

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7038910号  
(P7038910)

(45)発行日 令和4年3月18日(2022.3.18)

(24)登録日 令和4年3月10日(2022.3.10)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 3 M	13/19	(2006.01)	H 0 3 M	13/19	
H 0 3 M	13/35	(2006.01)	H 0 3 M	13/35	
H 0 4 L	1/00	(2006.01)	H 0 4 L	1/00	E

請求項の数 7 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-525515(P2021-525515)	(73)特許権者	000006013 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
(86)(22)出願日	令和1年6月13日(2019.6.13)	(74)代理人	100118762 弁理士 高村 順
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/023537	(72)発明者	石井 健二 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
(87)国際公開番号	WO2020/250390	(72)発明者	吉田 英夫 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
(87)国際公開日	令和2年12月17日(2020.12.17)	審査官	谷岡 佳彦
審査請求日	令和3年7月6日(2021.7.6)		
(出願人による申告)平成30年度総務省「新たな社会インフラを担う革新的光ネットワーク技術の研究開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願 早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 復号装置、制御回路および記憶媒体

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

空間結合低密度パリティ検査符号化された受信データに対して、復号パラメータで示される窓サイズおよび復号繰り返し数で復号処理を繰り返し行う誤り訂正復号処理を実行する誤り訂正復号部と、

繰り返し実行される前記復号処理で得られる復号結果に基づいて前記復号パラメータを更新する復号パラメータ制御部と、

を備え、

前記復号パラメータ制御部は、現在の復号対象の受信データよりも前の復号対象の受信データに対して繰り返し実行した前記復号処理のうち、最初に実行した前記復号処理で得られた復号結果に基づいて、現在の復号対象の受信データに対して行う前記復号処理に適用する復号パラメータの初期値を決定する、

ことを特徴とする復号装置。

## 【請求項2】

繰り返し実行される前記復号処理のうち、最初に実行した前記復号処理で得られた復号結果を含む1つ以上の復号結果に基づいて受信信号の品質を推定する信号品質推定部、

を備え、

前記復号パラメータ制御部は、前記信号品質推定部が推定した前記品質に基づいて前記復号パラメータを更新する、

ことを特徴とする請求項1に記載の復号装置。

## 【請求項 3】

前記復号パラメータ制御部は、前記誤り訂正復号部が前記誤り訂正復号処理を開始した後の最初の前記復号処理で得られる復号結果に基づいて、以降の前記復号処理に適用する復号パラメータを決定する、  
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の復号装置。

## 【請求項 4】

前記復号パラメータ制御部は、繰り返し実行される前記復号処理で復号結果が得られるごとに、得られた復号結果に基づいて、以降の前記復号処理に適用する復号パラメータを決定する、  
ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の復号装置。

10

## 【請求項 5】

前記復号パラメータ制御部は、前記誤り訂正復号部が前記誤り訂正復号処理を開始した後の最初の前記復号処理に適用する復号パラメータを、設定可能な値のうち、誤り訂正性能が最も高くなる値に設定する、  
ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一つに記載の復号装置。

## 【請求項 6】

誤り訂正符号化された受信データを復号する復号装置を構成する制御回路であって、  
空間結合低密度パリティ検査符号化された前記受信データに対して、復号パラメータで示される窓サイズおよび復号繰り返し数で復号処理を繰り返し行う誤り訂正復号処理を実行する第 1 のステップと、  
繰り返し実行される前記復号処理で得られる復号結果に基づいて前記復号パラメータを更新する第 2 のステップと、  
を含み、

20

前記第 2 のステップでは、現在の復号対象の受信データよりも前の復号対象の受信データに対して繰り返し実行した前記復号処理のうち、最初に実行した前記復号処理で得られた復号結果に基づいて、現在の復号対象の受信データに対して行う前記復号処理に適用する復号パラメータの初期値を決定する処理、  
を実行することを特徴とする制御回路。

## 【請求項 7】

誤り訂正符号化された受信データを復号する復号装置を実現するプログラムを記憶する記憶媒体であって、  
前記プログラムは、  
空間結合低密度パリティ検査符号化された前記受信データに対して、復号パラメータで示される窓サイズおよび復号繰り返し数で復号処理を繰り返し行う誤り訂正復号処理を実行する第 1 のステップと、  
繰り返し実行される前記復号処理で得られる復号結果に基づいて前記復号パラメータを更新する第 2 のステップと、  
を含み、

30

前記第 2 のステップでは、現在の復号対象の受信データよりも前の復号対象の受信データに対して繰り返し実行した前記復号処理のうち、最初に実行した前記復号処理で得られた復号結果に基づいて、現在の復号対象の受信データに対して行う前記復号処理に適用する復号パラメータの初期値を決定する処理、  
を前記復号装置を構成する制御回路に実行させることを特徴とする記憶媒体。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、誤り訂正復号を行う復号装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

誤り訂正符号は、有線通信システムおよび無線通信システム、記憶装置等で使用される技

50

術である。具体的には、誤り訂正符号は、送信側で送り出すデジタルデータに冗長なビットを付加することで、受信したデータに誤り（ビット誤り）が生じたとしても、誤りを検出して訂正することが可能となる技術である。これまで、ハミング符号、BCH（Bose - Chaudhuri - Hocquenghem）符号、RS（Reed-Solomon：リード・ソロモン）符号などの様々な誤り訂正符号およびその復号方式が提案されている。誤り訂正符号の適用により、通信システムの信頼性を向上させることができる一方で、訂正できるビット数には限界があり、誤り訂正符号および復号方式によって誤り訂正性能、すなわち、訂正可能なビット数は異なる。

#### 【0003】

ここで、強力な誤り訂正性能を有する符号の1つとして空間結合LDPC（Low Density Parity Check）符号が提案されている（例えば、非特許文献1）。本符号は、低密度パリティ検査符号とも呼ばれるLDPC符号を用いた畳み込み符号の一種であり、シャノン限界に近い誤り訂正性能を実現できる符号として近年大きな注目を集めている。また、その効率的な復号方法の1つとして窓復号が知られている（例えば、特許文献1）。

#### 【0004】

特許文献1に記載の復号装置が行う窓復号では、伝送路状態（チャネル情報）の推定結果に基づいた窓サイズで復号処理を開始し、復号結果のパリティチェックで残留誤りがあるかを判定する。判定の結果、誤りが残留していた場合には窓サイズを増加させるように制御する。これにより、誤り訂正性能の過剰な条件での復号処理を避け、消費電力を抑制している。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【文献】特開2013-198017号公報

#### 【非特許文献】

#### 【0006】

【文献】S.Kudekar, T.J.Richardson, and R.L.Urbanke, "Threshold Saturation via Spatial Coupling: Why Convolutional LDPC Ensembles Perform So Well over the BEC", IEEE Trans. Theory, vol.57, No.2, pp.803-834, Feb.2011.

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

特許文献1に記載の復号装置は、復号処理での誤り発生に伴い窓サイズを増加させる際に、誤りの発生状況などを考慮することなく、予め定められた増加幅で増加させる。そのため、誤りが無くなるまで窓サイズを増加させて再度復号を行う処理の繰り返しが発生し、処理遅延および消費電力が増大する可能性がある。

#### 【0008】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、空間結合低密度パリティ検査符号を復号する際の処理遅延および消費電力を抑制することが可能な復号装置を得ることを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる復号装置は、空間結合低密度パリティ検査符号化された受信データに対して、復号パラメータで示される窓サイズおよび復号繰り返し数で復号処理を繰り返し行う誤り訂正復号処理を実行する誤り訂正復号部と、繰り返し実行される復号処理で得られる復号結果に基づいて復号パラメータを更新する復号パラメータ制御部と、を備える。復号パラメータ制御部は、現在の復号対象の受信データよりも前の復号対象の受信データに対して繰り返し実行した復号処理のうち、最初に実行した復号処理で得られた復号結果に基づいて、現在の復号対象の受信データに対して行う復号処理に適用する復号パラメータの初期値を決定する。

10

20

30

40

50

## 【発明の効果】

## 【0010】

本発明にかかる復号装置は、空間結合低密度パリティ検査符号を復号する際の処理遅延および消費電力を抑制することができる、という効果を奏する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】本発明の実施の形態1にかかる復号装置の構成例を示す図

【図2】実施の形態1にかかる誤り訂正復号部の構成例を示す図

【図3】実施の形態1にかかる窓復号部が誤り訂正復号処理で使用するパリティ検査行列の構成例を示す図

10

【図4】図3に示すパリティ検査行列の一部を示す図

【図5】実施の形態1にかかる窓復号部の処理を説明するための図

【図6】窓復号の復号パラメータと誤り訂正性能の関係の一例を示す図

【図7】実施の形態1にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理の初期ステップを説明するための図

【図8】実施の形態1にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理の2番目のステップを説明するための図

【図9】実施の形態1にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理の一例を示すフローチャート

【図10】実施の形態2にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理の2番目のステップを説明するための図

20

【図11】実施の形態3にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理を説明するための図

【図12】実施の形態4にかかる復号器が行う誤り訂正復号処理を説明するための図

【図13】実施の形態4にかかる復号器が行う他の誤り訂正復号処理を説明するための図

【図14】実施の形態1～4にかかる復号器を実現するハードウェアの一例を示す図

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

以下に、本発明の実施の形態にかかる復号装置を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

## 【0013】

実施の形態1.

30

図1は、本発明の実施の形態1にかかる復号装置の構成例を示す図である。実施の形態1にかかる復号装置である復号器1は、尤度生成部11、誤り訂正復号部12、誤り率推定部13および復号パラメータ制御部14を備える。復号器1は、例えば、通信装置が備える受信装置を構成する。また、復号器1は、図1に示す各部が後述する処理を行うことにより、空間結合低密度パリティ検査符号化された受信データを対象として誤り訂正復号を行う。受信データは尤度生成部11に入力される。なお、これ以降の説明では、空間結合低密度パリティ検査符号を空間結合LDPC符号と記載する。

## 【0014】

尤度生成部11は、軟判定の誤り訂正復号処理のために、入力される受信データから尤度を算出する。本実施の形態にかかる復号器1は軟判定の誤り訂正復号を行う。軟判定とは、例えばデータが「0」もしくは「1」のバイナリデータで表現される場合には、受信データを「0」もしくは「1」に断定せず、複数の閾値を持って「0」もしくは「1」らしさで判定する。尤度を表す指標としては、後段の誤り訂正復号処理のため、対数尤度比(Log-Likelihood Ratio: LLR)を使うのが一般的であるが、尤度比または確率を用いても問題ない。また、上記の説明および以下の説明においては、復号器1が取り扱うデータをバイナリデータとして記載するが、複数のバイナリデータにより構成されるシンボルデータを取り扱う場合の処理も同様である。

40

## 【0015】

誤り訂正復号部12は、入力されるLLRを用いて誤り訂正復号処理を行う。図2は、実施の形態1にかかる誤り訂正復号部12の構成例を示す図である。図2に示すように、誤

50

り訂正復号部 1 2 は、窓復号部 2 1 およびデータ格納部 2 2 を備える。誤り訂正復号部 1 2 において、データ格納部 2 2 は入力されるデータを保持する。窓復号部 2 1 は、データ格納部 2 2 で保持するデータの復号演算を行う。なお、誤り訂正復号処理の前段にインタリーブおよびデインタリーブ等を挿入することで誤りを分散させる手法が良く用いられている。本発明の本質ではない部分のため図示は省略しているが、データの送信側が誤り訂正符号化後のデータをインタリーブし、復号器 1 においては尤度生成部 1 1 が出力する L L R をデインタリーブして誤り訂正復号部 1 2 に入力する構成としてもよい。

【 0 0 1 6 】

誤り率推定部 1 3 は、誤り訂正復号部 1 2 による復号処理結果を元に受信信号のビット誤り率（以下、単に「受信信号の誤り率」と記載する）を推定する。復号パラメータ制御部 1 4 は、誤り率推定部 1 3 で推定した信号の誤り率に基づいて、誤り訂正復号部 1 2 での誤り訂正復号処理に適用する復号パラメータを制御する。

【 0 0 1 7 】

次に、復号器 1 が受信データを復号する動作について説明する。復号器 1 を備える受信装置が受信した信号は、伝送路に適した補償処理および復調処理といった受信処理が行われた後に復号器 1 に入力される。

【 0 0 1 8 】

復号器 1 に信号が入力されると、まず、尤度生成部 1 1 が、入力された信号を L L R に変換して出力する。尤度生成部 1 1 が出力する L L R は誤り訂正復号部 1 2 に入力される。誤り訂正復号部 1 2 においては、データ格納部 2 2 が L L R を受け取って保持する。窓復号部 2 1 は、L L R をデータ格納部 2 2 から読み出し、復号パラメータ制御部 1 4 が決定した復号パラメータを使用して復号処理を行い、得られた復号結果をデータ格納部 2 2 に格納する、という一連の処理を繰り返し行う。また、窓復号部 2 1 は、復号パラメータ制御部 1 4 が復号パラメータを決定するタイミングに合わせて復号結果を誤り率推定部 1 3 に出力する。なお、窓復号部 2 1 は得られた全ての復号結果を誤り率推定部 1 3 に出力するようにしてもよい。

【 0 0 1 9 】

窓復号部 2 1 は、空間結合 L D P C 符号が適用された受信データを、図 3 に記載したようなパリティ検査行列 H を用いて復号する。図 3 は、実施の形態 1 にかかる窓復号部 2 1 が誤り訂正復号処理で使用するパリティ検査行列の構成例を示す図である。図 3 に示すパリティ検査行列 H は、より小さいパリティ検査部分行列（図 3 では「部分行列」と記載）が対角上に接続された帯行列で構成される。なお、以下の説明では、「パリティ検査部分行列」を「部分行列」と称する。部分行列の各構成要素は、隣り合う他の部分行列の構成要素と組み合わせることにより、複数の比較的短い L D P C 符号のパリティ検査行列を構築できるように構成される。すなわち、隣り合う複数の部分行列を組み合わせることにより、一つの長い符号の中に複数の L D P C 符号が畳み込まれて接続された構造が得られる。部分行列には、例えば、巡回置換行列の Q C (Quasi - Cyclic) 構造を用いて Q C - L D P C 符号の畳み込み符号とする構成を用いることができる。Q C 構造を適用する場合、検査行列の構成および回路実装が容易となる。

【 0 0 2 0 】

また、窓復号部 2 1 が行う誤り訂正復号処理では、複数の部分行列にまたがる窓サイズ単位で復号処理を行う。この復号処理は窓復号と呼ばれる。図 4 に窓復号の例を示す。図 4 では、図 3 に示すパリティ検査行列 H の一部を抽出して表示している。図 4 では、実線の四角形が部分行列を示し、破線の四角形が窓を示す。図 4 は、5 つの部分行列にまたがった窓サイズで復号を行う場合の例を示している。窓復号では、窓の一番上から列方向毎に復号を行い、下の行に向かって逐次的に処理を進め、窓の一番下まで処理が到達した場合に再度窓の一番上から処理を行う繰り返し復号処理を行うことが一般的である。復号処理には、Sum - Product 復号法、Min - Sum 復号法などの、L D P C 符号の復号アルゴリズムとして一般的に知られている手法が適用可能である。本発明では使用する復号アルゴリズムについては規定しない。ある窓に対する復号処理が完了した場合、窓復

10

20

30

40

50

号部 2 1 は、図 5 に示すように、窓の一番先頭の処理が完了した入力信号についての復号結果を出力する。また、窓復号部 2 1 は、窓を右下方向に部分行列 1 つ分だけシフトするとともに、新しい受信データを入力する。ここでの入力とは、データ格納部 2 2 から受信データを読み出すことを意味する。窓復号部 2 1 は、シフト後の新しい窓領域に対して、シフト前の窓領域に対する復号処理と同様の手順で復号処理を逐次的に行う。

#### 【 0 0 2 1 】

窓復号において、その誤り訂正性能は復号パラメータで示される窓サイズおよび復号繰り返し数に変わって変化することが知られている。図 6 を用いて説明する。図 6 は、窓復号の復号パラメータと誤り訂正性能の関係の一例を示す図である。図 6 において、横軸は窓サイズを示す。また、縦軸は、復号パラメータが（窓サイズ，復号繰り返し数） = （1 2 ， 3 ）であるときの符号化利得を基準として、復号パラメータを変化させた場合の符号化利得のペナルティを示している。図 6 に示す通り、同じ窓サイズであっても、復号繰り返し数が多いほうがペナルティは小さくなる、すなわち、誤り訂正性能は高くなる。また、同じ繰り返し数であっても、窓サイズを大きくするほうが誤り訂正性能は高くなる。しかし、誤り訂正性能と消費電力にはトレードオフの関係がある。任意のスループットに対して高い誤り訂正性能を実現するためには、単位時間当たりの復号処理量を大きくするために、回路規模の拡大および動作周波数の高速化の一方または双方が必要となり、復号器の消費電力を大きくする必要がある。逆説的には、通信路に対して十分な誤り訂正性能を有する復号器に対して、通信路に応じて復号パラメータを適切に選択することが可能であれば、復号器の動作周波数の低速化と、演算器の間欠動作または動作停止とにより、低消費電力化を実現することが可能となる。

10

20

#### 【 0 0 2 2 】

そこで、本実施の形態にかかる復号器 1 では、受信データに基づいて適切な復号パラメータを選択するようにして、消費電力が増大するのを抑制する。以降では、復号器 1 において受信データをもとに復号パラメータを決定する動作について説明する。

#### 【 0 0 2 3 】

図 7 は、実施の形態 1 にかかる復号器 1 が行う誤り訂正復号処理の初期ステップを説明するための図である。本実施の形態にかかる復号器 1 において、誤り訂正復号部 1 2 は、入力された空間結合 L D P C 符号、具体的には、尤度生成部 1 1 から入力された L L R データ列の先頭に対して、目標のスループットを満足できる復号パラメータ（窓サイズ，復号繰り返し数）の中で最大の誤り訂正性能を実現できる値を設定し、初期ステップの復号処理を行う。この初期ステップにおいて得られた復号結果は、復号結果として出力される他、誤り率推定部 1 3 に送られる。

30

#### 【 0 0 2 4 】

誤り率推定部 1 3 は、誤り訂正復号部 1 2 から入力される、初期ステップの復号結果を用いて、受信信号の誤り率を推定する。受信信号の誤り率は、例えば、誤り訂正前の L L R データの硬判定結果と初期ステップでの復号結果の硬判定結果とを比較することにより誤りが訂正されたビットを検出し、この検出結果から求めることができる。具体的には、誤り率推定部 1 3 は、誤りが訂正されたビットの数（以下、訂正ビット数と称する）を誤りが発生したビットの数であると仮定し、訂正ビット数を復号処理したビット数で割ることにより、受信信号の誤り率を推定する。推定した誤り率は復号パラメータ制御部 1 4 に送られる。なお、復号処理の出力結果は部分行列の列数単位で固定値のため、誤り率推定部 1 3 は、誤り率ではなく誤りビット数を復号パラメータ制御部 1 4 に出力してもよい。

40

#### 【 0 0 2 5 】

復号パラメータ制御部 1 4 は、誤り率推定部 1 3 から入力される受信信号の誤り率に基づいて、復号パラメータとなる窓サイズおよび復号繰り返し数を決定する。前述の通り、復号パラメータの制御により誤り訂正性能は変化し、同時に電力の制御にも繋がる。そこで、復号パラメータ制御部 1 4 は、受信信号の誤り率をもとに、必要十分な誤り訂正性能を実現可能な復号パラメータを決定する。復号パラメータの決定においては、例えば、受信信号の誤り率に対して十分な誤り訂正性能を実現できる復号パラメータの一覧表を保有し

50

ておき、復号パラメータ制御部 14 は、受信信号の誤り率が入力されると、入力された誤り率と対応付けられている復号パラメータを一覧表から選択し、使用する復号パラメータに決定する。このようにすることで簡単に復号パラメータを決定することが可能となる。復号パラメータ制御部 14 は、決定した復号パラメータを誤り訂正復号部 12 に通知する。

【0026】

図 7 に示す初期ステップの次ステップでの処理を図 8 に示す。図 8 は、実施の形態 1 にかかる復号器 1 が行う誤り訂正復号処理の 2 番目のステップを説明するための図である。

【0027】

図 8 に示すように、復号器 1 の誤り訂正復号部 12 は、初期ステップの次ステップである 2 番目のステップにおいて、復号パラメータ制御部 14 が決定した復号パラメータの通知を受け、復号パラメータが示す窓サイズおよび復号繰り返し数となるように窓サイズおよび復号繰り返し数の設定を変更して復号処理を行う。なお、誤り訂正復号部 12 は、復号パラメータ制御部 14 から通知された復号パラメータが初期ステップで使用した復号パラメータと同じ場合、窓サイズおよび復号繰り返し数の設定を変更せずに、復号処理を行う。誤り訂正復号部 12 は、2 番目のステップ以降のステップにおける復号処理では、2 番目のステップと同じ復号パラメータを使用する。

10

【0028】

以上の実施の形態 1 にかかる復号器 1 が行う誤り訂正復号処理をフローチャートで表すと図 9 のようになる。図 9 は、実施の形態 1 にかかる復号器 1 が行う誤り訂正復号処理の一例を示すフローチャートである。

20

【0029】

図 9 に示すように、復号器 1 が行う誤り訂正復号処理では、まず、誤り訂正復号部 12 が、復号処理のステップ数を表す変数  $i$  を「 $i = 1$ 」に設定する（ステップ S11）。次に、誤り訂正復号部 12 が、復号パラメータを初期値に設定する。具体的には、誤り訂正復号部 12 は、窓サイズおよび復号繰り返し数それぞれの値を最大に設定する（ステップ S12）。次に、誤り訂正復号部 12 が、窓復号部 21 に窓サイズ分のデータを入力する（ステップ S13）。すなわち、データ格納部 22 から窓復号部 21 へ窓サイズ分のデータを入力する。次に、誤り訂正復号部 12 が、Step.  $i$  の復号（ $i$  番目のステップの復号処理）を行う（ステップ S14）。

【0030】

30

次に、誤り訂正復号部 12 が、「 $i = 1$ 」が成り立つかを確認し（ステップ S15）、成り立つ場合（ステップ S15: Yes）、誤り率推定部 13 が、受信信号の誤り率を示す BER (Bit Error Rate) を推定する（ステップ S16）。すなわち、誤り訂正復号部 12 は、「 $i = 1$ 」であれば、ステップ S14 での復号結果を誤り率推定部 13 に出力し、誤り率推定部 13 は、入力された復号結果に基づいて BER を推定する。

【0031】

ステップ S16 を実行して誤り率推定部 13 が BER の推定値を求めると、次に、BER の推定値に基づき復号パラメータ制御部 14 が復号パラメータを決定し、この決定結果に従って、誤り訂正復号部 12 が窓サイズおよび復号繰り返し数を更新する（ステップ S17）。なお、ステップ S16 で得られる BER の推定値によっては、ステップ S17 で窓サイズおよび復号繰り返し数の一方のみを更新する場合もあるし、窓サイズおよび復号繰り返し数のいずれも更新されない場合もある。

40

【0032】

上記のステップ S15 において「 $i = 1$ 」が成り立たないと判定した場合（ステップ S15: No）、および、ステップ S17 を実行して復号パラメータを更新した場合、誤り訂正復号部 12 が、「 $i = N$ 」が成り立つかを確認する（ステップ S18）。なお、 $N$  の値は図 3 に示すパリティ検査行列  $H$  の構成および窓のサイズに基づいて設定される。具体的には、 $N$  の値には、窓の位置が図 3 に示すパリティ検査行列  $H$  の右下端部に到達するまでに行うシフト回数が設定される。シフト回数は、窓のサイズが決まれば、窓のサイズおよびパリティ検査行列  $H$  のサイズから求めることができる。

50

## 【 0 0 3 3 】

「 $i = N$ 」が成り立つ場合（ステップ S 1 8 : Y e s）、復号器 1 の誤り訂正復号部 1 2 が行う誤り訂正復号処理は終了となる。一方、「 $i = N$ 」が成り立たない場合（ステップ S 1 8 : N o）、誤り訂正復号部 1 2 は、 $i$  をインクリメントし（ステップ S 1 9）、ステップ S 1 3 に戻ってステップ S 1 3 ~ S 1 8 の処理を繰り返す。なお、図 9 への記載は省略しているが、誤り訂正復号部 1 2 は、ステップ S 1 9 で  $i$  をインクリメントした後、図 4 および図 5 を用いて説明したように、窓を右下方向に、部分行列 1 つ分だけシフトする。

## 【 0 0 3 4 】

以上のように、本実施の形態にかかる復号器 1 は、窓の位置を変更しながら繰り返し復号を行う窓復号において、初期ステップを実行して最初の復号結果が得られるまでは誤り訂正性能が最高となる復号パラメータを使用し、最初の復号結果が得られると、復号結果に基づいて、その後の復号処理で使用する復号パラメータを決定する。このようにすることで、受信信号に対して必要十分な処理量での誤り訂正復号を実現できるため、復号器 1 の低電力化を実現することができる。また、初期ステップを十分に強力な復号パラメータで復号し、その結果に基づいて一意に次ステップの復号パラメータを決定しているため、特許文献 1 に記載の方式で生じるような、復号パラメータの調整の繰り返しが発生するのを防止でき、処理遅延が増大するのを抑制できる。

10

## 【 0 0 3 5 】

本実施の形態では、基本構成として、受信信号の誤り率の推定に初期ステップの復号結果のみを使用することとしたが、誤り率の推定に複数ステップの復号結果を用いてもよい。複数ステップを用いることで、受信信号品質に対して過度な誤り訂正性能での誤り訂正復号処理を行う可能性が高くなる。すなわち、受信信号の誤り率の推定が終了するまでの複数ステップで過度な誤り訂正性能となる復号パラメータを使用する可能性が高くなる。しかし、誤り率推定のためのサンプル数が増えるため、推定結果の信頼性向上による復号パラメータ決定の確度を向上させることができる。

20

## 【 0 0 3 6 】

また、本実施の形態では、初期ステップで推定した誤り率と、その誤り率に基づいて決定した復号パラメータを、次ステップでの復号処理から適用する構成としたが、次ステップの途中から適用する、次ステップ以降の復号処理から適用する、などとしてもよい。このようにすることで、受信信号品質に対して過度な誤り訂正性能での復号処理を行う可能性が高くなるが、次ステップでの復号処理と復号パラメータの決定に掛かるプロセスを並列に設けることができるため、処理の高速化および回路実現性の向上に繋がる。なお、これらの変形構成、すなわち、基本構成を一部変形させた構成について、信号品質の変動および復号器 1 の実現性を考慮し、組み合わせ使用してもよい。

30

## 【 0 0 3 7 】

なお、本実施の形態にかかる復号器 1 では誤り訂正復号部 1 2 が繰り返し実行する復号処理で得られる 1 つ以上の復号結果に基づいて誤り率推定部 1 3 が受信信号のビット誤り率を推定し、ビット誤り率の推定結果に基づいて復号パラメータ制御部 1 4 が復号パラメータを決定することとした。しかし、受信信号のビット誤り率は、受信信号の品質を示す情報の一例であり、ビット誤り率を使用して復号パラメータを決定する構成に限定されない。ビット誤り率の代わりに、受信信号の品質を示す他の情報を利用して復号パラメータを決定してもよい。すなわち、誤り率推定部 1 3 は、誤り訂正復号部 1 2 が繰り返し実行する復号処理で得られる 1 つ以上の復号結果に基づいて受信信号の品質を推定する信号品質推定部の一例である。

40

## 【 0 0 3 8 】

実施の形態 2 .

以上の実施の形態 1 では、空間結合 L D P C 符号の復号パラメータを決定するために、受信した符号系列の初期ステップの復号結果を利用して誤り率を推定するようにしたものである。しかし、初期ステップの復号結果に基づいた復号パラメータを符号系列全体に適用

50

するため、伝送路が比較的静的で符号の始まりから終わりまで性能変動が小さいことが求められる。そこで、本実施の形態では、伝送路特性に時間変動があり、符号の始まりと終わりとの性能にばらつきが生じる場合に適用する復号器について説明する。

【 0 0 3 9 】

本実施の形態にかかる復号器の構成は、実施の形態 1 にかかる復号器と同様に、図 1 および図 2 に示したものとなる。また、実施の形態 1 と同様に復号方式に窓復号を適用する。以下に示す本実施の形態では、実施の形態 1 と異なる部分について説明を行う。なお、説明の便宜上、本実施の形態にかかる復号器を復号器 1 a と記載する。

【 0 0 4 0 】

実施の形態 2 にかかる復号器 1 a が行う窓復号の初期ステップでは、実施の形態 1 にかかる復号器 1 が行う窓復号の初期ステップと同じ処理を行う。すなわち、復号器 1 a は、窓復号の初期ステップにおいて、図 7 に示すように、L L R データ列の先頭に対して、目標のスループットを満足できる復号パラメータ（窓サイズ、復号繰り返し数）の中で最大の誤り訂正性能を実現できる値を設定して復号処理を行う。

10

【 0 0 4 1 】

復号器 1 a は、初期ステップの次のステップでは、図 1 0 に示す処理を行う。なお、図 1 0 は、実施の形態 2 にかかる復号器 1 a が行う誤り訂正復号処理の 2 番目のステップを説明するための図である。図 1 0 に示すとおり、復号器 1 a の誤り訂正復号部 1 2 は、初期ステップの復号結果に基づいて決定された復号パラメータを使用した復号処理を、実施の形態 1 と同様に行う。一方で、本実施の形態では、現在のステップでの復号結果を誤り率推定部 1 3 へと出力することで、更に次のステップにおける復号パラメータの更新を行う。すなわち、復号器 1 a では、誤り訂正復号処理の各ステップで得られる復号結果に基づいて、復号パラメータを順次更新する。このようにすることで、伝送路の時間変動によって、空間結合 L D P C 符号中の間に受信品質の遷移があった場合においても復号処理の最適な復号パラメータの追従が可能となり、より安定的に復号器 1 a の低電力化が可能となる。

20

【 0 0 4 2 】

本実施の形態では、基本構成として、受信信号の誤り率の推定に 1 つのステップの復号結果のみを使用することとしたが、実施の形態 1 と同様に、誤り率の推定に複数ステップの復号結果を用いてもよい。また、現時点のステップにおける復号パラメータは、1 つ前のステップで推定した誤り率に基づいて決定するようにしたが、より前のステップで推定した誤り率に基づいて決定するようにしてもよい。

30

【 0 0 4 3 】

また、本実施の形態では、復号パラメータを決定する際に 1 つ前のステップの復号結果のみを用いて受信信号の誤り率を推定しているが、より前のステップを含む複数のステップでの復号結果を用いてもよい。複数のステップでの復号結果を活用することにより、例えば加重平均を取ることで現在の通信品質の推定確度を向上させることが可能となる。また、カルマンフィルタ等の適用により次ステップの誤り率を推定することが可能となる。なお、これらの変化構成について、信号品質の変動および復号器 1 a の実現性を考慮し、いくつかの変化構成を組み合わせ使用してもよい。

40

【 0 0 4 4 】

なお、上記説明では誤り率推定および復号パラメータの更新をすべての復号処理ステップで実施しているが、間欠的に実施する構成としてもよい。

【 0 0 4 5 】

実施の形態 3 .

以上の実施の形態 1 および実施の形態 2 では、受信した一つの空間結合 L D P C 符号に閉じて復号パラメータを最適化するものであった。そのため、新しい空間結合 L D P C 符号系列が入力された場合には、復号パラメータを初期化して最大の誤り訂正性能を実現できる値とし、誤り訂正復号処理を進めていく形となる。しかし、時間的に連続した受信信号において、受信品質が著しく異なることは考えにくい。そこで、本実施の形態にかかる復

50

号器は、ある空間結合LDPC符号の復号結果を使用してビット誤り率の推定値を求め、この推定値に基づいて、次の空間結合LDPC符号を誤り訂正復号する際の復号パラメータの初期値を決定する。

【0046】

本実施の形態にかかる復号器の構成は、実施の形態1, 2にかかる復号器と同様に、図1および図2に示したものとなる。また、実施の形態1, 2と同様に、復号方式に窓復号を適用する。以下に示す本実施の形態では、実施の形態1, 2と異なる部分について説明を行う。なお、説明の便宜上、本実施の形態にかかる復号器を復号器1bと記載する。

【0047】

図11は、実施の形態3にかかる復号器1bが行う誤り訂正復号処理を説明するための図である。説明のため、現在誤り訂正復号処理を行う対象の符号をn番目の空間結合LDPC符号と表記する。誤り訂正復号処理がシリアルに行われる場合、n番目の空間結合LDPC符号を復号するときには、n-1番目の空間結合LDPC符号の復号は完了している。本実施の形態にかかる復号器1bは、n-1番目の空間結合LDPC符号の復号結果に基づいて受信信号の誤り率を推定し、推定した誤り率に基づいて、復号パラメータを決定する。すなわち、図11に示すように、n-1番目の空間結合LDPC符号の復号結果を誤り率推定部13に入力し、誤り率推定部13が受信信号の誤り率を推定する。次に、誤り率推定部13が求めた誤り率の推定値に基づいて、復号パラメータ制御部14が復号パラメータを決定する。そして、復号パラメータ制御部14が決定した復号パラメータを使用して、復号器1bの誤り訂正復号部12がn番目の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理を開始する。すなわち、復号器1bは、n番目の空間結合LDPC符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップに対して、n-1番目の空間結合LDPC符号の復号結果を用いて決定した復号パラメータを適用する。復号器1bは、実施の形態1にかかる復号器1と同様に、初期ステップで復号結果が得られると、得られた復号結果に基づいて次のステップ以降の復号処理に適用する復号パラメータを決定する。復号器1bは、続くn+1番目の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理では、n番目の空間結合LDPC符号の復号結果を用いて決定した復号パラメータを、初期ステップでの復号処理に適用する。復号器1bは、以下、同様に、空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理で使用する復号パラメータの初期値、すなわち、初期ステップでの復号処理に適用する復号パラメータを、1つ前の空間結合LDPC符号の復号結果を用いて決定していく。

【0048】

このようにすることで、誤り訂正復号処理の初期ステップから受信信号品質に応じたパラメータで復号することが可能となり、低電力化を効率的に実現できるようになる。なお、復号器1bは、空間結合LDPC符号列の復号を開始する場合、すなわち、上記のn-1番目の空間結合LDPC符号に相当する空間結合LDPC符号が存在しない場合、実施の形態1, 2と同様に、誤り訂正性能が最高となる復号パラメータを使用して誤り訂正復号処理を開始する。

【0049】

本実施の形態では、n-1番目の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理とn番目の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理を逐次的に行うことを前提として説明を行った。しかし、現実には、任意のスループットを実現する復号器では窓復号部21およびデータ格納部22が並列化され、n番目とn-1番目の空間結合LDPC符号が同じタイミングで復号される場合が考えられる。そのため、n-1番目の空間結合LDPC符号の復号結果に基づいて決定する復号パラメータを、n+i番目以降(i>0)の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理から適用する構成としてもよい。

【0050】

実施の形態4.

上記の実施の形態3では、前回の空間結合LDPC符号の復号結果を活用して現在の空間結合LDPC符号の誤り訂正復号処理に適用する復号パラメータの初期値を決定するものであった。実施の形態3で説明した構成を実現する場合、復号器1bにおいて復号パラメ

10

20

30

40

50

ータの決定に必要な受信信号の誤り率を推定する誤り率推定部 13 には、実施の形態 1 および実施の形態 2 に適用される誤り率推定部 13 に対して、空間結合 LDPC 符号全体の誤り率を算出する追加の機能が必要となる。そこで、本実施の形態では、空間結合 LDPC 符号全体の誤り率を算出する機能の追加を必要としない復号器の形態について説明する。

#### 【0051】

本実施の形態にかかる復号器の構成は、実施の形態 1 ~ 3 にかかる復号器と同様に、図 1 および図 2 に示したものとなる。また、実施の形態 1 ~ 3 と同様に復号方式に窓復号を適用する。なお、説明の便宜上、本実施の形態にかかる復号器を復号器 1c と記載する。

#### 【0052】

図 12 は、実施の形態 4 にかかる復号器 1c が行う誤り訂正復号処理を説明するための図である。図 12 は、復号器 1c が実施の形態 1 で説明した誤り訂正復号処理と同様の誤り訂正復号処理を行いつつ前回の空間結合 LDPC 符号の復号結果を活用して復号パラメータを決定する場合を示している。

10

#### 【0053】

上述したように、実施の形態 1 にかかる復号器 1c では、初期ステップの復号結果をもとに復号パラメータを決定し、受信した空間結合 LDPC 符号の初期ステップ以降のすべての復号処理ステップに同じパラメータを適用していた。図 12 に示すように、実施の形態 1 と同様の手順で空間結合 LDPC 符号を復号する復号器 1c では、 $n - 1$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップで得られる復号結果に基づいて誤り率推定部 13 がビット誤り率を推定し、ビット誤り率の推定値に基づいて復号パラメータ制御部 14 が復号パラメータを決定する。そして、この復号パラメータを  $n$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップに適用する。

20

#### 【0054】

このように、復号器 1c は、実施の形態 1 と同様の手順で空間結合 LDPC 符号を復号する場合、 $n - 1$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップで得られる復号結果に基づいて決定した復号パラメータを、 $n - 1$  番目の空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理に適用するだけでなく、 $n$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップにも適用する。復号器 1c は、 $n$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する初期ステップ以降の各ステップには、初期ステップでの復号結果に基づいて決定する復号パラメータを適用する。復号器 1c は、 $n + 1$  番目以降の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理で使用する復号パラメータも同様の方法で決定する。

30

#### 【0055】

図 13 は、実施の形態 4 にかかる復号器 1c が行う他の誤り訂正復号処理を説明するための図である。図 13 は、復号器 1c が実施の形態 2 で説明した誤り訂正復号処理と同様の誤り訂正復号処理を行いつつ前回の空間結合 LDPC 符号の復号結果を活用して復号パラメータを決定する場合を示している。

#### 【0056】

上述したように、実施の形態 2 にかかる復号器 1a は、空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理の各ステップにおいて、求めた復号結果に基づいて、以降のステップで使用する復号パラメータを決定していた。すなわち、復号器 1a は、空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理の各ステップでの復号結果に基づいて、復号パラメータを更新していた。図 13 に示すように、実施の形態 2 と同様の手順で空間結合 LDPC 符号を復号する復号器 1c では、 $n - 1$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の最終ステップでの復号結果に基づいて誤り率推定部 13 がビット誤り率を推定し、ビット誤り率の推定値に基づいて復号パラメータ制御部 14 が復号パラメータを決定する。そして、この復号パラメータを  $n$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の初期ステップに適用する。

40

#### 【0057】

このように、復号器 1c は、実施の形態 2 と同様の手順で空間結合 LDPC 符号を復号する場合、 $n - 1$  番目の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理の最終ステップで

50

の復号結果に基づいて、ビット誤り率の推定および復号パラメータの更新を行い、更新した復号パラメータを  $n$  番目の空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理の初期ステップに適用する。復号器 1c は、 $n + 1$  番目以降の空間結合 LDPC 符号に対する誤り訂正復号処理で使用する復号パラメータも同様の方法で決定する。

#### 【0058】

以上のような構成にすることで、実施の形態 1 および実施の形態 2 に空間結合 LDPC 符号全体の誤り率を算出する機能を追加することなく、各空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理の初期ステップから受信信号品質に応じた復号パラメータで復号を行うことが可能となる。この結果、低電力化を効率的に実現できる。

#### 【0059】

なお、本実施の形態に記載した誤り訂正復号処理は、それぞれ、実施の形態 1 と実施の形態 2 の基本構成をもとに記載したものであるが、各実施の形態に記載した変形構成をもとに実現してもよい。

#### 【0060】

また、実施の形態 3 と同様に、スループットおよび実装条件といった制約等を考慮し、 $n - 1$  番目の復号結果に基づいて決定する復号パラメータを、 $n + i$  番目以降 ( $i \geq 0$ ) の空間結合 LDPC 符号の誤り訂正復号処理から適用する構成でもよい。さらに、このような前回の空間結合 LDPC 符号の復号結果を活用して復号パラメータの初期値を決定する処理を繰り返す回数に制限を設けてもよい。すなわち、このような処理を繰り返した回数が予め定められた回数に達するごとに、最大の誤り訂正性能を実現できる設定に復号パラメータを戻し、処理を仕切りなおす構成としてもよい。処理を繰り返す回数に制限を設けるのではなく、処理を繰り返す時間に制限を設け、予め定められた時間が経過するごとに、最大の誤り訂正性能を実現できる設定に復号パラメータを戻してもよい。

#### 【0061】

つづいて、実施の形態 1 ~ 4 で説明した復号器のハードウェア構成について説明する。実施の形態 1 ~ 4 で説明した復号器は、専用の処理回路で実現することができる。専用の処理回路は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、またはこれらを組み合わせた回路である。

#### 【0062】

また、実施の形態 1 ~ 4 で説明した復号器は、図 14 に示すプロセッサ 101 およびメモリ 102 からなる制御回路で実現してもよい。図 14 は、実施の形態 1 ~ 4 にかかる復号器を実現するハードウェアの一例を示す図である。プロセッサ 101 は、CPU (Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSP (Digital Signal Processor) ともいう) である。メモリ 102 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリー、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (登録商標) (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリである。

#### 【0063】

実施の形態 1 ~ 4 で説明した復号器を図 14 に示す制御回路で実現する場合、復号器の尤度生成部 11、誤り訂正復号部 12、誤り率推定部 13 および復号パラメータ制御部 14 として動作するためのプログラムをメモリ 102 に予め格納しておく。プロセッサ 101 は、メモリ 102 に格納されているプログラムを読み出して実行することにより、復号器の尤度生成部 11、誤り訂正復号部 12、誤り率推定部 13 および復号パラメータ制御部 14 として動作する。なお、誤り訂正復号部 12 を構成するデータ格納部 22 はメモリ 102 により実現される。

#### 【0064】

尤度生成部 11、誤り訂正復号部 12、誤り率推定部 13 および復号パラメータ制御部 14 のうち、一部を専用の処理回路で実現し、残りを図 14 に示すプロセッサ 101 および

10

20

30

40

50

メモリ 102 で実現してもよい。

【0065】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0066】

1 復号器、11 尤度生成部、12 誤り訂正復号部、13 誤り率推定部、14 復号パラメータ制御部、21 窓復号部、22 データ格納部。

10

20

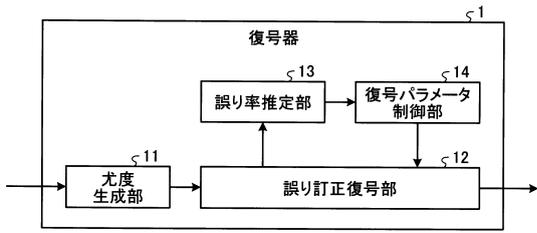
30

40

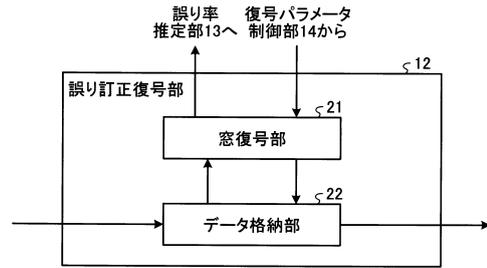
50

【図面】

【図 1】

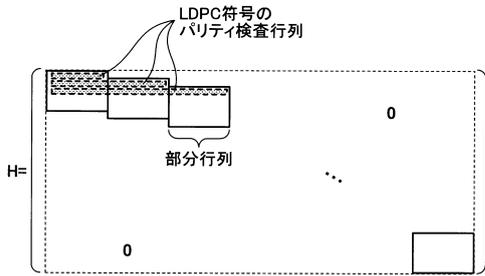


【図 2】

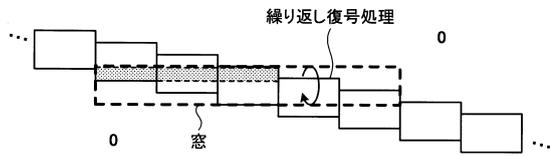


10

【図 3】



【図 4】



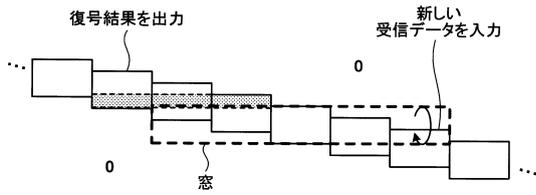
20

30

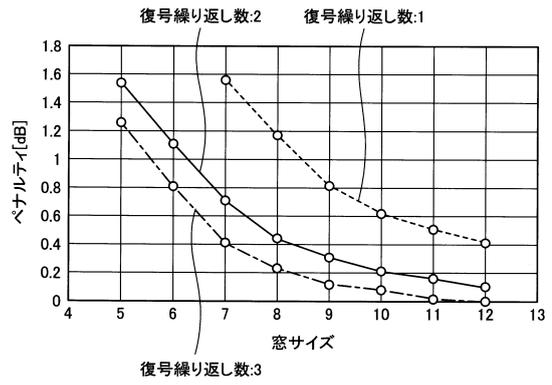
40

50

【図5】

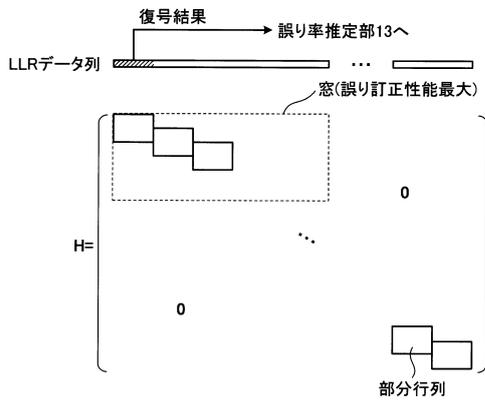


【図6】

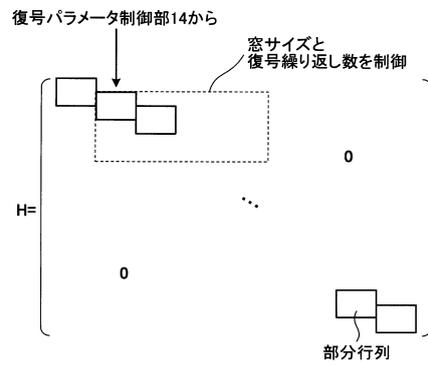


10

【図7】



【図8】



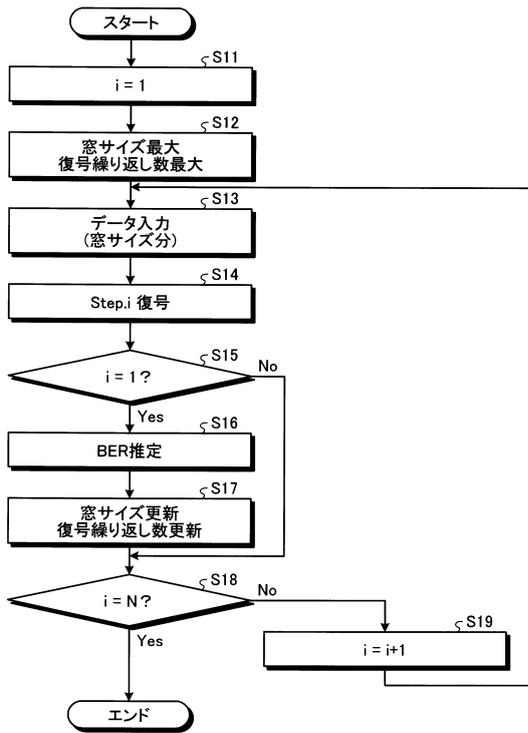
20

30

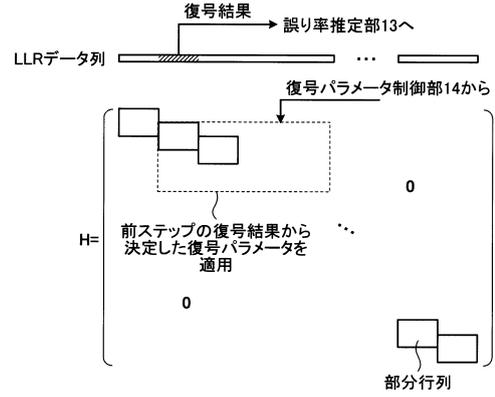
40

50

【図 9】



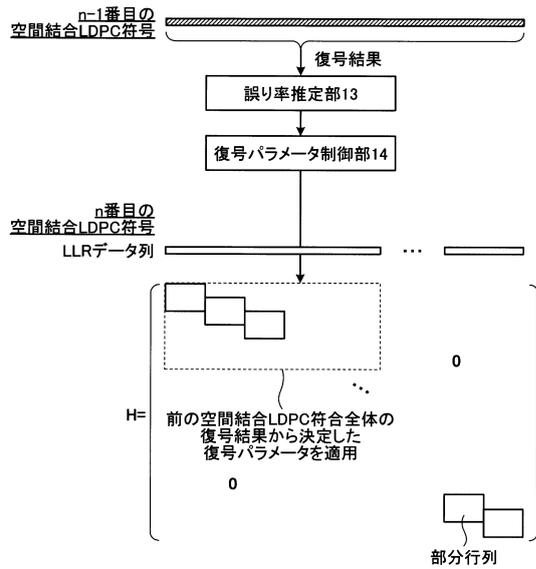
【図 10】



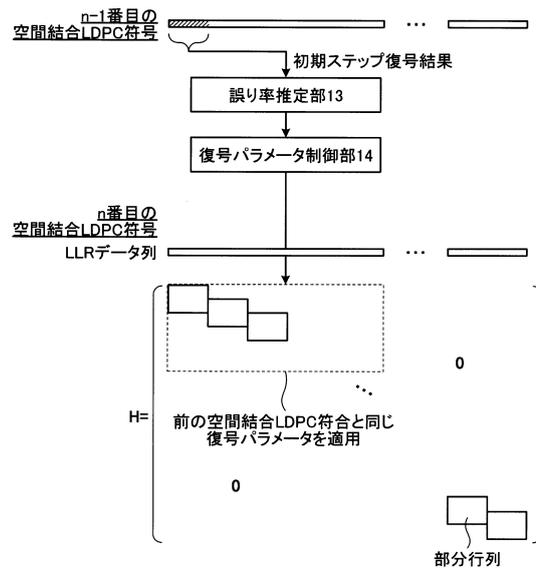
10

20

【図 11】



【図 12】

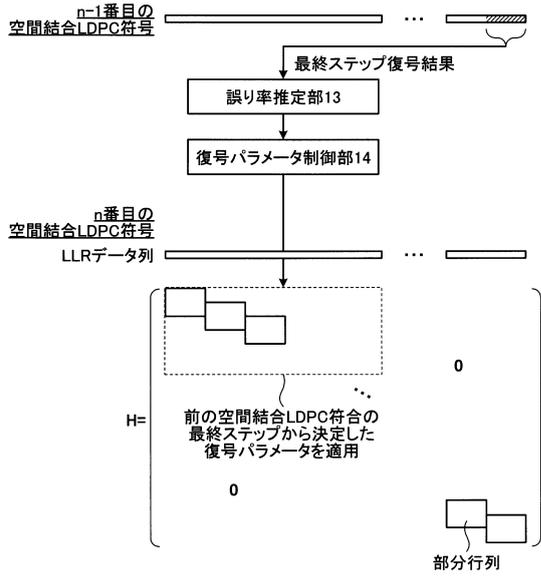


30

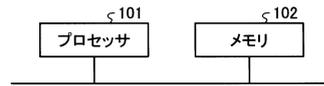
40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2018/042699(WO, A1)  
国際公開第2019/102621(WO, A1)  
特開2013-198017(JP, A)  
特開2012-151801(JP, A)  
特開2010-268114(JP, A)  
米国特許出願公開第2016/0164538(US, A1)  
国際公開第2019/042543(WO, A1)  
Massimo Battaglioni, et al., Complexity-Constrained Spatially Coupled LDPC Codes based on Protographs, 2017 International Symposium on Wireless Communication Systems(ISWCS), 2017年, p.49-53
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H03M 13/19  
H03M 13/35  
H04L 1/00