

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5391253号
(P5391253)

(45) 発行日 平成26年1月15日(2014.1.15)

(24) 登録日 平成25年10月18日(2013.10.18)

(51) Int.Cl. F 1
 HO 3M 13/19 (2006.01) HO 3M 13/19
 HO 3M 13/23 (2006.01) HO 3M 13/23

請求項の数 8 (全 98 頁)

(21) 出願番号	特願2011-235064 (P2011-235064)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成23年10月26日(2011.10.26)		パナソニック株式会社
(62) 分割の表示	特願2009-48535 (P2009-48535) の分割		大阪府門真市大字門真1006番地
原出願日	平成21年3月2日(2009.3.2)	(74) 代理人	100105050 弁理士 鷺田 公一
(65) 公開番号	特開2012-44706 (P2012-44706A)	(72) 発明者	村上 豊
(43) 公開日	平成24年3月1日(2012.3.1)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
審査請求日	平成24年2月3日(2012.2.3)	(72) 発明者	古賀 久雄
			福岡県福岡市博多区美野島四丁目1番62号 パナソニックシステムネットワークス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送信装置及び送信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のビットによって構成される情報系列と前記情報系列に付加する既知情報とに対して、低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によってパリティビットを生成する送信装置であって、

前記パリティビットのうち、前記既知情報を用いて生成される第1のパリティ系列の系列長を、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、決定する決定部と、

前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長に基づいて、前記既知情報を前記情報系列に付加し、前記低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によって、前記パリティビットを生成する計算部と、

前記情報系列と、前記符号化演算して生成されたパリティビットと、を送信する送信部と、

を具備し、

前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長は、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、異なる系列長を有する、

送信装置。

【請求項2】

前記既知情報は、ゼロの情報である、

請求項1に記載の送信装置。

【請求項3】

前記決定部は、
前記第 1 のパリティ系列の系列長として、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、1 つ
の系列長を決定する、
請求項 1 又は 2 に記載の送信装置。

【請求項 4】

前記決定部は、前記情報系列の系列長が長いほど、
前記第 1 のパリティ系列の系列長として、短い系列長を決定する、
請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の送信装置。

【請求項 5】

複数のビットによって構成される情報系列と前記情報系列に付加する既知情報とに対し
て、低密度パリティ検査畳み込み符号 (LDPC-CC) を用いた符号化演算によってパ
リティビットを生成する送信方法であって、

前記パリティビットのうち、前記既知情報を用いて生成される第 1 のパリティ系列の系
列長を、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、決定する決定ステップと、

前記第 1 のパリティ系列の前記決定された系列長に基づいて、前記既知情報を前記情報
系列に付加し、前記低密度パリティ検査畳み込み符号 (LDPC-CC) を用いた符号化
演算によって、前記パリティビットを生成する計算ステップと、

前記情報系列と、前記符号化演算して生成したパリティビットと、を送信するステップ
と、を含み、

前記第 1 のパリティ系列の前記決定された系列長は、前記情報系列の系列長の所定範囲
毎に、異なる系列長を有する、

を含む送信方法。

【請求項 6】

前記既知情報は、ゼロの情報である、
請求項 5 に記載の送信方法。

【請求項 7】

前記決定ステップは、
前記第 1 のパリティ系列の系列長として、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、1 つ
の系列長を決定する、

請求項 5 又は 6 に記載の送信方法。

【請求項 8】

前記決定ステップは、前記情報系列の系列長が長いほど、
前記第 1 のパリティ系列の系列長として、短い系列長を決定する、

請求項 5 ~ 7 のいずれか一項に記載の送信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の符号化率に対応可能な低密度パリティ検査畳み込み符号 (LDPC-CC: Low Density Parity Check-Convolutional Codes) を用いる送信装置及び送信方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、実現可能な回路規模で高い誤り訂正能力を発揮する誤り訂正符号として、低密度パリティ検査 (LDPC: Low-Density Parity-Check) 符号に注目が集まっている。LDPC 符号は、誤り訂正能力が高く、かつ実装が容易なので、IEEE802.11n の高速無線 LAN システムやデジタル放送システムなどの誤り訂正符号化方式に採用されている。

【0003】

LDPC 符号は、低密度なパリティ検査行列 H で定義される誤り訂正符号である。また、LDPC 符号は、検査行列 H の列数 N と等しいブロック長を持つブロック符号である。

例えば、非特許文献 1、非特許文献 2、非特許文献 3、非特許文献 4 では、ランダム的な

10

20

30

40

50

L D P C 符号、A r r a y L D P C 符号、Q C - L D P C 符号 (Q C : Quasi-Cyclic) が提案されている。

【 0 0 0 4 】

しかし、現在の通信システムの多くは、イーサネット (登録商標) のように、送信情報を、可変長のパケットやフレーム毎にまとめて伝送するという特徴がある。このようなシステムにブロック符号である L D P C 符号を適用する場合、例えば、可変長なイーサネット (登録商標) のフレームに対して固定長の L D P C 符号のブロックをどのように対応させるかといった課題が生じる。IEEE802.11nでは、送信情報系列にパディング処理やパンクチャ処理を施すことで、送信情報系列の長さ、L D P C 符号のブロック長の調節を行っているが、パディングやパンクチャによって、符号化率が変化したり、冗長な系列を送信したりすることを避けることは困難である。

10

【 0 0 0 5 】

このようなブロック符号の L D P C 符号 (以降、これを L D P C - B C : Low-Density Parity-Check Block Codeと標記する) に対して、任意の長さの情報系列に対しての符号化・復号化が可能な L D P C - C C (Low-Density Parity-Check Convolutional Codes) の検討が行われている (例えば、非特許文献 1、非特許文献 2 参照)。

【 0 0 0 6 】

L D P C - C C は、低密度なパリティ検査行列により定義される畳み込み符号であり、例えば符号化率 $R = 1/2 (= b/c)$ の L D P C - C C のパリティ検査行列 $H^T [0, n]$ は、図 1 で示される。ここで、 $H^T [0, n]$ の要素 $h_1^{(m)}(t)$ は、0 または 1 をとる。また、 $h_1^{(m)}(t)$ 以外の要素は全て 0 である。M は L D P C - C C におけるメモリ長、n は L D P C - C C の符号語の長さをあらわす。図 1 に示されるように、L D P C - C C の検査行列は行列の対角項とその近辺の要素にのみ 1 が配置されており、行列の左下及び右上の要素はゼロであり、平行四辺形型の行列であるという特徴がある。

20

【 0 0 0 7 】

ここで、 $h_1^{(0)}(t) = 1$ 、 $h_2^{(0)}(t) = 1$ であるとき、検査行列 $H^T [0, n]^T$ で定義される L D P C - C C の符号化器は図 2 であらわされる。図 2 に示すように、L D P C - C C の符号化器は、ビット長 c のシフトレジスタ $M + 1$ 個と $\text{mod } 2$ 加算 (排他的論理和演算) 器で構成される。このため、L D P C - C C の符号化器には、生成行列の乗算を行う回路や後退 (前方) 代入法に基づく演算を行う L D P C - B C の符号化器に比べ、非常に簡易な回路で実現することができるという特徴がある。また、図 2 は畳み込み符号の符号化器であるため、情報系列を固定長のブロックに区切って符号化する必要はなく、任意の長さの情報系列を符号化することができる。

30

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 非特許文献 1 】 R. G. Gallager, "Low-density parity check codes," IRE Trans. Inform. Theory, IT-8, pp-21-28, 1962.

【 非特許文献 2 】 D. J. C. Mackay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.45, no.2, pp399-431, March 1999.

40

【 非特許文献 3 】 J. L. Fan, "Array codes as low-density parity-check codes," Proc. of 2nd Int. Symp. on Turbo Codes, pp.543-546, Sep. 2000.

【 非特許文献 4 】 M. P. C. Fossorier, "Quasi-cyclic low-density parity-check codes from circulant permutation matrices," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.50, no.8, pp.1788-1793, Nov. 2001.

【 非特許文献 5 】 M. P. C. Fossorier, M. Mihaljevic, and H. Imai, "Reduced complexity iterative decoding of low density parity check codes based on belief propagation," IEEE Trans. Commun., vol.47., no.5, pp.673-680, May 1999.

【 非特許文献 6 】 J. Chen, A. Dholakia, E. Eleftheriou, M. P. C. Fossorier, and X.

50

-Yu Hu, "Reduced-complexity decoding of LDPC codes," IEEE Trans. Commun., vol. 53., no.8, pp.1288-1299, Aug. 2005.

【非特許文献7】J. Zhang, and M. P. C. Fossorier, "Shuffled iterative decoding," IEEE Trans. Commun., vol.53, no.2, pp.209-213, Feb. 2005.

【非特許文献8】S. Lin, D. J. Jr., Costello, "Error control coding: Fundamentals and applications," Prentice-Hall.

【非特許文献9】和田山 正, "低密度パリティ検査符号とその復号方法," トリケップス.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0009】

しかしながら、複数の符号化率を、低演算規模で、かつ、データの受信品質が良いLDPC-CC及びその符号化器及び復号化器に関し、十分な検討がなされていない。

【0010】

例えば、非特許文献8では、複数の符号化率に対応するためにパンクチャを用いることが示されている。パンクチャを用いて複数符号化率に対応する場合、まず、もととなる符号、つまり、マザー符号を用意し、マザー符号における符号化系列を作成し、その符号化系列から、送信しない(パンクチャ)ビットを選択する。そして、送信しないビット数を変えることで、複数の符号化率に対応している。これにより、符号化器、復号化器ともにマザー符号用の符号化器、復号化器により、全ての符号化率に対応することができるため、演算規模(回路規模)が削減できるという利点を持つ。

20

【0011】

一方で、複数符号化率に対応する方法としては、符号化率毎に異なる符号を用意する(Distributed Codes)という方法があり、特に、LDPC符号の場合、非特許文献9に記載されているように様々な符号長、符号化率を容易に構成できる柔軟性を持つことから、複数の符号化率に対し複数の符号で対応する方法が一般的である。このとき、複数の符号を用いていることから、演算規模(回路規模)が大きいという欠点があるが、パンクチャで複数符号化率に対応した場合と比較し、データの受信品質が非常に良いという利点を持つ。

30

【0012】

以上の点を考慮した場合、これまでに、複数の符号化率に対応するために複数の符号を用意することで、データの受信品質を確保しながら、符号化器、復号化器の演算規模を削減できるLDPC符号の生成方法について議論した文献は少なく、これを実現するLDPC符号の作成方法を確立できると、これまで実現が困難であった、データの受信品質の向上と演算規模の低減の両立が可能となる。

【0013】

また、LDPC-CCは畳み込み符号の一種であるため、情報ビットの復号における信頼度を確保するために、ターミネーションやテイルバイティングが必要となる。しかしながら、データの受信品質を確保しつつ、ターミネーション数をできる限り少なくすることができるLDPC-CC及びその符号化器及び復号化器に関し、十分な検討がなされていない。

40

【0014】

本発明の目的は、LDPC-CCを用いた符号化器及び復号化器において、ターミネーションを行う場合においても、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる送信装置及び送信方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の送信装置は、複数のビットによって構成される情報系列と前記情報系列に付加する既知情報とに対して、低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によってパリティビットを生成する送信装置であって、前記パリティビットの

50

うち、前記既知情報を用いて生成される第1のパリティ系列の系列長を、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、決定する決定部と、前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長に基づいて、前記既知情報を前記情報系列に付加し、前記低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によって、前記パリティビットを生成する計算部と、前記情報系列と、前記符号化演算して生成されたパリティビットと、を送信する送信部と、を具備し、前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長は、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、異なる系列長を有する、構成を採る。

【0016】

本発明の送信方法は、複数のビットによって構成される情報系列と前記情報系列に付加する既知情報とに対して、低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によってパリティビットを生成する送信方法であって、前記パリティビットのうち、前記既知情報を用いて生成される第1のパリティ系列の系列長を、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、決定する決定ステップと、前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長に基づいて、前記既知情報を前記情報系列に付加し、前記低密度パリティ検査畳み込み符号(LDPC-CC)を用いた符号化演算によって、前記パリティビットを生成する計算ステップと、前記情報系列と、前記符号化演算して生成したパリティビットと、を送信するステップと、を含み、前記第1のパリティ系列の前記決定された系列長は、前記情報系列の系列長の所定範囲毎に、異なる系列長を有する、構成を採る。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、ターミネーションを行う場合においても、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】LDPC-CCの検査行列を示す図

【図2】LDPC-CC符号化器の構成を示す図

【図3】時変周期4のLDPC-CCの検査行列の構成の一例を示す図

【図4A】時変周期3のLDPC-CCのパリティ検査多項式及び検査行列Hの構成を示す図

【図4B】図4Aの「検査式#1」～「検査式#3」のX(D)に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示す図

【図4C】「検査式#1」～「検査式#6」のX(D)に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示す図

【図5】(7, 5)畳み込み符号の検査行列を示す図

【図6】符号化率2/3、時変周期2のLDPC-CCの検査行列Hの構成の一例を示す図

【図7】符号化率2/3、時変周期mのLDPC-CCの検査行列の構成の一例を示す図

【図8】符号化率(n-1)/n、時変周期mのLDPC-CCの検査行列の構成の一例を示す図

【図9】LDPC-CC符号化部の構成の一例を示す図

【図10】「Information-zero-termination」の方法を説明するための図

【図11】本発明の実施の形態3に係る符号化器の要部構成を示すブロック図

【図12】実施の形態3に係る第1情報演算部の要部構成を示すブロック図

【図13】実施の形態3に係るパリティ演算部の要部構成を示すブロック図

【図14】実施の形態3に係る符号化器の別の要部構成を示すブロック図

【図15】実施の形態3に係る復号化器の要部構成を示すブロック図

【図16】符号化率1/2の場合における対数尤度比設定部の動作を説明するための図

【図17】符号化率2/3の場合における対数尤度比設定部の動作を説明するための図

【図18】実施の形態3に係る符号化器を搭載する通信装置の構成の一例を示す図

【図19】送信フォーマットの一例を示す図

10

20

30

40

50

- 【図20】実施の形態3に係る復号化器を搭載する通信装置の構成の一例を示す図
- 【図21】情報サイズとターミネーション数との関係の一例を示す図
- 【図22】情報サイズとターミネーション数との関係の別の例を示す図
- 【図23】情報サイズとターミネーション数との関係の一例を示す図
- 【図24】本発明の実施の形態5に係る符号化器を搭載する通信装置の要部構成をに示すブロック図
- 【図25】ターミネーション系列長の決定方法を説明するための図
- 【図26】ターミネーション系列長の決定方法を説明するための図
- 【図27】送信フォーマットの一例を示す図
- 【図28】実施の形態5に係る復号化器を搭載する通信装置の要部構成をに示すブロック図 10
- 【図29】符号化器を搭載する通信装置と復号化器を搭載する通信装置と間の情報の流れの一例を示す図
- 【図30】符号化器を搭載する通信装置と復号化器を搭載する通信装置と間の情報の流れの一例を示す図
- 【図31】情報サイズとターミネーション数との関係の示す対応表の一例を示す図
- 【図32A】情報サイズが512ビットの情報系列にターミネーション系列を付加した場合のBER/BLER特性を示す図
- 【図32B】情報サイズが1024ビットの情報系列にターミネーション系列を付加した場合のBER/BLER特性を示す図 20
- 【図32C】情報サイズが2048ビットの情報系列にターミネーション系列を付加した場合のBER/BLER特性を示す図
- 【図32D】情報サイズが4096ビットの情報系列にターミネーション系列を付加した場合のBER/BLER特性を示す図
- 【図33】情報サイズとサポート符号化率との対応表を示す図
- 【図34】本発明の実施の形態6に係る符号化器を搭載する通信装置の要部構成をに示すブロック図
- 【図35】符号化器を搭載する通信装置と復号化器を搭載する通信装置と間の情報の流れの一例を示す図
- 【図36】実施の形態6に係る復号化器を搭載する通信装置の要部構成をに示すブロック図 30
- 【図37】本発明の実施の形態7に係る符号化器の要部構成をに示すブロック図
- 【図38】実施の形態7に係る復号化器の要部構成をに示すブロック図
- 【図39】本発明の実施の形態8に係る符号化器の要部構成をに示すブロック図
- 【発明を実施するための形態】
- 【0019】
- 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。
- 【0020】
- (実施の形態1)
- まず、本実施の形態では、良好な特性を有するLDPC-CCについて説明する。 40
- 【0021】
- (良好な特性を有するLDPC-CC)
- 以下に、特性が良好な時変周期 g のLDPC-CCについて説明する。
- 【0022】
- まず、特性が良好な時変周期4のLDPC-CCについて説明する。なお、以下では、符号化率 $1/2$ の場合を例に説明する。
- 【0023】
- 時変周期を4とするLDPC-CCのパリティ検査多項式として、式(1-1)~(1-4)を考える。このとき、 $X(D)$ はデータ(情報)の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式(1-1)~(1-4)では、 $X(D)$ 、 $P(D)$ 50

D) それぞれに4つの項が存在するようなパリティ検査多項式としたが、これは、良好な受信品質を得る上で、4つの項とすると好適であるからである。

【数1】

$$(D^{a1} + D^{a2} + D^{a3} + D^{a4})X(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3} + D^{b4})P(D) = 0 \quad \dots (1-1)$$

$$(D^{A1} + D^{A2} + D^{A3} + D^{A4})X(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3} + D^{B4})P(D) = 0 \quad \dots (1-2)$$

$$(D^{\alpha1} + D^{\alpha2} + D^{\alpha3} + D^{\alpha4})X(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3} + D^{\beta4})P(D) = 0 \quad \dots (1-3)$$

$$(D^{E1} + D^{E2} + D^{E3} + D^{E4})X(D) + (D^{F1} + D^{F2} + D^{F3} + D^{F4})P(D) = 0 \quad \dots (1-4)$$

【0024】

式(1-1)において、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 は整数(ただし、 a_1 a_2 a_3 a_4 であり、 a_1 から a_4 の全てが異なる)とする。なお、以降、「X Y ... Z」と表記する場合、X、Y、...、Zは互いに、全て異なることをあらかずものとする。また、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 は整数(ただし、 b_1 b_2 b_3 b_4)とする。式(1-1)のパリティ検査多項式を「検査式#1」と呼び、式(1-1)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第1サブ行列 H_1 とする。

10

【0025】

また、式(1-2)において、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 は整数(ただし、 A_1 A_2 A_3 A_4)とする。また、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 は整数(ただし、 B_1 B_2 B_3 B_4)とする。式(1-2)のパリティ検査多項式を「検査式#2」と呼び、式(1-2)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第2サブ行列 H_2 とする。

20

【0026】

また、式(1-3)において、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 は整数(ただし、 α_1 α_2 α_3 α_4)とする。また、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 は整数(ただし、 β_1 β_2 β_3 β_4)とする。式(1-3)のパリティ検査多項式を「検査式#3」と呼び、式(1-3)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第3サブ行列 H_3 とする。

【0027】

また、式(1-4)において、 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 は整数(ただし、 E_1 E_2 E_3 E_4)とする。また、 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 は整数(ただし、 F_1 F_2 F_3 F_4)とする。式(1-4)のパリティ検査多項式を「検査式#4」と呼び、式(1-4)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第4サブ行列 H_4 とする。

30

【0028】

そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 、第4サブ行列 H_4 から、図3のように検査行列を生成した時変周期4のLDPC-CCについて考える。

【0029】

このとき、式(1-1)~(1-4)において、 $X(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせ(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)、(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)、(A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4)、(B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4)、(α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4)、(β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4)、(E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4)、(F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4)の各値を4で除算した余りを k とした場合、上記のようにあらかずした4つの係数セット(例えば、(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4))に、余り0、1、2、3が1つずつ含まれるようにし、かつ、上記の4つの係数セット全てで成立するようにする。

40

【0030】

例えば、「検査式#1」の $X(D)$ の各次数(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)を(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4) = (8, 7, 6, 5)とすると、各次数(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)を4で除算した余り k は、(0, 3, 2, 1)となり、4つの係数セットに、余り(k)0、1、2、3が1つずつ含まれるようになる。同様に、「検査式#1」の $P(D)$ の各次数(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)を(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4) = (4, 3, 2, 1)とすると、各次数(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)を4で除算した余り k は、(0, 3, 2, 1)となり、4つの係数セットに、余り(k)として、0、1、2、3が1つずつ含まれるよ

50

うになる。他の検査式（「検査式#2」、「検査式#3」、「検査式#4」）のX(D)及びP(D)それぞれの4つの係数セットについても上記の「余り」に関する条件が成立するものとする。

【0031】

このようにすることで、式(1-1)~(1-4)から構成される検査行列Hの列重みが全ての列において4となる、レギュラーLDPC符号を形成することができるようになる。ここで、レギュラーLDPC符号とは、各列重みが一定とされた検査行列により定義されるLDPC符号であり、特性が安定し、エラーフロアが出にくいという特徴がある。特に、列重みが4の場合、特性が良好であることから、上記のようにしてLDPC-CCを生成することにより、受信性能が良いLDPC-CCを得ることができるようになる。

10

【0032】

なお、表1は、上記「余り」に関する条件が成り立つ、時変周期4、符号化率1/2のLDPC-CCの例(LDPC-CC#1~#3)である。表1において、時変周期4のLDPC-CCは、「検査多項式#1」、「検査多項式#2」、「検査多項式#3」、「検査多項式#4」の4つのパリティ検査多項式により定義される。

【表1】

符号	パリティ検査多項式
時変周期4、 符号化率1/2の LDPC-CC#1	「検査多項式#1」： $(D^{458}+D^{435}+D^{341}+1)X(D)+(D^{598}+D^{373}+D^{67}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{287}+D^{213}+D^{130}+1)X(D)+(D^{545}+D^{542}+D^{103}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{557}+D^{495}+D^{326}+1)X(D)+(D^{561}+D^{502}+D^{351}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{426}+D^{329}+D^{99}+1)X(D)+(D^{321}+D^{55}+D^{42}+1)P(D)=0$
時変周期4、 符号化率1/2の LDPC-CC#2	「検査多項式#1」： $(D^{503}+D^{454}+D^{49}+1)X(D)+(D^{469}+D^{467}+D^{402}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{518}+D^{473}+D^{203}+1)X(D)+(D^{598}+D^{499}+D^{145}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{403}+D^{397}+D^{62}+1)X(D)+(D^{294}+D^{267}+D^{69}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{483}+D^{385}+D^{94}+1)X(D)+(D^{426}+D^{415}+D^{413}+1)P(D)=0$
時変周期4、 符号化率1/2の LDPC-CC#3	「検査多項式#1」： $(D^{454}+D^{447}+D^{17}+1)X(D)+(D^{494}+D^{237}+D^7+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{583}+D^{545}+D^{506}+1)X(D)+(D^{325}+D^7+D^{56}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{430}+D^{425}+D^{407}+1)X(D)+(D^{582}+D^{47}+D^{45}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{434}+D^{353}+D^{127}+1)X(D)+(D^{345}+D^{207}+D^{38}+1)P(D)=0$

20

30

【0033】

上記では、符号化率1/2の時を例に説明したが、符号化率が(n-1)/nのときについても、情報X1(D)、X2(D)、・・・Xn-1(D)におけるそれぞれの4つの係数セットにおいて、上記の「余り」に関する条件が成立すれば、やはり、レギュラーLDPC符号となり、良好な受信品質を得ることができる。

【0034】

なお、時変周期2の場合においても、上記「余り」に関する条件を適用すると、特性が良好な符号を探索できることが確認された。以下、特性が良好な時変周期2のLDPC-CCについて説明する。なお、以下では、符号化率1/2の場合を例に説明する。

40

【0035】

時変周期を2とするLDPC-CCのパリティ検査多項式として、式(2-1)、(2-2)を考える。このとき、X(D)はデータ(情報)の多項式表現であり、P(D)はパリティの多項式表現である。ここで、式(2-1)、(2-2)では、X(D)、P(D)それぞれに4つの項が存在するようなパリティ検査多項式としたが、これは、良好な受信品質を得る上で、4つの項とすると好適であるからである。

【数2】

$$(D^{a1} + D^{a2} + D^{a3} + D^{a4})X(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3} + D^{b4})P(D) = 0 \quad \dots (2-1)$$

$$(D^{A1} + D^{A2} + D^{A3} + D^{A4})X(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3} + D^{B4})P(D) = 0 \quad \dots (2-2)$$

【0036】

式(2-1)において、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 は整数(ただし、 a_1 a_2 a_3 a_4)とする。また、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 は整数(ただし、 b_1 b_2 b_3 b_4)とする。式(2-1)のパリティ検査多項式を「検査式#1」と呼び、式(2-1)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第1サブ行列 H_1 とする。

【0037】

また、式(2-2)において、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 は整数(ただし、 A_1 A_2 A_3 A_4)とする。また、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 は整数(ただし、 B_1 B_2 B_3 B_4)とする。式(2-2)のパリティ検査多項式を「検査式#2」と呼び、式(2-2)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第2サブ行列 H_2 とする。

【0038】

そして、第1サブ行列 H_1 及び第2サブ行列 H_2 から生成する時変周期2のLDPC-CCについて考える。

【0039】

このとき、式(2-1)、(2-2)において、 $X(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせ(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)、(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)、(A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4)、(B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4)の各値を4で除算した余りを k とした場合、上記のようにあらわした4つの係数セット(例えば、(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4))に、余り0、1、2、3が1つずつ含まれるようにし、かつ、上記の4つの係数セット全てで成立するようにする。

【0040】

例えば、「検査式#1」の $X(D)$ の各次数(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)を(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4) = (8, 7, 6, 5)とすると、各次数(a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4)を4で除算した余り k は、(0, 3, 2, 1)となり、4つの係数セットに、余り(k)0、1、2、3が1つずつ含まれるようになる。同様に、「検査式#1」の $P(D)$ の各次数(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)を(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4) = (4, 3, 2, 1)とすると、各次数(b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4)を4で除算した余り k は、(0, 3, 2, 1)となり、4つの係数セットに、余り(k)として、0、1、2、3が1つずつ含まれるようになる。「検査式#2」の $X(D)$ 及び $P(D)$ それぞれの4つの係数セットについても上記の「余り」に関する条件が成立するものとする。

【0041】

このようにすることで、式(2-1)、(2-2)から構成される検査行列 H の列重みが全ての列において4となる、レギュラーLDPC符号を形成することができるようになる。ここで、レギュラーLDPC符号とは、各列重みが一定とされた検査行列により定義されるLDPC符号であり、特性が安定し、エラーフロアが出にくいという特徴がある。特に、行重みが8の場合、特性が良好であることから、上記のようにしてLDPC-CCを生成することにより、受信性能を更に向上することができるLDPC-CCを得ることができるようになる。

【0042】

なお、表2に、上記「余り」に関する条件が成り立つ、時変周期2、符号化率1/2のLDPC-CCの例(LDPC-CC#1、#2)を示す。表2において、時変周期2のLDPC-CCは、「検査多項式#1」、「検査多項式#2」の2つのパリティ検査多項式により定義される。

10

20

30

40

【表 2】

符号	パリティ検査多項式
時変周期 2、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#1	「検査多項式#1」： $(D^{551}+D^{465}+D^{98}+1)X(D)+(D^{407}+D^{386}+D^{373}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{443}+D^{433}+D^{54}+1)X(D)+(D^{559}+D^{557}+D^{546}+1)P(D)=0$
時変周期 2、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#2	「検査多項式#1」： $(D^{265}+D^{190}+D^{99}+1)X(D)+(D^{295}+D^{246}+D^{69}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{275}+D^{226}+D^{213}+1)X(D)+(D^{298}+D^{147}+D^{45}+1)P(D)=0$

10

【0043】

上記では（時変周期 2 の LDPC - CC）、符号化率 1 / 2 の時を例に説明したが、符号化率が $(n - 1) / n$ のときについても、情報 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ におけるそれぞれの 4 つの係数セットにおいて、上記の「余り」に関する条件が成立すれば、やはり、レギュラー LDPC 符号となり、良好な受信品質を得ることができる。

20

【0044】

また、時変周期 3 の場合においても、「余り」に関する以下の条件を適用すると、特性が良好な符号を探索できることが確認された。以下、特性が良好な時変周期 3 の LDPC - CC について説明する。なお、以下では、符号化率 1 / 2 の場合を例に説明する。

【0045】

時変周期を 3 とする LDPC - CC のパリティ検査多項式として、式 (3 - 1) ~ (3 - 3) を考える。このとき、 $X(D)$ はデータ (情報) の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式 (3 - 1) ~ (3 - 3) では、 $X(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに 3 つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。

30

【数 3】

$$\begin{aligned} (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3})P(D) &= 0 && \dots (3-1) \\ (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3})P(D) &= 0 && \dots (3-2) \\ (D^{\alpha1}+D^{\alpha2}+D^{\alpha3})X(D)+(D^{\beta1}+D^{\beta2}+D^{\beta3})P(D) &= 0 && \dots (3-3) \end{aligned}$$

【0046】

式 (3 - 1) において、 a_1 、 a_2 、 a_3 は整数 (ただし、 $a_1 \ a_2 \ a_3$) とする。また、 b_1 、 b_2 、 b_3 は整数 (ただし、 $b_1 \ b_2 \ b_3$) とする。式 (3 - 1) のパリティ検査多項式を「検査式 # 1」と呼び、式 (3 - 1) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 1 サブ行列 H_1 とする。

40

【0047】

また、式 (3 - 2) において、 A_1 、 A_2 、 A_3 は整数 (ただし、 $A_1 \ A_2 \ A_3$) とする。また、 B_1 、 B_2 、 B_3 は整数 (ただし、 $B_1 \ B_2 \ B_3$) とする。式 (3 - 2) のパリティ検査多項式を「検査式 # 2」と呼び、式 (3 - 2) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 2 サブ行列 H_2 とする。

【0048】

また、式 (3 - 3) において、 α_1 、 α_2 、 α_3 は整数 (ただし、 $\alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3$) とする。また、 β_1 、 β_2 、 β_3 は整数 (ただし、 $\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3$) とする。式 (3 - 3) のパリティ検査多項式を「検査式 # 3」と呼び、式 (3 - 3) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 3 サブ行列 H_3 とする。

50

【0049】

そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 から生成する時変周期3のLDPC-CCについて考える。

【0050】

このとき、式(3-1)~(3-3)において、 $X(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせ (a_1, a_2, a_3) 、 (b_1, b_2, b_3) 、 (A_1, A_2, A_3) 、 (B_1, B_2, B_3) 、 (c_1, c_2, c_3) 、 (d_1, d_2, d_3) の各値を3で除算した余りを k とした場合、上記のようにあらわした3つの係数セット(例えば、 (a_1, a_2, a_3))に、余り0、1、2が1つずつ含まれるようにし、かつ、上記の3つの係数セット全てで成立するようにする。

10

【0051】

例えば、「検査式#1」の $X(D)$ の各次数 (a_1, a_2, a_3) を $(a_1, a_2, a_3) = (6, 5, 4)$ とすると、各次数 (a_1, a_2, a_3) を3で除算した余り k は、 $(0, 2, 1)$ となり、3つの係数セットに、余り (k) 0、1、2が1つずつ含まれるようになる。同様に、「検査式#1」の $P(D)$ の各次数 (b_1, b_2, b_3) を $(b_1, b_2, b_3) = (3, 2, 1)$ とすると、各次数 (b_1, b_2, b_3) を4で除算した余り k は、 $(0, 2, 1)$ となり、3つの係数セットに、余り (k) として、0、1、2が1つずつ含まれるようになる。「検査式#2」、「検査式#3」の $X(D)$ 及び $P(D)$ それぞれの3つの係数セットについても上記の「余り」に関する条件が成立するものとする。

20

【0052】

このようにしてLDPC-CCを生成することにより、一部の例外を除き、行重みが全ての行で等く、かつ、列重みが全ての行で等しいレギュラーLDPC-CC符号を生成することができる。なお、例外とは、検査行列の最初の一部及び最後の一部では、行重み、列重みが、他の行重み、列重みと等しくならないことをいう。更に、BP復号を行った場合、「検査式#2」における信頼度及び「検査式#3」における信頼度が、的確に「検査式#1」に対して伝播し、「検査式#1」における信頼度及び「検査式#3」における信頼度が、的確に「検査式#2」に対して伝播し、「検査式#1」における信頼度及び「検査式#2」における信頼度が、「検査式#3」に対して的確に伝播する。このため、より受信品質が良好なLDPC-CCを得ることができる。これは、列単位で考えた場合、「1」が存在する位置が、上述のように、信頼度を的確に伝播するように配置されることになるためである。

30

【0053】

以下、図を用いて、上述の信頼度伝播について説明する。図4Aは、時変周期3のLDPC-CCのパリティ検査多項式及び検査行列 H の構成を示している。

【0054】

「検査式#1」は、式(3-1)のパリティ検査多項式において、 $(a_1, a_2, a_3) = (2, 1, 0)$ 、 $(b_1, b_2, b_3) = (2, 1, 0)$ の場合であり、各係数を3で除算した余りは、 $(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 、 $(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ である。なお、「 $Z \% 3$ 」は、 Z を3で除算した余りをあらわす(以下同様)。

40

【0055】

「検査式#2」は、式(3-2)のパリティ検査多項式において、 $(A_1, A_2, A_3) = (5, 1, 0)$ 、 $(B_1, B_2, B_3) = (5, 1, 0)$ の場合であり、各係数を3で除算した余りは、 $(A_1 \% 3, A_2 \% 3, A_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 、 $(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ である。

【0056】

「検査式#3」は、式(3-3)のパリティ検査多項式において、 $(c_1, c_2, c_3) = (4, 2, 0)$ 、 $(d_1, d_2, d_3) = (4, 2, 0)$ の場合であり、各係数を3で除算した余りは、 $(c_1 \% 3, c_2 \% 3, c_3 \% 3) = (1, 2, 0)$ 、 $(d_1 \% 3, d_2 \% 3, d_3 \% 3) = (1, 2, 0)$ である。

50

$(2 \% 3, 3 \% 3) = (1, 2, 0)$ である。

【0057】

したがって、図4Aに示した時変周期3のLDPC-CCの例は、上述した「余り」に関する条件、つまり、

$(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3)$ 、

$(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3)$ 、

$(A_1 \% 3, A_2 \% 3, A_3 \% 3)$ 、

$(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3)$ 、

$(c_1 \% 3, c_2 \% 3, c_3 \% 3)$ 、

$(d_1 \% 3, d_2 \% 3, d_3 \% 3)$ が、

$(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、

$(2, 1, 0)$ のいずれかとなるという条件を満たしている。

【0058】

再度、図4Aに戻って、信頼度伝播について説明する。BP復号における列6506の列演算によって、「検査式#1」の領域6501の「1」は、「検査行列#2」の領域6504の「1」及び「検査行列#3」の領域6505の「1」から、信頼度が伝播される。上述したように、「検査式#1」の領域6501の「1」は、3で除算した余りが0となる係数である($a_3 \% 3 = 0$ ($a_3 = 0$))、又は、 $b_3 \% 3 = 0$ ($b_3 = 0$)。また、「検査行列#2」の領域6504の「1」は、3で除算した余りが1となる係数である($A_2 \% 3 = 1$ ($A_2 = 1$))、又は、 $B_2 \% 3 = 1$ ($B_2 = 1$)。また、「検査式#3」の領域6505の「1」は、3で除算した余りが2となる係数である($c_2 \% 3 = 2$ ($c_2 = 2$))、又は、 $d_2 \% 3 = 2$ ($d_2 = 2$)。

【0059】

このように、「検査式#1」の係数において余りが0となる領域6501の「1」は、BP復号における列6506の列演算において、「検査式#2」の係数において余りが1となる領域6504の「1」、及び、「検査式#3」の係数において余りが2となる領域6505の「1」から、信頼度が伝播される。

【0060】

同様に、「検査式#1」の係数において余りが1となる領域6502の「1」は、BP復号における列6509の列演算において、「検査式#2」の係数において余りが2となる領域6507の「1」、及び、「検査式#3」の係数において余りが0となる領域6508の「1」から、信頼度が伝播される。

【0061】

同様に、「検査式#1」の係数において余りが2となる領域6503の「1」は、BP復号における列6512の列演算において、「検査式#2」の係数において余りが0となる領域6510の「1」、及び、「検査式#3」の係数において余りが1となる領域6511の「1」から、信頼度が伝播される。

【0062】

図4Bを用いて、信頼度伝播について補足説明をする。図4Bは、図4Aの「検査式#1」～「検査式#3」の $X(D)$ に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示している。図4Aの「検査式#1」～「検査式#3」は、式(3-1)～(3-3)の $X(D)$ に関する項において、 $(a_1, a_2, a_3) = (2, 1, 0)$ 、 $(A_1, A_2, A_3) = (5, 1, 0)$ 、 $(c_1, c_2, c_3) = (4, 2, 0)$ の場合である。

【0063】

図4Bにおいて、四角で囲まれた項(a_3, A_3, c_3)は、3で除算した余りが0の係数を示す。また、丸で囲まれた項(a_2, A_2, c_1)は、3で除算した余りが1の係数を示す。また、菱形で囲まれた項(a_1, A_1, c_2)は、3で除算した余りが2の係数を示す。

【0064】

図4Bから分かるように、「検査式#1」の a_1 は、3で除算した余りが異なる「検査

10

20

30

40

50

式 # 2」の A 3 及び「検査式 # 3」の 1 から信頼度が伝播される。「検査式 # 1」の a 2 は、3 で除算した余りが異なる「検査式 # 2」の A 1 及び「検査式 # 3」の 3 から信頼度が伝播される。「検査式 # 1」の a 3 は、3 で除算した余りが異なる「検査式 # 2」の A 2 及び「検査式 # 3」の 2 から信頼度が伝播される。図 4 B には、「検査式 # 1」～「検査式 # 3」の X (D) に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示したが、P (D) に関する各項同士についても同様のことがいえる。

【 0 0 6 5 】

このように、「検査式 # 1」には、「検査式 # 2」の係数のうち、3 で除算した余りが 0、1、2 となる係数から、信頼度が伝播される。つまり、「検査式 # 1」には、「検査式 # 2」の係数のうち、3 で除算した余りが全て異なる係数から、信頼度が伝播されること

10

【 0 0 6 6 】

同様に、「検査式 # 2」には、「検査式 # 1」の係数のうち、3 で除算した余りが 0、1、2 となる係数から、信頼度が伝播される。つまり、「検査式 # 2」には、「検査式 # 1」の係数のうち、3 で除算した余りが全て異なる係数から、信頼度が伝播されることになる。また、「検査式 # 2」には、「検査式 # 3」の係数のうち、3 で除算した余りが 0、1、2 となる係数から、信頼度が伝播される。つまり、「検査式 # 2」には、「検査式 # 3」の係数のうち、3 で除算した余りが全て異なる係数から、信頼度が伝播されること

20

【 0 0 6 7 】

同様に、「検査式 # 3」には、「検査式 # 1」の係数のうち、3 で除算した余りが 0、1、2 となる係数から、信頼度が伝播される。つまり、「検査式 # 3」には、「検査式 # 1」の係数のうち、3 で除算した余りが全て異なる係数から、信頼度が伝播されることになる。また、「検査式 # 3」には、「検査式 # 2」の係数のうち、3 で除算した余りが 0、1、2 となる係数から、信頼度が伝播される。つまり、「検査式 # 3」には、「検査式 # 2」の係数のうち、3 で除算した余りが全て異なる係数から、信頼度が伝播されること

【 0 0 6 8 】

このように、式 (3 - 1) ~ (3 - 3) のパリティ検査多項式の各次数が、上述した「余り」に関する条件を満たすようにすることにより、全ての列演算において、信頼度が必ず伝播されるようになるので、全ての検査式において、効率よく信頼度を伝播させることができるようになり、更に誤り訂正能力を高くすることができる。

30

【 0 0 6 9 】

以上、時変周期 3 の LDPC - CC について、符号化率 1 / 2 の場合を例に説明したが、符号化率は 1 / 2 に限られない。符号化率 (n - 1) / n (n は 2 以上の整数) の場合には、情報 X 1 (D)、X 2 (D)、・・・ X n - 1 (D) における、それぞれの 3 つの係数セットにおいて、上記の「余り」に関する条件が成立すれば、やはり、レギュラー LDPC 符号となり、良好な受信品質を得ることができる。

【 0 0 7 0 】

以下、符号化率 (n - 1) / n (n は 2 以上の整数) の場合について説明する。

40

【 0 0 7 1 】

時変周期を 3 とする LDPC - CC のパリティ検査多項式として、式 (4 - 1) ~ (4 - 3) を考える。このとき、X 1 (D)、X 2 (D)、・・・ X n - 1 (D) はデータ (情報) X 1、X 2、・・・ X n - 1 の多項式表現であり、P (D) はパリティの多項式表現である。ここで、式 (4 - 1) ~ (4 - 3) では、X 1 (D)、X 2 (D)、・・・ X n - 1 (D)、P (D) それぞれに 3 つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。

【数 4】

$$\begin{aligned} & (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + D^{a_{1,3}})X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a_{n-1,1}} + D^{a_{n-1,2}} + D^{a_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{b_1} + D^{b_2} + D^{b_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (4-1)$$

$$\begin{aligned} & (D^{A_{1,1}} + D^{A_{1,2}} + D^{A_{1,3}})X_1(D) + (D^{A_{2,1}} + D^{A_{2,2}} + D^{A_{2,3}})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{A_{n-1,1}} + D^{A_{n-1,2}} + D^{A_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{B_1} + D^{B_2} + D^{B_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (4-2)$$

$$\begin{aligned} & (D^{\alpha_{1,1}} + D^{\alpha_{1,2}} + D^{\alpha_{1,3}})X_1(D) + (D^{\alpha_{2,1}} + D^{\alpha_{2,2}} + D^{\alpha_{2,3}})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{\alpha_{n-1,1}} + D^{\alpha_{n-1,2}} + D^{\alpha_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{\beta_1} + D^{\beta_2} + D^{\beta_3})P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (4-3)$$

10

【0072】

式(4-1)において、 $a_{i,1}$ 、 $a_{i,2}$ 、 $a_{i,3}$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$)は整数(ただし、 $a_{i,1} \ a_{i,2} \ a_{i,3}$)とする。また、 b_1 、 b_2 、 b_3 は整数(ただし、 $b_1 \ b_2 \ b_3$)とする。式(4-1)のパリティ検査多項式を「検査式#1」と呼び、式(4-1)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第1サブ行列 H_1 とする。

【0073】

また、式(4-2)において、 $A_{i,1}$ 、 $A_{i,2}$ 、 $A_{i,3}$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$)は整数(ただし、 $A_{i,1} \ A_{i,2} \ A_{i,3}$)とする。また、 B_1 、 B_2 、 B_3 は整数(ただし、 $B_1 \ B_2 \ B_3$)とする。式(4-2)のパリティ検査多項式を「検査式#2」と呼び、式(4-2)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第2サブ行列 H_2 とする。

20

【0074】

また、式(4-3)において、 $\alpha_{i,1}$ 、 $\alpha_{i,2}$ 、 $\alpha_{i,3}$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$)は整数(ただし、 $\alpha_{i,1} \ \alpha_{i,2} \ \alpha_{i,3}$)とする。また、 β_1 、 β_2 、 β_3 は整数(ただし、 $\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3$)とする。式(4-3)のパリティ検査多項式を「検査式#3」と呼び、式(4-3)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第3サブ行列 H_3 とする。

30

【0075】

そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 から生成する時変周期3のLDPC-CCについて考える。

【0076】

このとき、式(4-1)~(4-3)において、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせ

- ($a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$)、
- ($a_{2,1}$ 、 $a_{2,2}$ 、 $a_{2,3}$)、 \dots 、
- ($a_{n-1,1}$ 、 $a_{n-1,2}$ 、 $a_{n-1,3}$)、
- (b_1 、 b_2 、 b_3)、
- ($A_{1,1}$ 、 $A_{1,2}$ 、 $A_{1,3}$)、
- ($A_{2,1}$ 、 $A_{2,2}$ 、 $A_{2,3}$)、 \dots 、
- ($A_{n-1,1}$ 、 $A_{n-1,2}$ 、 $A_{n-1,3}$)、
- (B_1 、 B_2 、 B_3)、
- ($\alpha_{1,1}$ 、 $\alpha_{1,2}$ 、 $\alpha_{1,3}$)、
- ($\alpha_{2,1}$ 、 $\alpha_{2,2}$ 、 $\alpha_{2,3}$)、 \dots 、
- ($\alpha_{n-1,1}$ 、 $\alpha_{n-1,2}$ 、 $\alpha_{n-1,3}$)、
- (β_1 、 β_2 、 β_3)

40

の各値を3で除算した余りを k とした場合、上記のようにあらわした3つの係数セット(例えば、($a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$))に、余り0、1、2が1つずつ含まれるよ

50

うにし、かつ、上記の3つの係数セット全てで成立するようにする。

【0077】

つまり、

$(a_{1,1} \% 3, a_{1,2} \% 3, a_{1,3} \% 3)$ 、
 $(a_{2,1} \% 3, a_{2,2} \% 3, a_{2,3} \% 3)$ 、・・・、
 $(a_{n-1,1} \% 3, a_{n-1,2} \% 3, a_{n-1,3} \% 3)$ 、
 $(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3)$ 、
 $(A_{1,1} \% 3, A_{1,2} \% 3, A_{1,3} \% 3)$ 、
 $(A_{2,1} \% 3, A_{2,2} \% 3, A_{2,3} \% 3)$ 、・・・、
 $(A_{n-1,1} \% 3, A_{n-1,2} \% 3, A_{n-1,3} \% 3)$ 、
 $(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3)$ 、
 $(c_{1,1} \% 3, c_{1,2} \% 3, c_{1,3} \% 3)$ 、
 $(c_{2,1} \% 3, c_{2,2} \% 3, c_{2,3} \% 3)$ 、・・・、
 $(c_{n-1,1} \% 3, c_{n-1,2} \% 3, c_{n-1,3} \% 3)$ 、
 $(d_1 \% 3, d_2 \% 3, d_3 \% 3)$ が、
 $(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、
 $(2, 1, 0)$ のいずれかとなるようにする。

10

【0078】

このようにしてLDPC-CCを生成することにより、レギュラーLDPC-CC符号を生成することができる。更に、BP復号を行った場合、「検査式#2」における信頼度及び「検査式#3」における信頼度が、的確に「検査式#1」に対して伝播し、「検査式#1」における信頼度及び「検査式#3」における信頼度が、的確に「検査式#2」に対して伝播し、「検査式#1」における信頼度及び「検査式#2」における信頼度が、「検査式#3」に対して的確に伝播する。このため、符号化率1/2の場合と同様に、より受信品質が良好なLDPC-CCを得ることができる。

20

【0079】

なお、表3に、上記「余り」に関する条件が成り立つ、時変周期3、符号化率1/2のLDPC-CCの例(LDPC-CC#1、#2、#3、#4、#5)を示す。表3において、時変周期3のLDPC-CCは、「検査(多項)式#1」、「検査(多項)式#2」、「検査(多項)式#3」の3つのパリティ検査多項式により定義される。

30

【表 3】

符号	パリティ検査多項式
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#1	「検査多項式#1」： $(D^{428}+D^{325}+1)X(D)+(D^{538}+D^{332}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{538}+D^{380}+1)X(D)+(D^{449}+D^1+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{583}+D^{170}+1)X(D)+(D^{364}+D^{242}+1)P(D)=0$
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#2	「検査多項式#1」： $(D^{562}+D^{71}+1)X(D)+(D^{325}+D^{155}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{215}+D^{106}+1)X(D)+(D^{566}+D^{142}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{590}+D^{559}+1)X(D)+(D^{127}+D^{110}+1)P(D)=0$
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#3	「検査多項式#1」： $(D^{112}+D^{53}+1)X(D)+(D^{110}+D^{88}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{103}+D^{47}+1)X(D)+(D^{85}+D^{83}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{148}+D^{89}+1)X(D)+(D^{146}+D^{49}+1)P(D)=0$
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#4	「検査多項式#1」： $(D^{350}+D^{322}+1)X(D)+(D^{448}+D^{338}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{529}+D^{32}+1)X(D)+(D^{238}+D^{188}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{592}+D^{572}+1)X(D)+(D^{578}+D^{568}+1)P(D)=0$
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#5	「検査多項式#1」： $(D^{410}+D^{82}+1)X(D)+(D^{835}+D^{47}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{875}+D^{796}+1)X(D)+(D^{962}+D^{871}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{605}+D^{547}+1)X(D)+(D^{950}+D^{439}+1)P(D)=0$
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#6	「検査多項式#1」： $(D^{373}+D^{56}+1)X(D)+(D^{406}+D^{218}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{457}+D^{197}+1)X(D)+(D^{491}+D^{22}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{485}+D^{70}+1)X(D)+(D^{236}+D^{181}+1)P(D)=0$

10

20

30

【0080】

また、時変周期 3 と同様に、時変周期が 3 の倍数（例えば、時変周期が 6、9、12、
 ・ ・ ・）の LDPC-CC に対し、「余り」に関する以下の条件を適用すると、特性が良
 好な符号を探索できることが確認された。以下、特性が良好な時変周期 3 の倍数の LDPC-
 CC について説明する。なお、以下では、符号化率 1/2、時変周期 6 の LDPC-
 CC の場合を例に説明する。

【0081】

時変周期を 6 とする LDPC-CC のパリティ検査多項式として、式(5-1)～式(5-
 5-6)を考える。

40

【数 5】

$$\begin{aligned} (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + D^{a_{1,3}})X(D) + (D^{b_{1,1}} + D^{b_{1,2}} + D^{b_{1,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-1) \\ (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X(D) + (D^{b_{2,1}} + D^{b_{2,2}} + D^{b_{2,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-2) \\ (D^{a_{3,1}} + D^{a_{3,2}} + D^{a_{3,3}})X(D) + (D^{b_{3,1}} + D^{b_{3,2}} + D^{b_{3,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-3) \\ (D^{a_{4,1}} + D^{a_{4,2}} + D^{a_{4,3}})X(D) + (D^{b_{4,1}} + D^{b_{4,2}} + D^{b_{4,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-4) \\ (D^{a_{5,1}} + D^{a_{5,2}} + D^{a_{5,3}})X(D) + (D^{b_{5,1}} + D^{b_{5,2}} + D^{b_{5,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-5) \\ (D^{a_{6,1}} + D^{a_{6,2}} + D^{a_{6,3}})X(D) + (D^{b_{6,1}} + D^{b_{6,2}} + D^{b_{6,3}})P(D) &= 0 && \dots (5-6) \end{aligned}$$

10

【0082】

このとき、 $X(D)$ はデータ（情報）の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。時変周期 6 の LDPC-CC では、時刻 i のパリティ P_i 及び情報 X_i は、 $i \% 6 = k$ とすると ($k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$)、式 (5 - ($k + 1$)) のパリティ検査多項式が成立することになる。例えば、 $i = 1$ とすると、 $i \% 6 = 1$ ($k = 1$) となるので、式 (6) が成立する。

【数 6】

$$(D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X_1 + (D^{b_{2,1}} + D^{b_{2,2}} + D^{b_{2,3}})P_1 = 0 \quad \dots (6)$$

【0083】

20

ここで、式 (5 - 1) ~ (5 - 6) では、 $X(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに 3 つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。

【0084】

式 (5 - 1) において、 $a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$ は整数（ただし、 $a_{1,1} \geq a_{1,2} \geq a_{1,3}$ ）とする。また、 $b_{1,1}$ 、 $b_{1,2}$ 、 $b_{1,3}$ は整数（ただし、 $b_{1,1} \geq b_{1,2} \geq b_{1,3}$ ）とする。式 (5 - 1) のパリティ検査多項式を「検査式 # 1」と呼び、式 (5 - 1) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 1 サブ行列 H_1 とする。

【0085】

また、式 (5 - 2) において、 $a_{2,1}$ 、 $a_{2,2}$ 、 $a_{2,3}$ は整数（ただし、 $a_{2,1} \geq a_{2,2} \geq a_{2,3}$ ）とする。また、 $b_{2,1}$ 、 $b_{2,2}$ 、 $b_{2,3}$ は整数（ただし、 $b_{2,1} \geq b_{2,2} \geq b_{2,3}$ ）とする。式 (5 - 2) のパリティ検査多項式を「検査式 # 2」と呼び、式 (5 - 2) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 2 サブ行列 H_2 とする。

30

【0086】

また、式 (5 - 3) において、 $a_{3,1}$ 、 $a_{3,2}$ 、 $a_{3,3}$ は整数（ただし、 $a_{3,1} \geq a_{3,2} \geq a_{3,3}$ ）とする。また、 $b_{3,1}$ 、 $b_{3,2}$ 、 $b_{3,3}$ は整数（ただし、 $b_{3,1} \geq b_{3,2} \geq b_{3,3}$ ）とする。式 (5 - 3) のパリティ検査多項式を「検査式 # 3」と呼び、式 (5 - 3) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 3 サブ行列 H_3 とする。

40

【0087】

また、式 (5 - 4) において、 $a_{4,1}$ 、 $a_{4,2}$ 、 $a_{4,3}$ は整数（ただし、 $a_{4,1} \geq a_{4,2} \geq a_{4,3}$ ）とする。また、 $b_{4,1}$ 、 $b_{4,2}$ 、 $b_{4,3}$ は整数（ただし、 $b_{4,1} \geq b_{4,2} \geq b_{4,3}$ ）とする。式 (5 - 4) のパリティ検査多項式を「検査式 # 4」と呼び、式 (5 - 4) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第 4 サブ行列 H_4 とする。

【0088】

また、式 (5 - 5) において、 $a_{5,1}$ 、 $a_{5,2}$ 、 $a_{5,3}$ は整数（ただし、 $a_{5,1} \geq a_{5,2} \geq a_{5,3}$ ）とする。また、 $b_{5,1}$ 、 $b_{5,2}$ 、 $b_{5,3}$ は整数（ただし、 $b_{5,1} \geq b_{5,2} \geq b_{5,3}$ ）とする。式 (5 - 5) のパリティ検査多項式を「検査

50

式#5」と呼び、式(5-5)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第5サブ行列 H_5 とする。

【0089】

また、式(5-6)において、 $a_{6,1}$ 、 $a_{6,2}$ 、 $a_{6,3}$ は整数(ただし、 $a_{6,1}$ 、 $a_{6,2}$ 、 $a_{6,3}$)とする。また、 $b_{6,1}$ 、 $b_{6,2}$ 、 $b_{6,3}$ は整数(ただし、 $b_{6,1}$ 、 $b_{6,2}$ 、 $b_{6,3}$)とする。式(5-6)のパリティ検査多項式を「検査式#6」と呼び、式(5-6)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第6サブ行列 H_6 とする。

【0090】

そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 、第4サブ行列 H_4 、第5サブ行列 H_5 、第6サブ行列 H_6 から生成する時変周期6のLDPC-CCについて考える。

【0091】

このとき、式(5-1)~(5-6)において、 $X(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせ

($a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$)、

($b_{1,1}$ 、 $b_{1,2}$ 、 $b_{1,3}$)、

($a_{2,1}$ 、 $a_{2,2}$ 、 $a_{2,3}$)、

($b_{2,1}$ 、 $b_{2,2}$ 、 $b_{2,3}$)、

($a_{3,1}$ 、 $a_{3,2}$ 、 $a_{3,3}$)、

($b_{3,1}$ 、 $b_{3,2}$ 、 $b_{3,3}$)、

($a_{4,1}$ 、 $a_{4,2}$ 、 $a_{4,3}$)、

($b_{4,1}$ 、 $b_{4,2}$ 、 $b_{4,3}$)、

($a_{5,1}$ 、 $a_{5,2}$ 、 $a_{5,3}$)、

($b_{5,1}$ 、 $b_{5,2}$ 、 $b_{5,3}$)、

($a_{6,1}$ 、 $a_{6,2}$ 、 $a_{6,3}$)、

($b_{6,1}$ 、 $b_{6,2}$ 、 $b_{6,3}$)

の各値を3で除算したときの余り k とした場合、上記のようにあらわした3つの係数セット(例えば、($a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$))に、余り0、1、2が1つずつ含まれるようにし、かつ、上記の3つの係数セット全てで成立するようにする。つまり、

($a_{1,1} \% 3$ 、 $a_{1,2} \% 3$ 、 $a_{1,3} \% 3$)、

($b_{1,1} \% 3$ 、 $b_{1,2} \% 3$ 、 $b_{1,3} \% 3$)、

($a_{2,1} \% 3$ 、 $a_{2,2} \% 3$ 、 $a_{2,3} \% 3$)、

($b_{2,1} \% 3$ 、 $b_{2,2} \% 3$ 、 $b_{2,3} \% 3$)、

($a_{3,1} \% 3$ 、 $a_{3,2} \% 3$ 、 $a_{3,3} \% 3$)、

($b_{3,1} \% 3$ 、 $b_{3,2} \% 3$ 、 $b_{3,3} \% 3$)、

($a_{4,1} \% 3$ 、 $a_{4,2} \% 3$ 、 $a_{4,3} \% 3$)、

($b_{4,1} \% 3$ 、 $b_{4,2} \% 3$ 、 $b_{4,3} \% 3$)、

($a_{5,1} \% 3$ 、 $a_{5,2} \% 3$ 、 $a_{5,3} \% 3$)、

($b_{5,1} \% 3$ 、 $b_{5,2} \% 3$ 、 $b_{5,3} \% 3$)、

($a_{6,1} \% 3$ 、 $a_{6,2} \% 3$ 、 $a_{6,3} \% 3$)、

($b_{6,1} \% 3$ 、 $b_{6,2} \% 3$ 、 $b_{6,3} \% 3$)は、

(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、

(2、1、0)のいずれかとなる。

【0092】

このようにしてLDPC-CCを生成することにより、「検査式#1」に対して、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、的確に「検査式#2、又は、検査式#5」における信頼度、「検査式#3、又は、検査式#6」における信頼度が的確に伝播する。

【0093】

また、「検査式#2」に対して、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、的

10

20

30

40

50

確に「検査式# 1、又は、検査式# 4」における信頼度、「検査式# 3、又は、検査式# 6」における信頼度が的確に伝播する。

【0094】

また、「検査式# 3」に対して、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、的確に「検査式# 1、又は、検査式# 4」における信頼度、「検査式# 2、又は、検査式# 5」における信頼度が的確に伝播する。「検査式# 4」に対して、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、的確に「検査式# 2、又は、検査式# 5」における信頼度、「検査式# 3、又は、検査式# 6」における信頼度が的確に伝播する。

【0095】

また、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、「検査式# 5」に対して、的確に「検査式# 1、又は、検査式# 4」における信頼度、「検査式# 3、又は、検査式# 6」における信頼度が的確に伝播する。また、「検査式# 6」に対して、タナーグラフを描いた際、エッジが存在する場合、的確に「検査式# 1、又は、検査式# 4」における信頼度、「検査式# 2、又は、検査式# 5」における信頼度が的確に伝播する。

10

【0096】

このため、時変周期が3のときと同様に、より良好な誤り訂正能力を時変周期6のLDPC-CCが保持することになる。

【0097】

これについて、図4Cを用いて、信頼度伝播について説明する。図4Cは、「検査式# 1」～「検査式# 6」のX(D)に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示している。図4Cにおいて、四角は、 $a_{x,y}$ において($x = 1, 2, 3, 4, 5, 6; y = 1, 2, 3$)、3で除算した余りが0の係数を示す。

20

【0098】

また、丸は、 $a_{x,y}$ において($x = 1, 2, 3, 4, 5, 6; y = 1, 2, 3$)、3で除算した余りが1の係数を示す。また、菱形は、 $a_{x,y}$ において($x = 1, 2, 3, 4, 5, 6; y = 1, 2, 3$)、3で除算した余りが2の係数を示す。

【0099】

図4Cから分かるように、タナーグラフを描いた際、エッジが存在した場合、「検査式# 1」の $a_{1,1}$ は、3で除算した余りが異なる「検査式# 2又は# 5」及び「検査式# 3又は# 6」から信頼度が伝播される。同様に、タナーグラフを描いた際、エッジが存在した場合、「検査式# 1」の $a_{1,2}$ は、3で除算した余りが異なる「検査式# 2又は# 5」及び「検査式# 3又は# 6」から信頼度が伝播される。

30

【0100】

同様に、タナーグラフを描いた際、エッジが存在した場合、「検査式# 1」の $a_{1,3}$ は、3で除算した余りが異なる「検査式# 2又は# 5」及び「検査式# 3又は# 6」から信頼度が伝播される。図4Cには、「検査式# 1」～「検査式# 6」のX(D)に関する各項同士の信頼度伝播の関係を示したが、P(D)に関する各項同士についても同様のことがいえる。

【0101】

このように、「検査式# 1」のタナーグラフにおける各ノードには、「検査式# 1」以外の係数ノードから信頼度が伝播することになる。したがって、相関が低い信頼度同士が全て「検査式# 1」に伝播することになるので、誤り訂正能力が向上すると考えられる。

40

【0102】

図4Cでは、「検査式# 1」に着目したが、「検査式# 2」から「検査式# 6」についても同様にタナーグラフを描くことができ、「検査式# K」のタナーグラフにおける各ノードには、「検査式# K」以外の係数ノードから信頼度が伝播することになる。したがって、相関が低い信頼度同士が全て「検査式# K」に伝播することになるので、誤り訂正能力が向上すると考えられる。(K = 2, 3, 4, 5, 6)

【0103】

このように、式(5-1)～(5-6)のパリティ検査多項式の各次数が、上述した「

50

余り」に関する条件を満たすようにすることにより、全ての検査式において、効率よく信頼度を伝播させることができるようになり、誤り訂正能力を更に高くすることができる可能性が高まる。

【 0 1 0 4 】

以上、時変周期 6 の LDPC - CC について、符号化率 1 / 2 の場合を例に説明したが、符号化率は 1 / 2 に限られない。符号化率 $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の場合には、情報 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ における、それぞれの 3 つの係数セットにおいて、上記の「余り」に関する条件が成立すれば、やはり、良好な受信品質を得ることができる可能性が高まる。

【 0 1 0 5 】

以下、符号化率 $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の場合について説明する。

【 0 1 0 6 】

時変周期を 6 とする LDPC - CC のパリティ検査多項式として、式 (7 - 1) ~ (7 - 6) を考える。

【 数 7 】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#4,1,1} + D^{a\#4,1,2} + D^{a\#4,1,3})X_1(D) + (D^{a\#4,2,1} + D^{a\#4,2,2} + D^{a\#4,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#4,n-1,1} + D^{a\#4,n-1,2} + D^{a\#4,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#4,1} + D^{b\#4,2} + D^{b\#4,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#5,1,1} + D^{a\#5,1,2} + D^{a\#5,1,3})X_1(D) + (D^{a\#5,2,1} + D^{a\#5,2,2} + D^{a\#5,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#5,n-1,1} + D^{a\#5,n-1,2} + D^{a\#5,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#5,1} + D^{b\#5,2} + D^{b\#5,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#6,1,1} + D^{a\#6,1,2} + D^{a\#6,1,3})X_1(D) + (D^{a\#6,2,1} + D^{a\#6,2,2} + D^{a\#6,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#6,n-1,1} + D^{a\#6,n-1,2} + D^{a\#6,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#6,1} + D^{b\#6,2} + D^{b\#6,3})P(D) = 0 \quad \dots (7-6) \end{aligned}$$

【 0 1 0 7 】

このとき、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ はデータ (情報) X_1 、 X_2 、 \dots 、 X_{n-1} の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式 (7 - 1) ~ (7 - 6) では、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに 3 つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。上記の符号化率 1 / 2 のとき、また、時変周期 3 のときと同様に考えると、式 (7 - 1) ~ (7 - 6) のパリティ検査多項式であらわされる時変周期 6、符号化率 $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の LDPC - CC において、以下の条件 (< 条件 # 1 >) を満たすと、より高い誤り訂正能力を得ることができる可能性が高まる。

【 0 1 0 8 】

ただし、時変周期 6、符号化率 $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の LDPC - CC において、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 \dots 、 $X_{i,n-1}$ であらわす。このとき、 $i \% 6 = k$ とすると ($k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$)、式 (7

10

20

30

40

50

- (k + 1)) のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 i = 8 とすると、 i % 6 = 2 (k = 2) となるので、式 (8) が成立する。

【数 8】

$$\begin{aligned}
 & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{8,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_{8,2} + \dots \\
 & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{8,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P_8 = 0 \quad \dots (8)
 \end{aligned}$$

【 0 1 0 9 】

< 条件 # 1 >

式 (7 - 1) ~ (7 - 6) において、 X ₁ (D)、 X ₂ (D)、 . . . X _{n - 1} (D) 及び P (D) の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。 10

(a # 1 , 1 , 1 % 3、 a # 1 , 1 , 2 % 3、 a # 1 , 1 , 3 % 3)、
 (a # 1 , 2 , 1 % 3、 a # 1 , 2 , 2 % 3、 a # 1 , 2 , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 1 , k , 1 % 3、 a # 1 , k , 2 % 3、 a # 1 , k , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 1 , n - 1 , 1 % 3、 a # 1 , n - 1 , 2 % 3、 a # 1 , n - 1 , 3 % 3)、
 (b # 1 , 1 % 3、 b # 1 , 2 % 3、 b # 1 , 3 % 3) は、
 (0、 1、 2)、 (0、 2、 1)、 (1、 0、 2)、 (1、 2、 0)、 (2、 0、 1)、
 (2、 1、 0) のいずれかとなる。 (k = 1、 2、 3、 . . .、 n - 1)

かつ、

(a # 2 , 1 , 1 % 3、 a # 2 , 1 , 2 % 3、 a # 2 , 1 , 3 % 3)、 20
 (a # 2 , 2 , 1 % 3、 a # 2 , 2 , 2 % 3、 a # 2 , 2 , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 2 , k , 1 % 3、 a # 2 , k , 2 % 3、 a # 2 , k , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 2 , n - 1 , 1 % 3、 a # 2 , n - 1 , 2 % 3、 a # 2 , n - 1 , 3 % 3)、
 (b # 2 , 1 % 3、 b # 2 , 2 % 3、 b # 2 , 3 % 3) は、
 (0、 1、 2)、 (0、 2、 1)、 (1、 0、 2)、 (1、 2、 0)、 (2、 0、 1)、
 (2、 1、 0) のいずれかとなる。 (k = 1、 2、 3、 . . .、 n - 1)

かつ、

(a # 3 , 1 , 1 % 3、 a # 3 , 1 , 2 % 3、 a # 3 , 1 , 3 % 3)、
 (a # 3 , 2 , 1 % 3、 a # 3 , 2 , 2 % 3、 a # 3 , 2 , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 3 , k , 1 % 3、 a # 3 , k , 2 % 3、 a # 3 , k , 3 % 3)、 . . .、 30
 (a # 3 , n - 1 , 1 % 3、 a # 3 , n - 1 , 2 % 3、 a # 3 , n - 1 , 3 % 3)、
 (b # 3 , 1 % 3、 b # 3 , 2 % 3、 b # 3 , 3 % 3) は、
 (0、 1、 2)、 (0、 2、 1)、 (1、 0、 2)、 (1、 2、 0)、 (2、 0、 1)、
 (2、 1、 0) のいずれかとなる。 (k = 1、 2、 3、 . . .、 n - 1)

かつ、

(a # 4 , 1 , 1 % 3、 a # 4 , 1 , 2 % 3、 a # 4 , 1 , 3 % 3)、
 (a # 4 , 2 , 1 % 3、 a # 4 , 2 , 2 % 3、 a # 4 , 2 , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 4 , k , 1 % 3、 a # 4 , k , 2 % 3、 a # 4 , k , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 4 , n - 1 , 1 % 3、 a # 4 , n - 1 , 2 % 3、 a # 4 , n - 1 , 3 % 3)、 40
 (b # 4 , 1 % 3、 b # 4 , 2 % 3、 b # 4 , 3 % 3) は、
 (0、 1、 2)、 (0、 2、 1)、 (1、 0、 2)、 (1、 2、 0)、 (2、 0、 1)、
 (2、 1、 0) のいずれかとなる。 (k = 1、 2、 3、 . . .、 n - 1)

かつ、

(a # 5 , 1 , 1 % 3、 a # 5 , 1 , 2 % 3、 a # 5 , 1 , 3 % 3)、
 (a # 5 , 2 , 1 % 3、 a # 5 , 2 , 2 % 3、 a # 5 , 2 , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 5 , k , 1 % 3、 a # 5 , k , 2 % 3、 a # 5 , k , 3 % 3)、 . . .、
 (a # 5 , n - 1 , 1 % 3、 a # 5 , n - 1 , 2 % 3、 a # 5 , n - 1 , 3 % 3)、
 (b # 5 , 1 % 3、 b # 5 , 2 % 3、 b # 5 , 3 % 3) は、 50
 (0、 1、 2)、 (0、 2、 1)、 (1、 0、 2)、 (1、 2、 0)、 (2、 0、 1)、
 (2、 1、 0) のいずれかとなる。 (k = 1、 2、 3、 . . .、 n - 1)

かつ、

($a_{\#6,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#6,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#6,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#6,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#6,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#6,2,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#6,k,1} \% 3$ 、 $a_{\#6,k,2} \% 3$ 、 $a_{\#6,k,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#6,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#6,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#6,n-1,3} \% 3$)、
 ($b_{\#6,1} \% 3$ 、 $b_{\#6,2} \% 3$ 、 $b_{\#6,3} \% 3$) は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0) のいずれかとなる。(k = 1、2、3、 \dots 、n - 1)

【0110】

上述では、時変周期 6 の LDPC - CC において、高い誤り訂正能力を持つ符号について説明したが、時変周期 3、6 の LDPC - CC の設計方法と同様に、時変周期 3g (g = 1、2、3、4、 \dots) の LDPC - CC (つまり、時変周期が 3 の倍数の LDPC - CC) を作成した場合、高い誤り訂正能力を持つ符号を生成することができる。以下では、その符号の構成方法について詳しく説明する。

10

【0111】

時変周期を 3g (g = 1、2、3、4、 \dots)、符号化率 (n - 1) / n (n は 2 以上の整数) の LDPC - CC のパリティ検査多項式として、式 (9 - 1) ~ (9 - 3g) を考える。

【数9】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \dots (9-1) \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \dots (9-2) \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \dots (9-3) \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + D^{a\#k,2,3})X_2(D) + \dots \dots (9-k) \\ & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + D^{a\#k,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + D^{b\#k,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

⋮
⋮
⋮
⋮
⋮

20

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + D^{a\#3g-2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + D^{a\#3g-2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + D^{a\#3g-2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + D^{b\#3g-2,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

⋯ (9 - (3g - 2))

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + D^{a\#3g-1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + D^{a\#3g-1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + D^{b\#3g-1,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

⋯ (9 - (3g - 1))

30

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + D^{a\#3g,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + D^{a\#3g,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + D^{a\#3g,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + D^{b\#3g,3})P(D) = 0 \end{aligned}$$

⋯ (9 - 3g)

【0112】

このとき、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ はデータ (情報) X_1 、 X_2 、 \dots 、 X_{n-1} の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式 (9-1) ~ (9-3g) では、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに3つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。

【0113】

時変周期3のLDPC-CC及び時変周期6のLDPC-CCと同様に考えると、式 (9-1) ~ (9-3g) のパリティ検査多項式であらわされる時変周期3g、符号化率 $(n-1)/n$ (n は2以上の整数) のLDPC-CCにおいて、以下の条件 (<条件#2>) を満たすと、より高い誤り訂正能力を得ることができる可能性が高まる。

40

【0114】

ただし、時変周期3g、符号化率 $(n-1)/n$ (n は2以上の整数) のLDPC-CCにおいて、時刻*i*のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 \dots 、 $X_{i,n-1}$ であらわす。このとき、 $i \% 3g = k$ とすると ($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$)、式 (9 - (k + 1)) のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 $i = 2$ とすると、 $i \% 3g = 2$ ($k = 2$)となるので、式 (10) が成立する。

【数10】

$$\begin{aligned} & (D^{a_{\#3,1,1}} + D^{a_{\#3,1,2}} + D^{a_{\#3,1,3}})X_{2,1} + (D^{a_{\#3,2,1}} + D^{a_{\#3,2,2}} + D^{a_{\#3,2,3}})X_{2,2} + \dots \\ & + (D^{a_{\#3,n-1,1}} + D^{a_{\#3,n-1,2}} + D^{a_{\#3,n-1,3}})X_{2,n-1} + (D^{b_{\#3,1}} + D^{b_{\#3,2}} + D^{b_{\#3,3}})P_2 = 0 \end{aligned} \quad \dots (10)$$

【0115】

また、式(9-1)~式(9-3g)において、 $a_{\#k,p,1}$ 、 $a_{\#k,p,2}$ 、 $a_{\#k,p,3}$ は整数(ただし、 $a_{\#k,p,1}$ $a_{\#k,p,2}$ $a_{\#k,p,3}$)とする($k=1, 2, 3, \dots, 3g$: $p=1, 2, 3, \dots, n-1$)。また、 $b_{\#k,1}$ 、 $b_{\#k,2}$ 、 $b_{\#k,3}$ は整数(ただし、 $b_{\#k,1}$ $b_{\#k,2}$ $b_{\#k,3}$)とする。式(9-k)のパリティ検査多項式($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)を「検査式#k」と呼び、式(9-k)のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第kサブ行列 H_k とする。そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 、 \dots 、第3gサブ行列 H_{3g} から生成する時変周期3gのLDPC CCについて考える。

10

【0116】

<条件#2>

式(9-1)~(9-3g)において、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 及び $P(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

($a_{\#1,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#1,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,2,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#1,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,p,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#1,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,n-1,3} \% 3$)、
 ($b_{\#1,1} \% 3$ 、 $b_{\#1,2} \% 3$ 、 $b_{\#1,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

20

かつ、

($a_{\#2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#2,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,2,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#2,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,p,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#2,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,n-1,3} \% 3$)、
 ($b_{\#2,1} \% 3$ 、 $b_{\#2,2} \% 3$ 、 $b_{\#2,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

30

かつ、

($a_{\#3,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#3,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,2,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,p,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,n-1,3} \% 3$)、
 ($b_{\#3,1} \% 3$ 、 $b_{\#3,2} \% 3$ 、 $b_{\#3,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。($p=1, 2, 3, \dots, n-1$)

40

かつ、

・
・
・

かつ、

($a_{\#k,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#k,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,2,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#k,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,p,3} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#k,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,n-1,3} \% 3$)、

50

($b_{\#k,1} \% 3$ 、 $b_{\#k,2} \% 3$ 、 $b_{\#k,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、・・・、n - 1) (よって、k =
 1、2、3、・・・、3g)

かつ、

・
 ・
 ・

かつ、

($a_{\#3g-2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,3} \% 3$)
 、
 ($a_{\#3g-2,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,2,3} \% 3$)
 、・・・、
 ($a_{\#3g-2,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,p,3} \% 3$)
 、・・・、
 ($a_{\#3g-2,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,n-1,3} \% 3$)、

10

($b_{\#3g-2,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-2,2} \% 3$ 、 $b_{\#3g-2,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、・・・、n - 1)

20

かつ、

($a_{\#3g-1,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,1,3} \% 3$)
 、
 ($a_{\#3g-1,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,2,3} \% 3$)
 、・・・、
 ($a_{\#3g-1,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,p,3} \% 3$)
 、・・・、
 ($a_{\#3g-1,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,n-1,3} \% 3$)、

30

($b_{\#3g-1,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-1,2} \% 3$ 、 $b_{\#3g-1,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、・・・、n - 1)

かつ、

($a_{\#3g,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g,1,3} \% 3$)、
 ($a_{\#3g,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g,2,3} \% 3$)、・・・、
 ($a_{\#3g,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g,p,3} \% 3$)、・・・、
 ($a_{\#3g,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g,n-1,3} \% 3$)

($b_{\#3g,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g,2} \% 3$ 、 $b_{\#3g,3} \% 3$)は、
 (0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
 (2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、・・・、n - 1)

40

【0117】

ただし、符号化を容易に行うという点を考慮すると、式(9-1)～(9-3g)において、

($b_{\#k,1} \% 3$ 、 $b_{\#k,2} \% 3$ 、 $b_{\#k,3} \% 3$)の3つのうち“0”が1つ存在すると良い(ただし、k = 1、2、・・・、3g)。このとき、 $D^0 = 1$ が存在し、かつ $b_{\#k,1}$ 、 $b_{\#k,2}$ 、 $b_{\#k,3}$ が0以上の整数であれば、パリティPを逐次的に求めることができるという特徴を持つからである。

【0118】

また、同一時点のパリティビットとデータビットに関連性を持たせ、高い訂正能力を持

50

つ符号の探索を容易に行うためには、

($a_{\#k, 1, 1} \% 3$ 、 $a_{\#k, 1, 2} \% 3$ 、 $a_{\#k, 1, 3} \% 3$) の3つのうち“0”
が1つ存在し、

($a_{\#k, 2, 1} \% 3$ 、 $a_{\#k, 2, 2} \% 3$ 、 $a_{\#k, 2, 3} \% 3$) の3つのうち“0”
が1つ存在し、

・
・
・

($a_{\#k, p, 1} \% 3$ 、 $a_{\#k, p, 2} \% 3$ 、 $a_{\#k, p, 3} \% 3$) の3つのうち“0”
が1つ存在し、

10

・
・
・

($a_{\#k, n-1, 1} \% 3$ 、 $a_{\#k, n-1, 2} \% 3$ 、 $a_{\#k, n-1, 3} \% 3$) の3つ
のうち“0”が1つ存在すると良い(ただし、 $k = 1, 2, \dots, 3g$)。

【0119】

次に、符号化を容易に行うという点を考慮した時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$) の LDPC-CC について考える。このとき、符号化率を $(n-1)/n$ (n は2以上の整数) とすると LDPC-CC のパリティ検査多項式は以下のようにあらわすことができる。

20

【数 1 1】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (11-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (11-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (11-3) \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + D^{a\#k,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + D^{a\#k,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (11-k) \end{aligned}$$

20

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + D^{a\#3g-2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + D^{a\#3g-2,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + D^{a\#3g-2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 \\ & \dots (11 - (3g - 2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + D^{a\#3g-1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + D^{a\#3g-1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 \\ & \dots (11 - (3g - 1)) \end{aligned}$$

30

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + D^{a\#3g,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + D^{a\#3g,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + D^{a\#3g,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \\ & \dots (11 - 3g) \end{aligned}$$

【0 1 2 0】

このとき、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ はデータ（情報） $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 \dots 、 $X_{i,n-1}$ の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式(11-1)～(11-3g)では、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに3つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。ただし、時変周期 $3g$ 、符号化率 $(n-1)/n$ (n は2以上の整数) のLDPC-CCにおいて、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 \dots 、 $X_{i,n-1}$ であらわす。このとき、 $i \% 3g = k$ とすると ($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$)、式(11-(k+1))のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 $i = 2$ とすると、 $i \% 3g = 2$ ($k = 2$) となるので、式(12)が成立する。

40

【数 1 2】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_{2,2} + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{2,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (12) \end{aligned}$$

【0 1 2 1】

50

このとき、<条件# 3>及び<条件# 4>を満たすと、より高い誤り訂正能力を持つ符号を作成することができる可能性が高まる。

【0122】

<条件# 3>

式(11-1)~(11-3g)において、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、... $X_{n-1}(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

($a_{\#1,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,1,3} \% 3$)、
($a_{\#1,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,2,3} \% 3$)、...、
($a_{\#1,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,p,3} \% 3$)、...、
($a_{\#1,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#1,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#1,n-1,3} \% 3$)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、...、n - 1)

かつ、

($a_{\#2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,3} \% 3$)、
($a_{\#2,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,2,3} \% 3$)、...、
($a_{\#2,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,p,3} \% 3$)、...、
($a_{\#2,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,n-1,3} \% 3$)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、...、n - 1)

かつ、

($a_{\#3,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,3} \% 3$)、
($a_{\#3,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,2,3} \% 3$)、...、
($a_{\#3,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,p,3} \% 3$)、...、
($a_{\#3,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,n-1,3} \% 3$)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、...、n - 1)

かつ、

.
. .
. . .

かつ、

($a_{\#k,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,3} \% 3$)、
($a_{\#k,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,2,3} \% 3$)、...、
($a_{\#k,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,p,3} \% 3$)、...、
($a_{\#k,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,n-1,3} \% 3$)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。(p = 1、2、3、...、n - 1)(よって、k =
1、2、3、...、3g)

かつ、

.
. .
. . .

かつ、

($a_{\#3g-2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,3} \% 3$)
、
($a_{\#3g-2,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,2,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,2,3} \% 3$)
、...、
($a_{\#3g-2,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,p,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,p,3} \% 3$)
、...、
($a_{\#3g-2,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,n-1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,n-$

10
20
30
40
50

$(a_{1,3} \% 3)$ は、
 $(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、
 $(2, 1, 0)$ のいずれかとなる。 $(p = 1, 2, 3, \dots, n - 1)$

かつ、

$(a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3, a_{\#3g-1,1,3} \% 3)$
、
 $(a_{\#3g-1,2,1} \% 3, a_{\#3g-1,2,2} \% 3, a_{\#3g-1,2,3} \% 3)$
、 \dots 、
 $(a_{\#3g-1,p,1} \% 3, a_{\#3g-1,p,2} \% 3, a_{\#3g-1,p,3} \% 3)$
、 \dots 、
 $(a_{\#3g-1,n-1,1} \% 3, a_{\#3g-1,n-1,2} \% 3, a_{\#3g-1,n-1,3} \% 3)$ は、

10

$(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、
 $(2, 1, 0)$ のいずれかとなる。 $(p = 1, 2, 3, \dots, n - 1)$

かつ、

$(a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3, a_{\#3g,1,3} \% 3)$ 、
 $(a_{\#3g,2,1} \% 3, a_{\#3g,2,2} \% 3, a_{\#3g,2,3} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#3g,p,1} \% 3, a_{\#3g,p,2} \% 3, a_{\#3g,p,3} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#3g,n-1,1} \% 3, a_{\#3g,n-1,2} \% 3, a_{\#3g,n-1,3} \% 3)$ は、

20

$(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、
 $(2, 1, 0)$ のいずれかとなる。 $(p = 1, 2, 3, \dots, n - 1)$

【0123】

加えて、式 $(11 - 1) \sim (11 - 3g)$ において、 $P(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

$(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3)$ は、

30

$(1, 2)$ 、 $(2, 1)$ のいずれかとなる $(k = 1, 2, 3, \dots, 3g)$ 。

【0124】

式 $(11 - 1) \sim (11 - 3g)$ に対する <条件#3> は、式 $(9 - 1) \sim (9 - 3g)$ に対する <条件#2> と同様の関係となる。式 $(11 - 1) \sim (11 - 3g)$ に対して、<条件#3> に加え、以下の条件 (<条件#4>) を付加すると、より高い誤り訂正能力を持つ LDPC - CC を作成することができる可能性が高まる。

【0125】

<条件#4>

40

式 $(11 - 1) \sim (11 - 3g)$ の $P(D)$ の次数において、以下の条件を満たす。

$(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#3g-2,1} \% 3g, b_{\#3g-2,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ の $6g$ 個の次数 (2つの次数が1組を構成するので、 $3g$ 組を構成する次数は $6g$ 個ある) の値には、0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3の倍数 (つまり、0、3、6

50

、・・・、 $3g - 3$)以外の値の全ての値が存在する。

【0126】

ところで、検査行列において、“1”の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性があると良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高い。式(11-1)~(11-3g)のパリティ検査多項式を持つ時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$)、符号化率を $(n-1)/n$ (n は2以上の整数)のLDPC-CCでは、<条件#3>に加え<条件#4>の条件をつけ符号を作成すると、検査行列において、“1”の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性を与えることが可能となるため、良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高まる。

【0127】

次に、符号化を容易に行うことができ、かつ、同一時点のパリティビットとデータビットに関連性を持たせる、時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$)のLDPC-CCについて考える。このとき、符号化率を $(n-1)/n$ (n は2以上の整数)とするとLDPC-CCのパリティ検査多項式は以下のようにあらわすことができる。

【数13】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-1)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-2)$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-3)$$

⋮
⋮
⋮

$$\begin{aligned} & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-k)$$

⋮
⋮
⋮

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g-2,2,1} + D^{a\#3g-2,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-2,n-1,1} + D^{a\#3g-2,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-(3g-2))$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-(3g-1))$$

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-3g)$$

【0128】

このとき、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、・・・ $X_{n-1}(D)$ はデータ(情報) X_1 、 X_2 、・・・ X_{n-1} の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。そして、式(13-1)~(13-3g)では、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、・・・ $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに3つの項が存在するようなパリティ検査多項式とし、 $X_1(D)$

10

20

30

40

50

)、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ には D^0 の項が存在することになる。
($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

【0129】

ただし、時変周期 $3g$ 、符号化率 $(n-1)/n$ (n は2以上の整数)のLDPC-Cにおいて、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,n-1}$ であらわす。このとき、 $i \% 3g = k$ とすると($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$)、式(13-($k+1$))のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 $i = 2$ とすると、 $i \% 3g = 2$ ($k = 2$)となるので、式(14)が成立する。

【数14】

$$\begin{aligned} & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_{2,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + 1)X_{2,2} + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + 1)X_{2,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \end{aligned} \quad \dots (14) \quad 10$$

【0130】

このとき、以下の条件(<条件#5>及び<条件#6>)を満たすと、更に高い誤り訂正能力を持つ符号を作成できる可能性が高くなる。

【0131】

<条件#5>

式(13-1)~(13-3g)において、 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 \dots 、 $X_{n-1}(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

($a\#1,1,1 \% 3, a\#1,1,2 \% 3$)、20

($a\#1,2,1 \% 3, a\#1,2,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#1,p,1 \% 3, a\#1,p,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#1,n-1,1 \% 3, a\#1,n-1,2 \% 3$)は、

(1,2)、(2,1)のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

かつ、

($a\#2,1,1 \% 3, a\#2,1,2 \% 3$)、

($a\#2,2,1 \% 3, a\#2,2,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#2,p,1 \% 3, a\#2,p,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#2,n-1,1 \% 3, a\#2,n-1,2 \% 3$)は、

(1,2)、(2,1)のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$) 30

かつ、

($a\#3,1,1 \% 3, a\#3,1,2 \% 3$)、

($a\#3,2,1 \% 3, a\#3,2,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#3,p,1 \% 3, a\#3,p,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#3,n-1,1 \% 3, a\#3,n-1,2 \% 3$)は、

(1,2)、(2,1)のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

かつ、

.

40

かつ、

($a\#k,1,1 \% 3, a\#k,1,2 \% 3$)、

($a\#k,2,1 \% 3, a\#k,2,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#k,p,1 \% 3, a\#k,p,2 \% 3$)、 \dots 、

($a\#k,n-1,1 \% 3, a\#k,n-1,2 \% 3$)は、

(1,2)、(2,1)のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$) (よつ

て、 $k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

かつ、

.

50

かつ、

($a_{\#3g-2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,2} \% 3$)、
 ($a_{\#3g-2,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,2,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g-2,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,p,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g-2,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,n-1,2} \% 3$) は、
 (1、2)、(2、1) のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

かつ、

($a_{\#3g-1,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,1,2} \% 3$)、
 ($a_{\#3g-1,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,2,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g-1,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,p,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g-1,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,n-1,2} \% 3$) は、
 (1、2)、(2、1) のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

10

かつ、

($a_{\#3g,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3$)、
 ($a_{\#3g,2,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,2,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g,p,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,p,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g,n-1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,n-1,2} \% 3$) は、
 (1、2)、(2、1) のいずれかとなる。($p = 1, 2, 3, \dots, n-1$)

【0132】

20

加えて、式(13-1)～(13-3g)において、 $P(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

($b_{\#1,1} \% 3$ 、 $b_{\#1,2} \% 3$)、
 ($b_{\#2,1} \% 3$ 、 $b_{\#2,2} \% 3$)、
 ($b_{\#3,1} \% 3$ 、 $b_{\#3,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($b_{\#k,1} \% 3$ 、 $b_{\#k,2} \% 3$)、 \dots 、
 ($b_{\#3g-2,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-2,2} \% 3$)、
 ($b_{\#3g-1,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-1,2} \% 3$)、
 ($b_{\#3g,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g,2} \% 3$) は、
 (1、2)、(2、1) のいずれかとなる($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)。

30

【0133】

式(13-1)～(13-3g)に対する<条件#5>は、式(9-1)～(9-3g)に対する<条件#2>と同様の関係となる。式(13-1)～(13-3g)に対して、<条件#5>に加え、以下の条件(<条件#6>)を付加すると、高い誤り訂正能力を持つLDPC-CCを作成できる可能性が高くなる。

【0134】

<条件#6>

式(13-1)～(13-3g)の $X_1(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($a_{\#1,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,1,2} \% 3g$)、
 ($a_{\#2,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,1,2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{\#p,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,1,2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{\#3g,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0から $3g-1$ の整数(0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g-2$ 、 $3g-1$)のうち、3の倍数(つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g-3$)以外の値の全ての値が存在する。($p = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

40

かつ、

式(13-1)～(13-3g)の $X_2(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($a_{\#1,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,2,2} \% 3g$)、
 ($a_{\#2,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,2,2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{\#p,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,2,2} \% 3g$)、 \dots 、

50

($a_{3g, 2, 1} \% 3g$ 、 $a_{3g, 2, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

かつ、

式 (13 - 1) ~ (13 - 3g) の $X_3 (D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($a_{1, 3, 1} \% 3g$ 、 $a_{1, 3, 2} \% 3g$)、
 ($a_{2, 3, 1} \% 3g$ 、 $a_{2, 3, 2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{p, 3, 1} \% 3g$ 、 $a_{p, 3, 2} \% 3g$)、 \dots 、

($a_{3g, 3, 1} \% 3g$ 、 $a_{3g, 3, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

かつ、

・
 ・
 ・

10

かつ、

式 (13 - 1) ~ (13 - 3g) の $X_k (D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($a_{1, k, 1} \% 3g$ 、 $a_{1, k, 2} \% 3g$)、
 ($a_{2, k, 1} \% 3g$ 、 $a_{2, k, 2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{p, k, 1} \% 3g$ 、 $a_{p, k, 2} \% 3g$)、 \dots 、

($a_{3g, k, 1} \% 3g$ 、 $a_{3g, k, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

($k = 1, 2, 3, \dots, n - 1$)

かつ、

・
 ・
 ・

20

30

かつ、

式 (13 - 1) ~ (13 - 3g) の $X_{n-1} (D)$ の次数において、次の条件を満たす

。

($a_{1, n-1, 1} \% 3g$ 、 $a_{1, n-1, 2} \% 3g$)、
 ($a_{2, n-1, 1} \% 3g$ 、 $a_{2, n-1, 2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($a_{p, n-1, 1} \% 3g$ 、 $a_{p, n-1, 2} \% 3g$)、 \dots 、

($a_{3g, n-1, 1} \% 3g$ 、 $a_{3g, n-1, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

かつ、

式 (13 - 1) ~ (13 - 3g) の $P (D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($b_{1, 1} \% 3g$ 、 $b_{1, 2} \% 3g$)、
 ($b_{2, 1} \% 3g$ 、 $b_{2, 2} \% 3g$)、
 ($b_{3, 1} \% 3g$ 、 $b_{3, 2} \% 3g$)、 \dots 、
 ($b_{k, 1} \% 3g$ 、 $b_{k, 2} \% 3g$)、 \dots 、

($b_{3g-2, 1} \% 3g$ 、 $b_{3g-2, 2} \% 3g$)、
 ($b_{3g-1, 1} \% 3g$ 、 $b_{3g-1, 2} \% 3g$)、

($b_{3g, 1} \% 3g$ 、 $b_{3g, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、

40

50

0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

【 0 1 3 5 】

ところで、検査行列において、“ 1 ” の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性があると良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高い。式 ($13 - 1$) ~ ($13 - 3g$) のパリティ検査多項式を持つ時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$)、符号化率を $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の LDPC - CC では、< 条件 # 5 > に加え < 条件 # 6 > の条件を付加して符号を作成すると、検査行列において、“ 1 ” の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性を与えることが可能となるため、より良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高まる。

10

【 0 1 3 6 】

また、< 条件 # 6 > のかわりに、< 条件 # 6' > を用いる、つまり、< 条件 # 5 > に加え、< 条件 # 6' > を付加し符号を作成しても、より高い誤り訂正能力を持つ LDPC - CC を作成できる可能性が高くなる。

【 0 1 3 7 】

< 条件 # 6' >

式 ($13 - 1$) ~ ($13 - 3g$) の $X_1 (D)$ の次数において、次の条件を満たす。
($a_{\#1, 1, 1} \% 3g, a_{\#1, 1, 2} \% 3g$)、
($a_{\#2, 1, 1} \% 3g, a_{\#2, 1, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#p, 1, 1} \% 3g, a_{\#p, 1, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#3g, 1, 1} \% 3g, a_{\#3g, 1, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($p = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

20

又は、

式 ($13 - 1$) ~ ($13 - 3g$) の $X_2 (D)$ の次数において、次の条件を満たす。
($a_{\#1, 2, 1} \% 3g, a_{\#1, 2, 2} \% 3g$)、
($a_{\#2, 2, 1} \% 3g, a_{\#2, 2, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#p, 2, 1} \% 3g, a_{\#p, 2, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#3g, 2, 1} \% 3g, a_{\#3g, 2, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($p = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

30

又は、

式 ($13 - 1$) ~ ($13 - 3g$) の $X_3 (D)$ の次数において、次の条件を満たす。
($a_{\#1, 3, 1} \% 3g, a_{\#1, 3, 2} \% 3g$)、
($a_{\#2, 3, 1} \% 3g, a_{\#2, 3, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#p, 3, 1} \% 3g, a_{\#p, 3, 2} \% 3g$)、 \dots 、
($a_{\#3g, 3, 1} \% 3g, a_{\#3g, 3, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($p = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

40

又は、

・
・
・

又は、

式 ($13 - 1$) ~ ($13 - 3g$) の $X_k (D)$ の次数において、次の条件を満たす。
($a_{\#1, k, 1} \% 3g, a_{\#1, k, 2} \% 3g$)、

50

$(a_{\#2, k, 1} \% 3g, a_{\#2, k, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#p, k, 1} \% 3g, a_{\#p, k, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#3g, k, 1} \% 3g, a_{\#3g, k, 2} \% 3g)$ の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 (p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)
 $(k = 1, 2, 3, \dots, n - 1)$

又は、

・
・
・

10

又は、

式 $(13 - 1) \sim (13 - 3g)$ の $X_{n-1}(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

$(a_{\#1, n-1, 1} \% 3g, a_{\#1, n-1, 2} \% 3g)$ 、
 $(a_{\#2, n-1, 1} \% 3g, a_{\#2, n-1, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#p, n-1, 1} \% 3g, a_{\#p, n-1, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#3g, n-1, 1} \% 3g, a_{\#3g, n-1, 2} \% 3g)$ の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 (p
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

20

又は、

式 $(13 - 1) \sim (13 - 3g)$ の $P(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

$(b_{\#1, 1} \% 3g, b_{\#1, 2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#2, 1} \% 3g, b_{\#2, 2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3, 1} \% 3g, b_{\#3, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#k, 1} \% 3g, b_{\#k, 2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#3g-2, 1} \% 3g, b_{\#3g-2, 2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g-1, 1} \% 3g, b_{\#3g-1, 2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g, 1} \% 3g, b_{\#3g, 2} \% 3g)$ の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、 \dots 、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、3
 の倍数 (つまり、0、3、6、 \dots 、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 (k
 $= 1, 2, 3, \dots, 3g$)

30

【0138】

以上、時変周期 $3g$ 、符号化率 $(n - 1) / n$ (n は 2 以上の整数) の LDPC-CC について説明した。以下、時変周期 $3g$ 、符号化率 $1 / 2$ ($n = 2$) の LDPC-CC のパリティ検査多項式の次数の条件について説明する。

【0139】

時変周期を $3g$ ($g = 1, 2, 3, 4, \dots$)、符号化率 $1 / 2$ ($n = 2$) の LDPC-CC のパリティ検査多項式として、式 $(15 - 1) \sim (15 - 3g)$ を考える。

40

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
& (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 & \dots (15-1) \\
& (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 & \dots (15-2) \\
& (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 & \dots (15-3) \\
& \vdots \\
& \vdots \\
& (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + D^{b\#k,3})P(D) = 0 & \dots (15-k) \\
& \vdots \\
& \vdots \\
& (D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + D^{a\#3g-2,1,3})X(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + D^{b\#3g-2,3})P(D) = 0 & \dots (15-(3g-2)) \\
& (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + D^{b\#3g-1,3})P(D) = 0 & \dots (15-(3g-1)) \\
& (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + D^{a\#3g,1,3})X(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + D^{b\#3g,3})P(D) = 0 & \dots (15-3g)
\end{aligned}$$

【0140】

このとき、 $X(D)$ はデータ (情報) X の多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式 (15-1) ~ (15-3g) では、 $X(D)$ 、 $P(D)$ それぞれに3つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。

【0141】

時変周期3のLDPC-CC及び時変周期6のLDPC-CCと同様に考えると、式 (15-1) ~ (15-3g) のパリティ検査多項式であらわされる時変周期3g、符号化率1/2 ($n=2$) のLDPC-CCにおいて、以下の条件 (<条件#2-1>) を満たすと、より高い誤り訂正能力を得ることができる可能性が高まる。

【0142】

ただし、時変周期3g、符号化率1/2 ($n=2$) のLDPC-CCにおいて、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}$ であらわす。このとき、 $i \% 3g = k$ とすると ($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$)、式 (15-(k+1)) のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 $i = 2$ とすると、 $i \% 3g = 2$ ($k = 2$) となるので、式 (16) が成立する。

【数 1 6】

$$(D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P_2 = 0 \quad \dots (16)$$

【0143】

また、式 (15-1) ~ 式 (15-3g) において、 $a_{\#k,1,1}$ 、 $a_{\#k,1,2}$ 、 $a_{\#k,1,3}$ は整数 (ただし、 $a_{\#k,1,1} \ a_{\#k,1,2} \ a_{\#k,1,3}$) とする ($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)。また、 $b_{\#k,1}$ 、 $b_{\#k,2}$ 、 $b_{\#k,3}$ は整数 (ただし、 $b_{\#k,1} \ b_{\#k,2} \ b_{\#k,3}$) とする。式 (15-k) のパリティ検査多項式 ($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$) を「検査式#k」と呼び、式 (15-k) のパリティ検査多項式に基づくサブ行列を、第kサブ行列 H_k とする。そして、第1サブ行列 H_1 、第2サブ行列 H_2 、第3サブ行列 H_3 、 \dots 、第3gサブ行列 H_{3g} から生成する時変周期3gのLDPC-CCについて考える。

【0144】

<条件#2-1>

10

20

30

40

50

式(15-1)~(15-3g)において、X(D)及びP(D)の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

(a_{#1,1,1} % 3、a_{#1,1,2} % 3、a_{#1,1,3} % 3)、
(b_{#1,1} % 3、b_{#1,2} % 3、b_{#1,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

(a_{#2,1,1} % 3、a_{#2,1,2} % 3、a_{#2,1,3} % 3)、
(b_{#2,1} % 3、b_{#2,2} % 3、b_{#2,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

10

かつ、

(a_{#3,1,1} % 3、a_{#3,1,2} % 3、a_{#3,1,3} % 3)、
(b_{#3,1} % 3、b_{#3,2} % 3、b_{#3,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

・
・
・

20

かつ、

(a_{#k,1,1} % 3、a_{#k,1,2} % 3、a_{#k,1,3} % 3)、
(b_{#k,1} % 3、b_{#k,2} % 3、b_{#k,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。(よって、k = 1、2、3、・・・、3g)

かつ、

・
・
・

かつ、

30

(a_{#3g-2,1,1} % 3、a_{#3g-2,1,2} % 3、a_{#3g-2,1,3} % 3)
、
(b_{#3g-2,1} % 3、b_{#3g-2,2} % 3、b_{#3g-2,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

(a_{#3g-1,1,1} % 3、a_{#3g-1,1,2} % 3、a_{#3g-1,1,3} % 3)
、
(b_{#3g-1,1} % 3、b_{#3g-1,2} % 3、b_{#3g-1,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

40

かつ、

(a_{#3g,1,1} % 3、a_{#3g,1,2} % 3、a_{#3g,1,3} % 3)、
(b_{#3g,1} % 3、b_{#3g,2} % 3、b_{#3g,3} % 3)は、
(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、
(2、1、0)のいずれかとなる。

【0145】

ただし、符号化を容易に行うという点を考慮すると、式(15-1)~(15-3g)において、

(b_{#k,1} % 3、b_{#k,2} % 3、b_{#k,3} % 3)の3つのうち“0”が1つ存在す

50

ると良い(ただし、 $k = 1, 2, \dots, 3g$)。このとき、 $D^0 = 1$ が存在し、かつ $b_{k,1}, b_{k,2}, b_{k,3}$ が0以上の整数であれば、パリティPを逐次的に求めることができるという特徴を持つからである。

【0146】

また、同一時点のパリティビットとデータビットに関連性を持たせ、高い訂正能力を持つ符号の探索を容易に行うためには、 $(a_{k,1,1} \% 3, a_{k,1,2} \% 3, a_{k,1,3} \% 3)$ の3つのうち“0”が1つ存在すると良い(ただし、 $k = 1, 2, \dots, 3g$)。

【0147】

次に、符号化を容易に行うという点を考慮した時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$) のLDPC-CCについて考える。このとき、符号化率を $1/2$ ($n = 2$) とするとLDPC-CCのパリティ検査多項式は以下のようにあらわすことができる。

【数17】

$$(D^{a_{1,1,1}} + D^{a_{1,1,2}} + D^{a_{1,1,3}})X(D) + (D^{b_{1,1}} + D^{b_{1,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-1)$$

$$(D^{a_{2,1,1}} + D^{a_{2,1,2}} + D^{a_{2,1,3}})X(D) + (D^{b_{2,1}} + D^{b_{2,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-2)$$

$$(D^{a_{3,1,1}} + D^{a_{3,1,2}} + D^{a_{3,1,3}})X(D) + (D^{b_{3,1}} + D^{b_{3,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-3)$$

⋮
⋮
⋮

$$(D^{a_{k,1,1}} + D^{a_{k,1,2}} + D^{a_{k,1,3}})X(D) + (D^{b_{k,1}} + D^{b_{k,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-k)$$

⋮
⋮
⋮

$$(D^{a_{3g-2,1,1}} + D^{a_{3g-2,1,2}} + D^{a_{3g-2,1,3}})X(D) + (D^{b_{3g-2,1}} + D^{b_{3g-2,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-(3g-2))$$

$$(D^{a_{3g-1,1,1}} + D^{a_{3g-1,1,2}} + D^{a_{3g-1,1,3}})X(D) + (D^{b_{3g-1,1}} + D^{b_{3g-1,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-(3g-1))$$

$$(D^{a_{3g,1,1}} + D^{a_{3g,1,2}} + D^{a_{3g,1,3}})X(D) + (D^{b_{3g,1}} + D^{b_{3g,2}} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-3g) \quad 30$$

【0148】

このとき、 $X(D)$ はデータ(情報)Xの多項式表現であり、 $P(D)$ はパリティの多項式表現である。ここで、式(17-1)~(17-3g)では、 $X, P(D)$ それぞれに3つの項が存在するようなパリティ検査多項式とする。ただし、時変周期 $3g$ 、符号化率 $1/2$ ($n = 2$) のLDPC-CCにおいて、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を $X_{i,1}$ であらわす。このとき、 $i \% 3g = k$ とすると($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$)、式(17-(k+1))のパリティ検査多項式が成立する。例えば、 $i = 2$ とすると、 $i \% 3g = 2$ ($k = 2$) となるので、式(18)が成立する。

【数18】

$$(D^{a_{3,1,1}} + D^{a_{3,1,2}} + D^{a_{3,1,3}})X_{2,1} + (D^{b_{3,1}} + D^{b_{3,2}} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (18) \quad 40$$

【0149】

このとき、<条件#3-1>及び<条件#4-1>を満たすと、より高い誤り訂正能力を持つ符号を作成することができる可能性が高まる。

【0150】

<条件#3-1>

式(17-1)~(17-3g)において、 $X(D)$ の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

$(a_{1,1,1} \% 3, a_{1,1,2} \% 3, a_{1,1,3} \% 3)$ は、(0, 1, 2) 50

、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

($a_{\#2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#2,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

($a_{\#3,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

10

かつ、

・
・
・

かつ、

($a_{\#k,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#k,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。(よって、 $k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

かつ、

・
・
・

20

かつ、

($a_{\#3g-2,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-2,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

かつ、

($a_{\#3g-1,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g-1,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

30

かつ、

($a_{\#3g,1,1} \% 3$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3$ 、 $a_{\#3g,1,3} \% 3$)は、(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)のいずれかとなる。

【0151】

加えて、式(17-1)~(17-3g)において、P(D)の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

- ($b_{\#1,1} \% 3$ 、 $b_{\#1,2} \% 3$)、
- ($b_{\#2,1} \% 3$ 、 $b_{\#2,2} \% 3$)、
- ($b_{\#3,1} \% 3$ 、 $b_{\#3,2} \% 3$)、・・・、
- ($b_{\#k,1} \% 3$ 、 $b_{\#k,2} \% 3$)、・・・、
- ($b_{\#3g-2,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-2,2} \% 3$)、
- ($b_{\#3g-1,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g-1,2} \% 3$)、
- ($b_{\#3g,1} \% 3$ 、 $b_{\#3g,2} \% 3$)は、
- (1、2)、(2、1)のいずれかとなる($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)。

40

【0152】

式(17-1)~(17-3g)に対する<条件#3-1>は、式(15-1)~(15-3g)に対する<条件#2-1>と同様の関係となる。式(17-1)~(17-3g)に対して、<条件#3-1>に加え、以下の条件(<条件#4-1>)を付加すると、より高い誤り訂正能力を持つLDPC-CCを作成することができる可能性が高まる。

50

【 0 1 5 3 】

< 条件 # 4 - 1 >

式 (1 7 - 1) ~ (1 7 - 3 g) の P (D) の次数において、以下の条件を満たす。

- (b # 1 , 1 % 3 g 、 b # 1 , 2 % 3 g)、
 - (b # 2 , 1 % 3 g 、 b # 2 , 2 % 3 g)、
 - (b # 3 , 1 % 3 g 、 b # 3 , 2 % 3 g)、・・・、
 - (b # k , 1 % 3 g 、 b # k , 2 % 3 g)、・・・、
 - (b # 3 g - 2 , 1 % 3 g 、 b # 3 g - 2 , 2 % 3 g)、
 - (b # 3 g - 1 , 1 % 3 g 、 b # 3 g - 1 , 2 % 3 g)、
 - (b # 3 g , 1 % 3 g 、 b # 3 g , 2 % 3 g) の 6 g 個の値には、
- 0 から 3 g - 1 の整数 (0 、 1 、 2 、 3 、 4 、 ・・・ 、 3 g - 2 、 3 g - 1) のうち、3 の倍数 (つまり、0 、 3 、 6 、 ・・・ 、 3 g - 3) 以外の値の全ての値が存在する。

10

【 0 1 5 4 】

ところで、検査行列において、“ 1 ” の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性があると良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高い。式 (1 7 - 1) ~ (1 7 - 3 g) のパリティ検査多項式を持つ時変周期 3 g (g = 2 、 3 、 4 、 5 、 ・・・)、符号化率 1 / 2 (n = 2) の L D P C - C C では、< 条件 # 3 - 1 > に加え < 条件 # 4 - 1 > の条件をつけ符号を作成すると、検査行列において、“ 1 ” の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性を与えることが可能となるため、より良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高まる。

20

【 0 1 5 5 】

次に、符号化を容易に行うことができ、かつ、同一時点のパリティビットとデータビットに関連性を持たせる、時変周期 3 g (g = 2 、 3 、 4 、 5 、 ・・・) の L D P C - C C について考える。このとき、符号化率を 1 / 2 (n = 2) とすると L D P C - C C のパリティ検査多項式は以下のようにあらわすことができる。

【 数 1 9 】

$$(D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-1)$$

$$(D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-2)$$

$$(D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-3)$$

・
・
・

$$(D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-k)$$

・
・
・

$$(D^{a\#3g-2,1,1} + D^{a\#3g-2,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g-2,1} + D^{b\#3g-2,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-(3g-2))$$

40

$$(D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-(3g-1))$$

$$(D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-3g)$$

【 0 1 5 6 】

このとき、X (D) はデータ (情報) X の多項式表現であり、P (D) はパリティの多項式表現である。そして、式 (1 9 - 1) ~ (1 9 - 3 g) では、X (D)、P (D) それぞれに 3 つの項が存在するようなパリティ検査多項式とし、X (D)、P (D) には D

50

⁰の項が存在することになる。(k = 1、2、3、・・・、3g)

【0157】

ただし、時変周期 3g、符号化率 1/2 (n = 2) の LDPC-CC において、時刻 i のパリティを P_i 及び情報を X_{i,1} であらわす。このとき、i % 3g = k とすると (k = 0、1、2、・・・、3g - 1)、式 (19 - (k + 1)) のパリティ検査多項式が成立する。例えば、i = 2 とすると、i % 3g = 2 (k = 2) となるので、式 (20) が成立する。

【数20】

$$(D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (20)$$

10

【0158】

このとき、以下の条件 (<条件#5 - 1> 及び <条件#6 - 1>) を満たすと、より高い誤り訂正能力を持つ符号を作成することができる可能性が高まる。

【0159】

<条件#5 - 1>

式 (19 - 1) ~ (19 - 3g) において、X(D) の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

(a_{#1,1,1} % 3、a_{#1,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

かつ、

20

(a_{#2,1,1} % 3、a_{#2,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

かつ、

(a_{#3,1,1} % 3、a_{#3,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

かつ、

・
・
・

かつ、

30

(a_{#k,1,1} % 3、a_{#k,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。(よって、k = 1、2、3、・・・、3g)

かつ、

・
・
・

かつ、

(a_{#3g-2,1,1} % 3、a_{#3g-2,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

かつ、

40

(a_{#3g-1,1,1} % 3、a_{#3g-1,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

かつ、

(a_{#3g,1,1} % 3、a_{#3g,1,2} % 3) は、(1、2)、(2、1) のいずれかとなる。

【0160】

加えて、式 (19 - 1) ~ (19 - 3g) において、P(D) の次数の組み合わせが以下の条件を満たす。

(b_{#1,1} % 3、b_{#1,2} % 3)、

(b_{#2,1} % 3、b_{#2,2} % 3)、

50

$(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3)$ 、
 $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3)$ は、
 $(1, 2)$ 、 $(2, 1)$ のいずれかとなる ($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)。

【0161】

式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ に対する <条件#5 - 1> は、式 $(15 - 1) \sim (15 - 3g)$ に対する <条件#2 - 1> と同様の関係となる。式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ に対して、<条件#5 - 1> に加え、以下の条件 (<条件#6 - 1>) を付加すると、より高い誤り訂正能力を持つ LDPC - CC を作成することができる可能性が高まる。

10

【0162】

<条件#6 - 1>

式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ の $X(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

$(a_{\#1,1,1} \% 3g, a_{\#1,1,2} \% 3g)$ 、
 $(a_{\#2,1,1} \% 3g, a_{\#2,1,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#p,1,1} \% 3g, a_{\#p,1,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(a_{\#3g,1,1} \% 3g, a_{\#3g,1,2} \% 3g)$ の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、
 3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($p = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

20

かつ、

式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ の $P(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

$(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、 \dots 、
 $(b_{\#3g-2,1} \% 3g, b_{\#3g-2,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、
 $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ の $6g (3g \times 2)$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 ($0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g - 2, 3g - 1$) のうち、
 3 の倍数 (つまり、 $0, 3, 6, \dots, 3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。 ($k = 1, 2, 3, \dots, 3g$)

30

【0163】

ところで、検査行列において、“1”の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性があると、良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高い。式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ のパリティ検査多項式を持つ時変周期 $3g$ ($g = 2, 3, 4, 5, \dots$)、符号化率 $1/2$ の LDPC - CC では、<条件#5 - 1> に加え <条件#6 - 1> の条件を付加して符号を作成すると、検査行列において、“1”の存在する位置に規則性を持ちながらもランダム性を与えることが可能となるため、より良好な誤り訂正能力が得られる可能性が高まる。

40

【0164】

また、<条件#6 - 1> のかわりに、<条件#6' - 1> を用いる、つまり、<条件#5 - 1> に加え、<条件#6' - 1> を付加し符号を作成しても、より高い誤り訂正能力を持つ LDPC - CC を作成することができる可能性が高まる。

【0165】

<条件#6' - 1>

式 $(19 - 1) \sim (19 - 3g)$ の $X(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

$(a_{\#1,1,1} \% 3g, a_{\#1,1,2} \% 3g)$ 、
 $(a_{\#2,1,1} \% 3g, a_{\#2,1,2} \% 3g)$ 、 \dots 、

50

($a_{\#p, 1, 1} \% 3g$ 、 $a_{\#p, 1, 2} \% 3g$)、・・・、
 ($a_{\#3g, 1, 1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g, 1, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、・・・、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、 3
 の倍数 (つまり、0、3、6、・・・、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(p
 = 1、2、3、・・・、 $3g$)

又は、

式 (19 - 1) ~ (19 - 3g) の $P(D)$ の次数において、次の条件を満たす。

($b_{\#1, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#1, 2} \% 3g$)、
 ($b_{\#2, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#2, 2} \% 3g$)、
 ($b_{\#3, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#3, 2} \% 3g$)、・・・、
 ($b_{\#k, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#k, 2} \% 3g$)、・・・、
 ($b_{\#3g-2, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-2, 2} \% 3g$)、
 ($b_{\#3g-1, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-1, 2} \% 3g$)、
 ($b_{\#3g, 1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g, 2} \% 3g$) の $6g$ 個の値には、
 0 から $3g - 1$ の整数 (0、1、2、3、4、・・・、 $3g - 2$ 、 $3g - 1$) のうち、 3
 の倍数 (つまり、0、3、6、・・・、 $3g - 3$) 以外の値の全ての値が存在する。(k
 = 1、2、3、・・・、 $3g$)

【0166】

一例として、良好な誤り訂正能力を持つ、符号化率 1 / 2、時変周期 6 の LDPC - C
 C を表 4 に列挙する。

【表 4】

符号	パリティ検査多項式
時変周期 6、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#1	「検査多項式#1」： $(D^{328}+D^{317}+1)X(D)+(D^{589}+D^{434}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{596}+D^{553}+1)X(D)+(D^{586}+D^{461}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{550}+D^{143}+1)X(D)+(D^{470}+D^{448}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{470}+D^{223}+1)X(D)+(D^{256}+D^{41}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#5」： $(D^{89}+D^{40}+1)X(D)+(D^{316}+D^{71}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#6」： $(D^{320}+D^{190}+1)X(D)+(D^{575}+D^{136}+1)P(D)=0$
時変周期 6、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#2	「検査多項式#1」： $(D^{524}+D^{511}+1)X(D)+(D^{215}+D^{103}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{547}+D^{287}+1)X(D)+(D^{467}+D^1+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{289}+D^{62}+1)X(D)+(D^{503}+D^{502}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{401}+D^{55}+1)X(D)+(D^{443}+D^{106}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#5」： $(D^{433}+D^{395}+1)X(D)+(D^{404}+D^{100}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#6」： $(D^{136}+D^{59}+1)X(D)+(D^{599}+D^{559}+1)P(D)=0$
時変周期 6、 符号化率 1/2 の LDPC-CC#3	「検査多項式#1」： $(D^{253}+D^{44}+1)X(D)+(D^{473}+D^{256}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#2」： $(D^{595}+D^{143}+1)X(D)+(D^{598}+D^{95}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#3」： $(D^{97}+D^{11}+1)X(D)+(D^{592}+D^{491}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#4」： $(D^{50}+D^{10}+1)X(D)+(D^{368}+D^{112}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#5」： $(D^{286}+D^{221}+1)X(D)+(D^{517}+D^{359}+1)P(D)=0$ 「検査多項式#6」： $(D^{407}+D^{322}+1)X(D)+(D^{283}+D^{257}+1)P(D)=0$

【0167】

以上、特性が良好な時変周期 g の LDPC - CC について説明した。なお、LDPC -
 CC は、情報ベクトル n に生成行列 G を乗ずることにより、符号化データ (符号語) を得
 ることができる。つまり、符号化データ (符号語) c は、 $c = n \times G$ とあらわすことがで
 きる。ここで、生成行列 G は、予め設計された検査行列 H に対応して求められたものであ
 る。具体的には、生成行列 G は、 $G \times H^T = 0$ を満たす行列である。

【0168】

例えば、符号化率 1 / 2、生成多項式 $G = [1 \ G_1(D) / G_0(D)]$ の畳み込み
 符号を例に考える。このとき、 G_1 はフィードフォワード多項式、 G_0 はフィードバック
 多項式をあらわす。情報系列 (データ) の多項式表現を $X(D)$ 、パリティ系列の多項式
 表現を $P(D)$ とするとパリティ検査多項式は、以下の式 (21) のようにあらわされる

10

20

30

40

50

。

【数 2 1】

$$G_1(D)X(D)+G_0(D)P(D)=0 \quad \dots (21)$$

ここで、D は、遅延演算子である。

【0 1 6 9】

図 5 に、(7 , 5) の畳み込み符号に関する情報を記載する。(7 , 5) 畳み込み符号の生成行列は $G = [1 \quad (D^2 + 1) / (D^2 + D + 1)]$ とあらわされる。したがって、パリティ検査多項式は、以下の式 (2 2) となる。

【数 2 2】

$$(D^2+1)X(D)+(D^2+D+1)P(D)=0 \quad \dots (22)$$

10

【0 1 7 0】

ここで、時点 i におけるデータを X_i 、パリティを P_i とあらわし、送信系列 $W_i = (X_i , P_i)$ とあらわす。そして、送信ベクトル $w = (X_1 , P_1 , X_2 , P_2 , \dots , X_i , P_i \dots)^T$ とあらわす。すると、式 (2 2) から、検査行列 H は図 5 に示すようにあらわすことができる。このとき、以下の式 (2 3) の関係式が成立する。

【数 2 3】

$$Hw=0 \quad \dots (23)$$

【0 1 7 1】

したがって、復号側では、検査行列 H を使い、非特許文献 5 ~ 非特許文献 7 に示されているような B P (Belief Propagation) (信頼度伝播) 復号、B P 復号を近似した min-sum 復号、offset B P 復号、Normalized B P 復号、shuffled B P 復号などの信頼度伝播を利用した復号を行うことができる。

20

【0 1 7 2】

(畳み込み符号に基づく時不変・時変 L D P C - C C (符号化率 (n - 1) / n) (n : 自然数))

以下、畳み込み符号に基づく時不変・時変 L D P C - C C の概要を述べる。

【0 1 7 3】

符号化率 $R = (n - 1) / n$ の情報 X_1, X_2, \dots, X_{n-1} の多項式表現を $X_1(D), X_2(D), \dots, X_{n-1}(D)$ 、また、パリティ P の多項式表現を $P(D)$ とし、式 (2 4) のようにあらわされるパリティ検査多項式を考える。

30

【数 2 4】

$$\begin{aligned} & (D^{a_{1,1}}+D^{a_{1,2}}+\dots+D^{a_{1,r_1}}+1)X_1(D)+(D^{a_{2,1}}+D^{a_{2,2}}+\dots+D^{a_{2,r_2}}+1)X_2(D) \\ & +\dots+(D^{a_{n-1,1}}+D^{a_{n-1,2}}+\dots+D^{a_{n-1,r_{n-1}}}+1)X_{n-1}(D) \\ & +(D^{b_1}+D^{b_2}+\dots+D^{b_s}+1)P(D)=0 \end{aligned} \quad \dots (24)$$

【0 1 7 4】

式 (2 4) において、このとき $a_{p, q}$ ($p = 1, 2, \dots, n - 1 ; q = 1, 2, \dots, r_p$) は、例えば、自然数であり、 $a_{p, 1} \leq a_{p, 2} \leq \dots \leq a_{p, r_p}$ を満足する。また、 b_q ($q = 1, 2, \dots, s$) は、自然数であり、 $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_s$ を満足する。このとき、式 (2 4) のパリティ検査多項式に基づく検査行列で定義される符号を、ここでは、時不変 L D P C - C C と呼ぶ。

40

【0 1 7 5】

式 (2 4) に基づく異なるパリティ検査多項式を m 個用意する (m は、2 以上の整数) 。そのパリティ検査多項式を以下のようにあらわす。

【数 2 5】

$$\begin{aligned} & A_{X_{1,i}}(D)X_1(D)+A_{X_{2,i}}(D)X_2(D)+\dots \\ & +A_{X_{n-1,i}}(D)X_{n-1}(D)+B_i(D)P(D)=0 \end{aligned} \quad \dots (25)$$

ここで、 $i = 0, 1, \dots, m - 1$ である。

50

【 0 1 7 6 】

そして、時点 j における情報 X_1, X_2, \dots, X_{n-1} を $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$ とあらわし、時点 j におけるパリティ P を P_j とあらわし、 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}, P_j)^T$ とする。このとき、時点 j の情報 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$ 及びパリティ P_j は、式 (26) のパリティ検査多項式を満たす。

【 数 2 6 】

$$\begin{aligned}
& A_{X_{1,k}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,k}}(D)X_2(D) + \dots \\
& + A_{X_{n-1,k}}(D)X_{n-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \dots (26)
\end{aligned}$$

10

ここで、「 $j \bmod m$ 」は、 j を m で除算した余りである。

【 0 1 7 7 】

式 (26) のパリティ検査多項式に基づく検査行列で定義される符号を、ここでは時変 LDPC-CC と呼ぶ。このとき、式 (24) のパリティ検査多項式で定義される時不変 LDPC-CC、及び、式 (26) のパリティ検査多項式で定義される時変 LDPC-CC は、逐次的にパリティをレジスタ及び排他的論理和で簡単に求めることができるという特徴を持つ。

【 0 1 7 8 】

例えば、符号化率 $2/3$ で、式 (24) ~ 式 (26) に基づく時変周期 2 の LDPC-CC の検査行列 H の構成を、図 6 に示す。式 (26) に基づく時変周期 2 の異なる 2 つの検査多項式に対し、「検査式 # 1」、「検査式 # 2」と名付ける。図 6 において、 $(H_{a, 111})$ は「検査式 # 1」に相当する部分であり、 $(H_{c, 111})$ は「検査式 # 2」に相当する部分である。以下、 $(H_{a, 111})$ 及び $(H_{c, 111})$ をサブ行列と定義する。

20

【 0 1 7 9 】

このように、本提案の時変周期 2 の LDPC-CC の検査行列 H を、「検査式 # 1」のパリティ検査多項式をあらわす第 1 サブ行列と、「検査式 # 2」のパリティ検査多項式をあらわす第 2 サブ行列とにより定義することができる。具体的には、検査行列 H において、第 1 サブ行列と第 2 サブ行列とが行方向に交互に配置されるようにする。なお、符号化率 $2/3$ の場合、図 6 に示すように、第 i 行と第 $i+1$ 行とでは、サブ行列が 3 列右にシフトした構成となる。

30

【 0 1 8 0 】

また、時変周期 2 の時変 LDPC-CC の場合、第 i 行のサブ行列と第 $i+1$ 行のサブ行列とは、異なるサブ行列となる。つまり、サブ行列 $(H_{a, 11})$ または $(H_{c, 11})$ のいずれか一方が第 1 サブ行列となり、他方が第 2 サブ行列となる。送信ベクトル u を、 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$ とすると、 $Hu = 0$ が成立する (式 (23) 参照)。

【 0 1 8 1 】

次に、符号化率 $2/3$ の場合に、時変周期を m とする LDPC-CC を考える。時変周期 2 の場合と同様に、式 (24) であらわされるパリティ検査多項式を m 個用意する。そして、式 (24) であらわされる「検査式 # 1」を用意する。同様に、式 (24) であらわされる「検査式 # 2」から「検査式 # m 」を用意する。時点 $mi+1$ のデータ X とパリティ P をそれぞれ X_{mi+1}, P_{mi+1} とあらわし、時点 $mi+2$ のデータ X とパリティ P とを、それぞれ X_{mi+2}, P_{mi+2} とあわし、 \dots 、時点 $mi+m$ のデータ X とパリティ P とを、それぞれ X_{mi+m}, P_{mi+m} とあらわす (i : 整数)。

40

【 0 1 8 2 】

このとき、時点 $mi+1$ のパリティ P_{mi+1} を「検査式 # 1」を用いて求め、時点 $mi+2$ のパリティ P_{mi+2} を「検査式 # 2」を用いて求め、 \dots 、時点 $mi+m$ のパリティ P_{mi+m} を「検査式 # m 」を用いて求める LDPC-CC を考える。このような LDPC-CC 符号は、

50

・符号化器を簡単に構成することができ、かつ、パリティを逐次的に求めることができる
 ・終端ビットの削減、終端時のパンクチャ時の受信品質の向上が見込める
 という利点を備える。

【0183】

図7に、上述した符号化率 $2/3$ 、時変周期 m の LDPC-CC の検査行列の構成を示す。図7において、 $(H_1, 111)$ は「検査式#1」に相当する部分であり、 $(H_2, 111)$ は「検査式#2」に相当する部分であり、 \dots 、 $(H_m, 111)$ は「検査式# m 」に相当する部分である。以下、 $(H_1, 111)$ を第1サブ行列と定義し、 $(H_2, 111)$ を第2サブ行列と定義し、 \dots 、 $(H_m, 111)$ を、第 m サブ行列と定義する。

10

【0184】

このように、本提案の時変周期 m の LDPC-CC の検査行列 H は、「検査式#1」のパリティ検査多項式をあらわす第1サブ行列、「検査式#2」のパリティ検査多項式をあらわす第2サブ行列、 \dots 、及び、「検査式# m 」のパリティ検査多項式をあらわす第 m サブ行列により定義することができる。具体的には、検査行列 H において、第1サブ行列から第 m サブ行列までが、行方向に周期的に配置されるようにした(図7参照)。なお、符号化率 $2/3$ の場合、第 i 行と第 $i+1$ 行とでは、サブ行列が3列右にシフトした構成となる(図7参照)。

【0185】

送信ベクトル u を、 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$ とすると、 $Hu = 0$ が成立する(式(23)参照)。

20

【0186】

上述の説明では、符号化率 $(n-1)/n$ の畳み込み符号に基づく時不変・時変 LDPC-CC の一例として、符号化率 $2/3$ の場合を例に説明したが、同様に考えることで、符号化率 $(n-1)/n$ の畳み込み符号に基づく時不変・時変 LDPC-CC のパリティ検査行列を作成することができる。

【0187】

すなわち、符号化率 $2/3$ の場合、図7において、 $(H_1, 111)$ は「検査式#1」に相当する部分(第1サブ行列)であり、 $(H_2, 111)$ は「検査式#2」に相当する部分(第2サブ行列)であり、 \dots 、 $(H_m, 111)$ は「検査式# m 」に相当する部分(第 m サブ行列)であるのに対し、符号化率 $(n-1)/n$ の場合、図8に示すようになる。つまり、「検査式#1」に相当する部分(第1サブ行列)は、 $(H_1, 11\dots 1)$ であらわされ、「検査式# k 」($k=2, 3, \dots, m$)に相当する部分(第 k サブ行列)は、 $(H_k, 11\dots 1)$ であらわされる。このとき、第 k サブ行列において、 H_k を除く部分の「1」の個数は、 $n-1$ 個となる。そして、検査行列 H において、第 i 行と第 $i+1$ 行とでは、サブ行列が $n-1$ 列右にシフトした構成となる(図8参照)。

30

【0188】

送信ベクトル u を、 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{n-1,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, \dots, X_{n-1,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{n-1,k}, P_k, \dots)^T$ とすると、 $Hu = 0$ が成立する(式(23)参照)。

40

【0189】

なお、図9に、一例として、符号化率 $R=1/2$ の場合の LDPC-CC 符号化器の構成例を示す。図9に示すように、LDPC-CC 符号化器 100 は、データ演算部 110、パリティ演算部 120、ウェイト制御部 130 及び $\text{mod } 2$ 加算(排他的論理和演算)器 140 を主に備える。

【0190】

データ演算部 110 は、シフトレジスタ 111-1 ~ 111-M、ウェイト乗算器 112-0 ~ 112-M を備える。

【0191】

50

パリティ演算部 1 2 0 は、シフトレジスタ 1 2 1 - 1 ~ 1 2 1 - M、ウェイト乗算器 1 2 2 - 0 ~ 1 2 2 - M を備える。

【 0 1 9 2 】

シフトレジスタ 1 1 1 - 1 ~ 1 1 1 - M 及び 1 2 1 - 1 ~ 1 2 1 - M は、それぞれ $v_{1,t-i}$, $v_{2,t-i}$ ($i = 0, \dots, M$) を保持するレジスタであり、次の入力が入ってくるタイミングで、保持している値を右隣のシフトレジスタに向けて出力し、左隣のシフトレジスタから出力される値を新たに保持する。なお、シフトレジスタの初期状態は全て 0 である。

【 0 1 9 3 】

ウェイト乗算器 1 1 2 - 0 ~ 1 1 2 - M, 1 2 2 - 0 ~ 1 2 2 - M は、ウェイト制御部 1 3 0 から出力される制御信号にしたがって、 $h_1^{(m)}$, $h_2^{(m)}$ の値を 0 / 1 に切り替える。

10

【 0 1 9 4 】

ウェイト制御部 1 3 0 は、内部に保持する検査行列に基づいて、そのタイミングにおける $h_1^{(m)}$, $h_2^{(m)}$ の値を出力し、ウェイト乗算器 1 1 2 - 0 ~ 1 1 2 - M, 1 2 2 - 0 ~ 1 2 2 - M に向けて供給する。

【 0 1 9 5 】

mod 2 加算器 1 4 0 は、ウェイト乗算器 1 1 2 - 0 ~ 1 1 2 - M, 1 2 2 - 0 ~ 1 2 2 - M の出力に対し mod 2 の算出結果を全て加算し、 p_i を算出する。

【 0 1 9 6 】

20

このような構成を採ることで、LDPC-CC 符号化器 1 0 0 は、検査行列にしたがった LDPC-CC の符号化を行うことができる。

【 0 1 9 7 】

なお、ウェイト制御部 1 3 0 が保持する検査行列の各行の並びが行毎に異なる場合、LDPC-CC 符号化器 1 0 0 は、時変 (time varying) 畳み込み符号化器となる。また、符号化率 $(q-1)/q$ の LDPC-CC の場合には、データ演算部 1 1 0 を $(q-1)$ 個設け、mod 2 加算器 1 4 0 が、各ウェイト乗算器の出力を mod 2 加算 (排他的論理和演算) を行う構成とすれば良い。

【 0 1 9 8 】

(実施の形態 2)

30

次いで、本実施の形態では、符号化器・復号化器において、低演算規模で複数の符号化率に対応することができる LDPC-CC の探索方法について説明する。以下に説明する方法により探索された LDPC-CC を用いることにより、復号化器では、高いデータ受信品質を実現することができる。

【 0 1 9 9 】

本実施の形態における LDPC-CC の探索方法は、例えば、上述したような特性が良好な LDPC-CC のうち、符号化率 $1/2$ の LDPC-CC に基づいて、符号化率 $2/3$, $3/4$, $4/5$, ..., $(q-1)/q$ の LDPC-CC を順次探索する。これにより、符号化及び復号化処理において、最も符号化率の高い $(q-1)/q$ のときの符号化器、復号化器を用意することで、最も符号化率の高い $(q-1)/q$ より小さい符号化率 $(s-1)/s$ ($s = 2, 3, \dots, q-1$) の符号化、復号化を行うことが可能となる。

40

【 0 2 0 0 】

なお、以下では、一例として、時変周期 3 の LDPC-CC を用いて説明する。上述したように、時変周期 3 の LDPC-CC は、非常に良好な誤り訂正能力を有する。

【 0 2 0 1 】

(LDPC-CC の探索方法)

(1) 符号化率 $1/2$

先ず、基礎となる LDPC-CC として、符号化率 $1/2$ の LDPC-CC を選択する。基礎となる符号化率 $1/2$ の LDPC-CC としては、上述したような特性が良好な L

50

DPC - CC を選択する。

【0202】

以下では、基礎となる符号化率 $1/2$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式として、式 (27 - 1) ~ 式 (27 - 3) であらわされるパリティ検査多項式を選択した場合について説明する。(式 (27 - 1) ~ 式 (27 - 3) の例では上述の (良好な特性を有する LDPC - CC) と同様の形式であらわしているため、時変周期 3 の LDPC - CC は、3 つのパリティ検査多項式で定義することができる。)

【数 27】

$$\begin{aligned} (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (27-1) \\ (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (27-2) \\ (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (27-3) \end{aligned} \quad 10$$

【0203】

式 (27 - 1) ~ 式 (27 - 3) は、表 3 に記載したように、特性が良好な時変周期 3、符号化率 $1/2$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式の一例である。そして、上述の (良好な特性を有する LDPC - CC) で説明したように、時点 j における情報 X_1 を $X_{1,j}$ とあらわし、時点 j におけるパリティ P を P_j とあらわし、 $u_j = (X_{1,j}, P_j)^T$ とする。このとき、時点 j の情報 $X_{1,j}$ 及びパリティ P_j は、

「 $j \bmod 3 = 0$ のとき、式 (27 - 1) のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 1$ のとき、式 (27 - 2) のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 2$ のとき、式 (27 - 3) のパリティ検査多項式を満たす。」

このとき、パリティ検査多項式と検査行列の関係は、上述の (良好な特性を有する LDPC - CC) で説明した場合と同様である。

【0204】

(2) 符号化率 $2/3$

次いで、特性が良好な符号化率 $1/2$ のパリティ検査多項式に基づいて、符号化率 $2/3$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式を作成する。具体的には、符号化率 $2/3$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式が、基礎とする符号化率 $1/2$ のパリティ検査多項式を含む構成とする。

【0205】

ベースの符号化率 $1/2$ の LDPC - CC に、式 (27 - 1) ~ 式 (27 - 3) を用いる場合の符号化率 $2/3$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式を式 (28 - 1) ~ 式 (28 - 3) のようにあらわすことができる。

【数 28】

$$\begin{aligned} (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_1} + D^{\beta_1} + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (28-1) \\ (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_2} + D^{\beta_2} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (28-2) \\ (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_3} + D^{\beta_3} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) &= 0 && \cdots (28-3) \end{aligned} \quad 40$$

【0206】

式 (28 - 1) ~ 式 (28 - 3) に示されるパリティ検査多項式は、式 (27 - 1) ~ 式 (27 - 3) に、それぞれ $X_2(D)$ の項を追加した構成を採る。式 (28 - 1) ~ 式 (28 - 3) を用いる符号化率 $2/3$ の LDPC - CC のパリティ検査多項式は、後述する符号化率 $3/4$ のパリティ検査多項式の基礎となる。

【0207】

なお、式 (28 - 1) ~ 式 (28 - 3) において、 $X_2(D)$ の各次数、 $(1, 1)$ 、 $(2, 2)$ 、 $(3, 3)$ が、上述の条件 (<条件 # 1> ~ <条件 # 6> 等) を満たすように設定すると、符号化率 $2/3$ の場合にも、特性が良好な LDPC - CC を得ることができる。

【0208】

そして、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明したように、時点jにおける情報 X_1 、 X_2 を $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ とあらわし、時点jにおけるパリティPを P_j とあらわし、 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, P_j)^T$ とする。このとき、時点jの情報 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 及びパリティ P_j は、

「 $j \bmod 3 = 0$ のとき、式(28-1)のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 1$ のとき、式(28-2)のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 2$ のとき、式(28-3)のパリティ検査多項式を満たす。」

このとき、パリティ検査多項式と検査行列の関係は、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明した場合と同様である。

10

【0209】

(3) 符号化率3/4

次いで、上述の符号化率2/3のパリティ検査多項式に基づいて、符号化率3/4のLDPC-CCのパリティ検査多項式を作成する。具体的には、符号化率3/4のLDPC-CCのパリティ検査多項式が、基礎とする符号化率2/3のパリティ検査多項式を含む構成とする。

【0210】

ベースの符号化率2/3のLDPC-CCに、式(28-1)~式(28-3)を用いる場合の符号化率3/4のLDPC-CCのパリティ検査多項式を式(29-1)~式(29-3)に示す。

20

【数29】

$$\begin{aligned} & (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_1} + D^{\beta_1} + 1)X_2(D) \\ & + (D^{\gamma_1} + D^{\delta_1} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (29-1)$$

$$\begin{aligned} & (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_2} + D^{\beta_2} + 1)X_2(D) \\ & + (D^{\gamma_2} + D^{\delta_2} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (29-2)$$

$$\begin{aligned} & (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha_3} + D^{\beta_3} + 1)X_2(D) \\ & + (D^{\gamma_3} + D^{\delta_3} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (29-3)$$

30

【0211】

式(29-1)~式(29-3)に示されるパリティ検査多項式は、式(28-1)~式(28-3)に、それぞれ $X_3(D)$ の項を追加した構成を採る。なお、式(29-1)~式(29-3)において、 $X_3(D)$ の各次数、 $(1, 1)$ 、 $(2, 2)$ 、 $(3, 3)$ が、特性が良好なLDPC-CCの次数の条件(<条件#1>~<条件#6>等)を満たすように設定すると、符号化率3/4の場合にも、特性が良好なLDPC-CCを得ることができる。

【0212】

40

そして、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明したように、時点jにおける情報 X_1 、 X_2 、 X_3 を $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、 $X_{3,j}$ とあらわし、時点jにおけるパリティPを P_j とあらわし、 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}, P_j)^T$ とする。このとき、時点jの情報 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、 $X_{3,j}$ 及びパリティ P_j は、

「 $j \bmod 3 = 0$ のとき、式(29-1)のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 1$ のとき、式(29-2)のパリティ検査多項式を満たす。」

「 $j \bmod 3 = 2$ のとき、式(29-3)のパリティ検査多項式を満たす。」

このとき、パリティ検査多項式と検査行列の関係は、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明した場合と同様である。

【0213】

50

式(30-1)~(30-(q-1))に、上述のようにして探索した場合の時変周期gのLDPC-CCのパリティ検査多項式の一般式を示す。

【数30】

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \dots (30-1)$$

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D)+A_{X_{2,k}}(D)X_2(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \dots (30-2)$$

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D)+A_{X_{2,k}}(D)X_2(D)+A_{X_{3,k}}(D)X_3(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \dots (30-3)$$

⋮

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D)+A_{X_{2,k}}(D)X_2(D)+\dots+A_{X_{q-1,k}}(D)X_{q-1}(D)+B_k(D)P(D)=0 \quad (k=i \bmod g) \quad \dots (30-(q-1))$$

【0214】

ただし、式(30-1)は一般式で表現しているため、式(30-1)のような表現をしているが、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明したように、実際は、時変周期がgなので、式(30-1)はg個のパリティ検査多項式で表現される。(本実施の形態で説明したように、例えば、時変周期3の場合、式(27-1)~式(27-3)のように、3個のパリティ検査多項式で表現されている。)式(30-1)と同様に、式(30-2)~式(30-(q-1))のそれぞれの式も時変周期がgなのでg個のパリティ検査多項式で表現される。

【0215】

ここで、式(30-1)のg個のパリティ検査多項式を式(30-1-0)、式(30-1-1)、式(30-1-2)、⋯、式(30-1-(g-2))、式(30-1-(g-1))と表現することにする。

【0216】

同様に、式(30-w)はg個のパリティ検査多項式で表現される(w=2, 3, ⋯, q-1)。ここで、式(30-w)のg個のパリティ検査多項式を式(30-w-0)、式(30-w-1)、式(30-w-2)、⋯、式(30-w-(g-2))、式(30-w-(g-1))と表現することにする。

【0217】

なお、式(30-1)~式(30-(q-1))において、 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 、⋯、 $X_{q-1,i}$ は、時点iにおける情報 X_1 、 X_2 、⋯、 X_{q-1} を示し、 P_i は時点iにおけるパリティPを示す。また、 $A_{X_r,k}(D)$ は、符号化率(r-1)/r(r=2, 3, ..., q(qは3以上の自然数))の時刻iとし、 $k=i \bmod g$ として求めたkのパリティ検査多項式における $X_r(D)$ の項である。また、 $B_k(D)$ は、符号化率(r-1)/rの時刻iとし $k=i \bmod g$ として求めたkのパリティ検査多項式におけるP(D)の項である。また、「 $i \bmod g$ 」は、iをgで除算した余りである。

【0218】

すなわち、式(30-1)は、符号化率1/2に対応する時変周期gのLDPC-CCのパリティ検査多項式であり、式(30-2)は、符号化率2/3に対応する時変周期gのLDPC-CCのパリティ検査多項式であり、⋯、式(30-(q-1))は、符号化率(q-1)/qに対応する時変周期gのLDPC-CCのパリティ検査多項式である。

10

20

30

40

50

【0219】

このようにして、特性が良好な符号化率 $1/2$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式である式 (30-1) を基礎として、符号化率 $2/3$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式 (30-2) を生成する。

【0220】

更に、符号化率 $2/3$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式 (30-2) を基礎として、符号化率 $3/4$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式 (30-3) を生成する。以降同様にして、符号化率 $(r-1)/r$ の LDPC-CC を基礎として、符号化率 $r/(r+1)$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式を生成する。 ($r = 2, 3, \dots, q-2, q-1$)

10

【0221】

以上のパリティ検査多項式の構成方法について別の表現をする。符号化率 $(y-1)/y$ である時変周期 g の LDPC-CC と、符号化率 $(z-1)/z$ である時変周期 g の LDPC-CC とを、考える。ただし、符号化器の回路の共用化と、復号化器の回路の共用化とを図る符号化率の中で最大の符号化率は $(q-1)/q$ であり、 g は 2 以上の整数、 y は 2 以上の整数、 z は 2 以上の整数とし、 $y < z \leq q$ の関係が成立するものとする。なお、符号化器の回路の共用化とは、符号化器内部の回路の共用化であり、符号化器と復号化器との回路の共用化ではない。

【0222】

このとき、式 (30-1) ~ (30-($q-1$)) の説明をする際に述べた g 個のパリティ検査多項式を表現した式 (30-w-0)、式 (30-w-1)、式 (30-w-2)、 \dots 、式 (30-w-($g-2$))、式 (30-w-($g-1$)) において、 $w = y-1$ としたときの g 個のパリティ検査多項式を式 (31-1) ~ 式 (31-g) であらわす。

20

【数 3 1】

$$A_{X1,0}(D)X_1(D) + A_{X2,0}(D)X_2(D) + \dots \quad (\theta = i \pmod{g}) \quad \dots (31-1)$$

$$+ A_{X_{y-1},0}(D)X_{y-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0$$

$$B_0(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,0}(D)X_r(D) = 0 \quad (\theta = i \pmod{g}) \quad \dots (31-1')$$

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + \dots \quad (l = i \pmod{g}) \quad \dots (31-2)$$

$$+ A_{X_{y-1},1}(D)X_{y-1}(D) + B_1(D)P(D) = 0$$

$$B_1(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,1}(D)X_r(D) = 0 \quad (l = i \pmod{g}) \quad \dots (31-2')$$

⋮

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots \quad (k = i \pmod{g}) \quad \dots (31 - (k + 1))$$

$$+ A_{X_{y-1},k}(D)X_{y-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0$$

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0 \quad (k = i \pmod{g}) \quad \dots (31 - (k + 1)')$$

⋮

$$A_{X1,g-1}(D)X_1(D) + A_{X2,g-1}(D)X_2(D) + \dots \quad (g-l = i \pmod{g}) \quad \dots (31 - g)$$

$$+ A_{X_{y-1},g-1}(D)X_{y-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0$$

$$B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,g-1}(D)X_r(D) = 0 \quad (g-l = i \pmod{g}) \quad \dots (31 - g')$$

【0 2 2 3】

式(31-1)～式(31-g)において、式(31-w)と式(31-w')は等価の式であり、以降で式(31-w)と記載されているところを式(31-w')と置き換えても良い(w = 1、2、・・・、g)。

【0 2 2 4】

そして、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明したように、時点jにおける情報X₁、X₂、・・・、X_{y-1}をX_{1,j}、X_{2,j}、・・・、X_{y-1,j}とあらわし、時点jにおけるパリティPをP_jとあらわし、u_j = (X_{1,j}、X_{2,j}、・・・、X_{y-1,j}、P_j)^Tとする。このとき、時点jの情報X_{1,j}、X_{2,j}、・・・、X_{y-1,j}及びパリティP_jは、

「j mod g = 0のとき、式(31-1)のパリティ検査多項式を満たす。」

「j mod g = 1のとき、式(31-2)のパリティ検査多項式を満たす。」

「j mod g = 2のとき、式(31-3)のパリティ検査多項式を満たす。」

⋮

「j mod g = kのとき、式(31-(k+1))のパリティ検査多項式を満たす。」

」

⋮

10

20

30

40

50

「 $j \bmod g = g - 1$ のとき、式 (3 1 g) のパリティ検査多項式を満たす。」
このとき、パリティ検査多項式と検査行列の関係は、上述の (良好な特性を有する L D P C - C C) で説明した場合と同様である。

【 0 2 2 5 】

次に、式 (3 0 1) ~ (3 0 - (q - 1)) の説明をする際に述べた g 個のパリティ検査多項式を表現した式 (3 0 - w - 0)、式 (3 0 - w - 1)、式 (3 0 - w - 2)、
・・・、式 (3 0 - w - (g - 2))、式 (3 0 - w - (g - 1)) において、 $w = z - 1$ としたときの g 個のパリティ検査多項式を式 (3 2 - 1) ~ 式 (3 2 - g) であらわす。
($y < z - q$ の関係から、式 (3 2 - 1) ~ 式 (3 2 - g) とあらわすことができる。

10

【 数 3 2 】

$$A_{X_{1,0}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,0}}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{X_{y-1,0}}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{X_{s,0}}(D)X_s(D) + \dots + A_{X_{z-1,0}}(D)X_{z-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0 \\ (\theta = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - 1)$$

$$B_0(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{X_{r,0}}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{X_{s,0}}(D)X_s(D) = 0 \\ (\theta = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - 1')$$

$$A_{X_{1,1}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,1}}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{X_{y-1,1}}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{X_{s,1}}(D)X_s(D) + \dots + A_{X_{z-1,1}}(D)X_{z-1}(D) + B_1(D)P(D) = 0 \\ (l = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - 2)$$

$$B_1(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{X_{r,1}}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{X_{s,1}}(D)X_s(D) = 0 \\ (l = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - 2')$$

⋮

20

30

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,k}}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{X_{y-1,k}}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{X_{s,k}}(D)X_s(D) + \dots + A_{X_{z-1,k}}(D)X_{z-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \\ (k = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - (k + 1))$$

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{X_{r,k}}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{X_{s,k}}(D)X_s(D) = 0 \\ (k = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - (k + 1)')$$

⋮

40

$$A_{X_{1,g-1}}(D)X_1(D) + A_{X_{2,g-1}}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{X_{y-1,g-1}}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{X_{s,g-1}}(D)X_s(D) + \dots + A_{X_{z-1,g-1}}(D)X_{z-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0 \\ (g-l = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - g)$$

$$B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{X_{r,g-1}}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{X_{s,g-1}}(D)X_s(D) = 0 \\ (g-l = i \bmod g) \quad \dots (3 2 - g')$$

【 0 2 2 6 】

50

式(32-1)~式(32-g)において、式(32-w)と式(32-w')は等価の式であり、以降で式(32-w)と記載されているところを式(32-w')と置き換えても良い(w=1, 2, ..., g)。

【0227】

そして、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明したように、時点jにおける情報X₁, X₂, ..., X_{y-1}, ..., X_s, ..., X_{z-1}をX_{1,j}, X_{2,j}, ..., X_{y-1,j}, ..., X_{s,j}, ..., X_{z-1,j}とあらわし、時点jにおけるパリティPをP_jとあらわし、u_j=(X_{1,j}, X_{2,j}, ..., X_{y-1,j}, ..., X_{s,j}, ..., X_{z-1,j}, P_j)^Tとする(したがって、y<z-qの関係から、s=y, y+1, y+2, y+3, ..., z-3, z-2, z-1となる。)。このとき、時点jの情報X_{1,j}, X_{2,j}, ..., X_{y-1,j}, ..., X_{s,j}, ..., X_{z-1,j}及びパリティP_jは、

「j mod g = 0のとき、式(32-1)のパリティ検査多項式を満たす。」

「j mod g = 1のとき、式(32-2)のパリティ検査多項式を満たす。」

「j mod g = 2のとき、式(32-3)のパリティ検査多項式を満たす。」

・
・
・

「j mod g = kのとき、式(32-(k+1))のパリティ検査多項式を満たす。」

・
・
・

「j mod g = g-1のとき、式(32-g)のパリティ検査多項式を満たす。」このとき、パリティ検査多項式と検査行列の関係は、上述の(良好な特性を有するLDPC-CC)で説明した場合と同様である。

【0228】

上記関係が成立する場合において、符号化率(y-1)/yにおける時変周期gのLDPC-CCと、符号化率(z-1)/zにおける時変周期gのLDPC-CCとにおいて、以下の条件が成立する場合、符号化率(y-1)/yにおける時変周期gのLDPC-CCの符号化器と、符号化率(z-1)/zにおける時変周期gのLDPC-CCの符号化器とが、回路の共用化ができ、かつ、符号化率(y-1)/yにおける時変周期gのLDPC-CCの復号化器と、符号化率(z-1)/zにおける時変周期gのLDPC-CCの復号化器とが、回路の共用化ができる。その条件は、以下のとおりである。

【0229】

まず、式(31-1)と式(32-1)とでは、以下の関係が成立する。

「式(31-1)のA_{x₁,0}(D)と式(32-1)のA_{x₁,0}(D)とは、等号が成立する。」

・
・
・

「式(31-1)のA_{x_f,0}(D)と式(32-1)のA_{x_f,0}(D)とは、等号が成立する。」

・
・
・

「式(31-1)のA_{x_{y-1},0}(D)と式(32-1)のA_{x_{y-1},0}(D)とは、等号が成立する。」

つまり、上記関係はf=1, 2, 3, ..., y-1で成立する。

【0230】

10

20

30

40

50

また、パリティに対しても以下の関係が成立する。

「式(31 1)の $B_0(D)$ と式(32 1)の $B_0(D)$ とは、等号が成立する。」

【0231】

同様に、式(31 2)と式(32 - 2)では以下の関係が成立する。

「式(31 2)の $A_{x_1, 1}(D)$ と式(32 2)の $A_{x_1, 1}(D)$ とは、等号が成立する。」

・
・
・

「式(31 2)の $A_{x_f, 1}(D)$ と式(32 2)の $A_{x_f, 1}(D)$ とは、等号が成立する。」 10

・
・
・

「式(31 2)の $A_{x_{y-1}, 1}(D)$ と式(32 2)の $A_{x_{y-1}, 1}(D)$ とは、等号が成立する。」

つまり、上記関係は $f = 1, 2, 3, \dots, y - 1$ で成立する。

【0232】

また、パリティに対しても以下の関係が成立する。

「式(31 2)の $B_1(D)$ と式(32 2)の $B_1(D)$ とは、等号が成立する。」 20

(略)

【0233】

同様に、式(31 h)と式(32 - h)とでは、以下の関係が成立する。

「式(31 h)の $A_{x_1, h-1}(D)$ と式(32 h)の $A_{x_1, h-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

・
・
・

「式(31 h)の $A_{x_f, h-1}(D)$ と式(32 h)の $A_{x_f, h-1}(D)$ とは、等号が成立する。」 30

・
・
・

「式(31 h)の $A_{x_{y-1}, h-1}(D)$ と式(32 h)の $A_{x_{y-1}, h-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

つまり、上記関係は $f = 1, 2, 3, \dots, y - 1$ で成立する。

【0234】

また、パリティに対しても以下の関係が成立する。

「式(31 h)の $B_{h-1}(D)$ と式(32 h)の $B_{h-1}(D)$ とは、等号が成立する。」 40

(略)

【0235】

同様に、式(31 g)と式(32 - g)とでは、以下の関係が成立する。

「式(31 g)の $A_{x_1, g-1}(D)$ と式(32 g)の $A_{x_1, g-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

・

・
・
・

「式(31 g)の $A_{x f, g-1}(D)$ と式(32 g)の $A_{x f, g-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

「式(31 g)の $A_{x y-1, g-1}(D)$ と式(32 g)の $A_{x y-1, g-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

つまり、上記関係は $f = 1, 2, 3, \dots, y-1$ で成立する。

10

【0236】

また、パリティに対しても以下の関係が成立する。

「式(31 g)の $B_{g-1}(D)$ と式(32 g)の $B_{g-1}(D)$ とは、等号が成立する。」

(よって、 $h = 1, 2, 3, \dots, g-2, g-1, g$ となる。)

【0237】

以上のような関係が成立した場合、符号化率 $(y-1)/y$ における時変周期 g の LDPC-CC の符号化器と符号化率 $(z-1)/z$ における時変周期 g の LDPC-CC の符号化器とが、回路の共用化ができ、かつ、符号化率 $(y-1)/y$ における時変周期 g の LDPC-CC の復号化器と符号化率 $(z-1)/z$ における時変周期 g の LDPC-CC の復号化器とが、回路の共用化ができる。ただし、符号化器の回路の共用方法、及び、復号化器の回路の共用化方法については、以降の(符号化器、復号化器の構成)で詳しく説明する。

20

【0238】

上述の条件を満足した、時変周期 3、対応する符号化率が $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ の LDPC-CC のパリティ検査多項式の一例を表 5 に示す。ただし、パリティ検査多項式の形式は、表 3 の形式と同様の形式であらわしている。これにより、送信装置、受信装置が、符号化率が $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ を対応した場合、(または、4つの符号化率のうち2つ以上の符号化率を送信装置、受信装置が対応した場合、)演算規模(回路規模)の低減(Distributed codesでありながら、符号化器の回路の共用化と、復号化器の回路の共用化とができるため、回路規模を低減することができる)、及び、受信装置が高いデータの受信品質を得ることができる。

30

【表5】

符号	パリティ検査多項式
時変周期3、 符号化率1/2の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$
時変周期3、 符号化率2/3の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$
時変周期3、 符号化率3/4の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D)$ $+ (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$
時変周期3、 符号化率5/6の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D)$ $+ (D^{250} + D^{197} + 1)X_4(D) + (D^{295} + D^{113} + 1)X_5(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D)$ $+ (D^{220} + D^{146} + 1)X_4(D) + (D^{311} + D^{115} + 1)X_5(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D)$ $+ (D^{490} + D^{239} + 1)X_4(D) + (D^{394} + D^{278} + 1)X_5(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$

10

20

【0239】

表5の時変周期3のLDPC-CCが、上記条件を満たしていることを説明する。例えば、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCと、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCと、について考える。つまり、(31-1)~(31-g)においてy=2となり、(32-1)~(32-g)においてz=3となる。

30

【0240】

すると、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31-1)の $A_{x_1,0}(D)$ は $D^{373} + D^{56} + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから、式(32-1)の $A_{x_1,0}(D)$ は $D^{373} + D^{56} + 1$ となり「式(31-1)の $A_{x_1,0}(D)$ と式(32-1)の $A_{x_1,0}(D)$ とは、等号が成立する。」

40

【0241】

また、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31-1)の $B_0(D)$ は $D^{406} + D^{218} + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから、式(32-1)の $B_0(D) = D^{406} + D^{218} + 1$ となり、「式(31-1)の $B_0(D)$ と式(32-1)の $B_0(D)$ とは、等号が成立する。」

【0242】

同様に、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31-2)の $A_{x_1,1}(D) = D^{457} + D^{197} + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから式(32-2)の $A_{x_1,1}(D) = D^{457} + D^{197} + 1$

50

$D^9 + 1$ となり、「式(31 2)の $A_{x_1, 1}(D)$ と式(32 2)の $A_{x_1, 1}(D)$ とは、等号が成立する。」

【0243】

また、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31 2)の $B_1(D)$ は $D^4 + D^2 + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから、式(32 2)の $B_1(D) = D^4 + D^2 + 1$ となり、「式(31 2)の $B_1(D)$ と式(32 2)の $B_1(D)$ とは、等号が成立する。」

【0244】

同様に、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31-3)の $A_{x_1, 2}(D)$ は $D^4 + D^7 + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから、式(32 3)の $A_{x_1, 2}(D) = D^4 + D^7 + 1$ となり、「式(31 3)の $A_{x_1, 2}(D)$ と式(32 3)の $A_{x_1, 2}(D)$ とは、等号が成立する。」

10

【0245】

また、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCから、式(31 3)の $B_2(D)$ は $D^2 + D^1 + 1$ となり、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCから、式(32 3)の $B_2(D) = D^2 + D^1 + 1$ となり、「式(31 3)の $B_2(D)$ と式(32 3)の $B_2(D)$ とは、等号が成立する。」

【0246】

20

以上から分かるように、表5の符号化率1/2における時変周期3のLDPC-CCと、表5の符号化率2/3における時変周期3のLDPC-CCとは、上記の条件を満たしていることが確認できる。

【0247】

以上と同様に、表5の時変周期3のLDPC-CCにおいて、符号化率1/2、2/3、3/4、5/6のうち、2つの異なる符号化率の時変周期3のLDPC-CCを選択し、上記の条件を満たすかの検証を行うと、いずれの選択パターンにおいても、上記の条件を満たすことが確認できる。

【0248】

なお、LDPC-CCは畳み込み符号の一種であるため、情報ビットの復号における信頼度を確保するために、ターミネーションやテイルバイティングが必要となる。ここでは、データ(情報)Xの状態をゼロにする(以下「Information-zero-termination」という)方法を行う場合について考える。

30

【0249】

「Information-zero-termination」の方法を示した図が、図10である。図10に示したように、送信する情報系列のうち最後に送信する情報ビット(最終の送信ビット)が $X_n(110)$ である。この最終の情報ビット $X_n(110)$ に伴い符号化器が生成するパリティビットまでしか送信装置がデータを送信しなかった場合に、受信装置が復号を行った場合、情報の受信品質が大きく劣化する。この問題を解決するために、最終の情報ビット $X_n(110)$ 以降の情報ビット(「仮想の情報ビット」と呼ぶ)を「0」と仮定して符号化を行い、パリティビット(130)を生成する。

40

【0250】

このとき、仮想の情報ビット(120)は、受信装置が「0」と分かっているので、送信装置は仮想の情報ビット(120)を送信せず、仮想の情報ビット(120)によって生成されたパリティビット(130)のみを送信する(このパリティビットは送信しなければならない冗長なビットになる。したがって、このパリティビットのことを冗長ビットと呼ぶ)。すると新たな課題として、データの伝送効率の向上及びデータの受信品質の確保の両立を図るためには、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビット(120)によって生成されたパリティビット(130)の数をできる限り少なくする必要がある。

50

【0251】

このとき、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするためには、パリティ検査多項式のパリティに関わる項が重要な役割を果たしていることがシミュレーションにより確認された。

【0252】

一例として、時変周期 m (m は整数、かつ、 $m \geq 2$)、符号化率が $1/2$ のときの LDPC-CC を例に説明する。時変周期 m のとき、必要となる m 個のパリティ検査多項式を次式であらわす。

【数33】

$$A_{X_{1,i}}(D)X_1(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (33)$$

10

ただし、 $i = 0, 1, \dots, m-1$ とする。また、 $A_{X_{1,i}}(D)$ に存在する D の次数は 0 以上の整数しか存在せず (例えば、 $A_{X_{1,1}}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ のように、 D について存在する次数は $15, 3, 0$ のように、全てが 0 以上の次数で構成される)、 $B_i(D)$ に存在する D の次数も 0 以上の次数しか存在しないものとする (例えば、 $B_i(D) = D^{18} + D^4 + D^0$ のように、 D について存在する次数は $18, 4, 0$ のように、全てが 0 以上の次数で構成される)。

【0253】

このとき、時刻 j において、次式のパリティ検査多項式が成立する。

【数34】

$$A_{X_{1,k}}(D)X_1(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = j \bmod m) \quad \dots (34)$$

20

【0254】

そして、 $X_1(D)$ において、 $A_{X_{1,1}}(D)$ における D の最も高い次数を α_1 (例えば、 $A_{X_{1,1}}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、 D について次数 15 、次数 3 、次数 0 が存在し、 D の最も高い次数 $\alpha_1 = 15$ となる。)、 $A_{X_{1,2}}(D)$ における D の最も高い次数を α_2 、 \dots 、 $A_{X_{1,i}}(D)$ における D の最も高い次数を α_i 、 \dots 、 $A_{X_{1,m-1}}(D)$ における D の最も高い次数を α_{m-1} とする。そして、 α_i において ($i = 0, 1, 2, \dots, m-1$) 最も大きい値を α とする。

【0255】

一方、 $P(D)$ において、 $B_1(D)$ における D の最も高い次数を β_1 、 $B_2(D)$ における D の最も高い次数を β_2 、 \dots 、 $B_i(D)$ における D の最も高い次数を β_i 、 \dots 、 $B_{m-1}(D)$ における D の最も高い次数を β_{m-1} とする。そして、 β_i において ($i = 0, 1, 2, \dots, m-1$) 最も大きい値を β とする。

30

【0256】

すると、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするためには、 α が β の $1/2$ 以下とすると良い。

【0257】

ここでは、符号化率 $1/2$ の場合について説明したが、それ以上の符号化率の場合についても同様に考えることができる。このとき、特に、符号化率 $4/5$ 以上の場合、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするという条件を満たすための必要な冗長ビットが非常に大きくなる傾向があり、上記と同様に考えた条件というものが、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするためには重要となる。

40

【0258】

一例として、時変周期 m (m は整数、かつ、 $m \geq 2$)、符号化率が $4/5$ のときの LDPC-CC を例に説明する。時変周期 m のとき、必要となる m 個のパリティ検査多項式を次式であらわす。

【数35】

$$A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + A_{X3,i}(D)X_3(D) + A_{X4,i}(D)X_4(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (35)$$

ただし、 $i = 0, 1, \dots, m - 1$ とする。また、 $A_{X1,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず（例えば、 $A_{X1,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ のように、Dについて存在する次数は15、3、0のように、全てが0以上の次数で構成される）、同様に、 $A_{X2,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 $A_{X3,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 $A_{X4,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 $B_i(D)$ に存在するDの次数も0以上の次数しか存在しないものとする（例えば、 $B_i(D) = D^{18} + D^4 + D^0$ のように、Dについて存在する次数は18、4、0のように、全てが0以上の次数で構成される）。

10

【0259】

このとき、時刻jにおいて、次式のパリティ検査多項式が成立する。

【数36】

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + A_{X3,k}(D)X_3(D) + A_{X4,k}(D)X_4(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \text{ mod } m) \quad \dots (36)$$

【0260】

そして、 $X_1(D)$ において、 $A_{X1,1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $1,1$ （例えば、 $A_{X1,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $1,1 = 15$ となる。）、 $A_{X1,2}(D)$ におけるDの最も高い次数を $1,2$ 、 \dots 、 $A_{X1,i}(D)$ におけるDの最も高い次数を $1,i$ 、 \dots 、 $A_{X1,m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $1,m-1$ とする。そして、 $1,i$ において（ $i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$ ）最も大きい値を 1 とする。

20

【0261】

$X_2(D)$ において、 $A_{X2,1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $2,1$ （例えば、 $A_{X2,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $2,1 = 15$ となる。）、 $A_{X2,2}(D)$ におけるDの最も高い次数を $2,2$ 、 \dots 、 $A_{X2,i}(D)$ におけるDの最も高い次数を $2,i$ 、 \dots 、 $A_{X2,m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $2,m-1$ とする。そして、 $2,i$ において（ $i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$ ）最も大きい値を 2 とする。

30

【0262】

$X_3(D)$ において、 $A_{X3,1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $3,1$ （例えば、 $A_{X3,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $3,1 = 15$ となる。）、 $A_{X3,2}(D)$ におけるDの最も高い次数を $3,2$ 、 \dots 、 $A_{X3,i}(D)$ におけるDの最も高い次数を $3,i$ 、 \dots 、 $A_{X3,m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $3,m-1$ とする。そして、 $3,i$ において（ $i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$ ）最も大きい値を 3 とする。

40

【0263】

$X_4(D)$ において、 $A_{X4,1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $4,1$ （例えば、 $A_{X4,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $4,1 = 15$ となる。）、 $A_{X4,2}(D)$ におけるDの最も高い次数を $4,2$ 、 \dots 、 $A_{X4,i}(D)$ におけるDの最も高い次数を $4,i$ 、 \dots 、 $A_{X4,m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $4,m-1$ とする。そして、 $4,i$ において（ $i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$ ）最も大きい値を 4 とする。

50

【0264】

P(D)において、 $B_1(D)$ におけるDの最も高い次数を α_1 、 $B_2(D)$ におけるDの最も高い次数を α_2 、 \dots 、 $B_i(D)$ におけるDの最も高い次数を α_i 、 \dots 、 $B_{m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を α_{m-1} とする。そして、 α_i において($i = 0, 1, 2, \dots, m-1$)最も大きい値を α とする。

【0265】

すると、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするためには、

「 α_1 の1/2以下、かつ、 α_2 の1/2以下、かつ、 α_3 の1/2以下、かつ、 α_4 の1/2以下とする」

と良く、特に、良好なデータの受信品質を確保できる可能性が高い。

【0266】

また、

「 α_1 の1/2以下、または、 α_2 の1/2以下、または、 α_3 の1/2以下、または、 α_4 の1/2以下とする」

としても、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくすることができるが、若干、データの受信品質の低下を招く可能性がある(ただし、必ず、データの受信品質の低下を招くというわけではない)。

【0267】

よって、時変周期 m (m は整数、かつ、 $m \geq 2$)、符号化率が $(n-1)/n$ のときのLDPC-CCのときは以下のように考えることができる。

【0268】

時変周期 m のとき、必要となる m 個のパリティ検査多項式を次式であらわす。

【数37】

$$A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + \dots \dots (37) \\ + A_{Xn-1,i}(D)X_{n-1}(D) + B_i(D)P(D) = 0$$

ただし、 $i = 0, 1, \dots, m-1$ とする。また、 $A_{X1,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず(例えば、 $A_{X1,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ のように、Dについて存在する次数は15、3、0のように、全てが0以上の次数で構成される)、同様に、 $A_{X2,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 $A_{X3,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 \dots 、 $A_{Xu,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 \dots 、 $A_{Xn-1,i}(D)$ に存在するDの次数は0以上の整数しか存在せず、 $B_i(D)$ に存在するDの次数も0以上の次数しか存在しないものとする(例えば、 $B_i(D) = D^{18} + D^4 + D^0$ のように、Dについて存在する次数は18、4、0のように、全てが0以上の次数で構成される)($u = 1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$)。

【0269】

このとき、時刻 j において、次式のパリティ検査多項式が成立する。

【0270】

【数38】

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots \dots (38) \\ + A_{Xn-1,k}(D)X_{n-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m)$$

【0271】

そして、 $X_1(D)$ において、 $A_{X1,1}(D)$ におけるDの最も高い次数を $\alpha_{1,1}$ (例えば、 $A_{X1,1}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $\alpha_{1,1} = 15$ となる。)、 $A_{X1,2}(D)$ に

10

20

30

40

50

におけるDの最も高い次数を $a_{1,2}, \dots, A_{X_{1,i}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{1,i}, \dots, A_{X_{1,m-1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{1,m-1}$ とする。そして、 $a_{1,i}$ において ($i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$) 最も大きい値を a_1 とする。

【0272】

$X_2(D)$ において、 $A_{X_{2,1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{2,1}$ (例えば、 $A_{X_{2,1}}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $a_{2,1} = 15$ となる。)、 $A_{X_{2,2}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{2,2}, \dots, A_{X_{2,i}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{2,i}, \dots, A_{X_{2,m-1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{2,m-1}$ とする。そして、 $a_{2,i}$ において ($i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$) 最も大きい値を a_2 とする。

10

【0273】

・
・
・

【0274】

$X_u(D)$ において、 $A_{X_{u,1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{u,1}$ (例えば、 $A_{X_{u,1}}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $a_{u,1} = 15$ となる。)、 $A_{X_{u,2}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{u,2}, \dots, A_{X_{u,i}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{u,i}, \dots, A_{X_{u,m-1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{u,m-1}$ とする。そして、 $a_{u,i}$ において ($i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$) 最も大きい値を a_u とする。($u = 1, 2, 3, \dots, n - 2, n - 1$)

20

・
・
・

【0275】

$X_{n-1}(D)$ において、 $A_{X_{n-1,1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{n-1,1}$ (例えば、 $A_{X_{n-1,1}}(D) = D^{15} + D^3 + D^0$ とすると、Dについて次数15、次数3、次数0が存在し、Dの最も高い次数 $a_{n-1,1} = 15$ となる。)、 $A_{X_{n-1,2}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{n-1,2}, \dots, A_{X_{n-1,i}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{n-1,i}, \dots, A_{X_{n-1,m-1}}(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_{n-1,m-1}$ とする。そして、 $a_{n-1,i}$ において ($i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$) 最も大きい値を a_{n-1} とする。

30

【0276】

$P(D)$ において、 $B_1(D)$ におけるDの最も高い次数を a_1 、 $B_2(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_2, \dots, B_i(D)$ におけるDの最も高い次数を $a_i, \dots, B_{m-1}(D)$ におけるDの最も高い次数を a_{m-1} とする。そして、 a_i において ($i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$) 最も大きい値を a とする。

40

【0277】

すると、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくするためには、

「 a_1 が a_1 の $1/2$ 以下、かつ、 a_2 が a_2 の $1/2$ 以下、かつ、 \dots 、かつ、 a_u が a_u の $1/2$ 以下、かつ、 \dots 、かつ、 a_{n-1} が a_{n-1} の $1/2$ 以下とする ($u = 1, 2, 3, \dots, n - 2, n - 1$)」

とすると良く、特に、良好なデータの受信品質を確保できる可能性が高い。

【0278】

また、

「 a_1 が a_1 の $1/2$ 以下、または、 a_2 が a_2 の $1/2$ 以下、または、 \dots 、または、

50

が u の $1/2$ 以下、または、 \dots 、または、 u が $n-1$ の $1/2$ 以下とする ($u = 1, 2, 3, \dots, n-2, n-1$)」

としても、データの受信品質を確保しつつ、仮想の情報ビットによって生成されたパリティビットの数をできる限り少なくすることができるが、若干、データの受信品質の低下を招く可能性がある(ただし、必ず、データの受信品質の低下を招くというわけではない)。

【0279】

表6に、データの受信品質を確保しつつ、冗長ビットを少なくすることができる時変周期3、符号化率が $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $4/5$ のLDPC-CCのパリティ検査多項式の一例を示す。表6の時変周期3のLDPC-CCにおいて、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $4/5$ のうち、2つの異なる符号化率の時変周期3のLDPC-CCを選択したとき、既に説明した符号化器及び復号化器を共通化することができる条件を満たすか否か検証すると、いずれの選択パターンにおいても、表5の時変周期3のLDPC-CCと同様に、符号化器及び復号化器を共通化することができる条件を満たすことが確認できる。

10

【0280】

なお、表5の符号化率 $5/6$ のとき、冗長ビットが1000ビット以上必要であったが、表6の符号化率 $4/5$ のとき、冗長ビットは500ビット以下となることが確認できている。

【0281】

また、表6の符号では、符号化率ごとに異なる数の冗長ビット(「Information-zero-termination」のために付加された冗長ビット)となる。このとき、符号化率が大きくなるにつれ冗長ビットの数は多くなる傾向にある。ただし、必ず、その傾向になるということではない。また、符号化率が大きく、かつ、情報サイズ(Information size)が大きいと、冗長ビットの数が多くなる傾向がある。つまり、表5、表6のように符号を作成した場合、符号化率 $(n-1)/n$ の符号と符号化率 $(m-1)/m$ の符号があった場合($n > m$)、符号化率 $(n-1)/n$ の符号に必要な冗長ビット(「Information-zero-termination」のために付加された冗長ビット)の数は、符号化率 $(m-1)/m$ の符号に必要な冗長ビット(「Information-zero-termination」のために付加された冗長ビット)の数より多くなる傾向があり、また、符号化率 $(n-1)/n$ の符号に必要な冗長ビットの数は、情報サイズが小さい場合、符号化率 $(m-1)/m$ の符号に必要な冗長ビットの数より多くなる傾向がある。ただし、必ずこのような傾向になるということではない。

20

30

【表 6】

符号	パリティ検査多項式
時変周期 3、 符号化率 1/2 の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$
時変周期 3、 符号化率 2/3 の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$
時変周期 3、 符号化率 3/4 の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$
時変周期 3、 符号化率 4/5 の LDPC-CC	「検査多項式#1」： $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{310} + D^{113} + 1)X_4(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#2」： $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{394} + D^{188} + 1)X_4(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ 「検査多項式#3」： $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D)$ $+ (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{239} + D^{67} + 1)X_4(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$

10

20

30

【0282】

以上、符号化器の回路の共用化と、復号化器の回路の共用化とを図る符号化率の中で最大の符号化率は $(q - 1) / q$ とし、符号化率 $(r - 1) / r$ ($r = 2, 3, \dots, q$ (q は 3 以上の自然数)) の時変周期 g の LDPC-CC のパリティ検査多項式について説明した (g は 2 以上の整数)。

【0283】

ここで、少なくとも符号化率 $(y - 1) / y$ の時変周期 g の LDPC-CC 及び符号化率 $(z - 1) / z$ の時変周期 g の LDPC-CC の符号化器を具備する送信装置 (y, z) と、少なくとも符号化率 $(y - 1) / y$ の時変周期 g の LDPC-CC 及び符号化率 $(z - 1) / z$ の時変周期 g の LDPC-CC の復号化器を具備する受信装置と、演算規模 (回路規模) を低減できる時変周期 g の LDPC-CC のパリティ検査多項式の生成方法と、パリティ検査多項式の特徴について説明した。

40

【0284】

ここで、送信装置は、少なくとも符号化率 $(y - 1) / y$ の時変周期 g の LDPC-CC の符号化系列を送送するための変調信号、または、符号化率 $(z - 1) / z$ の時変周期 g の LDPC-CC の符号化系列を送送するための変調信号のいずれかの変調信号を生成することができる送信装置である。

【0285】

また、受信装置は、少なくとも符号化率 $(y - 1) / y$ の時変周期 g の LDPC-CC の符号化系列を含んだ受信信号、または、符号化率 $(z - 1) / z$ の時変周期 g の LDPC-CC

50

C - C Cの符号化系列を含んだ受信信号のいずれかの受信信号を復調し、復号する受信装置である。

【0286】

本発明で提案した時変周期 g の LDPC - C Cを用いることにより、符号化器を具備する送信装置と復号化器を具備する受信装置との演算規模（回路規模）を低減することができる（回路の共通化を行うことができる）という効果を有する。

【0287】

更に、本発明で提案した時変周期 g の LDPC - C Cを用いることにより、いずれの符号化率においても、受信装置は高いデータの受信品質を得ることができるという効果を有する。なお、符号化器の構成、復号化器の構成、及びその動作については以下で詳しく説明する。

10

【0288】

また、式(30-1)~式(30-($q-1$))では、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 \dots 、 $(q-1)/q$ の場合の時変周期 g の LDPC - C Cを説明したが、符号化器を具備する送信装置、及び復号化器を具備する受信装置が、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 \dots 、 $(q-1)/q$ の全てをサポートする必要はなく、少なくとも2つ以上の異なる符号化率をサポートしていれば、送信装置及び受信装置の演算規模（回路規模）の低減（符号化器、復号化器の回路の共通化）、及び、受信装置が高いデータの受信品質を得ることができるという効果を得ることができる。

【0289】

20

また、送受信装置（符号化器/復号化器）がサポートする符号化率が、全て、本実施の形態で述べた方法に基づいた符号である場合、サポートする符号化率のうち最も高い符号化率の符号化器/復号化器を持つことで、容易に全ての符号化率の符号化、復号化に対応することができ、このとき、演算規模削減の効果が非常に大きい。

【0290】

また、本実施の形態では、実施の形態1で説明した（良好な特性を有する LDPC - C C）の符号をもとに説明したが、必ずしも上述の（良好な特性を有する LDPC - C C）で説明した条件を満たす必要はなく、上述の（良好な特性を有する LDPC - C C）で述べた形式のパリティ検査多項式に基づく時変周期 g の LDPC - C Cであれば、同様に本実施の形態を実施することができる（ g は2以上の整数）。これについては、(31-1)~(31- g)と(32-1)~(32- g)との関係から、明らかである。

30

【0291】

当然であるが、例えば、送受信装置（符号化器/復号化器）が符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ に対応しており、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ は上記の規則に基づいた LDPC - C Cを使用し、符号化率 $5/6$ は、上記の規則に基づかない符号を使用していた場合、符号化器/復号化器は符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ に対しては回路の共用化が可能であり、符号化率 $5/6$ に対しては、回路の共用化が困難となる。

【0292】

（実施の形態3）

本実施の形態では、実施の形態2で説明した探索方法を用いて形成した LDPC - C Cの符号化器の回路の共用化方法と、復号化器の回路の共用化方法とについて詳しく説明する。

40

【0293】

はじめに、本発明に係る、符号化器の回路の共用化と、復号化器の回路の共用化とを図る符号化率のうち最も高い符号化率を $(q-1)/q$ とし（例えば、送受信装置が対応する符号化率を $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ としたとき、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ の符号は、符号化器/復号化器において回路を共通化し、符号化率 $5/6$ は符号化器/復号化器において回路を共通化対象としないものとする。このとき、上記で述べた最も高い符号化率 $(q-1)/q$ は $3/4$ となる。）、複数の符号化率 $(r-1)/r$ (r は2以上 q 以下の整数)に対応可能な時変周期 g (g は自然数)の LDPC - C Cを作成す

50

る符号化器について説明する。

【0294】

図11は、本実施の形態に係る符号化器の要部構成の一例を示すブロック図である。なお、図11に示す符号化器200は、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ に対応可能な符号化器である。図11の符号化器200は、情報生成部210、第1情報演算部220-1、第2情報演算部220-2、第3情報演算部220-3、パリティ演算部230、加算部240、符号化率設定部250及びウェイト制御部260を主に備える。

【0295】

情報生成部210は、符号化率設定部250から指定される符号化率に応じて、時点 i の情報 $X_{1,i}$ 、情報 $X_{2,i}$ 、情報 $X_{3,i}$ を設定する。例えば、符号化率設定部250が符号化率を $1/2$ に設定した場合、情報生成部210は、時点 i の情報 $X_{1,i}$ に入力情報データ S_j を設定し、時点 i の情報 $X_{2,i}$ 及び時点 i の情報 $X_{3,i}$ に0を設定する。

10

【0296】

また、符号化率 $2/3$ の場合、情報生成部210は、時点 i の情報 $X_{1,i}$ に入力情報データ S_j を設定し、時点 i の情報 $X_{2,i}$ に入力情報データ S_{j+1} を設定し、時点 i の情報 $X_{3,i}$ に0を設定する。

【0297】

また、符号化率 $3/4$ の場合、情報生成部210は、時点 i の情報 $X_{1,i}$ に入力情報データ S_j を設定し、時点 i の情報 $X_{2,i}$ に入力情報データ S_{j+1} を設定し、時点 i の情報 $X_{3,i}$ に入力情報データ S_{j+2} を設定する。

20

【0298】

このようにして、情報生成部210は、符号化率設定部250によって設定された符号化率に応じて、入力情報データを時点 i の情報 $X_{1,i}$ 、情報 $X_{2,i}$ 、情報 $X_{3,i}$ を設定し、設定後の情報 $X_{1,i}$ を第1情報演算部220-1に向けて出力し、設定後の情報 $X_{2,i}$ を第2情報演算部220-2に向けて出力し、設定後の情報 $X_{3,i}$ を第3情報演算部220-3に向けて出力する。

【0299】

第1情報演算部220-1は、式(30-1)の $A_{X_{1,k}}(D)$ にしたがって、 $X_1(D)$ を算出する。同様に、第2情報演算部220-2は、式(30-2)の $A_{X_{2,k}}(D)$ にしたがって、 $X_2(D)$ を算出する。同様に、第3情報演算部220-3は、式(30-3)の $A_{X_{3,k}}(D)$ にしたがって、 $X_3(D)$ を算出する。

30

【0300】

このとき、実施の形態2で説明したように、(31-1)～(31-g)と(32-1)～(32-g)とにおいて満足する条件から、符号化率が切り替わったとしても、第1情報演算部220-1の構成を変更する必要がなく、また、同様に、第2情報演算部220-2の構成を変更する必要がなく、また、第3情報演算部220-3の構成を変更する必要はない。

【0301】

したがって、複数の符号化率に対応する場合は、符号化器の回路が共用可能な符号化率の中で最も高い符号化率の符号化器の構成を基礎にして、上記のような操作で、他の符号化率に対応することができる。つまり、符号化器の主要な部分である第1情報演算部220-1、第2情報演算部220-2、及び、第3情報演算部220-3は、符号化率に関わらず共通化することができるという利点を、実施の形態2において説明したLDPC-CCは有することになる。そして、例えば、表5に示したLDPC-CCは、符号化率に関わらず、良好なデータの受信品質を与えるという利点を持つ。

40

【0302】

図12に、第1情報演算部220-1の内部構成を示す。図12の第1情報演算部220-1は、シフトレジスタ221-1～221-M、ウェイト乗算器222-0～222-M、及び、加算部223を備える。

50

【0303】

シフトレジスタ 221-1 ~ 221-M は、それぞれ、 $X_{1,i-t}$ ($t=0, \dots, M-1$) を保持するレジスタであり、次の入力が入ってくるタイミングで、保持している値を右隣のシフトレジスタに送出し、左隣のシフトレジスタから出力されてきた値を保持する。

【0304】

ウェイト乗算器 222-0 ~ 222-M は、ウェイト制御部 260 から出力される制御信号にしたがって、 $h_1^{(m)}$ の値を 0 又は 1 に切り替える。

【0305】

加算部 223 は、ウェイト乗算器 222-0 ~ 222-M の出力に対して、排他的論理和演算を行い、演算結果 $Y_{1,i}$ を算出し、算出した $Y_{1,i}$ を、図 11 の加算部 240 に向けて出力する。

10

【0306】

なお、第 2 情報演算部 220-2 及び第 3 情報演算部 220-3 の内部構成は、第 1 情報演算部 220-1 と同様であるので、説明を省略する。第 2 情報演算部 220-2 は、第 1 情報演算部 220-1 と同様にして、演算結果 $Y_{2,i}$ を算出し、算出した $Y_{2,i}$ を加算部 240 に向けて出力する。第 3 情報演算部 220-3 は、第 1 情報演算部 220-1 と同様にして、演算結果 $Y_{3,i}$ を算出し、算出した $Y_{3,i}$ を、図 11 の加算部 240 に向けて出力する。

【0307】

図 11 のパリティ演算部 230 は、式 (30-1) ~ 式 (30-3) の $B_k(D)$ にしたがって、 $P(D)$ を算出する。

20

【0308】

図 13 に、図 11 のパリティ演算部 230 の内部構成を示す。図 13 のパリティ演算部 230 は、シフトレジスタ 231-1 ~ 231-M、ウェイト乗算器 232-0 ~ 232-M、及び、加算部 233 を備える。

【0309】

シフトレジスタ 231-1 ~ 231-M は、それぞれ、 P_{i-t} ($t=0, \dots, M-1$) を保持するレジスタであり、次の入力が入ってくるタイミングで、保持している値を右隣のシフトレジスタに送出し、左隣のシフトレジスタから出力されてきた値を保持する。

30

【0310】

ウェイト乗算器 232-0 ~ 232-M は、ウェイト制御部 260 から出力される制御信号にしたがって、 $h_2^{(m)}$ の値を 0 又は 1 に切り替える。

【0311】

加算部 233 は、ウェイト乗算器 232-0 ~ 232-M の出力に対し排他的論理和演算を行い、演算結果 Z_i を算出し、算出した Z_i を、図 11 の加算部 240 に向けて出力する。

【0312】

再度図 11 に戻って、加算部 240 は、第 1 情報演算部 220-1、第 2 情報演算部 220-2、第 3 情報演算部 220-3、及び、パリティ演算部 230 から出力される演算結果 $Y_{1,i}$ 、 $Y_{2,i}$ 、 $Y_{3,i}$ 、 Z_i の排他的論理和演算を行い、時刻 i のパリティ P_i を得、出力する。加算部 240 は、時刻 i のパリティ P_i をパリティ演算部 230 に向けても出力する。

40

【0313】

符号化率設定部 250 は、符号化器 200 の符号化率を設定し、符号化率の情報を情報生成部 210 に向けて出力する。

【0314】

ウェイト制御部 260 は、ウェイト制御部 260 内に保持する式 (30-1) ~ 式 (30-3) に対応した検査行列に基づいて、式 (30-1) ~ 式 (30-3) のパリティ検

50

査多項式に基づく時刻 i における $h_1^{(m)}$ の値を、第1情報演算部 220-1、第2情報演算部 220-2、第3情報演算部 220-3 及びパリティ演算部 230 に向けて出力する。また、ウェイト制御部 260 は、ウェイト制御部 260 内に保持する式 (30-1) ~ 式 (30-3) に対応した検査行列に基づいて、そのタイミングにおける $h_2^{(m)}$ の値を 232-0 ~ 232-M に向けて出力する。

【0315】

なお、図14に本実施の形態に係る符号化器の別の構成例を示す。図14の符号化器において、図11の符号化器と共通する構成部分には、図11と同一の符号を付している。図14の符号化器 200 は、符号化率設定部 250 が、符号化率の情報を第1情報演算部 220-1、第2情報演算部 220-2、第3情報演算部 220-3、及び、パリティ演算部 230 に向けて出力する点で、図11の符号化器 200 と異なっている。

10

【0316】

第2情報演算部 220-2 は、符号化率が $1/2$ の場合には、演算処理を行わずに、演算結果 $Y_{2,i}$ として 0 を加算部 240 に向けて出力する。また、第3情報演算部 220-3 は、符号化率が $1/2$ または $2/3$ の場合には、演算処理を行わずに、演算結果 $Y_{3,i}$ として 0 を加算部 240 に向けて出力する。

【0317】

なお、図11の符号化器 200 では、情報生成部 210 が、符号化率に応じて、時点 i の情報 $X_{2,i}$ 、情報 $X_{3,i}$ を 0 に設定したのに対し、図14の符号化器 200 では、第2情報演算部 220-2 及び第3情報演算部 220-3 が、符号化率に応じて、演算処理を停止し、演算結果 $Y_{2,i}$ 、 $Y_{3,i}$ として 0 を出力するので、得られる演算結果は図11の符号化器 200 と同じとなる。

20

【0318】

このように、図14の符号化器 200 では、第2情報演算部 220-2 及び第3情報演算部 220-3 が、符号化率に応じて、演算処理を停止するので、図11の符号化器 200 に比べ演算処理を低減することができる。

【0319】

次に、実施の形態2で述べた LDPC-CC の復号化器の回路の共用化方法について詳しく説明する。

【0320】

図15は、本実施の形態に係る復号化器の要部構成を示すブロック図である。なお、図15に示す復号化器 300 は、符号化率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ に対応可能な復号化器である。図14の復号化器 300 は、対数尤度比設定部 310 及び行列処理演算部 320 を主に備える。

30

【0321】

対数尤度比設定部 310 は、図示せぬ対数尤度比演算部により算出される受信対数尤度比及び符号化率を入力し、符号化率に応じて、受信対数尤度比に既知の対数尤度比を挿入する。

【0322】

例えば、符号化率が $1/2$ の場合、符号化器 200 では、 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ として “0” を送信していることに相当するので、対数尤度比設定部 310 は、既知ビット “0” に対応する固定の対数尤度比を $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ の対数尤度比として挿入し、挿入後の対数尤度比を行列処理演算部 320 に向けて出力する。以下、図16を用いて説明をする。

40

【0323】

図16に示すように、符号化率 $1/2$ の場合、対数尤度比設定部 310 は、 $X_{1,i}$ 及び P_i に対応する受信対数尤度比 $LLR_{X_{1,i}}$ 、 LLR_{P_i} を入力とする。そこで、対数尤度比設定部 310 は、 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ に対応する受信対数尤度比 $LLR_{X_{2,i}}$ 、 $LLR_{X_{3,i}}$ を挿入する。図16において、点線の丸で囲まれた受信対数尤度比は、対数尤度比設定部 310 によって挿入された受信対数尤度比 $LLR_{X_{2,i}}$ 、 $LLR_{X_{3,i}}$

50

を示す。対数尤度比設定部 310 は、受信対数尤度比 $LLR_{X_2, i}$ 、 $LLR_{3, i}$ として、固定値の対数尤度比を挿入する。

【0324】

また、符号化率が $2/3$ の場合、符号化器 200 は、 $X_{3, i}$ として “0” を送信していることに相当するので、対数尤度比設定部 310 は、既知ビット “0” に対応する固定の対数尤度比を $X_{3, i}$ の対数尤度比として挿入し、挿入後の対数尤度比を行列処理演算部 320 に向けて出力する。以下、図 17 を用いて説明をする。

【0325】

図 17 に示すように、符号化率 $2/3$ の場合、対数尤度比設定部 310 は、 $X_{1, i}$ 、 $X_{2, i}$ 及び P_i に対応する受信対数尤度比 $LLR_{X_1, i}$ 、 $LLR_{X_2, i}$ 、 LLR_{P_i} を入力とする。そこで、対数尤度比設定部 310 は、 $X_{3, i}$ に対応する受信対数尤度比 $LLR_{3, i}$ を挿入する。図 17 において、点線の丸で囲まれた受信対数尤度比は、対数尤度比設定部 310 によって挿入された受信対数尤度比 $LLR_{3, i}$ を示す。対数尤度比設定部 310 は、受信対数尤度比 $LLR_{3, i}$ として、固定値の対数尤度比を挿入する。

10

【0326】

図 15 の行列処理演算部 320 は、記憶部 321、行処理演算部 322 及び列処理演算部 323 を備える。

【0327】

記憶部 321 は、受信対数尤度比、行処理によって得られる外部値 m_n 、及び、列処理によって得られる事前値 m_n を保持する。

20

【0328】

行処理演算部 322 は、符号化器 200 がサポートする符号化率のうち、最大の符号化率 $3/4$ の LDPC-CC の検査行列 H の行方向のウェイトパターンを保持する。行処理演算部 322 は、当該行方向のウェイトパターンにしたがって、記憶部 321 から必要な事前値 m_n を読み込み、行処理演算を行う。

【0329】

行処理演算において、行処理演算部 322 は、事前値 m_n を用いて、単一パリティ検査符号の復号を行い、外部値 m_n を求める。

【0330】

第 m 番目の行処理について説明する。ただし、2元 $M \times N$ 行列 $H = \{H_{m_n}\}$ を復号対象とする LDPC 符号の検査行列とする。 $H_{m_n} = 1$ を満たす全ての組 (m, n) に対して、次の更新式を利用して外部値 m_n を更新する。

30

【数 39】

$$\alpha_{mn} = \left(\prod_{n \in A(m) \setminus n} \text{sign}(\beta_{mn'}) \right) \Phi \left(\sum_{n \in A(m) \setminus n} \Phi(|\beta_{mn'}|) \right) \quad \cdots (39)$$

ここで、 (x) は、Gallager の f 関数と呼ばれ、次式で定義される。

【数 40】

$$\Phi(x) = \ln \frac{\exp(x) + 1}{\exp(x) - 1} \quad \cdots (40)$$

40

【0331】

列処理演算部 323 は、符号化器 200 がサポートする符号化率のうち、最大の符号化率 $3/4$ の LDPC-CC の検査行列 H の列方向のウェイトパターンを保持する。列処理演算部 323 は、当該列方向のウェイトパターンにしたがって、記憶部 321 から必要な外部値 m_n を読み込み、事前値 m_n を求める。

【0332】

列処理演算において、列処理演算部 323 は、入力対数尤度比 n と外部値 m_n とを用いて繰り返し復号により、事前値 m_n を求める。

50

【 0 3 3 3 】

第 m 番目の列処理について説明する。

$H_{m n} = 1$ を満たす全ての組 (m , n) に対して、次の更新式を利用して $\beta_{m n}$ を更新する。ただし、 $q = 1$ の場合のみ、 $\beta_{m n} = 0$ として計算する。

【 数 4 1 】

$$\beta_{mn} = \lambda_n + \sum_{m \in B(n)/m} \alpha_{m'n} \quad \dots (41)$$

【 0 3 3 4 】

復号化器 3 0 0 は、上述の行処理と列処理とを所定の回数だけ繰り返すことにより、事後対数尤度比を得る。

10

【 0 3 3 5 】

以上のように、本実施の形態では、対応可能な符号化率のうち、最も高い符号化率を $(q - 1) / q$ とし、符号化率設定部 2 5 0 が、符号化率を $(s - 1) / s$ に設定した際、情報生成部 2 1 0 は、前記情報 $X_{s , i}$ から前記情報 $X_{q - 1 , i}$ までの情報をゼロに設定する。例えば、対応する符号化率が $1 / 2$ 、 $2 / 3$ 、 $3 / 4$ の場合 $(q = 4)$ 、第 1 情報演算部 2 2 0 - 1 は、時点 i の情報 $X_{1 , i}$ を入力し、式 $(3 0 - 1)$ の $X_1 (D)$ 項を算出する。また、第 2 情報演算部 2 2 0 - 2 は、時点 i の情報 $X_{2 , i}$ を入力し、式 $(3 0 - 2)$ の $X_2 (D)$ 項を算出する。また、第 3 情報演算部 2 2 0 - 3 は、時点 i の情報 $X_{3 , i}$ を入力し、式 $(3 0 - 3)$ の $X_3 (D)$ 項を算出する。また、パリティ演算部 2 3 0 は、時点 $i - 1$ のパリティ $P_{i - 1}$ を入力し、式 $(3 0 - 1) \sim$ 式 $(3 0 - 3)$ の $P (D)$ 項を算出する。また、加算部 2 4 0 は、第 1 情報演算部 2 2 0 - 1、第 2 情報演算部 2 2 0 - 2、第 3 情報演算部 2 2 0 - 3 の演算結果及びパリティ演算部 2 3 0 の演算結果の排他的論理和を、時刻 i のパリティ P_i として得るようにした。

20

【 0 3 3 6 】

この構成によれば、異なる符号化率に対応した LDPC - CC を作成する場合においても、本説明における情報演算部の構成を共通化することができるため、低演算規模で、複数の符号化率に対応可能な LDPC - CC の符号化器、復号化器を提供することができる。

【 0 3 3 7 】

また、 $A_{X_{1 , k} (D)} \sim A_{X_{q - 1 , k} (D)}$ が、上述の「良好な特性を有する LDPC - CC」において述べた < 条件 # 1 > ~ < 条件 # 6 > 等を満たすように設定した場合には、異なる符号化率に対応可能な符号化器及び復号化器を低演算規模で提供することができる。また、実施の形態 2 で説明したように、LDPC - CC の生成方法は、上述の「良好な特性を有する LDPC - CC」に限ったものではない。

30

【 0 3 3 8 】

そして、図 1 5 の復号化器 3 0 0 は、復号化器の回路の共用を可能とする符号化率の中で、最大の符号化率に応じた復号化器の構成に、対数尤度比設定部 3 1 0 を追加することで、複数の符号化率に対応して復号を行うことができる。なお、対数尤度比設定部 3 1 0 は、符号化率に応じて、時点 i の情報 $X_{r , i}$ から情報 $X_{q - 1 , i}$ までの $(q - 2)$ 個の情報に対応する対数尤度比を既定値に設定する。

40

【 0 3 3 9 】

なお、以上の説明では、符号化器 2 0 0 がサポートする最大の符号化率が $3 / 4$ の場合について説明したが、サポートする最大の符号化率はこれに限らず、符号化率 $(q - 1) / q$ $(q$ は 5 以上の整数) をサポートする場合においても適用可能である (当然であるが、最大符号化率が $2 / 3$ でも良い。)。この場合には、符号化器 2 0 0 が、第 1 ~ 第 $(q - 1)$ 情報演算部を備える構成とし、加算部 2 4 0 が、第 1 ~ 第 $(q - 1)$ 情報演算部の演算結果及びパリティ演算部 2 3 0 の演算結果の排他的論理和を、時刻 i のパリティ P_i として得るようにすれば良い。

【 0 3 4 0 】

50

また、送受信装置（符号化器／復号化器）がサポートする符号化率が、全て、上述の実施の形態2で述べた方法に基づいた符号である場合、サポートする符号化率のうち、最も高い符号化率の符号化器／復号化器を持つことで、複数の符号化率の符号化、復号化に対応することができ、このとき、演算規模削減の効果が非常に大きい。

【0341】

また、上述では、復号方式の例としてsum-product復号を例に説明したが、復号方法はこれに限ったものではなく、非特許文献5～非特許文献7に示されている、例えば、min-sum復号、Normalized BP (Belief Propagation) 復号、Shuffled BP復号、Offset BP復号などの、message-passingアルゴリズムを用いた復号方法（BP復号）を用いれば同様に実施することができる。

10

【0342】

次に、通信状況により適応的に符号化率を切り替える通信装置に、本発明を適用した場合の形態について説明する。なお、以下では、本発明を無線通信装置に適用した場合を例に説明するが、これに限られず、電灯線通信（PLC：Power Line Communication）装置、可視光通信装置、または、光通信装置にも適用可能である。

【0343】

図18に、適応的に符号化率を切り替える通信装置400の構成を示す。図18の通信装置400の符号化率決定部410は、通信相手の通信装置から送信される受信信号（例えば、通信相手が送信したフィードバック情報）を入力とし、受信信号に受信処理等を行う。そして、符号化率決定部410は、通信相手の通信装置との間の通信状況の情報、例えば、ビットエラー率、パケットエラー率、フレームエラー率、受信電界強度等の情報を（例えば、フィードバック情報から）得、通信相手の通信装置との間の通信状況の情報から符号化率及び変調方式を決定する。そして、符号化率決定部410は、決定した符号化率及び変調方式を、制御信号として符号化器200及び変調部420に向けて出力する。

20

【0344】

符号化率決定部410は、例えば、図19に示すような送信フォーマットを用いて、制御情報シンボルに符号化率の情報を含めることにより、符号化器200が用いる符号化率を通信相手の通信装置に通知する。ただし、図19では図示していないが、通信相手が、復調やチャネル推定のために必要な、例えば、既知の信号（プリアンブル、パイロットシンボル、リファレンスシンボルなど）を含んでいるものとする。

30

【0345】

このようにして、符号化率決定部410は、通信相手の通信装置500が送信した変調信号を受信し、その通信状況に基づいて、送信する変調信号の符号化率を決定することにより、符号化率を適応的に切り替える。符号化器200は、制御信号により指定された符号化率に基づいて、上述の手順でLDPC-CC符号化を行う。変調部420は、制御信号により指定された変調方式を用いて、符号化後の系列を変調する。

【0346】

図20に、通信装置400と通信を行う通信相手の通信装置の構成例を示す。図20の通信装置500の制御情報生成部530は、ベースバンド信号に含まれる制御情報シンボルから制御情報を抽出する。制御情報シンボルには、符号化率の情報が含まれる。制御情報生成部530は、抽出した符号化率の情報を制御信号として対数尤度比生成部520及び復号化器300に向けて出力する。

40

【0347】

受信部510は、通信装置400から送信される変調信号に対応する受信信号に周波数変換、直交復調等の処理を施すことでベースバンド信号を得、ベースバンド信号を対数尤度比生成部520に向けて出力する。また、受信部510は、ベースバンド信号に含まれる既知信号を用いて、通信装置400と通信装置500との間の（例えば、無線）伝送路におけるチャネル変動を推定し、推定したチャネル推定信号を対数尤度比生成部520に向けて出力する。

【0348】

50

また、受信部 5 1 0 は、ベースバンド信号に含まれる既知信号を用いて、通信装置 4 0 0 と通信装置 5 0 0 との間の（例えば、無線）伝送路におけるチャネル変動を推定し、伝搬路の状況の判断を可能とするフィードバック情報（チャネル変動そのもの、例えば、Channel State Informationがその一例）を生成し、出力する。このフィードバック情報は、図示しない送信装置を通して、制御情報の一部として、通信相手（通信装置 4 0 0 ）に送信される。対数尤度比生成部 5 2 0 は、ベースバンド信号を用いて、各送信系列の対数尤度比を求め、得られた対数尤度比を復号化器 3 0 0 に向けて出力する。

【 0 3 4 9 】

復号化器 3 0 0 は、上述したように、制御信号が示す符号化率（ $s - 1$ ） / s に応じて、時点 i の情報 $X_{s, i}$ から情報 $X_{s - 1, i}$ までの情報に対応する対数尤度比を既定値に設定し、復号化器において回路の共用化を施した符号化率のうち、最大の符号化率に応じた LDPC - CC の検査行列を用いて、BP 復号する。

10

【 0 3 5 0 】

このようにして、本発明を適用した通信装置 4 0 0 及び通信相手の通信装置 5 0 0 の符号化率が通信状況により適応的に変更され得る。

【 0 3 5 1 】

なお、符号化率の変更方法はこれに限ったものではなく、通信相手である通信装置 5 0 0 が符号化率決定部 4 1 0 を備え、希望する符号化率を指定するようによっても良い。また、通信装置 5 0 0 が送信した変調信号から通信装置 4 0 0 が伝送路の変動を推定し、符号化率を決定しても良い。この場合、上述のフィードバック情報は不要となる。

20

【 0 3 5 2 】

（実施の形態 4）

実施の形態 1 では、誤り訂正能力の高い LDPC - CC について説明した。本実施の形態では、誤り訂正能力の高い時変周期 3 の LDPC - CC について補足説明する。時変周期 3 の LDPC - CC の場合、レギュラーの LDPC 符号を生成すると、誤り訂正能力の高い符号を作成することができる。

【 0 3 5 3 】

時変周期 3 の LDPC - CC のパリティ検査多項式を再掲する。

【 0 3 5 4 】

符号化率 1 / 2 の場合：

30

【数 4 2】

$$\begin{aligned} (D^{a1} + D^{a2} + D^{a3})X(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3})P(D) &= 0 & \dots (42-1) \\ (D^{41} + D^{42} + D^{43})X(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3})P(D) &= 0 & \dots (42-2) \\ (D^{\alpha1} + D^{\alpha2} + D^{\alpha3})X(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3})P(D) &= 0 & \dots (42-3) \end{aligned}$$

【 0 3 5 5 】

符号化率（ $n - 1$ ） / n の場合：

【数 4 3】

$$\begin{aligned} (D^{a1,1} + D^{a1,2} + D^{a1,3})X_1(D) + (D^{a2,1} + D^{a2,2} + D^{a2,3})X_2(D) + \dots & \dots (43-1) \\ + (D^{an-1,1} + D^{an-1,2} + D^{an-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b1} + D^{b2} + D^{b3})P(D) &= 0 \\ (D^{41,1} + D^{41,2} + D^{41,3})X_1(D) + (D^{42,1} + D^{42,2} + D^{42,3})X_2(D) + \dots & \dots (43-2) \\ + (D^{4n-1,1} + D^{4n-1,2} + D^{4n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{B1} + D^{B2} + D^{B3})P(D) &= 0 \\ \dots & \dots \\ (D^{\alpha1,1} + D^{\alpha1,2} + D^{\alpha1,3})X_1(D) + (D^{\alpha2,1} + D^{\alpha2,2} + D^{\alpha2,3})X_2(D) + \dots & \dots (43-3) \\ + (D^{\alpha n-1,1} + D^{\alpha n-1,2} + D^{\alpha n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{\beta1} + D^{\beta2} + D^{\beta3})P(D) &= 0 \end{aligned}$$

40

50

【 0 3 5 6 】

ここで、パリティ検査行列がフルランクとなり、またパリティビットが逐次的に簡単に求まるようにするために、以下の条件が成立するとする。

【 0 3 5 7 】

$$b_3 = 0、つまり、D^{b_3} = 1$$

$$B_3 = 0、つまり、D^{B_3} = 1$$

$$3 = 0、つまり、D^3 = 1$$

【 0 3 5 8 】

また、情報とパリティの関係をわかりやすくするためには、以下の条件があるとよい。

$$a_{i,3} = 0、つまり、D^{a_{i,3}} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

$$A_{i,3} = 0、つまり、D^{A_{i,3}} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

$$i,3 = 0、つまり、D^{i,3} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n-1)$$

ただし、 $a_{i,3} \% 3 = 0$ 、 $A_{i,3} \% 3 = 0$ 、 $i,3 \% 3 = 0$ であってもよい。

【 0 3 5 9 】

このとき、タナーグラフにおけるループ6の数を少なくすることで、誤り訂正能力の高いレギュラーのLDPC符号を生成するためには以下の条件を満たさなければならない。

【 0 3 6 0 】

すなわち、情報 X_k ($k = 1, 2, \dots, n-1$)の係数に着目した場合、 $\#X_{k1}$ から $\#X_{k14}$ のいずれかを満たさなければならない。

$$\#X_{k1} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 1], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 1], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 1]$$

$$\#X_{k2} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 1], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 2]$$

$$\#X_{k3} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 1], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 1]$$

$$\#X_{k4} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 1]$$

$$\#X_{k5} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 2]$$

$$\#X_{k6} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [0, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [2, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 2]$$

$$\#X_{k7} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 1], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 1], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 2]$$

$$\#X_{k8} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 1], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 1], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 1]$$

$$\#X_{k9} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 1], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 2]$$

$$\#X_{k10} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [0, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [2, 2]$$

$$\#X_{k11} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 1], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 1]$$

$$\#X_{k12} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [1, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [1, 2]$$

$$\#X_{k13} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [2, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [1, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [0, 2]$$

$$\#X_{k14} : (a_{k,1\%3}, a_{k,2\%3}) = [2, 2], (A_{k,1\%3}, A_{k,2\%3}) = [2, 2], (k,1\%3, k,2\%3) = [2, 2]$$

【 0 3 6 1 】

なお、上記において、 $a = b$ の場合、 $(x, y) = [a, b]$ は、 $x = y = a (= b)$ をあらわし、 $a \neq b$ の場合、 $(x, y) = [a, b]$ は、 $x = a, y = b$ 、又は、 $x = b, y = a$ をあらわす(以下同様)。

【 0 3 6 2 】

同様に、パリティの係数に着目した場合、 $\#P_1$ から $\#P_{14}$ のいずれかを満たさなければならない。

$$\#P_1 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 1], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 1], (1\%3, 2\%3) = [0, 1]$$

$$\#P_2 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 1], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 2], (1\%3, 2\%3) = [1, 2]$$

$$\#P_3 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 1], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [1, 2], (1\%3, 2\%3) = [1, 1]$$

$$\#P_4 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [1, 2], (1\%3, 2\%3) = [0, 1]$$

$$\#P_5 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 2], (1\%3, 2\%3) = [0, 2]$$

$$\#P_6 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [0, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [2, 2], (1\%3, 2\%3) = [1, 2]$$

$$\#P_7 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [1, 1], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 1], (1\%3, 2\%3) = [1, 2]$$

$$\#P_8 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [1, 1], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [1, 1], (1\%3, 2\%3) = [1, 1]$$

$$\#P_9 : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [1, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 1], (1\%3, 2\%3) = [0, 2]$$

$$\#P_{10} : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [1, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [0, 2], (1\%3, 2\%3) = [2, 2]$$

$$\#P_{11} : (b_{1\%3}, b_{2\%3}) = [1, 2], (B_{1\%3}, B_{2\%3}) = [1, 1], (1\%3, 2\%3) = [0, 1]$$

#P12: $(b1\%3, b2\%3)=[1, 2]$, $(B1\%3, B2\%3)=[1, 2]$, $(1\%3, 2\%3)=[1, 2]$

#P13: $(b1\%3, b2\%3)=[2, 2]$, $(B1\%3, B2\%3)=[1, 2]$, $(1\%3, 2\%3)=[0, 2]$

#P14: $(b1\%3, b2\%3)=[2, 2]$, $(B1\%3, B2\%3)=[2, 2]$, $(1\%3, 2\%3)=[2, 2]$

【 0 3 6 3 】

実施の形態 1 で説明した特性が良好な LDPC - CC は、上記条件のうち、# X k 1 2 及び # P 1 2 の条件を満たす LDPC - CC である。また、実施の形態 2 と併用すると、複数符号化率を対応する際、符号化器、復号化器の回路規模を小さくすることができ、かつ、高い誤り訂正能力を得ることができる。

【 0 3 6 4 】

上記 # X k 1 から # X k 1 4 のいずれか及び # P 1 から # P 1 4 のいずれかの条件を満たす時変周期 3 の LDPC - CC のパリティ検査多項式の一例を以下に示す。 10

【 0 3 6 5 】

符号化率 $R = 1 / 2$:

【 数 4 4 】

$$\begin{aligned} A_{X1,1}(D)X_1(D) + B_1(D)P(D) = & \dots (44-1) \\ (D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{X1,2}(D)X_1(D) + B_2(D)P(D) = & \dots (44-2) \\ (D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad 20$$

$$\begin{aligned} A_{X1,3}(D)X_1(D) + B_3(D)P(D) = & \dots (44-3) \\ (D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

【 0 3 6 6 】

符号化率 $R = 2 / 3$:

【 数 4 5 】

$$\begin{aligned} A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + B_1(D)P(D) = & \dots (45-1) \\ (D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad 30$$

$$\begin{aligned} A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + B_2(D)P(D) = & \dots (45-2) \\ (D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + B_3(D)P(D) = & \dots (45-3) \\ (D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

【 0 3 6 7 】

符号化率 $R = 3 / 4$:

40

【数 4 6】

$$\begin{aligned} & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) + B_1(D)P(D) = \\ & (D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) \quad \dots (46-1) \\ & + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) + B_2(D)P(D) = \\ & (D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) \quad \dots (46-2) \\ & + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} & A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) + B_3(D)P(D) = \\ & (D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) \quad \dots (46-3) \\ & + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

【0 3 6 8】

符号化率 R = 4 / 5 :

【数 4 7】

$$\begin{aligned} & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,1}(D)X_4(D) + B_1(D)P(D) = \\ & (D^{286} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) \quad \dots (47-1) \\ & + (D^{283} + D^{68} + 1)X_4(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

20

$$\begin{aligned} & A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,2}(D)X_4(D) + B_2(D)P(D) = \\ & (D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) \quad \dots (47-2) \\ & + (D^{256} + D^{188} + 1)X_4(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) \\ & + A_{X4,3}(D)X_4(D) + B_3(D)P(D) = \\ & (D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) \quad \dots (47-3) \\ & + (D^{287} + D^{73} + 1)X_4(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0 \end{aligned}$$

30

【0 3 6 9】

なお、上記 LDPC - CC のパリティ検査多項式は、実施の形態 2 で述べた条件を満たすため、符号化器の回路の共用化、及び、復号化器の共用化を図ることができる。

【0 3 7 0】

ところで、式(44-i)、式(45-i)、式(46-i)、式(47-i)に示した LDPC - CC のパリティ検査多項式を用いる場合(i = 1, 2, 3)、必要となるターミネーション数は、図 21 に示すように、データ(情報)X のビット数(以下、「情報サイズ(Information size)」という)によって異なることが確認された。ここで、ターミネーション数とは、上述の Information-zero-termination を行い、仮定の既知情報ビット「0」によって生成されたパリティビットの数であり、実際に送信される冗長ビットの数である。なお、図 21 において、Real R (実効符号化率)は、冗長ビットから構成されるターミネーション系列を考慮した場合の符号化率を示している。

40

【0 3 7 1】

上記 # X k 1 から # X k 1 4 のいずれか及び # P 1 から # P 1 4 のいずれかの条件を満たす時変周期 3 の LDPC - CC のパリティ検査多項式の別の一例を以下に示す。

【0 3 7 2】

50

符号化率 $R = 1 / 2$:

【数 4 8】

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + B_1(D)P(D) = \dots (48-1)$$

$$(D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + B_2(D)P(D) = \dots (48-2)$$

$$(D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + B_3(D)P(D) = \dots (48-3)$$

$$(D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0$$

10

【0 3 7 3】

符号化率 $R = 2 / 3$:

【数 4 9】

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + B_1(D)P(D) = \dots (49-1)$$

$$(D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + B_2(D)P(D) = \dots (49-2)$$

$$(D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + B_3(D)P(D) = \dots (49-3)$$

$$(D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0$$

20

【0 3 7 4】

符号化率 $R = 3 / 4$:

【数 5 0】

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) + B_1(D)P(D) = \dots (50-1)$$

$$(D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) + B_2(D)P(D) = \dots (50-2)$$

$$(D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0$$

$$A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) + B_3(D)P(D) = \dots (50-3)$$

$$(D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0$$

30

40

【0 3 7 5】

符号化率 $R = 4 / 5$:

【数 5 1】

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + A_{X3,1}(D)X_3(D) \\
 & + A_{X4,1}(D)X_4(D) + B_1(D)P(D) = \\
 & (D^{214} + D^{185} + 1)X_1(D) + (D^{194} + D^{67} + 1)X_2(D) + (D^{196} + D^{68} + 1)X_3(D) \cdots (51-1) \\
 & + (D^{217} + D^{122} + 1)X_4(D) + (D^{215} + D^{145} + 1)P(D) = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,2}(D)X_1(D) + A_{X2,2}(D)X_2(D) + A_{X3,2}(D)X_3(D) \\
 & + A_{X4,2}(D)X_4(D) + B_2(D)P(D) = \\
 & (D^{160} + D^{62} + 1)X_1(D) + (D^{226} + D^{209} + 1)X_2(D) + (D^{98} + D^{37} + 1)X_3(D) \cdots (51-2) \\
 & + (D^{71} + D^{34} + 1)X_4(D) + (D^{206} + D^{127} + 1)P(D) = 0
 \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned}
 & A_{X1,3}(D)X_1(D) + A_{X2,3}(D)X_2(D) + A_{X3,3}(D)X_3(D) \\
 & + A_{X4,3}(D)X_4(D) + B_3(D)P(D) = \\
 & (D^{196} + D^{143} + 1)X_1(D) + (D^{115} + D^{104} + 1)X_2(D) + (D^{176} + D^{136} + 1)X_3(D) \cdots (51-3) \\
 & + (D^{212} + D^{187} + 1)X_4(D) + (D^{211} + D^{119} + 1)P(D) = 0
 \end{aligned}$$

【0376】

20

図22は、式(48-i)、式(49-i)、式(50-i)、式(51-i)に示したLDPC-CCのパリティ検査多項式を用いる場合に(i=1, 2, 3)、必要となるターミネーション数の一例を示す。

【0377】

図23は、式(48-i)、式(49-i)、式(50-i)、式(51-i)に示される各符号化率において(i=1, 2, 3)、情報サイズ I_s とターミネーション数 m_t との関係を示している。なお、ターミネーション系列を作成するために挿入する仮想の既知情報ビット(「0」)の数を m_z とすると、符号化率 $(n-1)/n$ の場合、 m_t と m_z との間には、以下の関係が成立する。

【数 5 2】

30

$$\begin{aligned}
 m_z &= (n-1)m_t & (k=0) \cdots (52-1) \\
 m_z &= (n-1)m_t + (n-1) - k & (k \neq 0) \cdots (52-2)
 \end{aligned}$$

なお、 $k = I_s \% (n-1)$ である。

【0378】

(実施の形態5)

本実施の形態では、実施の形態4において説明した良好な特性を有するLDPC-CCを用いる場合に、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる通信装置及び通信方法について説明する。

【0379】

40

図21および図22から、Information-zero-termination時に必要となるターミネーション数は、情報サイズによって異なることが確認された。したがって、情報サイズによらずターミネーション数を一律に固定にし、かつ、誤り訂正能力を劣化させないためには、ターミネーション数を大きな数に設定する必要が生じ、Real R(実効符号化率)が低下し、情報の伝送効率が低下する場合がある。

【0380】

そこで、本実施の形態では、情報サイズに応じて、冗長ビットとして送信されるターミネーション数を変更する通信装置及び通信方法について説明する。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる。

【0381】

50

図24は、本実施の形態に係る通信装置600の要部構成を示すブロック図である。

【0382】

符号化率設定部610は、自装置により設定される符号化率の情報を含む制御情報信号、又は、通信相手の通信装置から送信されるフィードバック信号を入力する。制御情報信号が入力される場合、符号化率設定部610は、制御情報信号に含まれる符号化率の情報から、符号化率を設定する。

【0383】

また、符号化率設定部610は、フィードバック信号が入力される場合には、フィードバック信号に含まれる通信相手の通信装置との間の通信状況の情報、例えば、ビットエラー率、パケットエラー率、フレームエラー率、受信電界強度等の通信品質を推定することが可能な情報を取得し、通信相手の通信装置との間の通信状況の情報から符号化率を設定する。符号化率設定部610は、設定した符号化率の情報を設定符号化率信号に含め、設定符号化率信号を符号化器630内のターミネーション系列長決定部631及びパリティ演算部632に向けて出力する。また、符号化率設定部610は、設定した符号化率の情報を、送信情報生成および情報長検出部620に向けて出力する。

10

【0384】

送信情報生成および情報長検出部620は、送信データ(情報)を生成又は取得し、送信データ(情報)から構成される情報系列をパリティ演算部632に向けて出力する。また、送信情報生成および情報長検出部620は、送信データ(情報)の系列長(以下「情報長」という)、すなわち、情報サイズを検出し、検出した情報サイズの情報を情報長信号に含め、情報長信号をターミネーション系列長決定部631に向けて出力する。また、送信情報生成および情報長検出部620は、ターミネーション系列長決定部631から通知されるターミネーション系列長分の冗長ビットを生成するために必要な既知情報ビット(例えば、「0」)から構成される既知情報系列を、情報系列の最後尾に付加する。

20

【0385】

ターミネーション系列長決定部631は、情報長信号が示す情報サイズ及び設定符号化率信号が示す符号化率に応じて、ターミネーション系列長(ターミネーション数)を決定する。ターミネーション系列長の具体的な決定方法については、後述する。ターミネーション系列長決定部631は、決定したターミネーション系列長をターミネーション系列長信号に含め、ターミネーション系列長信号を送信情報生成および情報長検出部620とパリティ演算部632とに向けて出力する。

30

【0386】

パリティ演算部632は、情報系列及び既知情報系列に対するパリティを計算し、得られたパリティを変調部640に向けて出力する。

【0387】

変調部640は、情報系列及びパリティ(ターミネーション系列を含む)に変調処理を施す。

【0388】

図24において、「情報長(Information Length)信号」と記述しているが、これに限ったものではなく、ターミネーション系列長を制御するための指標となる情報であれば、どのような信号であってもよい。例えば、ターミネーションを除いた情報の数とパリティの数の和の情報(Length情報)、情報数と変調方式の情報から、送信信号のフレーム長をもとめ、そのフレーム長を情報長信号のかわりとしてもよい。

40

【0389】

次に、ターミネーション系列長決定部631におけるターミネーション系列長の決定方法について、図25を用いて説明する。図25は、ターミネーション系列長を情報サイズ及び各符号化率に基づいて、2段階に切り替える場合の例を示している。なお、図25は、通信装置600において、情報サイズの最小サイズが512ビットに設定されていることを前提としている。ただし、最小サイズは必ずしも定められていなくてもよい。

【0390】

50

図 25 において、 N は、送信しなければならない送信データ（情報）の情報長である。例えば、符号化率が $1/2$ の場合、 $N=512$ 、 $N=1023$ では、ターミネーション系列長決定部 631 は、ターミネーション系列長を 380 ビットに設定し、 $N=1024$ では、ターミネーション系列長決定部 631 は、ターミネーション系列長を 340 ビットに設定する。こうにして、ターミネーション系列長決定部 631 が、送信データ（情報）の情報長 N に基づいて、ターミネーション系列長を設定することにより、ターミネーション系列長は、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を防ぐことができる系列長に設定されるようになる。

【0391】

上述では、各符号化率において、ターミネーション系列長を 2 段階に切り替える場合を例に説明したが、これに限ったものではなく、例えば、図 26 に示すように 3 段階、または、それ以上の段階でターミネーション系列長を切り替えるようにしてもよい。このようにして、情報長（情報サイズ）に基づいてターミネーション系列長（ターミネーション数）を複数段に切り替えることにより、ターミネーション系列長を、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝達効率の低下を防ぐことができる適した系列長に設定することができるようになる。

【0392】

通信装置 600 は、例えば、図 27 に示すような送信フォーマットを用いて、符号化率に関するシンボルに符号化率の情報を含めることにより、符号化器 630 が用いる符号化率を通信相手の通信装置に通知する。また、通信装置 600 は、情報サイズに関するシンボルに情報長（情報サイズ）の情報を含めることにより、情報長（情報サイズ）の情報を通信相手の通信装置に通知する。また、通信装置 600 は、変調方式、送信方法、又は通信相手を識別するための情報を制御情報シンボルに含めて通信相手の通信装置に通知する。また、通信装置 600 は、情報系列およびパリティを、データシンボルに含めて通信相手の通信装置に通知する。

【0393】

図 28 に、通信装置 600 と通信を行う通信相手の通信装置 700 の構成例を示す。なお、図 28 の通信装置 700 において、図 20 と共通する構成部分には、図 20 と同一の符号を付して説明を省略する。図 28 の通信装置 700 は、図 20 の通信装置 500 に対して、制御情報生成部 530 及び復号化器 300 に代えて、制御情報生成部 710 及び復号化器 720 を備える。

【0394】

制御情報生成部 710 は、ベースバンド信号を復調（および復号）することにより得られる符号化率に関するシンボルから符号化率の情報を抽出する。また、制御情報生成部 710 は、ベースバンド信号を復調（および復号）することにより得られる情報サイズに関するシンボルから情報長（情報サイズ）の情報を抽出する。また、制御情報生成部 710 は、制御情報シンボルから変調方式、送信方法、又は通信相手を識別するための情報を抽出する。制御情報生成部 710 は、抽出した符号化率の情報及び情報長（情報サイズ）の情報を含めた制御信号を対数尤度比生成部 520 及び復号化器 720 に向けて出力する。

【0395】

復号化器 720 は、図 25 又は図 26 に示したような各符号化率における情報サイズとターミネーション系列長との関係のテーブルを保持しており、このテーブルと、符号化率の情報、及び、情報長（情報サイズ）の情報から、データシンボルに含まれるターミネーション系列長を判定する。復号化器 720 は、符号化率および判定したターミネーション系列長に基づいて、BP 復号を行う。これにより、通信装置 700 は、誤り訂正能力の高い復号を行うことができる。

【0396】

図 29 及び図 30 は、通信装置 600 と通信装置 700 と間の情報の流れの一例を示す図である。図 29 と図 30 とは、符号化率を通信装置 600 又は通信装置 700 のどちらで設定するかが異なっている。具体的には、図 29 は、通信装置 600 が符号化率を決定

10

20

30

40

50

する場合の情報の流れを示し、図30は、通信装置700が符号化率を決定する場合の情報の流れを示している。

【0397】

以上のように、本実施の形態では、ターミネーション系列長決定部631は、情報長（情報サイズ）及び符号化率に応じて、情報系列の後尾に付加して送信されるターミネーション系列の系列長を決定し、パリティ演算部632は、情報系列、及び、決定されたターミネーション系列長のターミネーション系列を生成するために必要な既知情報系列に対しLDPC-CC符号化を施し、パリティ系列を計算するようにした。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる。

【0398】

（実施の形態6）

実施の形態5では、情報長（情報サイズ）及び符号化率に応じて、情報系列の後尾に付加するターミネーション系列長を決定（変更）する場合について説明した。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる。

【0399】

本実施の形態では、実施の形態5のように、情報長（情報サイズ）に応じてターミネーション系列長を変更する場合に、使用できる符号化率に制限を設ける場合について説明する。これにより、誤り訂正能力の劣化を回避することができる。

【0400】

図31は、図21と同様に、式(44-i)、式(45-i)、式(46-i)、式(47-i)に示したLDPC-CCのパリティ検査多項式を用いる場合($i = 1, 2, 3$)に必要となるターミネーション数と符号化率との関係を示している。図31から分かるように、情報サイズが512ビット、1024ビット、2048ビットにおいて、符号化率 $3/4$ の実効符号化率(Real R)と、符号化率 $4/5$ の実効符号化率とを比較すると、両者の間には大きな差がない。例えば、情報サイズが1024ビットの場合、符号化率 $3/4$ では、実効符号化率が0.5735であるのに対し、符号化率 $4/5$ では、実効符号化率が0.5626であり、差は僅かに0.01程度である。また、符号化率 $4/5$ の実効符号化率に比べ、符号化率 $3/4$ の実効符号化率が大きくなり、実効符号化率の大きさが逆転している。したがって、情報サイズによっては、符号化率 $3/4$ を用いても、高い誤り訂正能力を得る、および、伝送効率の向上に適さない場合が存在する。

【0401】

図32A、図32B、図32C及び図32Dは、情報サイズが512ビット、1024ビット、2048ビット、4096ビットの情報系列に、図31に示した系列長のターミネーション系列を付加した場合のビット誤り率(Bit Error Rate: BER) / ブロック誤り率(Block Error Rate: BLER)特性を示す。図32A、図32B、図32C及び図32Dにおいて、横軸はSNR (Signal-to-Noise power ratio) [dB]を示し、縦軸はBER / BLER特性を示し、実線はビット誤り率特性、破線はブロック誤り率特性を示している。また、図32A、図32B、図32C及び図32Dにおいて、TMNは、ターミネーション数(Termination number)を示す。

【0402】

図32A、図32B、図32C及び図32Dから分かるように、ターミネーション系列を考慮した場合、符号化率 $R = 3/4$ のBER / BLER特性は、情報サイズがいずれの場合も、符号化率 $R = 4/5$ のBER / BLER特性より優れていることがわかる。

【0403】

これら2点から、誤り訂正能力の向上と情報の伝送効率の向上との両立を実現するためには、例えば、情報サイズが4096ビット未満では、符号化率 $R = 4/5$ をサポートしない、つまり、情報サイズが4096ビット未満では、符号化率 $R = 1/2, 2/3, 3/4$ のみをサポートし、情報サイズが4096ビット以上では、符号化率 $R = 1/2, 2/3, 3/4, 4/5$ をサポートするようにすることにより、情報サイズが4096ビット未満では、符号化率 $R = 3/4$ よりも伝送効率が悪い符号化率 $R = 4/5$ が使われなくなるため、誤り訂

10

20

30

40

50

正能力の向上と情報の伝送効率の向上との両立を図ることができる。

【0404】

また、図32A、図32B、図32C及び図32Dから、情報サイズが512ビットのBER/BLER特性(図32A参照)は、他の情報サイズのBER/BLER特性より際だって優れていることが分かる。例えば、情報サイズが512ビットの場合に符号化率2/3のBER特性は、情報サイズが1024ビットの場合に符号化率1/2のBER/BLER特性と、ほぼ同等の特性を有し、情報サイズが512ビットの場合に符号化率1/2のBER/BLER特性までは実際には不要である場合がある。符号化率が低いほど、伝搬効率は低下するので、これらの点を考慮して、例えば、情報サイズが512ビットの場合には、符号化率1/2をサポートしないという方法をとることもできる。

10

【0405】

図33は、情報サイズとサポート符号化率との対応表である。図33に示すように、情報サイズによって、サポートされない符号化率が存在する。情報サイズによらず、サポートされる符号化率が一定であれば、図29、図30のいずれの場合も、通信装置600と通信装置700とは通信することができる。しかし、図33に示したように、本実施の形態では、情報サイズによって、サポートされない符号化率が存在するため、指定された符号化率を調整する必要がある。以下では、本実施の形態に係る通信装置について説明する。

【0406】

図34は、本実施の形態に係る通信装置600Aの要部構成を示すブロック図である。なお、図34の通信装置600Aにおいて、図24と共通する構成部分には、図24と同一の符号を付して説明を省略する。図34の通信装置600Aは、図24の符号化器630に代えて、符号化器630Aを備える。符号化器630Aは、符号化器630に対し、符号化率調整部633を追加した構成を採る。

20

【0407】

符号化率調整部633は、送信情報生成および情報長検出部620から入力される情報長信号に含まれる情報長(情報サイズ)に基づいて、符号化率設定部610から入力される設定符号化率信号に含まれる符号化率を調整する。具体的には、符号化率調整部633は、図33に示したような情報サイズとサポート符号化率との対応表を保持し、制御情報信号又はフィードバック信号に基づいて設定された符号化率を対応表に照らし合わせて、符号化率を調整する。例えば、情報長(情報サイズ)が1024ビットあり、設定符号化率信号が符号化率4/5を示す場合、対応表から、符号化率4/5はサポートされていないので、符号化率調整部633は、符号化率4/5より小さい符号化率のうち、値が最も大きい3/4を符号化率に設定する。図31に示したように、情報長(情報サイズ)が1024ビットの場合には、符号化率4/5の場合のReal Rは、0.5626となり、符号化率3/4のReal R(0.5735)より小さくなり、又、図32Bが示すように、BER/BLER特性も符号化率3/4の方が良好である。したがって、情報長(情報サイズ)が1024の場合には、符号化率4/5を用いず、符号化率3/4を用いるようにすることにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率が低下しないようにすることができる。

30

【0408】

換言すると、第1の符号化率(3/4) < 第2の符号化率(4/5)の場合に、第1の符号化率(3/4)に対応する第1の実効符号化率(0.5735)が、第2の符号化率(4/5)に対応する第2の実効符号化率(0.5626)と同程度の場合に、第2の符号化率が指定された場合、符号化率調整部633は、符号化率を第1の符号化率に調整するようにする。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率が低下しないようにすることができる。

40

【0409】

また、例えば、情報長(情報サイズ)が512ビットであり、設定符号化率信号が符号化率1/2を示す場合、対応表から、符号化率1/2はサポートされていないので、符号化率調整部633は、符号化率1/2より大きい符号化率のうち、値が最も小さい2/3を符

50

号化率に設定する。図32Aに示したように、符号化率1/2のBER/BLER特性は極めて良好であるので、符号化率を2/3にしても、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率が低下しないようにすることができる。

【0410】

換言すると、極めてBER/BLER特性が良好な第1の符号化率が指定された場合、符号化率調整部633は、第1の符号化率より大きい符号化率であって、所定の回線品質を確保することができる第2の符号化率に、符号化率を調整するようにする。

【0411】

このように、本実施の形態では、情報長(情報サイズ)に基づいて、通信装置600Aがサポートする符号化率の数を変更するようにした。例えば、図33に示す例では、情報長(情報サイズ)が512ビット未満では、通信装置600Aは、2つの符号化率のみをサポートし、情報長(情報サイズ)が512ビット以上4096ビット未満では、3つの符号化率をサポートし、情報長(情報サイズ)が4096以上では、4つの符号化率をサポートするようにした。サポートする符号化率を変更することで、誤り訂正能力の向上と情報の伝送効率の向上との両立を図ることができる。

10

【0412】

以上のように、本実施の形態によれば、符号化率調整部633は、情報長(情報サイズ)に応じて、通信装置600Aがサポートする符号化率の数を変更し、符号化率を、サポートする符号化率のいずれかに調整するようにした。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率が低下しないようにすることができる。

20

【0413】

また、通信装置600Aは、実効符号化率が同程度の符号化率のうち、値が小さい符号化率をサポートするようにする。また、通信装置600Aは、BER/BLER特性が極めて良好な符号化率をサポートする符号化率に含めず、所定の回線品質を確保することができる符号化率のみをサポートするようにする。これにより、所定の回線品質を確保しつつ、伝送効率の低下を回避することができる。

【0414】

以上のように、情報長(情報サイズ)に応じて、サポートする符号化率の数を変更することで、誤り訂正能力の向上と情報の伝送効率の向上との両立を図ることができる。

【0415】

情報長(情報サイズ)に応じて、サポートする符号化率の数を変更する場合、図29に示したように、通信装置600Aが、符号化率を調整し、ターミネーション系列長を設定し、これら符号化率の情報と情報長(情報サイズ)の情報(又は、ターミネーション系列長の情報)を同時に通信相手の通信装置700に送信すると、通信装置700は正しく復号することができる。

30

【0416】

当然であるが、本実施の形態を実施の形態5と併用してもよい。つまり、符号化率および情報サイズ(Information size)によりターミネーション数を変更してもよい。

【0417】

一方、図30に示したように、通信装置600Aが情報長(情報サイズ)を決定する前に、通信装置600の通信相手の通信装置が符号化率を設定する場合、又は、図35に示すように、通信装置600Aが情報長(情報サイズ)を決定する前に、通信装置600Aが符号化率を設定する場合、通信装置600Aの通信相手の通信装置は、情報長(情報サイズ)に基づいて符号化率を調整する必要がある。図36は、この場合の通信装置700Aの構成を示すブロック図である。

40

【0418】

図36の通信装置700Aにおいて、図28と共通する構成部分には、図28と同一の符号を付して説明を省略する。図36の通信装置700Aは、図28の通信装置700に対して、符号化率調整部730を追加した構成を採る。

【0419】

50

以下では、通信装置 600A が、情報長（情報サイズ）が4096ビット未満では、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$ をサポートし、情報長（情報サイズ）が4097ビットでは、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ をサポートする場合について説明する。

【0420】

このとき、情報長（情報サイズ）が決定される前に、送信する情報系列の符号化率が $4/5$ に決定され、通信装置 600A と通信装置 700A とがこの符号化率の情報を共有しているものとする。情報長（情報サイズ）が512ビットの場合、上述したように、通信装置 600A の符号化率調整部 633 は、符号化率を $3/4$ に調整する。この規則を予め通信装置 600A と通信装置 700A との間で決定しておけば、通信装置 600A と通信装置 700A とは正しく通信を行うことができる。

10

【0421】

具体的には、符号化率調整部 730 は、符号化率調整部 633 と同様に、符号化率の情報及び情報長（情報サイズ）の情報が含まれる制御信号を入力とし、情報長（情報サイズ）に基づいて、符号化率を調整する。例えば、符号化率調整部 730 は、情報長（情報サイズ）が512ビットであり、符号化率が $4/5$ の場合、符号化率調整部 730 は、符号化率を $3/4$ に調整する。これにより、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率が低下しないようにすることができる。

【0422】

なお、別の符号化率調整方法として、符号化率に関係なくターミネーション数を一定とする方法も考えられる。図 21 の例では、情報長（情報サイズ）が6144以上の場合には、ターミネーション数が340ビットと一律である。したがって、情報長（情報サイズ）が6144ビット以上の場合には、符号化率調整部 633 及び符号化率調整部 730 は、符号化率に関わらず、ターミネーション数を一定にするようにしてもよい。また、情報長（情報サイズ）が6144未満の場合には、符号化率調整部 633 及び符号化率調整部 730 は、例えば、ターミネーション数340ビットが適した別のパリティ検査多項式を用いて、各符号化率に対応するようにしてもよい。また、全く異なる符号を用いてもよい。例えば、ブロック符号を用いてもよい。

20

【0423】

（実施の形態 7）

上記各実施の形態では、符号化器・復号化器において、符号化率 $1/2$ 以上の複数の符号化率に対応する回路を共通化することができる LDPC-CC について説明した。具体的には、回路を共通化することができる、符号化率 $(n-1)/n$ ($n=2, 3, 4, 5$) に対応可能な LDPC-CC について説明した。本実施の形態では、符号化率 $1/3$ への対応方法について説明する。

30

【0424】

図 37 は、本実施の形態に係る符号化器の構成の一例を示すブロック図である。図 37 の符号化器 800 において、符号化率設定部 810 は、符号化率を制御部 820、パリティ演算部 830 及びパリティ演算部 840 に向けて出力する。

【0425】

制御部 820 は、符号化率設定部 810 が、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ を指定した場合、パリティ演算部 840 に情報が入力されないように制御する。また、制御部 820 は、符号化率 $1/3$ が設定されたとき、パリティ演算部 830 に入力される情報と同じ情報がパリティ演算部 840 に入力されるように制御する。

40

【0426】

パリティ演算部 830 は、例えば、式 $(44-i)$ 、式 $(45-i)$ 、式 $(46-i)$ 、式 $(47-i)$ で定義される ($i=1, 2, 3$)、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ のパリティを求める符号化器である。

【0427】

そして、符号化率設定部 810 が、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ を指定した場合、パリティ演算部 830 は、対応するパリティ検査多項式に基づく符号化を行い、

50

パリティを出力する。

【0428】

そして、符号化率設定部810が、符号化率1/3を指定した場合、パリティ演算部830は、符号化率1/2(式(44-1)、式(44-2)、式(44-3)で定義される)の時変周期3のLDPC-CCのパリティ検査多項式に基づく符号化を行い、パリティPを出力する。

【0429】

パリティ演算部840は、符号化率1/2のパリティを求める符号化器である。符号化率設定部810が、符号化率1/2, 2/3, 3/4, 4/5を指定した場合には、パリティ演算部840は、パリティを出力しない。

10

【0430】

そして、符号化率設定部810が、符号化率1/3を指定した場合、パリティ演算部840は、パリティ演算部830に入力される情報と同じ情報を入力とし、符号化率1/2の時変周期3のLDPC-CCのパリティ検査多項式に基づく符号化を行い、パリティPaを出力する。

【0431】

このようにして、符号化器800は、情報、パリティP、パリティPaを出力することになるので、符号化器800は、符号化率1/3をサポートすることができるようになる。

【0432】

図38は、本実施の形態に係る復号化器の構成の一例を示すブロック図である。図38の復号化器900は、図37の符号化器800に対応する復号化器である。

20

【0433】

制御部910は、符号化率を示す符号化率情報及び対数尤度比を入力とし、符号化率が1/2, 2/3, 3/4, 4/5の場合、BP復号部930に対数尤度比が入力されないように制御する。また、制御部910は、符号化率が1/3の場合、BP復号部920に入力される対数尤度比と同じ対数尤度比がBP復号部930に入力されるように制御する。

【0434】

BP復号部920は、全ての符号化率で動作する。具体的には、BP復号部920は、符号化率が1/3の場合、パリティ演算部830で用いられた符号化率1/2のパリティ検査多項式を用いて、BP復号を行う。また、符号化率が1/3の場合、BP復号部920は、BP復号を行うことにより得られた各ビットに対応する対数尤度比をBP復号部930に向けて出力する。一方、符号化率が1/2, 2/3, 3/4, 4/5の場合、BP復号部920は、パリティ演算部830で用いられた符号化率1/2, 2/3, 3/4, 4/5のパリティ検査多項式を用いて、BP復号を行う。BP復号部920は、所定の回数だけ反復復号を行った後、得られた対数尤度比を出力する。

30

【0435】

BP復号部930は、符号化率が1/3の時にのみ動作する。具体的には、BP復号部930は、パリティ演算部840で用いられた符号化率1/2のパリティ検査多項式を用いて、BP復号を行い、BP復号を行うことにより得られた各ビットに対応する対数尤度比をBP復号部920に向けて出力し、所定の回数だけ反復復号を行った後、得られた対数尤度比を出力する。

40

【0436】

このようにして、復号化器900は、対数尤度比を交換しながら反復復号し、ターボ復号のような復号を行って、符号化率1/3の復号を行う。

【0437】

(実施の形態8)

実施の形態2では、複数の符号化率 $(r-1)/r$ (r は2以上 q 以下の整数)に対応可能な時変周期 g (g は自然数)のLDPC-CCを作成する符号化器について説明した

50

。本実施の形態では、複数の符号化率 $(r - 1) / r$ (r は 2 以上 q 以下の整数) に対応可能な時変周期 g (g は自然数) の LDPC - CC を作成する別の符号化器の構成例を示す。

【0438】

図39は、本実施の形態に係る符号化器の構成例である。なお、図39の符号化器において、図37と共通する構成部分には、図37と同一の符号を付して説明を省略する。

【0439】

図37の符号化器800は、パリティ演算部830が、符号化率 $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$ のパリティを求める符号化器であり、パリティ演算部840は、符号化率 $1/2$ のパリティを求める符号化器であったのに対し、図39の符号化器800Aは、パリティ演算部830A及びパリティ演算部840Aがともに、例えば、符号化率 $2/3$ の時変周期3のLDPC - CCの符号化を行い、かつ、パリティ演算部830Aとパリティ演算部840Aは、異なるパリティ検査多項式で定義される符号であるという点である。

10

【0440】

制御部820Aは、符号化率設定部810が、符号化率 $2/3$ を指定した場合、パリティ演算部840Aに情報が入力されないように制御する。また、制御部820Aは、符号化率 $1/2$ が設定されたとき、パリティ演算部830Aに入力される情報と同じ情報がパリティ演算部840Aに入力されるように制御する。

【0441】

パリティ演算部830Aは、例えば、式(45-1)、式(45-2)、式(45-3)で定義される符号化率 $2/3$ のパリティを求める符号化器である。そして、符号化率設定部810が、符号化率 $1/2$ 及び $2/3$ を指定した場合、パリティ演算部830AはパリティPを出力する。

20

【0442】

パリティ演算部840Aは、パリティ演算部830Aと異なるパリティ検査多項式で定義される符号化率 $2/3$ のパリティを求める符号化器である。符号化率設定部810が、符号化率 $1/2$ を指定した場合のみ、パリティ演算部840AはパリティPaを出力する。

【0443】

これにより、符号化率 $1/2$ が指定された場合、符号化器800Aは、情報2ビットに対し、パリティP、パリティPaを出力するので、符号化器800Aは、符号化率 $1/2$ を実現することができる。

30

【0444】

なお、当然であるが、図39において、パリティ演算部830A及びパリティ演算部840Aの符号化率は、 $2/3$ に限られず、符号化率 $3/4$, $4/5$, ... でもよく、パリティ演算部830A及びパリティ演算部840Aの符号化率が共に同じであればよい。

【0445】

以上、本発明の実施の形態について説明した。なお、実施の形態1から実施の形態4までで説明したLDPC - CCに関する発明と、実施の形態5以下で説明した情報サイズとターミネーションサイズとの関係に関する発明とは、それぞれ、独立して成立する。

40

【0446】

また、本発明は上記全ての実施の形態に限定されず、種々変更して実施することが可能である。例えば、上記実施の形態では、主に、符号化器及び復号化器で実現する場合について説明しているが、これに限られるものではなく、電灯線通信装置で実現する場合においても適用可能である。

【0447】

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

50

【 0 4 4 8 】

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

【 0 4 4 9 】

また、本発明は、無線通信に限らず、電灯線通信 (P L C : P o w e r L i n e C o m m u n i c a t i o n)、可視光通信、光通信においても有用であることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【 0 4 5 0 】

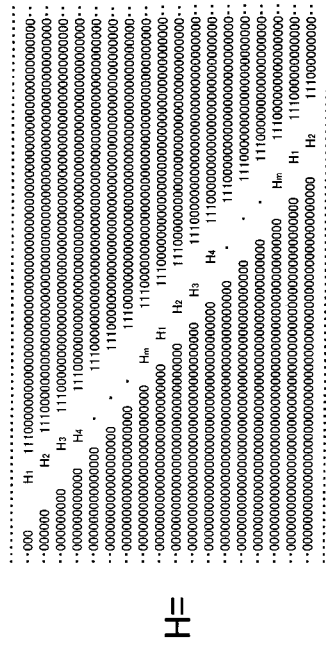
本発明に係る送信装置及び送信方法は、ターミネーションを行う場合においても、誤り訂正能力を劣化させず、かつ、情報の伝送効率の低下を回避することができる。

【符号の説明】

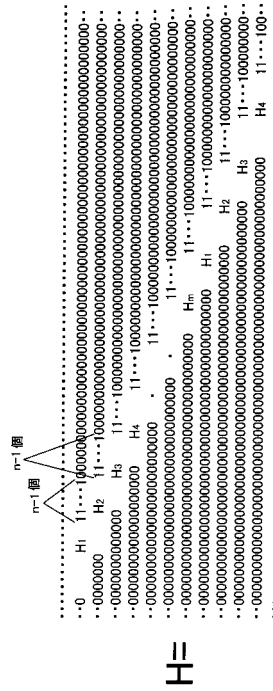
【 0 4 5 1 】

1 0 0	L D P C - C C 符号化器	
1 1 0	データ演算部	
1 2 0 , 2 3 0 , 6 3 2 , 8 3 0 , 8 3 0 A , 8 4 0 , 8 4 0 A	パリティ演算部	
1 3 0 , 2 6 0	ウェイト制御部	
1 4 0	mod 2 加算器	
1 1 1 - 1 ~ 1 1 1 - M , 1 2 1 - 1 ~ 1 2 1 - M , 2 2 1 - 1 ~ 2 2 1 - M , 2 3 1	シフトレジスタ	20
- 1 ~ 2 3 1 - M		
1 1 2 - 0 ~ 1 1 2 - M , 1 2 2 - 0 ~ 1 2 2 - M , 2 2 2 - 0 ~ 2 2 2 - M , 2 3 2	ウェイト乗算器	
- 0 ~ 2 3 2 - M		
2 0 0 , 6 3 0 , 6 3 0 A , 8 0 0 , 8 0 0 A	符号化器	
2 1 0	情報生成部	
2 2 0 - 1	第 1 情報演算部	
2 2 0 - 2	第 2 情報演算部	
2 2 0 - 3	第 3 情報演算部	
2 4 0	加算部	
2 5 0 , 6 1 0 , 8 1 0	符号化率設定部	30
3 0 0 , 7 2 0 , 9 0 0	復号化器	
3 1 0	対数尤度比設定部	
3 2 0	行列処理演算部	
3 2 1	記憶部	
3 2 2	行処理演算部	
3 2 3	列処理演算部	
4 0 0 , 5 0 0 , 6 0 0 , 6 0 0 A , 7 0 0 , 7 0 0 A	通信装置	
4 1 0	符号化率決定部	
4 2 0 , 6 4 0	変調部	
5 1 0	受信部	40
5 2 0	対数尤度比生成部	
5 3 0 , 7 1 0	制御情報生成部	
6 2 0	送信情報生成および情報長検出部	
6 3 1	ターミネーション系列長決定部	
6 3 3 , 7 3 0	符号化率調整部	
8 2 0 , 8 2 0 A , 9 1 0	制御部	
9 2 0 , 9 3 0	B P 復号部	

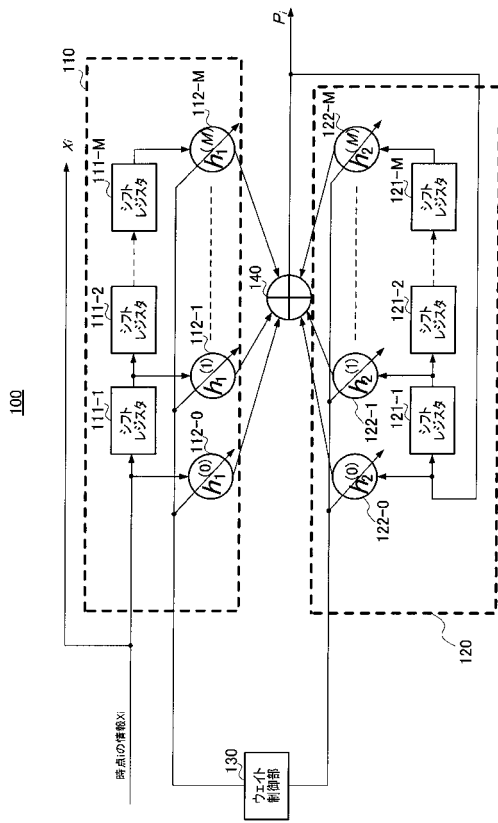
【図7】



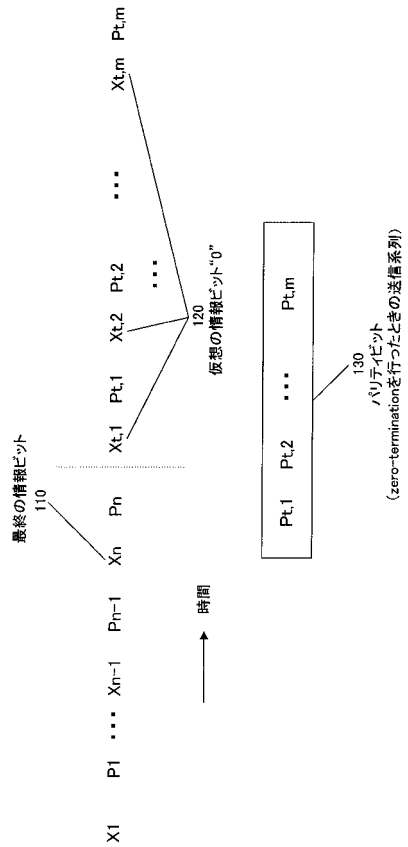
【図8】



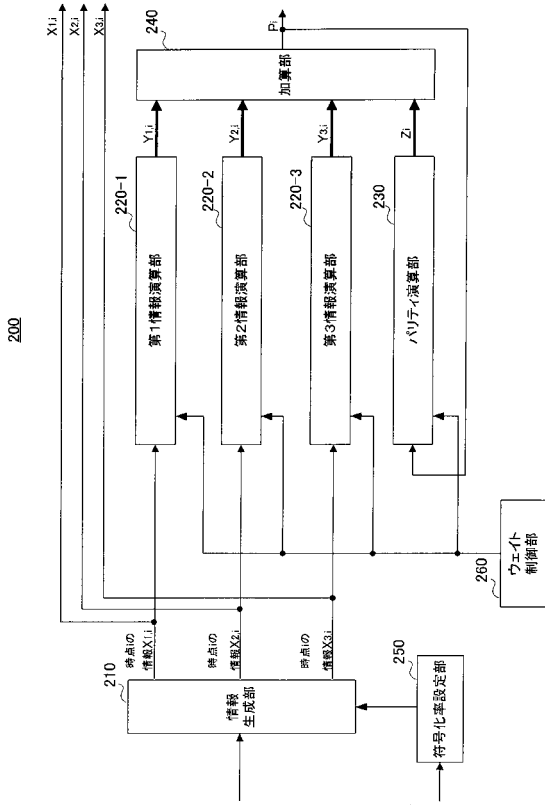
【図9】



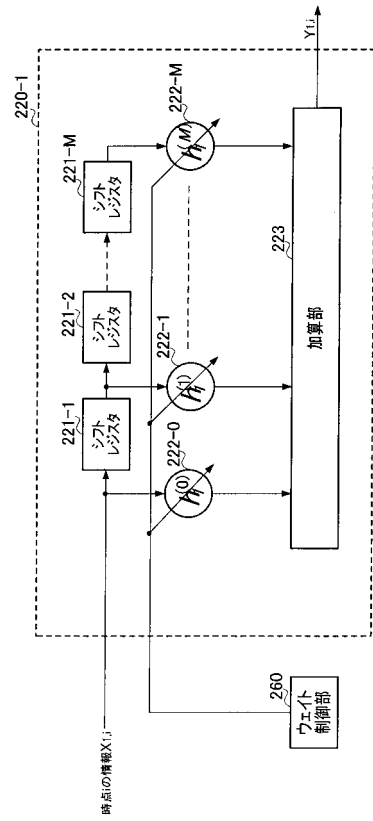
【図10】



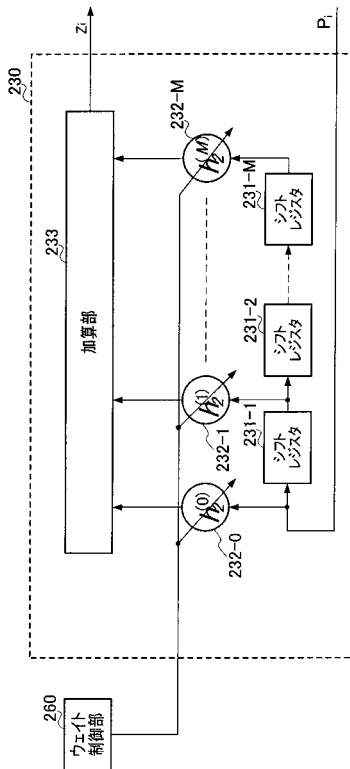
【図 1 1】



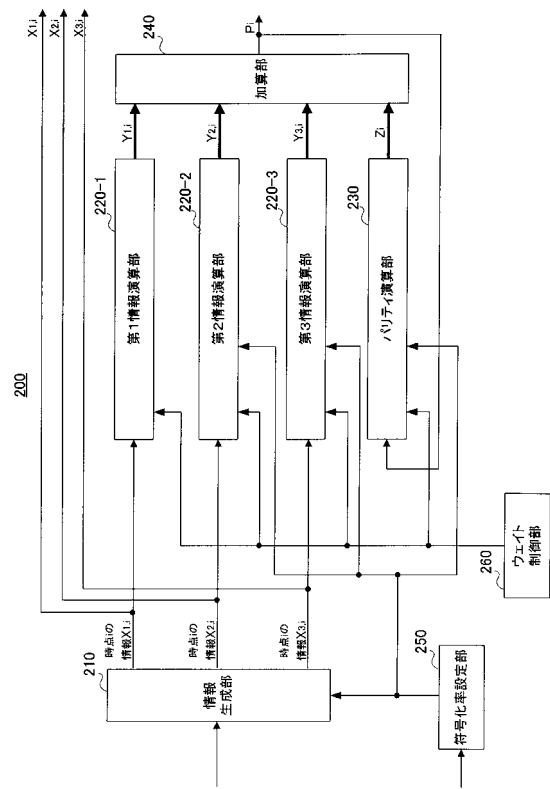
【図 1 2】



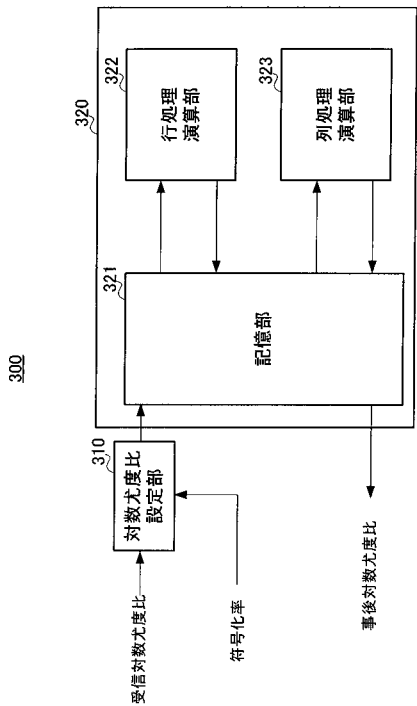
【図 1 3】



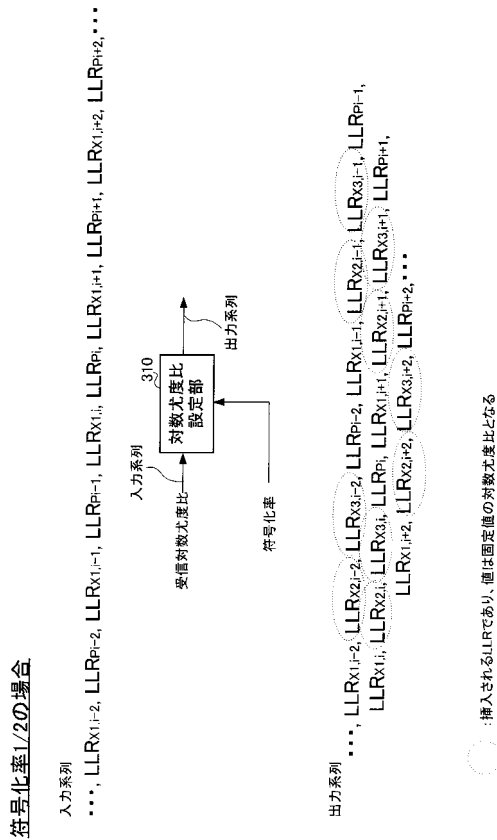
【図 1 4】



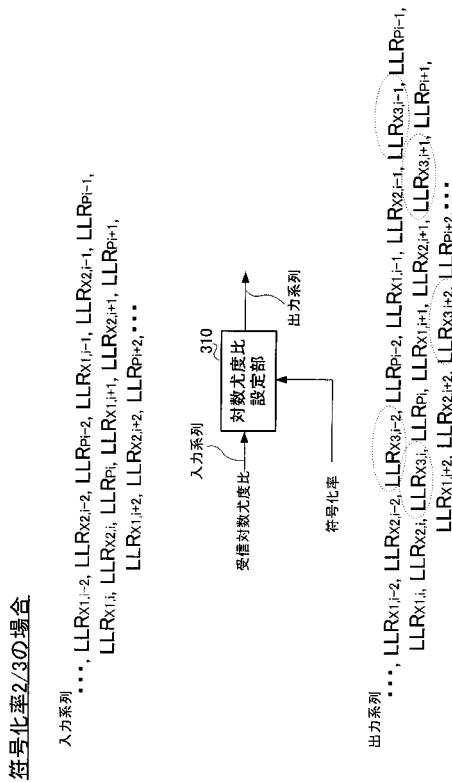
【図 15】



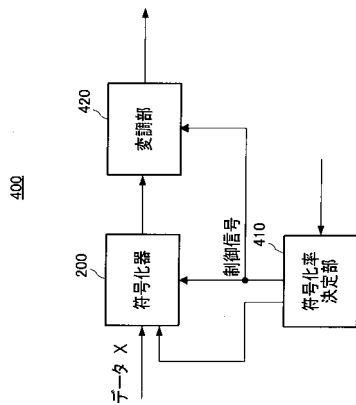
【図 16】



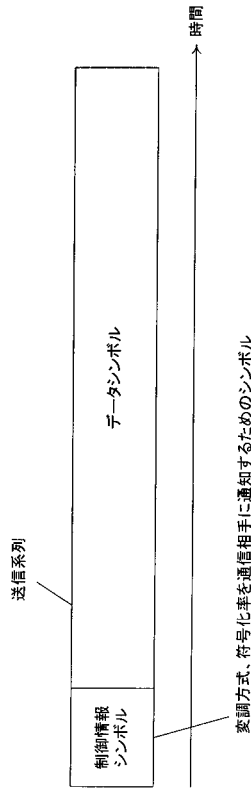
【図 17】



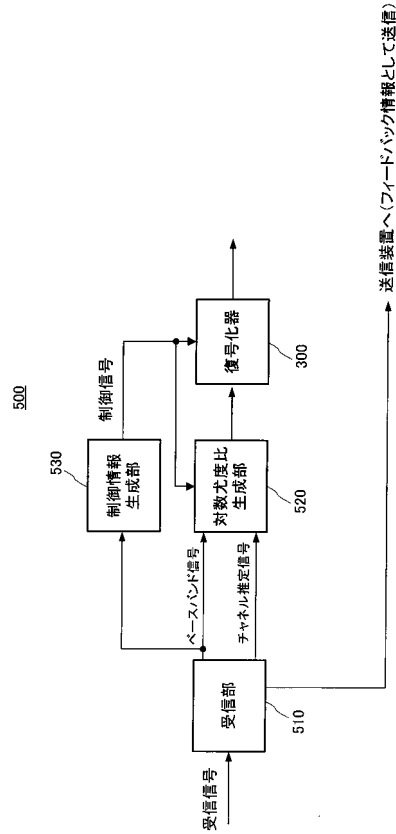
【図 18】



【図19】



【図20】



【図21】

符号化率 $R=(r-1)/n$	Termination number (Information size=512bits)	Termination number (Information size=1024bits)	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=8192bits)	Termination number (Information size=16384bits)	Termination number (Information size=32768bits)
1/2	380 (Real R=0.3646)	340 (Real R=0.4288)	340 (Real R=0.4616)	340 (Real R=0.4800)	340 (Real R=0.4865)	340 (Real R=0.4898)	340 (Real R=0.4898)
2/3	460 (Real R=0.4159)	500 (Real R=0.5029)	420 (Real R=0.5864)	340 (Real R=0.6317)	340 (Real R=0.6429)	340 (Real R=0.6487)	340 (Real R=0.6487)
3/4	400 (Real R=0.4729)	420 (Real R=0.5735)	420 (Real R=0.6500)	340 (Real R=0.7060)	340 (Real R=0.7201)	340 (Real R=0.7273)	340 (Real R=0.7273)
4/5	400 (Real R=0.4923)	540 (Real R=0.5626)	540 (Real R=0.6606)	470 (Real R=0.7327)	340 (Real R=0.7660)	340 (Real R=0.7743)	340 (Real R=0.7743)

【図22】

符号化率 $R=(r-1)/n$	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=8192bits)	Termination number (Information size=16384bits)	Termination number (Information size=32768bits)	Termination number (Information size=65536bits)	Termination number (Information size=131072bits)
1/2	440 (Real R=0.4514)	440 (Real R=0.4604)	440 (Real R=0.4685)	440 (Real R=0.4745)	440 (Real R=0.4772)	440 (Real R=0.4794)	440 (Real R=0.4827)
2/3	540 (Real R=0.5669)	420 (Real R=0.6394)	380 (Real R=0.6138)	380 (Real R=0.6278)	380 (Real R=0.6319)	380 (Real R=0.6352)	380 (Real R=0.6409)
3/4	540 (Real R=0.6251)	460 (Real R=0.6923)	380 (Real R=0.6748)	380 (Real R=0.7012)	380 (Real R=0.7063)	380 (Real R=0.7104)	380 (Real R=0.7167)
4/5	680 (Real R=0.6320)	620 (Real R=0.6952)	620 (Real R=0.6887)	620 (Real R=0.7135)	560 (Real R=0.7291)	380 (Real R=0.7551)	380 (Real R=0.7622)

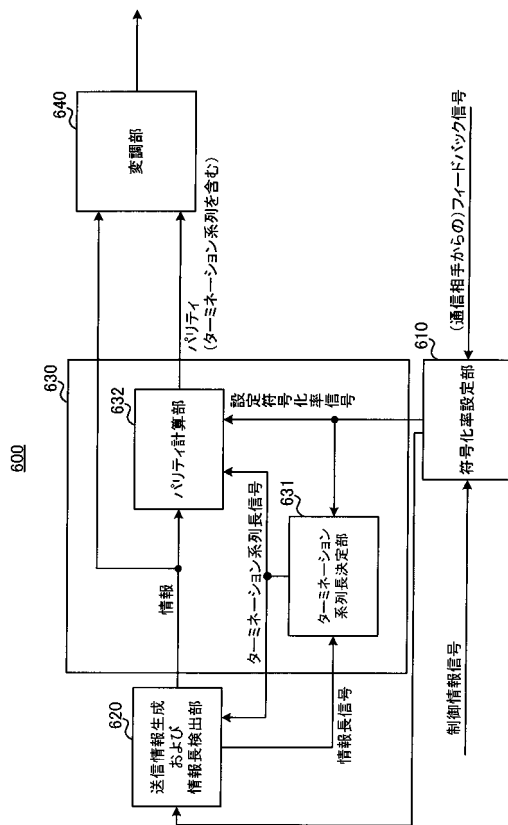
【図23】

Coding rate	Number of Transmission Bits for Tail - bit Coding
1/2	$m_t = 440$ bits
2/3	$I_s \leq 2303$: $m_t = 540$ bits
	$2304 \leq I_s \leq 2559$: $m_t = 420$ bits
	$2560 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits
3/4	$I_s \leq 2303$: $m_t = 540$ bits
	$2304 \leq I_s \leq 2559$: $m_t = 460$ bits
	$2560 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits
4/5	$I_s \leq 2303$: $m_t = 680$ bits
	$2304 \leq I_s \leq 4607$: $m_t = 620$ bits
	$4608 \leq I_s \leq 5119$: $m_t = 560$ bits
	$5120 \leq I_s$: $m_t = 380$ bits

【図25】

(a) 符号化率1/2の場合		(c) 符号化率3/4の場合	
$512 \leq \alpha \leq 1023$	380 bits	$512 \leq \alpha \leq 4095$	420 bits
$1024 \leq \alpha$	340 bits	$4096 \leq \alpha$	340 bits
(b) 符号化率2/3の場合		(d) 符号化率4/5の場合	
$512 \leq \alpha \leq 4095$	500 bits	$512 \leq \alpha \leq 6143$	540 bits
$4096 \leq \alpha$	340 bits	$6144 \leq \alpha$	340 bits

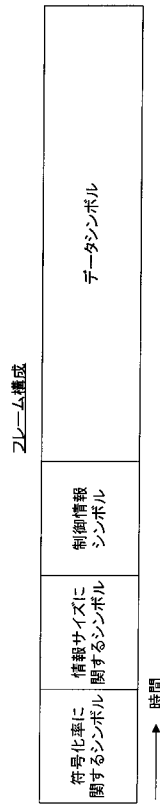
【図24】



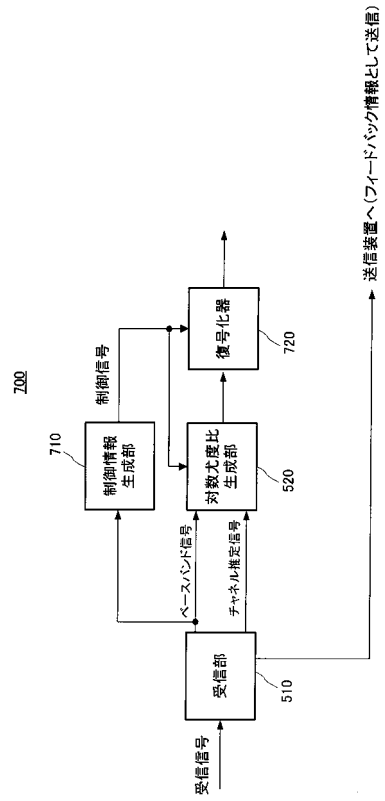
【図26】

符号化率2/3の場合		符号化率3/4の場合	
$512 \leq \alpha \leq 2047$	500 bits	$2048 \leq \alpha \leq 4095$	420 bits
		$4096 \leq \alpha$	340 bits

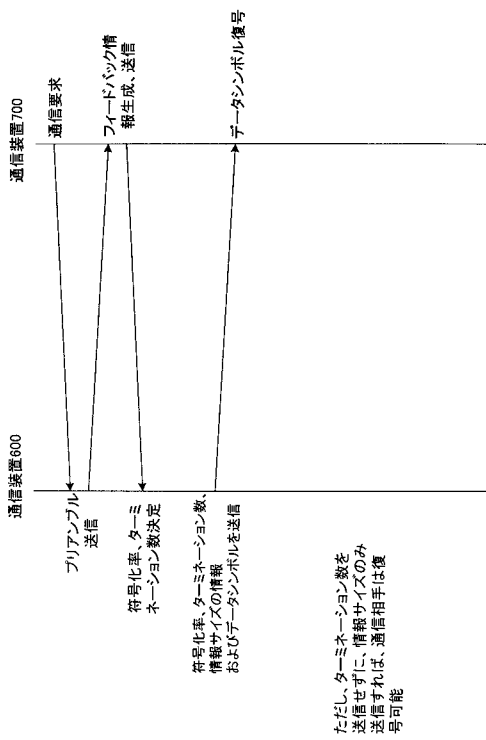
【図27】



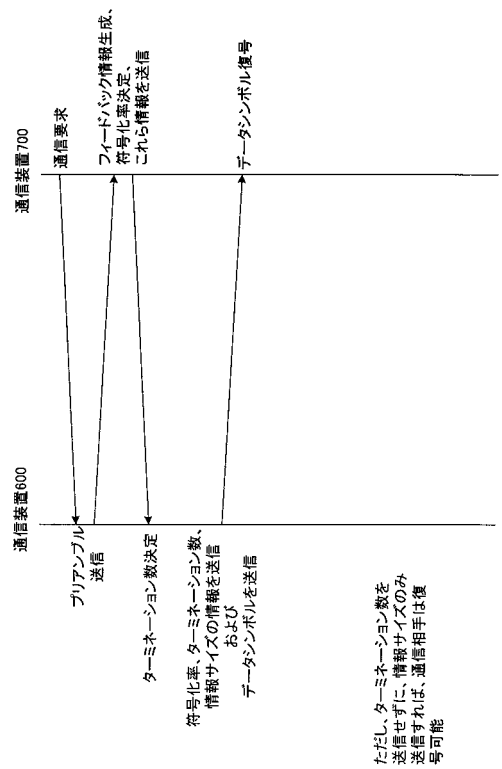
【図28】



【図29】



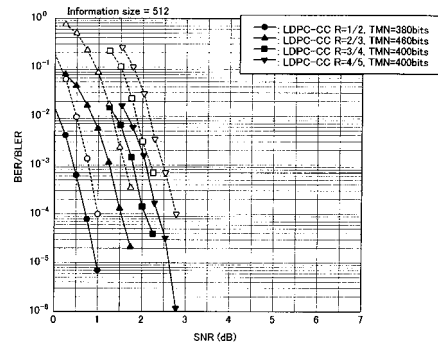
【図30】



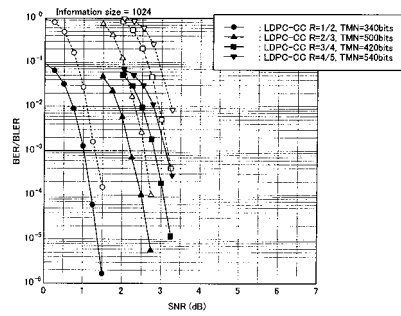
【 図 3 1 】

符号化率 $R=(k-1)/n$	Termination number (Information size=912bits)	Termination number (Information size=1024bits)	Termination number (Information size=2048bits)	Termination number (Information size=4096bits)	Termination number (Information size=8192bits)	Termination number (Information size=16384bits)
1/2	380 (Real R=0.3846)	340 (Real R=0.4288)	340 (Real R=0.4616)	340 (Real R=0.4800)	340 (Real R=0.4865)	340 (Real R=0.4898)
2/3	460 (Real R=0.4169)	500 (Real R=0.5029)	490 (Real R=0.5864)	340 (Real R=0.6317)	340 (Real R=0.6429)	340 (Real R=0.6487)
3/4	400 (Real R=0.4729)	430 (Real R=0.5735)	420 (Real R=0.6500)	340 (Real R=0.7060)	340 (Real R=0.7201)	340 (Real R=0.7273)
4/5	400 (Real R=0.4923)	540 (Real R=0.5628)	540 (Real R=0.6606)	470 (Real R=0.7327)	340 (Real R=0.7660)	340 (Real R=0.7743)

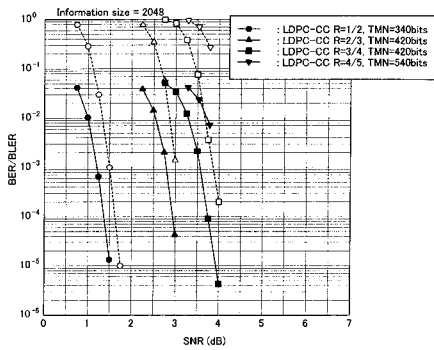
【 図 3 2 A 】



【 図 3 2 B 】



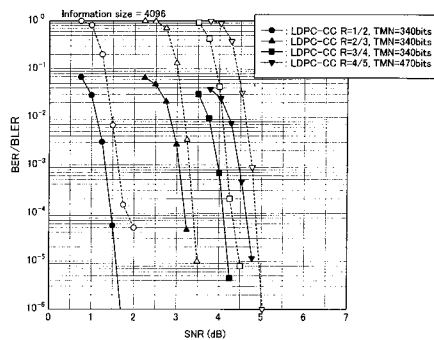
【 図 3 2 C 】



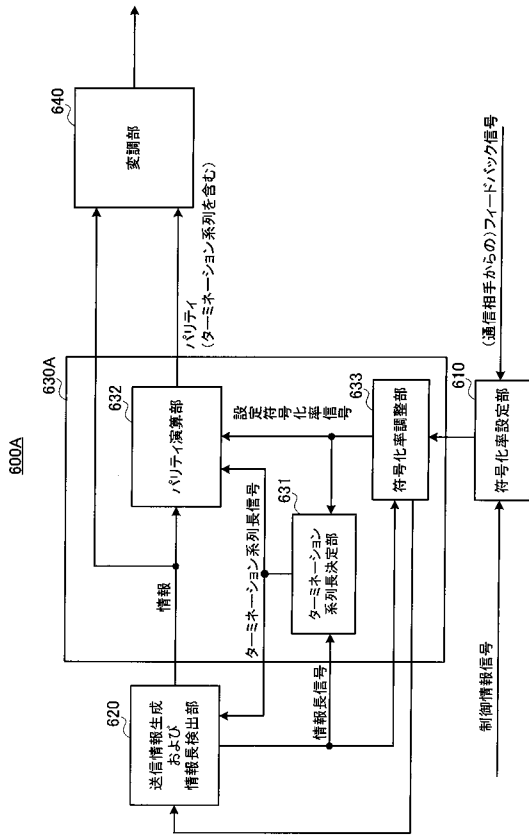
【 図 3 3 】

符号化率 $R=(k-1)/n$	Information size=512bits	Information size=1024bits	Information size=2048bits	Information size=4096bits	Information size=8192bits
1/2	サブポート無し R=2/3に調整	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り
2/3	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り
3/4	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り	サブポート有り
4/5	サブポート無し R=3/4に調整	サブポート無し R=3/4に調整	サブポート無し	サブポート有り	サブポート有り

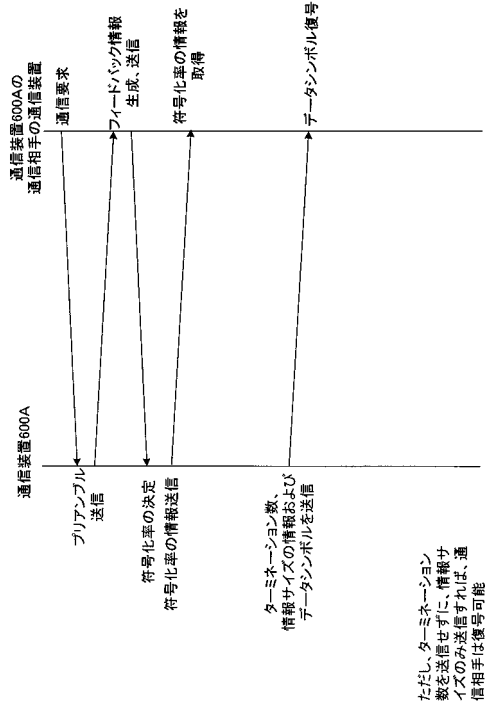
【 図 3 2 D 】



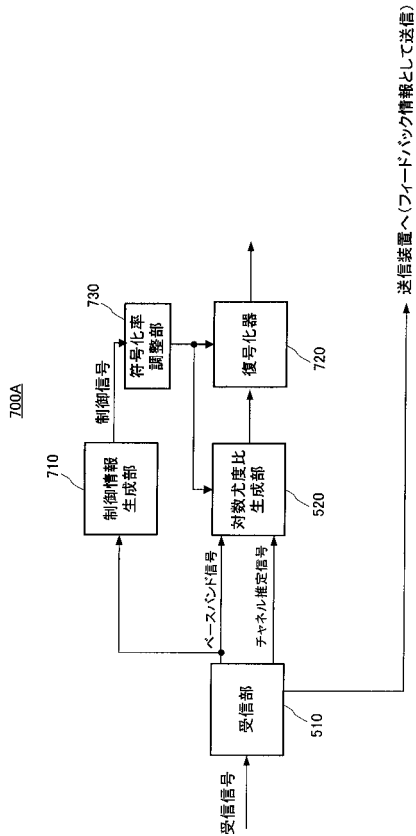
【図34】



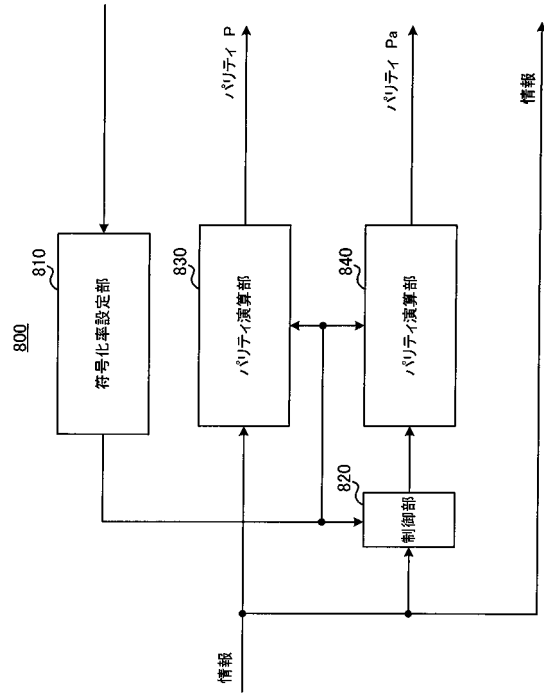
【図35】



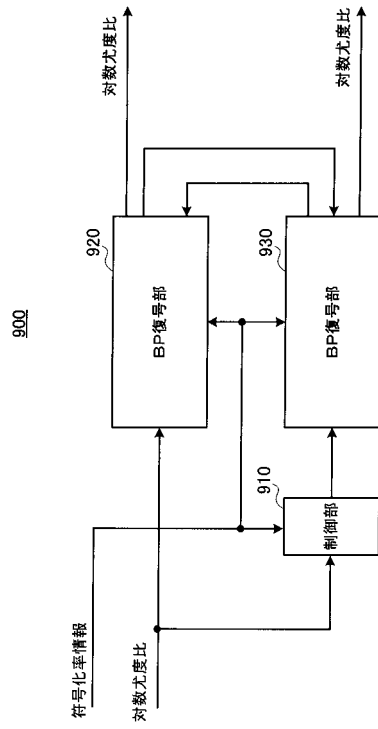
【図36】



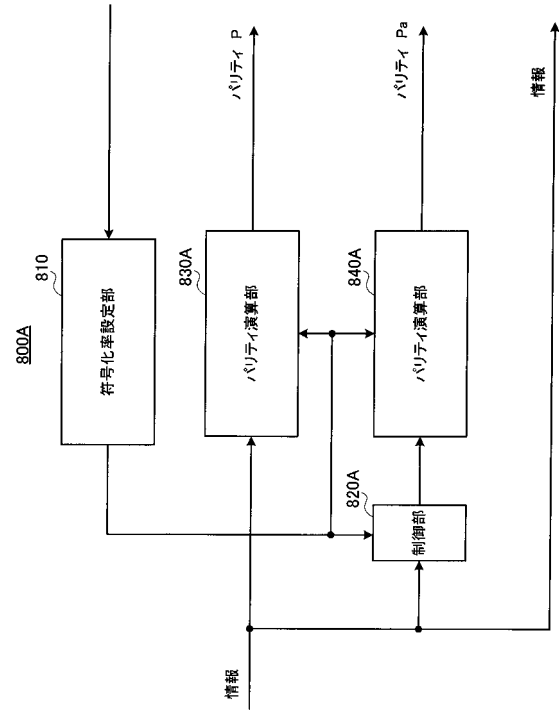
【図37】



【図38】



【図39】



フロントページの続き

(72)発明者 児玉 宣貴

福岡県福岡市博多区美野島四丁目1番62号 パナソニックシステムネットワークス株式会社内

審査官 岡 裕之

(56)参考文献 国際公開第2009/008182(WO, A1)

国際公開第2008/092040(WO, A1)

特許第4898858(JP, B2)

Zhengang Chen et al., Efficient Implementation of Low-Density Parity-Check Convolutional Code Encoders With Built-In Termination, Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on , 2008年12月, Vol.55, No.11, pp.3628-3640

村上 豊 外4名, パリティ検査多項式に基づく時変周期2のLDPC畳み込み符号の設計方法に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 2010年 2月24日, Vol.109, No.440, pp.309-314, RCS2009-311

Stephen Bates et al., Termination Sequence Generation Circuits for Low-Density Parity-Check Convolutional Codes, Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on , 2006年 9月, Vol.53, No.9, pp.1909-1917

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03M 13/19

H03M 13/23

IEEE Explore

CiNii