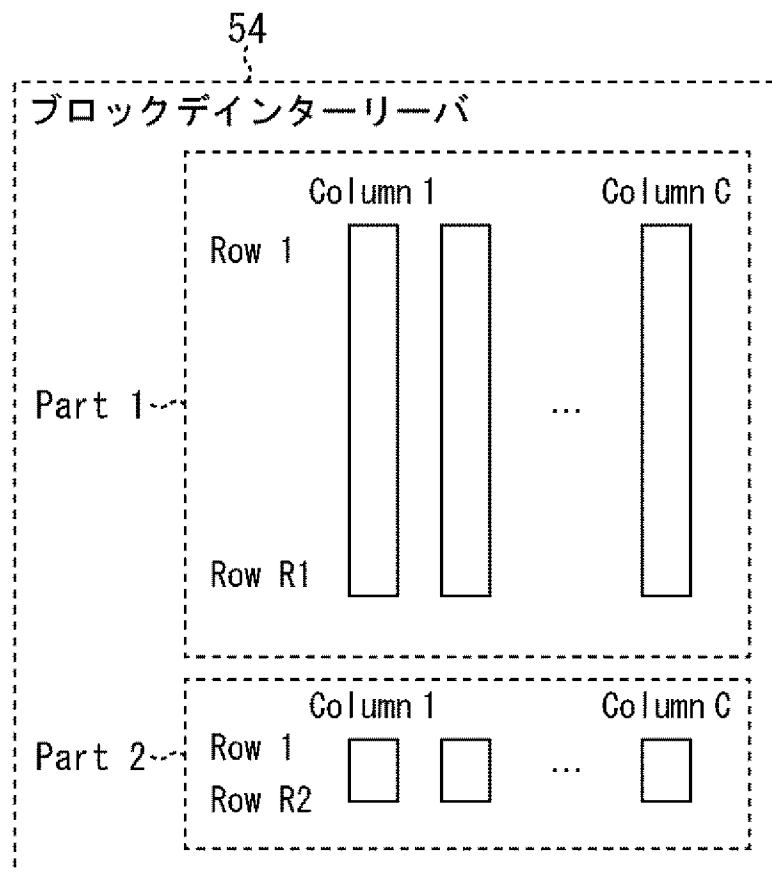
[図125]

図125



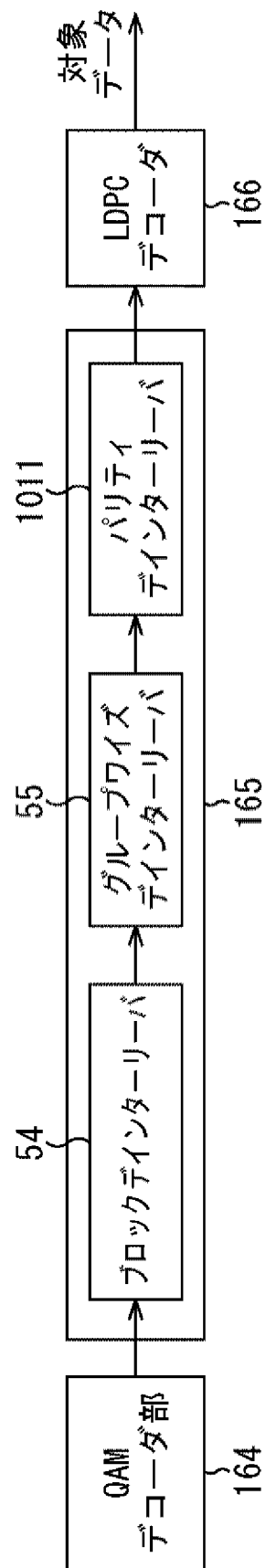
[図126]

図126



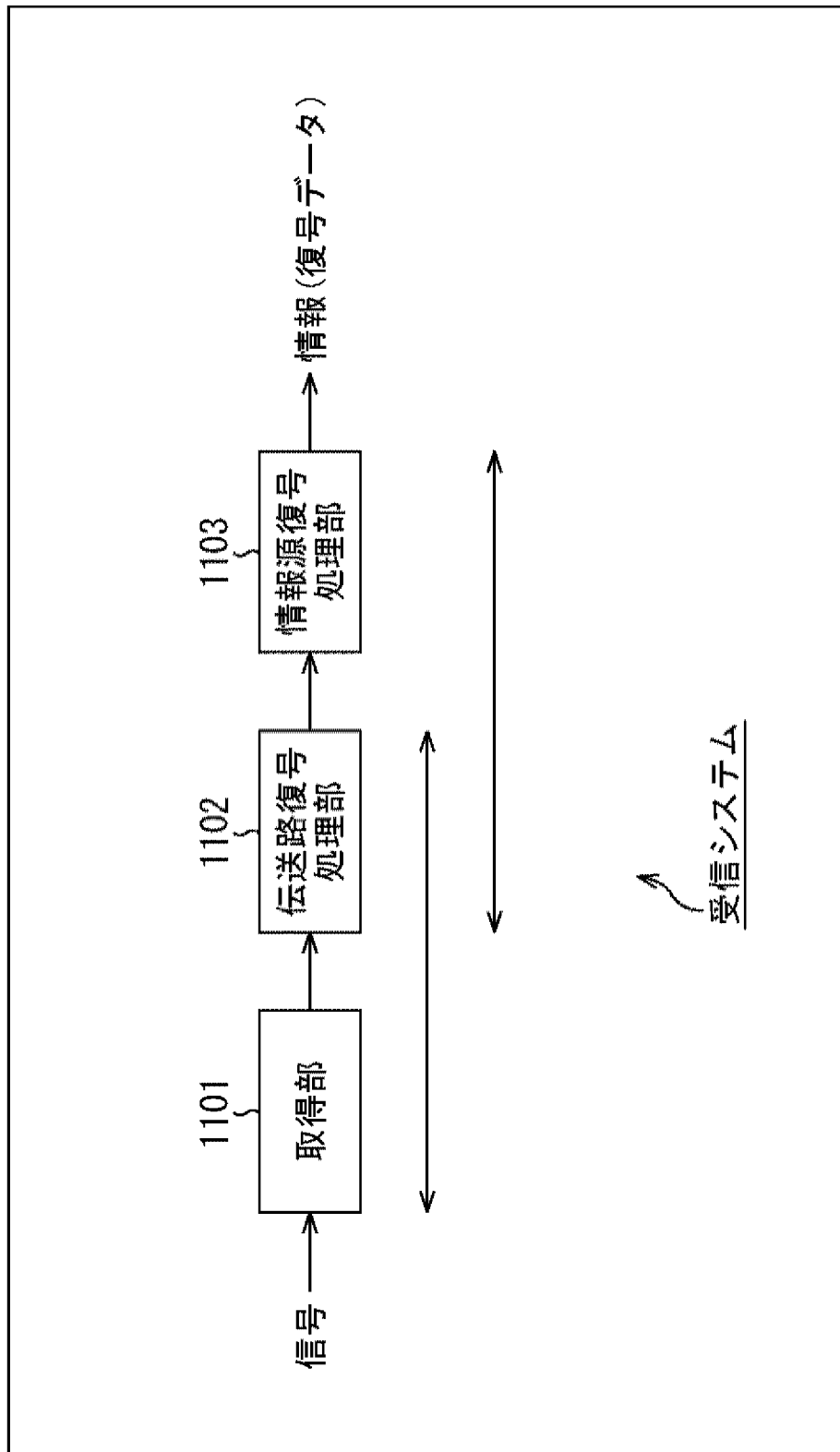
[図127]

図127



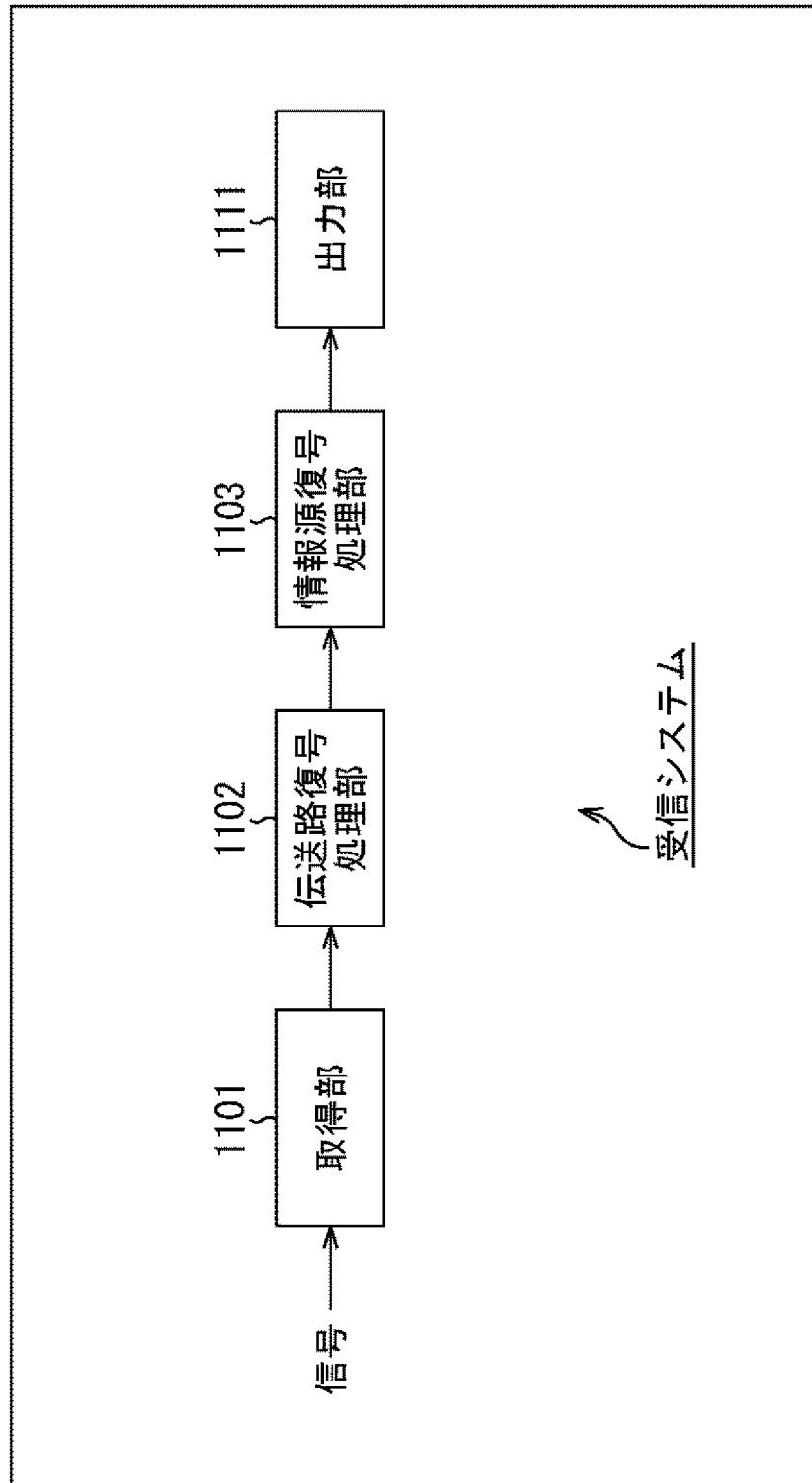
[図128]

図128



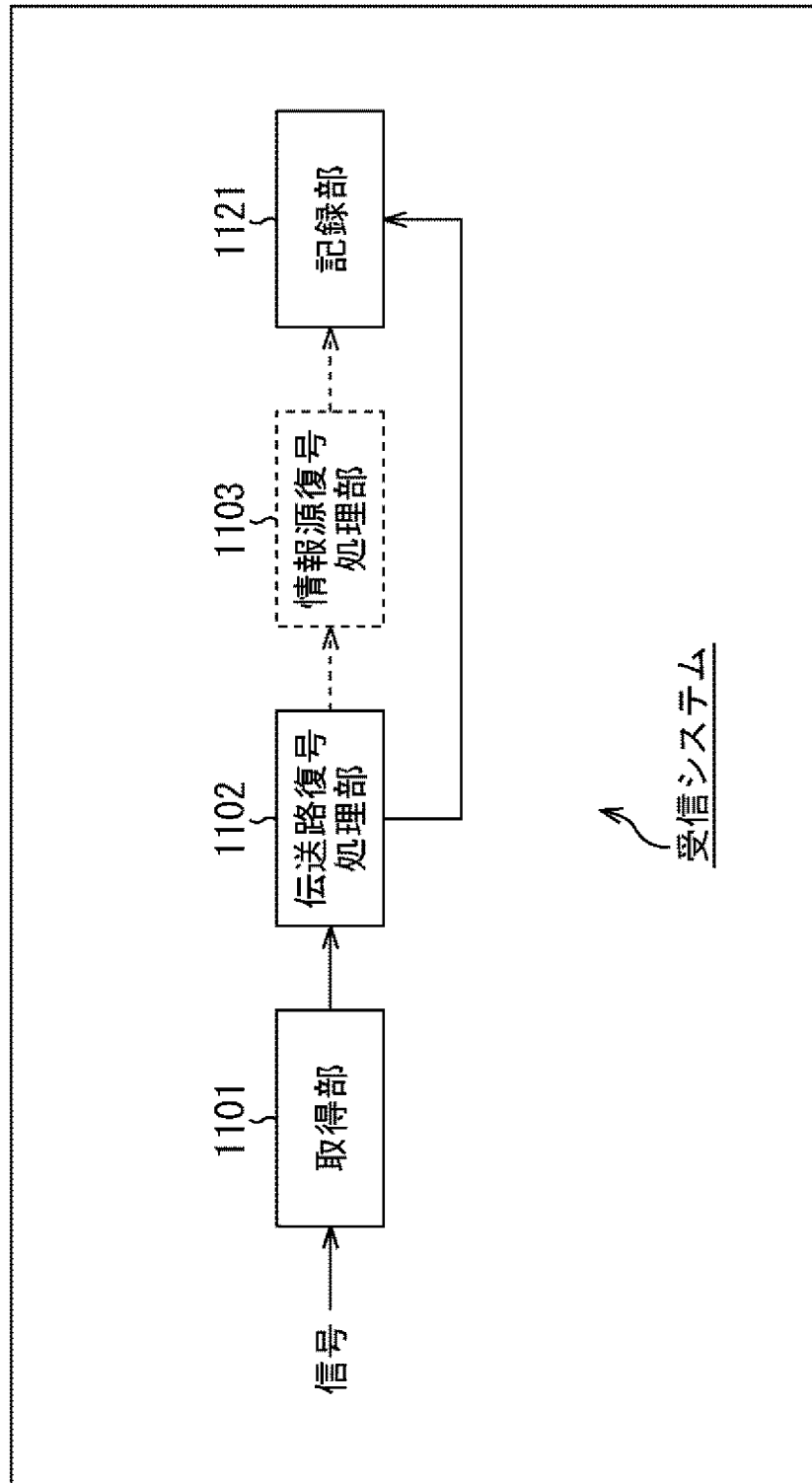
[図129]

図129



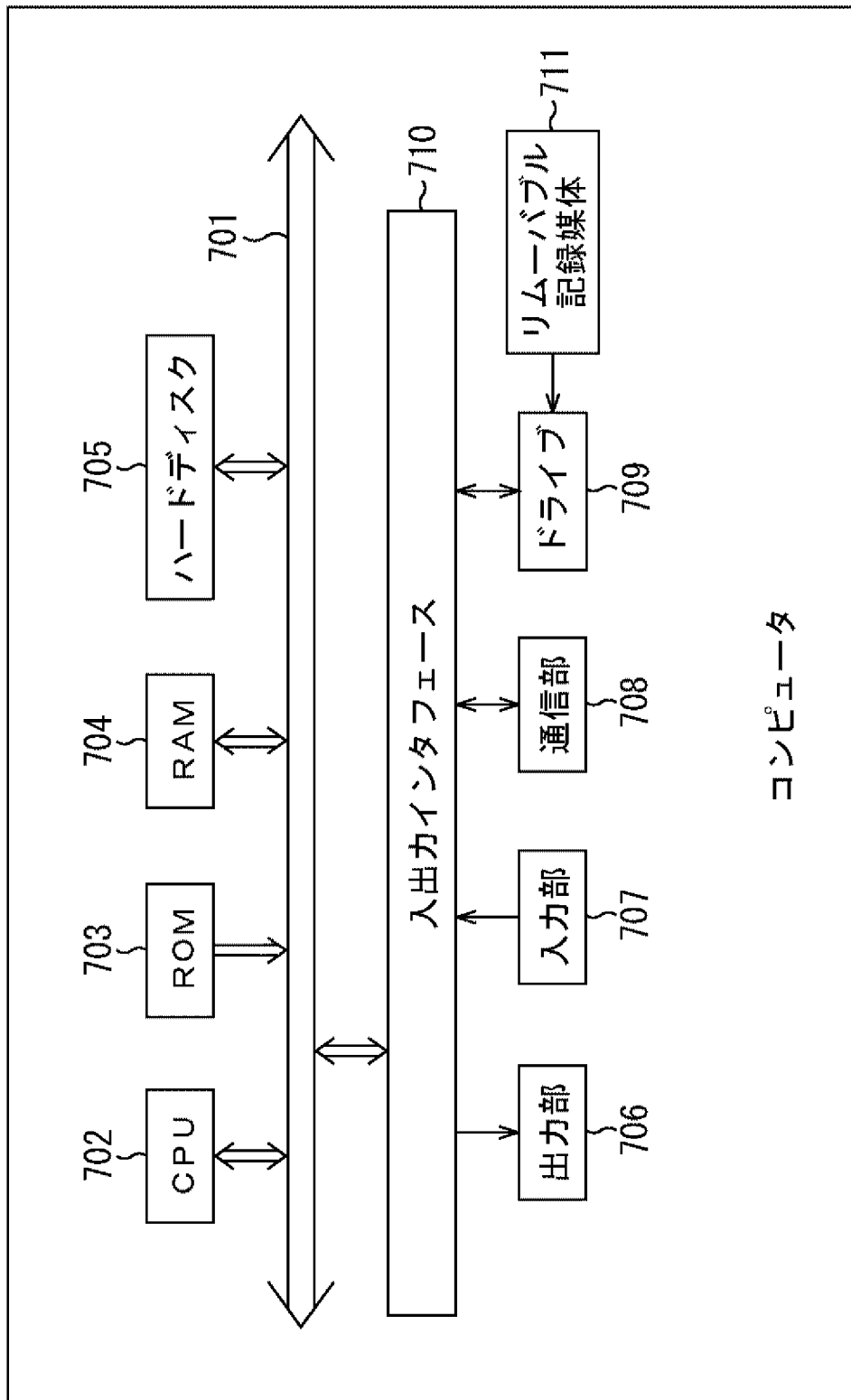
[図130]

図130



[図131]

図131



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/074200

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03M13/19(2006.01) i, H03M13/27(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, H03M13/27

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore, CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-5124 A (Sony Corp.), 07 January 2013 (07.01.2013), fig. 8 to 13, 33 to 49 & US 2014/0082452 A1 & EP 2722994 A1 & WO 2012/173061 A1 & TW 201308913 A & AU 2012270714 A & CN 103765782 A & KR 10-2014-0035386 A	1-14
A	JP 2007-6494 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 11 January 2007 (11.01.2007), claims 1 to 4 & US 2007/0011570 A1 & EP 1737133 A1 & KR 10-2006-0133924 A & CN 1983861 A	1-14

☒ 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
02 December, 2014 (02.12.14)

Date of mailing of the international search report
16 December, 2014 (16.12.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/074200

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-523318 A (Thomson Licensing), 04 August 2011 (04.08.2011), claims 1 to 7 & US 2011/0090948 A1 & EP 2134051 A1 & EP 2297911 A & WO 2009/150500 A1 & CN 102067545 A	1-14
P,A	GUARNERI Communications, ATSC 3.0 Physical Layer Proposal Rev. 01 ANNEX A, The Performance of Single Carrier Multi-Tone(SCMT) Modulation [online], 2013.11.17, pp.1-17, Internet, retrieval date: 29 October 2014 (29.10.2014), <URL> http://www.guarneri-communications.com/ wp-content/uploads/2014/04/ATSC-3-PROPOSAL_ anex-A.pdf	1-14
P,A	Bill Hayes, ATSC 3.0 Overview [online], 2014.06. 02, Internet, retrieval date: 29 October 2014 (29.10.2014), <URL> http://btsgold2014.unitbv. ro/uploads/presentations/Bill_Hayes_BTSGOLD2014. pdf	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03M13/19(2006.01)i, H03M13/27(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（IPC））

Int.Cl. H03M13/19, H03M13/27

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014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）

IEEE Xplore, CiNii

C. 関連すると認められる文献

引用文献の 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 請求項の番号
A	JP 2013-5124 A（ソニー株式会社）2013.01.07, 第8-13, 33-49図 & US 2014/0082452 A1 & EP 2722994 A1 & WO 2012/173061 A1 & TW 201308913 A & AU 2012270714 A & CN 103765782 A & KR 10-2014-0035386 A	1-14
A	JP 2007-6494 A（三星電子株式会社）2007.01.11, 請求項1-4 & US 2007/0011570 A1 & EP 1737133 A1 & KR 10-2006-0133924 A & CN 1983861 A	1-14

☒ 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

02.12.2014

国際調査報告の発送日

16.12.2014

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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）

岡 裕之

5 K

3251

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の 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 請求項の番号
A	JP 2011-523318 A (トムソン ライセンシング) 2011.08.04, 請求 項 1 - 7 & US 2011/0090948 A1 & EP 2134051 A1 & EP 2297911 A & WO 2009/150500 A1 & CN 102067545 A	1-14
P, A	GUARNERI Communications, ATSC 3.0 Physical Layer Proposal Rev. 01 ANNEX A, The Performance of Single Carrier Multi-Tone(SCMT) Modulation [online], 2013.11.17, pp.1-17, インターネット、検 索日: 2014 年 10 月 29 日, <URL> http://www.guarneri-communications.com/wp-content/uploa ds/2014/04/ATSC-3-PROPOSAL_anex-A.pdf	1-14
P, A	Bill Hayes, ATSC 3.0 Overview [online], 2014.06.02, インター ネット、検索日: 2014 年 10 月 29 日, <URL> http://btsgold2014.unitbv.ro/uploads/presentations/Bill _Hayes_BTSGOLD2014.pdf	1-14