

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5583833号
(P5583833)

(45) 発行日 平成26年9月3日(2014.9.3)

(24) 登録日 平成26年7月25日(2014.7.25)

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

請求項の数 14 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2013-207713 (P2013-207713)	(73) 特許権者	503447036
(22) 出願日	平成25年10月2日(2013.10.2)		サムスン エレクトロニクス カンパニー リミテッド
(62) 分割の表示	特願2010-546693 (P2010-546693) の分割		大韓民国・443-742・キョンギード ・スウォンシ・ヨントング・サムスン ーロ・129
原出願日	平成21年2月11日(2009.2.11)	(74) 代理人	110000051
(65) 公開番号	特開2014-30247 (P2014-30247A)		特許業務法人共生国際特許事務所
(43) 公開日	平成26年2月13日(2014.2.13)	(72) 発明者	ミョン, セホ
審査請求日	平成25年10月2日(2013.10.2)		大韓民国, ギョンギード 443-717 , スウォンシ, ヨントング, メタン4 ードン, メタン ソンイル アパート, # 201-203
(31) 優先権主張番号	10-2008-0012392		
(32) 優先日	平成20年2月11日(2008.2.11)		
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		
(31) 優先権主張番号	10-2008-0023846		
(32) 優先日	平成20年3月14日(2008.3.14)		
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低密度パリティ検査符号を使用する通信システムにおけるチャンネル復号化方法及びその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

低密度パリティ検査(LDPC)符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化方法であって、

送信器から送信された信号を復調するステップと、

あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に関する情報及びパリティビットグループの個数に関する情報を推定することによりパンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するステップと、

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を用いてデータを復号化するステップと、を有し、

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するステップは、

パンクチャーリングされたパリティビットの個数を決定するステップと、

前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数に基づいてパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を決定するステップと、

前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序を取得するステップとを有し、

前記パリティビットグループは以下に示す数式1により決定されることを特徴とする低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化方法。

【数 1】

$$P_j = \{ p_k \mid j \equiv k \pmod{q}, 0 \leq k < N_1 - K_1 \}$$

(式中、 P_j は j 番目のパリティビットグループを示し、 N_1 は符号語長さを示し、 K_1 は情報語長さを示し、 M_1 は 1 個のパリティビットグループの長さを示し、 q は $q = (N_1 - K_1) / M_1$ を満足し、 K_1 / M_1 は整数であり、 j は $0 \leq j < q$ を満足する。)

【請求項 2】

前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に基づく前記パンクチャーリングされたパリティビットグループの位置は、符号語長さが 1 6 2 0 0 である時、6, 4, 1 8, 9, 1 3, 8, 1 5, 2 0, 5, 1 7, 2, 2 4, 1 0, 2 2, 1 2, 3, 1 6, 2 3, 1, 1 4, 0, 2 1, 1 9, 7, 1 1 であることを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化方法。

10

【請求項 3】

前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に基づく前記パンクチャーリングされたパリティビットグループの位置は、符号語長さが 1 6 2 0 0 である時、2 7, 1 3, 2 9, 3 2, 5, 0, 1 1, 2 1, 3 3, 2 0, 2 5, 2 8, 1 8, 3 5, 8, 3, 9, 3 1, 2 2, 2 4, 7, 1 4, 1 7, 4, 2, 2 6, 1 6, 3 4, 1 9, 1 0, 1 2, 2 3, 1, 6, 3 0, 1 5 であることを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化方法。

20

【請求項 4】

前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数が 1 個のパリティビットグループの長さの倍数でない場合に、前記パリティビットが付加的にパンクチャーリングされたものと判断するステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化方法。

【請求項 5】

前記パンクチャーリングされたビットを除外した残りのビットを受信するステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化方法。

30

【請求項 6】

前記パリティビットグループの個数は以下に示す数式 2 により決定されることを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化方法。

【数 2】

$$A = \left\lfloor \frac{N_p}{M_1} \right\rfloor$$

40

(式中、 A はパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を示し、 N_p はパンクチャーリングされたパリティビットの個数を示し、 M_1 は 1 個のパリティビットグループの長さを示す。)

【請求項 7】

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するステップは、 A 個のパリティビットグループ $P_{p(0)}, P_{p(1)}, \dots, P_{p(A-1)}$ 内のすべてのパリティビットがパンクチャーリングされたものと決定するステップと、 $P_{p(A)}$ パリティビットグループ内のパリティビットの中、 $(N_p - 360 - A)$ 個

50

のパリティビットが付加的にパンクチャーリングされたものと決定するステップとを有することを特徴とする請求項 1 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化方法。

【請求項 8】

低密度パリティ検査 (LDPC) 符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置であって、

送信器から送信された信号を復調する復調器と、

あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に関する情報及びパリティビットグループの個数に関する情報を推定することによりパンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するパンクチャーリングパターン推定器と、

10

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を用いてデータを復号化する復号化装置とを有し、

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報は、パンクチャーリングされたパリティビットの個数を決定し、前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数に基づいてパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を決定し、前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序を取得することにより決定され、

前記パリティビットグループは以下に示す数式 3 により決定されることを特徴とする低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置。

20

【数 3】

$$P_j = \{ p_k \mid j \equiv k \pmod{q}, 0 \leq k < N_1 - K_1 \}$$

(式中、 P_j は j 番目のパリティビットグループを示し、 N_1 は符号語長さを示し、 K_1 は情報語長さを示し、 M_1 は 1 個のパリティビットグループの長さを示し、 q は $q = (N_1 - K_1) / M_1$ を満足し、 K_1 / M_1 は整数であり、 j は $0 \leq j < q$ を満足する。)

【請求項 9】

前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に基づく前記パンクチャーリングされたパリティビットグループの位置は、符号語長さが 16200 である時、6, 4, 18, 9, 13, 8, 15, 20, 5, 17, 2, 24, 10, 22, 12, 3, 16, 23, 1, 14, 0, 21, 19, 7, 11 であることを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置。

30

【請求項 10】

前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に基づく前記パンクチャーリングされたパリティビットグループの位置は、符号語長さが 16200 である時、27, 13, 29, 32, 5, 0, 11, 21, 33, 20, 25, 28, 18, 35, 8, 3, 9, 31, 22, 24, 7, 14, 17, 4, 2, 26, 16, 34, 19, 10, 12, 23, 1, 6, 30, 15 であることを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置。

40

【請求項 11】

前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数が 1 個のパリティビットグループの長さの倍数でない場合に、前記パンクチャーリングパターン推定器は、前記パリティビットが付加的にパンクチャーリングされたものと判断することを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置。

【請求項 12】

前記パンクチャーリングされたビットを除外した残りのビットを受信する受信部をさらに有することを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャンネル復号化装置。

50

【請求項 13】

前記パリティビットグループの個数は以下に示す数式 4 により決定されることを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化装置。

【数 4】

$$A = \left\lfloor \frac{N_p}{M_1} \right\rfloor$$

10

(式中、A はパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を示し、 N_p はパンクチャーリングされたパリティビットの個数を示し、 M_1 は 1 個のパリティビットグループの長さを示す。)

【請求項 14】

前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定することは、A 個のパリティビットグループ $P_{p(0)}, P_{p(1)}, \dots, P_{p(A-1)}$ 内のすべてのパリティビットがパンクチャーリングされたものと決定し、

$P_{p(A)}$ パリティビットグループ内のパリティビットの中、 $(N_p - 360 - A)$ 個のパリティビットが付加的にパンクチャーリングされたものと決定することを特徴とする請求項 8 に記載の低密度パリティ検査符号を使用するシステムにおけるチャネル復号化装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、低密度パリティ検査 (Low-Density Parity-Check : 以下、“LDPC” と称する。) 符号を使用する通信システムに関し、特に、特定の形態の LDPC 符号を生成するチャネル復号化方法及びその装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

無線通信システムにおいて、チャネルの様々な雑音、フェージング現象、及びシンボル間干渉 (Inter-Symbol Interference : 以下、“ISI” と称する。) によりリンク性能が著しく低下する。したがって、次世代移動通信、デジタルブロードキャスト、及びモバイルインターネットのような高いデータ処理量及び信頼度が要求される高速デジタル通信システムを実現するためには、雑音、フェージング、及び ISI を克服する技術を開発することが重要である。近年では、歪曲された情報を効率的に復元することにより通信の信頼度を高めるための方法としてエラー訂正符号に関する研究が活発になされている。

40

【0003】

LDPC 符号は、通常、グラフ表現技術を用いて示され、グラフ理論、代数学、及び確率論に基づく方法を介して多くの特性を分析することができる。一般的に、チャネル符号のグラフモデルは、符号の描写に有用であり、符号化されたビットに関する情報をグラフ内の頂点 (vertex) にマッピングし、各ビット間の関係をグラフ内のエッジにマッピングすることにより、各頂点が各エッジを介して所定のメッセージをやりとりする通信ネットワークと見なすことができ、したがって、自然の復号アルゴリズムを導出することが可能となる。例えば、グラフの一種と見なされることができるとレリス (trellis) から導出された復号アルゴリズムは、よく知られているビタビ (Viterbi) ア

50

ルゴリズム、及び Bahl、Cocke、Jelinek、及び Raviiv (BCJR) アルゴリズムを含む。

【0004】

LDPCC符号は、一般的に、パリティ検査行列と定義され、タナーグラフ (Tanner graph) と称される二部グラフ (bipartite graph) を用いて表現することができる。この二部グラフは、グラフを構成する頂点が相互に異なる2つのタイプに分けられることを意味し、LDPCC符号は、変数ノードと検査ノードと呼ばれる頂点を含む二部グラフで表現される。この変数ノードは、この符号化されたビットに一对一にマッピングされる。

【0005】

図1は、4個の行及び8個の列を含むLDPCC符号のパリティ検査行列 H_1 の例を示す。

図1を参照すると、列の個数が8であるために、パリティ検査行列 H_1 は、長さ8の符号語を生成するLDPCC符号を意味し、この列は、符号化された8ビットにマッピングされる。

【0006】

図2は、図1の H_1 に対応するタナーグラフを示す図である。

図2を参照すると、LDPCC符号のタナーグラフは、8個の変数ノード x_1 (202)、 x_2 (204)、 x_3 (206)、 x_4 (208)、 x_5 (210)、 x_6 (212)、 x_7 (214)、及び x_8 (216)と4個の検査ノード218、220、222、及び224とを含む。ここで、LDPCC符号のパリティ検査行列 H_1 の i 番目の列及び j 番目の行は、変数ノード x_i 及び j 番目の検査ノードにマッピングされる。また、LDPCC符号のパリティ検査行列 H_1 の i 番目の列及び j 番目の行が相互に交差する地点での1の値、すなわち、0でない値は、図2に示すタナーグラフ上で変数ノード x_i と j 番目の検査ノード間にエッジが存在することを意味する。

【0007】

LDPCC符号のタナーグラフにおいて、変数ノード及び検査ノードの次数は、各ノードに接続されているエッジの個数を意味し、この次数は、LDPCC符号のパリティ検査行列に関連するノードに対応する列、又は行で0でないエントリーの個数と同一である。例えば、図2において、変数ノード x_1 (202)、 x_2 (204)、 x_3 (206)、 x_4 (208)、 x_5 (210)、 x_6 (212)、 x_7 (214)、及び x_8 (216)の次数は、それぞれ4、3、3、3、2、2、2、及び2であり、検査ノード218、220、222、及び224の次数は、それぞれ6、5、5、及び5である。

【0008】

また、図2の変数ノードに対応する図1のパリティ検査行列 H_1 のそれぞれの列で0でないエントリーの個数は、上記した次数4、3、3、3、2、2、2、及び2と一致し、図2の検査ノードに対応する図1のパリティ検査行列 H_1 のそれぞれの行で0でないエントリーの個数は、上記した次数6、5、5、及び5と一致する。

【0009】

LDPCC符号のノードに対する次数分布 (degree distribution) を示すために、次数が i である変数ノードの個数と変数ノードの総数との比率を f_i として定義し、次数が j である検査ノードの個数と検査ノードの総数との比率を g_j として定義する。

例えば、図1及び図2に対応するLDPCC符号の場合には、 $f_2 = 4/8$ 、 $f_3 = 3/8$ 、 $f_4 = 1/8$ 、 $i = 2, 3, 4$ に対して $f_i = 0$ であり、 $g_5 = 3/4$ 、 $g_6 = 1/4$ であり、 $j = 5, 6$ に対して $g_j = 0$ である。

【0010】

LDPCC符号の長さを N 、すなわち、列の個数を N として定義し、行の個数を $N/2$ として定義する時、上述した次数分布を有する全パリティ検査行列で0でないエントリーの密度は、下記の数式(1)のように計算される。

10

20

30

40

50

【数 1】

$$\frac{2f_2N + 3f_3N + 4f_4N}{N \cdot N/2} = \frac{5.25}{N} \dots \text{数式 (1)}$$

【0011】

上記数式(1)において、Nが増加するに従って、パリティ検査行列内の‘1’の密度は減少する。一般的に、LDPC符号について、符号長さNが0でないエントリーの密度に反比例するので、Nが大きいLDPC符号は、非常に低い密度を有する。LDPC符号の名称での用語“低密度”は、上述した関係から由来する。

10

【0012】

図3は、ヨーロッパデジタルブロードキャスト標準の1つである第2世代衛星デジタルビデオブロードキャスト(DVB-S2)で標準技術として採択されたLDPC符号を概略的に示す。

図3において、 N_1 はLDPC符号語の長さを示し、 K_1 は情報語の長さを提供し、 $(N_1 - K_1)$ はパリティ長さを提供する。また、整数 M_1 及び q は、 $q = (N_1 - K_1 / M_1)$ を満足するように決定される。好ましくは、 K_1 / M_1 は、整数でなければならない。説明の便宜上、図3のパリティ検査行列は、第1のパリティ検査行列 H_1 と呼ばれる。

20

【0013】

図3をさらに参照すると、パリティ検査行列でパリティ部分、すなわち、 K_1 番目の列から $(N_1 - 1)$ 番目の列までの構成は、デュアル対角(dual diagonal)形態を有する。したがって、パリティ部分に対応する列の次数分布について、次数‘1’を有する最後の列を除いて、すべての列は、次数‘2’を有する。

【0014】

パリティ検査行列において、情報語部分、すなわち、0番目の列から $(K_1 - 1)$ 番目の列までの構成は、次の規則を用いてなされる。

〔規則1〕 パリティ検査行列で情報語に対応する K_1 個の列を M_1 個の列で構成された複数のグループにグループ化することにより、トータル K_1 / M_1 個の列グループを生成する。各列グループに属している列を形成する方法は、下記の規則2に従う。

30

【0015】

〔規則2〕 最初に、 i (ここで、 $i = 1, \dots, K_1 / M_1$)番目の列グループ内の各0番目の列での‘1’の位置を決定する。各 i 番目の列グループ内の0番目の列の次数を D_i で示す際に、‘1’を有する行の位置を

【数 2】

$$R_{i,0}^{(1)}, R_{i,0}^{(2)}, \dots, R_{i,0}^{(D_i)}$$

40

と仮定すると、‘1’を有する行の位置

【数 3】

$$R_{i,j}^{(k)} (k = 1, 2, \dots, D_i)$$

は、 i 番目の列グループ内の j (ここで、 $j = 1, 2, \dots, M_1 - 1$)番目の列で下記の数式(2)のように定義される。

【数4】

$$R_{i,j}^{(k)} = R_{i,(j-1)}^{(k)} + q \bmod(N_1 - K_1),$$

$$k=1,2,\dots,D_i, \quad i=1,\dots,K_1/M_1, \quad j=1,\dots,M_1-1 \quad \dots \text{数式 (2)}$$

【0016】

上述した規則に従うと、 i 番目（ここで、 $i = 1, \dots, K_1 / M_1$ ）の列グループに属している列の次数がすべて D_i に等しいことを分かる。

具体的な例として、 $N_1 = 30$ 、 $K_1 = 15$ 、 $M_1 = 5$ 、及び $q = 3$ の場合に、3 個の列グループ内の 0 番目の列に対する ‘1’ を有する行の位置に関する情報の 3 つのシーケンスは、次のように表現することができる。ここで、これらのシーケンスは、“加重値 - 1 位置シーケンス (weight - 1 position sequences)” と称する。

10

【数5】

$$R_{1,0}^{(1)} = 0, \quad R_{1,0}^{(2)} = 1, \quad R_{1,0}^{(3)} = 2,$$

$$R_{2,0}^{(1)} = 0, \quad R_{2,0}^{(2)} = 11, \quad R_{2,0}^{(3)} = 13,$$

$$R_{3,0}^{(1)} = 0, \quad R_{3,0}^{(2)} = 10, \quad R_{3,0}^{(3)} = 14.$$

20

【0017】

各列グループ内の 0 番目の列の“加重値 - 1 位置シーケンス”について、説明の便宜上、対応する位置シーケンスだけが列グループ別に次のように表現されることができる。例えば、

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 2 \\ 0 & 11 & 13 \\ 0 & 10 & 14 \end{array}$$

30

言い換えれば、この i 番目のラインでの i 番目の“加重値 - 1 位置シーケンス”は、 i 番目の列グループに対する行の位置に関する情報を順次に示す。

【0018】

上述した具体的な例に対応する情報と規則 1 及び規則 2 とを用いてパリティ検査行列を構成することにより、図 4 の DVB-S2 LDPC 符号と同一の概念を有する LDPC 符号を生成することができる。

規則 1 及び規則 2 に従って設計された DVB-S2 LDPC 符号が構造形状を用いて効率的に符号化することができることが知られている。パリティ検査行列に基づく DVB-S2 を用いて LDPC 符号化を実行する工程での各ステップについては、次のような例を挙げて説明する。

40

【0019】

以下の説明において、具体的な例として、 $N_1 = 16200$ 、 $K_1 = 10800$ 、 $M_1 = 360$ 、及び $q = 15$ を有する DVB-S2 LDPC 符号を使用する符号化工程について説明する。説明の便宜のために、長さ K_1 を有する情報語ビットは、 $(i_0, i_1, \dots, i_{K_1-1})$ として示され、長さ $(N_1 - K_1)$ を有するパリティビットは、 $(P_0, P_1, \dots, P_{N_1-K_1-1})$ として表現される。

【0020】

〔ステップ 1〕LDPC 符号化器は、パリティビットを次のように初期化する。

$$P_0 = P_1 = \dots = P_{N_1-K_1-1} = 0$$

50

【 0 0 2 1 】

〔ステップ2〕LDPC符号化器は、格納されているパリティ検査行列を示すシーケンスの中で0番目の“加重値-1位置シーケンス”から列グループ内で‘1’が位置した行に関する情報を読み出す。

0 2084 1613 1548 1286 1460 3196 4297 2481
81 3369 3451 4620 2622

【数6】

$$\begin{aligned} R_{1,0}^{(1)} &= 0, R_{1,0}^{(2)} = 2048, R_{1,0}^{(3)} = 1613, R_{1,0}^{(4)} = 1548, R_{1,0}^{(5)} = 1286, \\ R_{1,0}^{(6)} &= 1460, R_{1,0}^{(7)} = 3196, R_{1,0}^{(8)} = 4297, R_{1,0}^{(9)} = 2481, R_{1,0}^{(10)} = 3369, \\ R_{1,0}^{(11)} &= 3451, R_{1,0}^{(12)} = 4620, R_{1,0}^{(13)} = 2622. \end{aligned} \quad 10$$

【 0 0 2 2 】

LDPC符号化器は、上記読み出された情報及び1番目の情報語ビット i_0 を用いて下記の数式(3)に従って特定のパリティビット P_x をアップデートする。ここで、 x は、

【数7】

$$R_{1,0}^{(k)} \text{ for } k = 1, 2, \dots, 13 \quad 20$$

の値である。

【数8】

$$\begin{aligned} p_0 &= p_0 \oplus i_0, & p_{2084} &= p_{2064} \oplus i_0, & p_{1613} &= p_{1613} \oplus i_0, \\ p_{1548} &= p_{1548} \oplus i_0, & p_{1286} &= p_{1286} \oplus i_0, & p_{1460} &= p_{1460} \oplus i_0, \\ p_{3196} &= p_{3196} \oplus i_0, & p_{4297} &= p_{4297} \oplus i_0, & p_{2481} &= p_{2481} \oplus i_0, \dots \text{数式(3)} \\ p_{3369} &= p_{3369} \oplus i_0, & p_{3451} &= p_{3451} \oplus i_0, & p_{4620} &= p_{4620} \oplus i_0, \\ p_{2622} &= p_{2622} \oplus i_0 \end{aligned} \quad 30$$

【 0 0 2 3 】

上述した数式(3)において、

【数9】

$$p_x = p_x \oplus i_0 \quad 40$$

は、

【数10】

$$p_x \leftarrow p_x \oplus i_0$$

として表現することもでき、

【数 1 1】

$$\oplus$$

は、2進加算を意味する。

【0 0 2 4】

〔ステップ3〕次に、LDPC符号化器は、 i_0 の後の次の359個の情報語ビット i_m (ここで、 $m = 1, 2, \dots, 359$) に対して下記の数式(4)の値を求める。

【数 1 2】

10

$$\{x + (m \bmod M_1) \times q\} \bmod (N_1 - K_1), \quad M_1 = 360, \quad m = 1, 2, \dots, 359 \dots \text{数式 (4)}$$

【0 0 2 5】

上述した数式(4)において、 x は、

【数 1 3】

$$R_{1,0}^{(k)} \text{ for } k = 1, 2, \dots, 13$$

20

の値である。上述した数式(4)は、上述した数式(2)と同一の概念を有することに留意しなければならない。

【0 0 2 6】

次いで、LDPC符号化器は、上述した数式(4)で求められた値を用いて数式(3)と類似した動作を実行する。すなわち、LDPC符号化器は、 i_m に対して

【数 1 4】

$$P_{\{x + (m \bmod M_1) \times q\} \bmod (N_1 - K_1)}$$

30

をアップデートする。

例えば、 $m = 1$ 、すなわち、 i_1 に対して、LDPC符号化器は、下記の数式(5)で定義されるように、パリティビット

【数 1 5】

$$P_{(x+q) \bmod (N_1 - K_1)}$$

をアップデートする。

40

【数 1 6】

$$\begin{aligned} p_{15} &= p_{15} \oplus i_1, & p_{2099} &= p_{2099} \oplus i_1, & p_{1628} &= p_{1628} \oplus i_1, \\ p_{1563} &= p_{1563} \oplus i_1, & p_{1301} &= p_{1301} \oplus i_1, & p_{1475} &= p_{1475} \oplus i_1, \\ p_{3211} &= p_{3211} \oplus i_1, & p_{4312} &= p_{4312} \oplus i_1, & p_{2496} &= p_{2496} \oplus i_1, \dots \text{数式 (5)} \\ p_{3384} &= p_{3384} \oplus i_1, & p_{3466} &= p_{3466} \oplus i_1, & p_{4635} &= p_{4635} \oplus i_1, \\ p_{2637} &= p_{2637} \oplus i_1 \end{aligned}$$

50

上述した数式(5)において、 $q = 15$ であることに留意しなければならない。LDPC符号化器は、 $m = 1, 2, \dots, 359$ に対して上記のような工程を同様に実行する。

【0027】

〔ステップ4〕ステップ2と同様に、LDPC符号化器は、361番目の情報語ビット i_{360} に対して1番目の加重値-1位置シーケンス

【数17】

$$R_{2,0}^{(k)} (k = 1, 2, \dots, 13)$$

10

の情報を読み出し、特定の P_x をアップデートする。ここで、 x は、

【数18】

$$R_{2,0}^{(k)}$$

である。

LDPC符号化器は、 i_{360} の後の次の359個の情報語ビット $i_{361}, i_{362}, \dots, i_{719}$ に数式(4)を同様に適用することにより、

【数19】

20

$$P_{\{x+(m \bmod M_1) \times q\} \bmod (N_1 - K_1)}, m = 361, 362, \dots, 719$$

をアップデートする。

【0028】

〔ステップ5〕LDPC符号化器は、それぞれの360個の情報語ビットを有するすべてのグループに対してステップ2、3、及び4を反復する。

【0029】

〔ステップ6〕LDPC符号化器は、最終的に数式(6)を用いてパリティビットを決定する。

【数20】

30

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1}, i = 1, 2, \dots, N_1 - K_1 - 1 \dots \text{数式(6)}$$

上述した数式(6)のパリティビット P_i は、LDPC符号化が完了したパリティビットである。

上述したように、DVB-S2は、ステップ1からステップ6までの過程を介して符号化を行う。

【0030】

LDPC符号を実際の通信システムに適用するためには、LDPC符号は、通信システムで要求されるデータ送信量に適合するように設計されなければならない。特に、ハイブリッド自動再送要求(Hybrid Automatic Retransmission Request: HARQ)方式及び適応型変調及び符号化(Adaptive Modulation and Coding: AMC)方式を適用する適応型通信システムだけでなく、様々なブロードキャストサービスをサポートする通信システムでも、システムの要求に従って様々なデータ送信量をサポートするために様々な符号語の長さを有するLDPC符号が必要とされる。

40

50

【 0 0 3 1 】

しかしながら、上述したように、DVB-S2システムで使用されるLDPC符号は、その制限された使用により2種類の符号語の長さのみを有し、LDPC符号の各タイプは、独立したパリティ検査行列を必要とする。このような理由で、システムの拡張性及び柔軟性を増加させるために様々な符号語の長さをサポートする方法が必要である。特に、DVB-S2システムでは、シグナリング情報の送信のために数百から数千ビットのデータ送信が必要である。しかしながら、16200及び64800のみがDVB-S2 LDPC符号の長さに対して使用可能であるため、様々な符号語の長さをサポートする必要があるという問題がある。

【 0 0 3 2 】

また、LDPC符号の各符号語の長さに対して独立したパリティ検査行列を個別に格納することは、全メモリ効率性を減少させるために、新たなパリティ検査行列を設計せず、与えられた既存のパリティ検査行列から様々な符号語の長さを効率的にサポートすることができる方式が要求されているという問題がある。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 3 3 】

したがって、本発明は、上述した従来技術の問題点を解決するために提案されたものであり、その目的は、LDPC符号を使用する通信システムにおいて短縮又はパンクチャーリングを用いて与えられたLDPC符号から相互に異なる符号語の長さを有するLDPC符号を生成するチャンネル符号化及び復号化方法並びにその装置を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、LDPC符号を使用する通信システムにおいてDVB-S2アーキテクチャーを考慮して最適な性能を保証するチャンネル符号化及び復号化方法並びにその装置を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 3 4 】

上記のような目的を達成するために、本発明の一態様によれば、低密度パリティ検査(LDPC)符号を使用する通信システムにおけるチャンネル復号化方法を提供する。前記方法は、送信器から送信された信号を復調するステップと、あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に関する情報及びパリティビットグループの個数に関する情報を推定することによりパンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するステップと、前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を用いてデータを復号化するステップと、を有し、前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するステップは、パンクチャーリングされたパリティビットの個数を決定するステップと、前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数に基づいてパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を決定するステップと、前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序を取得するステップとを有し、前記パリティビットグループは以下に示す数式1により決定されることを特徴とする。

【 数 1 】

$$P_j = \{ p_k \mid j \equiv k \pmod{q}, 0 \leq k < N_1 - K_1 \}$$

(式中、 P_j は j 番目のパリティビットグループを示し、 N_1 は符号語長さを示し、 K_1 は情報語長さを示し、 M_1 は1個のパリティビットグループの長さを示し、 q は $q = (N_1 - K_1) / M_1$ を満足し、 K_1 / M_1 は整数であり、 j は $0 \leq j < q$ を満足する。)

【 0 0 3 5 】

本発明の他の態様によれば、低密度パリティ検査(LDPC)符号を使用する通信システムにおけるチャンネル復号化装置を提供する。前記装置は、送信器から送信された信号を

復調する復調器と、あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序に関する情報及びパリティビットグループの個数に関する情報を推定することによりパンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を決定するパンクチャーリングパターン推定器と、前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報を用いてデータを復号化する復号化器とを有し、前記パンクチャーリングされたパリティビットの位置情報は、パンクチャーリングされたパリティビットの個数を決定し、前記パンクチャーリングされたパリティビットの個数に基づいてパンクチャーリングされたパリティビットグループの個数を決定し、前記あらかじめ決定されたパンクチャーリングされたパリティビットグループの順序を取得することにより決定され、前記パリティビットグループは以下に示す数式 3 により決定されることを特徴とする。

【数 3】

$$P_j = \{ p_k \mid j \equiv k \pmod{q}, 0 \leq k < N_1 - K_1 \}$$

(式中、 P_j は j 番目のパリティビットグループを示し、 N_1 は符号語長さを示し、 K_1 は情報語長さを示し、 M_1 は 1 個のパリティビットグループの長さを示し、 q は $q = (N_1 - K_1) / M_1$ を満足し、 K_1 / M_1 は整数であり、 j は $0 \leq j < q$ を満足する。)

【発明の効果】

【0036】

本発明は、LDPC 符号を使用する通信システムで与えられたパリティ検査行列に関する情報を使用して異なる符号語長さを有する個別の LDPC 符号を生成することができる。

また、本発明は、パンクチャーリングを適用することにより DVB-S2 LDPC 符号の性能を最適化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図 1】長さが 8 である LDPC 符号のパリティ検査行列の一例を示す図である。

【図 2】長さが 8 である LDPC 符号のパリティ検査行列の一例のタナーグラフを示す図である。

【図 3】DVB-S2 LDPC 符号の概略的な構成を示す図である。

【図 4】DVB-S2 LDPC 符号のパリティ検査行列の一例を示す図である。

【図 5】LDPC 符号を使用する通信システムの送受信器の構成を示すブロック図である。

【図 6】不規則なパンクチャーリングが図 4 の LDPC 符号に適用される 1 番目の例を示す図である。

【図 7】規則的なパンクチャーリングが図 4 の LDPC 符号に適用される 2 番目の例を示す図である。

【図 8】規則的なパンクチャーリングが図 4 の LDPC 符号に適用される 3 番目の例を示す図である。

【図 9】本発明の実施形態による格納されている LDPC 符号のパリティ検査行列から異なる符号語長さを有する LDPC 符号を生成する方法を示すフローチャートである。

【図 10】本発明の実施形態によるパンクチャーリングパターンが適用される場合の受信装置での LDPC 復号化方法を示すフローチャートである。

【図 11】本発明で提案したパンクチャーリング及び短縮を適用した LDPC 符号を使用する送信装置の構成を示すブロック図である。

【図 12】本発明で提案したパンクチャーリング及び短縮を適用した LDPC 符号を使用する受信装置の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

10

20

30

40

50

以下、本発明の好適な一実施形態を、添付図面を参照しつつ詳細に説明する。下記の説明において、明瞭性と簡潔性の観点から、本発明に関連した公知の機能や構成に関する具体的な説明が本発明の要旨を不明瞭にすると判断される場合には、その詳細な説明を省略する。

【0039】

本発明の実施形態は、特定の構造形状 (structural shape) の LDPC 符号のパリティ検査行列を用いて様々な符号語の長さを有する LDPC 符号をサポートする方法を提案する。また、本発明の実施形態は、特定の構造形状の LDPC 符号を使用する通信システムにおいて、様々な符号語の長さをサポートする装置及びその制御方法を提案する。特に、本発明の実施形態は、与えられた LDPC 符号のパリティ検査行列を用いて与えられた LDPC 符号より短い長さを有する LDPC 符号を生成する方法及びその装置を提案する。

10

【0040】

図5は、LDPC符号を使用する通信システムの送受信器の構成を示すブロック図である。

図5を参照すると、メッセージ u は、受信器 530 に送信される前に送信器 510 内の LDPC 符号化器 511 に入力される。LDPC 符号化器 511 は、入力されたメッセージ u を符号化し、符号化された信号 c を変調器 513 に出力する。変調器 513 は、この符号化された信号 c を変調した後に、この変調された信号 s を無線チャネル 520 を介して受信器 530 に送信する。受信器 530 内の復調器 531 は、この受信した信号 r を復調した後に、この復調された信号 x を LDPC 復号化器 533 に出力する。LDPC 復号化器 533 は、無線チャネル 520 を介して受信されたデータに基づいてメッセージの推定値

20

【数21】

u

を推定する。

【0041】

LDPC 符号化器 511 は、予め設定されている方式を用いて通信システムにより要求される符号語の長さによってパリティ検査行列を生成する。特に、本発明の実施形態に従うと、LDPC 符号化器 511 は、付加的な格納情報に対する別途の必要なしに LDPC 符号を用いて様々な符号語の長さをサポートすることができる。

30

【0042】

本発明の実施形態に従って、様々な符号語の長さをサポートする方法は、短縮技術及び/又はパンクチャーリング技術を使用する。ここで使用される“パンクチャーリング技術”は、与えられた特定のパリティ検査行列から LDPC 符号化を実行することにより LDPC 符号語を生成した後に、LDPC 符号語の特定の部分を実質的に送信しない方法を意味する。したがって、受信器は、送信されない部分が消失されたと判断する。

40

【0043】

パンクチャーリング技術のさらなる理解を助けるために、図3及び図4に示す DVB-S2 LDPC 符号のパリティ検査行列を用いてより詳細に説明する。

図3に示す DVB-S2 LDPC 符号のパリティ検査行列は、全長が N_1 であり、先頭部分は、長さが K_1 である情報語ビット ($i_0, i_1, \dots, i_{K_1-1}$) に対応し、後方部分は、長さが $(N_1 - K_1)$ であるパリティビット ($P_0, P_1, \dots, P_{N_1 - K_1 - 1}$) に対応する。

【0044】

一般的に、このパンクチャーリング技術は、情報語ビット及びパリティビットにすべて適用することができる。このパンクチャーリング技術及び短縮技術が符号語長さを共通で

50

減少させるが、このパンクチャーリング技術は、上述したような短縮技術とは異なり、特定のビットの値を制限しない。このパンクチャーリング技術は、特定の情報語ビット又は生成されたパリティビットの中の特定の部分をただ送信しないことにより、受信器が対応するビットの消失処理を行うことができる方法である。

【 0 0 4 5 】

言い換えれば、生成された長さ N_1 の LDPC 符号語の中で N_p 個の予め定義された位置にあるビットをただ送信しないことにより、このパンクチャーリング技術は、長さが $(N_1 - N_p)$ である LDPC 符号語と同一の効果を得ることができる。パリティ検査行列でパンクチャーリングされたビットに対応する列が復号化工程ですべてそのまま使用されるので、この短縮技術とは異なる。

10

【 0 0 4 6 】

また、本発明に従うと、システムが設定される際に、このパンクチャーリングされたビットに関する位置情報が送信器及び受信器に等しく共有されるか又は推定することができるので、受信器は、対応するパンクチャーリングされたビットの消失処理を行なった後に復号化を実行する。

【 0 0 4 7 】

このパンクチャーリング技術において、送信器が実際に送信する符号語の長さが $N_1 - N_p$ であり、情報語の長さが一定に K_1 であるので、符号率は、 $K_1 / (N_1 - N_p)$ となり、これは、最初に与えられた符号率 K_1 / N_1 より常に大きくなる。

【 0 0 4 8 】

DVB-S2 LDPC 符号に適合した短縮技術及びパンクチャーリング技術について説明する。上述したように、DVB-S2 LDPC 符号は、特定の構成を有する LDPC 符号の一種である。したがって、一般的な LDPC 符号に比べて、DVB-S2 LDPC 符号は、より効率的な短縮及びパンクチャーリングを受けることができる。

20

【 0 0 4 9 】

本実施形態の説明の便宜のために、LDPC 符号の符号語の長さ及び情報語の長さがそれぞれ N_2 及び K_2 であると仮定する。 $N_1 - N_2 = N$ であり、 $K_1 - K_2 = K$ である場合に、DVB-S2 LDPC 符号のパリティ検査行列から K ビットだけの短縮を行い、 $N_p (= N - K)$ ビットだけのパンクチャーリングを行うことにより、符号語の長さ及び情報語の長さをそれぞれ N_2 及び K_2 である LDPC 符号を生成することができる。

30

【 0 0 5 0 】

このように生成された LDPC 符号が $N > 0$ 又は $K > 0$ である時、その符号率

【数 2 2】

$$\frac{K_1 - K_\Delta}{N_1 - N_\Delta}$$

が一般的に DVB-S2 LDPC 符号の符号率 K_1 / N_1 とは異なるので、その代数的特性は変わる。ここで、 $N = K$ である場合に、LDPC 符号は、短縮及びパンクチャーリングのいずれも適用しないか又は短縮だけを行うことにより生成される。

40

【 0 0 5 1 】

図 4 を参照して DVB-S2 LDPC 符号のパリティパンクチャーリングを適用する際の特性について具体的に説明する。

図 4 の DVB-S2 LDPC 符号が $N_1 = 30$ 、 $K_1 = 15$ 、 $M_1 = 5$ 、及び $q = 3$ であり、3 個の列グループ内の 0 番目の列に対する“加重値 - 1 位置シーケンス”が次のように表されることに留意する。

$$\begin{array}{cccc} 0 & 1 & 2 & \\ 0 & 1 & 1 & 1 \ 3 \end{array}$$

50

0 1 0 1 4

i 番目の列の i 番目の “加重値 - 1 位置シーケンス” は、 i 番目の列グループで 1 を有する行の位置に関する情報を順次に示す。

【0052】

図6は、不規則なパンクチャーリングが図4のLDPC符号に適用される1番目の例を示す図である。

図6において、パンクチャーリングされたパリティビットが復号化器で消失処理を受けるために、消失されない他のビットに比べて、パンクチャーリングされたパリティビットは、LDPC復号化工程で性能改善効果が小さくなく、これにより、信頼度が低下する。

その結果、信頼度が低下したこのパンクチャーリングされたパリティビットに直接に接続された他のビットも復号化工程で性能改善効果が低下する悪影響を受ける。性能改善効果の低下は、タナグラフ上でパンクチャーリングされたビットに直接に接続されたエッジの個数が多いほど大きくなる。

【0053】

例えば、図6において、0番目の列に対応する0番目の情報語ビットは、パンクチャーリングされたパリティビットに2回直接接続され、3番目の列に対応する3番目の情報語ビットは、パンクチャーリングされたパリティビットに1回直接接続され、8番目の列に対応する8番目の情報語ビットは、パンクチャーリングされたパリティビットに3回直接接続される。この場合に、3番目、0番目、及び8番目の情報語ビットは、復号化工程で順次に性能改善効果に優れる。すなわち、変数ノードの次数が相互に同一である場合に、パンクチャーリングされたビットの数が増加するほど性能改善効果が低減される。

【0054】

図6を説明すると、不規則なパンクチャーリングパターンにより各情報語に直接接続されているパンクチャーリングされたパリティビットの個数が相互に不規則であることがわかる。したがって、各情報語ビットの信頼度も不規則となる確率が高い。言い換えれば、ある情報語ビットは、必要以上に高い復号化性能を得る一方、他の情報語ビットは、深刻な性能劣化を受けることがある。このように不規則なパンクチャーリングパターンは、復号化工程で情報語ビットの深刻な信頼度の不均一性を引き起こす可能性がある。

【0055】

図7は、規則的なパンクチャーリングが図4のLDPC符号に適用される2番目の例を示す図である。

すなわち、特定の形態の比較的規則的なパンクチャーリングパターンを図7に示す例に適用する。

【0056】

図7を参照すると、比較的規則的なパンクチャーリングパターンを適用しても、対応するパンクチャーリングパターンに従って情報語ビットとの接続が不均一になる可能性がある。図7の規則的なパンクチャーリングパターンが図6の不規則なパンクチャーリングパターンに比べてより不均一になる可能性がある。

【0057】

このようにDVB-S2LDPC符号のように特定の構成を有するパリティ検査行列を有するLDPC符号の場合には、このパンクチャーリングパターンに従ってパンクチャーリングされたパリティビットと情報語ビット間の接続状態が大きく変わる可能性がある。

本発明の実施形態では、DVB-S2LDPC符号の構造特性を用いて復号化工程で情報語ビットの信頼度の不均一性を最大に抑制することにより安定した復号化性能を提供するパンクチャーリングパターンを提案する。

【0058】

図8は、規則的なパンクチャーリングが図4のLDPC符号に適用される3番目の例を示す図である。

図8の例において、構成変数の中の1つである値 q が3であるため、パンクチャーリン

10

20

30

40

50

グされたパリティビット間の間隔を3に一定に保持させたパンクチャーリングパターンは、図4に示したパリティ検査行列に適用される。図8を見て分かるように、すべての情報語ビットのそれぞれは、2個のパンクチャーリングされたビットに同一に接続されている。

【0059】

DVB-S2 LDPC符号の構成により、パンクチャーリングされたパリティビット間の間隔が q の値に従って設定される場合には、パンクチャーリングされたビットと情報語ビット間の不均一性が著しく減少する。これは、図3を参照して詳細に説明する。

【0060】

規則1、規則2、及び図3を参照すると、各列グループについて、対応する列グループ内で1番目の列の‘1’の位置は、残りの列で‘1’の位置を決定する。この際に、モジュロ(N_1, K_1)について、この残りの列で‘1’が位置する行のインデックスは、1番目の列で1が位置する行のインデックスと正確に q の倍数だけ異なる。ここで、 N_1 は、LDPC符号語の長さを示し、 K_1 は、情報語の長さを示す。さらに具体的に言えば、特定の列グループ内で連続的な2つの列に1が位置した行のインデックスは、モジュロ(N_1, K_1)に対して正確に q だけ相互に異なる。

【0061】

また、DVB-S2 LDPC符号の他の特徴は、パリティ検査行列でパリティに対応する部分行列にある。

図3を説明すると、パリティ部分は、対角部分のすべてに1が存在する下三角行列(lower triangular matrix)の構成を有し、該構成において、 i 番目のパリティビットは、 i 番目の行に位置した‘1’に対応する。

DVB-S2 LDPC符号の構造特性により特定のパリティビットがパンクチャーリングされると仮定すると、パリティパンクチャーリングが q の間隔で正確に反復される場合に、特定の列グループ内でパンクチャーリングされたパリティビットに接続される情報語ビットのエッジの個数は、最大に均一となる。

【0062】

例えば、 $0 \leq i < q$ に対して i 番目のパリティビットがパンクチャーリングされ、 $0 \leq k < M_1$ に対して $(i + kq)$ 番目のパリティビットが繰り返しパンクチャーリングされると仮定すると、 i 番目のパリティビットに接続されている情報語ビットは、対応する情報語ビットに対応する列の i 番目の行に‘1’が存在することを示す。したがって、規則1及び規則2に従って列グループ内の列の中でこの情報語ビットから k だけ離れている情報語ビットに対応する列には、 $(i + kq)$ 番目の行に‘1’が存在することをわかる。

その結果、この情報語ビットは、パンクチャーリングされた $(i + kq)$ 番目のビットに接続される。

【0063】

DVB-S2 LDPC符号の場合に、すべての情報語に対応する変数ノードの次数が1つの列グループ内では相互に同一であり、1つの行には、1つ以下の‘1’が分布されるために、このパンクチャーリングパターンを適用する際に、1つの列グループに対応する情報語ビットは、同一の個数のパンクチャーリングされたビットに接続される。したがって、パンクチャーリングされたビットと情報語ビット間の接続が均一となり、これにより、復号化工程で安定した復号化を期待することができる。

【0064】

上述したパンクチャーリング方式の適用に対する一般的な工程を次の通りに整理することができる。説明の便宜のために、 N_1 がLDPC符号語の長さを示し、各列グループが M_1 個の列を有し、 N_p 個のパリティビットをパンクチャーリングすると仮定すると、以下のパンクチャーリング工程を、図9に示す。

もっと正確に言えば、図9は、本発明の実施形態による格納されているLDPC符号のパリティ検査行列から異なる符号語長さを有するLDPC符号を生成する方法を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【0065】

パンクチャーリングステップ1：送信装置は、ステップ901で、短縮されるか又は短縮されない既存のDVB-S2 LDPC符号語を生成する。

【0066】

パンクチャーリングステップ2：送信装置は、ステップ903で、パンクチャーリングを実行する長さ N_p を決定し、ステップ905で、

【数23】

$$A = \left\lfloor \frac{N_p}{M_1} \right\rfloor$$

10

を計算する。ここで、

【数24】

$$\lfloor x \rfloor$$

は、 x より小さいか又は同一の最大整数である。

【0067】

パンクチャーリングステップ3：送信装置は、ステップ907で、 $0 \leq x < A$ 及び $0 \leq i_x < q$ に対してパンクチャーリングされるパリティビット $P_{i_0}, P_{i_1}, \dots, P_{i_{A-1}}$ を決定する。 $0 \leq x < q$ に対して、 i_x の値は、性能を考慮して予め決定されていると仮定する(ここで、 $A = q$ の関係があることに留意する)。

20

【0068】

パンクチャーリングステップ4：送信装置は、ステップ907で、 $0 \leq x < A$ 及び $0 \leq k < M_1$ に対してすべてのパリティビット $P_{i_x + kq}$ にパンクチャーリングを適用する。ここで、常数 B は、所定の0でない整数である。

【0069】

パンクチャーリングステップ5：送信装置は、ステップ907で、 $0 \leq k < N_p - AM_1$ に対してパリティビット $P_{i_A + kq}$ を付加的にパンクチャーリングする。この後に、ステップ909で、送信装置は、このパンクチャーリングされたビットを除くビットを送信する。

30

【0070】

このパンクチャーリング工程において、パンクチャーリングステップ3及びパンクチャーリングステップ4で AM_1 個のパリティビットがパンクチャーリングされ、パンクチャーリングステップ5で $(N_p - AM_1)$ 個のパリティビットがパンクチャーリングされ、合計 N_p 個のパリティビットがパンクチャーリングされることをわかる。このようにパンクチャーリングされた後に送信されたDVB-S2 LDPC符号語について、受信装置は、図10を参照してより詳細に説明される復号化工程を介して受信された信号を元の信号に復元する。

40

【0071】

パンクチャーリングステップ3～パンクチャーリングステップ5のパンクチャーリング工程のさらなる理解のために次のような具体的な例を説明する。

ここで使用されるDVB-S2 LDPC符号は、 $N_1 = 16200$ 、 $K_1 = 3240$ 、 $M_1 = 360$ 、及び $q = 36$ を有する符号である。

【0072】

パンクチャーリングステップ1の例：送信装置は、短縮されるか又は短縮されない既存のDVB-S2 LDPC符号語を生成する。

パンクチャーリングステップ2の例：送信装置は、パンクチャーリングを実行する長さ N_p を決定し、

50

【数 2 5】

$$A = \left\lfloor \frac{N_p}{M_1} \right\rfloor$$

を計算する。ここで、

【数 2 6】

$$\lfloor x \rfloor$$

10

は、 x より小さいか又は同一の最大整数である。

【0 0 7 3】

パンクチャーリングステップ 3 の例：送信装置は、 $0 \leq x < A$ 及び $0 \leq i_x < 36$ に対してパンクチャーリングされるパリティビット $P_{i_0}, P_{i_1}, \dots, P_{i_{A-1}}$ を決定する。

$0 \leq x < 36$ に対して、 i_x の値は、このパンクチャーリングされたパリティビットと情報語ビット間の接続関係及び密度進化分析方法を用いて漸近的 (asymptotic) 性能が優秀な場合を考慮して次のように選択される。

20

2 7 , 1 3 , 2 9 , 3 2 , 5 , 0 , 1 1 , 2 1 , 3 3 , 2 0 , 2 5 , 2 8 , 1 8 , 3 5 , 8 , 3 , 9 , 3 1 , 2 2 , 2 4 , 7 , 1 4 , 1 7 , 4 , 2 , 2 6 , 1 6 , 3 4 , 1 9 , 1 0 , 1 2 , 2 3 , 1 , 6 , 3 0 , 1 5

上記シーケンスにおいて、 x 番目の “加重値 - 1 位置シーケンス” は、 $0 \leq x < 36$ に対して i_x の値に対応する。

【0 0 7 4】

パンクチャーリングステップ 4 の例：送信装置は、 $0 \leq x < A$ 及び $0 \leq k < 360$ に対してすべてのパリティビット $P_{i_x + 36k}$ へのパンクチャーリングを適用する。

30

パンクチャーリングステップ 5 の例：送信装置は、 $0 \leq k < N_p - 360 \cdot A$ に対してパリティビット $P_{i_A + 36k}$ を付加的にパンクチャーリングする。

【0 0 7 5】

このパンクチャーリングステップ 1 の例 ~ パンクチャーリングステップ 5 の例を説明すると、パンクチャーリングされるビットの数 N_p 及び i_x の値を定義するシーケンス情報及び q の値を知っている際にパンクチャーリングパターンが正確に定義されることがわかる。

【0 0 7 6】

パンクチャーリングステップ 1 の例 ~ パンクチャーリングステップ 5 の例に適用された DVB-S2 LDPC 符号のすべてのパリティビットが $(P_0, P_1, P_2, \dots, P_{12959})$ として表される時、このパンクチャーリングステップの例は、表 1 に示すように要約されることができる。

40

【表 1】

DVB-S2 LDPC符号の主要変数		$N_1=16200$ 、 $K_1=3240$ 、 $M_1=360$ 、 $q=36$						
パリティビットのグルーピング		$0 \leq j < q = 36$ に対して次のような特性を満足するセット P_j を定義する。 $P_j = \{p_k \mid k \equiv j \pmod{36}, 0 \leq k < 12960\}$ セット P_j は、それぞれ 360 個のパリティビットをそのエントリーとして有するセットである。						
N_p の範囲		パンクチャーリング方法						
$0 \leq N_p < 12960$		$m = \left\lfloor \frac{N_p}{360} \right\rfloor$ である整数 m に対して、 m 個のパリティビットセット $P_{\pi(0)}$ 、 $P_{\pi(1)}$ 、 \dots 、 $P_{\pi(m-1)}$ に対応するパリティビットのすべてをパンクチャーリングし、 $P_{\pi(m)}$ に対応するパリティビットの中で $(N_p - 360m)$ 個のパリティビットを付加的にパンクチャーリングする。この際に、 π は、 パンクチャーリングパターンを意味する置換関数を示し、パリティビットセットに対応するパリティビットは、表の下端に示す。						
$\pi(0)$	$\pi(1)$	$\pi(2)$	$\pi(3)$	$\pi(4)$	$\pi(5)$	$\pi(6)$	$\pi(7)$	$\pi(8)$
27	13	29	32	5	0	11	21	33
$\pi(9)$	$\pi(10)$	$\pi(11)$	$\pi(12)$	$\pi(13)$	$\pi(14)$	$\pi(15)$	$\pi(16)$	$\pi(17)$
20	25	28	18	35	8	3	9	31
$\pi(18)$	$\pi(19)$	$\pi(20)$	$\pi(21)$	$\pi(22)$	$\pi(23)$	$\pi(24)$	$\pi(25)$	$\pi(26)$
22	24	7	14	17	4	2	26	16
$\pi(27)$	$\pi(28)$	$\pi(29)$	$\pi(30)$	$\pi(31)$	$\pi(32)$	$\pi(33)$	$\pi(34)$	$\pi(35)$
34	19	10	12	23	1	6	30	15

10

20

【0077】

このパンクチャーリングステップの他の実施形態として、表 2 に示すパンクチャーリングパターンは、 $N_1 = 16200$ 、 $K_1 = 7200$ 、 $M_1 = 360$ 、及び $q = 25$ を有する DVB-S2 LDPC 符号に対して求められることができる。

【表 2】

DVB-S2 LDPC符号の主要変数		$N_1=16200$ 、 $K_1=7200$ 、 $M_1=360$ 、 $q=25$						
パリティビットのグルーピング		$0 \leq j < q = 25$ に対して次のような特性を満足するセット P_j を定義する。 $P_j = \{p_k \mid k \equiv j \pmod{25}, 0 \leq k < 9000\}$ セット P_j は、それぞれ 360 個のパリティビットをそのエントリーとして有するセットである。						
N_p の範囲		パンクチャーリング方法						
$0 \leq N_p < 9000$		$m = \left\lfloor \frac{N_p}{360} \right\rfloor$ である整数 m に対して、 m 個のパリティビットセット $P_{\pi(0)}$ 、 $P_{\pi(1)}$ 、 \dots 、 $P_{\pi(m-1)}$ に対応するパリティビットのすべてをパンクチャーリングし、 $P_{\pi(m)}$ に対応するパリティビットの中で $(N_p - 360m)$ 個のパリティビットを付加的にパンクチャーリングする。この際に、 π は、 パンクチャーリングパターンを意味する置換関数を示し、パリティビットセットに対応するパリティビットは、表の下端に示す。						
$\pi(0)$	$\pi(1)$	$\pi(2)$	$\pi(3)$	$\pi(4)$	$\pi(5)$	$\pi(6)$	$\pi(7)$	$\pi(8)$
6	4	18	9	13	8	15	20	5
$\pi(9)$	$\pi(10)$	$\pi(11)$	$\pi(12)$	$\pi(13)$	$\pi(14)$	$\pi(15)$	$\pi(16)$	$\pi(17)$
17	2	24	10	22	12	3	16	23
$\pi(18)$	$\pi(19)$	$\pi(20)$	$\pi(21)$	$\pi(22)$	$\pi(23)$	$\pi(24)$	-	-
1	14	0	21	19	7	11	-	-

30

40

50

【0078】

上述したように、本発明の実施形態は、DVB-S2 LDPC符号のパンクチャーリングのために通常使用される任意のパンクチャーリング技術又は単純均一パンクチャーリング技術を適用する代わりに、DVB-S2 LDPC符号の構造特性を用いてDVB-S2 LDPC符号の性能を安定化させることができる効率的なパンクチャーリング技術を適用することができる。

【0079】

DVB-S2 LDPC符号のパンクチャーリングステップ3でのパンクチャーリングされたビットの順序を決定する方法をさらに説明すると、この方法は、密度進化分析方法及びタナーグラフ上のサイクル分析法を用いてパンクチャーリングされたビットの順序を決定する。

10

【0080】

パンクチャーリング技術は、LDPC符号語の長さを変化させるだけではなく、情報語の長さを変化させず符号語の長さを短くするために符号率を高めるのに役立つ。したがって、パンクチャーリング技術だけでなく短縮技術もシステムで必要な符号率及び符号語長さを得るためにはともに適用することができる。

【0081】

上述したように、与えられた符号語の長さ及び情報語の長さがそれぞれ N_1 及び K_1 であるLDPC符号から短縮技術及びパンクチャーリング技術を介して最終に取得しようとするLDPC符号の符号語の長さ及び情報語の長さをそれぞれ N_2 及び K_2 であると仮定する。

20

$N_1 - N_2 = N$ であり、 $K_1 - K_2 = K$ である場合に、LDPC符号のパリティ検査行列から K ビットだけの短縮を行い、 $N_p (= N - K)$ ビットだけのパンクチャーリングを行うことにより、符号語の長さ N_2 及び情報語の長さ K_2 であるLDPC符号を生成することができる。このように生成されたLDPC符号に対して、 $N > 0$ 又は $K > 0$ である時、その符号率が

【数27】

$$\frac{K_1 - K_\Delta}{N_1 - N_\Delta}$$

30

であるため、パンクチャーリング長さ及び短縮長さは、 N_2 及び

【数28】

$$\frac{K_1 - K_\Delta}{N_1 - N_\Delta}$$

を考慮して設定される。

【0082】

図10は、本発明の実施形態による受信装置での受信方法を示すフローチャートである。

40

図10を参照すると、受信装置は、ステップ1001で受信した信号からパンクチャーリング/短縮パターンを判定(又は推定)する。

この後に、受信装置は、ステップ1003で、パンクチャーリングされたか又は短縮されたビットが存在するかを判断する。

【0083】

パンクチャーリングされたか又は短縮されたビットが存在しない場合、受信装置は、ステップ1009に進み復号化を実行する。

しかし、短縮されたか又はパンクチャーリングされたビットが存在する場合、受信装置は、ステップ1005で、パンクチャーリング/短縮パターンをLDPC符号化器116

50

0 に送信する。

【0084】

L D P C 符号化器 1 1 6 0 は、ステップ 1 0 0 7 で、このパンクチャーリングされたビットが消失したビットであると判定し、短縮されたビットの値がゼロ (0) である確率が 1 であると判定する。その後、L D P C 符号化器 1 1 6 0 は、復号化を実行する。

【0085】

D V B - S 2 L D P C 符号のパンクチャーリング工程を実現するための送信装置の具体的な例を図 1 1 に示す。

すなわち、図 1 1 は、本発明の実施形態によるパンクチャーリング及び短縮を適用した L D P C 符号を使用する送信装置の構成を示すブロック図である。

10

【0086】

図 1 1 を参照すると、送信装置は、制御部 1 1 1 0、短縮パターン適用部 1 1 2 0、L D P C 符号パリティ検査行列抽出部 1 1 4 0、L D P C 符号化器 1 1 6 0、及びパンクチャーリングパターン適用部 1 1 8 0 を含む。

【0087】

L D P C 符号パリティ検査行列抽出部 1 1 4 0 は、短縮がなされた L D P C 符号パリティ検査行列を抽出する。

L D P C 符号パリティ検査行列は、メモリから抽出することもでき、送信装置から与えられることもでき、又は送信装置で生成することもできる。

【0088】

20

制御部 1 1 1 0 は、情報語の長さによって短縮パターンを決定するように短縮パターン適用部 1 1 2 0 を制御し、短縮パターン適用部 1 1 2 0 は、短縮されたビットに対応する位置に 0 の値を有するビットを挿入するか、又は与えられた L D P C 符号のパリティ検査行列から短縮されたビットに対応する列を除去する。

この短縮パターンを決定する方法は、メモリに格納されている短縮パターンを使用するか、シーケンス生成器 (図示せず) を用いて短縮パターンを生成するか、又はパリティ検査行列及び与えられた情報語の長さに対して密度進化分析アルゴリズムなどを使用することにより取得できる。

【0089】

L D P C 符号化器 1 1 6 0 は、制御部 1 1 1 0 及び短縮パターン適用部 1 1 2 0 により短縮された L D P C 符号に基づいて符号化を実行する。

30

【0090】

また、制御部 1 1 1 0 は、パンクチャーリングパターン適用部 1 1 8 0 を制御する。パンクチャーリングパターン適用部 1 1 8 0 は、パンクチャーリングされるパリティビットの個数を決定し、所定の間隔でパリティビットを区分することにより、この所定の間隔内でパンクチャーリングされるパンクチャーリングビットの個数を決定し、この所定の間隔内でこの決定されたパンクチャーリングビットの個数に対応するパンクチャーリングパリティビットの位置を決定し、所定の間隔でこの決定された位置に対応するパンクチャーリングパリティビットのパンクチャーリングを反復して実行する。

【0091】

40

図 1 2 は、本発明の実施形態による受信装置の構成を示すブロック図である。

さらに具体的には、図 1 2 に示す受信装置は、パンクチャーリング又は短縮がなされた D V B - S 2 L D P C 符号を使用する通信システムから送信された信号を受信し、この受信した信号からユーザが所望するデータを復元する。

【0092】

図 1 2 を参照すると、受信装置は、制御部 1 2 1 0、短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0、復調器 1 2 3 0、及び L D P C 復号化器 1 2 4 0 を含む。

【0093】

復調器 1 2 3 0 は、短縮がなされた L D P C 符号の受信及び復調を行い、この復調が行われた信号を短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0 及び L D P C 復号

50

化器 1 2 4 0 に送信する。

【 0 0 9 4 】

短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0 は、制御部 1 2 1 0 の制御下で、この復調された信号から LDPC 符号のパンクチャーリング又は短縮パターンに関する情報を判定 (又は推定) し、このパンクチャーリング及び短縮がなされたビットの位置情報を LDPC 復号化器 1 2 4 0 に送信する。

短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0 でのパンクチャーリング / 短縮パターンの判定又は推定を行う方法は、メモリに格納されているパンクチャーリング / 短縮パターンを使用するか、あらかじめ実行された生成方法を用いてパンクチャーリング / 短縮パターンを生成するか、又はパリティ検査行列及び与えられた情報語長さに対して密度進化分析アルゴリズムなどを使用することにより得られる。LDPC 復号化器 1 2 4 0 は、このパンクチャーリングされたビットの消失処理を行い、復号化を実行する。

10

【 0 0 9 5 】

また、送信装置が短縮及びパンクチャーリングの両方を適用する場合に、受信装置内の短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0 は、短縮に対するパターン判定又は推定をまず実行するか、パンクチャーリングに対するパターン判定又は推定をまず実行するか、あるいは、短縮及びパンクチャーリングの両方に対しパターン判定又は推定を実行することができる。

【 0 0 9 6 】

LDPC 復号化器 1 2 4 0 は、このパンクチャーリングされたビットがゼロ (0) である確率及びこのパンクチャーリングされたビットが 1 である確率がそれぞれ 1 / 2 と同じであることを仮定して復号化を実行する。また、この短縮されたビットの値が 0 である確率が 1 (すなわち、100%) であるため、LDPC 復号化器 1 2 4 0 は、この短縮されたビットがゼロである確率の値 1 に基づいて、この短縮されたビットが復号化器の復号化動作に参加することを許可するか否かを判断する。

20

【 0 0 9 7 】

LDPC 復号化器 1 2 4 0 が短縮 / パンクチャーリングパターン判定 / 推定部 1 2 2 0 により短縮された DVB-S2 LDPC 符号の長さに関する情報を得た時、この受信した信号からユーザーが所望するデータを復元する。

【 0 0 9 8 】

図 1 1 に示す送信装置を説明すると、この短縮は、LDPC 符号化器 1 1 6 0 の入力段で実行され、このパンクチャーリングは、LDPC 符号化器 1 1 6 0 の出力段で実行されることをわかる。しかしながら、図 1 2 に示す受信装置において、LDPC 復号化器 1 2 4 0 は、パンクチャーリング及び短縮の両方に関する情報を受信することにより復号化を可能にする。

30

【 0 0 9 9 】

以上、本発明を具体的な実施形態を参照して詳細に説明してきたが、本発明の範囲及び趣旨を逸脱することなく様々な変更が可能であるということは、当業者には明らかであり、本発明の範囲は、上述の実施形態に限定されるべきではなく、特許請求の範囲の記載及びこれと均等なものの範囲内で定められるべきである。

40

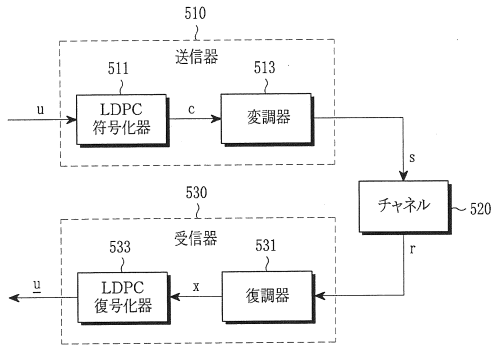
【符号の説明】

【 0 1 0 0 】

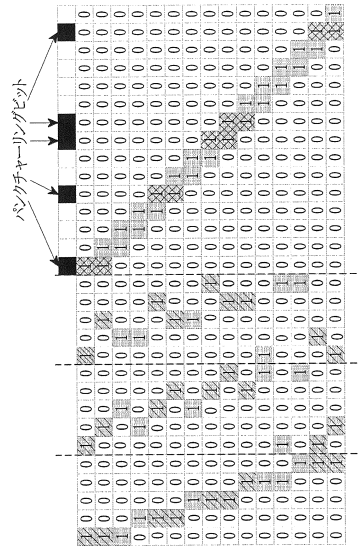
- 5 1 0 送信器
- 5 1 1 LDPC 符号化器
- 5 1 3 変調器
- 5 2 0 無線チャネル
- 5 3 0 受信器
- 5 3 1 復調器
- 5 3 3 LDPC 復号化器
- 1 1 1 0 制御部

50

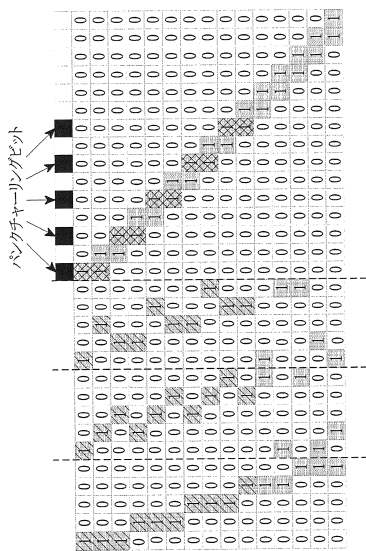
【図5】



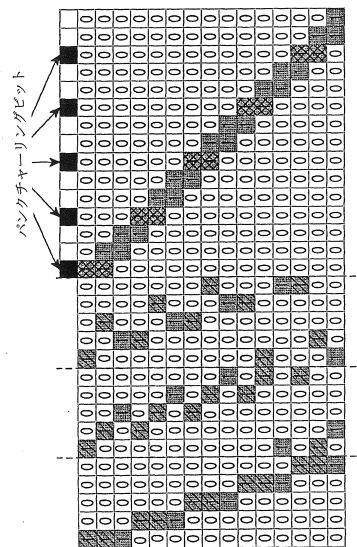
【図6】



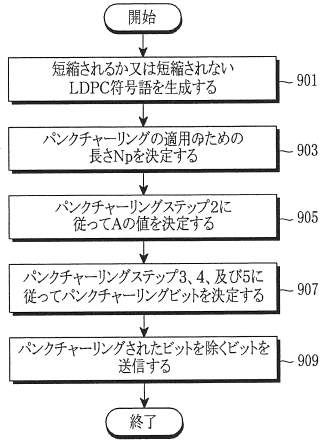
【図7】



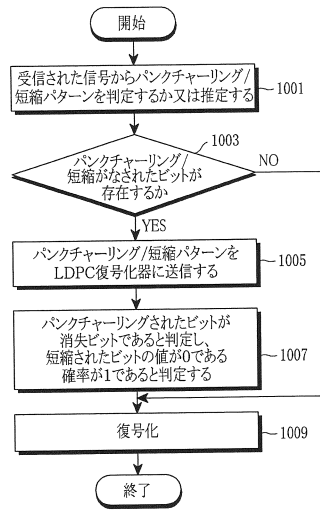
【図8】



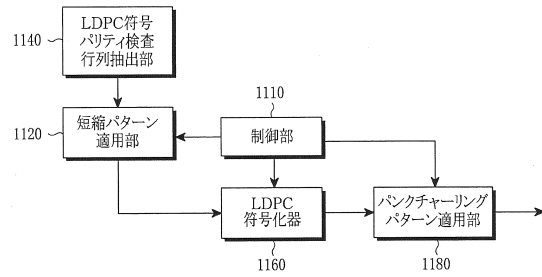
【図9】



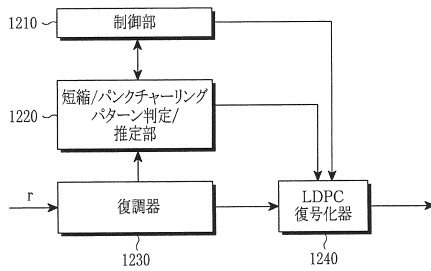
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

- (72)発明者 クォン, ファン - ジュン
大韓民国, ギョンギ - ド 443 - 726, スウォン - シ, ヨントン - グ, ヨントン - ドン, ビョクジョクゴル 9 - ダンジ ロッテ アパート, #944 - 1510
- (72)発明者 キム, ゼ - ヨル
大韓民国, ギョンギ - ド 443 - 738, スウォン - シ, ヨントン - グ, ヨントン1 - ドン, チョンミョンマウル 4 - ダンジ サムスン レミアン アパート, #435 - 1601
- (72)発明者 リム, ヨン - ジュ
大韓民国, ソウル 151 - 801, グァンアク - グ, ナムヒョン - ドン, 602 - 34, プンジョン オフィステル, #605
- (72)発明者 ユン, ソン - リュル
大韓民国, ギョンギ - ド 443 - 725, スウォン - シ, ヨントン - グ, ヨントン - ドン, ビョクジョクゴル 8 - ダンジ アパート, #811 - 806
- (72)発明者 リ, ハク - ジュ
大韓民国, インチョン 403 - 759, プピョン - グ, シッジョン2 - ドン, シンドンア アパート, #110 - 1003
- (72)発明者 ジョン, ホン - シル
大韓民国, ソウル 150 - 782, ヨンドンボ - グ, シンギル 7 - ドン, サムファン アパート, #102 - 2003

審査官 岡 裕之

- (56)参考文献 特表2007 - 531385 (JP, A)
国際公開第2008 / 075627 (WO, A1)
米国特許出願公開第2007 / 0226583 (US, A1)
国際公開第2007 / 108396 (WO, A1)
特表2011 - 512106 (JP, A)
Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), DVB Document A122r1, 2008年10月, pp.1-6, 53-73, 165, URL, http://www.mikrozona.hu/EN_ETS/DVB/a122r1-tm3980r7-DVB-T2.pdf
Smolnikar, M.; Javornik, T.; Mohorcic, M.; Papaharalabos, S. more authors, Rate-compatible punctured DVB-S2 LDPC codes for DVB-SH applications, Satellite and Space Communications, 2009. IWSSC 2009. International Workshop on, 2009年9月11日, pp.13-17

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H03M 13/19
IEEE Explore
Cinii