

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005年11月10日 (10.11.2005)

PCT

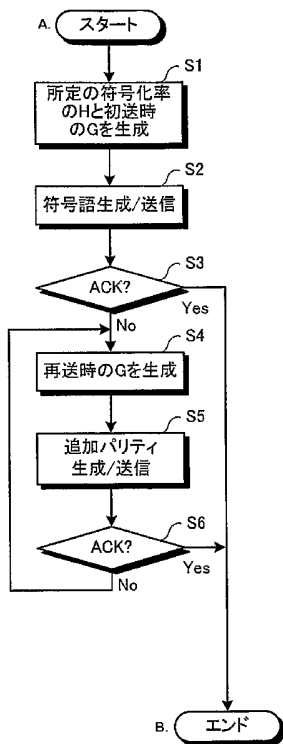
(10) 国際公開番号
WO 2005/107081 A1

- (51) 国際特許分類7: H03M 13/47, 13/09, H04L 1/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/006137
- (22) 国際出願日: 2004年4月28日 (28.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本 渉 (MATSUMOTO, Wataru) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006019 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続業有]

(54) Title: RETRANSMISSION CONTROL METHOD AND COMMUNICATION DEVICE

(54) 発明の名称: 再送制御方法および通信装置



A...START
 S1...CREATE H OF A PREDETERMINED CODING RATIO AND G FOR INITIAL TRANSMISSION
 S2...CREATE/TRANSMIT CODING WORD
 S4...CREATE G FOR RE-TRANSMISSION
 S5...CREATE/TRANSMIT ADDITIONAL PARITY
 B...END

(57) Abstract: A retransmission control method employs the LDPC code as an error correction code. Upon initial transmission, the method transmits a code word after coding by a predetermined coding ratio. Upon re-transmission, the method transmits an additional parity. A coding device (101) firstly creates a parity check matrix for initial transmission which has been optimized by a particular coding ratio and creates a parity check matrix for re-transmission which has been optimized stepwise by lowering the coding ratio. Next, the coding device (101) converts the parity check matrix for the initial transmission into a check matrix of the irreducible standard type (composed of check symbol generation matrix and unit matrix) and creates a generation matrix of the irreducible standard type for the initial transmission including the check symbol generation matrix. Next, the coding device (101) performs processing for creating a code word by using the generation matrix of the irreducible standard type for initial transmission and fixed-length information. On the other hand, when NAK is received from a communication device of the reception side, an additional parity is created in accordance with the parity check matrix corresponding to a coding ratio one step lower than the current coding ratio.

(57) 要約: 本発明の再送制御方法は、誤り訂正符号としてLDPC符号を採用し、初送時、所定の符号化率で符号化後の符号語を送信し、再送時、追加のパリティを送信する再送制御方法であって、符号化器(101)は、まず、特定の符号化率で最適化された初送時のパリティ検査行列、および前記符号化率を下げながら段階的に最適化された再送時のパリティ検査行列を生成し、つぎに、前記初送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列(検査記号生成行列と単位行列で構成)に変換し、前記検査記号生成行列を含む初送時の既約標準形の生成行列を生成し、つぎに、前記初送時の既約標準形の生成行列と固定長の情報とを用いて符号語を生成する処理を行い、一方で、受信側の通信装置からNAKを受け取った場合、現在の符号化率よりも1段階下の符号化率に対応したパリティ検査行列に基づいて追加パリティを生成する。

WO 2005/107081 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

再送制御方法および通信装置

5 技術分野

この発明は、誤り訂正符号として低密度パリティ検査（LDPC：Low-Density Parity-Check）符号を採用したシステムにて実現可能な再送制御方法および当該システムを構成する通信装置に関するものであり、詳細には、Type-II型 HARQ（Hybrid Automatic Repeat reQuest）にLDPC符号を適用した場合の再送制御方法および通信装置に関するものである。

背景技術

以下、従来の再送制御方法について説明する。たとえば、誤り制御には、誤り訂正符号化（FEC：Forward Error Correction）と自動再送要求（ARQ：Automatic Repeat reQuest）があるが、パケット伝送では、エラーフリー伝送を保証する必要があるため、ARQによる誤り制御が不可欠である。特に、伝搬路の状態に応じて最適な変調方式、符号化方式を選択して（適応変復調・誤り訂正）スループットの向上を図るようなシステムにおいては、パケット誤りが避けられないため、FEC機能を組み込んだHARQ方式が必要となる。

上記HARQ方式としては、再送パケットがオリジナルのパケットと同一のType-I型HARQと、再送パケットがオリジナルのパケットと異なるType-II型HARQがある。

ここで、上記Type-II型HARQの一例について説明する。Type-II型HARQは、基本的に、初送時に情報ビットを送信し、再送時に誤り訂正のためのパリティビットを送信するものであるが、ここでは、上記Type-II型HARQを、一例として、ターボ符号を用いたシステムに適用した場合について説明する（非特許文献1参照）。たとえば、ターボ符号を用いるシステムにおいて

は、送信側の通信装置が、情報信号系列を符号化率Rで符号化した後、所定の消去規則に基づいて符号化後の冗長ビット(パリティビット)を間引いて送信する。そして、再送時には、初回送信時のパケットとは異なる、追加パリティのみで構成されたパケットを送信する。一方、受信側の通信装置では、受信バッファに保存された初送時の受信パケットと再送パケットとを符号合成し、再送回数に応じてより小さい符号化率で復号処理を行う。

Type-II型HARQでは、このような一連の処理を、誤りが検出されなくなるまで繰り返し実行することによって、エラーフリー伝送を実現し、さらに、符号化利得向上により受信特性の向上を図っている。

10

非特許文献1.

J. Xu, "Turbo Coded Hybrid Type II ARQ System" Master's thesis, Chalmers University of Technology, School of Electrical and Computer Engineering, 2002.

15

しかしながら、前述した文献に記載されたターボ符号を用いた再送制御方法においては、消去するビット数が多いほど、シャノン限界との距離が離れ、特性が劣化する、という問題があった。また、ターボ符号を用いた再送制御方法では、再送時に追加パリティを送信した場合であっても、選択されたパリティが最適なパリティかどうかはわからないため、ターボ符号本来の性能が得られない可能性がある、という問題もあった。

20

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、Type-II型HARQにおいて、特性が安定し、常に誤り訂正符号本来の性能を得ることができる再送制御方法および通信装置を提供することを目的としている。

25

発明の開示

本発明にかかる再送制御方法にあつては、誤り訂正符号として低密度パリティ

検査 (LDPC) 符号を採用し、初送時、所定の符号化率で符号化後の符号語を送信し、再送時、追加のパリティを送信する送信側の通信装置の再送制御方法であって、たとえば、特定の符号化率で最適化された初送時のパリティ検査行列、および前記符号化率を下げながら段階的に最適化された再送時のパリティ検査行列 (再送の回数は任意) を生成する検査行列生成ステップと、前記初送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列 (検査記号生成行列と単位行列で構成) に変換する初送時既約標準形検査行列生成ステップと、前記検査記号生成行列を含む初送時の既約標準形の生成行列を生成する初送時既約標準形生成行列生成ステップと、前記初送時の既約標準形の生成行列と固定長の情報 (m) とを用いて符号語を生成し、送信する符号語生成送信ステップと、受信側の通信装置から NAK を受け取った場合に、前記検査行列生成ステップにて生成された、現在の符号化率よりも 1 段階下の符号化率に対応したパリティ検査行列 (前記再送時のパリティ検査行列の一つに相当) に基づいて追加パリティを生成し、送信する再送制御ステップと、を含み、以降、NAK を受け取った場合、ACK が返信されるまで、符号化率を 1 段階ずつ下げながら前記再送制御ステップを繰り返し実行することを特徴とする。

この発明にかかる再送制御方法においては、Type-II 型 HARQ 採用時の誤り訂正符号として、たとえば、シャノン限界に極めて近い優れた特性をもつ LDPC 符号を適用し、再送時は、予め生成しておいた、初送時、または前回の再送時の符号化率よりも低い符号化率に対応したパリティ検査行列から再送時の生成行列を生成し、その生成結果に基づいて追加パリティのみを送信することとした。

図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明にかかる再送制御方法 (送信側の通信装置の処理) を示すフローチャートであり、第 2 図は、本発明にかかる再送制御方法 (受信側の通信装置の処理) を示すフローチャートであり、第 3 図は、LDPC 符号化/復号シス

テムを示す図であり、第4図は、Type-II型HARQの処理を示す図であり、
 第5図は、パリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の構成を示す図であり、第6図は、ユークリッ
 ド幾何符号に基づく「Irregular-LDPC符号」の構成法を示すフロ
 ーチャートであり、第7図は、ユークリッド幾何符号EG(2, 2²)のマトリク
 5 スを示す図であり、第8図は、並べ替え後のマトリクスを示す図であり、第9図
 は、最適化計算後の次数配分を示す図であり、第10図は、調整後の次数配分を
 示す図であり、第11図は、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ を示す図であり、第12図は
 、最適化計算の結果として得られた次数配分を示す図であり、第13図は、追加
 行列 $A_{R(2)}$ を示す図であり、第14図は、パリティ検査行列 $H_{R(2)}$ を示す図であり、
 10 第15図は、追加行列 $A_{R(1)}$ を示す図であり、第16図は、パリティ検査行列 $H_{R(L)}$
)を示す図であり、第17図は、生成行列 $G_{R(L)}$ を生成するための条件を示す図
 であり、第18図は、既約標準形の検査行列 $H_{R(L)sys} = [P_{(n-k) \times k} \mid I_k]$ への変換処
 理を示す図であり、第19図は、初送時の既約標準形の生成行列 $G_{R(L)}$ の生成処理
 を示す図であり、第20図は、既約標準形の検査行列 $H_{R(L-1)sys} = [P_{(n-k) \times (k+1)} \mid I$
 15 $k+1]$ への変換処理を示す図であり、第21図は、再送時の既約標準形の生成行列
 $G_{R(L-1)}$ の生成処理を示す図であり、第22図は、再送時の符号語を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明をより詳細に説明するために、添付の図面に従ってこれを説明する。

20 第1図および第2図は、本発明にかかる再送制御方法を示すフローチャートで
 あり、詳細には、第1図は送信側の通信装置の処理を示し、第2図は受信側の通
 信装置の処理を示す。ここでは、Type-II型HARQ採用時の誤り訂正符号
 として、たとえば、シャノン限界に極めて近い優れた特性をもつLDPC符号を
 適用した場合の再送制御方法について説明する。

25 なお、本実施の形態におけるLDPC符号用のパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ は、たと
 えば、設定されるパラメータに応じて通信装置内で生成する構成としてもよいし、
 通信装置外部の他の制御装置（計算機等）で生成することとしてもよい。上記パ

リティ検査行列 $H_{R(L)}$ が通信装置外部で実行される場合は、生成済みのパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ が通信装置に格納される。以降の実施の形態では、通信装置内でパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ を生成する場合について説明する。ただし、上記 $R(L)$ は符号化率を表し、 $L=1, 2, 3, \dots, \max(0 < R(1) < R(1) < \dots < R$
 5 $(\max-1) < R(\max) = 1)$ とする。 $R(\max)$ は無符号化を意味する。

ここで、本実施の形態の再送制御方法を説明する前に、まず、本実施の形態の再送制御方法を実現可能な符号化器および復号器の位置付けについて説明する。

第3図は、LDPC符号化/復号システムを示す図である。第3図において、
 10 送信側の通信装置は、符号化器101と変調器102と再送制御部103を含む構成とし、受信側の通信装置は、復調器104と復号器105と再送制御部106を含む構成とする。なお、ここでは、説明の便宜上、送信側で必要な構成(送信機の構成)と受信側で必要な構成(受信機の構成)に分けて記載しているが、これに限らず、双方向の通信を実現可能な通信装置として、両方の構成を備える
 15 こととしてもよい。

送信側の符号化器101では、たとえば、後述する本実施の形態のパリティ検査行列の構成法にて、所望の符号化率に応じたLDPC符号用のパリティ検査行列 $H_{R(\max-1)} \sim H_{R(1)}$ を生成する。そして、たとえば、初送時(符号化率: $R(L)$)であれば、以下の条件に基づいて生成行列 $G_{R(L)}$ を求める。

20 $G_{R(L)}: (n-k) \times n$ 行列 ($n-k$:情報長, n :符号長)

$$H_{R(L)} \times G_{R(L)} = 0$$

その後、符号化器101では、情報長 $n-k$ のメッセージ(m_1, m_2, \dots, m_{n-k})を受け取り、上記生成行列 $G_{R(L)}$ を用いて符号長 n の符号語 $C_{R(L)}$ を生成する。

$$C_{R(L)} = (m_1, m_2, \dots, m_{n-k}) \times G_{R(L)}$$

25 $= (c_1, c_2, \dots, c_n)$ (ただし、 $H_{R(L)} (c_1, c_2, \dots, c_n)^T = 0$)

そして、変調器102では、生成した符号語 $C_{R(L)}$ に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル変調を行い、送信する。

一方、受信側では、復調器104が、通信路107を介して受け取った変調信号に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル復調を行い、さらに、復号器105が、LDPC符号化された復調結果に対して、「sum-productアルゴリズム」による繰り返し復号を実施し、推定結果（もとの m_1 ,
5 m_2, \dots, m_{n-k} に対応）を出力する。

つづいて、上記LDPC符号化/復号システムにおける各通信装置の動作、すなわち、本実施の形態における再送制御方法を、第1図および第2図にしたがって詳細に説明する。なお、本実施の形態においては、説明の便宜上、1つの情報系列に着目した場合の再送制御について記載するが、Type-II型HARQでは、通常、第4図に示すように、複数の情報系列が連続的に送信され、NAK（NAK#2, NAK#4, NAK#8）が返信された場合に再送制御を行う。
10

まず、上記送信側の通信装置では、符号化器101が、所定の符号化率 $R(L)$ に基づいて（初送時の $L=2 \sim \text{max}-1$ ）、初送時のLDPC符号用のパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ （ $n \times k$ の行列）を求め、さらに、符号化率を下げながら（情報長固定）、再送時、再々送時、…のLDPC符号用のパリティ検査行列 $H_{R(L-1)}$,
15 $H_{R(L-2)}$, …を求める（第1図、ステップS1）。そして、初送時のパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ から「 $H_{R(L)} \times G_{R(L)} = 0$ 」を満たす生成行列 $G_{R(L)}$ （ $(n-k) \times n$ の行列）を求める（ステップS1）。

ここで、上記符号化器101におけるLDPC符号用のパリティ検査行列の構成法について詳細に説明する。本実施の形態では、一例として、ユークリッド幾何に基づくIrregular-LDPC符号用のパリティ検査行列の構成法（第1図ステップS1の詳細）について説明する。
20

なお、パリティ検査行列 $H_{R(L)}$ は、一般式で表現すると、符号化率が1段階上のパリティ検査行列 $H_{R(L+1)}$ と追加のパリティ検査行列 $A_{R(L)}$ を用いて、下記(1)式
25 のように定義することができる。第5図は、(1)式の概要を示す図である。

$$H_{R(L)} = \begin{bmatrix} H_{R(L+1)} & | & 0 \\ \hline A_{R(L)} & & \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

$$R(L) = (n - m) / (n + t)$$

5

ただし、パリティ検査行列 $H_{R(L)}$ とパリティ検査行列 $H_{R(L+1)}$ はともにフルランク（線形独立）である。

また、本実施の形態では、ガウス近似法によりパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ ， $L = 1, 2, \dots, \text{max}$ の次数配分を最適化する。すなわち、下記（2）式を最小化するようなパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数配分を求める。

10

$$\sum_{L=1}^{\text{max}} \text{GAP}_{R(L)} \quad \dots (2)$$

ただし、 $\text{GAP}_{R(L)}$ は、ガウス近似法で推定するパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の反復し

15

きい値のSNRとシャノン限界との差をdBで表現したものである。

また、上記（2）式を最小化するようなパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数配分の求め方としては、たとえば、下記（3）式、すなわち、ガウスノイズ $\sigma_n(R(L))$ を最大とする $\lambda(x, R(L))$ ， $\rho(x, R(L))$ を探索する計算を行う。下記（3）式を計算する場合の拘束条件を下記（4）式，（5）式，（6）式，

20

（7）式に示す。

$$\sum_{L=1}^{\text{max}} \sigma_n(R(L)) \quad \dots (3)$$

25

$$\frac{\int_0^1 \rho(x, R(L))}{\int_0^1 \lambda(x, R(L))} = 1 - R(L)$$

$$\lambda(x, R(L)) = \lambda_1(R(L)) + \lambda_2(R(L))x^1 + \dots + \lambda_{dv(\max, R(L))}(R(L))x^{dv(\max, R(L))-1}$$

$$\rho(x, R(L)) = \rho_1(R(L)) + \rho_2(R(L))x^1 + \dots + \rho_{dc(\max, R(L))}(R(L))x^{dc(\max, R(L))-1}$$

... (4)

$$\lambda(x, R(L)) = 1$$

$$\rho(x, R(L)) = 1$$

... (5)

10

$$r > \sum_{i=2}^{dv(\max, R(L))} \lambda_i(R(L)) \phi \left(s + (i-1) \sum_{j=2}^{dc(\max, R(L))} \rho_j(R(L)) \phi^{-1} \left(1 - (1-r)^{i-1} \right) \right)$$

$$\forall r \in (0, \phi(s))$$

$$0 \leq \lambda_i(R(L)) \leq 1, \lambda_i(R(L)) \in \mathbb{R}$$

$$0 \leq \rho_i(R(L)) \leq 1, \rho_i(R(L)) \in \mathbb{R}$$

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\sqrt{4\pi x}} \int_R \tanh \frac{u}{2} \cdot e^{-\frac{(u-x)^2}{4x}} du, & \text{if } x > 0 \\ 1, & \text{if } x \leq 0 \end{cases}$$

... (6)

$$\lambda_x(R(L-1)) \leq \frac{\left(\sum_{i=2}^x n_v(i, R(L)) \times i \right) - \left(\sum_{j=2}^{x-1} n_v(j, R(L-1)) \times j \right) + X \times t}{H_{R(L-1)} \text{ の "1" の総数}}$$

20

... (7)

ただし、 $\lambda_i(R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数 i の列の比率を表し、 $\rho_i(R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数 i の行の比率を表す。また、 $dv(\max, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の列の最大次数を表し、 $dc(\max, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の行の最大次数を表す。また、 $\lambda(x, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の列の次数分布の生成関数であり、 $\rho(x, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の行の次数分布の生成関数であり、

25

、 $R(L)$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の行の次数分布の生成関数である。また、 $n_v(i, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数 i の列数を表し、 $n_r(i, R(L))$ はパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ の次数 i の行数を表す。

以下に、上記ステップS1にてパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ を求める処理の一例として、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ 、パリティ検査行列 $H_{R(2)}$ 、パリティ検査行列 $H_{R(1)}$ を順に求める場合の処理を具体的に説明する。第6図は、ユークリッド幾何符号に基づく「Irregular-LDPC符号」の構成法を示すフローチャートである。

まず、符号化器101では、情報長および符号化率を決定する（第6図、ステップS21）。ここでは、たとえば、情報長を $n-k=3000$ とし、符号化率を $R(3)=0.6$ 、 $R(2)=0.5$ 、 $R(1)=0.375$ とする。この場合、初送時の符号長（情報長／符号化率）は $n=5000$ となり、再送時の符号長は $n+t_1=6000$ （ $t_1=1000$ ）となり、再々送時の符号長は $n+t_1+t_2=8000$ （ $t_2=2000$ ）となる。

つぎに、符号化器101では、ユークリッド幾何符号 $EG(2, 2^5)$ を選択し、さらに、「Irregular-LDPC符号」用のパリティ検査行列のベースとなる基本行列 $A(s=5, R(3))$ 、 $A(s=5, R(2))$ 、 $A(s=5, R(1))$ を生成する（ステップS22）。たとえば、 $s=5$ とした場合、ユークリッド幾何符号 $EG(2, 2^5)$ の一行目の重み分布（“1”の列番号）は、下記のようになる。

{1 32 114 136 149 223 260 382 402 438 467 507 574 579 588 622 634 637 638 676 717 728 790 851 861 879 947 954 971 977 979 998}

LDPC符号を用いた符号化／復号においては、一般的に、2部グラフ上に「サイクル4」および「サイクル6」が少ないほど良好な特性を得ることができる。そこで、本実施の形態では、「サイクル4」や「サイクル6」といった少ないサイクルを抑制するように、ユークリッド幾何符号 $EG(2, 2^5)$ の1行目の重み分布から適当に“1”を間引きする。間引き後の重み分布は、たとえば、下記の

ようになる。

{1 32 114 136 149 223 260 402 438 467 507 574 588 634 638 717 728 790
861 947 971 979}

そして、間引き後の重み分布に基づいて、各基本行列の一行目の重み分布を決定し（個別に上記“1”の位置を割り当てる）、さらに、その重み分布を巡回シフトすることにより、1023行×1023列の基本行列A（s=5，R（3））、A（s=5，R（2））、A（s=5，R（1））を生成する。本実施の形態では、各基本行列の一行目の重み分布を、たとえば、下記のように決定する。

A（s=5，R（3））= {1 32 114 149 260 402 467 507 574 634 717 728
790 861 979}

A（s=5，R（2））= {223 438 947}

A（s=5，R（1））= {136 588 638 971}

これにより、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ の列の最大次数が $d_v(\max, R(3)) = 15$ となり、パリティ検査行列 $H_{R(2)}$ の列の最大次数が $d_v(\max, R(2)) = 3$ となり、パリティ検査行列 $H_{R(1)}$ の列の最大次数が $d_v(\max, R(1)) = 4$ となる。また、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ の行の最大次数が $d_c(\max, R(3)) = 15$ となり、パリティ検査行列 $H_{R(2)}$ の行の最大次数が $d_c(\max, R(2)) = 3$ となり、パリティ検査行列 $H_{R(1)}$ の行の最大次数が $d_c(\max, R(1)) = 4$ となる。

つぎに、符号化器101では、上記各基本行列を、列内の“1”の位置が列中のできるだけ上部にくるように、以下の手順で並べ替えを行う（ステップS23）。この並べ替え手順を一般的に表現すると、下記（8）式のように表現できる。

$$\begin{aligned}
 &h_k(X) \in \text{GF}(2)[X]/X^{(2^{2s}-1)} \\
 &k = \{1, 2, \dots, 2^2 \cdot (2^{2s} - 1)\} \\
 5 \quad &\begin{bmatrix} h_{i+0}(X) \\ h_{i+1}(X) \\ h_{i+2}(X) \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{-(w1-1)} \\ X^{-(w2-1)} \\ X^{-(w3-1)} \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \cdot \left[(X^{(w1-1)} + X^{(w2-1)} + \dots) \cdot X^{(i-1)} \right] \\
 &\dots (8)
 \end{aligned}$$

10

なお、 $i = 1 \sim 2^{2s} - 1$ とする。また、(8) 式の多項式 $(X^{(w1-1)} + X^{(w2-1)} + \dots)$ は、各基本行列の最初の行を表現した式である。たとえば、基本行列の重みの位置が $\{1 \ 7 \ 9 \ \dots \ 40\}$ の場合は、 $1 + X^{(7-1)} + X^{(9-1)} + \dots + X^{(40-1)}$ となる。

そして、上記 (8) 式において、 $i = 1 \sim 2^{2s} - 1$ 、 $j = 1 \sim i - 1$ までの間に、 $h_i(X) = h_j(X)$ が存在する場合は、 $h_i(X)$ を削除する。この並べ替え処理により、後述する行の削除処理（短縮処理）を行う場合に、できるだけ重みの大きい列を残すことができ、かつ列内の重みのバリエーションをできるだけ少なくすることができる。

具体例として、たとえば、ユークリッド幾何符号 EG (2, 2^2) を基本行列とした場合、上記並べ替え手順を実施すると、第7図に示すマトリクスが第8図に示すマトリクスのように並べ替えられる。第7図は、ユークリッド幾何符号 EG (2, 2^2) のマトリクスを示す図（空白は0を表す）であり、第8図は、並べ替え後のマトリクスを示す図である。

つぎに、符号化器 101 では、上記で決定した情報長 $n - k = 3000$ （符号長 $n = 5000$ ）、符号化率 $R(3) = 0.6$ 、並べ替え後の基本行列 A ($s = 5$, $R(3)$) を用いて、 $n \times k$ (5000列 \times 2000行) のパリティ検査行列 $H_{R(3)}$ を求める処理（最適化計算）を実行する（ステップ S24）。

25

ここでは、まず、ガウスノイズ σ_n ($R(3)$) を最大とする生成関数 $\lambda(x, R(3))$, $\rho(x, R(3))$ を探索する。この場合、上記 (4) 式, (5) 式, (6) 式が拘束条件となる。第 9 図は、最適化計算後の次数配分を示す図である。

- 5 つぎに、符号化器 101 では、基本行列 $A(s=5, R(3))$ と第 9 図に示す ρ の平均と符号化率 $R(3)$ に基づいて短縮行列を求める。まず、 ρ の平均を用いて行の分割数 $Z_{R(3)}$ を求める。

$$\begin{aligned} \text{行の分割数 } Z_{R(3)} &= A(s=5, R(3)) \text{ の要素数} / \rho \text{ の平均} \quad \dots (9) \\ &= 15 / 7.5 \\ &= 2 \end{aligned}$$

10

そして、上記行の分割数を用いて短縮行列の行数を求める。

$$\begin{aligned} \text{短縮行列の行数 } m' &= \text{符号長} \times (1 - R(3)) / \text{行の分割数} \quad \dots (10) \\ &= 5000 \times (1 - 0.6) / 2 = 1000 \end{aligned}$$

- すなわち、ここでは、1023 行の基本行列 $A(s=5, R(3))$ の最下位
15 から 23 行を削除して、1000 行の短縮行列 $A'(s=5, R(3))$ を生成する。

- つぎに、符号化器 101 では、第 9 図に示す行の次数比率 $\rho_i(R(3))$ と行の次数 i を固定した状態で、上記短縮行列 $A'(s=5, R(3))$ を用いて構成可能な、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ の次数 $i=2, 3, 4$ の列数 $n_v(i, R(3))$ と、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ の次数 $i=7, 8$ の行数 $n_c(i, R(3))$ と、を
20 求める。ここでは、分割後の行列の列が 5000 列になるように、列の次数比率 $\lambda_i(R(3))$ を調整する。第 10 図は、調整後の次数配分を示す図である。

- その後、符号化器 101 では、第 10 図に示す次数分布に基づいて、短縮行列 $A'(s=5, R(3))$ の行と列を分割し、その結果を 5000 列 \times 2000 行のパリティ検査行列 $H_{R(3)}$ とする。さらに、分割後のパリティ検査行列 $H_{R(3)}$ の列の重みが昇順になるように列を並べ替えて、並べ替え後の行列をパリティ検査行列 $H_{R(3)}$ ($n \times k$ の行列) とする。第 11 図は、パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ を示

25

す図である。ここでは、重み“7”の行が1000行、重み“8”の行が1000行、重み“2”の列が279列、重み“3”の列が4686列、重み“4”の列が96列となる。

5 なお、本実施の形態における短縮行列の分割処理（後述する分割処理も含む）は、規則的に分割するのではなく、各行または各列から「1」をランダムに抽出することにより行う（ランダム分割）。なお、この抽出処理は、ランダム性が保持されるのであればどのような方法を用いてもよい。

つぎに、符号化器101では、上記で決定した情報長 $n - k = 3000$ （符号長 $n + t1 = 6000$ ）、符号化率 $R(2) = 0.5$ 、並べ替え後の基本行列 A (10 $(s = 5, R(2))$), パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ を用いて、下記(11)式に示すパリティ検査行列 $H_{R(2)}$ および追加行列 $A_{R(2)}$ を求める処理（最適化計算）を実行する（ステップS25）。ここでは、上記パリティ検査行列 $H_{R(3)}$ を求める処理と異なる処理についてのみ説明する。

$$15 \quad H_{R(2)} = \begin{bmatrix} H_{R(3)} & | & 0 \\ \hline & & A_{R(2)} \end{bmatrix} \quad \dots (11)$$

まず、符号化器101では、ガウスノイズ $\sigma_n(R(2))$ を最大とする生成関数 $\lambda(x, R(2))$, $\rho(x, R(2))$ を探索する。なお、この最適化計算 (20 では、上記(4)式, (5)式, (6)式に加えて、(7)式が拘束条件となる。

したがって、たとえば、パリティ検査行列 $H_{R(2)}$ における次数2, 次数3, 次数4の拘束条件は、それぞれ(12)式, (13)式, (14)式となる。

$$25 \quad \begin{aligned} \lambda_2(R(L-1)) &\leq \frac{n_v(2, R(L)) \times 2 + t \times 2}{1000 \times 15 + 1000 \times 3} \\ &= \frac{279 \times 2 + 1000 \times 2}{18000} \\ &= 0.1421 \end{aligned} \quad \dots (12)$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_3(\mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) &\leq \frac{n_v(3, \mathbf{R}(\mathbf{L})) \times 3 + n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L})) \times 2 - n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 2 + t \times 3}{1000 \times 15 + 1000 \times 3} \\
 &= \frac{4686 \times 3 + 279 \times 2 - n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 2 + 3000}{18000} \\
 5 \quad &= 0.9787 - \lambda_2(\mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \\
 &\quad \dots (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_4(\mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) &\leq \frac{(n_v(4, \mathbf{R}(\mathbf{L})) \times 4 + n_v(3, \mathbf{R}(\mathbf{L})) \times 3 + n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L})) \times 2 \\
 &\quad - (n_v(3, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 3 + n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 2) + t \times 4) / (1000 \times 15 + 1000 \times 3)}{18000} \\
 10 \quad &= \frac{96 \times 4 + 4686 \times 3 + 279 \times 2 - (n_v(3, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 3 + n_v(2, \mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \times 2) + 1000 \times 4}{18000} \\
 &= 1.0552 - \lambda_3(\mathbf{R}(\mathbf{L}-1)) \quad () \\
 &\quad \dots (14)
 \end{aligned}$$

さらに、パリティ検査行列 $H_{\mathbf{R}(2)}$ の列の最大次数が下記(15)式を満たすこと
 15 も拘束条件となる。

$$\begin{aligned}
 H_{\mathbf{R}(2)} \text{の列の最大次数} &= H_{\mathbf{R}(3)} \text{の列の最大次数} + A(s=5, \mathbf{R}(2)) \text{の要素数} \\
 &\quad \dots (15)
 \end{aligned}$$

20 第12図は、上記最適化計算の結果として得られた次数配分を示す図である。
 つぎに、符号化器101では、上記(9)式、上記(10)式に基づいて、短
 縮行列 $A^{\sim}(s=5, \mathbf{R}(2))$ を求める。まず、 ρ の平均を用いて行の分割数
 $Z_{\mathbf{R}(2)}$ を求める。

$$\begin{aligned}
 \text{行の分割数 } Z_{\mathbf{R}(2)} &= A(s=5, \mathbf{R}(3)) \text{ および } A(s=5, \mathbf{R}(3)) \\
 25 \quad &\text{の総要素数} / \rho \text{ の平均} \\
 &= (15 + 3) / 6 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

そして、上記行の分割数を用いて短縮行列の行数を求める。

$$\begin{aligned} \text{短縮行列の行数 } m' &= \text{符号長} \times (1 - R(3)) / \text{行の分割数} \\ &= 6000 \times (1 - 0.5) / 3 = 1000 \end{aligned}$$

すなわち、ここでも、1023行の基本行列A (s=5, R(2))の最下位
5 から23行を削除して、1000行の短縮行列A' (s=5, R(2))を生成
する。

つぎに、符号化器101では、第12図に示す次数分布に基づいて、短縮行列
A' (s=5, R(2))の列を分割し、その結果を6000列×1000行の
仮追加行列A_{R(2)'}とする。さらに、分割後の仮追加行列A_{R(2)'}の列の重みが昇順
10 になるように列を並べ替えて、並べ替え後の行列を正式な追加行列A_{R(2)}((n+t
+1)×t1の行列)とする。第13図は、追加行列A_{R(2)}を示す図である。ここ
では、重み“3”の行が1000行、重み“2”の列が69列、重み“3”の列
が954列となる。

つぎに、符号化器101では、先に生成しておいたn×kのパリティ検査行列
15 H_{R(3)}の右横にt1×kの0行列(1000列×2000行の0行列)を追加し、
さらに、0行列を追加後の(n+t1)×kの行列の下部に、上記で生成した
(n+t1)×t1の追加行列A_{R(2)}を配置した、(n+t1)×(k+t1)のパ
リティ検査行列H_{R(2)}(6000列×3000行の行列)を生成する。第14図は
、パリティ検査行列H_{R(2)}を示す図である。

20 つぎに、符号化器101では、上記で決定した情報長n-k=3000(符号
長n+t1+t2=8000)、符号化率R(2)=0.375、並べ替え後の
基本行列A(s=5, R(1))、パリティ検査行列H_{R(2)}を用いて、下記(16
)式に示すパリティ検査行列H_{R(1)}および追加行列A_{R(1)}を求める処理(最適化計算
)を実行する(ステップS26)。この処理は、上記パリティ検査行列H_{R(2)}を求
25 める処理と同様の手順で行う。

$$H_{R(1)} = \left[\begin{array}{c|c} H_{R(2)} & 0 \\ \hline A_{R(1)} & \end{array} \right] \quad \dots (16)$$

5 その後、符号化器101では、上記最適化計算結果として得られる次数分布に基づいて、短縮行列 A^{\sim} ($s=5$, $R(1)$) の行および列を分割し、その結果を8000列×2000行の仮追加行列 $A_{R(1)}^{\sim}$ とする。さらに、分割後の仮追加行列 $A_{R(1)}^{\sim}$ の列の重みが昇順になるように列を並べ替えて、並べ替え後の行列を正式な追加行列 $A_{R(1)}$ ($(n+t_1+t_2) \times t_2$ の行列)とする。第15図は、
10 追加行列 $A_{R(1)}$ の一具体例を示す図である。

最後に、符号化器101では、先に生成しておいた $(n+t_1) \times (k+t_1)$ のパリティ検査行列 $H_{R(2)}$ の右横に $t_2 \times (k+t_1)$ の0行列(2000列×3000行の0行列)を追加し、さらに、0行列を追加後の $(n+t_1+t_2) \times (k+t_1)$ の行列の下部に、上記で生成した $(n+t_1+t_2) \times t_2$ の追加行列 $A_{R(2)}$ を配置した、 $(n+t_1+t_2) \times (k+t_1+t_2)$ のパリティ検査行列 $H_{R(1)}$ (8000列×5000行の行列)を生成する。第16図は、パリティ検査行列 $H_{R(1)}$ の一具体例を示す図である。

このように、本実施の形態では、上記ステップS21～S26を実行することによって、確定的で特性が安定した「Irregular-LDPC符号」用の
20 検査行列 $H_{R(3)}$, $H_{R(2)}$, $H_{R(1)}$ を生成することができる。

なお、本実施の形態においては、基本となる符号(基本行列)にユークリッド幾何符号を用いることとしたが、これに限らず、「行と列の重みが一定」かつ「2部グラフ上のサイクル数が6以上」という条件を満たす行列であれば、ユークリッド幾何符号以外(Cayleyグラフによる基本行列やRamanujan
25 グラフによる基本行列等)の行列を用いることとしてもよい。

また、本実施の形態では、最終的に、符号化率 $R(1)$ に対応したパリティ検査行列 $H_{R(1)}$ を生成することとしたが、これに限らず、システムの要求条件(通信

環境等)によって、必要に応じた大きさの符号化率を設定可能とし、当該設定した符号化率に対応したパリティ検査行列を生成しておくこととしてもよい。また、本実施の形態では、3段構成のパリティ検査行列を想定したが、良好な特性が得られるのであれば、何段構成であってもかまわない。

5 また、本実施の形態では、初送時のLを $2 \sim \text{max} - 1$ としたが、 $L = \text{max}$ としてもよい。初送時のLが $L = \text{max}$ ($R(\text{max}) = 1$)の場合は、無符号化を意味するので、符号化器101による符号化処理は行われぬ。以下では、初送時のパリティ検査行列を $H_{R(L)}$ とし、再送時のパリティ検査行列を順に $H_{R(L-1)}$, $H_{R(L-2)}$, $H_{R(L-3)}$, $H_{R(L-4)}$, ...とした場合の処理について説明する。

10 上記のように、ステップS1の処理でパリティ検査行列 $H_{R(L)}$, $H_{R(L-1)}$, $H_{R(L-2)}$, ...を生成後、つぎに、符号化器101では、このパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ を用いて「 $H_{R(L)} \times G_{R(L)} = 0$ 」を満たす初送時の生成行列 $G_{R(L)}$ を求める(第1図、ステップS1)。ここで、初送時の生成行列 $G_{R(L)}$ の生成処理を詳細に説明する。

15 まず、符号化器101では、上記「 $H_{R(L)} \times G_{R(L)} = 0$ 」を満たす、すなわち、第17図に示す条件を満たす上記生成行列 $G_{R(L)}$ を生成するため、上記パリティ検査行列 $H_{R(L)}$ を第18図に示すような既約標準形の検査行列 $H_{R(L)\text{sys}} = [P_{(n-k) \times k} \mid I_k]$ に変換する。なお、上記パリティ検査行列 $H_{R(L)}$ は、フルランク(線形独立)なので、必ず既約標準形の検査行列 $H_{R(L)\text{sys}}$ を生成できる。ただし、Pは検査記号生成行列であり、Iは単位行列である。

20 つぎに、符号化器101では、第19図に示すように、上記検査記号生成行列 $P_{(n-k) \times k}$ と単位行列 I_{n-k} で構成された $(n-k) \times n$ の初送時の既約標準形の生成行列 $G_{R(L)}$ を生成する。

25 上記のように、ステップS1の処理によって、初送時のパリティ検査行列 $H_{R(L)}$ 、および初送時の生成行列 $G_{R(L)}$ を生成後、つぎに、符号化器101では、第17図に示すように、符号語 $C_{R(L)} = G_{R(L)} \times m$ を生成する(ステップS2)。なお、 $m = m_1, m_2, \dots, m_{n-k}$ である。そして、変調器102が、生成された符号語 $C_{R(L)}$ に対して、BPSK, QPSK, 多値QAMなどのデジタル変調を行い、送信する

(ステップS2)。

つぎに、受信側の通信装置では、復調器104が、通信路107を介して受け取った変調信号に対して、BPSK、QPSK、多値QAMなどのデジタル復調を行い、さらに、復号器105が、LDPC符号化された復調結果に対して、「
5 sum-productアルゴリズム」による繰り返し復号を実施する(ステップS11)。その結果、初送時のデータを正常に受信できた場合(ステップS12, Yes)、再送制御部106では、送信側の通信装置にACKを返信する(ステップS13)。そして、ACKを受け取った送信側の通信装置では(ステップS3, Yes)、再送用に保存しておいて初送データを削除する。

10 一方で上記ステップS12の判断処理によって、初送時のデータを正常に受信できなかった場合(ステップS12, No)、再送制御部106では、送信側の通信装置に対してNAKを返信し、同時に、初送時の受信データを保存する(ステップS14)し、その後、再送データの受信待ち状態に移行する(ステップS15)。

15 つぎに、NAKを受け取った送信側の通信装置では(ステップS3, No)、再送制御部103が、符号化器101に対して、Type-II型HARQを採用する場合の再送データとして、たとえば、追加パリティの生成を指示する。そして、符号化器101が、ステップS1にて生成した初送時の符号化率よりも低い符号化率 $R(L-1)$ の再送時のパリティ検査行列 $H_{R(L-1)}$ ($(n+t1) \times (k+t1)$ の行列)を用いて、「 $H_{R(L-1)} \times G_{R(L-1)} = 0$ 」を満たす再送時の生成行列 $G_{R(L-1)}$ ($(n-k) \times (n+t1)$ の行列)を求める(ステップS4)。ここで、再送時の生成行列 $G_{R(L-1)}$ の生成処理を詳細に説明する。

まず、符号化器101では、上記「 $H_{R(L-1)} \times G_{R(L-1)} = 0$ 」を満たす生成行列 $G_{R(L-1)}$ を生成するため、上記パリティ検査行列 $H_{R(L-1)}$ を第20図に示すような既約標準形の検査行列 $H_{R(L-1)sys} = [P_{(n-k) \times k} / P_{(n-k) \times t1} \mid I_{k+t1}]$ に変換する。なお、上記パリティ検査行列 $H_{R(L-1)}$ は、フルランク(線形独立)なので、必ず既約標準形の検査行列 $H_{R(L-1)sys}$ を生成できる。また、第20図に示す検査記号生成行列 $P_{(n-k) \times k}$ は、
25

第18図に示す検査記号生成行列 $P_{(n-k) \times k}$ と同一である。

つぎに、符号化器101では、第21図に示すように、上記検査記号生成行列 $P_{(n-k) \times (k+t)}$ と単位行列 I_{n-k} で構成された $(n-k) \times (n+t)$ の再送時の既約標準形の生成行列 $G_{R(L)}$ を生成する。

- 5 上記のようにステップS4の処理によって、再送時の既約標準形の生成行列 $G_{R(L)}$ を生成後、つぎに、符号化器101では、第22図の斜線部で示す追加パリティ p' ($p' = P_{(n-k) \times t} \times m$) を生成する (ステップS5)。なお、第22図は、再送時の符号語を示す図である。また、 $m = m_1, m_2, \dots, m_{n-k}$ である。そして、変調器102が、生成された追加パリティ p' に対して、BPSK, QPSK,
- 10 多値QAMなどのデジタル変調を行い、送信する (ステップS5)。

- つぎに、受信側の通信装置では、復調器104が、通信路107を介して受け取った変調信号に対して、前述同様、所定のデジタル復調を行い (ステップS15)、さらに、復号器105が、上記ステップS14の処理で予め保存しておいた初送時の受信データと復調後の追加パリティとを合成して「sum-product
- 15 uctアルゴリズム」による繰り返し復号を実施する (ステップS16)。その結果、初送時のデータを正常に受信できた場合 (ステップS17, Yes)、再送制御部106では、送信側の通信装置にACKを返信する (ステップS18)。そして、ACKを受け取った送信側の通信装置では (ステップS6, Yes)、再送用に保存しておいた送信データおよび追加パリティを削除する。

- 20 一方で上記ステップS17の判断処理によって、初送時のデータを正常に受信できなかった場合 (ステップS17, No)、再送制御部106では、送信側の通信装置に対してNAKを送信し、同時に、追加パリティを保存し (ステップS19)、その後、再々送データの受信待ち状態に移行する (ステップS15)。

- そして、NAKを受け取った送信側の通信装置では (ステップS6, No)、再送制御部103が、符号化器101に対してさらなる追加パリティの生成を指示し、ACKが返信されるまで (ステップS6, Yes)、符号化率を下げながら ($R(L-2), R(L-3), \dots$) ステップS4~S6の処理を繰り返し実
- 25

行する。一方、受信側の通信装置においては、初送データを正常に復号できるまで（ステップS17, Yes）、上記合成処理を繰り返しながらステップS15～S19の処理を繰り返し実行する。

このように、本実施の形態の再送制御方法においては、Type-II型HARQ採用時の誤り訂正符号として、たとえば、シャノン限界に極めて近い優れた特性をもつLDPC符号を適用し、再送時は、予め生成しておいた、初送時または前回の再送時の符号化率よりも低い符号化率に対応したパリティ検査行列から再送時の生成行列を生成し、その生成結果に基づいて追加パリティのみを送信することとした。これにより、符号化率が大きい場合であっても、従来のようにパリティビットを間引くことなく、常に最適なパリティを送信できるので、特性を安定させることができ、常に誤り訂正符号本来の性能を得ることができる。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる再送制御方法および通信装置は、低密度パリティ検査（LDPC：Low-Density Parity-Check）符号を採用した通信システムに有用であり、特に、Type-II型HARQ採用時の誤り訂正符号にLDPC符号を適用する通信システムに適している。

請求の範囲

1. 誤り訂正符号として低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check) 符号を採用し、初送時、所定の符号化率で符号化後の符号語を送信し、
5 再送時、追加のパリティを送信する送信側の通信装置の再送制御方法において、
特定の符号化率で最適化された初送時のパリティ検査行列、および前記符号化率を下げながら段階的に最適化された再送時のパリティ検査行列 (再送の回数は任意) を生成する検査行列生成ステップと、
前記初送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列 (検査記号生成行列と
10 単位行列で構成) に変換する初送時既約標準形検査行列生成ステップと、
前記検査記号生成行列を含む初送時の既約標準形の生成行列を生成する初送時既約標準形生成行列生成ステップと、
前記初送時の既約標準形の生成行列と固定長の情報 (m) とを用いて符号語を生成し、送信する符号語生成送信ステップと、
15 受信側の通信装置からNAKを受け取った場合に、前記検査行列生成ステップにて生成された、現在の符号化率よりも1段階下の符号化率に対応したパリティ検査行列 (前記再送時のパリティ検査行列の一つに相当) に基づいて追加パリティを生成し、送信する再送制御ステップと、
を含み、
20 以降、NAKを受け取った場合、ACKが返信されるまで、符号化率を1段階ずつ下げながら前記再送制御ステップを繰り返し実行することを特徴とする再送制御方法。

2. 前記検査行列生成ステップは、
25 情報長、初送時の符号化率および再送時の符号化率を段階的に決定する符号情報決定ステップと、
「行と列の重みが一定」かつ「2部グラフ上のサイクル数が6以上」を満たす

前記初送時および各再送時のパリティ検査行列のベースとなる行列を選択し、当該行列に基づいて、初送時の符号化率に対応した基本行列、および段階的に決定された各再送時の符号化率に対応した基本行列、を生成する基本行列生成ステップと、

- 5 前記情報長および前記初送時の符号化率に基づくガウス近似法の実行により、前記初送時の符号化率に対応したパリティ検査行列の行の重みと列の重みの次数配分を最適化し、さらに当該次数配分に基づいて、前記初送時の符号化率に対応した基本行列の行重みおよび/または列重みを分割することにより、前記初送時の符号化率に対応したパリティ検査行列を生成する初送時検査行列生成ステップ
- 10 と、

- 「前回のガウス近似法実行時に生成したパリティ検査行列（以下、前回のパリティ検査行列と呼ぶ）を含むこと」、「新たに生成するパリティ検査行列が線形独立であること」、「前回のパリティ検査行列の列数<新たに生成するパリティ検査行列の列数」、「前回のパリティ検査行列の行数<新たに生成するパリティ検査行列の行数」、「追加の列数=追加の行数」という拘束条件の下で、前回の
- 15 ガウス近似法実行時よりも一段階下の符号化率に基づいてガウス近似法を実行することにより、当該符号化率に対応したパリティ検査行列の行の重みと列の重みの次数配分を最適化し、さらに当該次数配分に基づいて、対応する基本行列の行重みおよび/または列重みを分割することにより、前記前回のパリティ検査行列
- 20 に付加するための追加行列を生成する追加行列生成ステップと、

前記前回のパリティ検査行列に対して新たに生成した追加行列を連結して再送時のパリティ検査行列を生成する再送時検査行列生成ステップと、

を含み、

- 前記初送時の符号化率を段階的に下げながら、前記追加行列生成ステップおよび前記再送時検査行列生成ステップを繰り返し実行することを特徴とする請求の
- 25 範囲第1項に記載の再送制御方法。

3. 前記符号情報決定ステップでは、
システムの要求条件に応じて、符号化率を段階的に決定することを特徴とする請求の範囲第2項に記載の再送制御方法。
- 5 4. 前記「行と列の重みが一定」かつ「2部グラフ上のサイクル数が6以上」を満たす行列として、ユークリッド幾何符号を用いることを特徴とする請求の範囲第2項に記載の再送制御方法。
- 10 5. 前記再送制御ステップは、
受信側の通信装置からNAKを受け取った場合に、現在の符号化率よりも1段階下の符号化率に対応した再送時のパリティ検査行列を抽出し、前記現在の符号化率に対応したパリティ検査行列を変換して得られる既約標準形の検査行列（検査記号生成行列（P）を含む）が一部となるように、前記抽出した再送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列（検査記号生成行列（ $P + P^{-1}$ ）を含む）
15 に変換する再送時既約標準形検査行列生成ステップと、
前記再送時既約標準形検査行列生成ステップにて生成された既約標準形の検査行列内の検査記号生成行列（ $P + P^{-1}$ ）を含む、再送時の既約標準形の生成行列を生成する再送時既約標準形生成行列生成ステップと、
前記行列（ P^{-1} ）と前記固定長の情報（m）とを用いて追加パリティ（= $P^{-1} \times m$ ）を生成し、送信する追加パリティ生成送信ステップと、
20 を含むことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の再送制御方法。
6. 誤り訂正符号として低密度パリティ検査（LDPC：Low-Density Parity-Check）符号を採用し、初送時、所定の符号化率で符号化後の符号語を送信し、
25 再送時、追加のパリティを送信する送信側の通信装置において、
受信側の通信装置からNAKを受け取った場合に、前記再送を制御する再送制御手段と、

特定の符号化率で最適化された初送時のパリティ検査行列、および前記符号化率を下げながら段階的に最適化された再送時のパリティ検査行列（再送の回数は任意）を生成し、つぎに、前記初送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列（検査記号生成行列と単位行列で構成）に変換し、つぎに、前記検査記号生成

5 行列を含む初送時の既約標準形の生成行列を生成し、最終的に、前記初送時の既約標準形の生成行列と固定長の情報（ m ）とを用いて符号語を生成する符号化手段と、

前記符号語に対して所定のデジタル変調を行い、送信する変調手段と、
を備え、

10 受信側の通信装置からNAKを受け取った場合に、前記符号化手段が、前記再送制御手段の制御により、現在の符号化率よりも1段階下の符号化率に対応したパリティ検査行列（前記再送時のパリティ検査行列の一つに相当）に基づいて追加パリティを生成し、

前記変調手段が、前記追加パリティに対して所定のデジタル変調を行い、送信

15 することを特徴とする通信装置。

7. 前記符号化手段は、

情報長、初送時の符号化率および再送時の符号化率を段階的に決定する処理と、

「行と列の重みが一定」かつ「2部グラフ上のサイクル数が6以上」を満たす

20 前記初送時および各再送時のパリティ検査行列のベースとなる行列を選択し、当該行列に基づいて、初送時の符号化率に対応した基本行列、および段階的に決定された各再送時の符号化率に対応した基本行列、を生成する処理と、

前記情報長および前記初送時の符号化率に基づくガウス近似法の実行により、前記初送時の符号化率に対応したパリティ検査行列の行の重みと列の重みの次数

25 配分を最適化し、さらに当該次数配分に基づいて、前記初送時の符号化率に対応した基本行列の行重みおよび／または列重みを分割することにより、前記初送時の符号化率に対応したパリティ検査行列を生成する処理と、

「前回のガウス近似法実行時に生成したパリティ検査行列（以下、前回のパリティ検査行列と呼ぶ）を含むこと」、「新たに生成するパリティ検査行列が線形独立であること」、「前回のパリティ検査行列の列数<新たに生成するパリティ検査行列の列数」、「前回のパリティ検査行列の行数<新たに生成するパリティ検査行列の行数」、「追加の列数=追加の行数」という拘束条件の下で、前回のガウス近似法実行時よりも一段階下の符号化率に基づいてガウス近似法を実行することにより、当該符号化率に対応したパリティ検査行列の行の重みと列の重みの次数配分を最適化し、さらに当該次数配分に基づいて、対応する基本行列の行重みおよび/または列重みを分割することにより、前記前回のパリティ検査行列に付加するための追加行列を生成する処理と、

前記前回のパリティ検査行列に対して新たに生成した追加行列を連結して再送時のパリティ検査行列を生成する処理と、

を実行することを特徴とする請求の範囲第6項に記載の通信装置。

8. 前記符号化手段は、

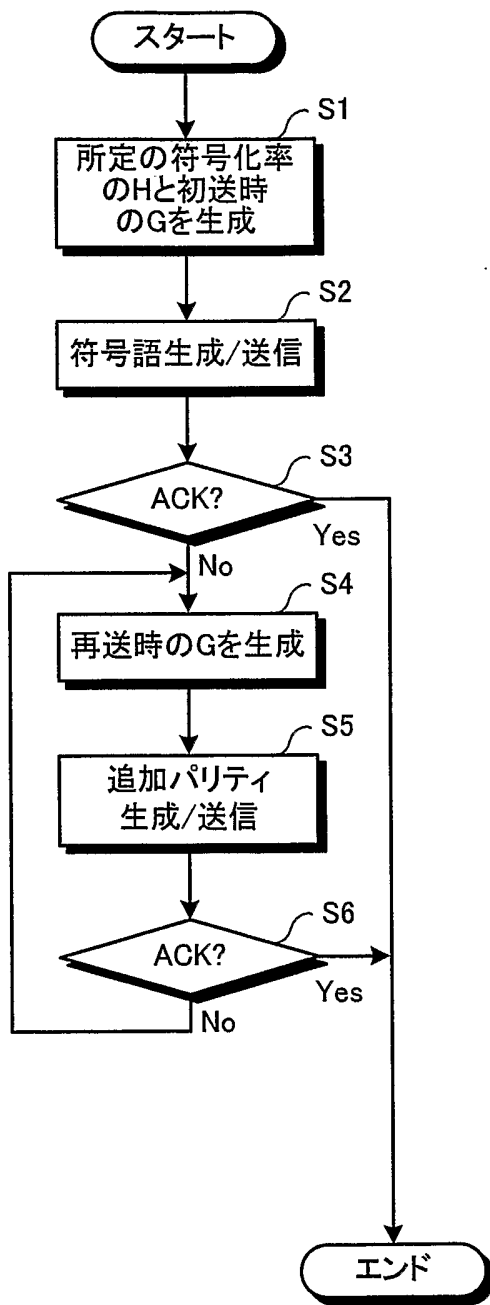
受信側の通信装置からNAKを受け取った場合に、現在の符号化率よりも一段階下の符号化率に対応した再送時のパリティ検査行列を抽出し、前記現在の符号化率に対応したパリティ検査行列を変換して得られる既約標準形の検査行列（検査記号生成行列（P）を含む）が一部となるように、前記抽出した再送時のパリティ検査行列を既約標準形の検査行列（検査記号生成行列（ $P + P'$ ）を含む）に変換する処理と、

前記検査記号生成行列（ $P + P'$ ）を含む、再送時の既約標準形の生成行列を生成する処理と、

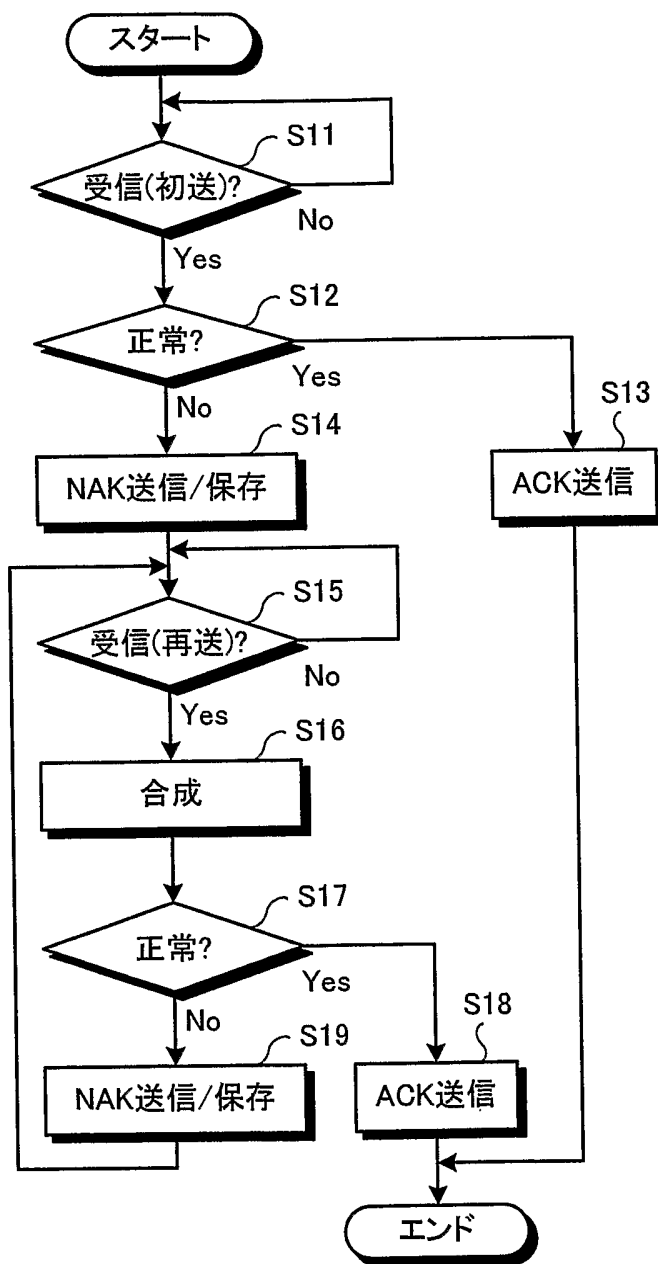
前記行列（ P' ）と前記固定長の情報（m）とを用いて追加パリティ（ $= P' \times m$ ）を生成する処理と、

を実行することを特徴とする請求の範囲第7項に記載の通信装置。

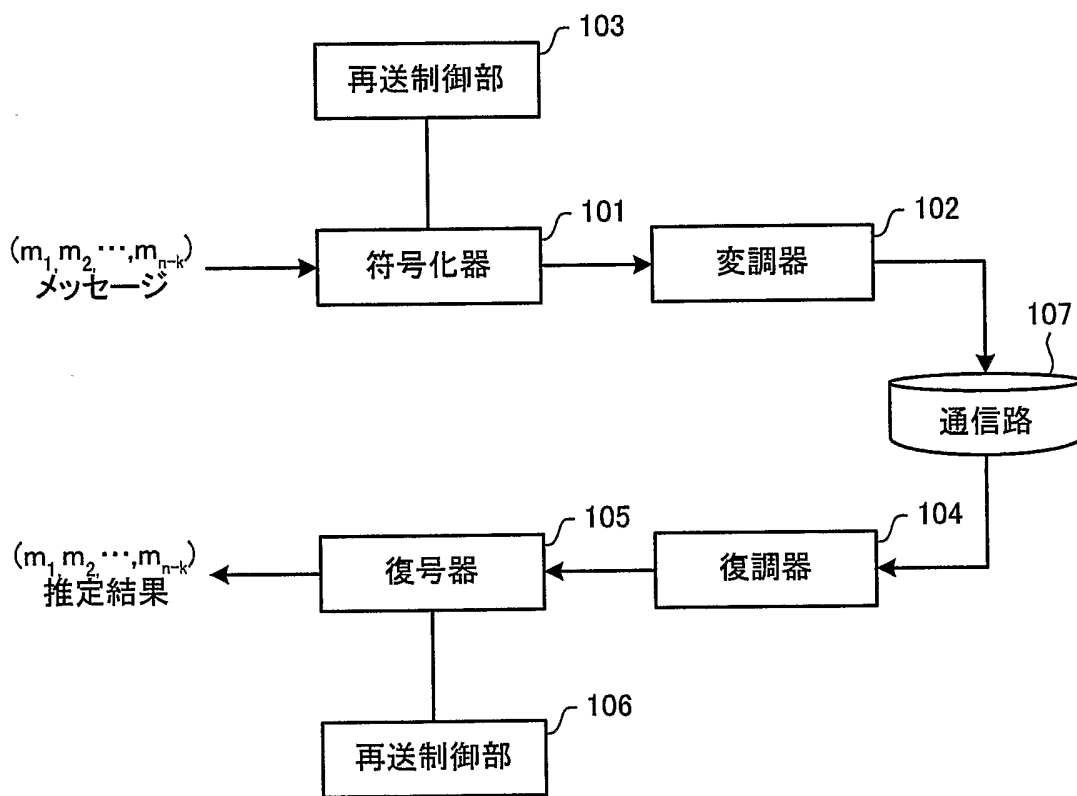
第1図



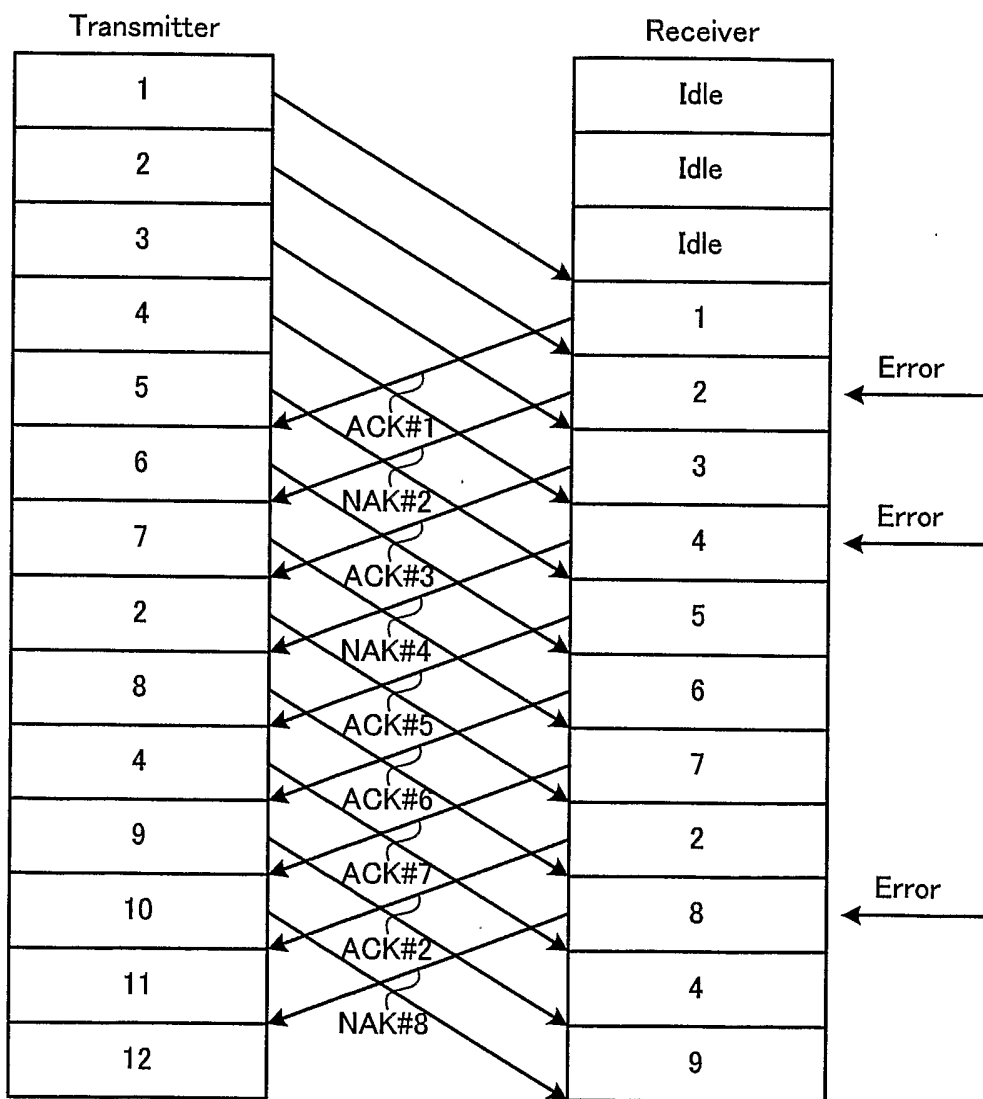
第2図



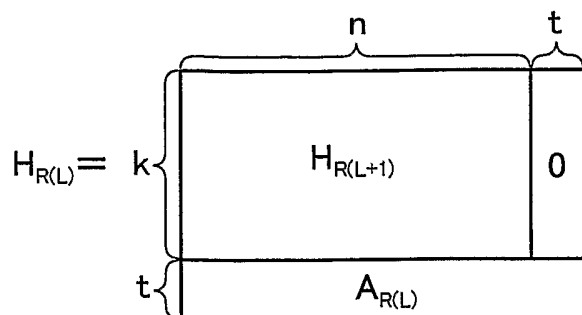
第3図



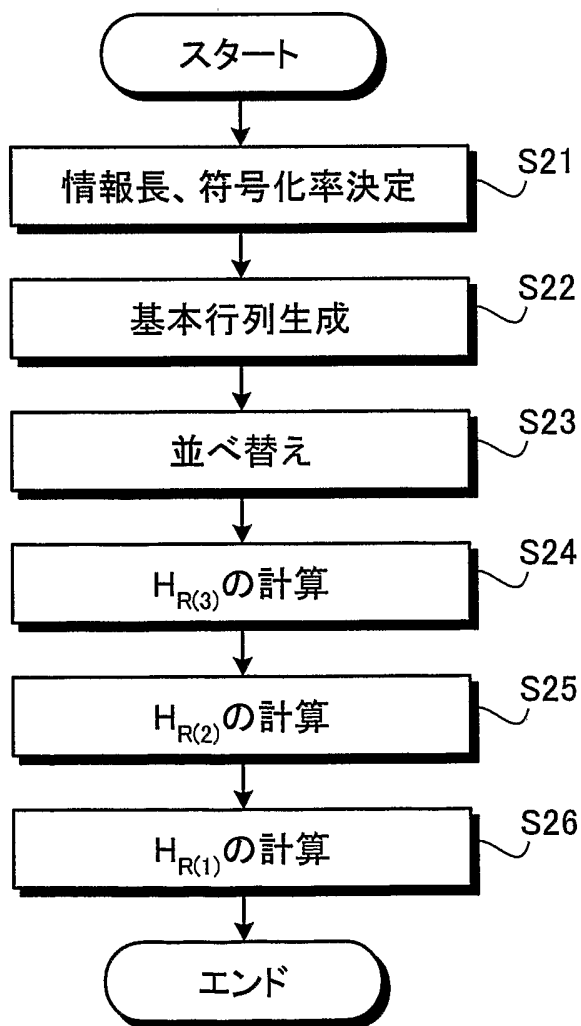
第4図



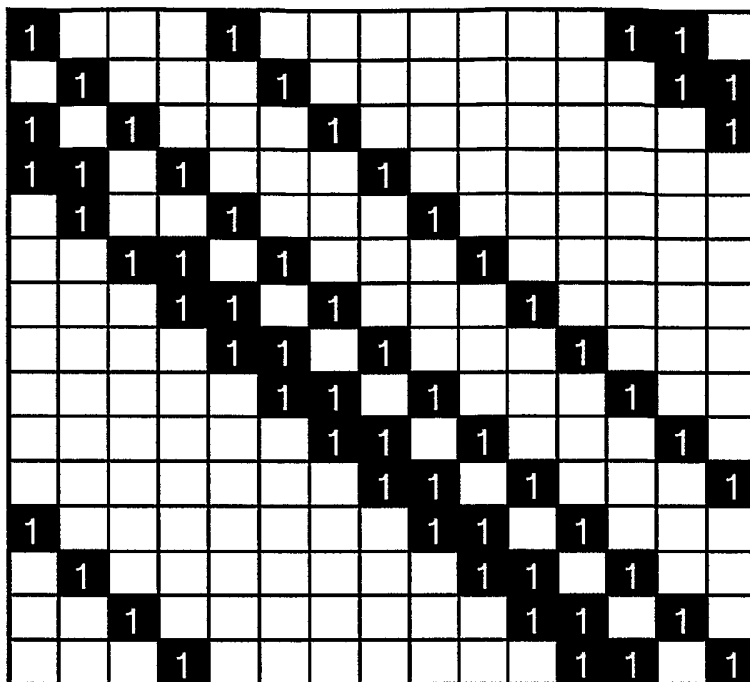
第5図



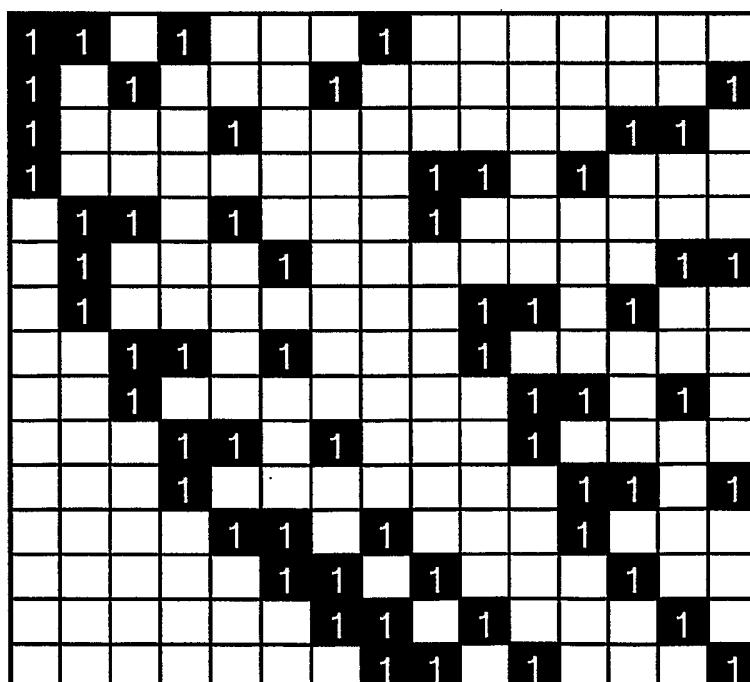
第6図



第7図



第8図



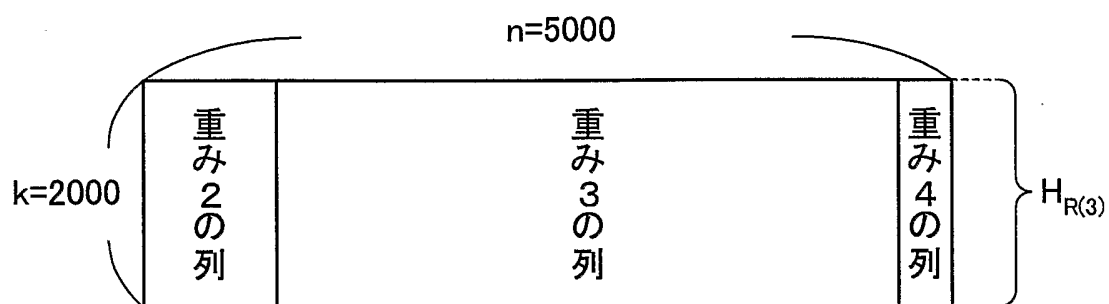
第9図

rate	rate=0.6
次数i	列次数比率 $\lambda_i(R(3))$
1	
2	0.01
3	0.970022733
4	0.019977267
次数i	行次数比率 $\rho_i(R(3))$
2	
7	1/2
8	1/2
ρ の平均	7.5

第10図

$H_{R(3)=0.6}$		
次数 <i>i</i>	列次数比率 $\lambda_i(R(3))$	列数 $n_{\nu}(x, R(3))(m'=1000)$
1		
2	0.0372	279
3	0.9372	4686
4	0.0256	96
次数 <i>i</i>	行次数比率 $\rho_i(R(3))$	行数 $n_c(x, R(3))(m'=1000)$
2		
3		
7	1/2	1000
8	1/2	1000
行次数の平均	7.5	

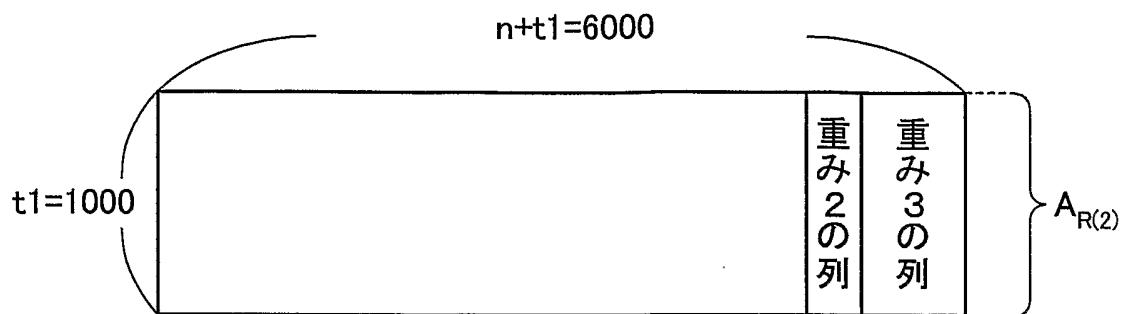
第11図



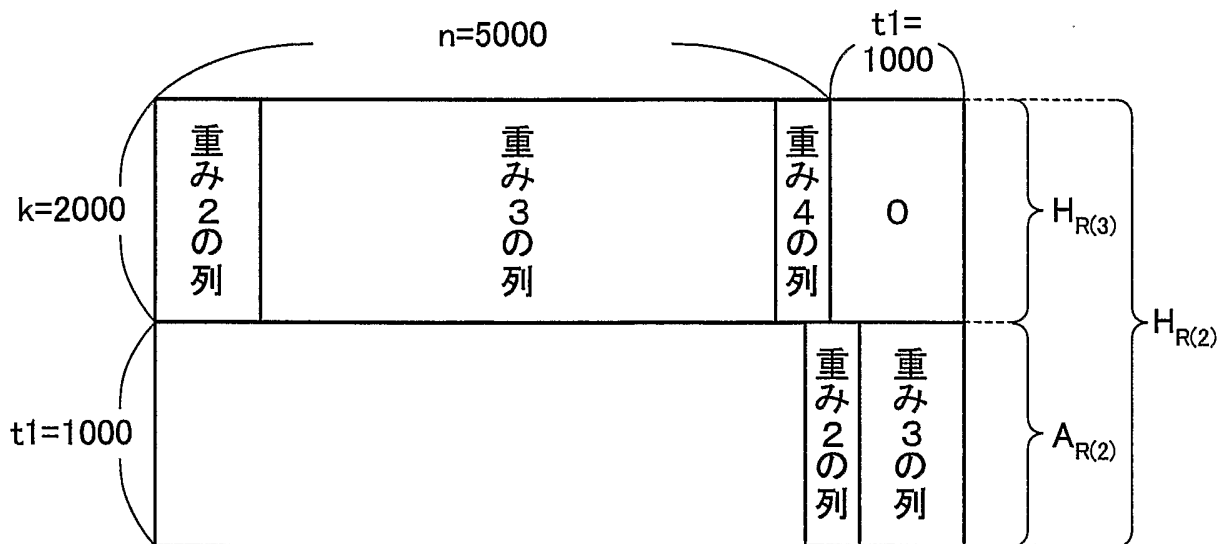
第12図

次数i	H _{R(3)=0.6}		H _{R(2)=0.5}		A _{R(2)=0.5}
	列次数比率 $\lambda_i(R(3))$	列数 $n_{v_i}(x,R(3))$ ($m^i=1000$)	列次数比率 $\lambda_i(R(2))$	列数 $n_{v_i}(x,R(2))$ ($m^i=1000$)	列数
1					
2	0.0372	279	0.0361	325	69 $\lambda_4(R(3))$ と同一の列: 23 0と同一の列: 46
3	0.9372	4686	0.94	5640	954 0と同一の列: 954
4	0.0256	96	0.0162	73	
5					
6			0.0077	23	
7					
次数i	行次数比率 $\rho_i(R(3))$	行数 $n_{c_i}(x,R(3))$ ($m^i=1000$)	行次数比率 $\rho_i(R(2))$	行数 $n_{c_i}(x,R(2))$ ($m^i=1000$)	
2					
3			1/3	1000	
7	1/2	1000	1/3	1000	
8	1/2	1000	1/3	1000	
行次数の平均	7.5		6		

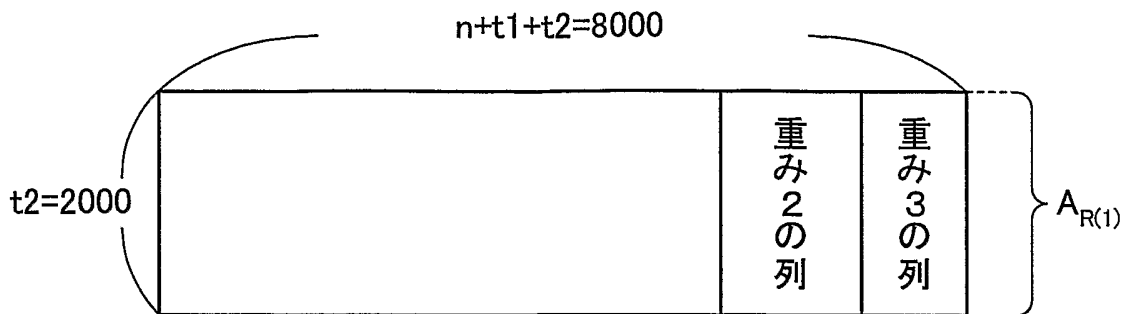
第13図



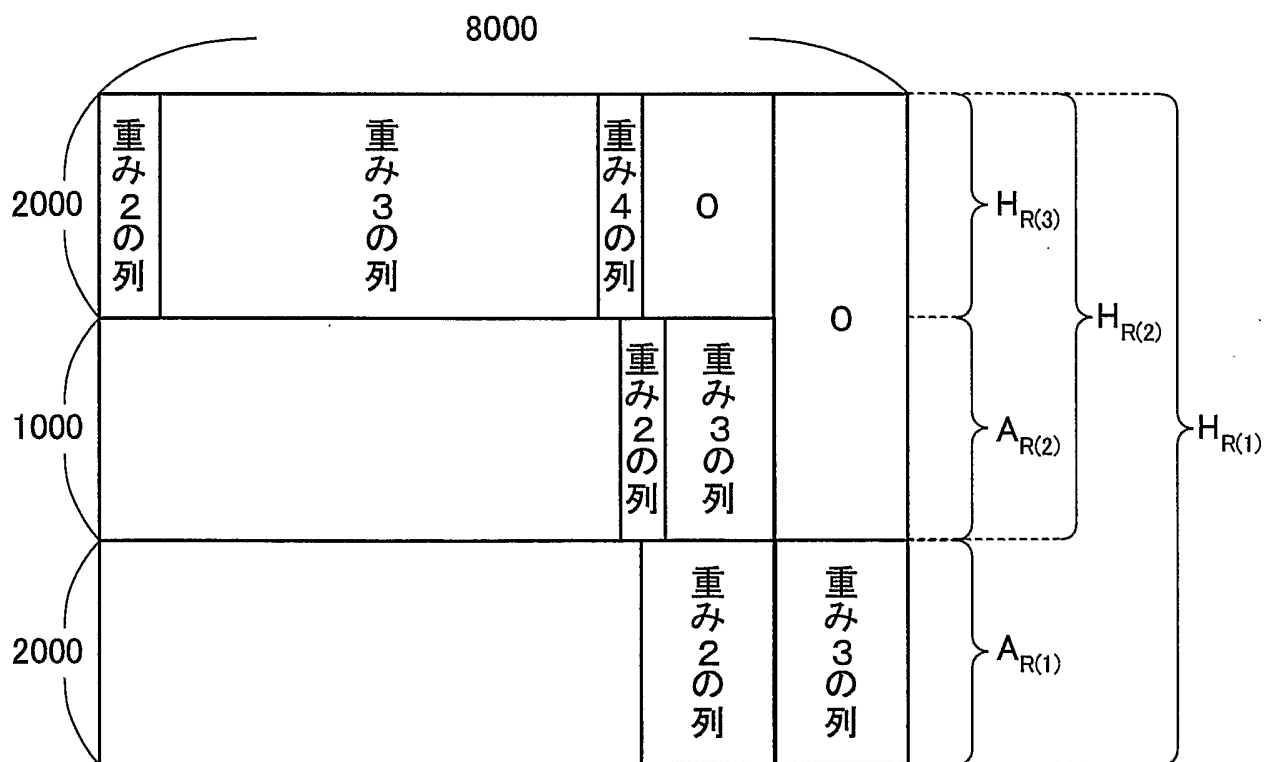
第14図



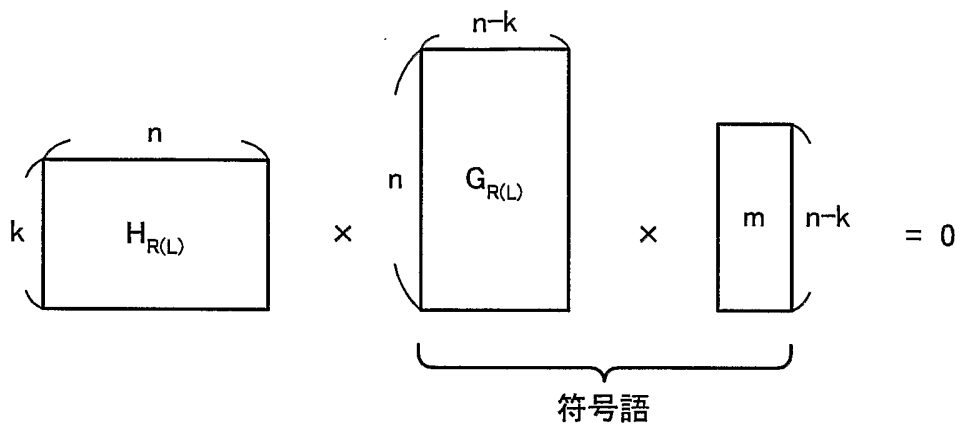
第15図



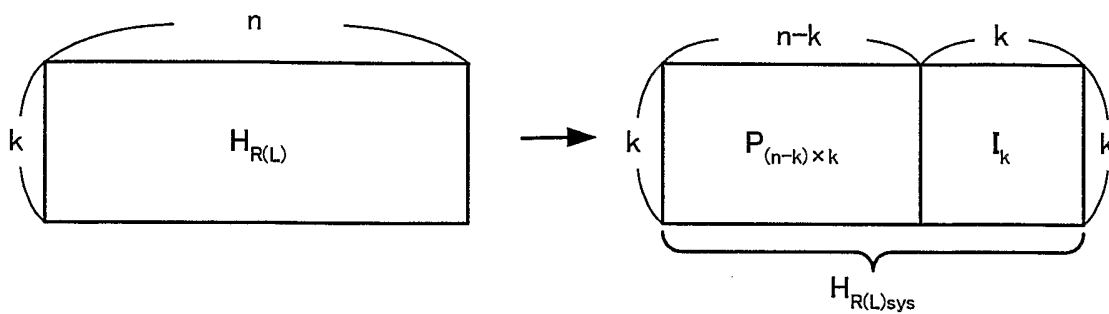
第16図



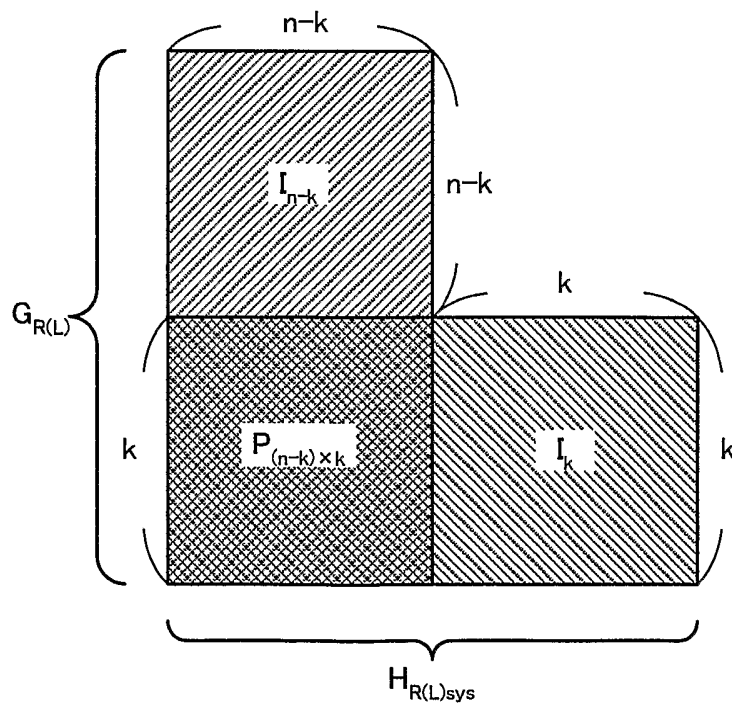
第17図



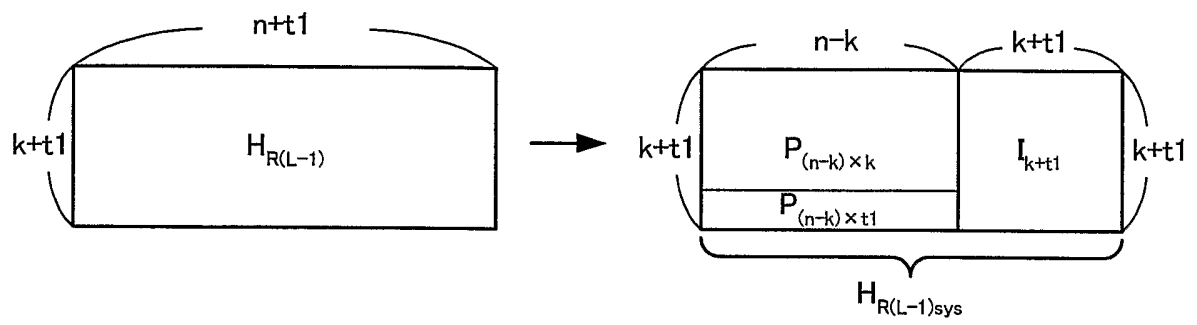
第18図



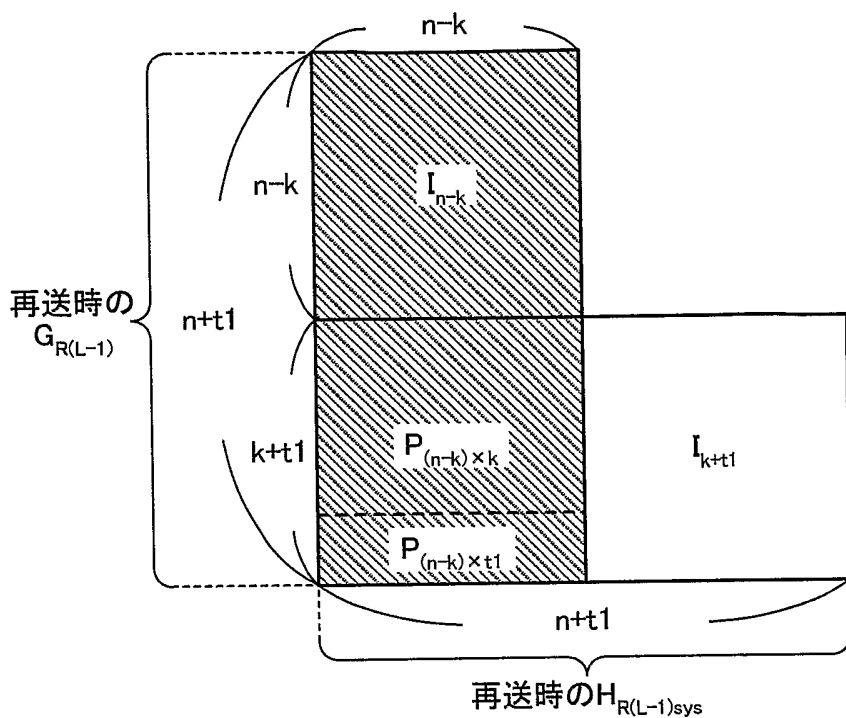
第19図



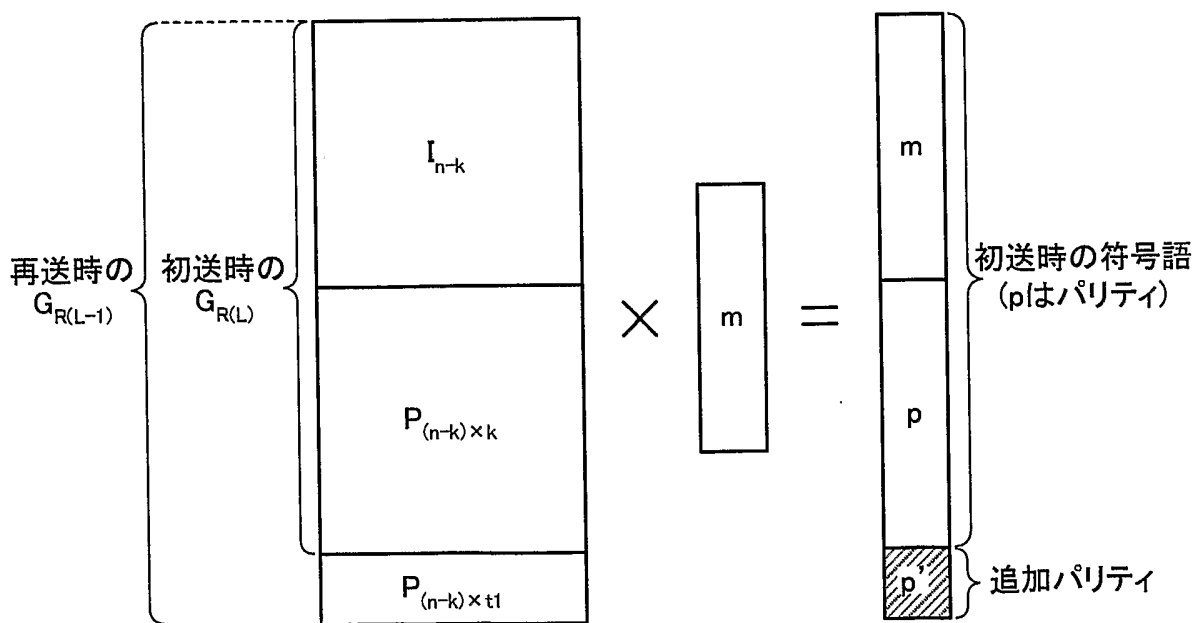
第20図



第21図



第22図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006137

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H03M13/47, 13/09, H04L1/00

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)

Int.Cl⁷ H03M13/00-13/53, H04L1/00-1/18

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	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

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

IEEE Xplore(LDPC, Low-density, Rate-compatible, TypeII, HARQ, Hybrid ARQ)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-112800 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 08 April, 2004 (08.04.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2003-198383 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 July, 2003 (11.07.03), Full text; all drawings & WO 03/056705 A1	1-8
A	M.R. Yazdani et al., 'On Construction of Rate- Compatible Low-Density Parity-Check Codes', Communication Letters, IEEE, Vol.8, Issue 3, March, 2004, pages 159 to 161	1-8

 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
13 July, 2004 (13.07.04)Date of mailing of the international search report
27 July, 2004 (27.07.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H03M13/47, 13/09, H04L1/00

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. Cl⁷ H03M13/00-13/53, H04L1/00-1/18

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 1971-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004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 Explore (LDPC, Low-density, Rate-compatible, TypeII, HARQ, Hybrid ARQ)

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 請求の範囲の番号
A	JP 2004-112800 A (三星電子株式会社) 2004.04.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2003-198383 A (三菱電機株式会社) 2003.07.11, 全文, 全図 & WO 03/056705 A1	1-8
A	M.R.Yazdani et al, 'On Construction of Rate-Compatible Low-Density Parity-Check Codes', Communications Letters, IEEE, Volume 8, Issue 3, March 2004, p.159-161	1-8

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 13.07.2004

国際調査報告の発送日 27.7.2004

国際調査機関の名称及びあて先
 日本国特許庁 (ISA/JP)
 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) 5K 8529
 田中 庸介
 電話番号 03-3581-1101 内線 3555