

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5354985号  
(P5354985)

(45) 発行日 平成25年11月27日(2013.11.27)

(24) 登録日 平成25年9月6日(2013.9.6)

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

請求項の数 8 (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2008-193615 (P2008-193615)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成20年7月28日 (2008.7.28)		パナソニック株式会社
(65) 公開番号	特開2009-55603 (P2009-55603A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成21年3月12日 (2009.3.12)	(74) 代理人	100105050
審査請求日	平成22年11月29日 (2010.11.29)		弁理士 鷲田 公一
(31) 優先権主張番号	特願2007-197939 (P2007-197939)	(72) 発明者	岡村 周太
(32) 優先日	平成19年7月30日 (2007.7.30)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		電器産業株式会社内
		(72) 発明者	折橋 雅之
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内
		(72) 発明者	須増 淳
			大阪府門真市大字門真1006番地 松下
			電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 符号化装置及び復号化装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

情報パケット系列に符号化側と復号化側とで既知パケット系列を付加するパディング部と、

低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップングセットを構成する変数ノードの位置に前記既知パケットが対応するように、前記既知パケット系列が付加されたパケット系列の順序を並び替えるインタリーブ部と、

並び替え後のパケット列に対してパケット消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部と、を具備する符号化装置。

【請求項2】

前記消失訂正符号化部は、低密度パリティ検査符号化を行う請求項1に記載の符号化装置。

【請求項3】

前記インタリーブ部は、前記最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置の前記情報パケットと、前記既知パケットとを入れ替える

請求項1に記載の符号化装置。

【請求項4】

前記インタリーブ部は、前記最小ストップングセットに含まれる数が多い変数ノードから順に、当該変数ノードに対応する位置に、前記既知パケットを優先的に割り当てる

請求項1に記載の符号化装置。

## 【請求項 5】

前記インタリーブ部は、前記最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置の少なくとも一つに、前記既知パケットを割り当てるようにする

請求項 1 に記載の符号化装置。

## 【請求項 6】

低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置のパケットが消失した場合に、符号化側と復号化側とで受信したパケット系列のうち、既知パケットの再パディングを行う再パディング部と、

再パディング後のパケット系列に対し、消失訂正復号化を施す消失訂正復号化部と、

消失訂正復号化後のパケット系列の順序を並び替えるデインタリーブ部と、

を具備する復号化装置。

10

## 【請求項 7】

前記消失訂正復号化部は、低密度パリティ検査符号の反復復号を行う

請求項 6 に記載の復号化装置。

## 【請求項 8】

前記デインタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置のパケットと、当該変数ノード以外の変数ノードに対応する位置のパケットとを、入れ替える

請求項 6 に記載の復号化装置。

## 【発明の詳細な説明】

20

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、例えば、低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check) 符号を用いて情報データに冗長性を付加し消失訂正する符号化装置及び復号化装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

IP (Internet Protocol) を用いて、パケットベースの通信を行うシステムでは、上位プロトコルに TCP (Transport Control Protocol) を用いてエンド・ツー・エンドでの再送制御を行う通信方式や、再送制御を行わない UDP (User Datagram Protocol) などの通信方式が一般的に用いられている。TCP は主に、Web ページなどのテキストデータの送受信や、サーバーからのファイルダウンロードを行う場合など、パケット通信の信頼性の確保が必要な場面で使われる。一方、UDP は、動画像のストリーミング伝送や、VoIP (Voice over IP) を使った音声伝送など、パケットロスがアプリケーションレベルである程度許容可能な場面で用いられている。また、マルチキャスト通信を行う場合、エンド・ツー・エンドでの再送制御を行うと、復号化側からの ACK (Acknowledgement) / NACK (Negative Acknowledgement) 信号が受信端末の数に比例して増えるのに伴って、ネットワークの負荷、送受信端末の処理量が増大するなどの理由から、この場合も UDP が用いられてきた。

30

## 【0003】

動画像ストリーミングや VoIP でもアプリケーションレベルで許容困難な多数のパケットロスがあった場合の品質確保や、マルチキャスト通信での信頼性確保のため、エンド・ツー・エンドで誤り訂正符号が用いられている。例えば、特許文献 1 には、いくつかの情報パケットに対してリード・ソロモン符号を用いて作成した冗長パケットを、情報パケットに付加して送信する通信方法が開示されている。この場合、パケットを受け取った通信装置は、受け取ったパケット中にパケットロス (消失) があっても、リード・ソロモン符号の誤り訂正能力の範囲内であれば、消失したパケットを復元することができる。

40

## 【0004】

しかし、リード・ソロモン符号の訂正能力を超える数の消失があった場合や、パケット通信を行う媒体として無線通信路を用いた場合のシャドウイングやフェージングなどといった物理現象により、比較的長期間にわたってパケットが連続して消失するというパース

50

ト消失が発生した場合など、消失訂正が効果的でない場合がある。この場合、リード・ソロモン符号のブロック長を増大することでその訂正能力を向上することができるものの、符号化・復号化処理の演算量やそれを行う回路の規模が増大してしまうという課題がある。

【 0 0 0 5 】

このような課題に対して、パケット消失に対する誤り訂正符号として、低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check) 符号に注目が集まっている。LDPC符号は、非常に疎な検査行列で定義されるブロック符号であり、符号長が数千~数万オーダーであっても実用的な時間・演算コストで符号化・復号化処理を行うことができる。

【 0 0 0 6 】

LDPC符号による消失訂正符号化を利用した通信システムの概念図を図35に示す。図35において、符号化側の通信装置では、送信する情報パケット1~4に対してLDPC符号化を行い、冗長パケットa, bを生成する。上位層処理部は、情報パケットに冗長パケットを付加した符号化パケットを下位層(図35の例では物理層)に送出し、下位層の物理層処理部は、符号化パケットを通信路で送信可能な形に変換して通信路に送出する。図35では、通信路が無線通信路の場合の例を示している。

【 0 0 0 7 】

復号化側の通信装置では、下位層の物理層処理部で受信処理を行う。このとき、ビットエラーが発生したと仮定する。このビットエラーにより、上位層で、該当するビットを含んだパケットが正しく再生されず、パケット消失が発生する。図35の例では、情報パケット3が消失している場合を示している。上位層処理部は、受信したパケット列に対してLDPC復号処理を施すことで、消失した情報パケット3を復元する。

【 0 0 0 8 】

復号化側で行われるLDPC符号の復号は、一般に、反復復号アルゴリズムを用いて行われる。図36及び図37を用いて、パケット消失を訂正するためのLDPC符号の反復復号アルゴリズムの一例について説明する。なお、以下では、LDPC符号の検査行列Hが、式(1)に示す行列の場合を例に説明する。

【 数 1 】

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

【 0 0 0 9 】

図36は、式(1)の検査行列Hをタナーグラフで表したものである。図中の変数ノードは、検査行列Hの列方向の関係を表し、検査ノードは、検査行列Hの行方向の関係を表す。また、検査行列Hの要素が1である場合に、変数ノードと検査ノードとが線(エッジ)で接続されている。なお、変数ノードは、符号化後の各パケットに対応する。

【 0 0 1 0 】

図37にLDPC復号の反復復号アルゴリズムのフローチャートを示す。以下、フローチャートに従い反復復号アルゴリズムを説明する。図中、STはフローの各ステップを示す。

【 0 0 1 1 】

ST11では、消失を含んだ受信符号語を対応する変数ノードに入力する。ST12では、検査ノードに接続される変数ノードの消失数が1の検査ノードを抽出する。消失数が1の検査ノードが抽出された場合(ST13: YES)、ST14で、抽出された消失数1の検査ノードにおいて、正しく受信された(消失していない)変数ノード値をXOR(排他的論理和)演算する。そして、ST15で、ST14で得られたXOR演算結果を、

10

20

30

40

50

消失している変数ノードに入力し、ST12に戻る。

【0012】

一方、消失数が1の検査ノードが抽出されなかった場合(ST13:NO)、ST16で、全ての検査ノードに消失がないか否かチェックし、消失がなければ消失訂正成功として復号アルゴリズムを終了し(ST16:YES)、消失があれば消失訂正失敗として復号アルゴリズムを終了する(ST16:NO)。

【0013】

LDPCC符号は、リード・ソロモン符号など他の符号に比べ、符号構成に対する自由度が非常に高く、異なる検査行列を用いることにより、様々な符号長、符号化率に対応することができる。しかし、複数の符号長、符号化率に対応するシステムでは、符号化側、復号化側で、複数の検査行列を保持する必要がある。このような課題に対し、特許文献2には、情報ビット系列にパディングビットを付加することで、一つの検査行列で複数の符号長に対応することができる符号化・復号化装置が開示されている。

【0014】

また、符号化率の調整には、ある符号化率での符号化により得た冗長パケットの一部を送信しないことで、符号化率を高くするパンクチャ手法を用いるのが一般的である。パンクチャにより冗長パケット数が削減されるので、符号化パケット列に含まれる冗長パケットの割合が少なくなり、符号化率を高くすることができる。この場合、符号化側及び復号化側の双方で、パンクチャする冗長パケットの位置をあらかじめ既知としておき、復号化側では、パンクチャしたパケットを消失とみなして復号処理をすることで、ある一つの符号化率に対応する復号装置を用いて、符号化率異なる符号の復号にも対応することができる。なお、パンクチャは、パケット単位で誤り訂正符号化する場合だけでなく、物理層においてビット単位で誤り訂正符号化する場合においても、符号化率の調整のために使用される。

【特許文献1】特開平8-186570号公報

【特許文献2】特開2006-94012号公報

【非特許文献1】Changyan Di, David Proietti, I.Emre Telatar, Thomas J.Richardson, and Rudiger L.Urbanke, "Finite-Length Analysis of Low-Density Parity-Check Codes on the Binary Erasure Channel", IEEE Transaction on Information Theory, vol.48, No.6, June 2002.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかしながら、LDPCC符号を用いた消失訂正の性能は、符号化・復号化に用いる検査行列によって定まる最小ストップングセットと呼ばれる変数ノードの組み合わせにより制限されてしまう。以下、説明をする。

【0016】

ストップングセットとは、検査行列を、 $n$ 個の列ベクトル $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を用いて $H = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ と表した場合に、検査行列 $H = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ の部分集合 $\{c_{i_1}, c_{i_2}, \dots, c_{i_s}\}$ からなる行列 $H' = (c_{i_1}, c_{i_2}, \dots, c_{i_s})$ が重み1の列ベクトルを含まない場合の変数ノードの集合 $(i_1, i_2, \dots, i_s)$ をいい(非特許文献1参照)、最小ストップングセットとは、ストップングセットを構成する変数ノードの数が最小の場合をいう。

【0017】

LDPCC符号を用いた消失訂正では、検査行列 $H$ のストップングセットを構成する各変数ノードに対応するパケット全てに消失があった場合、消失訂正復号を正しく行うことが困難という特徴を持つ。具体例を用いて補足説明をする。

【0018】

図38は、符号長 $N = 529$ 、符号化率 $R = 0.913$ のArray LDPCC符号を用いて消失訂正符号化を行った場合の消失訂正復号性能を示したグラフである。グラフの

10

20

30

40

50

横軸は、通信路のパケット消失確率を示し、縦軸は、復号後のパケット消失率を示す。この場合、符号化により冗長パケットを46個付加しているにもかかわらず、0.01と低いパケット消失確率をもつ通信路（すなわち529パケット中、5個程度のパケットが消失している場合）でも訂正困難な場合がある。この理由は、符号長 $N = 529$ 、符号化率 $R = 0.913$ のArray LDPC符号の最小ストップセットサイズ（ストップセットを構成する変数ノードの数の最小値）が4であり、消失個数が4個と少ない場合であっても、4個の消失パケットが、最小ストップセットの位置にあるパケットに一致すると、復号に失敗してしまうからである。

【0019】

このように、反復復号を用いるLDPC符号による消失訂正能力は、最小ストップセットの変数ノードの組み合わせに依存する。すなわち、ある最小ストップセットを構成する全ての変数ノードの位置に対応するパケットが消失した場合、反復復号により、その消失を訂正することは困難となる。

10

【0020】

そのため、LDPC符号を用いた消失訂正符号の性能を向上させるためには、  
 (1) 最小ストップセットサイズを増加する、又は、  
 (2) 検査行列に含まれる最小ストップセットの数を削減する、  
 ことが求められる。

【0021】

また、上述のように、パンクチャを行ってLDPC符号の符号化率を調整する場合、パンクチャしたパケット（またはビット）は復号化側で消失として扱われる。そのため、符号化側でパンクチャする位置が最小ストップセットの一つに含まれている場合、復号性能が著しく劣化する可能性がある。

20

【0022】

本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、LDPC符号化・復号化において、復号失敗の頻度を効果的に削減することができる符号化装置及び復号化装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0023】

本発明の符号化装置の一つの態様は、情報パケット系列に符号化側と復号化側とで既知パケット系列を付加するパディング部と、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードの位置に前記既知パケットが対応するように、前記既知パケット系列が付加されたパケット系列の順序を並び替えるインタリーブ部と、並び替え後のパケット列に対してパケット消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部と、を具備する構成を採る。

30

【0024】

この構成によれば、既知パケット系列を付加して符号化率を調整することができるとともに、既知パケットを消失訂正能力特性に与える影響が大きい位置に割り当てられることにより、通信路で当該既知パケットが消失した場合においても、復号側で既知パケットを再パディングしてから消失訂正復号化を行うことができるので、当該既知パケット以外のパケットが消失した場合の消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

40

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、LDPC符号化・復号化において、復号失敗の頻度を効果的に削減することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0027】

(実施の形態1)

50

図1は、本発明の実施の形態1における通信システムの全体構成図である。図1において、通信システムは、パケット生成部110、消失訂正符号化装置120、送信装置130、通信路140、受信装置150、消失訂正復号化装置160、及びパケットデコード部170から構成される。同図において、パケット生成部110、消失訂正符号化装置120、及び送信装置130は、符号化側に対応し、受信装置150、消失訂正復号化装置160、及びパケットデコード部170は、復号化側に対応する。

#### 【0028】

パケット生成部110は、送信情報源から出力される送信情報にヘッダを付加して情報パケットに変換する。例えば、図2に示すように、送信情報として与えられたMPEG (Moving Picture Expert Group) のTS (Transport Stream) をIPパケットに変換する場合、パケット生成部110は、MPEG-TSを7つ束ねて、その先頭にIPヘッダを付加することでIPパケットを生成する。パケット生成部110は、生成した情報パケットを消失訂正符号化装置120に送出する。

10

#### 【0029】

消失訂正符号化装置120は、パケット生成部110から出力される情報パケットに対し消失訂正符号化処理を行う。具体的には、消失訂正符号化装置120は、消失訂正符号化処理として、符号化で決められた数の情報パケット毎に冗長パケットを付加する。消失訂正符号化装置120は、情報パケット及び冗長パケットを送信装置130へ送出する。以降、情報パケット及び冗長パケットを送信パケットと呼ぶ。

#### 【0030】

送信装置130は、消失訂正符号化装置120から出力される送信パケットを、通信路として使う媒体に応じて、その通信路で送信可能な形に変換し、通信路140に送信する。

20

#### 【0031】

通信路140は、送信装置130から送信された信号が、受信装置150で受信されるまでに通る経路を示す。通信路として、イーサネット(登録商標)、電力線、メタルケーブル、光ファイバ、無線、光(可視光、赤外線など)や、これらを組み合わせたものを使用することができる。

#### 【0032】

受信装置150は、通信路140を経て到着する送信装置130からの信号を受信し、再度送信パケットの形に変換する。以降、これを受信パケットと呼ぶ。受信装置150は、受信パケットを消失訂正復号化装置160に送出する。

30

#### 【0033】

消失訂正復号化装置160は、受信パケット中に消失したパケットがある場合は、符号化側の消失訂正符号化装置120で付加された冗長パケットを利用して、消失したパケットの復元処理を行う。消失訂正復号化装置160は、復元処理を行った受信パケットのうち、情報パケットに相当するパケットのみをパケットデコード部170に送出する。一方、受信パケット中に消失したパケットがない場合は、復号処理を行わず、受信パケットのうち、情報パケットに相当するパケットのみをパケットデコード部170に送出する。

#### 【0034】

パケットデコード部170は、パケット化された送信情報を、受信情報処理部(図示せぬ)が解読可能な形に変換して受信情報処理部に送信する。図2の例では、IPパケットのデータから7つのMPEG-TSを取り出して受信情報処理部に送出する。

40

#### 【0035】

図3は、本発明の実施の形態1における消失訂正符号化装置120の要部構成を示す図である。消失訂正符号化装置120は、消失訂正符号として、低密度パリティ検査(LDPC: Low-Density Parity-Check)符号を用いる。以下では、消失訂正符号化装置120が、J個の情報パケットを一つの単位として消失訂正符号化を行う場合を例に説明する。パケット生成部110は、生成した情報パケットをJパケットずつ消失訂正符号化装置120に送出する。なお、情報パケット数Jは、送信する情報の総容量、時間あたりの送信

50

パケット数から決定される。

【 0 0 3 6 】

消失訂正符号化装置 1 2 0 は、パディング部 1 2 1、インタリーブ部 1 2 2、消失訂正符号化部 1 2 3、及び消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 から構成される。

【 0 0 3 7 】

消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 には、消失訂正符号化に用いる L D P C 符号のパラメータが記憶されている。具体的には、L D P C 符号のパラメータとして、検査行列 H、符号化パケット長 N、組織化パケット長 K、冗長パケット長 M、及びパディングパケット長 P が記憶されている。

【 0 0 3 8 】

パディング部 1 2 1 は、パケット生成部 1 1 0 から出力される J 個の情報パケットの後部に、符号化側及び復号化側の双方が既知のパディングパケットを付加し、K 個のパケットからなる組織化パケット列を生成する。パディング部 1 2 1 は、パディングパケット長 P に応じてパディングパケットを付加し、組織化パケット列をインタリーブ部 1 2 2 に送出する。

【 0 0 3 9 】

インタリーブ部 1 2 2 は、組織化パケット列のパケットの順序を入れ替えるインタリーブ処理を行う。インタリーブ部 1 2 2 は、インタリーブ後の組織化パケット列（以下「インタリーブドパケット列」という）を消失訂正符号化部 1 2 3 に送出する。なお、インタリーブ処理については、後述する。

【 0 0 4 0 】

消失訂正符号化部 1 2 3 は、インタリーブドパケット列に対し、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に保持されている検査行列 H に基づいて、L D P C 符号化処理を行い、冗長パケット列を生成する。さらに、消失訂正符号化部 1 2 3 は、インタリーブドパケット列の後部に生成した冗長パケット列を付加し、冗長パケット列付加後の符号化パケット列を送信装置 1 3 0 へ送出する。

【 0 0 4 1 】

図 4 は、本発明の実施の形態 1 における消失訂正復号化装置 1 6 0 の要部構成を示す図である。消失訂正復号化装置 1 6 0 は、再パディング部 1 6 1、消失訂正復号化部 1 6 2、デインタリーブ部 1 6 3、及び消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 6 4 から構成される。

【 0 0 4 2 】

消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 6 4 には、消失訂正符号化・復号化に用いる L D P C 符号のパラメータが記憶されている。

【 0 0 4 3 】

再パディング部 1 6 1 は、受信パケット列に消失があり、かつ、その消失がパディングパケットである場合、消失パケットの位置に再度パディングパケットを挿入する。再パディング部 1 6 1 は、再パディングしたパケット列（再パディングパケット列）を消失訂正復号化部 1 6 2 に送出する。

【 0 0 4 4 】

消失訂正復号化部 1 6 2 は、検査行列 H に基づき、再パディングパケット列の消失訂正復号処理を行い、復号結果のうち、組織化パケット列に対応するパケットのみを抽出し、抽出した消失訂正後の組織化パケット列をデインタリーブ部 1 6 3 に送出する。

【 0 0 4 5 】

デインタリーブ部 1 6 3 は、消失訂正後の組織化パケット列に対し、符号化側で施したインタリーブ処理と逆の並び替え処理（デインタリーブ処理）を施す。デインタリーブ部 1 6 3 は、デインタリーブ処理を施した組織化パケット列のうち、情報パケット列に相当するパケットのみパケットデコード部 1 7 0 に送出する。

【 0 0 4 6 】

以下、上述のように構成された通信システムのうち、主に消失訂正符号化装置 1 2 0 及

10

20

30

40

50

び消失訂正復号化装置 160 の動作を中心に説明する。なお、以下では、パケット生成部 110 から 3 つの情報パケット ( $J = 3$ ) が出力される場合を例に説明する。また、消失訂正符号に用いる LDPC 符号を定義する検査行列  $H$  として、上述した式 (1) で示される行列を用いて消失訂正符号化・復号化を行う場合を例に説明する。式 (1) の検査行列  $H$  は、符号化パケット長  $N = 10$ 、組織化パケット長  $K = 5$ 、冗長パケット長  $M = 5$  の場合の例である。

【0047】

(消失訂正符号化装置の動作)

図 5 は、消失訂正符号化装置 120 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 3 には、図 5 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

10

【0048】

図 5 (a) は、パケット生成部 110 から出力される情報パケット列  $P11$  を示している。情報パケット列  $P11$  は、3 個の情報パケットからなっている。

【0049】

パディング部 121 は、パケット生成部 110 から出力される情報パケット列  $P11$  の後部に、 $2 (= P = K - J)$  個のパディングパケットからなるパディングパケット列を付加し、5 個のパケットからなる組織化パケット列  $P12$  を生成する (図 5 (b) 参照)。

【0050】

インタリーブ部 122 では、組織化パケット列  $P12$  にインタリーブ処理を施す。實際上、インタリーブ部 122 は、以下のような処理によりインタリーブを行う。

20

【0051】

(インタリーブ処理)

(1) 検査行列  $H$  に含まれる全ての最小ストップングセットを抽出する。

(2) 組織化パケット列に対応する各変数ノードが、全ての最小ストップングセットの組み合わせからいくつの最小ストップングセットに含まれるかを検査する。

(3) 含まれる最小ストップングセットの数が多い順に、組織化パケット列に対応する各変数ノードを並び替える。以下、並び替えた結果を変数ノードリストと呼ぶ。

(4) 変数ノードリストの第一位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列  $P12$  の最後尾のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。

(5) 次に、変数ノードリストの第二位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列の最後尾から 2 番目のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。

30

(6) 以降、変数ノードリストの順位が高い変数ノードに対応するパケット順に、パディングパケットと置換して、インタリーブ処理を行う。

【0052】

なお、上記インタリーブ処理のうち、(1) ~ (3) の処理については、インタリーブ処理、符号化処理の度毎に実施する必要はなく、例えば、(1) ~ (3) の処理を事前に実施し、その結果を消失訂正符号化パラメータ記憶部 124 に記憶させておくことにより、インタリーブ部 122 は、(4) ~ (6) の処理のみを行えば良い。

【0053】

このようにして、インタリーブ部 122 は、インタリーブ処理として、組織化パケット列  $P12$  の後部に位置するパディングパケットを、組織化パケット列に対応する変数ノードのうち、LDPC 符号化に用いる検査行列  $H$  の最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つに対応するパケット位置に並び替えるという処理を行う。組織化パケット列  $P12$  の後部に位置するパディングパケットを、LDPC 符号化に用いる検査行列  $H$  の最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つに対応するパケット位置に並び替えることにより、インタリーブ部 122 は、最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置にパディングパケットを割り当てる。

40

【0054】

上述した (1) ~ (6) の手順を行う場合には、最小ストップングセットに含まれる数が多い変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置に、パディングパケットが優先

50



的に割り当てられるようになる。インタリーブ処理について、さらに図 6 を用いて補足説明する。

【 0 0 5 5 】

図 6 は、式 ( 1 ) の検査行列 H に対応するタナグラフを示している。図 6 において、上段の検査ノードは、式 ( 1 ) の検査行列 H の各列に対応し、下段の検査ノードは、検査行列 H の各行に対応する。検査行列 H の  $i$  行  $j$  列目が 1 ならば、 $j$  番目の変数ノードと  $i$  番目の検査ノードが辺で結ばれる。

【 0 0 5 6 】

なお、消失訂正符号化処理の前段でインタリーブ処理を施さなかった場合に、各変数ノードに割り当てられる packets を、図 6 の変数ノードの上側に併記する。図 6 の例では、変数ノード 1 ~ 5 は、組織化パケット列に対応し、変数ノード 6 ~ 10 は、冗長パケット列に対応する。具体的には、変数ノード 1 ~ 3 には、情報パケット 1 ~ 3 がそれぞれ対応し、変数ノード 4 , 5 には、パディングパケット 1 , 2 が対応し、変数ノード 6 ~ 10 には、消失訂正符号化処理により得られる冗長パケット 1 ~ 5 が対応している。

【 0 0 5 7 】

式 ( 1 ) で与えられる検査行列 H の最小ストップングセットサイズは 3 であり、その変数ノードの組み合わせは、式 ( 2 - 1 ) ~ 式 ( 2 - 7 ) に示すように 7 通りある ( [ ] 内の数字は変数ノードのインデックスを表す)。

【 数 2 】

$$\begin{aligned} SS 1 &= [ 1, 2, 9 ] && \dots ( 2 - 1 ) \\ SS 2 &= [ 2, 4, 8 ] && \dots ( 2 - 2 ) \\ SS 3 &= [ 2, 5, 9 ] && \dots ( 2 - 3 ) \\ SS 4 &= [ 2, 6, 8 ] && \dots ( 2 - 4 ) \\ SS 5 &= [ 3, 4, 7 ] && \dots ( 2 - 5 ) \\ SS 6 &= [ 3, 6, 7 ] && \dots ( 2 - 6 ) \\ SS 7 &= [ 3, 8, 9 ] && \dots ( 2 - 7 ) \end{aligned}$$

【 0 0 5 8 】

組織化パケット列に対応する変数ノード 1 ~ 5 のうち、上記 7 個の最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノードは、変数ノード 2 である ( 7 通り中 4 通り)。また、最小ストップングセットに次に多く含まれる変数ノードは、変数ノード 3 である ( 7 通り中 3 通り)。

【 0 0 5 9 】

インタリーブ部 1 2 2 は、組織化パケット列 P 1 2 の最後尾にあるパケット (パディングパケット 2) と、変数ノード 2 に位置する情報パケット 2 の位置とを入れ替える (インタリーブする)。また、変数ノード 3 に位置する情報パケット 3 と、組織化パケット列 P 1 2 の最後尾から 2 番目にあるパケット (パディングパケット 1) とを入れ替える。図 7 に、この場合のインタリーブ処理パターンを示す。図 7 ( a ) は、インタリーブ前のパケットの順序を示し、図 7 ( b ) は、インタリーブ後のパケットの順序を示す。

【 0 0 6 0 】

このように、インタリーブ部 1 2 2 は、組織化パケット列 P 1 2 の後部のパディングパケットを、ストップングセットの一部の変数ノードに割り当てられているパケットと入れ替えるという処理を行う。すなわち、インタリーブ部 1 2 2 は、検査行列 H の最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置の情報パケットと、既知パケットであるパディングパケットとを入れ替える。その結果、図 5 ( c ) に示すようなインタリーブドパケット列 P 1 3 が得られる。

【 0 0 6 1 】

このようにすることで、組織化パケット列に対応する変数ノード 1 ~ 5 のうち、最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノード 2 と、次に多く含まれる変数ノード 3 の位置に、パディングパケット 2 , 1 が配置されるようになる。パディングパケット 2 , 1

10

20

30

40

50

は、既知パケットであるので、通信路 1 4 0 において、変数ノード 2, 3 に位置するパディングパケット 2, 1 が消失しても、復号化側の消失訂正復号化装置 1 6 0 の再パディング部 1 6 1 は、消失したパディングパケット 2, 1 を再パディングすることができる。したがって、変数ノード 2, 3 が含まれる最小ストップングセットの他の変数ノードに位置するパケットが消失してしまった場合においても、消失訂正復号化部 1 6 2 が消失訂正復号できる可能性がある。

【 0 0 6 2 】

一方、インタリーブ処理を施さず、変数ノード 2, 3 に位置する情報パケット 2, 3 が消失した場合には、情報パケット 2, 3 は既知でないので、再パディング部 1 6 1 は、再パディングすることができず、また、変数ノード 2, 3 が含まれる最小ストップングセットの他の変数ノードに位置するパケットが消失してしまった場合には、消失訂正復号化部 1 6 2 が消失訂正復号処理を失敗する可能性が高くなる。

10

【 0 0 6 3 】

消失訂正符号化部 1 2 3 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に保持されている検査行列 H に基づいて、冗長パケット 1 ~ 5 を生成し、インタリーブドパケット列 P 1 3 に付加することで、図 5 ( d ) に示すような、N 個のパケットから構成される符号化パケット列 P 1 4 を生成する。

【 0 0 6 4 】

このように、インタリーブ部 1 2 2 は、組織化パケット列に対応する変数ノードのうち、検査行列 H の最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノードに対応する位置に、パディングパケットを優先的に割り当てる。このようにすることで、消失訂正に最も影響を与える変数ノードに対応する位置のパケットが消失してしまった場合においても、復号化側の消失訂正復号化装置 1 6 0 の再パディング部 1 6 1 において、再パディングされるので、消失訂正復号できる割合を高くすることができるようになる。

20

【 0 0 6 5 】

( 消失訂正復号化装置の動作 )

次に、消失訂正復号化装置 1 6 0 の動作について説明する。図 8 は、消失訂正復号化装置 1 6 0 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 4 には、図 8 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

【 0 0 6 6 】

図 8 ( a ) は、受信装置 1 5 0 から出力される受信パケット列 P 1 5 を示す。図 8 ( a ) において、x 印が付されている 3 つのパケットは、通信路 1 4 0 で消失したパケットを表す。図 8 ( a ) では、2 番目、4 番目、及び 8 番目のパケットが消失した場合の例を示している。消失した 3 つのパケットに相当する変数ノードは、変数ノード 2, 4, 8 であり、これら変数ノードの組み合わせ [ 2, 4, 8 ] は、式 ( 2 - 2 ) で示される最小ストップングセット S S 2 に一致する。また、消失パケットのうち一つ ( 2 番目のパケット ) は、符号化側でパディングしたパディングパケット 2 である。

30

【 0 0 6 7 】

再パディング部 1 6 1 は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 6 4 に保持されているパディングパケット数 P ( = 2 ) とデインタリーブ部 1 6 3 で行われるデインタリーブのパターンとから、符号化側でパディングパケットを挿入した位置を決定する。さらに、再パディング部 1 6 1 は、消失したパケットにパディングパケットが含まれるか否か判定し、消失したパケットにパディングパケットが含まれる場合、その位置に再度該当するパディングパケットを挿入する。ここでは、2 番目の位置にあるパケットはパディングパケット 2 であるため、再パディング部 1 6 1 は、2 番目のパケット位置にパディングパケット 2 を挿入する。その結果、図 8 ( b ) のパケット列 P 1 6 が得られる。なお、消失したパケットにパディングパケットが含まれない場合は、再パディング部 1 6 1 は、再パディングを行わずに受信パケット列 P 1 5 をパケット列 P 1 6 として消失訂正復号化部 1 6 2 に送出する。

40

【 0 0 6 8 】

50

消失訂正復号化部 162 は、パケット列 P 16 のうち、組織化パケット列に消失が含まれている場合は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 164 に保持されている検査行列 H に基づいて消失訂正復号処理を行う。消失訂正復号処理としては、上述した反復復号アルゴリズムなどを用いることができる。消失訂正復号化部 162 は、復号処理が終了した後、図 8 (c) で示すように、組織化パケット列 P 17 のみをデインタリーブ部 163 に送出する。

【0069】

一方、パケット列 P 16 に消失が含まれない場合、もしくは消失が冗長パケット列にのみ含まれている場合は、消失訂正復号化部 162 は、消失訂正復号処理を行わず、組織化パケット列 P 17 のみをデインタリーブ部 163 に送出する。

10

【0070】

デインタリーブ部 163 は、組織化パケット列 P 17 に対し、符号化側のインタリーブ部 122 で施したインタリーブ処理の逆の処理を施し、パケットを並び替える。上述した図 5 の例で説明すると、デインタリーブ部 163 は、パディングパケット 2 と情報パケット 2 とを入れ替えるとともに、パディングパケット 1 と情報パケット 3 とを入れ替える。図 8 (d) に、デインタリーブ後の組織化パケット列 P 18 を示す。図 8 (d) の組織化パケット列 P 18 のパケット順序は、符号化側のインタリーブ前の組織化パケット列 P 12 のパケット順序 (図 5 (b) 参照) に一致する。

【0071】

デインタリーブ部 163 は、デインタリーブ後の組織化パケット列 P 18 のうち、図 8 (e) に示されるように情報パケットのみからなる情報パケット列 P 19 をパケットデコード部 170 に送出する。

20

【0072】

上述したように、符号化側のインタリーブ部 122 は、組織化パケット列に対応する変数ノードのうち、最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置にパディングパケットを割り当てる。例えば、図 5 の例では、インタリーブ部 122 は、変数ノード 2 にパディングパケットを割り当てた。したがって、最小ストップセット S S 2 の変数ノードに対応するパケット (2 番目、4 番目、8 番目) が通信路 140 で消失しても、2 番目のパケットを再パディングにより復元することができるので、パケットデコード部 170 で、S S 2 による消失訂正失敗を回避することができる。また、図 6 の例では、変数ノード 2 に既知のパディングパケットを割り当てることで、変数ノード 2 を含む S S 2 以外のストップセット (S S 1、S S 3、S S 4) による消失訂正失敗をも回避することができる。

30

【0073】

このように、符号化側のインタリーブ部 122 で、組織化パケット列 P 12 の後部に位置するパディングパケットを、組織化パケット列に対応する変数ノードのうち、LDPC 符号化に用いる検査行列 H の最小ストップセットを構成する変数ノードの一つに対応する位置に並び替えることにより、通信路 140 において、最小ストップセットの位置に消失が発生したとしても、再パディング部 161 により再パディングすることができるので、最小ストップセットによる消失の訂正失敗を回避することができる。

40

【0074】

以上のように、本実施の形態によれば、消失訂正符号化装置 120 は、情報パケット系列にパディングパケットを付加するパディング部 121 と、パディングパケットが付加されたパケット系列の順序を並べ替えるインタリーブ部 122 と、インタリーブ後のパケット列に対して消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部 123 とを備え、インタリーブ部 122 は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに基づいてパディングパケットと情報パケットとを並び替えるようにした。また、消失訂正復号化装置 160 は、受信したパケット系列に対し、再パディングを行う再パディング部 161 と、再パディング後のパケット系列に対し、消失訂正復号化を施す消失訂正復号化部 162 と、消失訂正復号化後のパケット系列の順序を並び替えるデイン

50

タリーブ部 1 6 3 とを備えるようにした。したがって、LDPC 検査行列の訂正能力特性の制限に關与する最小ストップングセットを構成する変数ノードに基づいて、組織化パケット系列の並び替えパターンを、最小ストップングセットによる消失訂正失敗を回避するような並び替えパターンにすることにより、最小ストップングセットによる消失訂正失敗の確率を低減することができる。

**【 0 0 7 5 】**

このように、本発明を用いることで、従来は消失訂正符号化・復号化に關わるパケット数を調節するために挿入されるパディングパケットと適切なインタリーブ・デインタリーブ処理とを利用して、消失訂正符号の訂正能力を劣化させる第一の要因である最小ストップングセットによる訂正失敗の確率を低減することができるという効果が得られる。つまり、通信路で発生した消失が、検査行列に含まれる最小ストップングセットと一致する確率を低下することができ、この結果、消失訂正能力を向上することができる。

10

**【 0 0 7 6 】**

インタリーブとして、インタリーブ部 1 2 2 が、最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置の情報パケットと既知パケットとを入れ替えるようにする場合には、最小ストップングセットの位置に消失が発生した場合においても、復号化側の再パディング部 1 6 1 により消失パケットを再パディングすることができるので、最小ストップングセットによる消失の訂正失敗を回避することができる。

**【 0 0 7 7 】**

(インタリーブ処理の他の例)

20

なお、本発明の実施の形態 1 におけるインタリーブ部 1 2 2 は、以下のような処理によりインタリーブを行うようにしても良い。

**【 0 0 7 8 】**

- ( 1 ) 検査行列 H に含まれる全ての最小ストップングセットを抽出する。
- ( 2 ) 組織化パケット列に対応する各変数ノードが、全ての最小ストップングセットの組み合わせからいくつの最小ストップングセットに含まれるかを検査する。
- ( 3 ) 含まれる最小ストップングセットの数が多い順に、組織化パケット列に対応する各変数ノードを並び替え、変数ノードリストを作成する。
- ( 4 ) 変数ノードリストの第一位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列 P 1 2 の最後尾のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。
- ( 5 ' ) 変数ノードリストから、第一位の変数ノードを含む最小ストップングセットに含まれる変数ノードを削除する。削除後の変数ノードリストの最上位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列の最後尾から 2 番目のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。
- ( 6 ' ) 以降、変数ノードリスト最上位の変数ノードを含む最小ストップングセットに含まれる変数ノードを削除し、削除後の変数ノードリストの最上位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列のパディングパケットとを置換して、インタリーブ処理を行う。

30

**【 0 0 7 9 】**

このようにすることで、最小ストップングセットを構成する変数ノードのうち、少なくとも一つの変数ノードの位置にパディングパケットが配置されるようになる。これにより、通信路 1 4 0 において消失するパケット数が多い場合においても、復号化側では、最小ストップングセットを構成する変数ノードのうち、少なくとも一つの変数ノードの位置に既知パケットを再パディングすることができるので、該当する最小ストップングセットによる消失訂正の失敗を回避することができる。

40

**【 0 0 8 0 】**

なお、上記インタリーブ処理のうち、( 1 ) ~ ( 3 ) の処理については、インタリーブ処理、符号化処理の度毎に実施する必要はなく、例えば、( 1 ) ~ ( 3 ) の処理を事前に実施し、その結果を消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に記憶しておくことにより、インタリーブ部 1 2 2 は、( 4 ) , ( 5 ' ) ( 6 ' ) の処理のみを行えば良い。

50

## 【 0 0 8 1 】

また、以上の説明では、パディング部 1 2 1 が付加するパディングパケットの位置が、情報パケット列の後部とする場合について説明したが、これに限られず、後部でなくても、符号化側・復号化側の双方で既知の位置であれば、情報パケット列の先頭でも中間でも良い。例えば、パディング部 1 2 1 が、情報パケット列の先頭にパディングパケットを付加した場合、インタリーブ部 1 2 2 は、変数ノードリストの最上位の位置のパケットと、組織化パケット列の最先頭のパケットを置換するインタリーブパターンを用いて、インタリーブ処理を行うようにしても良い。パディング部 1 2 1 が、情報パケット列の中間にパディングパケットを付加した場合は、インタリーブ部 1 2 2 は、同様に、中間のパケットを、変数ノードリスト記載されている変数ノードのパケットと順に置換する。

10

## 【 0 0 8 2 】

また、本実施の形態では、式 ( 1 ) に示される検査行列 H を用いた場合について説明したが、検査行列 H は式 ( 1 ) に示されるものに限られず、その他の検査行列を用いた場合でも本発明を用いることにより同様の効果を得ることができる。

## 【 0 0 8 3 】

また、本実施の形態では、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に、LDPC 符号のパラメータとして、検査行列 H、符号化パケット長 N、組織化パケット長 K、冗長パケット長 M、及びパディングパケット長 P が記憶されているとしたが、これらのパラメータは固定ではなく、可変としても良い。検査行列 H、符号化パケット長 N、組織化パケット長 K、冗長パケット長 M を可変とすることにより、複数の LDPC 符号をサポートすることができるようになる。このため、本発明を、例えば、通信路の消失確率等、通信状況により適応的に符号化率を切り替えるようなシステムに適用することができる。以下に、複数の LDPC 符号をサポートする消失訂正符号化装置について説明する。

20

## 【 0 0 8 4 】

図 9 に、消失訂正符号化装置 1 2 0 a の構成例を示す。なお、図 9 の消失訂正符号化装置 1 2 0 a において、図 3 と共通する構成部分には、図 3 と同一の符号を付して説明を省略する。図 9 の消失訂正符号化装置 1 2 0 a は、図 3 の消失訂正符号化装置 1 2 0 に対して、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に代えて、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 a を備える。

## 【 0 0 8 5 】

消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 a は、消失訂正符号化装置 1 2 0 a が適用されるシステムにおいて用いられる複数の LDPC 符号のパラメータセット ( 検査行列 H、符号化パケット長 N、組織化パケット長 K、冗長パケット長 M ) を記憶する。さらに、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 a は、消失訂正符号化装置 1 2 0 a の外部から入力されるパラメータ切り替えタイミング情報に応じて、用いる LDPC 符号のパラメータを切り換える。パラメータ切り替えタイミング情報としては、通信路の状況を表すインジケータ、送信情報源が変わったことを示すインジケータ、送信装置又は受信装置からのパラメータ変更要求などを用いることができる。これにより、パディング部 1 2 1 及び消失訂正符号化部 1 2 3 に送出されるパラメータが切り替えられる。このようにすることで、消失訂正符号化装置 1 2 0 a は、任意の LDPC 符号を用いて消失訂正符号化処理を行うことができる。

30

40

## 【 0 0 8 6 】

なお、パディングパケット長 P は、送信情報源のデータ量によって変動する。そのため、送信情報源が変わるような場合には、例えば、送信情報源から送信情報源が変わったことを示すインジケータを、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 a に送出する。次に、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 a は、インジケータに基づいて、パディングパケット長 P を再計算するようによれば良い。

## 【 0 0 8 7 】

( 消失訂正符号化装置の別の構成例 )

以上の説明では、消失訂正符号化装置は、インタリーブ部を備え、組織化パケット系列

50

の順番を並び替えるという構成を採った。ここで、インタリーブ処理を用いた組織化パケット系列の順番を並び替えるという処理は、消失訂正符号の検査行列  $H$  の列の順序を入れ替える事と等価である。そのため、先ず、消失訂正符号化パラメータ記憶部が、パディングパケット数に応じて、保持する検査行列  $H$  の列順序を置換する。次に、消失訂正符号化部が、列置換後の検査行列に基づいて、符号化を行う。この上記の構成を含む消失訂正符号化装置によれば、インタリーブ部を設けずとも、本発明の効果を得ることができる。

【0088】

この場合の消失訂正符号化装置の構成例を図10に示す。なお、図10の消失訂正符号化装置120bにおいて、図3と共通する構成部分には、図3と同一の符号を付して説明を省略する。図10の消失訂正符号化装置120bは、図3の消失訂正符号化装置120に対して、インタリーブ部122を削除し、消失訂正符号化パラメータ記憶部124に代えて、消失訂正符号化パラメータ記憶部124bを備える。

10

【0089】

消失訂正符号化パラメータ記憶部124bは、 $P = 2$  の時 ( $P$  : パディングパケット長)、パディングパケットが最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つになるように、式(1)で示される検査行列  $H$  の列を置換し、列置換後の検査行列  $H_{perm}$  を消失訂正符号化部123に送出する。例えば、 $P = 2$  の場合、列置換後の検査行列  $H_{perm}$  は、式(3)で与えられる。

【数3】

$$H_{perm} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

20

【0090】

検査行列  $H_{perm}$  は、検査行列  $H$  の2列目と5列目とが入れ替えられ、さらに、3列目と4列目とが入れ替えられた行列である。このとき、検査行列  $H_{perm}$  の最小ストップングセットは次のようになる。

30

【数4】

$$\begin{aligned} SS1 &= [1, 5, 9] && \dots (4-1) \\ SS2 &= [5, 3, 8] && \dots (4-2) \\ SS3 &= [2, 5, 9] && \dots (4-3) \\ SS4 &= [5, 6, 8] && \dots (4-4) \\ SS5 &= [3, 4, 7] && \dots (4-5) \\ SS6 &= [4, 6, 7] && \dots (4-6) \\ SS7 &= [4, 8, 9] && \dots (4-7) \end{aligned}$$

【0091】

組織化パケット列に対応する変数ノード1~5のうち、上記7個の最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノードは、変数ノード5である(7通り中4通り)。また、最小ストップングセットに次に多く含まれる変数ノードは、変数ノード4である(7通り中3通り)。

40

【0092】

したがって、インタリーブ部122を設けずとも、組織化パケット列に対応する変数ノード1~5のうち、最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノード5又は変数ノード4に、パディングパケットが割り当てられるようになる。このため、通信路140において、最小ストップングセットの位置に消失が発生したとしても、再パディング部161により再パディングすることができ、最小ストップングセットによる消失の訂正失敗を

50

回避することができる。

【0093】

なお、受信側の消失訂正復号化装置160においても、消失訂正復号化パラメータ記憶部164が、列置換後の検査行列 $H_{perm}$ を消失訂正復号化部162に送出することにより、図4に示す消失訂正復号化装置160の構成から、デインタリーブ部163を省く構成とすることができる。

【0094】

(実施の形態2)

本発明の実施の形態2は、消失訂正符号の符号化率を調整するために冗長パケットのパンクチャ・デパンクチャを行う通信システムにおける符号化側通信装置、復号化側通信装置を開示する。実施の形態1とは、パディングでなくパンクチャを行う点と、インタリーブ処理を消失訂正符号化処理後に適用する点が主に異なっている。

10

【0095】

図11は、本実施の形態2における消失訂正符号化装置の要部構成を示す図である。なお、図11において、図3と同一構成部分には同一符号を付して説明を省略する。図11の消失訂正符号化装置220は、消失訂正符号化部123、インタリーブ部221、パンクチャ部222、及び消失訂正符号化パラメータ記憶部124を備えて構成される。なお、以下では、実施の形態1と同様に、消失訂正符号化装置220が、J個の情報パケットを一つの単位として消失訂正符号化を行う場合を例に説明する。

【0096】

インタリーブ部221は、消失訂正符号化後に得られる符号化パケット列のうち、冗長パケット列の順序を並び替えるインタリーブ処理を行う。なお、インタリーブ処理については、後述する。

20

【0097】

パンクチャ部222は、消失訂正符号化パラメータ記憶部124に保持されているパンクチャパターンに従って、インタリーブ部221で並び替えられた冗長パケット列の一部のパケットをパンクチャする。なお、パンクチャ処理については、後述する。

【0098】

図12は、本実施の形態2における消失訂正復号化装置260の要部構成を示すブロック図である。なお、図12において、図4と同一構成部分には同一符号を付して説明を省略する。消失訂正復号化装置260は、デパンクチャ部261、デインタリーブ部262、消失訂正復号化部162、及び消失訂正復号化パラメータ記憶部164を備えて構成される。

30

【0099】

デパンクチャ部261は、符号化側でパンクチャした変数ノードに対応する位置に、空白パケットを挿入する。具体的には、デパンクチャ部261は、パンクチャしたパケットを消失パケットとして符号化パケット列を構成し、生成した符号化パケット列をデインタリーブ部262に送出する。

【0100】

デインタリーブ部262は、符号化側のインタリーブ部221で行った並び替え処理の逆の並び替え処理を行う。

40

【0101】

以下、上述のように構成された消失訂正符号化装置220及び消失訂正復号化装置260の動作について説明する。なお、以下では、消失訂正符号に用いるLDPC符号を定義する検査行列 $H$ として、実施の形態1と同様に、式(1)で示される行列を用いて消失訂正符号化・復号化を行う場合を例に説明する。

【0102】

(消失訂正符号化装置の動作)

図13(a)は、パケット生成部110から出力される5個のパケットからなる情報パケット列 $P_{21}$ を示している。なお、図11には、図13に対応するパケット列と同一の

50

符号が付されている。

【 0 1 0 3 】

消失訂正符号化部 1 2 3 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に保持されている検査行列 H に基づいて冗長パケット列を生成する。消失訂正符号化部 1 2 3 は、情報パケット列に冗長パケット列を付加した符号化パケット列 P 2 2 をインタリーブ部 2 2 1 に送出する。符号化パケット列 P 2 2 を図 1 3 ( b ) に示す。

【 0 1 0 4 】

インタリーブ部 2 2 1 では、消失訂正符号化部 1 2 3 から出力される符号化パケット列 P 2 2 のうち、冗長パケット列に対し並び替え ( インタリーブ ) 処理が行われる。インタリーブ処理について、図 1 4 及び図 1 5 を用いて説明する。

【 0 1 0 5 】

図 1 4 は、式 ( 1 ) の検査行列 H に対応するタナーグラフを示している。本実施の形態では、変数ノード 1 ~ 5 は、情報パケット列に対応し、変数ノード 6 ~ 1 0 は、消失訂正符号化によって得られる冗長パケット列に対応する。これら各変数ノードに対応するパケットを、図 1 4 において、各変数ノードの上側に併記する。

【 0 1 0 6 】

図 1 5 に、インタリーブ部 2 2 1 におけるインタリーブパターンの一例を示す。図 1 5 に示す例では、インタリーブパターンは、冗長パケットの並び順を右方向に 3 回巡回シフトしたパターンとなっている。インタリーブ部 2 2 1 は、インタリーブ後の冗長パケット列を情報パケット列に付加し、冗長パケット列付加後の符号化パケット列 P 2 3 をパンクチャ部 2 2 2 に送出する ( 図 1 3 ( c ) 参照 ) 。

【 0 1 0 7 】

パンクチャ部 2 2 2 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 2 4 に保持されているパンクチャパターンに基づいて、符号化パケット列 P 2 3 のうち、冗長パケット列をパンクチャする。図 1 6 に、パンクチャ部 2 2 2 におけるパンクチャパターンの一例を示す。図 1 6 に示す例では、3 番目と 4 番目の冗長パケットがパンクチャにより切り捨てられることを表している。したがって、パンクチャ部 2 2 2 は、符号化パケット列 P 2 3 のうち、冗長パケット 1 , 5 をパンクチャする。パンクチャ後の符号化パケット列 P 2 4 を、図 1 3 ( d ) に示す。パンクチャ後の符号化パケット列 P 2 4 は、符号化率 5 / 8 の LDPC 符号を適用したパケット列に相当する。パンクチャ部 2 2 2 は、パンクチャ後の符号化パケット列 P 2 4 を、送信装置 1 3 0 に送出する。

【 0 1 0 8 】

このときパンクチャされる冗長パケット 1 , 5 は、図 1 4 に示されるように、変数ノード 6 , 1 0 に対応する冗長パケットである。先に示した式 ( 2 - 1 ) ~ 式 ( 2 - 7 ) から分かるように、変数ノード 6 を含む最小ストップングセットは 2 個 ( S S 4 , S S 6 ) あり、変数ノード 1 0 を含む最小ストップングセットは 0 個である。

【 0 1 0 9 】

これに対し、消失訂正符号化装置 2 2 0 が、インタリーブ部 2 2 1 を備えない場合、パンクチャ部 2 2 2 は、符号化パケット列 P 2 2 のうち、冗長パケット 3 , 4 をパンクチャする。冗長パケット 3 , 4 は、変数ノード 8 , 9 に対応する冗長パケットである。式 ( 2 - 1 ) ~ 式 ( 2 - 7 ) から分かるように、変数ノード 8 を含む最小ストップングセットは 3 個 ( S S 2 , S S 4 , S S 7 ) あり、変数ノード 9 を含む最小ストップングセットも同様に 3 個 ( S S 1 , S S 3 , S S 7 ) ある。したがって、パンクチャ処理の前段でインタリーブ処理を行う場合に比べ、インタリーブ処理を行わない場合には、パンクチャ部 2 2 2 によってパンクチャされる冗長パケットに対応する変数ノードが、最小ストップングセットに多く含まれる場合がある。

【 0 1 1 0 】

このため、インタリーブ処理を行わない場合には、最小ストップングセットに含まれる数が多い変数ノードに対応する冗長パケットがパンクチャされた場合に、復号化側で施す消失訂正復号処理の復号性能が劣化してしまう。

10

20

30

40

50



## 【 0 1 1 1 】

そこで、本実施の形態では、インタリーブ部 2 2 1 は、最小ストップセットに含まれる数が少ない変数ノードに対応する冗長パケットを、パンクチャ部 2 2 2 がパンクチャする位置に並び替えるようにした。

## 【 0 1 1 2 】

このようにすることで、多くの最小ストップセットに含まれる変数ノードに対応する冗長パケットが、パンクチャ部 2 2 2 によってパンクチャされるのを回避することができるので、パンクチャが復号性能に与える影響を抑圧することができる。

## 【 0 1 1 3 】

( 消失訂正復号化装置の動作 )

図 1 7 は、消失訂正復号化装置 2 6 0 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 1 2 には、図 1 7 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

## 【 0 1 1 4 】

図 1 7 ( a ) は、受信装置 1 5 0 から出力される受信符号化パケット列 P 2 5 を示す。以下では、図 1 7 ( a ) において、×印が付されている情報パケット 3 が、通信路 1 4 0 で消失したと仮定して説明する。

## 【 0 1 1 5 】

デパンクチャ部 2 6 1 は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 6 4 に保持されているパンクチャパターン ( 図 1 6 参照 ) を元に、パンクチャしたパケット位置に空白パケットを挿入する。デパンクチャ後の符号化パケット列 P 2 6 を、図 1 7 ( b ) に示す。

## 【 0 1 1 6 】

デインタリーブ部 2 6 2 は、符号化側のインタリーブ部 2 2 1 で行った並び替え処理の逆の処理を行う。図 1 8 に、デインタリーブ部 2 6 2 のデインタリーブパターンを示す。図 1 8 のデインタリーブパターンは、図 1 5 のインタリーブ処理と逆の処理を行うパターンであり、冗長パケット列を左方向に 3 回巡回シフトするものである。デインタリーブ後の符号化パケット列 P 2 7 を、図 1 7 ( c ) に示す。デインタリーブ部 2 6 2 は、デインタリーブ後の符号化パケット列 P 2 7 を、消失訂正復号化部 1 6 2 に送出する。

## 【 0 1 1 7 】

消失訂正復号化部 1 6 2 は、消失訂正復号化処理を行い、消失した情報パケット 3 を復元し、消失訂正復号化後のパケット列 P 2 8 ( 図 1 7 ( d ) 参照 ) をパケットデコード部 1 7 0 へ送出する。

## 【 0 1 1 8 】

以上のように、本実施の形態によれば、消失訂正符号化装置 2 2 0 は、パンクチャ部 2 2 2 の前段にインタリーブ部 2 2 1 に設け、インタリーブ部 2 2 1 は、パンクチャ部 2 2 2 がパンクチャする位置に、最小ストップセットに含まれる数が少ない変数ノードに対応する冗長パケットを優先的に割り当てるようにした。これにより、パンクチャによって最小ストップセットに消失パケットが重なる確率を低減することができ、この結果、通信システムにおける消失訂正符号の性能を向上することができる。

## 【 0 1 1 9 】

なお、以上の説明では、インタリーブ部 2 2 1 が、冗長パケット列を右方向に 3 回巡回シフトし、これに対応し、デインタリーブ部 2 6 2 が、冗長パケットを左方向に 3 回巡回シフトする場合を例に説明したが、このようなインタリーブ・デインタリーブパターンに限定するものではなく、最小ストップセットに含まれる回数が多い変数ノードに対応する冗長パケットが、パンクチャパケットにならないようにするインタリーブパターン、及びこのパターンに対応するデインタリーブパターンであれば、本発明の効果を得ることができる。

## 【 0 1 2 0 】

( 他の構成例 )

以上の説明では、図 1 1 に示される消失訂正符号化装置 2 2 0、及び図 1 2 で示される消失訂正復号化装置 2 6 0 を用いて、消失訂正符号化・復号化する場合について説明した

10

20

30

40

50

が、上記構成に限るものではない。例えば、図 19 に示される消失訂正符号化装置、及び図 20 で示される消失訂正復号化装置を用いても良い。

【0121】

図 19 に、本実施の形態における消失訂正符号化装置の他の構成例を示す。図 19 の消失訂正符号化装置 320 は、消失訂正符号化部 321、インタリーブ部 322、パンクチャ部 323、消失訂正符号化パラメータ記憶部 324、及びパケット結合部 325 を備えて構成される。

【0122】

消失訂正符号化部 321 は、パケット生成部 110 から出力される組織化パケット列に対して、消失訂正符号化パラメータ記憶部 324 に保持されている検査行列に基づいて消失訂正符号化処理を行う。消失訂正符号化部 321 は、符号化処理により得られた冗長パケット列をインタリーブ部 322 に送出する。

【0123】

インタリーブ部 322 は、消失訂正符号化部 321 から出力される冗長パケット列に対し、インタリーブ処理を施す。インタリーブ部 322 は、インタリーブ処理を施した冗長パケット列をパンクチャ部 323 に送出する。

【0124】

パンクチャ部 323 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 324 に保持されているパンクチャパターンに従って、インタリーブされた冗長パケット列のパンクチャを行う。パンクチャ部 323 はパンクチャした後のパケット列（パンクチャパケット列）をパケット結合部 325 に送出する。

【0125】

パケット結合部 325 は、組織化パケット列の後部にパンクチャパケット列を結合し、送信装置 130 へ送出する。

【0126】

このように、パケット結合部 325 を設け、情報パケット列と冗長パケット列とを合成するようにすることで、インタリーブ部 221 及びパンクチャ部 222 に比べ、インタリーブ部 322 及びパンクチャ部 323 では、メモリ長が少なく済むので、消失訂正符号化装置 220 に比べ、消失訂正符号化装置 320 の回路規模を削減することができる。

【0127】

図 20 に、本実施の形態における消失訂正復号化装置の他の構成例を示す。図 20 の消失訂正復号化装置 360 は、パケット分割部 361、デパンクチャ部 362、デインタリーブ部 363、消失訂正復号化部 364、及び消失訂正復号化パラメータ記憶部 365 を備えて構成される。

【0128】

パケット分割部 361 は、受信パケット列を、組織化パケット列に相当する部分と、冗長パケット列に相当する部分に分割する。パケット分割部 361 は、組織化パケット列に相当するパケット列を消失訂正復号化部 364 に送出し、冗長パケット列に相当するパケット列をデパンクチャ部 362 に送出する。

【0129】

デパンクチャ部 362 は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 365 に保持されているデパンクチャパターンに基づいて冗長パケット列にデパンクチャ処理を行う。デパンクチャ部 362 は、デパンクチャした冗長パケット列（デパンクチャパケット列）をデインタリーブ部 363 に送出する。

【0130】

デインタリーブ部 363 は、デパンクチャパケット列に対してデインタリーブ処理を行う。デインタリーブ部 363 は、デインタリーブしたパケット列（デインタリーブパケット列）を消失訂正復号化部 364 に送出する。

【0131】

消失訂正復号化部 364 は、パケット分割部 361 から出力される組織化パケット列と

10

20

30

40

50

、デインタリーブ部 3 6 3 から出力されるデインタリーブパケット列とを結合し、結合したパケット列に対し、消失訂正復号化パラメータ記憶部 3 6 5 に保持されている検査行列 H に基づいて、消失訂正復号化処理を行う。消失訂正復号化部 3 6 4 は、消失訂正復号化したパケット列をパケットデコード部 1 7 0 に送出する。

【 0 1 3 2 】

このように、パケット分割部 3 6 1 を設け、冗長パケット列にのみデパンクチャ・デインタリーブを行うにすることで、デパンクチャ部 2 6 1 及びデインタリーブ部 2 6 2 に比べ、デパンクチャ部 3 6 2 及びデインタリーブ部 3 6 3 では、メモリ長が少なく済むので、消失訂正復号化装置 2 6 0 に比べ、消失訂正復号化装置 3 6 0 の回路規模を削減することができる。

10

【 0 1 3 3 】

なお、本実施の形態では、消失訂正符号の符号化率を調整するために冗長パケットをパンクチャ・デパンクチャする場合について説明したが、これに限るものではなく、情報パケットをパンクチャ・デパンクチャする場合や、情報パケット及び冗長パケットの双方をパンクチャ・デパンクチャする場合においても、本発明を適用することができる。この場合、パンクチャ部 2 2 2 が、最小ストップセットに含まれる数が少ない変数ノードに対応する情報パケット又は冗長パケットを優先的にパンクチャするように、インタリーブ部 2 2 1 が、パケット系列の順序をインタリーブするようにすれば良い。

【 0 1 3 4 】

(実施の形態 3)

本発明の実施の形態 3 は、実施の形態 2 で開示した消失訂正符号化部とパンクチャ部との間にインタリーブ部を設ける上記構成を、ビット毎の誤り訂正符号化を行う通信装置に適用した場合について開示する。実施の形態 2 では、パケット単位に消失訂正符号化、パンクチャ、インタリーブを施す場合について説明したが、本実施の形態では、ビット単位に消失訂正符号化、パンクチャ、インタリーブを施す。

20

【 0 1 3 5 】

図 2 1 に、本発明の実施の形態 3 における通信システムの構成例を示す。図 2 1 の通信システム 4 0 0 は、送信装置 5 0 0、通信路 4 1 0、及び受信装置 6 0 0 から構成される。

【 0 1 3 6 】

送信装置 5 0 0 は、符号化部 5 1 0、変調部 5 2 0、及び送信部 5 3 0 から構成される。また、受信装置 6 0 0 は、受信部 6 1 0、復調部 6 2 0、及び復号化部 6 3 0 から構成される。

30

【 0 1 3 7 】

符号化部 5 1 0 は、情報ビット系列に対して誤り訂正符号化処理を施し、元の情報ビット系列に冗長性を持たせたビット系列(符号化ビット系列)を生成する。符号化部 5 1 0 は、符号化ビット系列を変調部 5 2 0 に出力する。

【 0 1 3 8 】

変調部 5 2 0 は、符号化ビット系列に対して、符号化ビット系列を通信路 4 1 0 で送信するために必要なデジタル変調処理を施す。デジタル変調処理としては、チャンネルインタリーブ、デジタル変調、システムによっては、拡散、マルチキャリア変調、プリコーディング、多重化などの処理を行う。変調部 5 2 0 は変調信号を送信部 5 3 0 へ出力する。

40

【 0 1 3 9 】

送信部 5 3 0 は、変調信号に対し、D / A (Digital to Analog) 変換、周波数変換、フィルタリング、波形整形などのアナログ変調処理を行い、通信路 4 1 0 に送信信号を送信する。

【 0 1 4 0 】

通信路 4 1 0 は、送信装置 5 0 0 から送信された信号が、受信装置 6 0 0 で受信されるまでに通る通信経路を示す。通信路として、イーサネット(登録商標)、電力線、メタルケーブル、光ファイバ、無線、光(可視光、赤外線など)や、これらを組み合わせたもの

50

を使用することができる。

【 0 1 4 1 】

受信部 6 1 0 は、通信路 4 1 0 を通って受信された信号に対し、A / D (Analog to Digital) 変換、周波数変換、フィルタリング、波形整形などのアナログ復調処理を行い、結果として得られる受信ベースバンド信号を復調部 6 2 0 に出力する。

【 0 1 4 2 】

復調部 6 2 0 は、受信ベースバンド信号に対して、等化、デジタル復調、デインタリーブ、逆拡散、マルチキャリア復調などのデジタル復調処理を行い、送信された符号化ビットが 1 であるか 0 であるかの確率を求め、その確率からなる系列、すなわち尤度系列を復号化部 6 3 0 に出力する。一般には、1 である確率の対数を取った値と 0 である確率の対数を取った値との比 (対数尤度比) を尤度系列として用いる。

10

【 0 1 4 3 】

復号化部 6 3 0 は、復調後に得られる尤度系列に対し、誤り訂正復号処理を行い、受信ビット系列を得る。

【 0 1 4 4 】

図 2 2 は、符号化部 5 1 0 の構成を示すブロック図である。図 2 2 の符号化部 5 1 0 は、誤り訂正符号化部 5 1 1、インタリーブ部 5 1 2、及びパンクチャ部 5 1 3 から構成される。

【 0 1 4 5 】

誤り訂正符号化部 5 1 1 は、入力されたビット系列に対して LDPC 符号化を行い、得られた符号化ビット系列をインタリーブ部 5 1 2 に出力する。

20

【 0 1 4 6 】

インタリーブ部 5 1 2 は、符号化ビット系列のビット順序の並び替えを行い、並び替えた後の符号化ビット系列 (インタリーブドビット系列) をパンクチャ部 5 1 3 に出力する。

【 0 1 4 7 】

パンクチャ部 5 1 3 は、インタリーブドビット系列から、あらかじめ決められた順番にあるビットを取り除き、残ったインタリーブドビットのみを変調部 5 2 0 に出力する。

【 0 1 4 8 】

図 2 3 は、復号化部 6 3 0 の構成を示すブロック図である。図 2 3 の復号化部 6 3 0 は、デパンクチャ部 6 3 1、デインタリーブ部 6 3 2、及び誤り訂正復号部 6 3 3 から構成される。

30

【 0 1 4 9 】

デパンクチャ部 6 3 1 は、復調部 6 2 0 から出力される尤度系列のあらかじめ決められた位置にデパンクチャ値を挿入する。尤度系列として対数尤度比を用いる場合は、デパンクチャ値として 0 を用いる。デパンクチャ部 6 3 1 は、デパンクチャ後の尤度系列をデインタリーブ部 6 3 2 に出力する。

【 0 1 5 0 】

デインタリーブ部 6 3 2 は、デパンクチャされた尤度系列に対して、符号化側で施したインタリーブと逆の処理を行い、デインタリーブ後の尤度系列を誤り訂正復号部 6 3 3 に出力する。

40

【 0 1 5 1 】

誤り訂正復号部 6 3 3 は、デインタリーブ後の尤度系列に対し、誤り訂正復号処理を施し、誤り訂正復号後に得られるビット系列を出力する。

【 0 1 5 2 】

以下、上述のように構成された通信システムのうち、主に符号化部 5 1 0 及び復号化部 6 3 0 の動作を中心に説明する。

【 0 1 5 3 】

情報ビット系列を  $b(i)$  ( $i = 1, \dots, K$ ) とすると、誤り訂正符号化部 5 1 1 は、LDPC 符号を定義する検査行列  $H$  と  $b(i)$  とを用いて、冗長ビット系列  $p(i)$  ( $i =$

50

1, ..., M) を生成する。誤り訂正符号化部 5 1 1 は、 $b(i)$  の後に  $p(i)$  を接続し、符号化ビット系列  $c(i) = [b(1), \dots, b(K), p(1), \dots, p(M)]$  ( $i = 1, \dots, N (= K + M)$ ) を生成し、生成した符号化ビット系列  $c(i)$  をインタリーブ部 5 1 2 に出力する。

【0154】

インタリーブ部 5 1 2 は、符号化ビット系列  $c(i)$  のうち、冗長ビット系列に相当する系列  $c(j)$  ( $j = K + 1, \dots, N$ ) の並び替えを行う。インタリーブ部 5 1 2 は、本発明の実施の形態 2 で説明したように、検査行列  $H$  の最小ストップングセットを構成する変数ノードに基づいてインタリーブを施す。一例として、インタリーブ部 5 1 2 は、多くの最小ストップングセットに含まれる冗長ビットがパンクチャにより消去されないように 10  
インタリーブを行う。この場合のインタリーブパターンは、誤り訂正符号化に使用した検査行列  $H$  とパンクチャ部 5 1 3 で適用するパンクチャパターンとから事前に決定される。インタリーブ部 5 1 2 は、冗長ビット系列をインタリーブして得られるインタリーブドビット系列  $c_i(i)$  ( $i = 1, \dots, N$ ) をパンクチャ部 5 1 3 に出力する。

【0155】

パンクチャ部 5 1 3 は、インタリーブドビット系列  $c_i(i)$  の冗長ビット系列部の一部をパンクチャする。パンクチャ部 5 1 3 は、パンクチャにより得られたパンクチャビット系列  $c_p(i)$  ( $i = 1, \dots, T, K - T - N$ ) を変調部 5 2 0 に出力する。

【0156】

以上のように、本実施の形態によれば、インタリーブ部 5 1 2 は、LDPC 検査行列  $H$  20  
の最小ストップングセットを構成する変数ノードに基づいて誤り訂正符号化後のビット系列の順序を並び替え、パンクチャ部 5 1 3 は、インタリーブ後のビット系列をパンクチャするようにした。より具体的には、インタリーブ部 5 1 2 は、LDPC 検査行列  $H$  の最小ストップングセットに含まれる数が少ない変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置の packets を、パンクチャ部 5 1 3 がパンクチャする位置に優先的に配置するようにした。

【0157】

このようにすることで、多くの最小ストップングセットに含まれる冗長ビットをパンクチャしてしまうことによる誤り訂正復号特性の劣化を回避することができ、この結果、通信システムにおける誤り訂正性能を向上することができる。 30

【0158】

(他の構成例)

以上の説明では、図 2 2 に示される符号化部 5 1 0、及び図 2 3 に示される復号化部 6 3 0 を用いて、誤り訂正符号化・復号化する場合について説明したが、上記構成に限るものではなく、例えば、図 2 4 に示される符号化部、及び図 2 5 に示される復号部を用いても良い。

【0159】

図 2 4 に、本実施の形態における符号化部の他の構成例を示す。図 2 4 の符号化部 7 1 0 は、誤り訂正符号化部 7 1 1、インタリーブ部 7 1 2、パンクチャ部 7 1 3、及びビット系列結合部 7 1 4 を備える。 40

【0160】

誤り訂正符号化部 7 1 1 は、情報ビット系列に対して、検査行列に基づいて誤り訂正符号化処理を行う。誤り訂正符号化部 7 1 1 は、符号化処理により得られた冗長ビット系列をインタリーブ部 7 1 2 に出力する。

【0161】

インタリーブ部 7 1 2 は、誤り訂正符号化部 7 1 1 から出力される冗長ビット系列に対し、インタリーブ処理を施す。インタリーブ部 7 1 2 は、インタリーブ処理を施した冗長ビット系列をパンクチャ部 7 1 3 に出力する。

【0162】

パンクチャ部 7 1 3 は、パンクチャパターンに従ってインタリーブされた冗長ビット系 50

列をパンクチャする。パンクチャ部 713 は、パンクチャ後のビット系列（パンクチャビット系列）をビット系列結合部 714 に出力する。

【0163】

ビット系列結合部 714 は、送信ビット系列の後部にパンクチャビット系列を結合し、変調部 520 へ出力する。

【0164】

図 25 に、本実施の形態における復号化部の他の構成例を示す。図 25 の復号化部 830 は、ビット系列分割部 831、デパンクチャ部 832、デインタリーブ部 833、及び誤り訂正復号部 834 を備える。

【0165】

ビット系列分割部 831 は、受信ビット系列を、組織化ビット系列に相当する部分と、冗長ビット系列に相当する部分とに分割する。ビット系列分割部 831 は、組織化ビット系列に相当するビット系列を誤り訂正復号部 834 に出力し、冗長ビット系列に相当するビット系列をデパンクチャ部 832 に出力する。

【0166】

デパンクチャ部 832 は、デパンクチャパターンに基づいて、冗長ビット系列をデパンクチャする。デパンクチャ部 832 は、デパンクチャ後の冗長ビット系列（デパンクチャビット系列）をデインタリーブ部 833 に出力する。

【0167】

デインタリーブ部 833 は、デパンクチャビット系列に対してデインタリーブ処理を行う。デインタリーブ部 833 は、デインタリーブしたビット系列（デインタリーブビット系列）を誤り訂正復号部 834 に出力する。

【0168】

誤り訂正復号部 834 は、ビット系列分割部 831 から出力される組織化ビット系列と、デインタリーブ部 833 から出力されるデインタリーブビット系列とを結合し、結合したビット系列に対し、検査行列に基づいて誤り訂正復号処理を行う。誤り訂正復号部 834 は誤り訂正復号化したビット系列を出力する。

【0169】

このような構成を採ることで、多くの最小ストップセットに含まれる冗長ビットをパンクチャしてしまうことによる誤り訂正復号特性の劣化を回避することができるという本発明の効果を享受することができる。

【0170】

（実施の形態 4）

実施の形態 1 では、パディングにより符号化率を調整する消失訂正符号化装置について説明した。具体的には、組織化パケット列に対応する変数ノードのうち、最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置に、既知パケットを割り当てて符号化するためのインタリーブ部及び消失生成符号化部を消失訂正符号化装置が備える構成とした。本実施の形態では、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置に、既知パケットを割り当てて符号化する消失訂正符号化装置、及びその復号を行う消失訂正復号化装置について説明する。

【0171】

図 26 は、本発明の実施の形態 4 における通信システムの全体構成図である。なお、図 26 の本実施の形態における通信システムにおいて、図 1 と共通する構成部分には、図 1 と同一の符号を付して説明を省略する。図 26 において、通信システムは、パケット生成部 110、消失訂正符号化装置 920、送信装置 130、通信路 140、受信装置 150、消失訂正復号化装置 960、及びパケットデコード部 170 から構成される。同図において、パケット生成部 110、消失訂正符号化装置 920、及び送信装置 130 は、符号化側に対応し、受信装置 150、消失訂正復号化装置 960、及びパケットデコード部 170 は、復号化側に対応する。

【0172】

10

20

30

40

50

消失訂正符号化装置 920 は、パケット生成部 110 から出力される情報パケットに対し消失訂正符号化処理を行う。具体的には、消失訂正符号化装置 920 は、消失訂正符号化処理として、符号化で決められた数の情報パケット毎に冗長パケットを付加する。消失訂正符号化装置 920 は、情報パケット及び冗長パケットを送信装置 130 へ送出する。以降、情報パケット及び冗長パケットを送信パケットと呼ぶ。

【0173】

消失訂正復号化装置 960 は、受信パケット中に消失したパケットがある場合は、符号化側の消失訂正符号化装置 920 で付加された冗長パケットを利用して、消失したパケットの復元処理を行う。消失訂正復号化装置 960 は、復元処理を行った受信パケットのうち、情報パケットに相当するパケットのみをパケットデコード部 170 に送出する。一方、受信パケット中に消失したパケットがない場合は、復号処理を行わず、受信パケットのうち、情報パケットに相当するパケットのみをパケットデコード部 170 に送出する。

10

【0174】

図 27 は、本発明の実施の形態 4 における消失訂正符号化装置 920 の要部構成を示す図である。消失訂正符号化装置 920 は、消失訂正符号として、低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check) 符号を用いる。以下では、消失訂正符号化装置 920 が、J 個の情報パケットを一つの単位として消失訂正符号化を行う場合を例に説明する。パケット生成部 110 は、生成した情報パケットを J パケットずつ消失訂正符号化装置 920 に送出する。なお、情報パケット数 J は、送信する情報の総容量、時間あたりの送信パケット数から決定される。

20

【0175】

消失訂正符号化装置 920 は、パディング部 921、インタリーブ部 922、消失訂正符号化部 923、及び消失訂正符号化パラメータ記憶部 924 から構成される。

【0176】

消失訂正符号化パラメータ記憶部 924 には、消失訂正符号化に用いる LDPC 符号のパラメータが記憶されている。具体的には、LDPC 符号のパラメータとして、検査行列 H、符号化パケット長 N、組織化パケット長 K、冗長パケット長 M、及びパディングパケット長 P が記憶されている。

【0177】

パディング部 921 は、パケット生成部 110 から出力される J 個の情報パケットの後部に、符号化側及び復号化側の双方が既知のパディングパケットを付加し、K 個のパケットからなる組織化パケット列を生成する。パディング部 921 は、組織化パケット列をインタリーブ部 922 に送出する。

30

【0178】

インタリーブ部 922 は、組織化パケット列のパケットの順序を並び替えるインタリーブ処理を行う。インタリーブ部 922 は、インタリーブ後の組織化パケット列 (以下「インタリーブドパケット列」という) を消失訂正符号化部 923 に送出する。なお、インタリーブ処理については、後述する。

【0179】

消失訂正符号化部 923 は、インタリーブドパケット列に対し、消失訂正符号化パラメータ記憶部 924 に保持されている検査行列 H に基づいて、LDPC 符号化処理を行い、冗長パケット列を生成する。さらに、消失訂正符号化部 923 は、インタリーブドパケット列に生成した冗長パケット列を付加し、冗長パケット列付加後の符号化パケット列を送信装置 130 へ送出する。なお、消失訂正符号化方法については、後述する。

40

【0180】

図 28 は、本発明の実施の形態 4 における消失訂正復号化装置 960 の要部構成を示す図である。消失訂正復号化装置 960 は、再パディング部 961、消失訂正復号化部 962、デインタリーブ部 963、及び消失訂正復号化パラメータ記憶部 964 から構成される。

【0181】

50

消失訂正復号化パラメータ記憶部 9 6 4 には、消失訂正符号化・復号化に用いる L D P C 符号のパラメータが記憶されている。

【 0 1 8 2 】

再パディング部 9 6 1 は、受信パケット列に消失があり、かつ、その消失がパディングパケットである場合、消失パケットの位置に再度パディングパケットを挿入する。再パディング部 9 6 1 は、再パディングしたパケット列（再パディングパケット列）を消失訂正復号化部 9 6 2 に送出する。

【 0 1 8 3 】

消失訂正復号化部 9 6 2 は、検査行列 H に基づき、再パディングパケット列の消失訂正復号処理を行い、復号結果のうち、組織化パケット列に対応するパケットのみを抽出し、抽出した消失訂正後の組織化パケット列をデインタリーブ部 9 6 3 に送出する。

10

【 0 1 8 4 】

デインタリーブ部 9 6 3 は、消失訂正後の組織化パケット列に対し、符号化側で施したインタリーブ処理と逆の並び替え処理（デインタリーブ処理）を施す。デインタリーブ部 9 6 3 は、デインタリーブ処理を施した組織化パケット列のうち、情報パケット列に相当するパケットのみ、パケットデコード部 1 7 0 に送出する。

【 0 1 8 5 】

以下、消失訂正符号化装置 9 2 0 及び消失訂正復号化装置 9 6 0 の動作を説明する。なお、以下では、パケット生成部 1 1 0 から 3 つの情報パケット（ $J = 3$ ）が出力される場合を例に説明する。また、消失訂正符号に用いる L D P C 符号を定義する検査行列 H として、上述した式（1）で示される行列を用いて消失訂正符号化・復号化を行う場合を例に説明する。式（1）の検査行列 H は、符号化パケット長  $N = 10$ 、組織化パケット長  $K = 5$ 、冗長パケット長  $M = 5$  の場合の例である。

20

【 0 1 8 6 】

（消失訂正符号化装置の動作）

図 2 9 は、消失訂正符号化装置 9 2 0 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 2 7 には、図 2 9 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

【 0 1 8 7 】

図 2 9（a）は、パケット生成部 1 1 0 から出力される情報パケット列 P 3 1 を示している。情報パケット列 P 3 1 は、3 個の情報パケットからなっている。

30

【 0 1 8 8 】

パディング部 9 2 1 は、パケット生成部 1 1 0 から出力される情報パケット列 P 3 1 の後部に、 $2 (= P = K - J)$  個のパディングパケットからなるパディングパケット列を付加し、5 個のパケットからなる組織化パケット列 P 3 2 を生成する（図 2 9（b）参照）。

【 0 1 8 9 】

インタリーブ部 9 2 2 では、組織化パケット列 P 3 2 にインタリーブ処理を施す。實際上、インタリーブ部 9 2 2 は、以下のような処理によりインタリーブを行う。

【 0 1 9 0 】

（インタリーブ処理）

40

（1）検査行列 H に含まれる全ての最小ストップングセットを抽出する。

（2）冗長パケットに対応する各変数ノードが、全ての最小ストップングセットの組み合わせから、いくつの最小ストップングセットに含まれるかを検査する。

（3）含まれる最小ストップングセットの数が多い順に、冗長パケットに対応する各変数ノードを並び替える。以下、並び替えた結果を変数ノードリストと呼ぶ。

（4）変数ノードリストの第一位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列 P 3 2 の最後尾のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。

（5）次に、変数ノードリストの第二位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列の最後尾から 2 番目のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。

（6）以降、変数ノードリストの順位が高い変数ノードに対応する冗長パケットから順

50



に、パディングパケットと置換して、インタリーブ処理を行う。

【 0 1 9 1 】

なお、上記インタリーブ処理のうち、( 1 ) ~ ( 3 ) の処理については、インタリーブ処理、符号化処理の度毎に実施する必要はなく、例えば、( 1 ) ~ ( 3 ) の処理を事前に実施し、その結果を消失訂正符号化パラメータ記憶部 9 2 4 に記憶させておくことにより、インタリーブ部 9 2 2 は、( 4 ) ~ ( 6 ) の処理のみを行えば良い。

【 0 1 9 2 】

このようにして、インタリーブ部 9 2 2 は、インタリーブ処理として、組織化パケット列 P 3 2 の後部に位置するパケットを、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、LDPC符号化に用いる検査行列 H の最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つに対応する冗長パケットの位置に並び替えるという処理を行う。つまり、インタリーブ部 9 2 2 は、組織化パケット列 P 3 2 の後部に位置するパケットを、LDPC符号化に用いる検査行列 H の最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つに対応する冗長パケットの位置に並び替える。これにより、インタリーブ部 9 2 2 は、最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置にパディングパケットを割り当てる。

【 0 1 9 3 】

上述した( 1 ) ~ ( 6 ) の手順を行う場合には、最小ストップングセットに含まれる数が多い変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置に、パディングパケットが優先的に割り当てられるようになる。インタリーブ処理について、再度式( 1 ) で与えられる検査行列 H を用いて説明する。

【 0 1 9 4 】

式( 1 ) で与えられる検査行列 H の最小ストップングセットサイズは 3 であり、その変数ノードの組み合わせは、先に式( 2 - 1 ) ~ 式( 2 - 7 ) に示したように 7 通りある。

【 0 1 9 5 】

冗長パケット列に対応する変数ノード 6 ~ 1 0 のうち、上記 7 個の最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノードは、変数ノード 8 及び変数ノード 9 である( 7 通り中 3 通り )。

【 0 1 9 6 】

インタリーブ部 9 2 2 は、組織化パケット列 P 3 2 の最後尾にあるパケット( パディングパケット 2 ) の位置を、変数ノード 8 の位置に変更する( インタリーブする )。また、組織化パケット列 P 3 2 の最後尾から 2 番目にあるパケット( パディングパケット 1 ) の位置を変数ノード 9 の位置に変更する( インタリーブする )。

【 0 1 9 7 】

このように、インタリーブ部 9 2 2 は、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、検査行列 H の最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置に、組織化パケット列 P 3 2 の後部のパディングパケットを割り当てるという処理を行う。この結果、図 2 9 ( c ) に示すようなインタリーブドパケット列 P 3 3 が得られる。

【 0 1 9 8 】

このようにすることで、冗長パケット列に対応する変数ノード 6 ~ 1 0 のうち、最小ストップングセットに最も多く含まれる変数ノード 8 と、変数ノード 9 の位置に、パディングパケット 2 , 1 が配置されるようになる。パディングパケット 2 , 1 は、既知パケットであるので、通信路 1 4 0 において、変数ノード 8 , 9 に位置するパディングパケット 2 , 1 が消失しても、復号化側の消失訂正復号化装置 9 6 0 の再パディング部 9 6 1 は、消失したパディングパケット 2 , 1 を再パディングすることができる。したがって、変数ノード 8 , 9 が含まれる最小ストップングセットの他の変数ノードに位置するパケットが消失してしまった場合においても、消失訂正復号化部 9 6 2 が消失訂正復号できる可能性がある。

【 0 1 9 9 】

一方、インタリーブ処理を施さず、変数ノード 8 , 9 に位置する冗長パケット 3 , 4 が消失した場合には、冗長パケット 3 , 4 は既知でない。このため、再パディング部 9 6 1

10

20

30

40

50

は、再パディングすることが困難となる。また、変数ノード 8, 9 が含まれる最小ストップピングセットの他の変数ノードに位置するパケットが消失してしまった場合には、消失訂正復号化部 962 が消失訂正復号処理を失敗する可能性が高くなる。

【0200】

消失訂正符号化部 923 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 924 に保持されている検査行列 H に基づいて、情報パケット 4, 5 及び冗長パケット 1, 2, 5 を生成し、インタリーブパケット列 P33 に付加することで、図 29 (d) に示すような、N 個のパケットから構成される符号化パケット列 P34 を生成する。

【0201】

なお、符号化処理の一例として、消失訂正符号化部 923 は、検査行列 H の列が置換された置換後の検査行列  $H_{perm}$  に基づいて符号化処理を施す。置換後の検査行列  $H_{perm}$  は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 924 に保持されている検査行列 H の列が、1, 2, 3, 8, 9, 4, 5, 6, 7, 10 の順に置換された行列である。したがって、消失訂正符号化部 923 は、置換後の検査行列  $H_{perm}$  に基づいて符号化処理を施すことにより、情報パケット 4, 5 及び冗長パケット 1, 2, 5 を生成する。また、消失訂正符号化部 923 は、得られた情報パケット 4, 5 及び冗長パケット 1, 2, 5 を、図 29 (d) に示すように配置して符号化パケット列 P34 を取得し、当該符号化パケット列 P34 を送信装置 130 に出力する。

【0202】

このように、インタリーブ部 922 は、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、検査行列 H の最小ストップピングセットに最も多く含まれる変数ノードに対応する位置に、パディングパケットを優先的に割り当てる。このようにすることで、消失訂正に最も影響を与える変数ノードに対応する位置のパケットが消失してしまった場合においても、復号化側の消失訂正復号化装置 960 の再パディング部 961 において、既知のパディングパケットが再パディングされるので、消失訂正復号できる割合を高くすることができるようになる。

【0203】

(消失訂正復号化装置の動作)

次に、消失訂正復号化装置 960 の動作について説明する。図 30 は、消失訂正復号化装置 960 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 28 には、図 30 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

【0204】

図 30 (a) は、受信装置 150 から出力される受信パケット列 P35 を示す。図 30 (a) において、×印が付されている 3 つのパケットは、通信路 140 で消失したパケットを表す。図 30 (a) は、2 番目、4 番目、及び 8 番目のパケットが消失した例を示している。消失した 3 つのパケットに相当する変数ノードは、変数ノード 2, 4, 8 であり、これら変数ノードの組み合わせ (2, 4, 8) は、式 (2-2) で示される最小ストップピングセット SS2 に一致する。また、消失パケットのうち一つ (8 番目のパケット) は、符号化側でパディングしたパディングパケット 1 である。

【0205】

再パディング部 961 は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 964 に保持されているパディングパケット数  $P (= 2)$  とデインタリーブ部 963 で行われるデインタリーブのパターンとから、符号化側でパディングパケットを挿入した位置を決定する。さらに、再パディング部 961 は、消失したパケットにパディングパケットが含まれるか否か判定し、消失したパケットにパディングパケットが含まれる場合、その位置に再度該当するパディングパケットを挿入する。

【0206】

また、消失したパケットにパディングパケットが含まれない場合は、再パディング部 961 は、再パディングを行わずに受信パケット列 P35 を消失訂正復号化部 962 に送出する。ここでは、8 番目の位置にあるパケットはパディングパケット 1 であるため、再パ

10

20

30

40

50

ディング部 9 6 1 は、8 番目のパケット位置にパディングパケット 1 を挿入する。この結果、図 3 0 ( b ) のパケット列 P 3 6 が得られる。

【 0 2 0 7 】

消失訂正復号化部 9 6 2 は、パケット列 P 3 6 のうち、組織化パケット列に消失が含まれている場合は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 9 6 4 に保持されている検査行列 H に基づいて消失訂正復号処理を行う。消失訂正復号処理としては、上述した反復復号アルゴリズムなどを用いることができる。消失訂正復号化部 9 6 2 は、復号処理が終了した後、図 3 0 ( c ) で示すように、復号後パケット列 P 3 7 をデインタリーブ部 9 6 3 に送出する。

【 0 2 0 8 】

一方、パケット列 P 3 6 に消失が含まれない場合、もしくは消失が冗長パケット列にのみ含まれている場合は、消失訂正復号化部 9 6 2 は、消失訂正復号処理を行わず、組織化パケット列 P 3 7 をデインタリーブ部 9 6 3 に送出する。

【 0 2 0 9 】

デインタリーブ部 9 6 3 は、組織化パケット列 P 3 7 に対し、符号化側のインタリーブ部 9 2 2 で施したインタリーブ処理の逆の処理を施し、パケットを並び替える。図 3 0 ( d ) に、デインタリーブ後の組織化パケット列 P 3 8 を示す。図 3 0 ( d ) の組織化パケット列 P 3 8 のパケット順序は、符号化側のインタリーブ前の組織化パケット列 P 3 2 のパケット順序 ( 図 2 9 ( b ) 参照 ) に一致する。

【 0 2 1 0 】

デインタリーブ部 9 6 3 は、デインタリーブ後の組織化パケット列 P 3 8 のうち、図 3 0 ( e ) に示されるように情報パケットのみからなる情報パケット列 P 3 9 をパケットデコード部 1 7 0 に送出する。

【 0 2 1 1 】

上述したように、符号化側のインタリーブ部 9 2 2 は、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置にパディングパケットを割り当てる。例えば、図 2 9 の例では、インタリーブ部 9 2 2 は、変数ノード 8 にパディングパケットを割り当てた。

【 0 2 1 2 】

したがって、最小ストップングセット S S 2 の変数ノードに対応するパケット ( 2 番目、4 番目、8 番目 ) が通信路 1 4 0 で消失しても、8 番目のパケットを再パディングにより復元することができるので、パケットデコード部 1 7 0 で、S S 2 による消失訂正失敗を回避することができる。また、図 2 9 の例では、変数ノード 8 に既知のパディングパケットを割り当てることで、変数ノード 8 を含む S S 2 以外のストップングセット ( S S 4、S S 7 ) による消失訂正失敗をも回避することができる。

【 0 2 1 3 】

このように、符号化側のインタリーブ部 9 2 2 で、組織化パケット列 P 3 2 の後部に位置するパディングパケットを、冗長パケット列に対応する変数ノードのうち、L D P C 符号化に用いる検査行列 H の最小ストップングセットを構成する変数ノードの一つに対応する位置に並び替えた。

【 0 2 1 4 】

これにより、通信路 1 4 0 において、最小ストップングセットの位置に消失が発生したとしても、再パディング部 9 6 1 により再パディングすることができるので、最小ストップングセットによる消失の訂正失敗を回避することができる。

【 0 2 1 5 】

以上のように、本実施の形態によれば、消失訂正符号化装置 9 2 0 は、情報パケット系列にパディングパケットを付加するパディング部 9 2 1 と、パディングパケットが付加されたパケット系列の順序を並べ替えるインタリーブ部 9 2 2 と、インタリーブ後のパケット列に対して消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部 9 2 3 とを備える構成とした。さらに、インタリーブ部 9 2 2 は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストッ

10

20

30

40

50

ピングセットを構成する変数ノードに基づいてパディングパッケージが付加されたパッケージ系列の順序を並び替えるようにした。

【0216】

また、消失訂正復号化装置960は、受信したパッケージ系列に対し、再パディングを行う再パディング部961と、再パディング後のパッケージ系列に対し、消失訂正復号化を施す消失訂正復号化部962と、消失訂正復号化後のパッケージ系列の順序を並び替えるデインタリーブ部963とを備えるようにした。

【0217】

さらに、インタリーブ部922の並び替えパターンを、LDPC検査行列の訂正能力特性の制限に關与する最小ストップピングセットを構成する変数ノードに基づいて、最小ストップピングセットによる消失訂正失敗を回避するような並び替えパターンにすることにより、最小ストップピングセットによる消失訂正失敗の確率を低減することができる。

10

【0218】

このように、本発明を用いることで、従来は消失訂正符号化・復号化に關わるパッケージ数を調節するために挿入されるパディングパッケージと適切なインタリーブ・デインタリーブ処理とを利用して、消失訂正符号の訂正能力を劣化させる第一の要因である最小ストップピングセットによる訂正失敗の確率を低減することができるという効果が得られる。つまり、通信路で発生した消失が、検査行列に含まれる最小ストップピングセットと一致する確率を低下することができ、この結果、消失訂正能力を向上することができる。

【0219】

20

インタリーブとして、インタリーブ部922が、冗長パッケージ系列に対応する変数ノードのうち、最小ストップピングセットを構成する変数ノードに対応する位置に既知パッケージを割り当てるようにする構成を用いた。

【0220】

これにより、最小ストップピングセットの位置に消失が発生した場合においても、復号化側の再パディング部961により消失パッケージを再パディングすることができるので、最小ストップピングセットによる消失の訂正失敗を回避することができる。

【0221】

なお、以上の説明では、パディング部921が付加するパディングパッケージの位置が、情報パッケージ列の後部とする場合について説明したが、これに限られず、後部でなくても、符号化側・復号化側の双方で既知の位置であれば、情報パッケージ列の先頭でも中間でも良い。

30

【0222】

例えば、パディング部921が、情報パッケージ列の先頭にパディングパッケージを付加した場合、インタリーブ部922は、変数ノードリストの最上位の位置のパッケージと、組織化パッケージ列の最先頭のパッケージを置換するインタリーブパターンを用いて、インタリーブ処理を行うようにしても良い。パディング部921が、情報パッケージ列の中間にパディングパッケージを付加した場合は、インタリーブ部922は、同様に、中間のパッケージを、変数ノードリスト記載されている変数ノードのパッケージと順に置換する。

【0223】

40

また、本実施の形態では、式(1)に示される検査行列Hを用いた場合について説明したが、検査行列Hは式(1)に示されるものに限られず、その他の検査行列を用いた場合でも本発明を用いることにより同様の効果を得ることができる。

【0224】

また、本実施の形態では、変数ノードリストを、冗長パッケージ列に対応する変数ノードのみで作成する場合について説明したが、全ての変数ノード、すなわち、組織化パッケージ系列に対応する変数ノードをも含めて変数ノードリストを作成するようにしても良い。また、本実施の形態と実施の形態1とを組み合わせるようにしても良い。

【0225】

具体的には、組織化パッケージ系列に対応する変数ノードにパディングパッケージを割り当

50

てる場合には、実施の形態 1 で説明した方法を用いても良い。また、冗長パケット系列に対応する変数ノードにパディングパケットを割り当てる場合には、本実施の形態で説明した方法を用いるようにしてもよい。

【 0 2 2 6 】

以上の構成により、最小ストップングセットによる消失訂正の失敗を回避できるという本発明の効果を得ることができる。

【 0 2 2 7 】

(実施の形態 5)

上述の各実施の形態では、消失訂正符号化に用いる LDPC 符号として、正則 LDPC 符号を用いた場合を例に説明した。正則 LDPC 符号とは、検査行列 H の列重み及び行重み 10が、全ての列及び全ての行で等しい LDPC 符号をいう。本発明は、正則 LDPC 符号に限るものではなく、非正則 LDPC 符号を用いる場合においても適用することができる。非正則 LDPC 符号とは、検査行列 H の列重み及び行重みが、複数の値を取る LDPC 符号をいう。

【 0 2 2 8 】

本実施の形態では、非正則 LDPC 符号を用いる消失訂正符号化装置に本発明を適用する場合について説明する。非正則 LDPC 符号では、列によって列重みが異なり、列重みが大きい列と小さい列とが存在する。列重みが大きい列は、複数のパリティ検査式(行)に関係し、列重みが大きい列ほど、関係するパリティ検査式(行)が多い。

【 0 2 2 9 】 20

したがって、列重みが大きい列に割り当てられたパケットが消失すると、消失訂正復号特性が劣化してしまう。そこで、本実施の形態では、非正則 LDPC 符号を用いる場合に、列重みが大きい変数ノードにパディングパケットを割り当てるインタリーブ部(インタリーブ)を備える消失訂正符号化装置について説明する。

【 0 2 3 0 】

以下では、式(5)に示す検査行列 H を用いる場合を例に挙げて説明をする。式(5)に示す検査行列 H は、組織化パケット長  $K = 4$ 、冗長パケット長  $M = 4$  の符号化率  $1/2$  の非正則 LDPC 符号を定義する検査行列である。

【数 5】

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (5) \quad \text{30}$$

【 0 2 3 1 】

式(5)の検査行列 H の各列の列重みは、  
2、3、3、2、2、2、1、1  
と一定でなく、2 番目及び 3 番目のノードの列重みが 3 で最大となる。

【 0 2 3 2 】 40

図 3 1 に本実施の形態における消失訂正符号化装置 1 0 2 0 の構成を示す。消失訂正符号化装置 1 0 2 0 は、消失訂正符号として、非正則 LDPC 符号を用いる。以下では、消失訂正符号化装置 1 0 2 0 が、J 個の情報パケットを一つの単位として消失訂正符号化を行う場合を例に説明する。パケット生成部 1 1 0 は、生成した情報パケットを J パケットずつ消失訂正符号化装置 1 0 2 0 に送出する。なお、情報パケット数 J は、送信する情報の総容量、時間あたりの送信パケット数から決定される。

【 0 2 3 3 】

消失訂正符号化装置 1 0 2 0 は、パディング部 1 0 2 1、インタリーブ部 1 0 2 2、消失訂正符号化部 1 0 2 3、及び消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 0 2 4 から構成される。  
。

## 【 0 2 3 4 】

消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 0 2 4 には、消失訂正符号化に用いる非正則 L D P C 符号のパラメータが記憶されている。具体的には、非正則 L D P C 符号のパラメータとして、検査行列 H、符号化 packets 長 N、組織化 packets 長 K、冗長 packets 長 M、及びパディング packets 長 P が記憶されている。

## 【 0 2 3 5 】

パディング部 1 0 2 1 は、packets 生成部 1 1 0 から出力される J 個の情報 packets の後部に、符号化側及び復号化側の双方が既知のパディング packets を付加し、K 個の packets からなる組織化 packets 列を生成する。パディング部 1 0 2 1 は、組織化 packets 列をインタリーブ部 1 0 2 2 に送出する。

10

## 【 0 2 3 6 】

インタリーブ部 1 0 2 2 は、組織化 packets 列の packets の順序を入れ替えるインタリーブ処理を行う。インタリーブ部 1 0 2 2 は、インタリーブ後の組織化 packets 列（以下「インタリーブド packets 列」という）を消失訂正符号化部 1 0 2 3 に送出する。なお、インタリーブ処理については、後述する。

## 【 0 2 3 7 】

消失訂正符号化部 1 0 2 3 は、インタリーブド packets 列に対し、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 0 2 4 に保持されている検査行列 H に基づいて、L D P C 符号化処理を行い、冗長 packets 列を生成する。さらに、消失訂正符号化部 1 0 2 3 は、インタリーブド packets 列の後部に生成した冗長 packets 列を付加し、冗長 packets 列付加後の符号化 packets 列を送信装置 1 3 0 へ送出する。

20

## 【 0 2 3 8 】

図 3 2 は、本発明の実施の形態 5 における消失訂正復号化装置 1 0 6 0 の要部構成を示す図である。消失訂正復号化装置 1 0 6 0 は、再パディング部 1 0 6 1、消失訂正復号化部 1 0 6 2、デインタリーブ部 1 0 6 3、及び消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 0 6 4 から構成される。

## 【 0 2 3 9 】

消失訂正復号化パラメータ記憶部 1 0 6 4 には、消失訂正符号化・復号化に用いる非正則 L D P C 符号のパラメータが記憶されている。

## 【 0 2 4 0 】

再パディング部 1 0 6 1 は、受信 packets 列に消失があり、かつ、その消失がパディング packets である場合、消失 packets の位置に再度パディング packets を挿入する。再パディング部 1 0 6 1 は、再パディングした packets 列（再パディング packets 列）を消失訂正復号化部 1 0 6 2 に送出する。

30

## 【 0 2 4 1 】

消失訂正復号化部 1 0 6 2 は、検査行列 H に基づき、再パディング packets 列の消失訂正復号処理を行い、復号結果のうち、組織化 packets 列に対応する packets のみを抽出し、抽出した消失訂正後の組織化 packets 列をデインタリーブ部 1 0 6 3 に送出する。

## 【 0 2 4 2 】

デインタリーブ部 1 0 6 3 は、消失訂正後の組織化 packets 列に対し、符号化側で施したインタリーブ処理と逆の並び替え処理（デインタリーブ処理）を施す。デインタリーブ部 1 0 6 3 は、デインタリーブ処理を施した組織化 packets 列のうち、情報 packets 列に相当する packets のみ packets デコード部 1 7 0 に送出する。

40

## 【 0 2 4 3 】

以下、消失訂正符号化装置 1 0 2 0 及び消失訂正復号化装置 1 0 6 0 の動作を説明する。なお、以下では、packets 生成部 1 1 0 から 3 つの情報 packets（ $J = 3$ ）が出力される場合を例に説明する。また、消失訂正符号に用いる L D P C 符号を定義する検査行列 H として、上述した式（5）で示される行列を用いて消失訂正符号化・復号化を行う場合を例に説明する。式（5）の検査行列 H は、符号化 packets 長  $N = 8$ 、組織化 packets 長  $K = 4$ 、冗長 packets 長  $M = 4$  の場合の例である。

50

## 【 0 2 4 4 】

( 消失訂正符号化装置の動作 )

図 3 3 は、消失訂正符号化装置 1 0 2 0 の各部の入出力パケット列を示した図である。なお、図 3 1 には、図 3 3 に対応するパケット列と同一の符号が付されている。

## 【 0 2 4 5 】

図 3 3 ( a ) は、パケット生成部 1 1 0 から出力される情報パケット列 P 4 1 を示している。情報パケット列 P 4 1 は、3 個の情報パケットからなっている。

## 【 0 2 4 6 】

パディング部 1 0 2 1 は、パケット生成部 1 1 0 から出力される情報パケット列 P 4 1 の後部に、 $1 (= P = K - J)$  個のパディングパケットからなるパディングパケット列を付加し、4 個のパケットからなる組織化パケット列 P 4 2 を生成する ( 図 3 3 ( b ) 参照 )。

10

## 【 0 2 4 7 】

インタリーブ部 1 0 2 2 では、組織化パケット列 P 4 2 にインタリーブ処理を施す。實際上、インタリーブ部 1 0 2 2 は、以下のような処理によりインタリーブを行う。

## 【 0 2 4 8 】

( インタリーブ処理 )

( 1 ) 検査行列 H の列重みの数が大きい順に、組織化パケット列に対応する各変数ノードを並び替える。以下、並び替え後の結果を変数ノードリストと呼ぶ。

( 2 ) 変数ノードリストの第一位に対応する変数ノードのパケットと、組織化パケット列 P 4 2 の最後尾のパケット、つまり、パディングパケットとを置換する。

20

## 【 0 2 4 9 】

上述した ( 1 )、( 2 ) のインタリーブ処理を行うことにより、列重みが最大となる変数ノードに対応する位置に、パディングパケットが割り当てられるようになる。

## 【 0 2 5 0 】

このようにして、インタリーブ部 1 0 2 2 は、インタリーブ処理として、組織化パケット列 P 4 2 の後部に位置するパディングパケットを、非正則 L D P C 符号化に用いる検査行列 H の列重みが最大となる変数ノードの一つに対応するパケット位置に並び替えるという処理を行う。

## 【 0 2 5 1 】

組織化パケット列 P 4 2 の後部に位置するパディングパケットを、非正則 L D P C 符号化に用いる検査行列 H の列重みが最大となる変数ノードの一つに対応するパケット位置に並び替えることにより、インタリーブ部 1 0 2 2 は、列重みが最大となる変数ノードに対応する位置にパディングパケットを割り当てる。この結果、図 3 3 ( c ) に示すようなインタリーブドパケット列 P 4 3 が得られる。

30

## 【 0 2 5 2 】

このようにすることで、列重みが最大となる変数ノード 3 の位置に、パディングパケット 1 が配置されるようになる。パディングパケット 1 は、既知パケットであるので、通信路 1 4 0 において、変数ノード 3 に位置するパディングパケット 1 が消失しても、復号化側の消失訂正復号化装置 1 0 6 0 の再パディング部 1 0 6 1 は、消失したパディングパケット 1 を再パディングすることができる。したがって、列重みが最大となる変数ノード 3 が消失したことによる誤り訂正復号性能の劣化を回避することができる。

40

## 【 0 2 5 3 】

消失訂正符号化部 1 0 2 3 は、消失訂正符号化パラメータ記憶部 1 0 2 4 に保持されている検査行列 H に基づいて、冗長パケット 1 ~ 4 を生成し、インタリーブドパケット列 P 4 3 に付加することで、図 3 3 ( d ) に示すような、N 個のパケットから構成される符号化パケット列 P 4 4 を生成する。

## 【 0 2 5 4 】

このように、インタリーブ部 1 0 2 2 は、検査行列 H の列重みが最大となる変数ノードに対応する位置に、パディングパケットを割り当てる。このようにすることで、消失訂正

50

復号特性に影響を与える列重みが最大の変数ノードに対応する位置の packets が消失した場合においても、復号化側の消失訂正復号化装置 1060 の再パディング部 1061 において、再パディングされるので、消失訂正復号できる割合を高くすることができるようになる。

【0255】

(消失訂正復号化装置の動作)

次に、消失訂正復号化装置 1060 の動作について説明する。図 34 は、消失訂正復号化装置 1060 の各部の入出力 packets 列を示した図である。なお、図 32 には、図 34 に対応する packets 列と同一の符号が付されている。

【0256】

図 34 (a) は、受信装置 150 から出力される受信 packets 列 P45 を示す。図 34 (a) において、×印が付されている 3 つの packets は、通信路 140 で消失した packets を表す。図 34 (a) では、3 番目、4 番目の packets が消失した場合の例を示している。消失した 2 つの packets のうち、3 番目の packets に相当する変数ノードは、列重みが最大の変数ノードである。

【0257】

再パディング部 1061 は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 1064 に保持されているパディング packets 数  $P (= 1)$  とデインタリーブ部 1063 で行われるデインタリーブのパターンとから、符号化側でパディング packets を挿入した位置を決定する。さらに、再パディング部 1061 は、消失した packets にパディング packets が含まれるか否かを判定する。再パディング部 1061 は、消失した packets にパディング packets が含まれる場合、その位置に再度該当するパディング packets を挿入する。

【0258】

また、消失した packets にパディング packets が含まれない場合は、再パディング部 1061 は、再パディングを行わずに受信 packets 列 P45 を消失訂正復号化部 1062 に送出する。ここでは、3 番目の位置にある packets はパディング packets 1 であるため、再パディング部 1061 は、3 番目の packets 位置にパディング packets 1 を挿入する。その結果、図 34 (b) の packets 列 P46 が得られる。

【0259】

消失訂正復号化部 1062 は、packets 列 P46 のうち、組織化 packets 列に消失が含まれている場合は、消失訂正復号化パラメータ記憶部 1064 に保持されている検査行列 H に基づいて消失訂正復号処理を行う。

【0260】

消失訂正復号処理としては、上述した反復復号アルゴリズムなどを用いることができる。消失訂正復号化部 1062 は、復号処理が終了した後、図 34 (c) で示すように、組織化 packets 列 P47 のみをデインタリーブ部 1063 に送出する。

【0261】

一方、packets 列 P46 に消失が含まれない場合、もしくは消失が冗長 packets 列にのみ含まれている場合は、消失訂正復号化部 1062 は、消失訂正復号処理を行わず、組織化 packets 列 P47 のみをデインタリーブ部 1063 に送出する。

【0262】

デインタリーブ部 1063 は、組織化 packets 列 P47 に対し、符号化側のインタリーブ部 1022 で施したインタリーブ処理の逆の処理を施し、packets を並び替える。

【0263】

デインタリーブ部 1063 は、図 34 (d) に示されるようなデインタリーブ後の組織化 packets 列 P48 のうち、図 34 (e) に示されるように情報 packets のみからなる情報 packets 列 P49 を packets デコード部 170 に送出する。

【0264】

上述したように、符号化側のインタリーブ部 1022 は、列重みが最大となる変数ノードに対応する位置にパディング packets を割り当てる。例えば、図 33 の例では、インタ

10

20

30

40

50



リーブ部 1022 は、変数ノード 3 にパディング packets を割り当てた。したがって、列重みが最大の変数ノードの一つに対応する packet (3 番目) が通信路 140 で消失しても、3 番目の packet を再パディングにより復元することができる。このため、packet デコード部 170 は、消失訂正復号性能の劣化を回避することができる。

#### 【0265】

このように、符号化側のインタリーブ部 1022 は、組織化 packet 列 P42 に含まれるパディング packets を、LDPC 符号化に用いる検査行列 H の列重みが最大となる変数ノードの一つに対応する packet 位置に並び替える構成とした。

#### 【0266】

これにより、通信路 140 において、列重みが最大となる変数ノードの位置に消失が発生したとしても、再パディング部 1061 により再パディングすることができるので、packet 消失の訂正失敗を回避することができる。

#### 【0267】

以上のように、本実施の形態によれば、消失訂正符号化装置 1020 は、情報 packet 系列にパディング packets を付加するパディング部 1021 と、パディング packets が付加された packet 系列の順序を並べ替えるインタリーブ部 1022 と、インタリーブ後の packet 列に対して消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部 1023 とを備える構成とした。なお、インタリーブ部 1022 は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の列重みに基づいて、パディング packets が付加された packet 系列の順序を並べ替えるようにした。

#### 【0268】

また、消失訂正復号化装置 1060 は、受信した packet 系列に対し、再パディングを行う再パディング部 1061 と、再パディング後の packet 系列に対し、消失訂正復号化を施す消失訂正復号化部 1062 と、消失訂正復号化後の packet 系列の順序を並べ替えるデインタリーブ部 1063 とを備えるようにした。

#### 【0269】

したがって、LDPC 検査行列の訂正能力特性の制限に關与する列重みが最大となる変数ノードに基づいて、情報 packet と既知 packet との並び替えパターンを、列重みが最大となる変数ノードに割り当てられた packet の消失による消失訂正失敗を回避するような並び替えパターンにすることにより、消失訂正復号性能の劣化を低減することができる。

#### 【0270】

このように、本発明を用いることで、非正則 LDPC 符号を用いる場合においても、従来は消失訂正符号化・復号化に關わる packet 数を調節するために挿入されるパディング packets と、適切なインタリーブ・デインタリーブ処理と、を利用して、消失訂正符号の訂正能力を劣化させる第一の要因である、列重みが最大の変数ノードの消失による訂正失敗の確率を、低減することができるという効果を得る。

#### 【0271】

なお、本実施の形態では、式(5)に示される非正則 LDPC 符号の検査行列 H を用いた場合について説明したが、検査行列 H は式(5)に示されるものに限られず、その他の非正則 LDPC 符号の検査行列を用いた場合でも本発明を用いることにより同様の効果を得ることができる。

#### 【0272】

また、以上の説明では、IP packets を 1 つの単位として消失訂正符号・復号を行うシステムを例に挙げて説明したが、これに限るものではなく、MPEG の TS を単位にすることや、IP packets を複数のブロックに分割し、その分割した 1 つを単位にすることや、任意のビット数のブロックを単位にすることも可能である。

#### 【0273】

本発明は上記すべて全ての実施の形態に限定されず、種々変更して実施することが可能である。例えば、上記実施の形態では、主に、消失訂正符号化装置及び消失訂正復号化装

10

20

30

40

50

置で実現する場合について説明しているが、これに限られるものではなく、電灯線通信装置で実現する場合においても適用可能である。

【0274】

また、この符号化方法及び復号化方法をソフトウェアとして行うことも可能である。例えば、上記符号化方法及び復号化方法を実行するプログラムを予めROM (Read Only Memory) に格納しておき、そのプログラムをCPU (Central Processor Unit) によって動作させるようにしても良い。

【0275】

また、上記符号化方法及び復号化方法を実行するプログラムをコンピュータで読み取り可能な記憶媒体に格納し、記憶媒体に格納されたプログラムをコンピュータのRAM (Random Access Memory) に記録して、コンピュータをそのプログラムにしたがって動作させるようにしても良い。

【0276】

また、本発明は、無線通信に限らず、電灯線通信 (PLC: Power Line Communication)、可視光通信、光通信においても有用であることは言うまでもない。

【0277】

本発明の符号化装置の一つの態様は、情報パケット系列に符号化側と復号化側とで既知のパケット系列を付加するパディング部と、前記既知パケット系列が付加されたパケット系列の順序を並び替えるインタリーブ部と、並び替え後のパケット列に対してパケット消失訂正符号化を行う消失訂正符号化部と、を具備する構成を採る。

【0278】

この構成によれば、既知パケット系列を付加して符号化率を調整することができるとともに、既知パケットを消失訂正能力特性に与える影響が大きい位置に割り当てることにより、通信路で当該既知パケットが消失した場合においても、復号側で既知パケットを再パディングしてから消失訂正復号化を行うことができるので、当該既知パケット以外のパケットが消失した場合の消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0279】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記消失訂正符号化部は、低密度パリティ検査符号化を行う構成を採る。

【0280】

この構成によれば、インタリーブ後に低密度パリティ検査符号化が施されるので、LDPC検査行列の訂正能力特性に基づいてインタリーブを行うようにすることで、消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0281】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップングセットを構成する変数ノードの位置に前記既知パケットが対応するように、前記既知パケット系列が付加されたパケット系列の順序を並び替える構成を採る。

【0282】

この構成によれば、情報パケットと既知パケットとの並び替えパターンを最小ストップングセットによる消失訂正失敗を回避するようなパターンにすることで、最小ストップングセットによる消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0283】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、前記最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置の前記情報パケットと、前記既知パケットとを入れ替える構成を採る。

【0284】

この構成によれば、LDPC検査行列の最小ストップングセットを構成する変数ノードに対応する位置に既知パケットが割り当てられるので、当該既知パケットが消失しても、復号化側では、既知パケットを再パディングすることができ、既知パケット以外の情報

10

20

30

40

50

パケットが消失した場合においても、消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0285】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、前記最小ストップピングセットに含まれる数が多い変数ノードから順に、当該変数ノードに対応する位置に、前記既知パケットを優先的に割り当てる構成を採る。

【0286】

この構成によれば、最小ストップピングセットが複数ある場合に、より多くの最小ストップピングセットに影響を与える変数ノードに対応する位置に優先的に既知パケットが割り当てられるようになるので、付加される既知パケット数が少ない場合においても、消失訂正復号化性能の劣化を確実に抑圧することができる。

10

【0287】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、前記最小ストップピングセットを構成する変数ノードに対応する位置の少なくとも一つに、前記既知パケットを割り当てるようにする構成を採る。

【0288】

この構成によれば、最小ストップピングセットが複数ある場合に、各最小ストップピングセットを構成する変数ノードのうち、少なくとも一つの変数ノードに対応する位置に既知パケットが割り当てられるようになるので、通信路において消失するパケット数が多い場合においても、復号化側では、最小ストップピングセットを構成する変数ノードのうち、少なくとも一つの変数ノードの位置に既知パケットを再パディングすることができるようになり、最小ストップピングセットによる消失訂正の失敗を回避することができる。

20

【0289】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の列重みに基づいて、前記既知パケット系列が付加されたパケット系列の順序を並び替える構成を採る。

【0290】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、前記列重みが大きい変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置に、前記既知パケットを優先的に割り当てる構成を採る。

30

【0291】

これらの構成によれば、低密度パリティ検査符号が非正則の場合においても、LDPC検査行列の訂正能力特性の制限に関与する列重みが最大となる変数ノードに割り当てられたパケットの消失による消失訂正失敗を回避するような並び替えパターンにすることにより、消失訂正復号性能の劣化を低減することができる。

【0292】

本発明の復号化装置の一つの態様は、受信したパケット系列に対し、再パディングを行う再パディング部と、再パディング後のパケット系列に対し、消失訂正復号化処理を施す行う消失訂正復号化部と、消失訂正復号化後のパケット系列の順序を並び替えるデインタリーブ部と、を具備する構成を採る。

40

【0293】

この構成によれば、符号化側で、既知パケット系列を付加して符号化率を調整することができるとともに、既知パケットを消失訂正能力特性に与える影響が大きい位置に割り当てられるようにすることにより、通信路で当該既知パケットが消失した場合においても、復号側で既知パケットを再パディングしてから消失訂正復号化を行うことができるので、当該既知パケット以外のパケットが消失した場合の消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0294】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記消失訂正復号化部は、低密度パリティ検査符号の反復復号を行う構成を採る。

50

## 【 0 2 9 5 】

この構成によれば、符号化側でLDPC検査行列の訂正能力特性に基づいてインタリーブを行うことで、消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

## 【 0 2 9 6 】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記再パディング部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置の packets が消失した場合に、符号化側と復号化側とで既知の packets を再パディングする構成を採る。

## 【 0 2 9 7 】

この構成によれば、符号化側でLDPC検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置に既知 packets を割り当てたようにした場合に、当該既知 packets が消失した場合においても、復号化側では、既知 packets を再パディングすることができるので、最小ストップセットによる消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

10

## 【 0 2 9 8 】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記デインタリーブ部は、符号化側で施した並び替えと逆の並び替え処理を施す構成を採る。

## 【 0 2 9 9 】

この構成によれば、符号化側でインタリーブが施される前の情報 packets 系列を取得することができる。

20

## 【 0 3 0 0 】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記デインタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置の packets と、当該変数ノード以外の変数ノードに対応する位置の packets とを、入れ替える構成を採る。

## 【 0 3 0 1 】

この構成によれば、最小ストップセットを構成する変数ノードに対応する位置に既知 packets が割り当てられ、当該変数ノードに対応する位置に情報 packets が割り当てられている場合に、既知 packets と情報 packets とを入れ替えて、符号化側でインタリーブが施される前の情報 packets 系列を取得することができる。

30

## 【 0 3 0 2 】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記再パディング部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の列重みが最大の変数ノードに対応する位置の packets が消失した場合に、符号化側と復号化側とで既知の packets を再パディングする構成を採る。

## 【 0 3 0 3 】

この構成によれば、符号化側でLDPC検査行列の列重みが最大の変数ノードに対応する位置に既知 packets を割り当てたようにした場合に、当該既知 packets が消失した場合においても、復号化側では、既知 packets を再パディングすることができるので、消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

## 【 0 3 0 4 】

本発明の符号化装置の一つの態様は、 packets 系列に消失訂正符号化を施す消失訂正符号化部と、消失符号化後の packets 系列の順序を並び替えるインタリーブ部と、インタリーブ後の packets 系列をパンクチャするパンクチャ部と、を具備する構成を採る。

40

## 【 0 3 0 5 】

この構成によれば、パンクチャにより符号化率を調整することができるとともに、消失訂正復号化の復号性能に与える影響が小さい packets がパンクチャされるように、パンクチャの前段で packets 系列の順序を並び替えることにより、消失訂正復号化の性能の劣化を抑圧することができる。

## 【 0 3 0 6 】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記消失訂正符号化部は、低密度パリティ検査符

50

号化を行う構成を採る。

【0307】

この構成によれば、符号化側でLDPC検査行列の訂正能力特性に基づいてインタリーブを行うことで、消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0308】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットに含まれる数が少ない変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置のパケットを、前記パンクチャ部がパンクチャする位置に優先的に割り当てる構成を採る。

【0309】

この構成によれば、最小ストップセットが複数ある場合に、最小ストップセットへの影響が少ない変数ノードに対応する位置のパケットが優先的にパンクチャされるように並び替えられるようになるので、最小ストップセットによる消失訂正復号化性能の劣化を抑圧することができる。

【0310】

本発明の復号化装置の一つの態様は、パケット系列にデパンクチャ処理を行うデパンクチャ部と、デパンクチャ後のパケット系列の順序を並び替えるデインタリーブ部と、デインタリーブ後のパケット系列に対し消失訂正復号処理を行う消失訂正復号化部と、を具備する構成を採る。

【0311】

この構成によれば、符号化側で、消失訂正復号化の復号性能に与える影響が小さいパケットをパンクチャすることにより、消失訂正復号化の性能の劣化を抑圧することができる。

【0312】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記消失訂正復号化部は、低密度パリティ検査符号の反復復号を行う構成を採る。

【0313】

この構成によれば、符号化側で、LDPC検査行列の訂正能力特性に与える影響が小さい変数ノードに対応する位置のパケットがパンクチャされるように、パンクチャ処理の前段で並び替えるようにすることで、消失訂正復号化性能を向上することができる。

【0314】

本発明の符号化装置の一つの態様は、ビット系列に対し誤り訂正符号化を施す誤り訂正符号化部と、誤り訂正符号化後のビット系列の順序を並び替えるインタリーブ部と、インタリーブ後のビット系列をパンクチャするパンクチャ部と、を具備する構成を採る。

【0315】

この構成によれば、パンクチャにより符号化率を調整することができるとともに、誤り訂正符号化の訂正能力に与える影響が小さいビットがパンクチャされるように、パンクチャの前段でビット系列の順序を並び替えることにより、誤り訂正復号化の性能の劣化を抑圧することができる。

【0316】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記誤り訂正符号化部は、低密度パリティ検査符号化を行う構成を採る。

【0317】

この構成によれば、符号化側でLDPC検査行列の訂正能力特性に基づいてインタリーブを行うことで、誤り訂正性能の劣化を抑圧することができる。

【0318】

本発明の符号化装置の一つの態様は、前記インタリーブ部は、低密度パリティ検査符号を定義する検査行列の最小ストップセットに含まれる数が少ない変数ノードの順に、当該変数ノードに対応する位置のビットを、前記パンクチャ部がパンクチャする位置に優

10

20

30

40

50

先的に割り当てる構成を採る。

【0319】

この構成によれば、最小ストップングセットが複数ある場合に、最小ストップングセットへの影響が少ない変数ノードに対応する位置のビットが優先的にパンクチャされるように並び替えられるようになるので、最小ストップングセットによる誤り訂正復号化の性能の劣化を抑圧することができる。

【0320】

本発明の復号化装置の一つの態様は、ビット系列に対しデパンクチャを行うデパンクチャ部と、デパンクチャ後のビット系列の順序を並び替えるデインタリーブ部と、デインタリーブ後のビット系列を誤り訂正復号する誤り訂正復号部と、を具備する構成を採る。

10

【0321】

この構成によれば、符号化側で、消失訂正復号化の復号性能に与える影響が小さいビットをパンクチャすることにより、消失訂正復号化の性能の劣化を抑圧することができる。

【0322】

本発明の復号化装置の一つの態様は、前記誤り訂正復号化部は、低密度パリティ検査符号の反復復号を行う構成を採る。

【0323】

この構成によれば、符号化側で、LDPC検査行列の訂正能力特性に与える影響が小さい変数ノードに対応する位置のビットがパンクチャされるように、パンクチャ処理の前段で並び替えるようにするようすることで、誤り訂正復号化性能を向上することができる。

20

【産業上の利用可能性】

【0324】

本発明は、LDPC符号化・復号化において、復号失敗の頻度を効果的に削減することができ、例えば、低密度パリティ検査(LDPC: Low-Density Parity-Check)符号を用いて情報データに冗長性を付加し消失訂正する符号化装置及び復号化装置などに有用である。

【図面の簡単な説明】

【0325】

【図1】本発明の実施の形態1における通信システムの全体構成を示す図

30

【図2】実施の形態1におけるパケット生成部から生成されるパケット系列を示す図

【図3】実施の形態1における消失訂正符号化装置の要部構成を示すブロック図

【図4】実施の形態1における消失訂正復号化装置の要部構成を示すブロック図

【図5】実施の形態1における消失訂正符号化装置の動作を説明するための図

【図6】実施の形態1における消失訂正符号化装置で用いるタナーグラフを示す図

【図7】実施の形態1におけるインタリーブパターンの一例を示す図

【図8】実施の形態1における消失訂正復号化装置の動作を説明するための図

【図9】実施の形態1における消失訂正符号化装置の別の構成例を示すブロック図

【図10】実施の形態1における消失訂正符号化装置の別の構成例を示すブロック図

【図11】本発明の実施の形態2における消失訂正符号化装置の要部構成を示すブロック図

40

【図12】実施の形態2における消失訂正復号化装置の要部構成を示すブロック図

【図13】実施の形態2における消失訂正符号化装置の動作を説明するための図

【図14】検査行列Hをタナーグラフで表現した図

【図15】実施の形態2におけるインタリーブパターンの一例を示す図

【図16】実施の形態2におけるパンクチャパターンの一例を示す図

【図17】実施の形態2における消失訂正復号化装置の動作を説明するための図

【図18】実施の形態2におけるデインタリーブパターンの一例を示す図

【図19】実施の形態2における消失訂正符号化装置の他の要部構成を示すブロック図

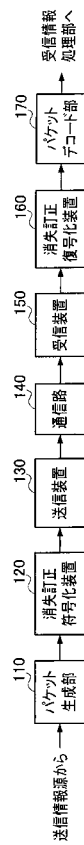
【図20】実施の形態2における消失訂正復号化装置の他の要部構成を示すブロック図

50

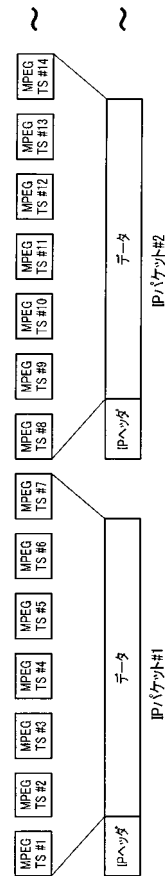
- 【図 2 1】本発明の実施の形態 3 における通信システムの全体構成を示す図
- 【図 2 2】実施の形態 3 における符号化部の構成例を示す図
- 【図 2 3】実施の形態 3 における復号化部の構成例を示す図
- 【図 2 4】実施の形態 3 における符号化部の他の構成例を示す図
- 【図 2 5】実施の形態 3 における復号化部の他の構成例を示す図
- 【図 2 6】本発明の実施の形態 4 における通信システムの全体構成を示す図
- 【図 2 7】実施の形態 4 における消失訂正符号化装置の要部構成を示すブロック図
- 【図 2 8】実施の形態 4 における消失訂正復号化装置の要部構成を示すブロック図
- 【図 2 9】実施の形態 4 における消失訂正符号化装置の動作を説明するための図
- 【図 3 0】実施の形態 4 における消失訂正復号化装置の動作を説明するための図 10
- 【図 3 1】本発明の実施の形態 5 における消失訂正符号化装置の要部構成を示すブロック図
- 【図 3 2】実施の形態 5 における消失訂正復号化装置の要部構成を示すブロック図
- 【図 3 3】実施の形態 5 における消失訂正符号化装置の動作を説明するための図
- 【図 3 4】実施の形態 5 における消失訂正復号化装置の動作を説明するための図
- 【図 3 5】LDPC 符号による消失訂正符号化を利用した通信システムの概念図を示す図
- 【図 3 6】検査行列 H をタナーグラフで表した図
- 【図 3 7】LDPC 復号の反復復号アルゴリズムのフローチャートを示す図
- 【図 3 8】Array LDPC 符号を用いて消失訂正を行った場合の消失訂正復号性能を説明するための特性図 20
- 【符号の説明】
- 【0 3 2 6】
- 1 1 0 パケット生成部
- 1 2 0 , 1 2 0 a , 1 2 0 b , 2 2 0 , 3 2 0 , 9 2 0 , 1 0 2 0 消失訂正符号化装置
- 1 2 1 , 9 2 1 , 1 0 2 1 パディング部
- 1 2 2 , 2 2 1 , 3 2 2 , 5 1 2 , 7 1 2 , 9 2 2 , 1 0 2 2 インタリーブ部
- 1 2 3 , 3 2 1 , 9 2 3 , 1 0 2 3 消失訂正符号化部
- 1 2 4 , 1 2 4 a , 1 2 4 b , 3 2 4 , 9 2 4 , 1 0 2 4 消失訂正符号化パラメータ記憶部 30
- 1 3 0 , 5 0 0 送信装置
- 1 4 0 , 4 1 0 通信路
- 1 5 0 , 6 0 0 受信装置
- 1 6 0 , 2 6 0 , 3 6 0 , 9 6 0 , 1 0 6 0 消失訂正復号化装置
- 1 6 1 , 9 6 1 , 1 0 6 1 再パディング部
- 1 6 2 , 3 6 4 , 9 6 2 , 1 0 6 2 消失訂正復号化部
- 1 6 3 , 2 6 2 , 3 6 3 , 6 3 2 , 8 3 3 , 9 6 3 , 1 0 6 3 デインタリーブ部
- 1 6 4 , 3 6 5 , 9 6 4 , 1 0 6 4 消失訂正復号化パラメータ記憶部
- 1 7 0 パケットデコード部
- 2 2 2 , 3 2 3 , 5 1 3 , 7 1 3 パンクチャ部 40
- 2 6 1 , 3 6 2 , 6 3 1 , 8 3 2 デパンクチャ部
- 3 2 5 パケット結合部
- 3 6 1 パケット分割部
- 4 0 0 通信システム
- 5 1 0 , 7 1 0 符号化部
- 5 1 1 , 7 1 1 誤り訂正符号化部
- 5 2 0 変調部
- 5 3 0 送信部
- 6 1 0 受信部
- 6 2 0 復調部 50

- 6 3 0 , 8 3 0 復号化部
- 6 3 3 , 8 3 4 誤り訂正復号部
- 7 1 4 ビット系列結合部
- 8 3 1 ビット系列分割部

【 図 1 】

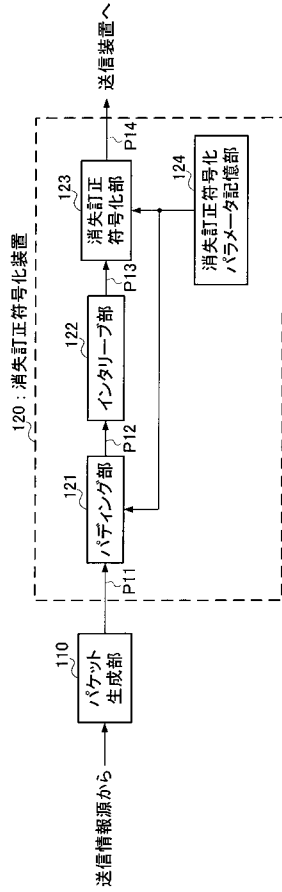


【 図 2 】

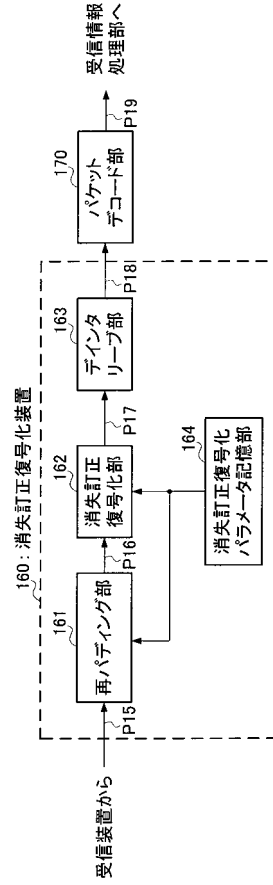




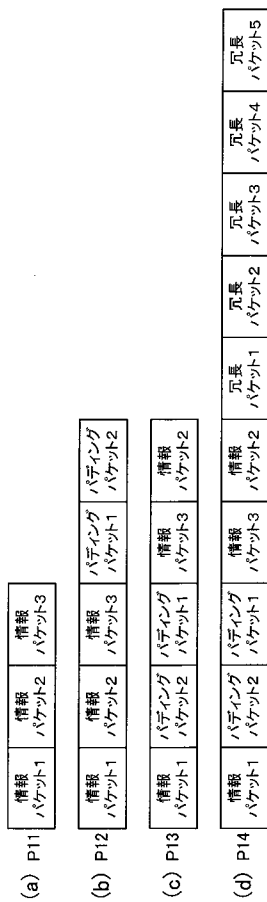
【 図 3 】



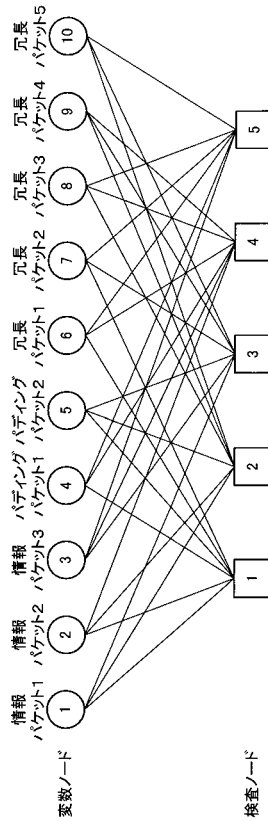
【 図 4 】



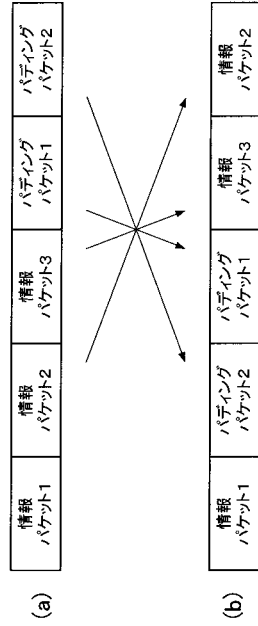
【 図 5 】



【 図 6 】



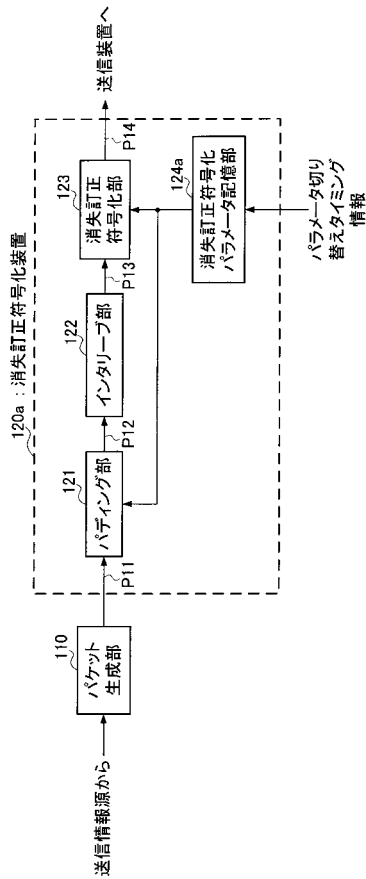
【図7】



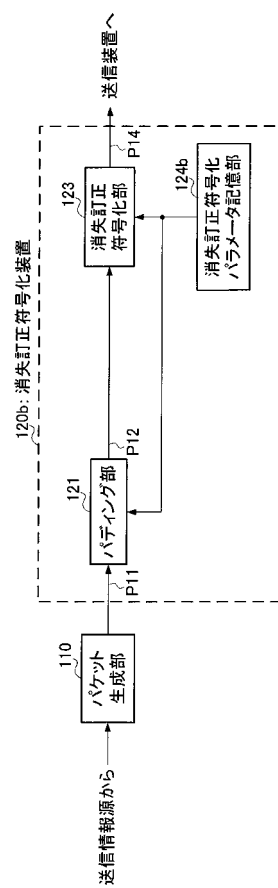
【図8】



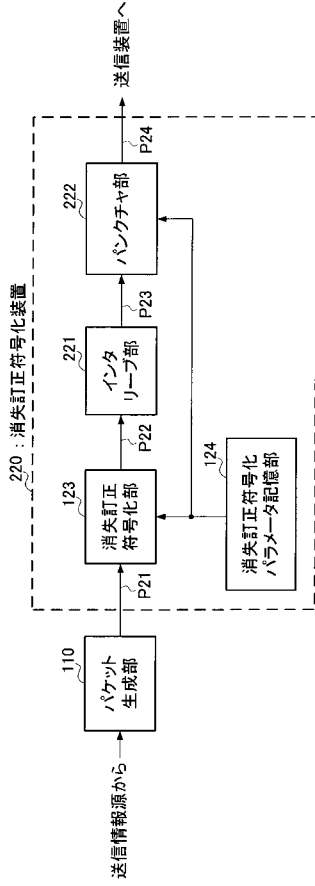
【図9】



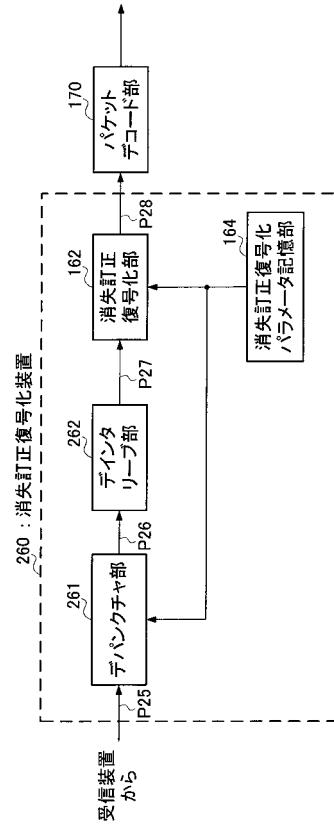
【図10】



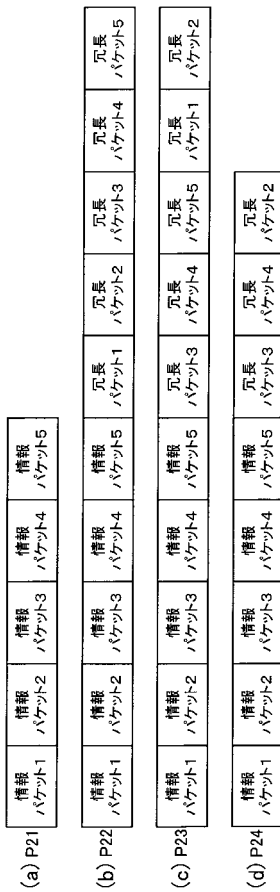
【図 1 1】



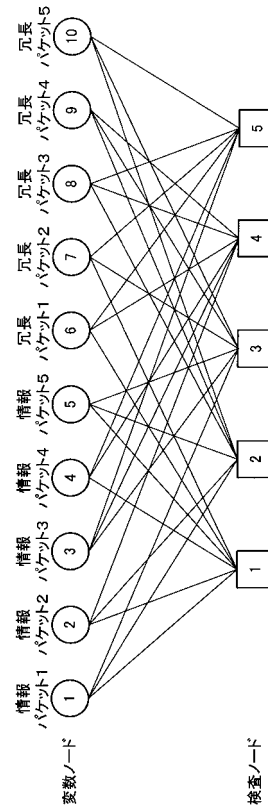
【図 1 2】



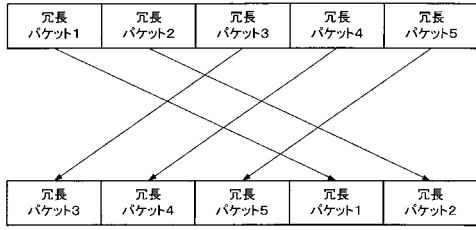
【図 1 3】



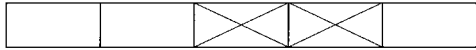
【図 1 4】



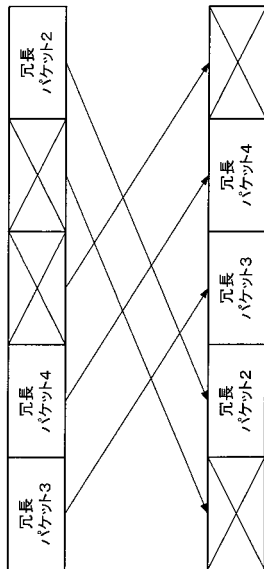
【図 15】



【図 16】



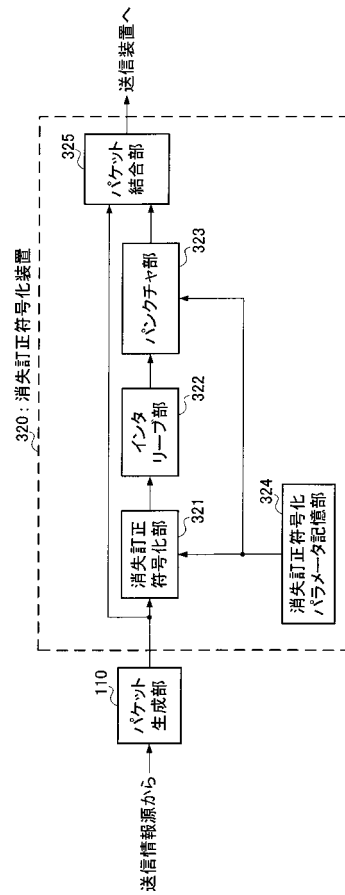
【図 18】



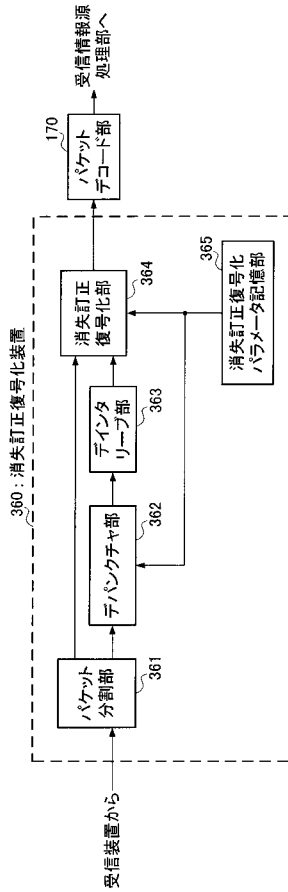
【図 17】



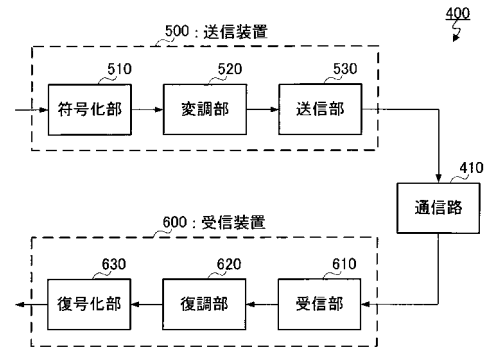
【図 19】



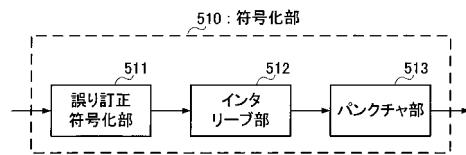
【図20】



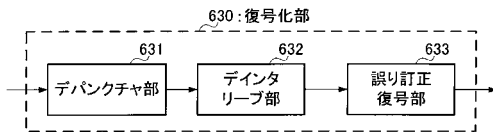
【図21】



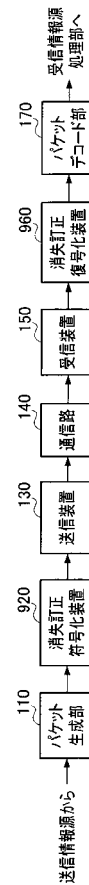
【図22】



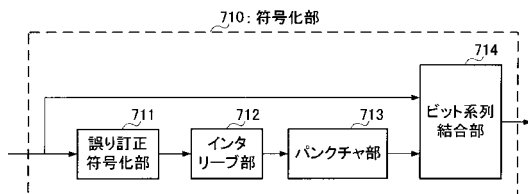
【図23】



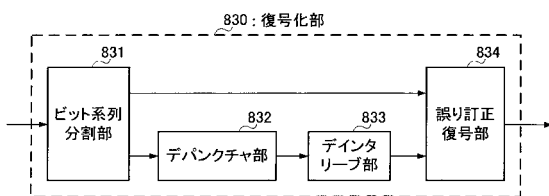
【図26】



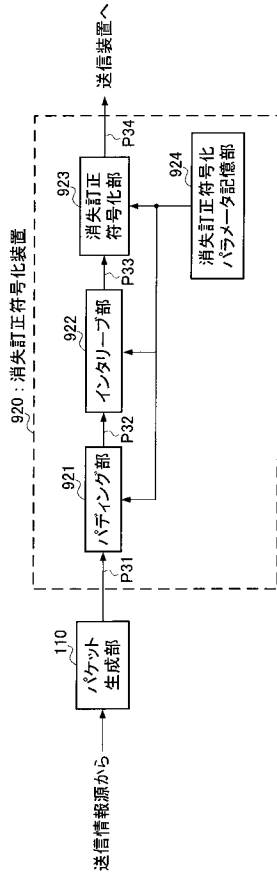
【図24】



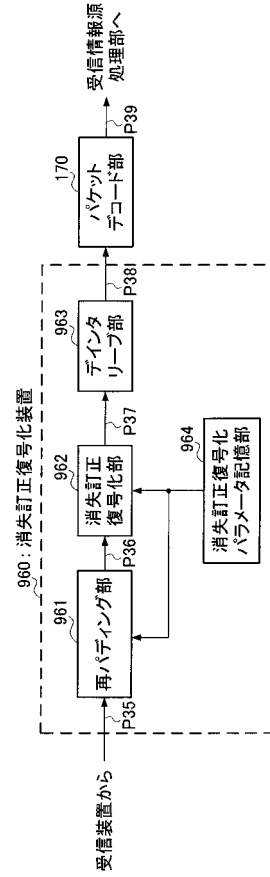
【図25】



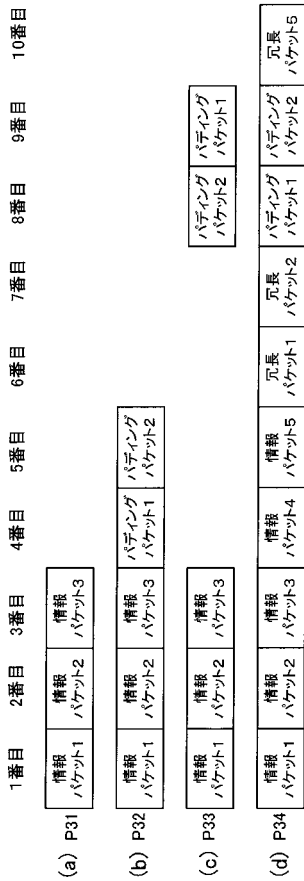
【図 27】



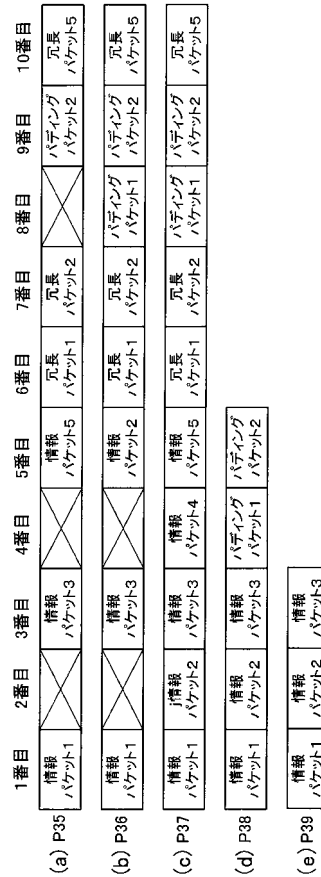
【図 28】



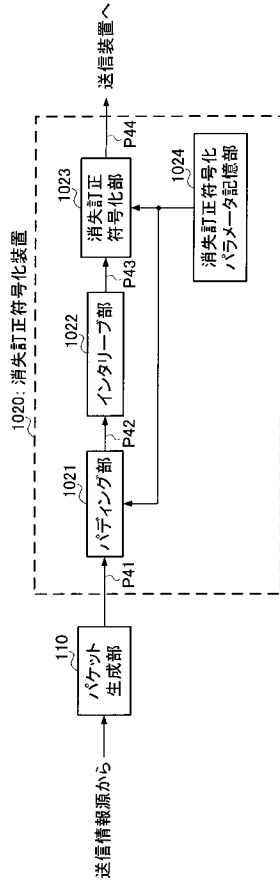
【図 29】



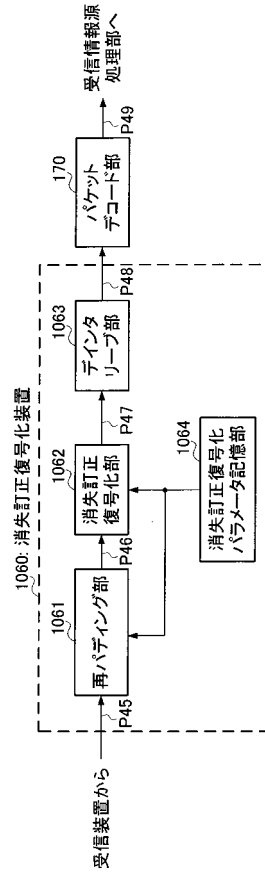
【図 30】



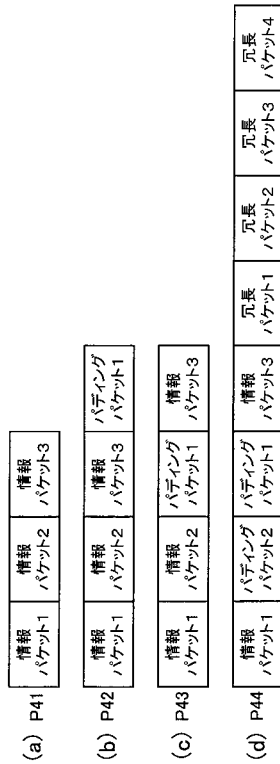
【図 3 1】



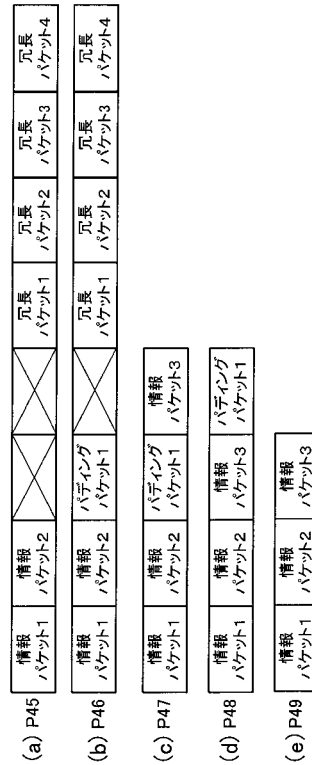
【図 3 2】



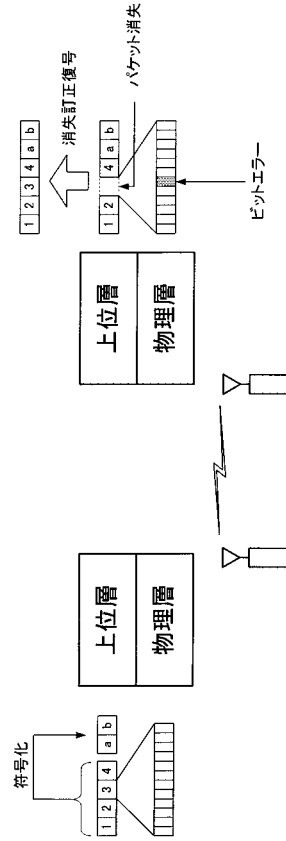
【図 3 3】



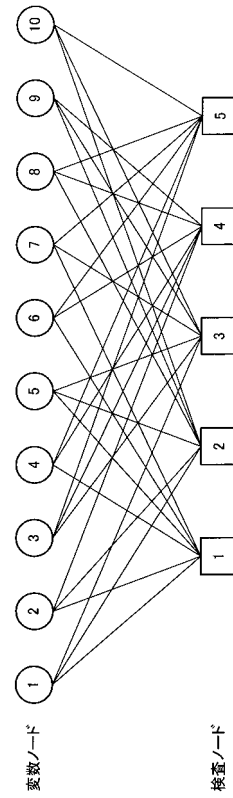
【図 3 4】



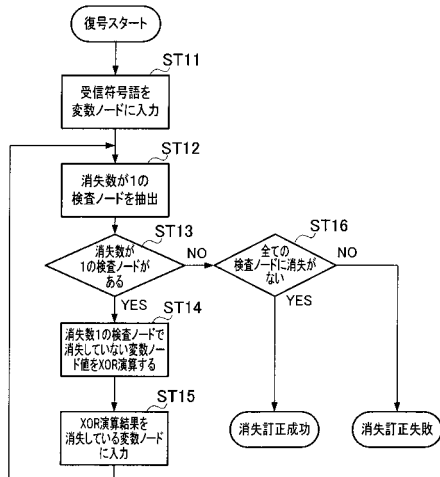
【図35】



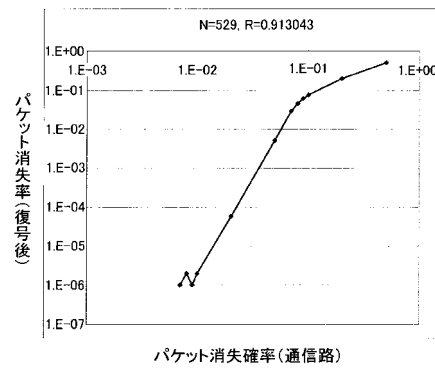
【図36】



【図37】



【図38】





フロントページの続き

審査官 矢頭 尚之

(56)参考文献 特開2006-094012(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03M 13/19