

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-5285

(P2017-5285A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.  
H03M 13/19 (2006.01)

F I  
H03M 13/19

テーマコード (参考)  
5J065

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2013-231076 (P2013-231076)  
(22) 出願日 平成25年11月7日 (2013.11.7)

(71) 出願人 00006013  
三菱電機株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
(74) 代理人 100123434  
弁理士 田澤 英昭  
(74) 代理人 100101133  
弁理士 濱田 初音  
(74) 代理人 100173934  
弁理士 久米 輝代  
(74) 代理人 100156351  
弁理士 河村 秀央  
(72) 発明者 松本 涉  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
菱電機株式会社内  
Fターム(参考) 5J065 AD05 AD07

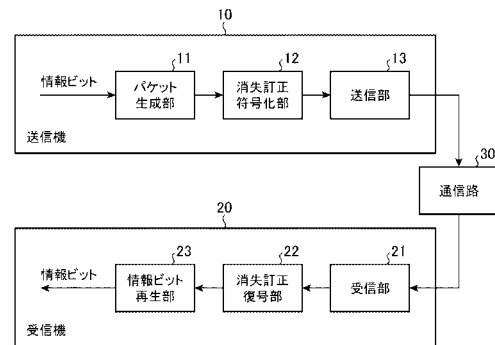
(54) 【発明の名称】 復号装置

(57) 【要約】

【課題】復号計算における計算量を削減する事のできる復号装置を得る。

【解決手段】伝送路上で発生する伝送誤りを訂正するための誤り訂正符号の復号を行う復号装置において、検査行列に代えて生成行列を用いて復号計算を行う消失訂正復号部22を備える。消失訂正復号部22は、受信成功したパケットに対応する生成行列の列または行を並べ替えて、受信成功したパケットに対応する部分行列を構成し、消失したパケットに対応する行列に関しては削除した上で復号計算を行う。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

伝送路上で発生する伝送誤りを訂正するための誤り訂正符号の復号を行う復号装置において、

検査行列に代えて生成行列を用いて復号計算を行う消失訂正復号部を備えた事の特徴とする復号装置。

## 【請求項 2】

前記消失訂正復号部は、受信成功したパケットと当該パケットに対応する検査行列の部分行列のみを用いて復号計算を行う事の特徴とする請求項 1 記載の復号装置。

## 【請求項 3】

前記消失訂正復号部は、受信成功したパケットに対応する生成行列の列または行を並べ替えて、前記受信成功したパケットに対応する部分行列を構成し、消失したパケットに対応する行列に関しては削除した上で復号計算を行う事の特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の復号装置。

## 【請求項 4】

前記消失訂正復号部は、情報パケット部分が対角行列で構成される既約標準形の生成行列を用い、受信成功したパケットに対応する生成行列の列または行を並べ替えずに、消失パケットに対応する列要素または行要素を 0 にした状態でガウス消去法を行う事により、前記受信成功したパケットに関する計算は行わず、前記消失したパケットを復号するための計算のみを行う事の特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の復号装置。

## 【請求項 5】

前記消失訂正復号部は、復号に必要な受信成功パケット数を情報パケット数以上で上限値を設け、当該上限値を超える受信成功パケットを復号計算の対象外とする事の特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちのいずれか 1 項記載の復号装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、伝送路上で発生する伝送誤りを訂正するための誤り訂正符号の符号化を行う送信機に含まれる符号化装置から符号化されたパケットが伝送された前提で、受信機側で受信したパケットを復号する復号装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

一般的な消失訂正の符号化/復号は、例えば消失訂正符号を用いて送信機側でパケット単位で符号化を行い、受信機側は、通信路により部分的に消失したパケット列を受信し、受信成功したパケットに基づいてガウス消去法等により消失したパケットを復号する。なお、消失したパケットとは受信に失敗したパケットの事であり、受信に失敗したパケットはそのパケットを構成するすべてのビットに関する情報が得られないため、消失したと表現する。このような従来復号法としては例えば非特許文献 1 に示されているようなものがあつた。なお、明細書中、情報ビットの固まりをパケットと表現しているが、ブロックという表現でも構わず、同じ効果を奏する。ここでは便宜上パケットという表現に限定して説明する。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0003】

【非特許文献 1】室津、和田山、山北、“BP とガウス消去法を組み合わせた LDPC 符号の消失誤り訂正法”、S I T A 2 0 0 4、27(1)、271-274、2004-12-14

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

10

20

30

40

50

しかしながら、復号法は一般に検査行列の“1”の数に相当する計算量が必要となり行数×列数の大きさに依存したメモリ量と計算量が必要となる。

従来手順では、受信成功パケットをすべて保存し、検査行列からガウス消去法の結果に従って計算する必要がある。この場合、検査行列と受信成功パケットの積が全て0になる事を確認する必要があり、受信時のパケット誤り率に係わらず、少なくともほぼ“1”の数に比例する計算量以上の計算が必要になり、計算量が多いという問題があった。

【0005】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、復号計算における計算量を削減する事のできる復号装置を得る事を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明に係る復号装置は、伝送路上で発生する伝送誤りを訂正するための誤り訂正符号の復号を行う復号装置において、検査行列に代えて生成行列を用いて復号計算を行う消失訂正復号部を備えたものである。

【発明の効果】

【0007】

この発明の復号装置は、誤り訂正符号の復号を行う際、生成行列を用いて復号計算を行うようにしたので、復号計算の計算量を削減する事ができる。その結果、処理能力の低いCPUでも動作できるため、より低価格の通信システムに消失訂正符号化復号機能を搭載できる効果がある。または、処理能力のCPUの場合は、より高速な処理を実現できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】この発明の実施の形態1による復号装置を示す構成図である。

【図2】この発明の実施の形態3による復号装置の情報パケット数に対応した の値を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

実施の形態1 .

図1は、この発明の実施の形態1による復号装置を適用した通信システムを示す構成図である。

図示の通信システムは、送信機10と受信機20とを備える。送信機10は符号化装置であり、パケット生成部11、消失訂正符号化部12、送信部13を備える。受信機20は復号装置であり、受信部21、消失訂正復号部22、情報ビット再生部23を備える。

【0010】

送信機10において、パケット生成部11は、検査行列を用いて、情報ビットからパケットを生成する処理部である。消失訂正符号化部12は、パケットを消失誤り訂正符号化する処理部である。送信部13は、符号化されたパケットを通信路30を経由して受信機20へ送信するための処理部である。

【0011】

受信機20において、受信部21は、通信路30を経由して送信機10から送信されたパケットを受信する。消失訂正復号部22は、これらパケットに対して、誤り検出及び消失訂正を行う処理部である。情報ビット再生部23は、復号化したパケットを結合して、情報ビットを生成する処理部である。

【0012】

実施の形態1の動作説明に先立ち、先ず、消失訂正符号の符号化方法及び復号方法について説明する。説明を簡略化するため、以降各パケットは1ビットの情報で構成されているものとする。実際には以降で示す処理は各パケットに複数ビット含まれており、同じ処理が並列して実行される。

符号化パケットベクトル  $v = (u | p)$  とし  $u = (u_1 \ u_2 \dots \ u_k)$  を  $k$  個のパケット

10

20

30

40

50

からなる情報パケットベクトル、 $p = (p_1 \ p_2 \dots \ p_m)$  を  $m$  個のパケットからなるパリ  
ティパケットベクトルとする。

【 0 0 1 3 】

例えば  $k = 7$  個のパケットからなる情報パケットベクトル  $u$  から  $n = k + m = 15$  個 ( $n$  は符号化パケット数) のパケットからなる符号化パケットベクトル  $v$  を生成する為の  $k \times n$  の生成行列を

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & & 1 & & 1 & & & 1 & 1 & 1 \\ & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & \end{bmatrix} \end{matrix} \dots (1)$$

10

とする。この  $G$  を用いて  $v = u \cdot G$  により符号化パケットベクトル  $v = (u \mid p)$  を生成する。以後、理解を助けるために生成行列の上に符号化パケットのベクトルを記載する表現を適宜使用する。なお、空白部分は要素 0 を意味し、以降同様な表現を使うものとする。

また、以降 0 と 1 で表現される  $GF(2)$  上で計算するものとする。

【 0 0 1 4 】

20

一例として  $u = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$  とすると下式により

$$v = u \cdot G = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0) \cdot \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & & 1 & & 1 & & & 1 & 1 & 1 \\ & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & \end{bmatrix} \end{matrix} \\ = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0)$$

30

となる。

【 0 0 1 5 】

一方、復号側では検査行列  $H$  を用いガウス消去法等で復号する。

例えば  $v$  に対応する誤り訂正符号の  $m \times n$  のパリティ検査行列を

$$H = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & 1 & & & & & & & & \\ & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & & & & & & & \\ & & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & & & & & & \\ & & & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & & & & \\ & & & & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & & & \\ & & & & & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & 1 & & 1 & & & & 1 & \\ & & & & & & & 1 & 1 & & & & & & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{7} \\ \textcircled{8} \end{matrix} \dots (2)$$

40

とする。丸付き数字は行番号を示す。この  $H$  は  $H \cdot v^T = 0$  を満たす。以後、理解を助けるために検査行列の上に符号パケットのベクトルを記載する表現を適宜使用する。

【 0 0 1 6 】

今、受信機 20 において受信パケット成功が符号化パケット 15 パケット中 9 パケットの、 $u_1, u_3, u_4, u_6, u_7, p_2, p_4, p_5, p_7$  とすると、ガウス消去法のステップとしてまず受信成功パケットと受信失敗のパケットの入れ替えを行う。

50

下記の例では受信成功したパケットに対応した列を左側に、また、受信失敗つまり消失したパケットに対応した列を右側に集めるように列置換を行う。列置換を行った検査行列を  $\bar{\mathbf{H}}$  とする。なお、四角枠×印の範囲が消失したパケットに対応した列を示している。

$$\bar{\mathbf{H}} = \begin{matrix} & u_1 & u_3 & u_4 & u_6 & u_7 & p_2 & p_4 & p_5 & p_7 & \boxed{u_2} & \boxed{u_5} & \boxed{p_1} & \boxed{p_3} & \boxed{p_6} & \boxed{p_8} \\ \left[ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & & & 1 & & & & & & & 1 & & 1 & & & \\ & 1 & & & & & 1 & & & & 1 & 1 & & & & \\ & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & 1 & & \\ & & & 1 & & 1 & & 1 & & & & & 1 & & & \\ & & & & 1 & & & & 1 & & & 1 & 1 & & & \\ & & & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & 1 & \\ & & & & & & 1 & & & & 1 & & 1 & & & \\ & & & & & & & 1 & 1 & & & & & 1 & & 1 \end{array} \right. & \begin{array}{l} \textcircled{1} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{5} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{7} \\ \textcircled{8} \end{array} \end{matrix}$$

10

【 0 0 1 7 】

以下の様に行単位に列方向のガウス消去法を行い、消失したパケットに対応した部分行列に対し、対角行列を構成する。 $\bar{\mathbf{H}}$  に対応するガウス消去法はほぼ全行に渡って計算を要する為、一般に計算量は大きい。この対角行列が構成できない場合に消失訂正復号は失敗する。尚、対角行列以外でも下三角行列、上三角行列でもよく、いずれでも復号可能であるが、本実施例では対角行列で説明する。

20

部分行列を対角行列に変換した検査行列を  $\hat{\mathbf{H}}$  とする。以下の例では行同士の足し算を行っている為、1の総数が増えている。以下の例の行列の右横には対応する行に対し  $\bar{\mathbf{H}}$  の元の行毎の加算内容を記載している。例えば1行目の①+④+⑤は  $\bar{\mathbf{H}}$  の1行目と4行目と5行目を加算 (GF (2) 上の場合 XOR 計算) した結果を  $\hat{\mathbf{H}}$  の1行目に配置しているという意味である。

30

$$\hat{\mathbf{H}} = \begin{matrix} & u_1 & u_3 & u_4 & u_6 & u_7 & p_2 & p_4 & p_5 & p_7 & \boxed{u_2} & \boxed{u_5} & \boxed{p_1} & \boxed{p_3} & \boxed{p_6} & \boxed{p_8} \\ \left[ \begin{array}{cccccccccccc} 1 & & & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & 1 & & & & & \\ & & 1 & & 1 & & 1 & & & & 1 & & & & & \\ & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & & 1 & & & \\ 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & & 1 & & & \\ & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & 1 & \\ & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & & 1 & & & 1 & & & & & & & \\ & 1 & & & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & \end{array} \right. & \begin{array}{l} \textcircled{1} + \textcircled{4} + \textcircled{5} \\ \textcircled{4} \\ \textcircled{4} + \textcircled{5} \\ \textcircled{3} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{8} \\ \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{5} \\ \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{7} \end{array} \end{matrix}$$

【 0 0 1 8 】

尚、検査行列  $\mathbf{H}$  をガウス消去法で変換した検査行列  $\hat{\mathbf{H}}$  も  $\hat{\mathbf{H}} \cdot \mathbf{v}^T = \mathbf{0}$  を満たすため、この行列  $\hat{\mathbf{H}}$  を用いて消失した  $u_2, u_5, p_1, p_3, p_4, p_8$  も導出できる。例えば1行目は  $u_1 + u_6 + u_7 + p_4 + p_5 + u_2 \pmod{2} = 0$  (以降全ての計算を mod2 にて実施する) であり、 $u_1, u_6, u_7, p_4, p_5$  は受信成功しており既知である為  $u_2$  を求められる。同様に2行目から6行目までを使って消失しているパケットは全て計算により求められる。

40

この計算法の場合  $\hat{\mathbf{H}} \cdot \mathbf{v}^T = \mathbf{0}$  が計算の基礎になっており、検査行列と符号化パケットの内積が  $\mathbf{0}$  である事を確認する為、検査行列の全体と受信成功した符号化パケットのほぼ全てが計算対象になる。また、 $\mathbf{H}$  から  $\hat{\mathbf{H}}$  への変換時に 1 の数が増える為に計算量も増加してしまう問題がある。

【 0 0 1 9 】

この問題を解決する為に従来のような検査行列ではなく、生成行列を用いて復号計算し、(i) 受信成功したパケットのみを用いて復号する手法、(ii) 情報パケットの内、消失したパケットに関連する受信成功パケットのみを用いて復号する手法、(iii) 受信成功したパケット数が情報パケット数  $\times$  を上限としそれ以上は復号計算対象としない手法、を提案する。

10

【 0 0 2 0 】

まずは (i) 受信成功したパケットのみを用いて復号する手法を説明する。

[ 本発明の復号法 1 ]

本発明では復号の為に (2) 式に示す検査行列ではなく (1) 式に示す生成行列を用いる。上記にて説明したように符号化パケット  $v$  は  $v = u \cdot G$  により生成される。さらに詳細に説明すると、パリティパケット  $p_1, p_2, \dots, p_m$  は、情報パケット  $u_1, u_2, \dots, u_k$  の一部を加算して生成されている。分かり易く説明する為に式 (1) の各行に対応する情報パケットを以下の様に記述し式 (3) とする。

20

例えば  $p_1 = u_1 + u_2 + u_4$  であり、他のパリティパケットも同様に計算する。つまり、パリティパケットは情報パケットから生成できるものである為、この特性を復号に適用する。

$$\mathbf{G} = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & \end{bmatrix} \end{matrix} \cdot \dots \quad (3)$$

30

今、受信機 2 0 において受信成功パケットが符号化パケット 1 5 パケット中 9 パケットの  $u_1, u_3, u_4, u_6, u_7, p_2, p_4, p_5, p_7$  とし、消失したパケットを  $u_2, u_5, p_1, p_3, p_4, p_8$  とする。

【 0 0 2 1 】

処理の手順を説明する為に、四角枠  $\times$  印を消失したパケットとして (4) 式の様に生成行列  $G$  を示す。

$$\mathbf{G} = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 \times & u_2 \times & u_3 & u_4 \times & u_5 & u_6 & u_7 \times & p_1 \times & p_2 \times & p_3 \times & p_4 \times & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \times \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & & 1 & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & 1 & & & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & \end{bmatrix} \end{matrix} \cdot \dots \quad (4)$$

40

ガウス消去法のステップとして、まず受信成功パケットと消失パケットに対応する列の入れ替えを行う。

下記の例では受信成功したパケットに対応した列を左側に、また、消失したパケットに対応した列を右側に集めるように列置換を行う。列置換を行った生成行列を  $\bar{\mathbf{G}}$  とする。なお、四角枠  $\times$  印の範囲が消失したパケットに対応した列を示している。

50

尚実装においては受信成功したパケットを順に左から並べていきそれに対応する  $\mathbf{G}$  の列を左側から揃えていく。

$$\overline{\mathbf{G}} = \begin{matrix} & u_1 & u_3 & u_4 & u_6 & u_7 & p_2 & p_5 & p_6 & p_7 & u_2 & u_5 & p_1 & p_3 & p_4 & p_7 \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & & & & & & & \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & & & 1 \\ & & 1 & & & & 1 & & 1 & & & & & & & 1 & & 1 \\ & & & 1 & & & & 1 & & & & & & & & 1 & 1 & 1 \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & 1 & & \\ & & & & & 1 & & & & 1 & & & & & & & 1 & 1 \\ & & & & & & 1 & & & & & & & & & & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

10

【 0 0 2 2 2 】

列置換を行った生成行列  $\overline{\mathbf{G}}$  による復号の場合、消失パケットに対応する列の計算は無視する事が出来る。従って、消失したパケットに対応する列を削除した生成行列を  $\tilde{\mathbf{G}}$  とすると以下の様になる。

$$\tilde{\mathbf{G}} = \begin{matrix} & u_1 & u_3 & u_4 & u_6 & u_7 & p_2 & p_5 & p_6 & p_7 \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & 1 & & 1 \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & 1 & & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & 1 & & & \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & & \\ & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 \\ & & & & & & 1 & & & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

20

この  $\tilde{\mathbf{G}}$  に対し列単位に行方向のガウス消去法を行う。手順としては左端から対角に計算を行い、 $i$  列目の  $i$  行目に 1 があった場合、 $i$  列目は固定して他の列で  $i$  行目に 1 が存在する列に対し  $i$  列を列単位で加算する。同時に列に対応する受信パケットの値も加算し新たに列に対応する値として保存する。例えば以下の様になる。

30

$$\tilde{\mathbf{G}} = \begin{matrix} & u_1 & u_3 & u_4 & u_6 & u_7 & p_2 & p_6 \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & \\ & & 1 & & & & 1 & & 1 & & & & & & & & & \\ & & & 1 & & & & 1 & & & & & & & & & & \\ & & & & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & \\ & & & & & 1 & & & & 1 & 1 & 1 & & & & & & \\ & & & & & & 1 & & & & & 1 & 1 & & & & & \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$\downarrow$  1列目+7列目= $u_1+p_2$   
 $\downarrow$  1列目+9列目= $u_1+p_7$

40

【 0 0 2 3 】

一方、 $i$  列目の  $i$  行目に 1 が無かった場合、 $i$  行目に 1 がある列と  $i$  列を入れ替える。その後入れ替えた  $i$  列目は固定して、他の列で  $i$  行目に 1 が存在する列に対し、入れ替えた  $i$  列を列単位で加算する。同時に列に対応する受信パケットの値も加算し新たに列に対応する値として保存する。例えば以下の様になる。

50



R = 10<sup>-2</sup>程度を想定する事が多く、情報パケットを100パケットとした場合でも、平均1パケット程度しか消失しないため計算量は大幅に削減する事ができる。

【0026】

以上説明したように、実施の形態1の復号装置によれば、伝送路上で発生する伝送誤りを訂正するための誤り訂正符号の復号を行う復号装置において、検査行列に代えて生成行列を用いて復号する消失訂正復号部を備えたので、復号計算の計算量を削減する事ができる。

【0027】

また、実施の形態1の復号装置によれば、消失訂正復号部は、受信成功したパケットとこのパケットに対応する検査行列の部分行列のみを用いて復号計算を行うようにしたので、復号計算の計算量を削減する事ができる。

10

【0028】

また、実施の形態1の復号装置によれば、消失訂正復号部は、受信成功したパケットに対応する生成行列の列または行を並べ替えて、受信成功したパケットに対応する部分行列を構成し、消失したパケットに対応する行列に関しては削除した上で復号計算を行うようにしたので、復号計算の計算量を削減する事ができる。

【0029】

実施の形態2 .

実施の形態1では、消失パケットに対応する列は $\overline{\mathbf{G}}$ から削除されるためガウス消去法に係る計算量は $\overline{\mathbf{H}}$ を用いた場合より削減されるが、上記の様な手順で計算されるため、 $\widetilde{\mathbf{G}}$ に対応するほぼすべての列に渡ってガウス消去法の為の計算を行う必要があり、この方法でも計算量は依然大きい。

20

そこで、更に計算量を削減する為に(ii)情報パケットの内、消失したパケットに関連する受信成功パケットのみを用いて復号する手法を実施の形態2として説明する。

【0030】

[本発明の復号法2]

上記の本発明の復号法1では受信成功したパケットを順に左から並べていき、それに対応する $\mathbf{G}$ の列を左側から揃えていく事により $\widetilde{\mathbf{G}}$ を生成したが、この場合対角行列を作る為にほぼすべての列をガウス消去法対象とする必要がある。

30

これに対し、本発明の復号法2では、復号法1と同様に生成行列 $\mathbf{G}$ を用いて、受信成功パケットと消失パケットを式(4)の様に対応付ける。

本発明の復号法1との違いはこの後受信成功パケットと消失パケットに対応する列の入れ替えを行わない事である。また、本発明の復号法2においては、情報パケットに対応する部分行列が対角行列になる既約標準形の生成行列を用いる必要がある。本発明の復号法2では(4)式から消失パケットに対応する列の要素を全て0にし、下記の行列 $\mathbf{G}'$ を生成する。

$$\mathbf{G}' = \begin{matrix} & \begin{matrix} \boxed{u_2} & u_3 & u_4 & \boxed{u_5} & u_6 & u_7 & \boxed{p_1} & \boxed{p_3} & \boxed{p_4} & p_5 & p_6 & p_7 & \boxed{p_7} \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & 1 & & 1 & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & 1 & & & & 1 & & & & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & & & 1 & & & \\ & & & & & & 1 & & & 1 & 1 & & \\ & & & & & 1 & & & & 1 & 1 & 1 & \\ & & & & & & 1 & & & & 1 & 1 & \end{bmatrix} \end{matrix}$$

40

この $\mathbf{G}'$ に対し列単位に行方向のガウス消去法を行う。手順としては左端から対角に計算を行い、受信成功パケットが符号化パケットの中でi番目のパケットの場合、i列目の

50

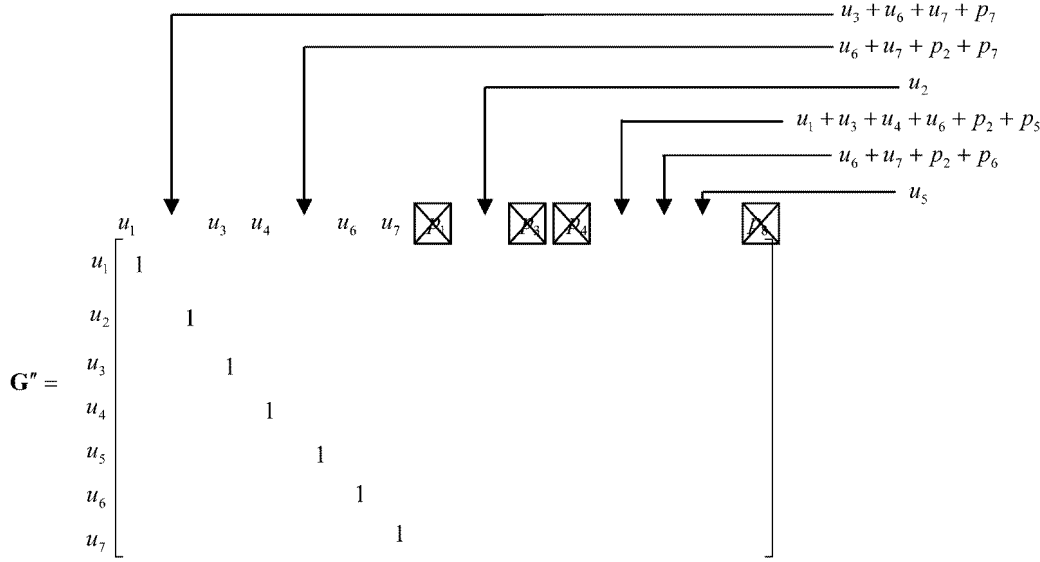
i 行目に確実に 1 がある為、i 列目の i 行目に 1 があるかどうかの確認を行わずに、i 列目は固定して他の列で i 行目に 1 が存在する列に対し i 列を列単位で加算する。同時に列に対応する受信パケットの値も加算し新たに列に対応する値として保存する。

一方、消失パケットが符号化パケットの中で i 番目のパケットの場合、i 列目の i 行目に 1 が無い為、i 列目の i 行目に 1 があるかどうかの確認を行わずに、i 行目に 1 がある列と i 列を入れ替える。その後入れ替えた i 列目は固定して、他の列で i 行目に 1 が存在する列に対し、入れ替えた i 列を列単位で加算する。同時に列に対応する受信パケットの値も加算し新たに列に対応する値として保存する。

【 0 0 3 1 】

これを情報パケット数 k 個分繰り返す。結果下記 G を得る。

10



20

この  $G''$  を用いて情報パケットの内の消失したパケット  $u_2, u_5$  を下記式で再生する。

$$u_2 = u_3 + u_6 + u_7 + p_7$$

30

$$u_5 = u_6 + u_7 + p_2 + p_6$$

これらの操作の本発明の復号法 1 との違いは i 列目の i 行目の 1 の有無を確認しない事と、受信成功パケットに対しては列の入れ替えを一切行わない事である。これによりガウス消去法における計算量が削減できる。

【 0 0 3 2 】

以上説明したように、実施の形態 2 の復号装置によれば、消失訂正復号部は、情報パケット部分対角行列で構成される既約標準形の生成行列を用い、受信成功したパケットに対応する生成行列の列または行を並べ替えずに、消失パケットに対応する列要素または行要素を 0 にした状態でガウス消去法を行う事により、受信成功したパケットに関する計算は行わず、消失したパケットを復号するための計算のみを行うようにしたので、さらに復号計算の計算量を削減する事ができる。

40

【 0 0 3 3 】

実施の形態 3 .

次に (iii) 受信成功したパケット数が情報パケット数  $\times$  を上限としそれ以上は復号計算対象としない手法を実施の形態 3 として説明する。

生成行列 G を用いる場合、情報パケットとパリティパケットの関係だけで復号出来る為、検査行列の様  $H \cdot v^T = 0$  を確認する必要が無い。従って、検査行列 H 全体を使って符号化パケット v 全てを計算対象にする必要は無く、十分な受信成功パケット数があれば

50

、それ以上のパケット数は計算対象から除外してもよいという効果がある。

例えば情報パケット数5、パリティパケット数10、符号化パケット数15が送信機より送信され、受信機にて受信成功パケットが  $u_1, u_2, u_4, u_5, p_1, p_2, p_3, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}$  の13パケット、消失パケットが  $u_3, p_4$  の2パケットとする。処理の手順を説明する為に四角枠×印を消失したパケットとして(5)式の様生成行列Gを示す。

$$\mathbf{G} = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \boxed{\times} u_3 & u_4 & u_5 & p_1 & p_2 & p_3 & \boxed{\times} p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & p_8 & p_9 & p_{10} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & & 1 \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & 1 \\ & & 1 & & & & 1 & 1 & & 1 & & 1 & 1 & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & 1 & 1 & & 1 & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & & 1 & & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix} \quad (5)$$

10

【0034】

受信成功パケットに対する、計算対象の上限のパケット数を  $\alpha = 2.0$  として情報パケット数  $\times \beta = 10$  個とする。この場合左から数えて  $p_7$  までで10個である為、 $p_8, p_9, p_{10}$  とそれらのパケットに対応する生成行列Gの列を計算対象外とする。なお、受信成功パケットがこの上限のパケット数以下の場合は全ての受信成功パケットを計算対象とする。

$$\mathbf{G} = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \boxed{\times} u_3 & u_4 & u_5 & p_1 & p_2 & p_3 & \boxed{\times} p_4 & p_5 & p_6 & p_7 & \boxed{\text{計算対象外}} p_8 & \boxed{\text{計算対象外}} p_9 & \boxed{\text{計算対象外}} p_{10} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & & & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & & \\ & 1 & & & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & 1 \\ & & 1 & & & & 1 & 1 & & 1 & & 1 & 1 & 1 & 1 & \\ & & & 1 & & & & 1 & 1 & & 1 & & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & & & 1 & 1 & 1 & & 1 & 1 & & & & 1 & & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix}$$

20

このような構成とする事により、情報パケットに対する符号化パケット数が多い場合でも必要最小限の計算量で復号する事が出来る。

この  $\alpha$  の値は情報パケット数や消失誤り訂正符号の訂正能力により異なる。例えばパケット誤り率を  $10^{-8}$  以下にしたいときは、図2に示す値をとるが、この数字は情報パケット数、目標性能や符号性能により適宜変更すればよく、任意の値を設定できる。

30

【0035】

以上説明したように、実施の形態3の復号装置によれば、消失訂正復号部は、復号に必要な受信成功パケット数を情報パケット数以上で上限値を設け、上限値を超える受信成功パケットを復号計算の対象外とするようにしたので、さらに復号計算の計算量を削減する事ができる。

【0036】

なお、上記の各実施の形態における説明では、生成行列、検査行列の表示方法に応じて列及び行の表現で説明してきたが、場合によっては転置した行列で表示する場合もあるので、その表示方法により列及び行の説明も対応して変化する場合もある。

40

【0037】

また、ここまでの表現で処理単位をパケットと表現したが、パケットの名称にこだわらず、あるビットの塊で処理されるデータであれば何にでも適用でき、ブロックという呼ばれ方をする場合もある。

【0038】

以上説明した符号化/復号方法は、パケット単位やブロック単位で誤り訂正する消失訂正符号以外にも、ビット単位に検査行列と対応させる物理レイヤ等の誤り訂正符号でも適用可能である。

【0039】

さらに、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あ

50

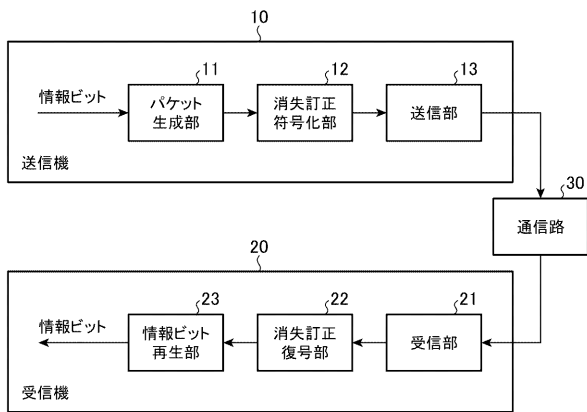
るいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【符号の説明】

【0040】

10 送信機、11 パケット生成部、12 消失訂正符号化部、13 送信部、20 受信機、21 受信部、22 消失訂正復号部、23 情報ビット再生部、30 通信路。

【図1】



【図2】

情報パケット数:k	$\alpha$
20以下	2.0
100	1.4
1000以上	1.3