

明 細 書

発明の名称： 並列ビットインターリーブ

技術分野

[0001] 本発明はデジタル通信分野に関し、より詳細には、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いたビットインターリーブ符号化変調システム用のビットインターリーブに関する。

背景技術

[0002] 近年、デジタル通信分野において、ビットインターリーブ符号化変調 (bit-interleaved coding and modulation: B I C M) システムが用いられている (例えば、非特許文献 1 参照)。

[0003] B I C M システムでは、一般に、次の 3 つのステップが行われる。

[0004] (1) データブロックを例えば疑似巡回低密度パリティチェック (quasi-cyclic low-density parity check: Q C L D P C) 符号を用いて符号語に符号化する。

[0005] (2) 符号語のビットをビットインターリーブする。

[0006] (3) ビットインターリーブされた符号語をコンステレーションのビット数からなるコンステレーション語に分割し、コンステレーション語をコンステレーションにマッピングする。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献 1: E T S I E N 3 0 2 7 5 5 V 1. 2. 1 (D V B - T 2 規格)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 一般に、疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語に施すインターリーブの効率化が望まれている。

[0009] 本発明は、疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語に施すインター

リーブの効率化を実現できるインターリーブ方法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

[0010] 上記目的を達成するために本発明のビットインターリーブ方法は、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおけるビットインターリーブ方法であって、前記ビットインターリーブ方法は、それぞれが Q 個のビットからなる N 個の巡回ブロックで構成される前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を受信する受信ステップと、前記符号語のビットに対して当該符号語のビットの並び順を換えるビットパーミュテーション処理を施すビットパーミュテーションステップと、前記ビットパーミュテーション処理が施された符号語を、それぞれが M 個のビットよりなり、それぞれが所定のコンステレーションの 2^M 個のコンステレーションポイントのいずれか1つを示す複数のコンステレーション語に分割する分割ステップと、を有し、前記ビットパーミュテーション処理が施される前の前記符号語は $F \times N$ 個のフォルディングセクションに分割され、 F は1より大きい整数であり、各前記フォルディングセクションは M/F 個の前記巡回ブロックからなり、各前記コンステレーション語は $F \times N/M$ 個の前記フォルディングセクションのうちのいずれか1つと関連付けられており、前記ビットパーミュテーションステップは、各前記コンステレーション語が、関連付けられている前記フォルディングセクション中の M/F 個の異なる前記巡回ブロックのそれぞれの F 個のビットからなる計 M 個のビットから構成され、各前記フォルディングセクションのすべてのビットが当該フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語にのみにマッピングされるように、前記ビットパーミュテーション処理を行う。

発明の効果

[0011] 本発明のビットインターリーブ方法によれば、疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語に施すインターリーブの効率化を実現できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]一般的なB I C Mエンコーダを含むトランスミッタの構成を示すブロック図。

[図2]符号化率が $1/2$ である疑似巡回低密度パリティチェック (quasi-cyclic low-density parity check : QC LDPC) 符号のパリティチェック行列の一例を示す図。

[図3]符号化率が $2/3$ であるリピートアキュムレート疑似巡回低密度パリティチェック (repeat-accumulate quasi-cyclic low-density parity check : RA QC LDPC) 符号のパリティチェック行列の一例を示す図。

[図4]行パーミュテーション後の図3のRA QC LDPC符号のパリティチェック行列を示す図。

[図5]行パーミュテーションおよびパリティパーミュテーション後の図3のRA QC LDPC符号のパリティチェック行列を示す図。

[図6]8 P A Mシンボルにおいて符号化されたビットが互いに異なるロバストレベルを有することを説明する図。

[図7]巡回係数 $Q=8$ 、1つの低密度パリティチェック符号語の巡回ブロック数 $N=12$ 、1つのコンステレーションのビット数 $M=4$ に対応する一般的なビットインターリーバの構成を示すブロック図。

[図8] (a) D V B - T 2規格で用いられるD V B - T 2モジュレータの構成を示すブロック図であり、(b)は(a)に示すD V B - T 2モジュレータのB I C Mエンコーダの構成を示すブロック図。

[図9] (a) 12列のカラム - ロウインターリーバによって行われる16K符号 (LDPC符号語長が16200ビットであるLDPC符号) の符号語のビットの書き込み処理を示す図であり、(b)はカラム - ロウインターリーバによって行われる(a)で書き込まれた符号語のビットの読み出し処理を示す図。

[図10] (a) 8列のカラム - ロウインターリーバによって行われる16K符号の符号語のビットの書き込み処理を示す図であり、(b)はカラム - ロウインターリーバによって行われる(a)で書き込まれた符号語のビットの読

み出し処理を示す図。

[図11] DVB-T2規格に準じた、16QAMで16K符号用のビット-セルデマルチプレクサの構成を示すブロック図。

[図12] DVB-T2規格に準じた、64QAMで16K符号用のビット-セルデマルチプレクサの構成を示すブロック図。

[図13] DVB-T2規格に準じた、256QAMで16K符号用のビット-セルデマルチプレクサの構成を示すブロック図。

[図14] 8列のDVB-T2ビットインターリーブにおいて16K符号に対して起こり得る問題を示す図。

[図15] 12列のDVB-T2ビットインターリーブにおいて16K符号に対して起こり得る問題を示す図。

[図16] 8列のDVB-T2ビットインターリーブにおいて16K符号にコラムツイスト処理を適用する場合に起こり得る問題を示す図。

[図17] 12列のDVB-T2ビットインターリーブにおいて16K符号にコラムツイスト処理を適用する場合に起こり得る問題を示す図。

[図18] (a) は発明者が鋭意研究した結果見つけた非常に効率的なインターリーブの提供を可能にする1つ目の条件を説明する図であり、(b) は2つ目の条件を説明する図。

[図19] 本発明の一実施形態に係るインターリーブによるマッピングの機能を示す図。

[図20] 本発明の一実施形態に係るインターリーブの構成を示すブロック図。

[図21] (a) は図20のセクションパーミュテーションを実施するセクションパーミュテーションユニットの一構成例を示すブロック図であり、(b) は(a)のセクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機能を示す図。

[図22] (a) は図20のセクションパーミュテーションを実施するセクションパーミュテーションユニットの他の構成例を示すブロック図であり、(b) は(a)のセクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機

能を示す図。

[図23]本発明の他の実施形態に係るインターリーバの構成を示すブロック図。

[図24]図23のビットインターリーバの一構成例を示すブロック図。

[図25]本発明のさらに他の実施形態に係るトランスミッタの一構成例を示すブロック図。

[図26]本発明のさらに他の実施形態に係るBICMエンコーダの一実装例を示すブロック図。

[図27]本発明のさらに他の実施形態に係る非反復BICMデコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図。

[図28]本発明のさらに他の実施形態に係る反復BICMデコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図。

[図29]本発明のさらに他の実施形態に係る反復BICMデコーダの一実装例を示すブロック図。

[図30]並列インターリーバの対象の巡回ブロックと対象外の巡回ブロックの一例を示す図。

[図31](a)は発明者が鋭意研究した結果見つけた非常に効率的なインターリーバの提供を可能にする1つ目の条件を説明する図であり、(b)は2つ目の条件を説明する図。

[図32]本発明のさらに他の実施形態に係るインターリーバの構成を示すブロック図。

[図33](a)はフォルディングなし($F=1$)に対応するマッピングの機能を示す図であり、(b)はフォルディングあり($F=2$)に対応するマッピングの機能を示す図。

[図34](a)はフォルディングなし($F=1$)に対応する(フォルディング)セクションパーミュテーションユニットの一構成例を示すブロック図であり、(b)はフォルディングあり($F=2$)に対応するフォルディングセクションパーミュテーションユニットの一構成例を示すブロック図。

[図35]本発明のさらに他の実施形態に係るインターリーバの構成を示すブロック図。

[図36]図35のインターリーバの構成例を示すブロック図。

[図37]本発明のさらに他の実施形態に係るトランスミッタの構成例を示すブロック図。

[図38]本発明のさらに他の実施形態に係る非反復BICMデコーダを有するレシーバの構成例を示すブロック図。

[図39]本発明のさらに他の実施形態に係る反復BICMデコーダを有するレシーバの構成例を示すブロック図。

[図40] $F=2$ のフォルディング用のLLRメモリロケーションと1番目のコシネステーション語のビット配置を示す図。

[図41]ハイブリッドQPSK+16QAMに関するコシネステーション語の略図。

[図42]本発明のさらに他の実施形態に係るインターリーバの機能を説明するための図。

[図43]本発明のさらに他の実施形態に係るインターリーバの構成例を示すブロック図。

発明を実施するための形態

[0013] 《発明をするに至った経緯》

図1は、一般的なビットインターリーフ符号化変調 (bit-interleaved coding and modulation: BICM) エンコーダを含むトランスミッタの構成を示すブロック図である。図1に示すトランスミッタ100は、入力プロセッシングユニット110、BICMエンコーダ(低密度パリティチェック (low-density parity check: LDPC) エンコーダ120、ビットインターリーバ130、コシネステーション語パ140を含む)、およびモジュレータ150を備える。

[0014] 入力プロセッシングユニット110は、入力ビットストリームを所定長の複数ブロックに変換する。LDPCエンコーダ120は、LDPC符号を用い

てブロックを符号語に符号化し、符号語をビットインターリーブ130に送信する。ビットインターリーブ130は、LDPC符号語に対してインターリーブ処理を施し、インターリーブ処理を施した後、セル語（コンステレーション語）の列に分割する。コンステレーションマップ140は各セル語（コンステレーション語）をコンステレーション（例えば、QAM）の列にマッピングする。出力端の一般的なモジュレータ150は、BICMエンコーダの出力からRF（Radio Frequency）電力増幅器までのすべての処理ブロックを含む。

- [0015] LDPC符号は、パリティチェック行列（Parity-check Matrix：PCM）により完全に定義される線形誤り訂正符号である。PCMは2値の疎行列であり、符号語ビット（変数ノードとも称される）とパリティチェック（検査ノードとも称される）の連結（connection）を示す。PCMの列および行は、それぞれ、変数ノードおよび検査ノードに対応する。変数ノードと検査ノードの結合は、PCMにおいて、「1」という要素で示されている。
- [0016] LDPC符号には、疑似巡回低密度パリティチェック（quasi-cyclic low-density parity check：QC-LDPC）符号と呼ばれる種類が存在する。QC-LDPC符号は、特にハードウェア実装に適した構成を有する。事実、今日の規格のほとんどにおいてQC-LDPC符号が用いられている。QC-LDPC符号のPCMは、複数の巡回行列を有する特別な構成となっている。巡回行列とは、各行がその直前の行の要素を1つ巡回シフトした形になっている正方行列であり、重ね合わされた斜めの列（folded diagonal）が1つ、2つ、または、それ以上存在し得る。各巡回行列のサイズは $Q \times Q$ である。ここで Q はQC-LDPC符号の巡回係数（cyclic factor）と称される。上記のような疑似巡回の構造により、 Q 個の検査ノードを並列処理することができ、QC-LDPC符号は効率的なハードウェア実装を行うために明らかに有利な符号である。
- [0017] 図2は、一例として、巡回係数 $Q=8$ であるQC-LDPC符号のPCMを示す図である。なお、図2および後述する図3から図5において、最も小

さな四角の1つがPCMの1つの要素を表しており、そのうち黒塗りの四角の要素は「1」、それ以外の要素は「0」である。このPCMは、重ね合わされた斜めの列が1つまたは2つある巡回行列を有する。このQC-LDPC符号は $8 \times 6 = 48$ ビットのブロックを $8 \times 12 = 96$ ビットの符号語に符号化する。従って、このQC-LDPC符号の符号化率は $48 / 96 = 1 / 2$ である。符号語ビットはQビットを有する複数のブロックに分割される。巡回係数Qビットのブロックを本明細書では巡回ブロック（または、巡回グループ）と称する。

[0018] QC-LDPC符号には、リピートアキュムレート疑似巡回低密度パリティチェック（repeat-accumulate quasi-cyclic low-density parity check : RA-QC-LDPC）符号という特別な種類が存在する。RA-QC-LDPC符号は、符号化が容易であることで知られており、数多くの規格（例えば、DVB-S2規格、DVB-T2規格、DVB-C2規格といった第二世代DVB規格）において採用されている。PCMの右側はパリティビットに対応し、その部分における「1」の要素の配置は階段構造となっている。図3に符号化率が $2 / 3$ であるRA-QC-LDPC符号のPCMを例示する。

[0019] なお、DVB-TはDigital Video Broadcasting - Terrestrialの略であり、DVB-S2はDigital Video Broadcasting - Second Generation Satelliteの略であり、DVB-T2はDigital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrialの略であり、DVB-C2はDigital Video Broadcasting - Second Generation Cableの略語である。

[0020] 図3に示すPCMに対してこの行の並び順を換える簡単な行パーミュテーションを施すことによって、図4に示すように、パリティ部分を除いたRA-QC-LDPC符号の疑似巡回構造が明らかになる。行パーミュテーションは単にグラフ上の表現を変更することを意味し、符号の定義には一切の影響を与えない。

[0021] 行パーミュテーションが施された図4に示すPCMのパリティビットのみ

にビットの並び順を換える適切なパーミュテーションを施すことにより、PCMのパリティ部分も疑似巡回構造を有するようになる。この手法は当技術分野で周知であり、DVB-T2規格等ではパリティインターリーブまたはパリティパーミュテーションという名称で用いられている。図4に示すPCMに対してパリティパーミュテーションを施した結果得られるPCMを図5に示す。

[0022] 通常、LDPC符号語はビット毎に重要度が異なり、また、コンステレーションはビット毎にロバストレベルが異なる。LDPC符号語のビットを直接、即ちインターリーブせずにコンステレーションにマッピングすると、最適な性能には至らない。このため、LDPC符号語のビットをコンステレーションにマッピングする前にLDPC符号語のビットがインターリーブされる必要がある。

[0023] この目的のために、図1に示すように、LDPCエンコーダ120とコンステレーションマッパ140の間にビットインターリーバ130が設けられている。ビットインターリーバ130を入念に設計することによって、LDPC符号語のビットとコンステレーションにより符号化されるビットとの関連性が向上し、受信性能の改善に繋がる。その性能は、通常、SN比 (Signal to Noise Ratio : SNR) の関数としての符号誤り率 (Bit Error Rate : BER) を用いて測定される。

[0024] LDPC符号語のビット毎に重要度が異なる主な理由は、全てのビットに対して同じ回数のパリティチェックが施されるとは限らないことである。符号語ビット (変数ノード) に施されるパリティチェックの回数 (検査ノードの数) が多いほど、反復LDPC復号処理において符号語ビットの重要度は高くなる。もう一つの理由は、LDPC符号のタナグラフ表現における巡回に対する連結性 (connectivity) が変数ノード毎に異なることである。このために、符号語ビットに同じ回数のパリティチェックが施されたとしても、符号語ビットの重要度が異なる可能性がある。これらの見解は当技術分野で周知である。原則として、変数ノードと連結する検査ノードの数が大きく

なると、その変数ノードの重要度は増す。

[0025] 特にQC-LDPC符号の場合、Qビットの巡回ブロックに含まれる全てのビットは、同じ回数のパリティチェックが施され、タナグラフにおける巡回に対する連結性が同じであるため、同じ重要度を有する。

[0026] 同様に、コンステレーションにおいて符号化されたビットのロバストレベルが異なることも周知の事実である。例えば、複素直交振幅変調 (quadrature amplitude modulation: QAM) コンステレーションは2つのそれぞれ独立したパルス振幅変調 (pulse amplitude modulation: PAM) シンボルから成り、そのうち1つが実数部に対応し、もう1つが虚数部に対応する。2つのPAMシンボルはそれぞれ同じ数Mのビットを符号化する。グレイ符号を用いた8PAMシンボルを示す図6に示されるように、1つのPAMシンボルにおいて符号化されたビットのロバストレベルは互いに異なる。このようにロバストレベルが互いに異なるのは、各ビット(0または1)によって定義される2つのサブセット間の距離が、ビット毎に異なるためである。この距離が大きいほど、そのビットのロバストレベルまたは信頼度は高い。図6では、ビットb₃のロバストレベルが最も高く、ビットb₁のロバストレベルが最も低い。

[0027] 従って、16QAMコンステレーションは4個のビットを符号化し、2つのロバストレベルを有する。64QAMコンステレーションは6個のビットを符号化し、3つのロバストレベルを有する。256QAMコンステレーションは8個のビットを符号化し、4つのロバストレベルを有する。

[0028] 本明細書では、説明のために、以下のパラメータを用いる。

[0029] 巡回係数: $Q = 8$

1つのLDPC符号語の巡回ブロック数: $N = 12$

1つのコンステレーションのビット数: $M = 4$ 、即ち16QAM

上記パラメータでは、1つのLDPC符号語がマッピングされるコンステレーション数は $Q \times N / M = 24$ である。通常、パラメータQおよびNの選択は、システムがサポートする全てのコンステレーションについて、 $Q \times N$

がMの倍数となるように行われなければならない。

[0030] 図7は上記パラメータに対応する一般的なインターリーブの構成を示すブロック図である。図7において、QB1、・・・、QB12は12個の巡回ブロックであり、C1、・・・、C24は24個のコンステレーション語である。図7の例では、ビットインターリーブ710は、LDPC符号語の96ビットをインターリーブする。

[0031] 従来のビットインターリーブとして、DVB-T2規格(ETSI EN 302 755)のものが知られている。DVB-T2規格はテレビジョン規格であるDVB-T規格を改良したものであり、デジタル地上テレビジョン放送用の第2世代ベースライン送信システムについて記載されている。DVB-T2規格には、デジタルテレビジョンサービスや一般的なデータを送信するためのチャネル符号化変調システムについて詳述されている。

[0032] 図8(a)は、DVB-T2規格で用いられるモジュレータ(DVB-T2モジュレータ)の構成を示すブロック図である。図8(a)に示すDVB-T2モジュレータ800は、入力プロセッシングユニット810、BICMエンコーダ820、フレームビルダー830、およびOFDMジェネレータ840を備える。

[0033] 入力プロセッシングユニット810は、入力ビットストリームを所定長の複数ブロックに変換する。BICMエンコーダ820は、入力に対してBICM処理を施す。フレームビルダー830は、BICMエンコーダ820からの入力等を用いてDVB-T2方式の伝送フレーム構成を生成する。OFDMジェネレータ840はDVB-T2方式の伝送フレーム構成に対して、パイロット付加、高速逆フーリエ変換、ガードインターバル挿入などを行い、DVB-T2方式の送信信号を出力する。

[0034] DVB-T2規格で用いられるBICMは、ETSI規格 EN 302 755の第6章で説明されている。当規格は本明細書において援用されおり、以下にその説明を記す。

[0035] 図8(b)は、図8(a)に示すDVB-T2モジュレータのBICMエ

ンコーダ 820 の構成を示すブロック図である。ただし、図 8 (b) では、BCH 外符号化、コンステレーション回転、セルインターリーバ、時間インターリーバなどを省略している。

[0036] BICM エンコーダ 820 は、LDPC エンコーダ 821、ビットインターリーバ（パリティインターリーバ 822、カラム - ロウインターリーバ 823 を含む）、ビット - セルデマルチプレクサ 824、および QAM マップ 825 を備える。

[0037] LDPC エンコーダ 821 は、LDPC 符号を用いてブロックを符号語に符号化する。ビットインターリーバ（パリティインターリーバ 822、カラム - ロウインターリーバ 823）は、符号語のビットに対してその並び順を換えるインターリーブ処理を施す。ビット - セルデマルチプレクサ 824 は、インターリーブ処理が施された符号語のビットをセル語（コンステレーション語）に多重分離する。QAM マップ 825 は、セル語（コンステレーション語）を複素 QAM シンボルにマッピングする。なお、複素 QAM シンボルはセルとも称される。事実、ビット - セルデマルチプレクサ 824 は、ビットインターリーバの一部であるとみなされてもよい。この場合、DVB-T2 規格に基づく BICM エンコーダは、図 1 に示される標準構成を備えることとみなすことができる。

[0038] DVB-T2 規格において用いられる LDPC 符号は、巡回係数 $Q = 360$ を有する RA-QC-LDPC 符号である。DVB-T2 規格では、符号語長として 16200 ビットと 64800 ビットの 2 つが定義されている。符号語長が 16200 ビットである LDPC 符号および符号語長が 64800 ビットである LDPC 符号を、本明細書では、16K 符号（または、16K-LDPC 符号）および 64K 符号（または、64K-LDPC 符号）と称する。1 つの符号語に含まれる巡回ブロック数は、16K 符号の場合は 45 個、64K 符号の場合は 180 個である。これらの 2 つのブロック長（符号語長）に対応する使用可能な符号は、DVB-T2 規格である ETSI EN 302 755 の表 A.1 ~ 表 A.6 に列挙されている。

[0039] ビットインターリーバは、QPSKより大きいコンステレーションに対してのみ利用され、パリティインターリーバ822、カラム-ロウインターリーバ823、およびビット-セルデマルチプレクサ824を備える。なお、DVBT2規格の定義では、ビット-セルデマルチプレクサ824はビットインターリーバに含まれない。しかしながら、本発明は、コンステレーションマッピング前にLDPC符号に施すインターリーブに関するものである。ここで、ビット-セルデマルチプレクサ824もビットインターリーブの一部として取り扱うものとする。

[0040] パリティインターリーバ822は、上述したように（図4および図5参照）、パリティビットの疑似巡回構造を明らかにするため、符号語のパリティビットの並び順を換えるパリティパーミュテーションを行う。

[0041] カラム-ロウインターリーバ823は、概念的には、LDPC符号語のビットを、インターリーバ行列の列に沿って書き込み、行に沿って読み出すことによって機能する。LDPC符号語に含まれる最初のビットが最初に書き込まれ、最初に読み出される。カラム-ロウインターリーバ823は、LDPC符号語のビットを書き込んだ後、ビットの読み出しを開始する前に、その列に対してビットを所定数の位置だけ巡回的にずらす。これはDVBT2規格においてカラムツイスト (column twisting) と呼ばれる。上記2つのLDPC符号語長と様々なコンステレーションサイズとに対応するインターリーバ行列の列数N_cと行数N_rを以下の表1に示す。

[0042] [表1]

LDPC符号語長	コンステレーション サイズ	列数N _c	行数N _r
16200	16QAM	8	2025
	64QAM	12	1350
	256QAM	8	2025
64800	16QAM	8	8100
	64QAM	12	5400
	256QAM	16	4050

256QAMコンステレーションで16K符号の場合を除き、列数 N_c は、1つのコンステレーションのビット数の2倍である。この例外の理由は、LDPC符号語長である16200は、16、即ち256QAMコンステレーションにおけるビット数の2倍、の倍数でないためである。

[0043] カラム-ロウインターリーブ823の16K符号の符号語のビットの書き込み処理および読み出し処理を、列数が12の場合について図9(a)、(b)に、列数が8の場合について図10(a)、(b)に示す。各図において、小さな四角はそれぞれLDPC符号語の1ビットに対応し、黒塗りの四角はLDPC符号語の先頭ビットを示す。矢印は、ビットがインターリーブ行列に書き込まれ、インターリーブ行列から読み出される順序を示す。例えば、インターリーブ行列の列数が12の場合、16K符号の符号語のビットは、図9(a)に示すように、(行1、列1)、(行2、列1)、・・・、(行1350、列1)、(行1、列2)、・・・、(行1350、列12)の順序で書き込まれ、図9(b)に示すように、(行1、列1)、(行1、列2)、・・・、(行1、列12)、(行2、列1)、・・・、(行1350、列12)の順序で読み出される。なお、カラムツイスト処理は図9(a)、(b)および図10(a)、(b)には示されていない。

[0044] QAMマッピングに先立ち、ビット-セルデマルチプレクサ824は、各LDPC符号語を多重分離することで複数の並列ビットストリームを得る。ストリームの数は、256QAMコンステレーションで16K LDPC符号の場合を除き、1つのQAMコンステレーションにおいて符号化されるビット数 M の2倍、即ち $2 \times M$ である。また、256QAMコンステレーションで16K LDPC符号の場合、ストリームの数は、1つのQAMコンステレーションにおいて符号化されるビット数 M である。1つのコンステレーションにおいて符号化される M ビットを、セル語（または、コンステレーション語）と称する。以下のように、16K LDPC符号では、1つの符号語から得られるセル語の数は $16200/M$ である。

[0045] QPSKの場合、8100セル

16 QAMの場合、4050セル

64 QAMの場合、2700セル

256 QAMの場合、2025セル

上記の表1によると、QPSKより大きなコンステレーションについては、並列ストリームの数カラム・ロウインターリーブの列数に等しい。16 K LDPC符号について、16 QAMコンステレーション、64 QAMコンステレーション、256 QAMコンステレーションに対応するビット・セルデマルチプレクサを、それぞれ、図11、図12、図13に示す。なお、ビットの表記はDVB-T2規格で用いられているものである。

[0046] ビット・セルデマルチプレクサは、図11（図12、図13）に示すように、シンプルデマルチプレクサ1110（1210、1310）とデマルチパーミュテーションユニット1120（1220、1320）を備える。

[0047] ビット・セルデマルチプレクサは、シンプルデマルチプレクサ1110（1210、1310）によって、インターリーブ処理が施されたLDPC符号語を単に多重分離することに加え、デマルチパーミュテーションユニット1120（1220、1320）によって、多重分離された並列ビットストリームに対してその並び順を換えるパーミュテーション処理を行う。

[0048] ただし、カラム・ロウインターリーブが用いられている場合（16 QAMコンステレーション以上）、並列ビットストリームのカラム・ロウインターリーブの列数と同一であるため、ビットストリームのパーミュテーションはカラム・ロウインターリーブの列に対してその並び順を換えるパーミュテーションと同等である点を認識することが重要である。これが、ビット・セルデマルチプレクサによるパーミュテーションをビットインターリーブの一部とみなすことができる、理由である。

[0049] 本質的に、DVB-T2規格において用いられるビットインターリーブには2つの問題が付随する。

[0050] 1つ目の問題は、LDPC符号語における巡回ブロックの数がビットインターリーブ行列の列数の倍数でない場合、並列性が損なわれるという問題で

ある。並列性が低下するとレイテンシが増大する。これは特にレシーバにおいて反復BICM復号が用いられている場合に問題となる。この状況は、DVB-T2規格の場合、LDPC符号語長とコンステレーションのサイズの組み合わせのいくつかで起こる。

[0051] 図14および図15は、16K LDPC符号において、それぞれインターリーバ行列の列数が8および12である場合に起こる上記の状況を示す図である。16QAMコンステレーションおよび256QAMコンステレーションでは、8列のインターリーバ行列が使用される。64QAMコンステレーションでは、12列のインターリーバ行列が使用される。グリッドはLDPC符号語を表し、小さな四角はLDPC符号語の1ビットを表し、行は巡回ブロックに対応し、列は複数の巡回ブロックにおいて互いに同一のビットインデックスを有するビットに対応する。黒塗りの四角は、インターリーバ行列の先頭行における8ビットおよび12ビットを表している。なお、分かり易くするため、1つの巡回ブロックのビット数を360から72に減らして図示しているものの、これにより理解度に影響が及ぶことはない。

[0052] 2つ目の問題は、DVB-T2規格において、可能なビットインターリーバの構成の数が、ビットインターリーバ行列の列数によって制限されることである。

[0053] DVB-T2ビットインターリーバのさらなる問題は、カラムツイスト処理によって、パーミュテーションの規則性および並列性がさらに損なわれるということである。図16および図17は、それぞれ図14および図15と同様の状況を示しているが、カラムツイスト処理が適用されている点が異なる。16K LDPC符号でインターリーバ行列が8列の場合に、DVB-T2ビットインターリーバにおいて用いられる列毎のカラムツイスト値は(0, 0, 0, 1, 7, 20, 20, 21)である。また、16K LDPC符号でインターリーバ行列が12列の場合に、DVB-T2ビットインターリーバにおいて用いられる列毎のカラムツイスト値は、(0, 0, 0, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 6, 7, 7)である。

[0054] したがって、レイテンシを低減し並列性を高めたビットインターリーバを提供する必要がある。これらの特性は、特に反復B I C M復号において重要である。

[0055] 《発明者が得た知見》

発明者は、鋭意研究を行った結果、以下の2つの条件が満たされるとき、非常に効率的なインターリーバが提供できるという知見を得た。

[0056] (条件1)

各コンステレーション語のM個のビットが、LDPC符号語のM個の異なる巡回ブロックにマッピングされる。これは、LDPC符号語のM個の異なる巡回ブロックから1ビットずつコンステレーション語にマッピングすることと等価である。この概要を図18(a)に示す。

[0057] (条件2)

M個の巡回ブロックにマッピングされるすべてのコンステレーション語が、当該M個の巡回ブロックのみにマッピングされる。これは、QビットからなるM個の異なる巡回ブロックのM×Q個のビットの全ては、Q個のコンステレーション語にのみマッピングされる、ことと等価である。この概要を図18(b)に示す。

[0058] 上記条件では、ちょうどQ個のコンステレーション語は、各M個の巡回ブロックにマッピングされていることになる。

[0059] 《実施の形態(その1)》

以下、上記の条件1、条件2を満たすビットインターリーバ(並列ビットインターリーバ)の詳細について説明する。なお、以下において、実質的に同じ処理内容、および、同じ処理内容を行う構成ユニットには同じ符号を付す。

[0060] 本明細書では、M個の巡回ブロックよりなるグループのそれぞれ、または、Q個のコンステレーション語よりなるグループのそれぞれを、セクション(または、インターリーバセクション)と呼ぶ。

[0061] 図19および図20は、本発明の一実施形態に係る、上記パラメータ(Q

= 8、 $M=4$ 、 $N=12$) に対応する条件 1、条件 2 を満たすビットインターリーバによるマッピングの機能を示す図および当該ビットインターリーバの一構成例を示すブロック図である。

[0062] 図 19 および図 20 では、QC-LDPC 符号の符号語は、それぞれが $Q=8$ 個のビットからなる $N=12$ 個の巡回ブロック $QB_1 \sim QB_{12}$ で構成されている。24 個のコンステレーション語はそれぞれ $M=4$ 個のビットからなり、それぞれが $2^M=16$ 個のコンステレーションポイントのいずれか 1 つを示す。ビットインターリーバは、 $N/M=3$ 個のセクションに分けられ、24 個のコンステレーション語は $N/M=3$ 個のセクションのいずれか 1 つに関連付けられる。

[0063] ビットインターリーバ 2000 は、ビットパーミュテーションユニット 2010 を有し、ビットパーミュテーションユニット 2010 は互いに独立して（互いに依存せずに）動作する $N/M (=3)$ 個のセクションパーミュテーションユニット 2021、2022、2023 を有する。なお、セクションパーミュテーションユニットを 3 つ備えるようにする代わりに、例えば 1 つのセクションパーミュテーションユニットを用いて処理対象を時系列に切り替えながら後述する 3 つのセクションパーミュテーション処理を行うようにしてもよい。

[0064] セクションパーミュテーションユニット（2021、2022、2023）は、互いに独立して（互いに依存せずに）、8 個のコンステレーション語（ $C_1 \sim C_8$ 、 $C_9 \sim C_{16}$ 、 $C_{17} \sim C_{24}$ ）の各々に、4 個の巡回ブロック（ $QB_1 \sim QB_4$ 、 $QB_5 \sim QB_8$ 、 $QB_9 \sim QB_{12}$ ）のそれぞれから 1 ビットずつマッピングされるように、4 個の巡回ブロックの計 32 個のビットに対してその並び順を換えるセクションパーミュテーション処理を施す。

[0065] 上述の 2 つの条件 1、条件 2 は、単に、ビットインターリーバが N/M 個の並列セクションに分けられることを保証するだけのものである。これらの並列セクションに対して施すセクションパーミュテーション処理に、互いに

同じパーミュテーション規則が適用されてもよいし、互いに異なるパーミュテーション規則が適用されてもよいし、一部だけが互いに同じパーミュテーション規則が適用されてもよい。

[0066] 例えば、セクションパーミュテーションユニットは、巡回ブロックのQ個のビット（LDPC復号処理において重要度が互いに等しい）を、Q個のコンステレーション語の同じビットインデックスのビット（ロバストレベルが互いに等しい）にマッピングするようにしてもよい。それぞれの巡回ブロックにおいて、Q個のビットは、順に、あるいはパーミュテーションされた順に並べることができる。後者を図21（a）、（b）を用いて、前者を図22（a）、（b）を用いて説明する。

[0067] 図21（a）は、図20のセクションパーミュテーションユニットの一構成例を示す図である。

[0068] セクションパーミュテーションユニット2101は、巡回ブロック内パーミュテーションユニット2111～2114、およびカラム-ロウパーミュテーションユニット2131を有する。なお、巡回ブロック内パーミュテーションユニットを4つ備えるようにする代わりに、例えば1つの巡回ブロック内パーミュテーションユニットを用いて処理対象を時系列に切り替えながら後述する4つの巡回ブロック内パーミュテーション処理を行うようにしてもよい。

[0069] 巡回ブロック内パーミュテーションユニット（2111～2114）は、巡回ブロック（QB1～QB4）のQ個（8個）のビットに対してその並び順を換える巡回ブロック内パーミュテーション処理を施す。1つのセクション内の巡回ブロックに対して施す巡回ブロック内パーミュテーション処理に、例えば、互いに同じパーミュテーション規則が適用されてもよいし、互いに異なるパーミュテーション規則が適用されてもよいし、一部だけが互いに同じパーミュテーション規則が適用されてもよい。

[0070] カラム-ロウパーミュテーションユニット2131は、 $M \times Q$ 個（32個）のビットに対してこの並び順を換えるカラム-ロウパーミュテーション処

理を施す。詳述すれば、カラム - ロウパーミュテーションユニット 2 1 3 1 は、 $M \times Q$ 個 (3 2 個) のビットを Q 列 M 行 (8 列 4 行) の行列の行方向に書き込み、書き込んだ $M \times Q$ 個 (3 2 個) のビットを列方向に読み出すことと等価なカラム - ロウパーミュテーション処理を行う。なお、カラム - ロウパーミュテーションユニット 2 1 3 1 によるカラム - ロウパーミュテーション処理は、図 9 (a)、(b) の 1 2 列 1 3 5 0 行が Q 列 M 行に置き換わり、書き込み処理が列方向から行方向に、読み出し処理が行方向から列方向に変わったものである。

[0071] 図 2 1 (b) は、図 2 1 (a) のセクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機能を示す図である。図 2 1 (b) では、各コンステレーション語の $M = 4$ 個のビットが $b_1 \sim b_4$ で示されている。

[0072] ただし、セクションパーミュテーション処理において巡回ブロック内パーミュテーション処理が実施されなくてもよい。

[0073] 図 2 0 のセクションパーミュテーションの別の例である、巡回ブロック内パーミュテーション処理を実施しないセクションパーミュテーションユニットの一構成例およびこのセクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機能を図 2 2 (a) および図 2 2 (b) に示す。セクションパーミュテーションユニット 2 2 0 1 は、カラム - ロウパーミュテーションユニット 2 1 3 1 を有し、カラム - ロウパーミュテーション処理のみ行う。図 2 2 (b) では、各コンステレーション語の $M = 4$ 個のビットが $b_1 \sim b_4$ で示されている。

[0074] ただし、巡回ブロック $Q B 5 \sim Q B 8$ 、 $Q B 9 \sim Q B 12$ に対して、図 2 1 および図 2 2 でそれぞれ説明したセクションパーミュテーションが行われるようにしてもよい。

[0075] 本発明の他の実施の形態では、ビットインターリーバは、セクションパーミュテーション処理を行う前に、付加的に N 個の巡回ブロックに対してその並び順を換える巡回ブロックパーミュテーション処理を行う。付加的に巡回ブロックパーミュテーション処理を施すビットインターリーバの一構成例を

図 2 3 に示す。ここでの巡回ブロックパーミュテーションは、DVB-T 2 規格におけるビット - セルデマルチプレクサによるパーミュテーションと同様の役割を果たすものである。

[0076] 図 2 3 に示すビットインターリーバ 2 3 0 0 は、巡回ブロックパーミュテーションユニット 2 3 1 0 と、ビットパーミュテーションユニット 2 0 1 0 (セクションパーミュテーションユニット 2 0 2 1 ~ 2 0 2 3 を含む) を備える。

[0077] 巡回ブロックパーミュテーションユニット 2 3 1 0 は、巡回ブロック Q B 1 ~ Q B 1 2 に対してその並び順を換える巡回ブロックパーミュテーション処理 2 3 1 1 ~ 2 3 1 8 を施す。なお、巡回ブロックパーミュテーション処理 2 3 1 1 ~ 2 3 1 8 で用いられるパーミュテーション規則は互いに同じである。

[0078] N 個の巡回ブロックに対して施す巡回ブロックパーミュテーションは、それにより LDPC 符号語のビットをコンステレーションのビットに最適にマッピングすることが可能となり、受信性能の最適化につながるため、特に有益である。

[0079] 図 2 4 は、図 2 3 のビットインターリーバの一構成例を示すブロック図である。図 2 4 のビットインターリーバ 2 4 0 0 は、下記のステージ A、B、C の 3 つのパーミュテーション処理を実施する。

[0080] ステージ A : 巡回ブロック (間) パーミュテーション

ステージ B : 巡回ブロック内パーミュテーション

ステージ C : カラム - ロウパーミュテーション

ここで、巡回ブロック (間) パーミュテーションは符号語を構成する N 個の巡回ブロックの並び順を換えるパーミュテーションであり、巡回ブロック内パーミュテーションは巡回ブロックを構成する Q 個のビットの並び順を換えるパーミュテーションであり、カラム - ロウパーミュテーションは、セクションを構成する $M \times Q$ 個のビットの並び順を換えるパーミュテーションである。

- [0081] 図24に示すビットインターリーバ2400は、巡回ブロックパーミュテーションユニット2310と、ビットパーミュテーションユニット2010（セクションパーミュテーションユニット2101～2103）を備える。セクションパーミュテーションユニット2101（2102、2103）は、巡回ブロック内パーミュテーションユニット2111～2114（2115～2118、2119～2122）と、カラム-ロウパーミュテーションユニット2131（2132、2133）を備える。
- [0082] ビットインターリーバ2400は、巡回ブロックパーミュテーションユニット2310によって巡回ブロック（間）パーミュテーションを行い（ステージA）、巡回ブロック内パーミュテーションユニット2111～2122によって巡回ブロック内パーミュテーションを行い（ステージB）、カラム-ロウパーミュテーションユニット2131～2133によってカラム-ロウパーミュテーションを行う（ステージC）。
- [0083] 図24に示すビットインターリーバから巡回ブロック内パーミュテーションユニット2111～2122を取り除いて、巡回ブロック内パーミュテーションを行わないように、ビットインターリーバを構成してもよい。また、ビットインターリーバは、巡回ブロック内パーミュテーションを、巡回ブロック（間）パーミュテーションの後に実施する代わりに、巡回ブロック（間）パーミュテーションの前に実施してもよく、巡回ブロック（間）パーミュテーションの前後で実施するようにしてもよい。
- [0084] なお、複数の巡回ブロック内パーミュテーションユニットは互いに同様の構成であってもよい。このため、複数の巡回ブロック内パーミュテーションユニットは同一の機能リソース（ハードウェアブロックなど）によって実装可能である。また、複数の巡回ブロック内パーミュテーションは巡回的なシフト処理からなってもよく、この場合、バレルシフトを用いた効率的なハードウェア実装が可能となる。LDPCデコーダに用いているバレルシフトを利用して実装することも可能である。
- [0085] 以下、条件1、条件2を満たすビットインターリーブ処理を行うビットイ

ンターリーバを含むトランスミッタの一構成例について図 25 を用いて説明する。

[0086] 図 25 は、本発明のさらに他の実施形態に係るトランスミッタの一構成例を示すブロック図である。図 25 に示すトランスミッタ 2500 は、BICM エンコーダ (LDPC エンコーダ 2510、ビットインターリーバ 2520、コンステレーションマップ 2530 を含む) と、モジュレータ 2540 を備える。

[0087] LDPC エンコーダ 2510 は、入力ブロックを QC-LDPC 符号を用いて符号語に符号化し、符号語をビットインターリーバ 2520 へ出力する。

[0088] ビットインターリーバ 2520 は、LDPC エンコーダ 2510 から QC-LDPC 符号の符号語を受け取る。この符号語は、 $N=12$ 個の巡回ブロックからなり、各巡回ブロックは $Q=8$ 個のビットからなる。そして、ビットインターリーバ 2520 は、符号語のビットに対してその並び順を換えるビットインターリーブ処理を施す。ビットインターリーバ 2520 は、ビットインターリーブ処理が施された符号語を、それぞれ $M=4$ 個のビットよりなり、それぞれが $2^M=16$ 個の所定のコンステレーションポイントのいずれか 1 つを示す複数のコンステレーション語に分割してコンステレーションマップ 2530 へ出力する。ただし、ビットインターリーバ 2520 は、ビットインターリーブ処理として、例えば図 19 から図 22 で説明した、または、その変形として説明したビットパーミュテーション処理を行う。または、ビットインターリーバ 2520 は、ビットインターリーブ処理として、ビットパーミュテーション処理に加えて、例えば図 23 から図 24 で説明した、または、その変形として説明した巡回ブロックパーミュテーション処理を追加的に行ってもよい。

[0089] コンステレーションマップ 2530 は、ビットインターリーバ 2520 からコンステレーション語を受け取り、受け取ったコンステレーション語に対してコンステレーションマッピング処理を行う。

- [0090] モジュレータ 2740 は、直交周波数分割多重 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 変調などを行って送信信号を生成する。
- [0091] 以下、条件 1、条件 2 を満たすビットインターリーブ処理を行うビットインターリーバを含む BICM エンコーダの一実装例について図 26 を用いて説明する。
- [0092] 図 26 は、本発明のさらに他の実施の形態に係る BICM エンコーダの一実装例を示すブロック図である。図 26 の BICM エンコーダ 2600 は、上記パラメータ ($Q=8$ 、 $N=12$ 、 $M=4$) に対応するものである。
- [0093] 図 26 に示す BICM エンコーダ 2600 は、メインメモリ 2601、LDPC コントローラ 2611、ローテータ 2612、検査ノードプロセッサ群 2613、デローテータ 2614、QB カウンタ 2631、テーブル 2632、インターリーバ 2633、レジスタ群 2634、インターリーバ 2635、およびマッパ群 2651 を備える。
- [0094] 図 26 では、 $Q=8$ であることを考慮して、メインメモリ 2601 の読み出しが 8 ビットずつ行われ、検査ノードプロセッサ群 2613 には 8 個の検査ノードプロセッサがあり、マッパ群 2651 には 8 個のマッパが存在する。また、 $M=4$ であることを考慮して、レジスタ群 2634 には 4 個のレジスタがある。
- [0095] メインメモリ 2601 は、送信すべきビット列を例えば入力プロセッシングユニット (不図示) から受け取り、受け取ったビット列を保持する。
- [0096] LDPC コントローラ 2611 は、メインメモリ 2601 に対して読み出しアドレスを出力し、これによりメインメモリ 2601 はビット列の先頭から 8 ビットずつローテータ 2612 へ出力する。ローテータ 2612 は、LDPC コントローラ 2611 による制御を受けて、メインメモリ 2601 から供給される 8 ビットを所定数巡回シフトし、巡回シフト後の 8 ビットを検査ノードプロセッサ群 2613 の各検査ノードプロセッサに対して 1 ビットずつ出力する。各検査ノードプロセッサ群 2613 の各検査ノードプロセッサは、LDPC コントローラ 2611 による制御を受けて、入力された 1 ビ

ットに対して検査ノード処理を行い、1ビットの処理結果をデローテータ2614へ出力する。デローテータ2614は、LDPCコントローラ2611による制御を受けて、検査ノードプロセッサ群2613から受け取った8ビットをローテータ2612による巡回シフトを打ち消すように所定数巡回シフトし、巡回シフト後の8ビットをメインメモリ2601へ出力する。LDPCコントローラ2611は、メインメモリ2601に対して書き込みアドレスを出力し、これによりメインメモリ2601はデローテータ2614から供給される8ビットを保持する。ただし、LDPCコントローラ2611、ローテータ2612、検査ノードプロセッサ群2613、およびデローテータ2614が、図25におけるBICMエンコーダのLDPCエンコーダ2510を構成する。

[0097] QBカウンタ2631は0から11までカウントするものであり、カウンタ値をテーブル2632へ出力する。なお、QBカウンタ2631によるカウント動作は $N=12$ を考慮したものである。

[0098] テーブル2632は、巡回ブロックパーミュテーションの規則を記憶した単純なルックアップテーブルである。つまり、テーブル2632は、 $N=12$ 個の巡回ブロックの読み出し順序の情報（QBカウンタ2631による12個のカウンタ値にそれぞれ異なる巡回ブロックを対応付けた情報）を保持している。テーブル2632は、QBカウンタ2631から供給されるカウンタ値に対応した巡回ブロック1個分のビット（ $Q=8$ 個のビット）がメインメモリ2601からインターリーバ2633へ供給されるように、メインメモリ2601に対して読み出しアドレスを出力する。これにより、メインメモリ2601はQBカウンタ2631のカウンタ値に対応した巡回ブロック1個分のビットをインターリーバ2633へ出力する。なお、このテーブル2632の処理によって巡回ブロックパーミュテーション（ステージA）が実現される。

[0099] インターリーバ2633は、メインメモリ2601から供給された巡回ブロック1個分のビットを所定数巡回シフトさせて、レジスタ群2634の1

段目のレジスタに出力する。なお、このインターリーバ2633の処理によって巡回ブロック内パーミュテーション（ステージB）が実現される。ただし、レジスタ群2634の各レジスタは制御パルスを受けたタイミングで巡回ブロック1個分のビットを保持し、保持した巡回ブロック1個分のビットを次に制御パルスを受け取るまで出力し続ける。

[0100] QBカウンタ2631のカウント値「0」～「3」に対して上記の処理内容が実施されると、インターリーバ2635には巡回ブロック4個分のビット（32個のビット）が入力される。このタイミングで、インターリーバ2635は、入力された巡回ブロック4個分のビットに対してインターリーブ処理を施してマッパ群2651の各マッパにコンステレーション語の1個分のビット（M=4個のビット）を出力する。インターリーブ処理により、各マッパには、レジスタ群2634の4個のレジスタのそれぞれから1ビットずつ計4ビットが供給される。なお、インターリーバ2635の処理によってカラムーロウパーミュテーション（ステージC）が実現される。

[0101] ただし、QBカウンタ2631、テーブル2632、インターリーバ2633、レジスタ群2634、及びインターリーバ2635が、図25におけるBICMエンコーダのビットインターリーバ2520を構成する。

[0102] マッパ群2651の各マッパはインターリーバ2635から供給された4個のビットをコンステレーションにマッピングし、マッピング結果を出力する。ただし、マッパ群2651が、図25におけるBICMエンコーダのコンステレーションマッパ2530を構成する。

[0103] 1つの符号語に対して、上記一連の処理がQBカウンタ2631のカウント値「0」から「3」、「4」から「7」、「8」から「11」の計3回行われる。

[0104] なお、図26の一実装例では、並列に動作するQ個のマッパを含むが、より並列度を低く、又は、高くして、BICMエンコーダを実装することも可能である。例えば、ビットインターリーバにおける並列インターリーバセクションの数、すなわち、 N/M を増加させることによって、並列性を簡単に

上げることができることは容易に分かる。このような手法では、 $Q \times N / M$ 個のマッパを並列にすることによって並列化を最大化することができる。ビットインターリーバにはそのような並列性を何の障害もなく実現することができるというメリットがある。

[0105] 以下、条件 1、条件 2 を満たすビットインターリーブ処理を施すビットインターリーバを含むトランスミッタからの信号を受信するレシーバについて図面を用いて説明する。

[0106] 図 27 は、本発明のさらに他の実施の形態に係る非反復 BICM デコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図である。レシーバは、トランスミッタと逆の動作を行う。

[0107] 図 27 に示すレシーバ 2700 は、モジュレータ 2710、および非反復 BICM デコーダ（コンステレーションデマッパ 2720、およびビットデインターリーバ 2730、LDPC デコーダ 2740 を含む）を備える。

[0108] デモジュレータ 2710 は、OFDM などによる復調処理を行い、復調処理結果を出力する。

[0109] 非反復 BICM デコーダのコンステレーションデマッパ 2720 は、モジュレータ 2710 からの入力に対してデマッピング処理を施して所謂ソフトビット列を生成し、生成したソフトビット列をコンステレーションデマッパ 2730 へ出力する。各ソフトビットは各ビットが 0 になるか 1 になるかの確率を示す尺度である。通常、ソフトビットは対数尤度比（ $\log \text{likelihood ratios: LLRs}$ ）で表され、以下のように定義される。

[0110] $LLR(b) = \ln [p(b=0) / p(b=1)]$

$p(b=0)$ はビット b が 0 である確率を示し、 $p(b=1)$ はビット b が 1 である確率を示す。ただし、 $p(b=0) + p(b=1) = 1$ が成り立つ。

[0111] ビットデインターリーバ 2730 は、コンステレーションデマッパ 2720 から出力されるソフトビット列に対して、図 25 のトランスミッタ内のビ

ットインターリーブがビット列に対して施したビットインターリーブ処理を打ち消して元の並びに戻すインターリーブ処理（ビットデインターリーブ処理）を行う。

[0112] LDPCデコーダ2740は、ビットデインターリーブ2730からビットデインターリーブが施されたソフトビット列を受け取り、受け取ったソフトビット列を用いてLDPC復号処理を行う。

[0113] 顕著な受信性能の向上が得られる技法の一つとして、反復BICM復号処理がある。反復BICMデコーダについて図28を用いて説明する。

[0114] 図28は、本発明のさらに他の実施の形態に係る反復BICMデコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図である。レシーバは、トランスミッタと逆の動作を行う。

[0115] 図28に示すレシーバ2800は、モジュレータ2710、および反復BICMデコーダ（コンステレーションデマッパ2720、ビットデインターリーブ2730、LDPCデコーダ2740、減算ユニット2760、ビットインターリーブ2750）を備える。

[0116] 図28のレシーバ2800は、コンステレーションデマッパ2720によってコンステレーションデマッピング処理、ビットデインターリーブ2730によるビットデインターリーブ処理、LDPCデコーダ2740によるLDPC復号処理を行う。

[0117] LDPC復号の反復処理を1回または複数回実行した後、減算ユニット2760がLDPCデコーダ2740の出力からLDPCデコーダ2740の入力を減算し、減算の結果得られた外部情報（extrinsic information）をビットインターリーブ2750へ出力する。ビットインターリーブ2750は、外部情報に対して、図25のトランスミッタ内のビットインターリーブがビット列に対して施したビットインターリーブ処理と同じインターリーブ規則のインターリーブ処理を行う。そして、ビットインターリーブ2750は、インターリーブ処理を施した外部情報をコンステレーションデマッパ2720へフィードバックする。コンステレーションデマッパ2720は、フィ

ードバックされた外部情報を事前情報 (a-priori information) として用いて、より信頼性の高いLLR値を算出する。そして、ビットデインターリーバ2730は、新たに算出されたLLR値に対して図25のトランスミッタ内のビットインターリーバがビット列に対して施したビットインターリーブ処理を打ち消して元の並びに戻すインターリーブ処理（ビットデインターリーブ処理）を行う。LDPCデコーダ2740は、ビットデインターリーブ処理が施されたLLR値を用いてLDPC復号処理を行う。

[0118] 図28に示すように、反復復号のループは、四つの要素、すなわち、コンステレーションデマッパ2720、ビットデインターリーバ2730、LDPCデコーダ2740、およびビットインターリーバ2750からなる。ビットデインターリーバ2730とビットインターリーバ2750は、レイテンシが非常に低く、理想的にはゼロであって、かつ簡易な構成であれば、レシーバの効率的な実装が可能となる。上述したビットデインターリーバ2730とビットインターリーバ2750は両方の条件を満たす。

[0119] 非常に効率的な並列実装を実現する反復BICMデコーダの一実装例について図29を用いて説明する。

[0120] 図29は、本発明のさらに他の実施の形態に係るBICMデコーダの一実装例を示すブロック図である。図29のBICMデコーダ2900は、上記パラメータ ($Q=8$ 、 $N=12$ 、 $M=4$) に対応するものである。

[0121] 図29に示すBICMデコーダ2900は、メインLLRメモリ2901、バッファLLRメモリ2902、LDPCコントローラ2911、ローデータ2912、検査ノードプロセッサ群2913、デローデータ2914、QBカウンタ2931、テーブル2932、減算ユニット2933、インターリーバ2934、レジスタ群2935、インターリーバ2936、デマッパ群2937、デインターリーバ2938、レジスタ群2939、デインターリーバ2940、および遅延ユニット2941を備える。

[0122] 図29では、 $Q=8$ であることを考慮して、メインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902の読み出しが8個のLLR値ずつ行わ

れ、検査ノードプロセッサ群2913には8個の検査ノードプロセッサがあり、デマッパ群2951には8個のデマッパが存在する。また、 $M=4$ であることを考慮して、レジスタ群2935、2972には4個のレジスタがある。

[0123] デマッパ群2937の各デマッパは、デモジュレータ（不図示）の出力を用いてデマッピング処理を行い、これにより得られたLLR値をデインターリーバ2938へ出力する。ただし、デマッパ群2937が、図28における反復BICMデコーダのコンステレーションデマッパ2720を構成する。

[0124] デインターリーバ2938は、LLR値に対してデインターリーブ処理（トランスミッタによるステージCによるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理）を施し、デインターリーブ後のLLR値をレジスタ群2939の各レジスタに出力する。ただし、レジスタのそれぞれには巡回ブロック1個分のLLR値（8個のLLR値）が格納される。レジスタ群2939では、レジスタに保持された巡回ブロック1個分のLLR値が順次後段に出力され、各レジスタの保持内容が順次更新されていく。デインターリーバ2940は、供給される巡回ブロック1個分のLLR値（8個のLLR値）に対してインターリーブ処理（トランスミッタによるステージBによるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理）を施し、テーブル2932の保持内容（後述）に従ってメインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902に書き込む。なお、テーブル2932の保持内容に従うメインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902への書き込みより、トランスミッタによるステージAによるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理が実現される。

[0125] このようにして、メインLLRメモリ2901は、デインターリーブ処理後のLLR値を記憶し、LDPCデコーダ（LDPCコントローラ2911、ローテータ2912、検査ノードプロセッサ群2913、デローテータ2914）によっても用いられる。LDPC復号処理は、1または複数の反復

によりなる反復処理である。LDPC復号処理の各反復において、メインLLRメモリ2901内のLLR値が更新される。反復BICM復号処理に必要な外部情報を算出するため、古いLLR値はバッファLLRメモリ2902に保持される。

[0126] ここで、LDPCデコーダの処理を記載する。

[0127] LDPCコントローラ2911は、LDPC符号のパリティチェック行列に従ってメインLLRメモリ2901に対して読み出しアドレスを出力し、これによりメインLLRメモリ2901は巡回ブロック1個分ずつLLR値をローテータ2912へ順次出力する。ローテータ2912は、LDPCコントローラ2911による制御を受けて、メインLLRメモリ2901から順次供給される巡回ブロック1個分のLLR値を所定数巡回シフトし、巡回シフト後のLLR値を検査ノードプロセッサ群2913の各検査ノードプロセッサに対して1個ずつ順次出力する。各検査ノードプロセッサ群2913の各検査ノードプロセッサは、LDPCコントローラ2911による制御を受けて、順次入力された一連のLLR値に対して検査ノード処理を行う。次に、検査ノードプロセッサ群2913の各検査ノードプロセッサは、LDPCコントローラ2911による制御を受けて、検査ノード処理の結果である一連のLLR値を順次出力する。デローテータ2914は、LDPCコントローラ2911による制御を受けて、検査ノードプロセッサ群2913から順次受け取った巡回ブロック1個分の処理結果をローテータ2912による巡回シフトを打ち消すように所定数巡回シフトし、巡回シフト後の処理結果をメインLLRメモリ2901へ順次出力する。LDPCコントローラ2911は、LDPC符号のパリティチェック行列に従ってメインLLRメモリ2901に対して書き込みアドレスを出力し、これによりメインLLRメモリ2901はデローテータ2914から順次供給される巡回ブロック1個分の処理結果を保持する。LDPCコントローラ2911は、LDPC符号のパリティチェック行列に従って、以上の処理を繰り返して実行する。

[0128] LDPC反復処理を所定の回数実行した後、BICM反復処理が実行され

る。LDPCおよびBICM反復処理を、それぞれ、内的反復処理および外的反復処理とも呼ぶ。なお、これら二種類の反復処理をオーバーラップさせて実装することも可能である。これにより、収束のスピードを上げることができる。BICMおよびLDPC復号処理は、当技術分野において周知であるため、詳細な説明は省略する。

[0129] QBカウンタ2931は0から11までカウントするものであり、カウンタ値をテーブル2932へ出力する。なお、QBカウンタ2931によるカウント動作は $N=12$ を考慮したものである。

[0130] テーブル2932は、巡回ブロックパーミュテーションの規則を記憶した単純なルックアップテーブルである。つまり、テーブル2932は、 $N=12$ 個の巡回ブロックの読み出し順序（書き込み順序）の情報（QBカウンタ2631による12個のカウンタ値にそれぞれ異なる巡回ブロックを対応付けた情報）を保持している。テーブル2932は、QBカウンタ2931から供給されるカウンタ値に対応した巡回ブロック1個分のLLR値がメインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902から減算ユニット群2933へ供給されるように、メインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902に対して読み出しアドレスを出力する。これにより、メインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902はそれぞれQBカウンタ2931のカウンタ値に対応した巡回ブロック1個分のLLR値を減算ユニット2934へ出力する。ここで、メインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902からのLLR値の読み出し位置と、メインLLRメモリ2901およびバッファLLRメモリ2902への当該LLR値の書き込み位置とが一致するように、遅延ユニット2941による遅延調整が施される。なお、このテーブル2932の処理によって巡回ブロックパーミュテーション（ステージA）に相当するパーミュテーションが実現される。

[0131] 減算ユニット群の各減算ユニット2933は、メインLLRメモリ2901の出力からバッファLLRメモリ2902の出力を減算し、減算の結

果得られた巡回ブロック 1 個分の外部情報（8 個の外部情報）をインターリーバ 2 9 3 4 に出力する。

[0132] インターリーバ 2 9 3 4 は、減算ユニット 2 9 3 3 から供給された巡回ブロック 1 個分の外部情報を、所定数巡回シフトさせて、レジスタ群 2 9 3 5 の 1 段目のレジスタに出力する。なお、このインターリーバ 2 9 3 4 の処理によって巡回ブロック内パーミュテーション（ステージ B）に相当する処理が実現される。ただし、レジスタ群 2 9 3 5 の各レジスタは制御パルスを受けて 8 個のビットを保持し、保持した 8 個のビットを次に制御パルスを受け取るまで出力し続ける。

[0133] Q B カウンタ 2 9 3 1 のカウンタ値「0」～「3」に対して上記の処理内容が実施されると、インターリーバ 2 9 3 6 には巡回ブロック 4 個分の外部情報（3 2 個の外部情報）が入力される。このタイミングで、インターリーバ 2 9 3 6 は、入力された巡回ブロック 4 個分の外部情報に対してインターリーブ処理を施して、デマッパ群 2 9 3 7 の各デマッパにコンステレーション語の 1 個分の外部情報（M=4 個の外部情報）を出力する。インターリーブ処理により、デマッパ群 2 9 5 1 の各デマッパには、レジスタ群 2 9 3 5 の 4 個のレジスタのそれぞれから 1 個ずつ計 4 個の外部情報が供給される。なお、インターリーバ 2 9 3 6 の処理によってカラムーロウパーミュテーション（ステージ C）に相当する処理が実現される。

[0134] ただし、Q B カウンタ 2 9 3 1、テーブル 2 9 3 2、インターリーバ 2 9 3 4、レジスタ群 2 9 3 5、及びインターリーバ 2 9 3 6 が、図 2 8 における B I C M デコーダのビットインターリーバ 2 7 5 0 を構成する。

[0135] デマッパ群 2 9 3 7 の各デマッパは、インターリーバ 2 9 3 6 から供給された 4 個の外部情報を事前情報として用いてデマッピング処理を行い、新たな L L R 値をデインターリーバ 2 9 3 8 へ出力する。

[0136] デインターリーバ 2 9 3 8 は、L L R 値に対してデインターリーブ処理（トランスミッタによるステージ C によるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理）を施し、デインターリーブ後の L L R 値をレジスタ群 2 9 3 9

の各レジスタに出力する。ただし、レジスタのそれぞれには巡回ブロック 1 個分の LLR 値（8 個の LLR 値）が格納される。レジスタ群 2939 では、レジスタに保持された巡回ブロック 1 個分の LLR 値が順次後段に出力され、各レジスタの保持内容が順次更新されていく。デインターリーバ 2940 は、供給される巡回ブロック 1 個分の LLR 値（8 個の LLR 値）に対してデインターリーブ処理（トランスミッタによるステージ B によるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理）を施し、メイン LLR メモリ 2901 およびバッファ LLR メモリ 2902 に出力する。メイン LLR メモリ 2901 およびバッファ LLR メモリ 2902 は、テーブル 2932 から遅延ユニット 2941 を介して書き込みアドレスを受け取り、受け取った書き込みアドレスに従い、デインターリーバ 2940 から受け取った巡回ブロック 1 個分の LLR 値（8 個の LLR 値）を保持する。テーブル 2932 に従った書き込み処理により、トランスミッタによるステージ A によるインターリーブを打ち消すインターリーブ処理（デインターリーブ処理）が実現される。

[0137] 1 つの符号語に対して、上記一連の処理が QB カウンタ 2931 のカウンタ値「0」から「3」、「4」から「7」、「8」から「11」の計 3 回行われる。

[0138] ただし、QB カウンタ 2931、テーブル 2932、デインターリーバ 2938、レジスタ群 2939、及びデインターリーバ 2940 が、図 28 における BICM デコーダのビットデインターリーバ 2730 を構成する。

[0139] インターリーバ 2934 およびデインターリーバ 2940 は再構成可能であり、一定のハードウェアコストがかかるが、コストは入念な設計によって最小限に抑えることができる。インターリーバ 2936 およびデインターリーバ 2938 は、カラム - ロウパーミュテーションを実装するものであり、このパーミュテーションは所定のコンステレーションサイズについて一定である。したがって、実装コストは小さい。

[0140] なお、図 29 の一実装例では、並列に動作する Q 個のデマッパを含むが、

より並列度を低く、又は、高くして、反復B I C Mデコーダを実装することも可能である。例えば、ビットインターリーバにおける並列インターリーバセクションの数、すなわち、 N/M を増加させることによって、並列性を簡単に上げることができることは容易に分かる。このような手法では、 $Q \times N/M$ 個のデマッパを並列にすることによって並列化を最大化することができる。上述したビットインターリーバにはそのような並列性を何の障害もなく実現することができるというメリットがある。

[0141] 《発明者によるさらなる検討》

上述した条件1、条件2を満たすインターリーバ（並列インターリーバ）では、コンステレーション語のビット数 M が巡回ブロック数 N の約数になることを前提としている。しかしながら、常に、 M が N の約数になるとは限らない。例として、DVB-T2規格で使用される16K LDPC符号を挙げることができ、16K LDPC符号の符号語は $N=45$ 個の巡回ブロックを有する。 M が N の約数にならない場合、 M が偶数であるQAMコンステレーションなどの正方形コンステレーションに対するマッピングは容易ではない。

[0142] 従って、 N 個の巡回ブロックから1以上の巡回ブロックを除外し、残った巡回ブロックのみに対して上記の実施の形態（その1）で説明したインターリーバ（並列インターリーバ）を適用することは、特有の解決方法であると言える。

[0143] 言い換えると、ビットインターリーバは、 N 個の巡回ブロックの中からコンステレーション語のビット数 M の倍数となる N' 個の巡回ブロックを選択する。ビットインターリーバは、選択した N' 個の巡回ブロックを、それぞれが M 個の巡回ブロックを含むように、 N'/M 個のセクションに分割し、各セクションに対してセクションパーミュテーションを施す。除外された（選択されなかった）巡回ブロックのビットは、インターリーブされなくてもよいし、インターリーブされてもよい。

[0144] 例えば、除外される巡回ブロックは、変数ノードの重みが最も小さい巡回

ブロックであってもよい。RA-QC-LDPC符号（図5参照）の場合、例えば、除外される巡回ブロックは、バリティ部分（重み2の変数ノードを有する）の巡回ブロックであってもよく、この場合、例えば符号語の最後から1以上の巡回ブロックであってもよい。

[0145] 図30は、実施の形態（その1）で説明したインターリーブ方法を適用する適用対象の巡回ブロックと適用しない適用対象外の巡回ブロック（除外される巡回ブロック）を示す図である。但し、図30は、符号がDVB-T2規格で定義されている16K-LDPC符号であり、コンステレーションが16QAMコンステレーションである場合に対する図である。図30の例では、適用対象の巡回ブロックは44個の巡回ブロック（1、・・・、44）であり、適用対象外の巡回ブロック（除外される巡回ブロック）はその最終行の1個の巡回ブロック45のみである。また、4個の黒四角が1番目のコンステレーション語の4ビットを表す。

[0146] 一般に、インターリーブセクション（M個の巡回ブロックからなるセクション）の数は、 $\text{floor}(N/M)$ であり、除外される巡回ブロックの数は $\text{rem}(N, M)$ である。ここで、 $\text{floor}(N/M)$ は N/M 以下の最大の整数値を返す関数であり、 $\text{rem}(N, M)$ は、NをMで割った剰余値を返す関数である。

[0147] 表2に、DVB-T2規格における16K-LDPC符号（ $N=45$ 個の巡回ブロックを有する）に関する、様々なコンステレーションサイズ（コンステレーションのビット数M）に対するセクション数と除外される巡回ブロック数を示す。

[0148]

[表2]

コンスタレーション サイズ	M	セクション数	除外される 巡回ブロック数
QPSK	2	22	1
16QAM	4	11	1
64QAM	6	7	3
256QAM	8	5	5

上記に説明した条件 1、条件 2 を満たすインタリーフ方法では、各コンスタレーション語は M 個の巡回ブロックにマップングされる。しかしながら、大きなサイズのコンスタレーション (コンスタレーションポイント数が多いコンスタレーション) に対して、条件 1、条件 2 を満たすインタリーフ方法を適用する場合、非常に多い遅延レジスタが必要となる (図 26 及び図 29 で説明した実装例を参照)。非常に多い遅延レジスタの使用は、回路面積および消費電力の増大につながる。加えて、コンスタレーション語がマップングされる巡回ブロック数を減少させることは、外 (BICM) のインタリーフと内 (LDPC) のインタリーフ間のオーバーラップを増大させるために有益であり、全体の BICM 復号のレイテンシを減少させる。

[0149] 各コンスタレーション語の 2 ビット以上を同じ巡回ブロックにマップングすることによって、コンスタレーション語がマップングされる巡回ブロックの数を減少させることができる。同じ巡回ブロックにマップングされるコンスタレーション語のビットの数をフォルディング係数と称し、F と記す。例えば、コンスタレーションが 16 QAM コンスタレーションであり、F = 2 の場合、コンスタレーション語は 4 個の巡回ブロックの代わりに 2 個の巡回ブロックにのみマップングされる。唯一の制約は、フォルディング係数 F (1 より大きい整数) が M と Q の約数でなければならない、ということである。なお、F = 1 は、フォルディングなし、つまり、実施の形態 (その 1) に対応する。

[0150] 複素 QAM コンスタレーション波形は、2 つの等しい実 PAM (pulse

-amplitude modulation) シンボルに分離することができる。従って、QAMコンステレーションのMビットは、2つの等しい実PAMシンボルのM/2ビットのセットに分割することができ、コンステレーション語のビットは同じM/2個の巡回ブロックにマッピングすることができる。F=2であるフォルディング係数は、QAMコンステレーションにとって有益である。

[0151] 実数分解できない複素コンステレーション、例えばDVB-S2規格で使われるような、8PSK (phase shift keying)、16APSK (amplitude phase shift keying)、32APSKなどでは、フォルディング手法の利用は容易ではない。しかしながら、FがMの約数であれば、フォルディングの手法の利用は可能である。しかしながら、各巡回ブロックのビットの全てがコンステレーションの同一のロバストレベルのビットにのみマッピングされることをもはや保証することはできない。

[0152] フォルディングを用いる手法では、例えば、各巡回ブロックのビットの全てがコンステレーションの同一のロバストレベルのビットにマッピングされることは望ましい。

[0153] フォルディングは、除外される巡回ブロックの数を減らし、又は、除外される巡回ブロックの数を0にする付加的な利点を持つ。上記説明したように、実施の形態(その1)で説明したインターリーバ(並列インターリーバ)を適用するためには、符号語を構成する巡回ブロックのいくつかを除外する必要がある。

[0154] フォルディングなし(F=1)の場合、M個の巡回ブロックからなるグループの数(セクション数)は $\text{floor}(N/M)$ であり、除外される巡回ブロック数は $\text{rem}(N, M)$ である。一方、フォルディングありの場合、M/F個の巡回ブロックからなるグループの数は $\text{floor}(N/(M/F))$ であり、除外される巡回ブロック数は $\text{rem}(N, M/F)$ である。この具体的な数値の例として、DVB-T2規格に使用されるLDPC符号について表3に示す。

[0155]

[表3]

LDPC符号語長	コンステレーション サイズ	M	フォルディングなし		フォルディングあり	
			セクション数	除外される 巡回ブロック数	セクション数	除外される 巡回ブロック数
16K (N=45, Q=360)	QPSK	2	22	1	44	1
	16QAM	4	11	1	22	1
	64QAM	6	7	3	15	0
	256QAM	8	5	5	11	1
64K (N=180, Q=360)	QPSK	2	90	0	180	0
	16QAM	4	45	0	90	0
	64QAM	6	30	0	60	0
	256QAM	8	22	4	45	0

発明者は、フォルディング（Fが2以上の整数）を行うためには、条件1、条件2を、下記の条件1A、条件2Aに変更する必要があるとの知見を得た。

[0156] (条件 1 A)

各コンステレーション語の M 個のビットが、LDPC 符号語の M/F 個の異なる巡回ブロックにマッピングされる。これは、LDPC 符号語の M/F 個の異なる巡回ブロックから F 個のビットずつコンステレーション語にマッピングする、ことと等価である。この概要を図 3 1 (a) に示す。

[0157] (条件 2 A)

M/F 個の巡回ブロックにマッピングされるすべてのコンステレーション語が、当該 M/F 個の巡回ブロックのみにマッピングされる。これは、 Q ビットからなる M/F 個の異なる巡回ブロックの $M \times Q/F$ 個のビットの全ては、 Q/F 個のコンステレーション語にのみマッピングされる、ことと等価である。この概要を図 3 1 (b) に示す。

[0158] なお、 $F = 1$ はフォルディングなしであり、条件 1 A、条件 2 A は、条件 1、条件 2 と同一になる。

[0159] 《実施の形態 (その 2)》

以下、上記の条件 1 A、条件 2 A を満たすビットインターリーバ (並列ビットインターリーバ) の詳細について説明する。なお、以下において、実質的に同じ処理内容、および、同じ処理内容を行う構成ユニットには同じ符号を付す。

[0160] 本明細書では、 M/F 個の巡回ブロックよりなるグループのそれぞれ、または、 Q/F 個のコンステレーション語よりなるグループのそれぞれを、フォルディングセクション (または、フォルディングインターリーバセクション) と呼ぶ。

[0161] なお、 $F = 1$ の場合 (フォルディングなし)、フォルディングインターリーバセクションはインターリーバセクションと一致し、ビットインターリーバは実施の形態 (その 1) のビットインターリーバと同一構成になる。

[0162] F が 1 より大きい整数の場合がフォルディングありであり、実施の形態 (その 2) ではフォルディングありの一例として $F = 2$ の場合を説明する。

[0163] 図 3 2 は、本発明のさらに他の実施形態に係る、 $Q = 8$ 、 $M = 4$ 、 $N = 1$

2、 $F = 2$ に対応する条件1 A、条件2 Aを満たすビットインターリーブの構成例を示すブロック図である。

[0164] 図32では、QC-LDPC符号の符号語は、それぞれが $Q = 8$ 個のビットからなる $N = 12$ 個の巡回プロック $QB_1 \sim QB_{12}$ で構成されている。

24個のコンスタレーション語はそれぞれ $M = 4$ 個のビットからなり、それぞれが $2^M = 16$ 個のコンスタレーションポイントのいずれか1つを示す。ビットインターリーブは、 $F \times N / M = 6$ 個の70ルティンクセクションに分けられ、24個のコンスタレーション語は $F \times N / M = 6$ 個の70ルティンクセクションのいずれか1つに関連付けられる。

[0165] ビットインターリーブ2000Aは、ビットパーミュテーションユニット2010Aを有し、ビットパーミュテーションユニット2010Aは互いに独立して(互いに依存せずに)動作する $F \times N / M = 6$ 個の70ルティンクセクションパーミュテーションユニット2021A～2026Aを有する。

なお、70ルティンクセクションパーミュテーションユニットを6つ備えるようにする代わりに、1つの70ルティンクセクションパーミュテーションユニットを用いて処理対象を時系列に切り替えながら後述する6つの70ルティンクセクションパーミュテーション処理を行うようにしてもよい。

[0166] 70ルティンクセクションパーミュテーションユニット(2021A、2022A、2023A、2024A、2025A、2026A)は、互いに独立して(互いに依存せずに)、4個のコンスタレーション語($C_1 \sim C_4$ 、 $C_5 \sim C_8$ 、 $C_9 \sim C_{12}$ 、 $C_{13} \sim C_{16}$ 、 $C_{17} \sim C_{20}$ 、 $C_{21} \sim C_{24}$)の各々に、 $M / F = 2$ 個の巡回プロック($QB_1 \sim QB_2$ 、 $QB_3 \sim QB_4$ 、 $QB_5 \sim QB_6$ 、 $QB_7 \sim QB_8$ 、 $QB_9 \sim QB_{10}$ 、 $QB_{11} \sim QB_{12}$)のそれぞれから $F = 2$ 個のビットずつピックアップされるように、2個の巡回プロックの計16個のビットに対してその並び順を換える70ルティンクセクションパーミュテーション処理を施す。

[0167] 上述の2つの条件1 A、条件2 Aは、単に、ビットインターリーブが $F \times N / M$ 個の並列70ルティンクセクションに分けられることを保証するだけ

のものである。これらの並列フオルディングセクションに対して施すフオルディングセクションパターミューテーション処理に、互いに同じパターンミューテーション規則が適用されてもよいし、互いに異なるパターンミューテーション規則が適用されてもよいし、一部だけが互いに同じパターンミューテーション規則が適用されてもよい。

[0168] 例えば、フオルディングセクションパターミューテーションユニットは、巡回フロックのQ個のビットを、Q/F個のコンステレーション語の同一のロバストレベルを有するビットにマッピングするようにしてもよい。これについて、 $Q=8$ 、 $M=4$ を例に挙げて、図33及び図34を用いて説明する。

[0169] 図34(a)は、 $F=1$ (フオルディングなし)の(フオルディング)セクションパターミューテーションユニットの一構成例を示すブロック図であり、図22(a)と同一構成である。

[0170] 図34(b)は、図32のうちの、 $F=2$ (フオルディングあり)の場合の2つのフオルディングセクションパターミューテーションユニットの一構成例を示すブロック図である。

[0171] 但し、図34(b)の例では、コンステレーションが16QAMコンステレーションである。このため、コンステレーションのビットには2つのロバストレベルがあり、ビットb1とビットb3が同一のロバストレベル、ビットb2とビットb4が同一のロバストレベルである。

[0172] フオルディングセクションパターミューテーションユニット2201A(2202A)は、コラム-ロウパターミューテーションユニット2131A(2132A)を有する。

[0173] コラム-ロウパターミューテーションユニット2131A(2132A)は、巡回フロックQB1~QB2(QB3~QB4)の $Q \times M/F=16$ 個のビットに対してこの並び順を換えるコラム-ロウパターミューテーション処理を施す。詳述すれば、コラム-ロウパターミューテーションユニット2131A(2132A)は、 $Q \times M/F=16$ 個のビットをQ列M/F行=8列2行の行列の行方向に書き込み、書き込んだ16個のビットを列方向に読み出すこと

と等価なカラム - ロウパーミュテーション処理を行う。なお、カラム - ロウパーミュテーションユニット 2 1 3 1 A、2 1 3 2 A によるカラム - ロウパーミュテーション処理は、図 9 (a)、(b) の 1 2 列 1 3 5 0 行が Q 列 M / F 行に置き換わり、書き込み処理が列方向から行方向に、読み出し処理が行方向から列方向に換わったものである。

[0174] なお、フォルディング係数 F のフォルディングによって、1 つのコンステレーション語にマッピングされる巡回ブロック数が減少する。これにより、カラム - ロウパーミュテーションにおける行列の行数は M から M / F に減少する。

[0175] 図 3 3 (a) は、図 3 4 (a) の (フォルディング) セクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機能を示す図であり、図 3 3 (b) は、図 3 4 (a) の 2 つのフォルディングセクションパーミュテーションユニットによるマッピングの機能を示す図である。図 3 3 (a)、(b) では、各コンステレーション語の M = 4 個のビットが b 1 ~ b 4 で示されている。なお、太線で囲っている部分はコンステレーション語 C 1 についてのマッピングを表している。

[0176] 図 3 3 (a)、図 3 4 (a) の例では、1 つの巡回ブロックの 8 ビット (同じ重要度を有する) は、8 個のコンステレーション語の同一ビットインデックスを有するビット (同じロバストレベルを有する) にマッピングされている。また、図 3 3 (b)、図 3 4 (b) の例では、1 つの巡回ブロックの 8 ビット (同じ重要度を有する) は、4 個のコンステレーション語の同じロバストレベルのビットにマッピングされている。

[0177] ただし、巡回ブロック Q B 5 ~ Q B 6、Q B 7 ~ Q B 8、Q B 9 ~ Q B 1 0、Q B 1 1 ~ Q B 1 2 に対して、図 3 4 (b) で説明したフォルディングセクションパーミュテーションが行われるようにしてもよい。

[0178] なお、図 3 4 (a)、(b) のフォルディングセクションパーミュテーションユニットにおいて、カラム - ロウパーミュテーションの前段に巡回ブロック Q B 1 ~ Q B 4 のビットに対してその並び順を換える巡回ブロック内パ

ーミュテーションを行うユニットを追加してもよい。

[0179] 本発明のさらに他の実施の形態では、ビットインターリーバは、フォルディングセクションパーミュテーション処理を行う前に、付加的にN個の巡回ブロックに対してその並び順を換える巡回ブロックパーミュテーション処理を行う。付加的に巡回ブロックパーミュテーション処理を施すビットインターリーバの一構成例を図35に示す。

[0180] 図35に示すビットインターリーバ2300Aは、巡回ブロックパーミュテーションユニット2310と、ビットパーミュテーションユニット2010A（フォルディングセクションパーミュテーションユニット2021A～2026Aを含む）を備える。

[0181] 図36は、図35のビットインターリーバの一構成例を示すブロック図である。

[0182] 図36のビットインターリーバ2400Aは、巡回ブロックパーミュテーションユニット2310と、ビットパーミュテーションユニット2200A（フォルディングセクションパーミュテーションユニット2201A～2206Aを含む）を有する。

[0183] フォルディングセクションパーミュテーションユニット2201A～2206Aは、それぞれ、カラム-ロウパーミュテーションユニット2131A～2136Aを備える。カラム-ロウパーミュテーションユニット2133A～2136Aは、それぞれ、カラム-ロウパーミュテーションユニット2133A～2132Aと実質的に同じパーミュテーション処理を行う。

[0184] なお、図35、図36のビットインターリーバにおいて、巡回ブロックパーミュテーションの前段または後段に巡回ブロックQB1～QB12のビットに対してその並び順を換える巡回ブロック内パーミュテーションを行うユニットを追加してもよい。

[0185] 以下、条件1A、条件2Aを満たすビットインターリーブ処理を行うビットインターリーバを含むトランスミッタの一構成例について図37を用いて説明する。

[0186] 図37は、本発明のさらに他の実施形態に係るトランスミッタの一構成例を示すブロック図である。図37に示すトランスミッタ2500Aは、図25のトランスミッタ2500のビットインターリーバ2520がビットインターリーバ2520Aに置き換わった構成である。

[0187] ビットインターリーバ2520Aは、LDPCエンコーダ2510からQC-LDPC符号の符号語を受け取る。この符号語は、 $N=12$ 個の巡回ブロックからなり、各巡回ブロックは $Q=8$ 個のビットからなる。そして、ビットインターリーバ2520Aは、符号語のビットに対してその並び順を換えるビットインターリーブ処理を施す。ビットインターリーバ2520Aは、ビットインターリーブ処理が施された符号語を、それぞれ $M=4$ 個のビットよりなり、それぞれが $2^M=16$ 個の所定のコンステレーションポイントのいずれか1つを示す複数のコンステレーション語に分割してコンステレーションマップ2530へ出力する。ただし、ビットインターリーバ2520Aは、ビットインターリーブ処理として、例えば図32から図34で説明した、または、その変形として説明したビットパーミュテーション処理を行う（ $F=1$ を除く）。または、ビットインターリーバ2520Aは、ビットインターリーブ処理として、ビットパーミュテーション処理に加えて（ $F=1$ を除く）、例えば図35および図36で説明した、または、その変形として説明した巡回ブロックパーミュテーション処理を追加的に行ってもよい。

[0188] 以下、条件1A、条件2Aを満たすビットインターリーブ処理を施すビットインターリーバを含むトランスミッタからの信号を受信するレシーバについて図面を用いて説明する。

[0189] 図38は、本発明のさらに他の実施の形態に係る非反復BICMデコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図である。レシーバは、トランスミッタと逆の動作を行う。図38に示すレシーバ2700Aは、図27のレシーバ2700のビットデインターリーバ2730がビットデインターリーバ2730Aに置き換わった構成である。

[0190] ビットデインターリーバ2730Aは、コンステレーションデマップ27

20から出力されるソフトビット列に対して、トランスミッタ2500A内のビットインターリーバ2520Aがビット列に対して施したビットインターリーブ処理を打ち消して元の並びに戻すインターリーブ処理（ビットデインターリーブ処理）を行う。

[0191] 図39は、本発明のさらに他の実施の形態に係る非反復BICMデコーダを有するレシーバの一構成例を示すブロック図である。レシーバは、トランスミッタと逆の動作を行う。図39に示すレシーバ2800Aは、図28のレシーバ2800のビットデインターリーバ2730およびビットインターリーバ2750がビットデインターリーバ2730Aおよびビットデインターリーバ2750Aに置き換わった構成である。

[0192] ビットインターリーバ2750Aは、外部情報（extrinsic information）に対して、トランスミッタ2500A内のビットインターリーバ2520Aがビット列に対して施したビットインターリーブ処理と同じインターリーブ規則のインターリーブ処理を行う。

[0193] ハードウェアの実装の観点から、例えば、フォルディングは1つのコンステレーション語のビットがより少ないLLRメモリロケーションに配置されるようにしてもよい。通常、デコーダにおけるLLRメモリは、 $G \times N$ 個のアドレス指定可能なロケーションを有し、各ロケーションは Q/G 個のLLR値を保持することが可能になっている。Gは、Qの約数である実装パラメータであり、メモリ粒度（granularity）と称する。デコーダ内のLLRメモリロケーションと、 $M=4$ 、 $F=2$ 、 $Q=12$ 、 $G=1 \sim 12$ に対応する1番目のコンステレーション語のLLR値の配置箇所を図40に示す。

[0194] メモリロケーションにおけるLLR値の数、すなわち、 Q/G は、Fの倍数である必要があり、各コンステレーションのLLR値が、メモリの全ロケーションにおいて同じ位置に格納される。これは、いずれのコンステレーション語におけるLLR値も、 M/F 個のメモリロケーションに格納されることを保証する。これに反する例が図40の $G=4$ に示され、各メモリロケーションは $12/4=3$ 個のLLR値を格納する。2番目と5番目のコンステ

レーション語のLLR値は2つのメモリロケーションの代わりに4つのメモリロケーションに保持される。

- [0195] $F = 2$ のフォルディングが適用される得る単純なQAMコンステレーションの場合に加えて、2以上のコンステレーションシンボルが結合復号 (jointly decode) されるときにフォルディングは非常に有用である。結合復号は、例えば、ブロック符号 (時空間符号、周波数空間符号など) の最尤復号または2次元以上の回転コンステレーションに対して必要となる。
- [0196] 一般に、ブロック符号は、2以上の入力シンボル ($x_1, \dots, x_K$) を2以上の出力シンボル ($y_1, \dots, y_L$) に符号化する。ここで、 L は K 以下である。ブロック符号は、 L 行 K 列の生成行列によってモデル化される。ここで、入力信号ベクトル X に生成行列 G を左乗算することによって、出力信号ベクトル Y が得られる ($Y = GX$)。
- [0197] 入力信号ベクトル X および出力信号ベクトル Y の要素は、生成行列 G の要素と同じく、実数または複素数となり得る。符号の種類によっては、出力信号ベクトル Y は、異なる時間スロット或いは異なる周波数スロットで送信され、異なるアンテナを用いて送信され、又は、異なる時間スロット或いは異なる周波数スロットおよび異なるアンテナを用いて送信されることがある。
- [0198] レシーバでは、入力信号ベクトル X の全要素の復号のために、最尤復号が要求される。MIMO (multiple-input multiple-output) 通信システム用のブロック符号として、アラモウチ (Alamouti) 符号、Golden 符号、および空間多重が挙げられる。
- [0199] K 個のシンボルが同じブロックに符号化されている場合、フォルディング係数は K まで使用可能であることは明らかである。さらに、シンボルがQAMシンボル (2つの分離可能なPAMシンボルを含む) ならば、使用可能なフォルディング係数は $2 \times K$ まで増加し得る。
- [0200] 本発明のさらに他の実施形態によれば、異なるサイズのコンステレーション、すなわち、ハイブリッドコンステレーションが結合符号化されている場合には、2つのコンステレーションは互いに異なるロバストレベルを有して

いるので、例えば、一方のコンステレーション語のビットにマッピングする巡回ブロックと他方のコンステレーション語のビットにマッピングする巡回ブロックは互いに異なるようにする。

[0201] ここで、2つの送信アンテナを用いた符号空間多重MIMOシステムを例に挙げて説明する。符号化前の複素信号を $X = [x_1 \ x_2]$ とする。ここで x_1 はQPSKが施された信号であり、 x_2 は16QAMが施された信号である。符号化後の複素信号を $Y = [y_1 \ y_2]$ とする。ここで y_1 および y_2 はそれぞれ第1アンテナおよび第2アンテナにより送信される信号である。 Y は、 X に2行2列の生成行列 G （要素は、実数でも複素数でもよい）を左乗算することにより得られる（ $Y = GX$ ）。

[0202] 例えば、QPSKシンボルと16QAMシンボルとを同じブロック符号に多重化する場合、フォルディング係数 $F = 2$ に対するマッピングの一例を図41に示す。図41では、巡回ブロックにおける最初の7ビットだけを示している。2つの複素シンボル x_1 および x_2 は次のような構造を有する。

[0203] x_1 は実数部が b_1 、虚数部が b_2 で与えられるQPSKシンボルである。

[0204] x_2 は実数部が b_3 、 b_4 、虚数部が b_5 、 b_6 で与えられる16QAMシンボルである。

[0205] 2つのシンボルは、レシーバで結合復号され、これにより、いわゆるコンステレーションブロックあるいは生成されたブロックが作られる。

[0206] 全体の6ビットのコンステレーションブロックは、3つのロバストレベルを有することとなる。

[0207] レベル1：QPSKの b_1 と b_2 はQB1にマッピングされる。

[0208] レベル2：16QAMの b_3 と b_5 はQB2にマッピングされる。

[0209] レベル3：16QAMの b_4 と b_6 はQB3にマッピングされる。

[0210] なお、一方のコンステレーションのビット数を M_1 、他方のコンステレーションのビット数を M_2 とした場合、 N 個の巡回グループを、 M_1 個の巡回ブロックからなる1以上のグループと、 M_2 個の巡回ブロックからなる1以上のグループに分割して、ビットインターリーブ処理を施す。

[0211] 《実施の形態（その３）》

以下、 N が M の倍数ではなく、フォルディングを行う場合のインターリーバの一例について記載する。

[0212] 図４２は、一例として、 $F = 2$ のインターリーブ処理を適用する適用対象の巡回ブロックと適用しない適用対象外の巡回ブロック（除外される巡回ブロック）を示す図である。但し、図４２は、符号がDVB-T2規格で定義されている16K LDPC符号であり、コンステレーションが16QAMコンステレーションである場合に対する図である。図４２の例では、適用対象の巡回ブロックは44個の巡回ブロック（1、・・・、44）であり、適用対象外の巡回ブロック（除外される巡回ブロック）はその最終行の1個の巡回ブロック45のみである。また、4個の黒四角が1番目のコンステレーション語の4ビットを表す。

[0213] 図４３は、 N が M の倍数ではなく、フォルディングを行う場合のビットインターリーバの一構成例を示すブロック図である。説明を簡単にするために、 $N = 13$ 、 $Q = 8$ 、 $M = 4$ 、 $F = 2$ とする。

[0214] フォルディングセクション数は $\text{floor}(N / (M / F)) = 6$ 、除外される巡回ブロック数は $\text{rem}(N, M / F) = 1$ である。

[0215] ビットインターリーバ2000Bは、巡回ブロックQB1～QB13のうち、 $13 - 1 = 12$ 個の巡回ブロックQB1～QB12を条件A1、条件A2を満たすインターリーバを適用する巡回ブロックに選択する。そして、ビットインターリーバ2000B内のビットパーミュテーションユニット2010Aは選択した12個の巡回ブロックに対して図32を用いて説明したパーミュテーション処理を行う。なお、巡回ブロックQB13のビットは、インターリーブされずにコンステレーション語にマッピングされるようになっているが、インターリーブしてからコンステレーション語にマッピングされるようにしてもよい。

[0216] なお、 N が M の倍数ではなく、フォルディングを行わないインターリーバの一例として、図４３のビットパーミュテーションユニット2010Aを図

20のビットパーミュテーションユニット2010に置き換えた構成を挙げることができる。

[0217] 《補足1》

本発明は上記の実施の形態で説明した内容に限定されず、本発明の目的とそれに関連又は付随する目的を達成するためのいかなる形態においても実施可能であり、例えば、以下であってもよい。

[0218] (1) 上記の実施の形態(その1)では、パラメータとして $N=12$ 、 $Q=8$ 、 $M=4$ を例に挙げて説明したが、パラメータ N 、 M 、 Q の値はこれに限定されるものではなく、 N が M の倍数であればよい。なお、 N が M の2以上の倍数である場合には、ビットインターリービングの処理を、複数のセクションに分割して実行することが可能になる。

[0219] (2) フォルディングあり(F が2以上の整数)の実施の形態(その2)では、パラメータとして $N=12$ 、 $Q=8$ 、 $M=4$ を、フォルディング係数として $F=2$ を例に挙げて説明したが、パラメータ N 、 M 、 Q の値やフォルディング係数 F の値はこれに限定されるものではない。 F が M および Q のそれぞれの約数であり、 N が M/F の倍数であればよい。

[0220] (3) フォルディングありの実施の形態(その2)では、 F の値を16QAMコンステレーションの同一のロバストレベルを有するビット数「2」として説明したが、これに限定されるものではない。 F の値はコンステレーションの同一のロバストレベルを有するビット数とする他、 F の値をコンステレーションの同一のロバストレベルのビット数以外にしてもよい。

[0221] (4) フォルディングありの実施の形態(その2)では、フォルディング係数 $F=2$ でQAMコンステレーションが16QAMコンステレーションであるとして説明したが、これに限定されるものではなく、 $F=2$ で、QAMコンステレーションが16QAMコンステレーション以外のQAMコンステレーション(例えば、64QAMコンステレーション、256QAMコンステレーション)などであってもよい。

[0222] (5) 上記の各実施の形態では、コンステレーションとして16QAM(

M = 4) を例に挙げて説明したが、コンステレーションとして、QPSKやQAMなどのような特定の変調方式の他に、例えば、DVB-S2規格において利用される円形コンステレーションや、多次元コンステレーションなど様々な変調方式を用いることができる。

[0223] (6) 上記の実施形態で説明した方法または装置を、ソフトウェアによって実現してもよいし、ハードウェアによって実現してもよく、特定の形態に限定されるものではない。具体的には、上記の実施形態は、コンピュータ、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラなどが上記の実施形態で説明した方法や装置のすべてのステップを実行できるようなコンピュータ実行可能命令を、コンピュータ読み取り可能媒体上で具現化した形態で実施してもよい。また、上記の実施形態は、ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) や、FPGA (Field Programmable Gate Array) の形態で実施してもよい。

[0224] ≪補足2≫

本発明に係るビットインターリーブ方法、ビットインターリーバ、ビットデインターリーブ方法、ビットデインターリーバ、およびデコーダとその効果について説明する。

[0225] 本発明の一態様である第1のビットインターリーブ方法は、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおけるビットインターリーブ方法であって、前記ビットインターリーブ方法は、それぞれがQ個のビットからなるN個の巡回ブロックで構成される前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を受信する受信ステップと、前記符号語のビットに対して当該符号語のビットの並び順を換えるビットパーミュテーション処理を施すビットパーミュテーションステップと、前記ビットパーミュテーション処理が施された符号語を、それぞれがM個のビットよりなり、それぞれが所定のコンステレーションの 2^M 個のコンステレーションポイントのいずれか1つを示す複数のコンステレーション語に分割する分割ステップと、を有し、前

記ビットパーミュテーション処理が施される前の前記符号語は $F \times N / M$ 個のフォルディングセクションに分割され、 F は 1 より大きい整数であり、各前記フォルディングセクションは M / F 個の前記巡回ブロックからなり、各前記コンステレーション語は $F \times N / M$ 個の前記フォルディングセクションのうちのいずれか 1 つと関連付けられており、前記ビットパーミュテーションステップは、各前記コンステレーション語が、関連付けられている前記フォルディングセクション中の M / F 個の異なる前記巡回ブロックのそれぞれの F 個のビットからなる計 M 個のビットから構成され、各前記フォルディングセクションのすべてのビットが当該フォルディングセクションに関連付けられている Q / F 個の前記コンステレーション語にのみにマッピングされるように、前記ビットパーミュテーション処理を行う。

- [0226] 本発明の一態様である第 1 のビットインターリーバは、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおけるビットインターリーバであって、前記ビットインターリーバは、それぞれが Q 個のビットからなる N 個の巡回ブロックで構成される前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を受信し、前記符号語のビットに対して当該符号語のビットの並び順を換えるビットパーミュテーション処理を施し、前記ビットパーミュテーション処理が施された符号語を、それぞれが M 個のビットよりなり、それぞれが所定のコンステレーションの 2^M 個のコンステレーションポイントのいずれか 1 つを示す複数のコンステレーション語に分割されるように出力するビットパーミュテーション部を備え、前記ビットパーミュテーション処理が施される前の前記符号語は $F \times N / M$ 個のフォルディングセクションに分割され、 F は 1 より大きい整数であり、各前記フォルディングセクションは M / F 個の前記巡回ブロックからなり、各前記コンステレーション語は $F \times N / M$ 個の前記フォルディングセクションのうちのいずれか 1 つと関連付けられており、前記ビットパーミュテーション部は、各前記コンステレーション語が、関連付けられている前記フォルディングセクション中の M / F 個の異なる前記巡回ブロックのそれぞれの F 個のビットからなる計 M 個のビットから構

成され、各前記フォルディングセクションのすべてのビットが当該フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語にのみにマッピングされるように、前記ビットパーミュテーション処理を行う。

[0227] これらによれば、高い並列性を持つビットインターリーブ処理の実施が可能になるのに加えて、回路面積および消費電力の削減が達成される。

[0228] 本発明の一態様である第2のビットインターリーブ方法は、第1のビットインターリーブ方法において、前記ビットパーミュテーションステップは、 $F \times N/M$ 個の前記フォルディングセクションを互いに独立に、各前記フォルディングセクションのビットに対して当該フォルディングセクションのビットの並び順を換えるフォルディングセクションパーミュテーション処理を施すフォルディングセクションパーミュテーションステップを有する。

[0229] 本発明の一態様である第2のビットインターリーブ方法は、第1のビットインターリーブ方法において、前記ビットパーミュテーション部は、 $F \times N/M$ 個の前記フォルディングセクションを互いに独立に、各前記フォルディングセクションのビットに対して当該フォルディングセクションのビットの並び順を換えるフォルディングセクションパーミュテーション処理を施すフォルディングセクションパーミュテーション部を有する。

[0230] これらによれば、複数のフォルディングセクションパーミュテーションの並列実行が可能になる。

[0231] 本発明の一態様である第3のビットインターリーブ方法は、第2のビットインターリーブ方法において、前記フォルディングセクションパーミュテーションステップは、前記巡回ブロックの Q 個のビットが、当該巡回ブロックに対応する前記フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語の同一のロバストレベルを有するビットにマッピングされるように、前記フォルディングセクションパーミュテーション処理を行う。

[0232] 本発明の一態様である第3のビットインターリーブ方法は、第2のビットイン

ターリーバにおいて、前記フォルディングセクションパーミュテーション部は、前記巡回ブロックの Q 個のビットが、当該巡回ブロックに対応する前記フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語の同一のロバストレベルを有するビットにマッピングされるように、前記フォルディングセクションパーミュテーション処理を行う。

[0233] これらによれば、符号語の重要度が同じビットが、コンステレーション語のロバストレベルが同じビットにマッピングされ、重要度とロバストレベルの合致が得られる。例えば、符号語の最も重要度が高いビットがコンステレーション語の最もロバストレベルが高いビットにマッピングされるようにしてもよく、この場合、受信時に符号語の重要度が高いビットに対して高い信頼度が得られ、高い受信性能が得られる。

[0234] 本発明の一態様である第4のビットインターリーブ方法は、第1のビットインターリーブ方法において、 F は、前記コンステレーションの同一のロバストレベルを有するビットの数と等しい。

[0235] 本発明の一態様である第4のビットインターリーバは、第1のビットインターリーバにおいて、 F は、前記コンステレーションの同一のロバストレベルを有するビットの数と等しい。

[0236] これらによれば、ハードウェア実装を効率的に実施できる。

[0237] 本発明の一態様である第5のビットインターリーブ方法は、第1のビットインターリーブ方法において、 $F=2$ であり、前記コンステレーションは Q AMコンステレーションである。

[0238] 本発明の一態様である第5のビットインターリーバは、第1のビットインターリーバにおいて、 $F=2$ であり、前記コンステレーションは Q AMコンステレーションである。

[0239] これらによれば、ハードウェア実装を効率的に実施できる。

[0240] 本発明の一態様である第6のビットインターリーブ方法は、第2のビットインターリーブ方法において、前記フォルディングセクションパーミュテーションステップは、前記セクションの $M/F \times Q$ 個のビットに対して当該 M

／ $F \times Q$ 個のビットの並び順を換えるカラムローウパーミュテーション処理を施すカラムローウパーミュテーション処理を有する。

[0241] 本発明の一態様である第7のビットインターリーブ方法は、第6のビットインターリーブ方法において、前記カラムローウパーミュテーション処理は、 $M / F \times Q$ 個のビットを Q 列 M / F 行の行列の行方向に書き込み、列方向に $M \times Q / F$ 個のビットを読み出すことと等価な処理である。

[0242] 本発明の一態様である第6のビットインターリーブは、第2のビットインターリーブにおいて、前記フォルディングセクショソーパーミュテーション部分は、前記セクショソンの $M / F \times Q$ 個のビットに対して当該 $M / F \times Q$ 個のビットの並び順を換えるカラムローウパーミュテーション処理を施す。

[0243] これらによると、フォルディングセクショソーパーミュテーションにカラムローウパーミュテーションを用いることによって非常に効率的にフォルディングセクショソーパーミュテーションの実施が可能になる。

[0244] 本発明の一態様である第1のビットインターリーブ方法は、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおいてビットストリームをビットインターリーブするビットインターリーブ方法であって、 $N \times Q$ 個のビットからなるビット列を受信する受信スツップと、前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を復元するために、受信した前記ビット列のビットに対して当該ビット列の並び順を換える逆ビットパーミュテーション処理を施す逆ビットパーミュテーションスツップと、を有し、前記逆ビットパーミュテーション処理は、第1のビットインターリーブ方法における前記ビットパーミュテーション処理で換えられた並び順を元に戻す処理である。

[0245] 本発明の一態様である第1のビットインターリーブは、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおいてビットストリームをビットインターリーブするビットインターリーブ方法であって、 $N \times Q$ 個のビットからなるビット列を受信し、前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を復元するために、受信した前記ビット列のビットに対して当該ビ

ット列のビットの並び順を換える逆ビットパーミュテーション処理を施す逆ビットパーミュテーション部を備え、前記逆ビットパーミュテーション処理は、第1のビットインターリーブによって実施される前記ビットパーミュテーション処理で換えられた並び順を元に戻す処理である。

[0246] 本発明の一態様である第1のデコーダは、疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いるビットインターリーブ符号化変調システム用のデコーダであって、

対応するビットが0であるか1であるかの確率を示すソフトビット列を生成するコンステレーションデマッパと、前記ソフトビット列をビットデインターリーブする第1のビットデインターリーブと、ビットデインターリーブされた前記ソフトビット列をデコードする低密度パリティチェックデコーダと、を備える。

[0247] 本発明の一態様である第2のデコーダは、第1のデコーダにおいて、前記低密度パリティチェックデコーダの出力から前記低密度パリティチェックデコーダの入力を減算する減算部と、前記減算部の減算結果を前記コンステレーションデマッパにフィードバックする第1のビットインターリーブと、をさらに備える。

[0248] これらによれば、高い並列性を持つビットデインターリーブ処理の実施が可能になる。

産業上の利用可能性

[0249] 本発明は、疑似巡回型低密度パリティ符号を用いたビットインターリーブ符号化変調システムにおけるビットインターリーブおよび当該ビットインターリーブに対応するビットデインターリーブに利用することができる。

符号の説明

[0250] 2000A ビットインターリーブ
2010A ビットパーミュテーションユニット
2021A フォルディングセクションパーミュテーションユニット
2131A、2132A カラム-ロウパーミュテーションユニット

2500A トランスミッタ
2510 LDPCエンコーダ
2520A ビットインターリーバ
2530 コンステレーションマップ
2700A、2800A レシーバ
2710 コンステレーションデマップ
2720A ビットデインターリーバ
2730 LDPCデコーダ
2740 減算ユニット
2750A ビットインターリーバ

請求の範囲

- [請求項1] 疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおけるビットインターリーブ方法であって、
- 前記ビットインターリーブ方法は、
- それぞれがQ個のビットからなるN個の巡回ブロックで構成される前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を受信する受信ステップと、
- 前記符号語のビットに対して当該符号語のビットの並び順を換えるビットパーミュテーション処理を施すビットパーミュテーションステップと、
- 前記ビットパーミュテーション処理が施された符号語を、それぞれがM個のビットよりなり、それぞれが所定のコンステレーションの 2^M 個のコンステレーションポイントのいずれか1つを示す複数のコンステレーション語に分割する分割ステップと、
- を有し、
- 前記ビットパーミュテーション処理が施される前の前記符号語は $F \times N / M$ 個のフォルディングセクションに分割され、Fは1より大きい整数であり、各前記フォルディングセクションは M / F 個の前記巡回ブロックからなり、各前記コンステレーション語は $F \times N / M$ 個の前記フォルディングセクションのうちのいずれか1つと関連付けられており、
- 前記ビットパーミュテーションステップは、各前記コンステレーション語が、関連付けられている前記フォルディングセクション中の M / F 個の異なる前記巡回ブロックのそれぞれのF個のビットからなる計M個のビットから構成され、各前記フォルディングセクションのすべてのビットが当該フォルディングセクションに関連付けられている Q / F 個の前記コンステレーション語にのみにマッピングされるように、前記ビットパーミュテーション処理を行う

ことを特徴とするビットインターリーブ方法。

[請求項2]

前記ビットパーミュテーションステップは、

$F \times N / M$ 個の前記フォルディングセクションを互いに独立に、各前記フォルディングセクションのビットに対して当該フォルディングセクションのビットの並び順を換えるフォルディングセクションパーミュテーション処理を施すフォルディングセクションパーミュテーションステップ

を有することを特徴とする請求項1に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項3]

前記フォルディングセクションパーミュテーションステップは、

前記巡回ブロックの Q 個のビットが、当該巡回ブロックに対応する前記フォルディングセクションに関連付けられている Q / F 個の前記コンステレーション語の同一のロバストレベルを有するビットにマッピングされるように、前記フォルディングセクションパーミュテーション処理を行う

ことを特徴とする請求項2に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項4]

F は、前記コンステレーションの同一のロバストレベルを有するビットの数と等しい

ことを特徴とする請求項1に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項5]

$F = 2$ であり、前記コンステレーションはQAMコンステレーションである

ことを特徴とする請求項1に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項6]

前記フォルディングセクションパーミュテーションステップは、

前記セクションの $M / F \times Q$ 個のビットに対して当該 $M / F \times Q$ 個のビットの並び順を換えるカラムーロウパーミュテーション処理を施すカラムーロウパーミュテーションステップを有する

ことを特徴とする請求項2に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項7]

前記カラムーロウパーミュテーション処理は、 $M / F \times Q$ 個のビッ

トを Q 列 M/F 行の行列の行方向に書き込み、列方向に $M \times Q/F$ 個のビットを読み出すことと等価な処理である

ことを特徴とする請求項6に記載のビットインターリーブ方法。

[請求項8]

疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおいてビットストリームをビットデインターリーブするビットデインターリーブ方法であって、

$N \times Q$ 個のビットからなるビット列を受信する受信ステップと、

前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を復元するために、受信した前記ビット列のビットに対して当該ビット列のビットの並び順を換える逆ビットパーミュテーション処理を施す逆ビットパーミュテーションステップと、

を有し、

前記逆ビットパーミュテーション処理は、請求項1に記載のビットインターリーブ方法における前記ビットパーミュテーション処理で換えられた並び順を元に戻す処理である

ことを特徴とするビットデインターリーブ方法。

[請求項9]

疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおけるビットインターリーバであって、

前記ビットインターリーバは、

それぞれが Q 個のビットからなる N 個の巡回ブロックで構成される前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を受信し、前記符号語のビットに対して当該符号語のビットの並び順を換えるビットパーミュテーション処理を施し、前記ビットパーミュテーション処理が施された符号語を、それぞれが M 個のビットよりなり、それぞれが所定のコンステレーションの 2^M 個のコンステレーションポイントのいずれか1つを示す複数のコンステレーション語に分割されるように出力するビットパーミュテーション部

を備え、

前記ビットパーミュテーション処理が施される前の前記符号語は $F \times N/M$ 個のフォルディングセクションに分割され、 F は 1 より大きい整数であり、各前記フォルディングセクションは M/F 個の前記巡回ブロックからなり、各前記コンステレーション語は $F \times N/M$ 個の前記フォルディングセクションのうちのいずれか 1 つと関連付けられており、

前記ビットパーミュテーション部は、各前記コンステレーション語が、関連付けられている前記フォルディングセクション中の M/F 個の異なる前記巡回ブロックのそれぞれの F 個のビットからなる計 M 個のビットから構成され、各前記フォルディングセクションのすべてのビットが当該フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語にのみにマッピングされるように、前記ビットパーミュテーション処理を行う

ことを特徴とするビットインターリーバ。

[請求項10]

前記ビットパーミュテーション部は、

$F \times N/M$ 個の前記フォルディングセクションを互いに独立に、各前記フォルディングセクションのビットに対して当該フォルディングセクションのビットの並び順を換えるフォルディングセクションパーミュテーション処理を施すフォルディングセクションパーミュテーション部

を有することを特徴とする請求項 9 に記載のビットインターリーバ。

[請求項11]

前記フォルディングセクションパーミュテーション部は、

前記巡回ブロックの Q 個のビットが、当該巡回ブロックに対応する前記フォルディングセクションに関連付けられている Q/F 個の前記コンステレーション語の同一のロバストレベルを有するビットにマッピングされるように、前記フォルディングセクションパーミュテーション処理を行う

ことを特徴とする請求項 10 に記載のビットインターリーバ。

[請求項12] F は、前記コンステレーションの同一のロバストレベルを有するビットの数と等しい

ことを特徴とする請求項 9 に記載のビットインターリーバ。

[請求項13] $F = 2$ であり、前記コンステレーションは QAM コンステレーションである

ことを特徴とする請求項 9 に記載のビットインターリーバ。

[請求項14] 前記フォルディングセクションパーミュテーション部は、
前記セクションの $M/F \times Q$ 個のビットに対して当該 $M/F \times Q$ 個のビットの並び順を換えるカラムーロウパーミュテーション処理を施す

ことを特徴とする請求項 10 に記載のビットインターリーバ。

[請求項15] 疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いる通信システムにおいてビットストリームをビットデインターリーブするビットデインターリーバであって、

$N \times Q$ 個のビットからなるビット列を受信し、前記疑似巡回低密度パリティチェック符号の符号語を復元するために、受信した前記ビット列のビットに対して当該ビット列のビットの並び順を換える逆ビットパーミュテーション処理を施す逆ビットパーミュテーション部を備え、

前記逆ビットパーミュテーション処理は、請求項 9 に記載のビットインターリーバによって実施される前記ビットパーミュテーション処理で換えられた並び順を元に戻す処理である

ことを特徴とするビットデインターリーバ。

[請求項16] 疑似巡回低密度パリティチェック符号を用いるビットインターリーブ符号化変調システム用のデコーダであって、

対応するビットが 0 であるか 1 であるかの確率を示すソフトビット列を生成するコンステレーションデマッパと、

前記ソフトビット列をビットデインターリーブする請求項 15 に記載のビットデインターリーバと、

ビットデインターリーブされた前記ソフトビット列をデコードする低密度パリティチェックデコーダと、

を備えることを特徴とするデコーダ。

[請求項17]

前記低密度パリティチェックデコーダの出力から前記低密度パリティチェックデコーダの入力を減算する減算部と、

前記減算部の減算結果を前記コンステレーションデマッパにフィードバックする請求項 9 に記載のビットインターリーバと、

をさらに備えることを特徴とする請求項 16 に記載のデコーダ。