



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103701474 B

(45)授权公告日 2017. 01. 18

(21)申请号 201310711416.X

(22)申请日 2009.07.06

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103701474 A

(43)申请公布日 2014.04.02

(30)优先权数据

179636/08 2008.07.09 JP

227505/08 2008.09.04 JP

(62)分案原申请数据

200980121588.3 2009.07.06

(73)专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

(72)发明人 村上丰 冈村周太 折桥雅之

岸上高明 冈坂昌藏

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邸万奎

(51)Int.Cl.

H03M 13/11(2006.01)

H03M 13/23(2006.01)

(56)对比文件

US 2005149841 A1,2005.07.07,

CN 1947368 A,2007.04.11,

审查员 陆霞

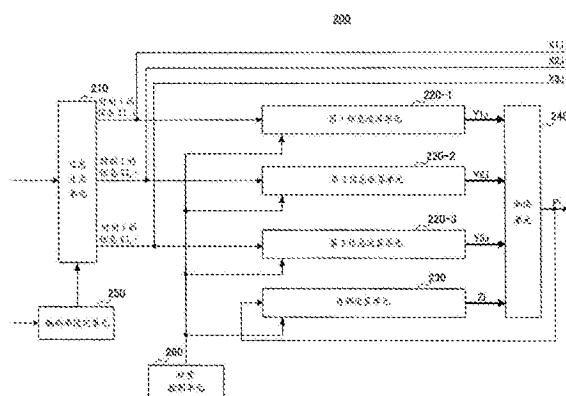
权利要求书2页 说明书72页 附图32页

(54)发明名称

编码方法及发送装置

(57)摘要

本发明提供了编码方法及发送装置。所述编码方法,用于进行能够对应编码率 $(y-1)/y$ 以及 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的低密度奇偶校验卷积码的编码,所述编码方法包括以下步骤:在所述编码率 y 和 z 的组合 $(y,z)=(2,3)$ 、 $(3,4)$ 、 $(4,5)$ 的任意一种中,在 $(z-1)/z$ 的情况下,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$,使用具有式(1)的关系的奇偶校验多项式,生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤;在 $(y-1)/y$ 的情况下,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$,使用具有式(2)的关系的奇偶校验多项式,生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤。



1. 编码方法, 用于进行能够对应编码率 $(y-1)/y$ 以及 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的低密度奇偶校验卷积码的编码, 其中, $y < z$, g 为自然数,

所述编码方法包括以下步骤:

在所述编码率 y 和 z 的组合 $(y, z) = (2, 3)$ 、 $(3, 4)$ 、 $(4, 5)$ 的任意一种中,

在 $(z-1)/z$ 的情况下, 输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$, 使用具有式(1)的关系的奇偶校验多项式, 生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤, 其中, r 为1以上, $z-1$ 以下的整数;

在 $(y-1)/y$ 的情况下, 输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$, 使用具有式(2)的关系的奇偶校验多项式, 生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤, 其中, r 为1以上, $y-1$ 以下的整数,

所述式(1)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad (1)$$

在所述式(1)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

所述式(2)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad (2)$$

在所述式(2)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

在 r 为从1至 $y-1$ 的整数的情况下, 所述式(1)的 $A_{Xr,k}(D)$ 与所述式(2)的 $A_{Xr,k}(D)$ 相等, 所述式(1)的 $B_k(D)$ 与所述式(2)的 $B_k(D)$ 相等。

2. 如权利要求1所述的编码方法, 所述时变周期 g 为3。

3. 如权利要求2所述的编码方法,

具有所述式(1)的关系的奇偶校验多项式以及具有所述式(2)的关系的奇偶校验多项式中的 $B_k(D)$ 表达为式(3), 所述式(3)为

$$B_k(D) = D^{b1} + D^{b2} + 1 \quad (3)$$

在所述式(3)中, 满足 $(b1 \bmod 3, b2 \bmod 3) = (1, 2)$ 或者 $(2, 1)$,

具有所述式(1)的关系的奇偶校验多项式以及具有所述式(2)的关系的奇偶校验多项式中的 $A_{Xr,k}(D)$ 表达为式(4), 所述式(4)为

$$A_{Xr,k}(D) = D^{a_{r,k,1}} + D^{a_{r,k,2}} + 1 \quad (4)$$

在所述式(4)中, 满足 $(a_{r,k,1} \bmod 3, a_{r,k,2} \bmod 3) = (1, 2)$ 或者 $(2, 1)$ 。

4. 发送装置, 用于发送使用能够对应编码率 $(y-1)/y$ 以及 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的低密度奇偶校验卷积码进行了编码的数据, 其中, $y < z$, g 为自然数,

所述发送装置包括:

编码单元, 对由多个比特构成的信息序列以所述编码率 $(y-1)/y$ 或者 $(z-1)/z$ 进行编码, 输出所述信息序列和奇偶校验位;

发送单元, 发送所述信息序列和所述奇偶校验位,

所述编码单元

在所述编码率 y 和 z 的组合 $(y, z) = (2, 3)$ 、 $(3, 4)$ 、 $(4, 5)$ 的任意一种中,

在 $(z-1)/z$ 的情况下,以时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ 作为输入,使用具有式(5)的关系的奇偶校验多项式,输出低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位,其中, r 为1以上, $z-1$ 以下的整数;

在 $(y-1)/y$ 的情况下,以时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ 作为输入,使用具有式(6)的关系的奇偶校验多项式,输出低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位,其中, r 为1以上, $y-1$ 以下的整数,

所述式(5)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k=i \bmod g) \quad (5)$$

在所述式(5)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

所述式(6)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k=i \bmod g) \quad (6)$$

在所述式(6)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

在 r 为从1至 $y-1$ 的整数的情况下,所述式(5)的 $A_{Xr,k}(D)$ 与所述式(6)的 $A_{Xr,k}(D)$ 相等,所述式(5)的 $B_k(D)$ 与式(6)的 $B_k(D)$ 相等。

5.如权利要求4所述的发送装置,

所述信息序列为对发送数据附加了已知信息的序列。

6.如权利要求5所述的发送装置,所述已知信息为0即零的信息。

7.如权利要求4所述的发送装置,所述时变周期 g 为3。

8.如权利要求6所述的发送装置,

具有所述式(5)的关系的奇偶校验多项式以及具有所述式(6)的关系的奇偶校验多项式中的 $B_k(D)$ 表达为式(7),所述式(7)为

$$B_k(D) = D^{b1} + D^{b2} + 1 \quad (7)$$

在所述式(7)中,满足 $(b1 \bmod 3, b2 \bmod 3) = (1, 2)$ 或者 $(2, 1)$,

具有所述式(5)的关系的奇偶校验多项式以及具有所述式(6)的关系的奇偶校验多项式中的 $A_{Xr,k}(D)$ 表达为式(8),所述式(8)为

$$A_{Xr,k}(D) = D^{a_{r,k,1}} + D^{a_{r,k,2}} + 1 \quad (8)$$

在所述式(8)中,满足 $(a_{r,k,1} \bmod 3, a_{r,k,2} \bmod 3) = (1, 2)$ 或者 $(2, 1)$ 。

编码方法及发送装置

- [0001] 本申请是以下专利申请的分案申请：
[0002] 申请号：200980121588.3
[0003] 申请日：2009年7月6日
[0004] 发明名称：编码器、解码器及编码方法

技术领域

[0005] 本发明涉及使用可以对应多种编码率的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low Density Parity Check-Convolutional Codes)的编码器、解码器及编码方法。

背景技术

[0006] 近年来,作为以可实现的电路规模来发挥高纠错能力的纠错码,低密度奇偶校验(LDPC:Low-Density Parity-Check)码备受瞩目。由于LDPC码纠错能力高且容易安装,所以在IEEE802.11n的高速无线LAN系统和数字广播系统等纠错编码方式中采用该LDPC码。

[0007] LDPC码是以低密度奇偶校验矩阵 H 定义的纠错码。另外,LDPC码是具有与校验矩阵 H 的列数 N 相等的块长度的块码(例如,非专利文献1、非专利文献4、非专利文献11)。例如,在非专利文献2、非专利文献3以及非专利文献12中提出了随机的LDPC码、Array LDPC码以及QC-LDPC码(QC:Quasi-Cyclic准循环)。

[0008] 但是,当前的大多数通信系统具有下述特征,即,如以太网(注册商标)那样,将发送信息汇总成每个可变长度的分组或帧来发送。在这样的系统中适用块码即LDPC码时,例如产生下述的问题,即,如何使固定长度的LDPC码的块与可变长度的以太网(注册商标)的帧相对应。在IEEE802.11n中,通过对发送信息序列进行填充处理或删截处理,调节发送信息序列的长度和LDPC码的块长度,但难以避免因填充或删截而使编码率变化或发送冗余的序列。

[0009] 对这样的块码的LDPC码(下面,将其标识为LDPC-BC:Low-DensityParity-Check Block Code低密度奇偶校验块码),在研究可对任意长度的信息序列进行编码/解码的LDPC-CC(Low-Density Parity-Check ConvolutionalCodes:低密度奇偶校验卷积码)(例如,参照非专利文献7)。

[0010] LDPC-CC是由低密度奇偶校验矩阵定义的卷积码,图1示出了例如编码率 $R=1/2$ ($=b/c$)的LDPC-CC的奇偶校验矩阵 $H^T[0,n]$ 。这里, $H^T[0,n]$ 的元素 $h_1^{(m)}(t)$ 取“0”或“1”。另外, $h_1^{(m)}(t)$ 以外的元素都为“0”。 M 表示LDPC-CC中的存储长度, n 表示LDPC-CC的代码字的长度。如图1所示,LDPC-CC的校验矩阵具有下述特征,即,仅在矩阵的对角项和其附近的元素配置“1”,矩阵的左下方和右上方的元素为“0”,而且为平行四边形的矩阵。

[0011] 这里,图2表示 $h_1^{(0)}(t)=1$ 、 $h_2^{(0)}(t)=1$ 时,由校验矩阵 $H^T[0,n]^T$ 定义的LDPC-CC的编码器。如图2所示,LDPC-CC的编码器由 $M+1$ 个的比特长度 c 的移位寄存器和mod2加法(“异或”运算)器构成。因此,与进行生成矩阵的乘法运算的电路或进行基于后向(前向)迭代算法的LDPC-BC的编码器相比,LDPC-CC的编码器具有能够以非常简单的电路实现的特征。另

外,图2是卷积码的编码器,所以能够对任意长度的信息序列进行编码而无需将信息序列划分为固定长度的块进行编码。

[0012] 现有技术文献

[0013] 非专利文献

[0014] 非专利文献1:R.G.Gallager,“Low-density parity check codes,”IRE Trans.Inform.Theory,IT-8,pp-21-28,1962.

[0015] 非专利文献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.

[0016] 非专利文献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.

[0017] 非专利文献4:R.D.Gallager,“Low-Density Parity-Check Codes,”Cambridge, MA:MIT Press,1963.

[0018] 非专利文献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.Comm.,vol.47.,no.5,pp.673-680,May 1999.

[0019] 非专利文献6:J.Chen,A.Dholakia,E.Eleftheriou,M.P.C.Fossorier,and X.-Yu Hu.“Reduced-complexity decoding of LDPC codes,”IEEE Trans.Comm.,vol.53.,no.8,pp.1288-1299,Aug.2005.

[0020] 非专利文献7:A.J.Feltstrom,and K.S.Zigangirov,“Time-varying periodic convolutional codes with low-density parity-check matrix,”IEEE Trans.Inform.Theory,vol.45,no.6,pp.2181-2191,Sep.1999.

[0021] 非专利文献8:IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, IEEE P802.16e/D12,Oct.2005.

[0022] 非专利文献9:J.Zhang,and M.P.C.Fossorier,“Shuffled iterative decoding,”IEEE Trans.Comm.,vol.53,no.2,pp.209-213,Feb.2005.

[0023] 非专利文献10:S.Lin,D.J.Jr.,Costello,“Error control coding: Fundamentals and applications,”Prentice-Hall.

[0024] 非专利文献11: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.

[0025] Non-Patent Document 11:Tadashi Wadayama,“Low-Density Parity-Check Code and the decoding method”,Triceps.

[0026] 非专利文献12: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.

发明内容

[0027] 本发明需要解决的问题

[0028] 但是,关于以小运算规模且数据的接收质量良好的LDPC-CC以及其编码器和解码器,并没有充分地研究多种编码率。

[0029] 例如,在非专利文献10中示出了,为了对应多种编码率而使用删截。在使用删截对

应多种编码率时,首先,准备作为源的代码即母码(mother code),生成母码的编码序列,从该编码序列中选择不发送(删截)的比特。然后,通过改变不发送的比特数,对应多种编码率。由此,通过与编码器、解码器一起而用于母码的编码器、解码器,能够对应所有的编码率,所以具有能够削减运算规模(电路规模)的优点。

[0030] 另一方面,作为对应多种编码率的方法,有对每种编码率准备不同的代码(Distributed Codes:分布码)的方法,特别是在LDPC码时,如非专利文献8中记载那样具有能够容易地构成各种代码长度、编码率的灵活性,所以对于多种编码率以多个代码对应的方法是通常的方法。此时,存在由于使用多个代码而运算规模(电路规模)大的缺点,但与通过删截对应多种编码率的情况相比,具有数据的接收质量非常良好的优点。

[0031] 考虑到上述情况,目前为止,对于为了对应多种编码率而准备多个代码,由此确保数据的接收质量而且能够削减编码器、解码器的运算规模的LDPC码的生成方法,进行探讨的文献较少,若能够确立实现削减编码器、解码器的运算规模的LDPC码的生成方法,则能够兼顾目前为止难以实现的数据的接收质量的提高和运算规模的降低。

[0032] 本发明的目的在于,提供在使用了LDPC-CC的编码器和解码器中,能够通过以多个代码实现多种编码率,使数据的接收质量提高,而且以小运算规模实现编码器和解码器的LDPC-CC编码方法。

[0033] 解决问题的方案

[0034] 本发明的编码方法,用于进行能够对应编码率 $(y-1)/y$ 以及 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的低密度奇偶校验卷积码的编码,其中, $y < z$, g 为自然数,所述编码方法包括以下步骤:在所述编码率 y 和 z 的组合 $(y, z) = (2, 3), (3, 4), (4, 5)$ 的任意一种中,在 $(z-1)/z$ 的情况下,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$,使用具有式(1)的关系的奇偶校验多项式,生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤,其中, r 为1以上, $z-1$ 以下的整数;在 $(y-1)/y$ 的情况下,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$,使用具有式(2)的关系的奇偶校验多项式,生成低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位的步骤,其中, r 为1以上, $y-1$ 以下的整数,

[0035] 所述式(1)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

[0036] $(k = i \bmod g) \quad (1)$

[0037] 在所述式(1)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

[0038] 所述式(2)为

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

[0039] $(k = i \bmod g) \quad (2)$

[0040] 在所述式(2)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

[0041] 在 r 为从1至 $y-1$ 的整数的情况下,所述式(1)的 $A_{Xr,k}(D)$ 与所述式(2)的 $A_{Xr,k}(D)$ 相等,所述式(1)的 $B_k(D)$ 与所述式(2)的 $B_k(D)$ 相等。

[0042] 本发明的发送装置,用于发送使用能够对应编码率 $(y-1)/y$ 以及 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的低密度奇偶校验卷积码进行了编码的数据,其中, $y < z$, g 为自然数,所述发送装置包

括:编码单元,对由多个比特构成的信息序列以所述编码率 $(y-1)/y$ 或者 $(z-1)/z$ 进行编码,输出所述信息序列和奇偶校验位;发送单元,发送所述信息序列和所述奇偶校验位,所述编码单元在所述编码率 y 和 z 的组合 $(y,z)=(2,3),(3,4),(4,5)$ 的任意一种中,在 $(z-1)/z$ 的情况下,以时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ 作为输入,使用具有式(5)的关系的奇偶校验多项式,输出低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位,其中, r 为1以上, $z-1$ 以下的整数;

[0043] 在 $(y-1)/y$ 的情况下,以时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ 作为输入,使用具有式(6)的关系的奇偶校验多项式,输出低密度奇偶校验卷积码的奇偶校验位,其中, r 为1以上, $y-1$ 以下的整数,

[0044] 所述式(5)为

$$[0045] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad (5)$$

[0046] 在所述式(5)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

[0047] 所述式(6)为

$$[0048] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad (6)$$

[0049] 在所述式(6)中, D 是延迟运算符, k 为0以上的整数,

[0050] 在 r 为从1至 $y-1$ 的整数的情况下,所述式(5)的 $A_{Xr,k}(D)$ 与所述式(6)的 $A_{Xr,k}(D)$ 相等,所述式(5)的 $B_k(D)$ 与式(6)的 $B_k(D)$ 相等。

[0051] 本发明的编码器使用编码率 $(q-1)/q$ (q 为3以上的整数)的奇偶校验多项式(44),生成时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes),所述编码器采用的结构包括:编码率设定单元,设定编码率 $(s-1)/s$ ($s \leq q$);第 r 运算单元,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ ($r=1,2,\dots,q-1$),输出式(44)的 $A_{Xr,k}(D)X_i(D)$ 的运算结果;奇偶运算单元,输入时刻 $i-1$ 的奇偶校验 P_{i-1} ,输出式(44)的 $B_k(D)P(D)$ 的运算结果;加法单元,获得所述第1至第 $(q-1)$ 运算单元的运算结果和所述奇偶运算单元的运算结果的“异或”作为时刻 i 的奇偶校验 P_i ;以及信息生成单元,将从所述信息 $X_{s,i}$ 至所述信息 $X_{q-1,i}$ 设定为零。

[0052] 本发明的解码器具备以编码率 $(q-1)/q$ (q 为3以上的整数)的奇偶校验多项式(45)为基准的校验矩阵,利用置信传播(BP:Belief Propagation)对时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes)进行解码,所述解码器采用的结构包括:对数似然比设定单元,根据所设定的编码率 $(s-1)/s$ ($s \leq q$),将与时刻 i (i 为整数)的信息 $X_{s,i}$ 至信息 $X_{q-1,i}$ 对应的对数似然比设定为既定值;以及运算处理单元,使用所述对数似然比,根据以式(45)的奇偶校验多项式为基准的校验矩阵,进行行处理运算和列处理运算。

[0053] 本发明的编码方法可以对应编码率 $(y-1)/y$ 及 $(z-1)/z$ ($y < z$)的时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes),使用奇偶校验多项式(46)生成编码率 $(z-1)/z$ 的低密度奇偶校验卷积码,使用奇偶校验多项式(47)生成编码率 $(y-1)/y$ 的低密度奇偶校验卷积码。

[0054] 发明效果

[0055] 根据本发明的编码器和解码器,在使用了LDPC-CC的编码器和解码器中,能够以小运算规模实现多种编码率而且获得高的数据接收质量。

附图说明

[0056] 图1是表示LDPC-CC的校验矩阵的图。

[0057] 图2是表示LDPC-CC编码器的结构的图。

[0058] 图3是表示一例时变周期4的LDPC-CC的校验矩阵的结构的图。

[0059] 图4A是表示时变周期3的LDPC-CC的奇偶校验多项式和校验矩阵H的结构的图。

[0060] 图4B是表示与图4A的“校验式#1”~“校验式#3”的 $X(D)$ 有关的各项之间的置信传播的关系的图,图4C是表示与“校验式#1”~“校验式#6”的 $X(D)$ 有关的各项之间的置信传播的关系的图。

[0061] 图5是表示(7,5)卷积码的校验矩阵的图。

[0062] 图6是表示一例编码率 $2/3$ 且时变周期2的LDPC-CC的校验矩阵H的结构的图。

[0063] 图7是表示一例编码率 $2/3$ 且时变周期 m 的LDPC-CC的校验矩阵的结构的图。

[0064] 图8是表示一例编码率 $(n-1)/n$ 且时变周期 m 的LDPC-CC的校验矩阵的结构的图。

[0065] 图9是表示一例LDPC-CC编码单元的结构图。

[0066] 图10是用于说明“信息零终止(Information-zero-termination)”的方法的图。

[0067] 图11是表示本发明实施方式2的编码器的主要结构的方框图。

[0068] 图12是表示实施方式2的第1信息运算单元的主要结构的方框图。

[0069] 图13是表示实施方式2的奇偶运算单元的主要结构的方框图。

[0070] 图14是表示实施方式2的编码器的另外的主要结构的方框图。

[0071] 图15是表示实施方式2的解码器的主要结构的方框图。

[0072] 图16是用于说明编码率 $1/2$ 时的对数似然比设定单元的动作的图。

[0073] 图17是用于说明编码率 $2/3$ 时的对数似然比设定单元的动作的图。

[0074] 图18是表示一例搭载实施方式2的编码器的发送装置的结构图。

[0075] 图19是表示一例发送格式的图。

[0076] 图20是表示一例搭载实施方式2的解码器的接收装置的结构图。

[0077] 图21是表示本发明实施方式3的进行混合ARQ的通信装置#1发送的调制信号的帧结构例的图。

[0078] 图22是表示实施方式3的通信装置#1的通信对方的通信装置#2发送的调制信号的帧结构例的图。

[0079] 图23是表示一例本实施方式的通信装置#1和通信装置#2发送的帧的流的图。

[0080] 图24是用于说明在帧#2和帧#2'中发送的数据的图。

[0081] 图25是用于说明重发时的解码方法的图。

[0082] 图26是表示本实施方式的通信装置#1和通信装置#2发送的帧的流的另外一例的图。

[0083] 图27是用于说明在帧#2和帧#2'中发送的数据的图。

[0084] 图28是用于说明第一次重发时的解码方法的图。

- [0085] 图29是用于说明在帧#2”中发送的数据的图。
- [0086] 图30是用于说明第二次重发时的解码方法的图。
- [0087] 图31是表示实施方式3的通信装置#1的主要结构的方框图。
- [0088] 图32是表示实施方式3的通信装置#2的主要结构的方框图。
- [0089] 标号说明
- [0090] 100 LDPC-CC编码器
- [0091] 110 数据运算单元
- [0092] 120、230 奇偶运算单元
- [0093] 130、260 权重控制单元
- [0094] 140 mod2加法器
- [0095] 111-1~111-M、121-1~121-M、221-1~221-M、231-1~231-M 移位寄存器
- [0096] 112-0~112-M、122-0~122-M、222-0~222-M、232-0~232-M 权重乘法器
- [0097] 200 编码器
- [0098] 210 信息生成单元
- [0099] 220-1 第1信息运算单元
- [0100] 220-2 第2信息运算单元
- [0101] 220-3 第3信息运算单元
- [0102] 240 加法单元
- [0103] 250 编码率设定单元
- [0104] 300 解码器
- [0105] 310 对数似然比设定单元
- [0106] 320 行列处理运算单元
- [0107] 321 存储单元
- [0108] 322 行处理运算单元
- [0109] 323 列处理运算单元
- [0110] 400、500 通信装置
- [0111] 410 编码率决定单元
- [0112] 420 调制单元
- [0113] 510 接收单元
- [0114] 520、730 对数似然比生成单元
- [0115] 530 控制信息生成单元
- [0116] 600、700 通信装置
- [0117] 610、710 接收/解调单元
- [0118] 620 重发请求判定单元
- [0119] 630 缓冲器
- [0120] 640 切换单元
- [0121] 650 编码单元
- [0122] 660、770 调制/发送单元
- [0123] 720 控制信息解析单元

- [0124] 740 解码单元
 [0125] 750 判定单元
 [0126] 760 重发请求单元

具体实施方式

[0127] 以下,参照附图详细地说明本发明的实施方式。

[0128] 首先,在说明实施方式的具体的结构和动作之前,说明具有良好的特性的LDPC-CC。

[0129] (具有良好的特性的LDPC-CC)

[0130] 以下,说明特性良好的时变周期 g 的LDPC-CC。

[0131] 首先,说明特性良好的时变周期4的LDPC-CC。另外,以下,以编码率 $1/2$ 的情况为例进行说明。

[0132] 作为时变周期设为4的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(1-1)~式(1-4)。此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(1-1)和式(1-4)中,设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在四个项的奇偶校验多项式,但这是因为,在获得良好的接收质量方面,设为四个项较合适。

$$[0133] \quad (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3}+D^{a4})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3}+D^{b4})P(D)=0 \cdots (1-1)$$

$$[0134] \quad (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3}+D^{A4})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3}+D^{B4})P(D)=0 \cdots (1-2)$$

$$[0135] \quad (D^{\alpha1}+D^{\alpha2}+D^{\alpha3}+D^{\alpha4})X(D)+(D^{\beta1}+D^{\beta2}+D^{\beta3}+D^{\beta4})P(D)=0 \cdots (1-3)$$

$$[0136] \quad (D^{E1}+D^{E2}+D^{E3}+D^{E4})X(D)+(D^{F1}+D^{F2}+D^{F3}+D^{F4})P(D)=0 \cdots (1-4)$$

[0137] 在式(1-1)中, $a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$ 为整数(其中, $a1 \neq a2 \neq a3 \neq a4$ 且 $a1$ 至 $a4$ 全都不同)。另外,以后在记述为“ $X \neq Y \neq \cdots \neq Z$ ”时表示 X 、 Y 、 $\cdots$ 、 Z 相互完全不同。另外, $b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$ 为整数(其中, $b1 \neq b2 \neq b3 \neq b4$)。将式(1-1)的奇偶校验多项式称为“校验式#1”,并将基于式(1-1)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第1子矩阵 H_1 。

[0138] 另外,在式(1-2)中, $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $A4$ 为整数(其中, $A1 \neq A2 \neq A3 \neq A4$)。另外, $B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 、 $B4$ 为整数(其中, $B1 \neq B2 \neq B3 \neq B4$)。将式(1-2)的奇偶校验多项式称为“校验式#2”,并将基于式(1-2)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第2子矩阵 H_2 。

[0139] 另外,在式(1-3)中, $\alpha1$ 、 $\alpha2$ 、 $\alpha3$ 、 $\alpha4$ 为整数(其中, $\alpha1 \neq \alpha2 \neq \alpha3 \neq \alpha4$)。另外, $\beta1$ 、 $\beta2$ 、 $\beta3$ 、 $\beta4$ 为整数(其中, $\beta1 \neq \beta2 \neq \beta3 \neq \beta4$)。将式(1-3)的奇偶校验多项式称为“校验式#3”,并将基于式(1-3)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第3子矩阵 H_3 。

[0140] 另外,在式(1-4)中, $E1$ 、 $E2$ 、 $E3$ 、 $E4$ 为整数(其中, $E1 \neq E2 \neq E3 \neq E4$)。另外, $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 、 $F4$ 为整数(其中, $F1 \neq F2 \neq F3 \neq F4$)。将式(1-4)的奇偶校验多项式称为“校验式#4”,并将基于式(1-4)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第4子矩阵 H_4 。

[0141] 另外,考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 、第3子矩阵 H_3 以及第4子矩阵 H_4 ,如图3那样生成了校验矩阵的时变周期4的LDPC-CC。

[0142] 此时,在式(1-1)~(1-4)中,将 $X(D)$ 和 $P(D)$ 的次数的组合($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$)、($b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$)、($A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $A4$)、($B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 、 $B4$)、($\alpha1$ 、 $\alpha2$ 、 $\alpha3$ 、 $\alpha4$)、($\beta1$ 、 $\beta2$ 、 $\beta3$ 、 $\beta4$)、($E1$ 、 $E2$ 、 $E3$ 、 $E4$)、($F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 、 $F4$)的各个值除以4所得的余数设为 k 时,使上述那样表示的四个系数组(例如, ($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$))中包含余数0、1、2、3各一个,而且在上述的四个系数组都成立。

[0143] 例如,将“校验式#1”的 $X(D)$ 的各个次数(a_1, a_2, a_3, a_4)设为(a_1, a_2, a_3, a_4)=(8, 7, 6, 5),各个次数(a_1, a_2, a_3, a_4)除以4所得的余数 k 为(0, 3, 2, 1),四个系数组中包含余数(k)0、1、2、3各一个。同样,若将“校验式#1”的 $P(D)$ 的各个次数(b_1, b_2, b_3, b_4)设为(b_1, b_2, b_3, b_4)=(4, 3, 2, 1),则是各个次数(b_1, b_2, b_3, b_4)除以4所得的余数 k 为(0, 3, 2, 1),四个系数组中包含0、1、2、3各一个作为余数(k)。假设其他校验式(“校验式#2”、“校验式#3”、“校验式#4”)的 $X(D)$ 和 $P(D)$ 各自的四个系数组也成立与上述的“余数”有关的条件。

[0144] 通过这种方式,能够形成由式(1-1)~式(1-4)构成的校验矩阵 H 的列权重在所有列中为4的、正则LDPC码。这里,正则LDPC码是由各列权重被设为了恒定的校验矩阵定义的LDPC码,并具有特性稳定且不易出现误码平台(error floor)的特征。特别是,在列权重为4时,特性良好,所以通过如上述那样生成LDPC-CC,能够获得接收性能良好的LDPC-CC。

[0145] 另外,表1是与上述“余数”有关的条件成立的、时变周期4且编码率1/2的LDPC-CC的例子(LDPC-CC#1~#3)。在表1中,时变周期4的LDPC-CC由“校验多项式#1”、“校验多项式#2”、“校验多项式#3”、“校验多项式#4”四个奇偶校验多项式定义。

[0146] (表1)

代码	奇偶校验多项式
[0147] 时变周期 4 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#1	“校验多项式#1”: $(D^{458}+D^{435}+D^{341}+1)X(D)+(D^{598}+D^{373}+D^{67}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{287}+D^{213}+D^{130}+1)X(D)+(D^{545}+D^{542}+D^{103}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{557}+D^{495}+D^{326}+1)X(D)+(D^{561}+D^{502}+D^{351}+1)P(D)=0$ “校验多项式#4”: $(D^{426}+D^{329}+D^{99}+1)X(D)+(D^{321}+D^{55}+D^{42}+1)P(D)=0$
	“校验多项式#1”: $(D^{503}+D^{454}+D^{49}+1)X(D)+(D^{569}+D^{467}+D^{402}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{518}+D^{473}+D^{203}+1)X(D)+(D^{598}+D^{499}+D^{145}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{403}+D^{397}+D^{62}+1)X(D)+(D^{294}+D^{267}+D^{69}+1)P(D)=0$ “校验多项式#4”: $(D^{483}+D^{385}+D^{94}+1)X(D)+(D^{426}+D^{415}+D^{413}+1)P(D)=0$
[0148] 时变周期 4 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#3	“校验多项式#1”: $(D^{454}+D^{447}+D^{17}+1)X(D)+(D^{494}+D^{237}+D^7+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{583}+D^{545}+D^{506}+1)X(D)+(D^{325}+D^{71}+D^{66}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{430}+D^{425}+D^{407}+1)X(D)+(D^{582}+D^{47}+D^{45}+1)P(D)=0$ “校验多项式#4”: $(D^{434}+D^{353}+D^{127}+1)X(D)+(D^{345}+D^{207}+D^{38}+1)P(D)=0$

[0149] 在上述说明中,以编码率1/2时为例进行了说明,但对于编码率为 $(n-1)/n$ 时,在信息 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 的各自的四个系数组中,如果与上述“余数”有关的条件成立,则仍然能够为正则LDPC码,获得良好的接收质量。

[0150] 另外,在时变周期2时也确认出,若适用与上述“余数”有关的条件,则能够搜索特性良好的代码。以下,说明特性良好的时变周期2的LDPC-CC。另外,以下,以编码率1/2的情

况为例进行说明。

[0151] 作为时变周期设为2的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(2-1)、式(2-2)。此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(2-1)和式(2-2)中,设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在四个项的奇偶校验多项式,但这是因为,在获得良好的接收质量方面,设为四个项较合适。

$$[0152] \quad (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3}+D^{a4})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3}+D^{b4})P(D)=0 \cdots (2-1)$$

$$[0153] \quad (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3}+D^{A4})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3}+D^{B4})P(D)=0 \cdots (2-2)$$

[0154] 在式(2-1)中, $a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$ 为整数(其中, $a1 \neq a2 \neq a3 \neq a4$)。另外, $b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$ 为整数(其中, $b1 \neq b2 \neq b3 \neq b4$)。将式(2-1)的奇偶校验多项式称为“校验式#1”,并将基于式(2-1)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第1子矩阵 H_1 。

[0155] 另外,在式(2-2)中, $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $A4$ 为整数(其中, $A1 \neq A2 \neq A3 \neq A4$)。另外, $B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 、 $B4$ 为整数(其中, $B1 \neq B2 \neq B3 \neq B4$)。将式(2-2)的奇偶校验多项式称为“校验式#2”,并将基于式(2-2)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第2子矩阵 H_2 。

[0156] 另外,考虑从第1子矩阵 H_1 和第2子矩阵 H_2 生成的时变周期2的LDPC-CC。

[0157] 此时,在式(2-1)和(2-2)中,将 $X(D)$ 和 $P(D)$ 的次数的组合($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$)、($b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$)、($A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 、 $A4$)、($B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 、 $B4$)的各个值除以4所得的余数设为 k 时,使上述那样表示的四个系数组(例如, ($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$))中包含余数0、1、2、3各一个,而且在上述的四个系数组都成立。

[0158] 例如,将“校验式#1”的 $X(D)$ 的各个次数($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$)设为($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$)=(8, 7, 6, 5),各个次数($a1$ 、 $a2$ 、 $a3$ 、 $a4$)除以4所得的余数 k 为(0, 3, 2, 1),四个系数组中包含余数(k)0、1、2、3各一个。同样,若将“校验式#1”的 $P(D)$ 的各个次数($b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$)设为($b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$)=(4, 3, 2, 1),则各个次数($b1$ 、 $b2$ 、 $b3$ 、 $b4$)除以4所得的余数 k 为(0, 3, 2, 1),四个系数组中包含0、1、2、3各一个作为余数(k)。假设“校验式#2”的 $X(D)$ 和 $P(D)$ 各自的四个系数组也成立与上述的“余数”有关的条件。

[0159] 通过这种方式,能够形成由式(2-1)和式(2-2)构成的校验矩阵 H 的列权重在所有列中为4的、正则LDPC码。这里,正则LDPC码是由各列权重被设为了恒定的校验矩阵定义的LDPC码,并具有特性稳定且不易出现误码平台(error floor)的特征。特别是,在行权重为8时,特性良好,所以能够通过如上述那样生成LDPC-CC,从而获得可进一步提高接收性能的LDPC-CC。

[0160] 另外,表2是表示与上述“余数”有关的条件成立的、时变周期2且编码率1/2的LDPC-CC的例子(LDPC-CC#1、#2)。在表2中,时变周期2的LDPC-CC由“校验多项式#1”和“校验多项式#2”两个奇偶校验多项式定义。

[0161] (表2)

代码	奇偶校验多项式
[0162] 时变周期 2 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#1	“校验多项式#1”: $(D^{551}+D^{465}+D^{98}+1)X(D)+(D^{407}+D^{386}+D^{373}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{443}+D^{433}+D^{54}+1)X(D)+(D^{559}+D^{557}+D^{546}+1)P(D)=0$
时变周期 2 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#2	“校验多项式#1”: $(D^{265}+D^{190}+D^{99}+1)X(D)+(D^{295}+D^{246}+D^{69}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{275}+D^{226}+D^{213}+1)X(D)+(D^{298}+D^{147}+D^{45}+1)P(D)=0$

[0163] 在上述说明(时变周期2的LDPC-CC)中,以编码率1/2时为例进行了说明,但对于编码率为 $(n-1)/n$ 时,在信息 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 的各自的四个系数组中,如果与上述的“余数”有关的条件成立,则仍然能够为正则LDPC码,获得良好的接收质量。

[0164] 另外,在时变周期3时也确认出,若适用与“余数”有关的以下条件,则能够搜索特性良好的代码。以下,说明特性良好的时变周期3的LDPC-CC。另外,以下,以编码率1/2的情况为例进行说明。

[0165] 作为时变周期设为3的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(3-1)~式(3-3)。此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(3-1)~式(3-3)中,设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。

$$[0166] \quad (D^{a1}+D^{a2}+D^{a3})X(D)+(D^{b1}+D^{b2}+D^{b3})P(D)=0 \cdots (3-1)$$

$$[0167] \quad (D^{A1}+D^{A2}+D^{A3})X(D)+(D^{B1}+D^{B2}+D^{B3})P(D)=0 \cdots (3-2)$$

$$[0168] \quad (D^{\alpha 1}+D^{\alpha 2}+D^{\alpha 3})X(D)+(D^{\beta 1}+D^{\beta 2}+D^{\beta 3})P(D)=0 \cdots (3-3)$$

[0169] 在式(3-1)中, a_1 、 a_2 、 a_3 为整数(其中, $a_1 \neq a_2 \neq a_3$)。另外, b_1 、 b_2 、 b_3 为整数(其中, $b_1 \neq b_2 \neq b_3$)。将式(3-1)的奇偶校验多项式称为“校验式#1”,并将基于式(3-1)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第1子矩阵 H_1 。

[0170] 另外,在式(3-2)中, A_1 、 A_2 、 A_3 为整数(其中, $A_1 \neq A_2 \neq A_3$)。另外, B_1 、 B_2 、 B_3 为整数(其中, $B_1 \neq B_2 \neq B_3$)。将式(3-2)的奇偶校验多项式称为“校验式#2”,并将基于式(3-2)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第2子矩阵 H_2 。

[0171] 另外,在式(3-3)中, α_1 、 α_2 、 α_3 为整数(其中, $\alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$)。另外, β_1 、 β_2 、 β_3 为整数(其中, $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$)。将式(3-3)的奇偶校验多项式称为“校验式#3”,并将基于式(3-3)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第3子矩阵 H_3 。

[0172] 另外,考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 以及第3子矩阵 H_3 生成的时变周期3的LDPC-CC。

[0173] 此时,在式(3-1)~式(3-3)中,将 $X(D)$ 和 $P(D)$ 的次数的组合 (a_1, a_2, a_3) 、 (b_1, b_2, b_3) 、 (A_1, A_2, A_3) 、 (B_1, B_2, B_3) 、 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ 、 $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ 的各个值除以3所得的余数设为 k 时,使上述那样表示的三个系数组(例如, (a_1, a_2, a_3))中包含余数0、1、2各一个,而且在上述的三个系数组都成立。

[0174] 例如,将“校验式#1”的 $X(D)$ 的各个次数 (a_1, a_2, a_3) 设为 $(a_1, a_2, a_3) = (6, 5, 4)$,各个次数 (a_1, a_2, a_3) 除以3所得的余数 k 为(0, 2, 1),三个系数组中包含余数(k)0、1、2各一个。

同样,将“校验式#1”的 $P(D)$ 的各个次数 (b_1, b_2, b_3) 设为 $(b_1, b_2, b_3) = (3, 2, 1)$,各个次数 (b_1, b_2, b_3) 除以4所得的余数 k 为 $(0, 2, 1)$,三个系数组中包含0、1、2各一个作为余数 (k) 。假设“校验式#2”、“校验式#3”的 $X(D)$ 和 $P(D)$ 各自的三个系数组也成立与上述的“余数”有关的条件。

[0175] 通过这样生成LDPC-CC,能够生成除去一部分的例外,行权重在所有的行相等且列权重在所有的行相等的正则LDPC-CC码。另外,所谓例外是指,在校验矩阵的最初的一部分及最后的一部分,行权重和列权重与其他的行权重和列权重不相等。进而,进行BP解码时,“校验式#2”中的置信度和“校验式#3”中的置信度准确地对“校验式#1”传播,“校验式#1”中的置信度和“校验式#3”中的置信度准确地对“校验式#2”传播,“校验式#1”中的置信度和“校验式#2”中的置信度准确地对“校验式#3”传播。因此,能够获得接收质量更良好的LDPC-CC。这是因为,以列单位进行考虑时,如上所述,将存在“1”的位置进行配置,以准确地传播置信度。

[0176] 以下,使用附图,说明上述置信传播。图4A表示时变周期3的LDPC-CC的奇偶校验多项式及校验矩阵H的结构。

[0177] “校验式#1”为,在式(3-1)的奇偶校验多项式中, $(a_1, a_2, a_3) = (2, 1, 0)$ 、 $(b_1, b_2, b_3) = (2, 1, 0)$ 时,各个系数除以3所得的余数为 $(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 、 $(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 。另外,“ $Z \% 3$ ”表示 Z 除以3所得的余数。

[0178] “校验式#2”为,在式(3-2)的奇偶校验多项式中, $(A_1, A_2, A_3) = (5, 1, 0)$ 、 $(B_1, B_2, B_3) = (5, 1, 0)$ 时,各个系数除以3所得的余数为 $(A_1 \% 3, A_2 \% 3, A_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 、 $(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3) = (2, 1, 0)$ 。

[0179] “校验式#3”为,在式(3-3)的奇偶校验多项式中, $(a_1, a_2, a_3) = (4, 2, 0)$ 、 $(\beta_1, \beta_2, \beta_3) = (4, 2, 0)$ 时,各个系数除以3所得的余数为 $(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3) = (1, 2, 0)$ 、 $(\beta_1 \% 3, \beta_2 \% 3, \beta_3 \% 3) = (1, 2, 0)$ 。

[0180] 因此,如图4A所示的时变周期3的LDPC-CC的例子,满足与上述的“余数”有关的条件、即、

[0181] $(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3)$ 、

[0182] $(b_1 \% 3, b_2 \% 3, b_3 \% 3)$ 、

[0183] $(A_1 \% 3, A_2 \% 3, A_3 \% 3)$ 、

[0184] $(B_1 \% 3, B_2 \% 3, B_3 \% 3)$ 、

[0185] $(a_1 \% 3, a_2 \% 3, a_3 \% 3)$ 、

[0186] $(\beta_1 \% 3, \beta_2 \% 3, \beta_3 \% 3)$

[0187] 为 $(0, 1, 2)$ 、 $(0, 2, 1)$ 、 $(1, 0, 2)$ 、 $(1, 2, 0)$ 、 $(2, 0, 1)$ 、 $(2, 1, 0)$ 中的任一个的条件。

[0188] 再次返回到图4A,说明置信传播。通过BP解码中的列6506的列运算,“校验式#1”的区域6501的“1”从“校验式#2”的区域6504的“1”和“校验式#3”的区域6505的“1”传播置信度。如上所述,“校验式#1”的区域6501的“1”是除以3所得余数为0的系数($a_3 \% 3 = 0(a_3 = 0)$ 或 $b_3 \% 3 = 0(b_3 = 0)$)。另外,“校验式#2”的区域6504的“1”是除以3所得余数为1的系数($A_2 \% 3 = 1(A_2 = 1)$ 或 $B_2 \% 3 = 1(B_2 = 1)$)。另外,“校验式#3”的区域6505的“1”是除以3所得余数为2的系数($a_2 \% 3 = 2(a_2 = 2)$ 或 $\beta_2 \% 3 = 2(\beta_2 = 2)$)。

[0189] 这样,“校验式#1”的系数中余数为“0”的区域6501的“1”,在BP解码的列6506的列

运算中,从“校验式#2”的系数中余数为“1”的区域6504的“1”和“校验式#3”的系数中余数为“2”的区域6505的“1”传播置信度。

[0190] 同样,“校验式#1”的系数中余数为“1”的区域6502的“1”,在BP解码的列6509的列运算中,从“校验式#2”的系数中余数为“2”的区域6507的“1”和“校验式#3”的系数中余数为“0”的区域6508的“1”传播置信度。

[0191] 同样,“校验式#1”的系数中余数为“2”的区域6503的“1”,在BP解码的列6512的列运算中,从“校验式#2”的系数中余数为“0”的区域6510的“1”和“校验式#3”的系数中余数为“1”的区域6511的“1”传播置信度。

[0192] 使用图4B,补充说明置信传播。图4B表示与图4A的“校验式#1”~“校验式#3”的X(D)有关的各个项之间的置信传播的关系。图4A的“校验式#1”~“校验式#3”在与式(3-1)~式(3-3)的X(D)有关的项中,是 $(a_1, a_2, a_3) = (2, 1, 0)$ 、 $(A_1, A_2, A_3) = (5, 1, 0)$ 、 $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (4, 2, 0)$ 的情况。

[0193] 在图4B中,用四边形包围的项 (a_3, A_3, α_3) 表示除以3所得的余数为“0”的系数。另外,用圆圈包围的项 (a_2, A_2, α_1) 表示除以3所得的余数为“1”的系数。另外,用菱形包围的项 (a_1, A_1, α_2) 表示除以3所得的余数为“2”的系数。

[0194] 从图4B可知,“校验式#1”的 a_1 从除以3所得的余数不同的“校验式#2”的 A_3 和“校验式#3”的 α_1 传播置信度。“校验式#1”的 a_2 从除以3所得的余数不同的“校验式#2”的 A_1 和“校验式#3”的 α_3 传播置信度。“校验式#1”的 a_3 从除以3所得的余数不同的“校验式#2”的 A_2 和“校验式#3”的 α_2 传播置信度。在图4B中,表示了与“校验式#1”~“校验式#3”的X(D)有关的各个项之间的置信传播的关系,但可以说对于与P(D)有关的各个项之间也是同样的。

[0195] 这样,对“校验式#1”从“校验式#2”的系数中的、除以3所得的余数为0、1、2的系数传播置信度。也就是说,对“校验式#1”从“校验式#2”的系数中的、除以3所得的余数全都不同的系数,传播置信度。因此,相关低的置信度彼此都传播到“校验式#1”。

[0196] 同样,对“校验式#2”,从“校验式#1”的系数中的、除以3所得的余数为0、1、2的系数,传播置信度。也就是说,对“校验式#2”,从“校验式#1”的系数中的、除以3所得的余数全都不同的系数,传播置信度。另外,对“校验式#2”,从“校验式#3”的系数中的、除以3所得的余数为0、1、2的系数,传播置信度。也就是说,对“校验式#2”从“校验式#3”的系数中的、除以3所得的余数全都不同的系数,传播置信度。

[0197] 同样,对“校验式#3”,从“校验式#1”的系数中的、除以3所得的余数为0、1、2的系数,传播置信度。也就是说,对“校验式#3”,从“校验式#1”的系数中的、除以3所得的余数全都不同的系数,传播置信度。另外,对“校验式#3”,从“校验式#2”的系数中的、除以3所得的余数为0、1、2的系数,传播置信度。也就是说,对“校验式#3”,从“校验式#2”的系数中的、除以3所得的余数全都不同的系数,传播置信度。

[0198] 这样,通过使式(3-1)~式(3-3)的奇偶校验多项式的各个次数满足与上述的“余数”有关的条件,在所有的列运算中,必定传播置信度,所以在所有的校验式中,能够高效率地传播置信度,从而能够进一步提高纠错能力。

[0199] 以上,对时变周期3的LDPC-CC,以编码率 $1/2$ 的情况为例进行了说明,但编码率并不限于 $1/2$ 。在编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)时,在信息 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 中的各自的三个系数组中,如果与上述的“余数”有关的条件成立,则仍然能够为正则LDPC码,

获得良好的接收质量。

[0200] 以下,说明编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的情况。

[0201] 作为时变周期设为3的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(4-1)~式(4-3)。此时, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 是数据(信息) X_1 、 X_2 、……、 X_{n-1} 的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(4-1)~式(4-3)中,设为 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。

$$[0202] \quad (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + D^{a_{1,3}})X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + D^{a_{2,3}})X_2(D) + \dots \dots (4-1) \\ + (D^{a_{n-1,1}} + D^{a_{n-1,2}} + D^{a_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{b_1} + D^{b_2} + D^{b_3})P(D) = 0$$

$$[0203] \quad (D^{A_{1,1}} + D^{A_{1,2}} + D^{A_{1,3}})X_1(D) + (D^{A_{2,1}} + D^{A_{2,2}} + D^{A_{2,3}})X_2(D) + \dots \dots (4-2) \\ + (D^{A_{n-1,1}} + D^{A_{n-1,2}} + D^{A_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{B_1} + D^{B_2} + D^{B_3})P(D) = 0$$

$$[0204] \quad (D^{\alpha_{1,1}} + D^{\alpha_{1,2}} + D^{\alpha_{1,3}})X_1(D) + (D^{\alpha_{2,1}} + D^{\alpha_{2,2}} + D^{\alpha_{2,3}})X_2(D) + \dots \dots (4-3) \\ + (D^{\alpha_{n-1,1}} + D^{\alpha_{n-1,2}} + D^{\alpha_{n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{\beta_1} + D^{\beta_2} + D^{\beta_3})P(D) = 0$$

[0205] 在式(4-1)中,使 $a_{i,1}$ 、 $a_{i,2}$ 、 $a_{i,3}$ ($i=1,2,\dots,n-1$)为整数(其中, $a_{i,1} \neq a_{i,2} \neq a_{i,3}$)。另外, b_1 、 b_2 、 b_3 为整数(其中, $b_1 \neq b_2 \neq b_3$)。将式(4-1)的奇偶校验多项式称为“校验式#1”,并将基于式(4-1)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第1子矩阵 H_1 。

[0206] 另外,在式(4-2)中,使 $A_{i,1}$ 、 $A_{i,2}$ 、 $A_{i,3}$ ($i=1,2,\dots,n-1$)为整数(其中, $A_{i,1} \neq A_{i,2} \neq A_{i,3}$)。另外, B_1 、 B_2 、 B_3 为整数(其中, $B_1 \neq B_2 \neq B_3$)。将式(4-2)的奇偶校验多项式称为“校验式#2”,并将基于式(4-2)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第2子矩阵 H_2 。

[0207] 另外,在式(4-3)中,使 $\alpha_{i,1}$ 、 $\alpha_{i,2}$ 、 $\alpha_{i,3}$ ($i=1,2,\dots,n-1$)为整数(其中, $\alpha_{i,1} \neq \alpha_{i,2} \neq \alpha_{i,3}$)。另外, β_1 、 β_2 、 β_3 为整数(其中, $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$)。将式(4-3)的奇偶校验多项式称为“校验式#3”,并将基于式(4-3)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第3子矩阵 H_3 。

[0208] 另外,考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 以及第3子矩阵 H_3 生成的时变周期3的LDPC-CC。

[0209] 此时,在式(4-1)~式(4-3)中,将 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 以及 $P(D)$ 的次数的组合

[0210] $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3})$ 、

[0211] $(a_{2,1}, a_{2,2}, a_{2,3})$ 、……、

[0212] $(a_{n-1,1}, a_{n-1,2}, a_{n-1,3})$ 、

[0213] (b_1, b_2, b_3) 、

[0214] $(A_{1,1}, A_{1,2}, A_{1,3})$ 、

[0215] $(A_{2,1}, A_{2,2}, A_{2,3})$ 、……、

[0216] $(A_{n-1,1}, A_{n-1,2}, A_{n-1,3})$ 、

[0217] (B_1, B_2, B_3) 、

[0218] $(\alpha_{1,1}, \alpha_{1,2}, \alpha_{1,3})$ 、

[0219] $(\alpha_{2,1}, \alpha_{2,2}, \alpha_{2,3})$ 、……、

[0220] $(\alpha_{n-1,1}, \alpha_{n-1,2}, \alpha_{n-1,3})$ 、

[0221] $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$

[0222] 的各个值除以3所得的余数设为k时,使上述那样表示了的三个系数组(例如($a_{1,1}$ 、 $a_{1,2}$ 、 $a_{1,3}$))包含余数0、1、2各一个,而且在上述的三个系数组都成立。

[0223] 也就是说,

[0224] ($a_{1,1} \% 3$ 、 $a_{1,2} \% 3$ 、 $a_{1,3} \% 3$)、

[0225] ($a_{2,1} \% 3$ 、 $a_{2,2} \% 3$ 、 $a_{2,3} \% 3$)、……、

[0226] ($a_{n-1,1} \% 3$ 、 $a_{n-1,2} \% 3$ 、 $a_{n-1,3} \% 3$)、

[0227] ($b_1 \% 3$ 、 $b_2 \% 3$ 、 $b_3 \% 3$)、

[0228] ($A_{1,1} \% 3$ 、 $A_{1,2} \% 3$ 、 $A_{1,3} \% 3$)、

[0229] ($A_{2,1} \% 3$ 、 $A_{2,2} \% 3$ 、 $A_{2,3} \% 3$)、……、

[0230] ($A_{n-1,1} \% 3$ 、 $A_{n-1,2} \% 3$ 、 $A_{n-1,3} \% 3$)、

[0231] ($B_1 \% 3$ 、 $B_2 \% 3$ 、 $B_3 \% 3$)、

[0232] ($\alpha_{1,1} \% 3$ 、 $\alpha_{1,2} \% 3$ 、 $\alpha_{1,3} \% 3$)、

[0233] ($\alpha_{2,1} \% 3$ 、 $\alpha_{2,2} \% 3$ 、 $\alpha_{2,3} \% 3$)、……、

[0234] ($\alpha_{n-1,1} \% 3$ 、 $\alpha_{n-1,2} \% 3$ 、 $\alpha_{n-1,3} \% 3$)、

[0235] ($\beta_1 \% 3$ 、 $\beta_2 \% 3$ 、 $\beta_3 \% 3$)

[0236] 为(0、1、2)、(0、2、1)、(1、0、2)、(1、2、0)、(2、0、1)、(2、1、0)中的任一个。

[0237] 通过这样生成LDPC-CC,能够生成正则LDPC-CC码。进而,进行了BP解码时,“校验式#2”中的置信度和“校验式#3”中的置信度准确地对“校验式#1”传播,“校验式#1”中的置信度和“校验式#3”中的置信度准确地对“校验式#2”传播,“校验式#1”中的置信度和“校验式#2”中的置信度准确地对“校验式#3”传播。因此,与编码率1/2的情况同样,能够获得接收质量更良好的LDPC-CC。

[0238] 另外,表3表示与上述“余数”有关的条件成立的、时变周期3且编码率1/2的LDPC-CC的例子(LDPC-CC#1、#2、#3、#4、#5)。在表3中,时变周期3的LDPC-CC由“校验(多项)式#1”、“校验(多项)式#2”、“校验(多项)式#3”三个奇偶校验多项式定义。

[0239] (表3)

代码	奇偶校验多项式
时变周期3且编 码率1/2的 LDPC-CC#1	“校验多项式#1”: $(D^{428} + D^{325} + 1)X(D) + (D^{538} + D^{332} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{538} + D^{380} + 1)X(D) + (D^{449} + D^1 + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{583} + D^{170} + 1)X(D) + (D^{364} + D^{242} + 1)P(D) = 0$
时变周期3且编 码率1/2的 LDPC-CC#2	“校验多项式#1”: $(D^{562} + D^{71} + 1)X(D) + (D^{325} + D^{155} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{215} + D^{106} + 1)X(D) + (D^{566} + D^{142} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{590} + D^{559} + 1)X(D) + (D^{127} + D^{110} + 1)P(D) = 0$

[0241]

时变周期 3 且编 码率 1/2 的 LDPC-CC#3	“校验多项式#1”: $(D^{112}+D^{53}+1)X(D)+(D^{110}+D^{88}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{103}+D^{47}+1)X(D)+(D^{85}+D^{83}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{148}+D^{89}+1)X(D)+(D^{146}+D^{49}+1)P(D)=0$
时变周期 3 且编 码率 1/2 的 LDPC-CC#4	“校验多项式#1”: $(D^{350}+D^{322}+1)X(D)+(D^{448}+D^{338}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{529}+D^{32}+1)X(D)+(D^{238}+D^{188}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{592}+D^{572}+1)X(D)+(D^{578}+D^{568}+1)P(D)=0$
时变周期 3 且编 码率 1/2 的 LDPC-CC#5	“校验多项式#1”: $(D^{410}+D^{82}+1)X(D)+(D^{835}+D^{47}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{875}+D^{796}+1)X(D)+(D^{962}+D^{871}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{605}+D^{547}+1)X(D)+(D^{950}+D^{439}+1)P(D)=0$
时变周期 3 且编 码率 1/2 的 LDPC-CC#6	“校验多项式#1”: $(D^{373}+D^{56}+1)X(D)+(D^{406}+D^{218}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{457}+D^{197}+1)X(D)+(D^{491}+D^{22}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{485}+D^{70}+1)X(D)+(D^{236}+D^{181}+1)P(D)=0$

[0242] 另外确认出,若在与时变周期3同样地对时变周期3的倍数(例如,时变周期6、9、12、)的LDPC-CC适用与“余数”有关的以下的条件,则能够搜索特性良好的代码。以下,说明特性良好的时变周期3的倍数的LDPC-CC。另外,以下,以编码率1/2且时变周期6的LDPC-CC的情况为例进行说明。

[0243] 作为时变周期设为6的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(5-1)~式(5-6)。

[0244] $(D^{a1,1}+D^{a1,2}+D^{a1,3})X(D)+(D^{b1,1}+(D^{b1,2}+D^{b1,3})P(D)=0\cdots(5-1)$

[0245] $(D^{a2,1}+D^{a2,2}+D^{a2,3})X(D)+(D^{b2,1}+D^{b2,2}+D^{b2,3})P(D)=0\cdots(5-2)$

[0246] $(D^{a3,1}+D^{a3,2}+D^{a3,3})X(D)+(D^{b3,1}+D^{b3,2}+D^{b3,3})P(D)=0\cdots(5-3)$

[0247] $(D^{a4,1}+D^{a4,2}+D^{a4,3})X(D)+(D^{b4,1}+D^{b4,2}+D^{b4,3})P(D)=0\cdots(5-4)$

[0248] $(D^{a5,1}+D^{a5,2}+D^{a5,3})X(D)+(D^{b5,1}+D^{b5,2}+D^{b5,3})P(D)=0\cdots(5-5)$

[0249] $(D^{a6,1}+D^{a6,2}+D^{a6,3})X(D)+(D^{b6,1}+D^{b6,2}+D^{b6,3})P(D)=0\cdots(5-6)$

[0250] 此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验多项式表达式。时变周期6的LDPC-CC中,时刻*i*的奇偶校验 P_i 和信息 X_i 若 $i\%6=k(k=0,1,2,3,4,5)$,则式(5-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如,若设为 $i=1$,则 $i\%6=1(k=1)$,所以式(6)成立。

[0251] $(D^{a2,1}+D^{a2,2}+D^{a2,3})X_1+(D^{b2,1}+(D^{b2,2}+D^{b2,3})P_1=0\cdots(6)$

[0252] 这里,在式(5-1)~式(5-6)中,设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。

[0253] 在式(5-1)中, $a1,1,a1,2,a1,3$ 为整数(其中, $a1,1\neq a1,2\neq a1,3$)。另外, $b1,1,b1,2,b1,3$ 为整数(其中, $b1,1\neq b1,2\neq b1,3$)。将式(5-1)的奇偶校验多项式称为“校验式#1”,并将基于式(5-1)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第1子矩阵 H_1 。

[0254] 另外,在式(5-2)中, $a2,1,a2,2,a2,3$ 为整数(其中, $a2,1\neq a2,2\neq a2,3$)。另外, $b2,1,b2,2,b2,3$ 为整数(其中, $b2,1\neq b2,2\neq b2,3$)。将式(5-2)的奇偶校验多项式称为“校验

式#2”，并将基于式(5-2)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第2子矩阵 H_2 。

[0255] 另外，在式(5-3)中， $a_{3,1}$ 、 $a_{3,2}$ 、 $a_{3,3}$ 为整数(其中， $a_{3,1} \neq a_{3,2} \neq a_{3,3}$)。另外， $b_{3,1}$ 、 $b_{3,2}$ 、 $b_{3,3}$ 为整数(其中， $b_{3,1} \neq b_{3,2} \neq b_{3,3}$)。将式(5-3)的奇偶校验多项式称为“校验式#3”，并将基于式(5-3)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第3子矩阵 H_3 。

[0256] 另外，在式(5-4)中， $a_{4,1}$ 、 $a_{4,2}$ 、 $a_{4,3}$ 为整数(其中， $a_{4,1} \neq a_{4,2} \neq a_{4,3}$)。另外， $b_{4,1}$ 、 $b_{4,2}$ 、 $b_{4,3}$ 为整数(其中， $b_{4,1} \neq b_{4,2} \neq b_{4,3}$)。将式(5-4)的奇偶校验多项式称为“校验式#4”，并将基于式(5-4)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第4子矩阵 H_4 。

[0257] 另外，在式(5-5)中， $a_{5,1}$ 、 $a_{5,2}$ 、 $a_{5,3}$ 为整数(其中， $a_{5,1} \neq a_{5,2} \neq a_{5,3}$)。另外， $b_{5,1}$ 、 $b_{5,2}$ 、 $b_{5,3}$ 为整数(其中， $b_{5,1} \neq b_{5,2} \neq b_{5,3}$)。将式(5-5)的奇偶校验多项式称为“校验式#5”，并将基于式(5-5)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第5子矩阵 H_5 。

[0258] 另外，在式(5-6)中， $a_{6,1}$ 、 $a_{6,2}$ 、 $a_{6,3}$ 为整数(其中， $a_{6,1} \neq a_{6,2} \neq a_{6,3}$)。另外， $b_{6,1}$ 、 $b_{6,2}$ 、 $b_{6,3}$ 为整数(其中， $b_{6,1} \neq b_{6,2} \neq b_{6,3}$)。将式(5-6)的奇偶校验多项式称为“校验式#6”，并将基于式(5-6)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第6子矩阵 H_6 。

[0259] 另外，考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 、第3子矩阵 H_3 、第4子矩阵 H_4 、第5子矩阵 H_5 以及第6子矩阵 H_6 生成的时变周期6的LDPC-CC。

[0260] 此时，在式(5-1)～式(5-6)中，将 $X_1(D)$ 以及 $P(D)$ 的次数的组合

[0261] $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3})$ 、

[0262] $(b_{1,1}, b_{1,2}, b_{1,3})$ 、

[0263] $(a_{2,1}, a_{2,2}, a_{2,3})$ 、

[0264] $(b_{2,1}, b_{2,2}, b_{2,3})$ 、

[0265] $(a_{3,1}, a_{3,2}, a_{3,3})$ 、

[0266] $(b_{3,1}, b_{3,2}, b_{3,3})$ 、

[0267] $(a_{4,1}, a_{4,2}, a_{4,3})$ 、

[0268] $(b_{4,1}, b_{4,2}, b_{4,3})$ 、

[0269] $(a_{5,1}, a_{5,2}, a_{5,3})$ 、

[0270] $(b_{5,1}, b_{5,2}, b_{5,3})$ 、

[0271] $(a_{6,1}, a_{6,2}, a_{6,3})$ 、

[0272] $(b_{6,1}, b_{6,2}, b_{6,3})$

[0273] 的各个值除以3时的余数设为 k 时，使上述那样表示了的三个系数组(例如 $(a_{1,1}, a_{1,2}, a_{1,3})$)包含余数0、1、2各一个，而且在上述的三个系数组都成立。也就是说，

[0274] $(a_{1,1} \% 3, a_{1,2} \% 3, a_{1,3} \% 3)$ 、

[0275] $(b_{1,1} \% 3, b_{1,2} \% 3, b_{1,3} \% 3)$ 、

[0276] $(a_{2,1} \% 3, a_{2,2} \% 3, a_{2,3} \% 3)$ 、

[0277] $(b_{2,1} \% 3, b_{2,2} \% 3, b_{2,3} \% 3)$ 、

[0278] $(a_{3,1} \% 3, a_{3,2} \% 3, a_{3,3} \% 3)$ 、

[0279] $(b_{3,1} \% 3, b_{3,2} \% 3, b_{3,3} \% 3)$ 、

[0280] $(a_{4,1} \% 3, a_{4,2} \% 3, a_{4,3} \% 3)$ 、

[0281] $(b_{4,1} \% 3, b_{4,2} \% 3, b_{4,3} \% 3)$ 、

[0282] $(a_{5,1} \% 3, a_{5,2} \% 3, a_{5,3} \% 3)$ 、

[0283] $(b_{5,1} \% 3, b_{5,2} \% 3, b_{5,3} \% 3)$ 、

[0284] $(a_{6,1} \% 3, a_{6,2} \% 3, a_{6,3} \% 3)$ 、

[0285] $(b_{6,1} \% 3, b_{6,2} \% 3, b_{6,3} \% 3)$

[0286] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0287] 通过这样生成LDPC-CC,从而对“校验式#1”,描绘了唐纳(Tanner)图时存在边缘的情况下,准确地传播“校验式#2或校验式#5”中的置信度、“校验式#3或校验式#6”中的置信度。

[0288] 另外,对“校验式#2”,描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,准确地传播“校验式#1或校验式#4”中的置信度、“校验式#3或校验式#6”中的置信度。

[0289] 另外,对“校验式#3”,描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,准确地传播“校验式#1或校验式#4”中的置信度、“校验式#2或校验式#5”中的置信度。对“校验式#4”,描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,准确地传播“校验式#2或校验式#5”中的置信度、“校验式#3或校验式#6”中的置信度。

[0290] 另外,描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,对“校验式#5”,准确地传播“校验式#1或校验式#4”中的置信度、“校验式#3或校验式#6”中的置信度。另外,对“校验式#6”,描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,准确地传播“校验式#1或校验式#4”中的置信度、“校验式#2或校验式#5”中的置信度。

[0291] 因此,与时变周期为3时一样,时变周期6的LDPC-CC保持更良好的纠错能力。

[0292] 对此,使用图4C说明置信传播。图4C表示与“校验式#1”~“校验式#6”的 $X(D)$ 有关的各个项之间的置信传播的关系。在图4C中,四边形表示 $a_{x,y}$ 中 $(x=1,2,3,4,5,6; y=1,2,3)$ 除以3所得的余数为“0”的系数。

[0293] 另外,圆圈表示 $a_{x,y}$ 中 $(x=1,2,3,4,5,6; y=1,2,3)$ 除以3所得的余数为“1”的系数。另外,菱形表示 $a_{x,y}$ 中 $(x=1,2,3,4,5,6; y=1,2,3)$ 除以3所得的余数为“2”的系数。

[0294] 从图4C可知,在描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,“校验式#1”的 $a_{1,1}$,从除以3所得的余数不同的“校验式#2或校验式#5”以及“校验式#3或校验式#6”,传播置信度。同样,在描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,“校验式#1”的 $a_{1,2}$,从除以3所得的余数不同的“校验式#2或校验式#5”以及“校验式#3或校验式#6”,传播置信度。

[0295] 同样,在描绘了唐纳图时存在边缘的情况下,“校验式#1”的 $a_{1,3}$,从除以3所得的余数不同的“校验式#2或校验式#5”以及“校验式#3或校验式#6”,传播置信度。在图4C中,表示了与“校验式#1”~“校验式#6”的 $X(D)$ 有关的各个项之间的置信传播的关系,但可以说对于与 $P(D)$ 有关的各个项之间也是同样的。

[0296] 这样,对“校验式#1”的唐纳图中的各个节点,从“校验式#1”以外的系数节点传播置信度。因此,相关低的置信度彼此都对“校验式#1”进行传播,所以可认为纠错能力提高。

[0297] 在图4C中,着眼于“校验式#1”,但对从“校验式#2”至“校验式#6”也能够同样地描绘唐纳图,对“校验式#K”的唐纳图中的各个节点,从“校验式#K”以外的系数节点传播置信度。因此,相关低的置信度彼此都对“校验式#K”进行传播,所以可认为纠错能力提高。

[0298] 这样,通过使式(5-1)~式(5-6)的奇偶校验多项式的各个次数满足与上述的“余数”有关的条件,由此能够在所有的校验式中,高效率传播置信度,从而能够进一步提高纠错能力的可能性增大。

[0299] 以上,对时变周期6的LDPC-CC,以编码率1/2的情况为例进行了说明,但编码率并不限于1/2。在编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)时,在信息 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 中的各自的三个系数组中,如果上述的与“余数”有关的条件成立,则仍然能够获得良好的接收质量的可能性增大。

[0300] 以下,说明编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的情况。

[0301] 作为时变周期设为6的LDPC-CC的奇偶校验多项式,考虑式(7-1)~式(7-6)。

$$[0302] \quad (D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#1,2,1} + D^{a\#1,2,2} + D^{a\#1,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-1) \\ + (D^{a\#1,n-1,1} + D^{a\#1,n-1,2} + D^{a\#1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0$$

$$[0303] \quad (D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X_1(D) + (D^{a\#2,2,1} + D^{a\#2,2,2} + D^{a\#2,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-2) \\ + (D^{a\#2,n-1,1} + D^{a\#2,n-1,2} + D^{a\#2,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0$$

$$[0304] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-3) \\ + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0$$

$$[0305] \quad (D^{a\#4,1,1} + D^{a\#4,1,2} + D^{a\#4,1,3})X_1(D) + (D^{a\#4,2,1} + D^{a\#4,2,2} + D^{a\#4,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-4) \\ + (D^{a\#4,n-1,1} + D^{a\#4,n-1,2} + D^{a\#4,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#4,1} + D^{b\#4,2} + D^{b\#4,3})P(D) = 0$$

$$[0306] \quad (D^{a\#5,1,1} + D^{a\#5,1,2} + D^{a\#5,1,3})X_1(D) + (D^{a\#5,2,1} + D^{a\#5,2,2} + D^{a\#5,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-5) \\ + (D^{a\#5,n-1,1} + D^{a\#5,n-1,2} + D^{a\#5,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#5,1} + D^{b\#5,2} + D^{b\#5,3})P(D) = 0$$

$$[0307] \quad (D^{a\#6,1,1} + D^{a\#6,1,2} + D^{a\#6,1,3})X_1(D) + (D^{a\#6,2,1} + D^{a\#6,2,2} + D^{a\#6,2,3})X_2(D) + \dots \dots (7-6) \\ + (D^{a\#6,n-1,1} + D^{a\#6,n-1,2} + D^{a\#6,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#6,1} + D^{b\#6,2} + D^{b\#6,3})P(D) = 0$$

[0308] 此时, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 是数据(信息) X_1 、 X_2 、……、 X_{n-1} 的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(7-1)~式(7-6)中,设为 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。与上述的编码率1/2时且时变周期3时同样地考虑,在以式(7-1)~式(7-6)的奇偶校验多项式表达式的时变周期6且编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC中,若满足以下的条件(<条件#1>),则能够获得更高纠错能力的可能性增大。

[0309] 其中,在时变周期6且编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC中,以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并以 $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、……、 $X_{i,n-1}$ 表示信息。此时,若设为 $i \% 6 = k$ ($k=0,1,2,3,4,5$),则式(7-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如,若设为 $i=8$,则 $i \% 6 = 2$ ($k=2$),所以式(8)成立。

$$[0310] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{8,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_{8,2} + \dots \dots (8) \\ + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{8,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P_8 = 0$$

[0311] <条件#1>

[0312] 在式(7-1)~式(7-6)中, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 以及 $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0313] $(a\#1,1,1 \% 3, a\#1,1,2 \% 3, a\#1,1,3 \% 3)$ 、

- [0314] $(a_{\#1,2,1} \% 3, a_{\#1,2,2} \% 3, a_{\#1,2,3} \% 3), \dots,$
- [0315] $(a_{\#1,k,1} \% 3, a_{\#1,k,2} \% 3, a_{\#1,k,3} \% 3), \dots,$
- [0316] $(a_{\#1,n-1,1} \% 3, a_{\#1,n-1,2} \% 3, a_{\#1,n-1,3} \% 3),$
- [0317] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3, b_{\#1,3} \% 3)$
- [0318] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0319] 而且,
- [0320] $(a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3, a_{\#2,1,3} \% 3),$
- [0321] $(a_{\#2,2,1} \% 3, a_{\#2,2,2} \% 3, a_{\#2,2,3} \% 3), \dots,$
- [0322] $(a_{\#2,k,1} \% 3, a_{\#2,k,2} \% 3, a_{\#2,k,3} \% 3), \dots,$
- [0323] $(a_{\#2,n-1,1} \% 3, a_{\#2,n-1,2} \% 3, a_{\#2,n-1,3} \% 3),$
- [0324] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3, b_{\#2,3} \% 3)$
- [0325] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0326] 而且,
- [0327] $(a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3, a_{\#3,1,3} \% 3),$
- [0328] $(a_{\#3,2,1} \% 3, a_{\#3,2,2} \% 3, a_{\#3,2,3} \% 3), \dots,$
- [0329] $(a_{\#3,k,1} \% 3, a_{\#3,k,2} \% 3, a_{\#3,k,3} \% 3), \dots,$
- [0330] $(a_{\#3,n-1,1} \% 3, a_{\#3,n-1,2} \% 3, a_{\#3,n-1,3} \% 3),$
- [0331] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3, b_{\#3,3} \% 3)$
- [0332] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0333] 而且,
- [0334] $(a_{\#4,1,1} \% 3, a_{\#4,1,2} \% 3, a_{\#4,1,3} \% 3),$
- [0335] $(a_{\#4,2,1} \% 3, a_{\#4,2,2} \% 3, a_{\#4,2,3} \% 3), \dots,$
- [0336] $(a_{\#4,k,1} \% 3, a_{\#4,k,2} \% 3, a_{\#4,k,3} \% 3), \dots,$
- [0337] $(a_{\#4,n-1,1} \% 3, a_{\#4,n-1,2} \% 3, a_{\#4,n-1,3} \% 3),$
- [0338] $(b_{\#4,1} \% 3, b_{\#4,2} \% 3, b_{\#4,3} \% 3)$
- [0339] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0340] 而且,
- [0341] $(a_{\#5,1,1} \% 3, a_{\#5,1,2} \% 3, a_{\#5,1,3} \% 3),$
- [0342] $(a_{\#5,2,1} \% 3, a_{\#5,2,2} \% 3, a_{\#5,2,3} \% 3), \dots,$
- [0343] $(a_{\#5,k,1} \% 3, a_{\#5,k,2} \% 3, a_{\#5,k,3} \% 3), \dots,$
- [0344] $(a_{\#5,n-1,1} \% 3, a_{\#5,n-1,2} \% 3, a_{\#5,n-1,3} \% 3),$
- [0345] $(b_{\#5,1} \% 3, b_{\#5,2} \% 3, b_{\#5,3} \% 3)$
- [0346] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0347] 而且,

[0348] $(a_{\#6,1,1} \% 3, a_{\#6,1,2} \% 3, a_{\#6,1,3} \% 3),$

[0349] $(a_{\#6,2,1} \% 3, a_{\#6,2,2} \% 3, a_{\#6,2,3} \% 3), \dots,$

[0350] $(a_{\#6,k,1} \% 3, a_{\#6,k,2} \% 3, a_{\#6,k,3} \% 3), \dots,$

[0351] $(a_{\#6,n-1,1} \% 3, a_{\#6,n-1,2} \% 3, a_{\#6,n-1,3} \% 3),$

[0352] $(b_{\#6,1} \% 3, b_{\#6,2} \% 3, b_{\#6,3} \% 3)$

[0353] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($k=1,2,3, \dots, n-1$)。

[0354] 在上述中,说明了在时变周期6的LDPC-CC中,具有高纠错能力的代码,但与时变周期3、6的LDPC-CC的设计方法同样,能够在生成了时变周期 $3g(g=1,2,3,4, \dots)$ 的LDPC-CC(即,时变周期为3的倍数的LDPC-CC)时,生成具有高纠错能力的代码。以下,详细地说明该代码的构成方法。

[0355] 考虑式(9-1)~式(9-3g)作为时变周期为 $3g(g=1,2,3,4, \dots)$ 、编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

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

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

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

[0356]

▪

▪

▪

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

▪

▪

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

$$\begin{aligned} [0357] \quad & (D^{a\#3g-1,1,1} + D^{a\#3g-1,1,2} + D^{a\#3g-1,1,3})X_1(D) + (D^{a\#3g-1,2,1} + D^{a\#3g-1,2,2} + D^{a\#3g-1,2,3})X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g-1,n-1,1} + D^{a\#3g-1,n-1,2} + D^{a\#3g-1,n-1,3})X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g-1,1} + D^{b\#3g-1,2} + D^{b\#3g-1,3})P(D) = 0 \\ & \dots (9 - (3g - 1)) \end{aligned}$$

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

[0358] 此时, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\dots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 是数据(信息) X_1 、 X_2 、 $\dots$ 、 X_{n-1} 的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里, 在式(9-1)~式(9-3g)中, 设为 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\dots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。

[0359] 与时变周期3的LDPC-CC和时变周期6的LDPC-CC同样地考虑, 在以式(9-1)~式(9-3g)的奇偶校验多项式表达式的时变周期3g且编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC中, 若满足以下的条件(<条件#2>), 则能够获得更高纠错能力的可能性增大。

[0360] 其中, 在时变周期3g且编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC中, 以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并以 $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 $\dots$ 、 $X_{i,n-1}$ 表示信息。此时, 若设为 $i \% 3g = k$ ($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 则式(9-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如, 若设为 $i=2$, 则 $i \% 3g = 2$ ($k=2$), 所以式(10)成立。

$$\begin{aligned} [0361] \quad & (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_{2,2} + \dots \\ & + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{2,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P_2 = 0 \end{aligned} \quad \dots (10)$$

[0362] 另外, 在式(9-1)~式(9-3g)中, $a_{\#k,p,1}$ 、 $a_{\#k,p,2}$ 、 $a_{\#k,p,3}$ 为整数(其中, $a_{\#k,p,1} \neq a_{\#k,p,2} \neq a_{\#k,p,3}$) ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$; $p=1, 2, 3, \dots, n-1$)。另外, $b_{\#k,1}$ 、 $b_{\#k,2}$ 、 $b_{\#k,3}$ 为整数(其中, $b_{\#k,1} \neq b_{\#k,2} \neq b_{\#k,3}$)。将式(9-k)的奇偶校验多项式($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)称为“校验式#k”, 将基于式(9-k)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第 k 子矩阵 H_k 。另外, 考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 、第3子矩阵 H_3 、 $\dots$ 、第3g子矩阵 H_{3g} 生成的时变周期3g的LDPC-CC。

[0363] <条件#2>

[0364] 在式(9-1)~式(9-3g)中, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\dots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 以及 $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0365] $(a_{\#1,1,1} \% 3, a_{\#1,1,2} \% 3, a_{\#1,1,3} \% 3)$ 、

[0366] $(a_{\#1,2,1} \% 3, a_{\#1,2,2} \% 3, a_{\#1,2,3} \% 3)$ 、 $\dots$ 、

- [0367] $(a_{\#1,p,1} \% 3, a_{\#1,p,2} \% 3, a_{\#1,p,3} \% 3), \dots,$
- [0368] $(a_{\#1,n-1,1} \% 3, a_{\#1,n-1,2} \% 3, a_{\#1,n-1,3} \% 3),$
- [0369] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3, b_{\#1,3} \% 3)$ 为
- [0370] $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0371] 而且,
- [0372] $(a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3, a_{\#2,1,3} \% 3),$
- [0373] $(a_{\#2,2,1} \% 3, a_{\#2,2,2} \% 3, a_{\#2,2,3} \% 3), \dots,$
- [0374] $(a_{\#2,p,1} \% 3, a_{\#2,p,2} \% 3, a_{\#2,p,3} \% 3), \dots,$
- [0375] $(a_{\#2,n-1,1} \% 3, a_{\#2,n-1,2} \% 3, a_{\#2,n-1,3} \% 3),$
- [0376] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3, b_{\#2,3} \% 3)$
- [0377] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0378] 而且,
- [0379] $(a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3, a_{\#3,1,3} \% 3),$
- [0380] $(a_{\#3,2,1} \% 3, a_{\#3,2,2} \% 3, a_{\#3,2,3} \% 3), \dots,$
- [0381] $(a_{\#3,p,1} \% 3, a_{\#3,p,2} \% 3, a_{\#3,p,3} \% 3), \dots,$
- [0382] $(a_{\#3,n-1,1} \% 3, a_{\#3,n-1,2} \% 3, a_{\#3,n-1,3} \% 3),$
- [0383] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3, b_{\#3,3} \% 3)$
- [0384] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。
- [0385] 而且,
- [0386] 而且,
- [0387] $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3, a_{\#k,1,3} \% 3),$
- [0388] $(a_{\#k,2,1} \% 3, a_{\#k,2,2} \% 3, a_{\#k,2,3} \% 3), \dots,$
- [0389] $(a_{\#k,p,1} \% 3, a_{\#k,p,2} \% 3, a_{\#k,p,3} \% 3), \dots,$
- [0390] $(a_{\#k,n-1,1} \% 3, a_{\#k,n-1,2} \% 3, a_{\#k,n-1,3} \% 3),$
- [0391] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3, b_{\#k,3} \% 3)$
- [0392] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)(其中, $k=1,2,3, \dots, 3g$)。
- [0393] 而且,
- [0394] 而且,
- [0395] $(a_{\#3g-2,1,1} \% 3, a_{\#3g-2,1,2} \% 3, a_{\#3g-2,1,3} \% 3),$
- [0396] $(a_{\#3g-2,2,1} \% 3, a_{\#3g-2,2,2} \% 3, a_{\#3g-2,2,3} \% 3), \dots,$
- [0397] $(a_{\#3g-2,p,1} \% 3, a_{\#3g-2,p,2} \% 3, a_{\#3g-2,p,3} \% 3), \dots,$
- [0398] $(a_{\#3g-2,n-1,1} \% 3, a_{\#3g-2,n-1,2} \% 3, a_{\#3g-2,n-1,3} \% 3),$
- [0399] $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3, b_{\#3g-2,3} \% 3)$
- [0400] 为 $(0,1,2), (0,2,1), (1,0,2), (1,2,0), (2,0,1), (2,1,0)$ 中的任一个($P=1,2,3, \dots, n-1$)。

[0401] 而且,

[0402] $(a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3, a_{\#3g-1,1,3} \% 3)$ 、

[0403] $(a_{\#3g-1,2,1} \% 3, a_{\#3g-1,2,2} \% 3, a_{\#3g-1,2,3} \% 3)$ 、……、

[0404] $(a_{\#3g-1,p,1} \% 3, a_{\#3g-1,p,2} \% 3, a_{\#3g-1,p,3} \% 3)$ 、……、

[0405] $(a_{\#3g-1,n-1,1} \% 3, a_{\#3g-1,n-1,2} \% 3, a_{\#3g-1,n-1,3} \% 3)$ 、

[0406] $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3, b_{\#3g-1,3} \% 3)$

[0407] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个 ($p=1,2,3,\dots,n-1$)。

[0408] 而且,

[0409] $(a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3, a_{\#3g,1,3} \% 3)$ 、

[0410] $(a_{\#3g,2,1} \% 3, a_{\#3g,2,2} \% 3, a_{\#3g,2,3} \% 3)$ 、……、

[0411] $(a_{\#3g,p,1} \% 3, a_{\#3g,p,2} \% 3, a_{\#3g,p,3} \% 3)$ 、……、

[0412] $(a_{\#3g,n-1,1} \% 3, a_{\#3g,n-1,2} \% 3, a_{\#3g,n-1,3} \% 3)$ 、

[0413] $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3, b_{\#3g,3} \% 3)$

[0414] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个 ($p=1,2,3,\dots,n-1$)。

[0415] 但是,若考虑容易地进行编码的方面,则在式 $(9-1) \sim$ 式 $(9-3g)$ 中, $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3, b_{\#k,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”即可(其中, $k=1,2,\dots,3g$)。这是因为,此时具有下述特征,即,只要存在 $D^0=1$ 且 $b_{\#k,1}, b_{\#k,2}, b_{\#k,3}$ 为0以上的整数,就能够逐次求奇偶校验P。

[0416] 另外,为了使同一时刻的奇偶校验比特和数据比特具有关联性且容易地搜索具有高纠错能力的代码,

[0417] $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3, a_{\#k,1,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”,

[0418] $(a_{\#k,2,1} \% 3, a_{\#k,2,2} \% 3, a_{\#k,2,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”,

[0419] $(a_{\#k,p,1} \% 3, a_{\#k,p,2} \% 3, a_{\#k,p,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”,

[0420] $(a_{\#k,n-1,1} \% 3, a_{\#k,n-1,2} \% 3, a_{\#k,n-1,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”即可(其中, $k=1,2,\dots,3g$)。

[0421] 接着,考虑有关考虑了容易地进行编码的方面的时变周期 $3g$ ($g=2,3,4,5,\dots$) 的LDPC-CC。此时,若使编码率为 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数),则LDPC-CC的奇偶校验多项式可以如下所示。

$$[0422] \quad (D^{a_{\#1,1,1}} + D^{a_{\#1,1,2}} + D^{a_{\#1,1,3}})X_1(D) + (D^{a_{\#1,2,1}} + D^{a_{\#1,2,2}} + D^{a_{\#1,2,3}})X_2(D) + \dots \dots (11-1) \\ + (D^{a_{\#1,n-1,1}} + D^{a_{\#1,n-1,2}} + D^{a_{\#1,n-1,3}})X_{n-1}(D) + (D^{b_{\#1,1}} + D^{b_{\#1,2}} + 1)P(D) = 0$$

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

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

•

•

•

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

•

•

•

[0423]

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

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

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

[0424] 此时, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 是数据(信息) X_1 、 X_2 、……、 X_{n-1} 的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里, 在式(11-1)~式(11-3g)中, 设为 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。其中, 在时变周期 $3g$ 且编码率 $(n-1)/n$ (n 为 2 以上的整数) 的 LDPC-CC 中, 以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并以 $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、……、 $X_{i,n-1}$ 表示信息。此时, 若设为 $i \% 3g = k$ ($k = 0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 则式(11-($k+1$)) 的奇偶校验

多项式成立。例如,若设为 $i=2$,则 $i\%3g=2(k=2)$,所以式(12)成立。

$$[0425] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + D^{a\#3,2,3})X_{2,2} + \dots \\ + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + D^{a\#3,n-1,3})X_{2,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (12)$$

[0426] 此时,若满足<条件#3>和<条件#4>,则能够生成具有更高纠错能力的代码的可能性增大。

[0427] <条件#3>

[0428] 在式(11-1)~式(11-3g)中, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、……、 $X_{n-1}(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0429] $(a\#1,1,1\%3, a\#1,1,2\%3, a\#1,1,3\%3)$ 、

[0430] $(a\#1,2,1\%3, a\#1,2,2\%3, a\#1,2,3\%3)$ 、……、

[0431] $(a\#1,p,1\%3, a\#1,p,2\%3, a\#1,p,3\%3)$ 、……、

[0432] $(a\#1,n-1,1\%3, a\#1,n-1,2\%3, a\#1,n-1,3\%3)$

[0433] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。

[0434] 而且,

[0435] $(a\#2,1,1\%3, a\#2,1,2\%3, a\#2,1,3\%3)$ 、

[0436] $(a\#2,2,1\%3, a\#2,2,2\%3, a\#2,2,3\%3)$ 、……、

[0437] $(a\#2,p,1\%3, a\#2,p,2\%3, a\#2,p,3\%3)$ 、……、

[0438] $(a\#2,n-1,1\%3, a\#2,n-1,2\%3, a\#2,n-1,3\%3)$

[0439] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。

[0440] 而且,

[0441] $(a\#3,1,1\%3, a\#3,1,2\%3, a\#3,1,3\%3)$ 、

[0442] $(a\#3,2,1\%3, a\#3,2,2\%3, a\#3,2,3\%3)$ 、……、

[0443] $(a\#3,p,1\%3, a\#3,p,2\%3, a\#3,p,3\%3)$ 、……、

[0444] $(a\#3,n-1,1\%3, a\#3,n-1,2\%3, a\#3,n-1,3\%3)$

[0445] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)。

[0446] 而且,

[0447] 而且,

[0448] $(a\#k,1,1\%3, a\#k,1,2\%3, a\#k,1,3\%3)$ 、

[0449] $(a\#k,2,1\%3, a\#k,2,2\%3, a\#k,2,3\%3)$ 、……、

[0450] $(a\#k,p,1\%3, a\#k,p,2\%3, a\#k,p,3\%3)$ 、……、

[0451] $(a\#k,n-1,1\%3, a\#k,n-1,2\%3, a\#k,n-1,3\%3)$

[0452] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3, \dots, n-1$)(其中, $k=1,2,3, \dots, 3g$)。

[0453] 而且,

[0454] 而且,

- [0455] $(a_{3g-2,1,1} \% 3, a_{3g-2,1,2} \% 3, a_{3g-2,1,3} \% 3)$ 、
- [0456] $(a_{3g-2,2,1} \% 3, a_{3g-2,2,2} \% 3, a_{3g-2,2,3} \% 3)$ 、……、
- [0457] $(a_{3g-2,p,1} \% 3, a_{3g-2,p,2} \% 3, a_{3g-2,p,3} \% 3)$ 、……、
- [0458] $(a_{3g-2,n-1,1} \% 3, a_{3g-2,n-1,2} \% 3, a_{3g-2,n-1,3} \% 3)$
- [0459] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0460] 而且,
- [0461] $(a_{3g-1,1,1} \% 3, a_{3g-1,1,2} \% 3, a_{3g-1,1,3} \% 3)$ 、
- [0462] $(a_{3g-1,2,1} \% 3, a_{3g-1,2,2} \% 3, a_{3g-1,2,3} \% 3)$ 、……、
- [0463] $(a_{3g-1,p,1} \% 3, a_{3g-1,p,2} \% 3, a_{3g-1,p,3} \% 3)$ 、……、
- [0464] $(a_{3g-1,n-1,1} \% 3, a_{3g-1,n-1,2} \% 3, a_{3g-1,n-1,3} \% 3)$
- [0465] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0466] 而且,
- [0467] $(a_{3g,1,1} \% 3, a_{3g,1,2} \% 3, a_{3g,1,3} \% 3)$ 、
- [0468] $(a_{3g,2,1} \% 3, a_{3g,2,2} \% 3, a_{3g,2,3} \% 3)$ 、……、
- [0469] $(a_{3g,p,1} \% 3, a_{3g,p,2} \% 3, a_{3g,p,3} \% 3)$ 、……、
- [0470] $(a_{3g,n-1,1} \% 3, a_{3g,n-1,2} \% 3, a_{3g,n-1,3} \% 3)$
- [0471] 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0472] 除此之外,在式(11-1)~式(11-3g)中, $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。
- [0473] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3)$ 、
- [0474] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3)$ 、
- [0475] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、……、
- [0476] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、……、
- [0477] $(b_{3g-2,1} \% 3, b_{3g-2,2} \% 3)$ 、
- [0478] $(b_{3g-1,1} \% 3, b_{3g-1,2} \% 3)$ 、
- [0479] $(b_{3g,1} \% 3, b_{3g,2} \% 3)$
- [0480] 为 $(1,2)$ 、 $(2,1)$ 中的任一个($k=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0481] 对于式(11-1)~式(11-3g)的<条件#3>与对于式(9-1)~式(9-3g)的<条件#2>为同样的关系。对于式(11-1)~式(11-3g),若除了<条件#3>之外,还附加以下的条件(<条件#4>),则能够生成具有更高纠错能力的LDPC-CC的可能性增大。
- [0482] <条件#4>
- [0483] 在式(11-1)~式(11-3g)的 $P(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0484] 在 $(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、
- [0485] $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、
- [0486] $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、……、
- [0487] $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、……、
- [0488] $(b_{3g-2,1} \% 3g, b_{3g-2,2} \% 3g)$ 、

[0489] $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、

[0490] $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的次数(两个次数构成1组,所以构成 $3g$ 组的次数有 $6g$ 个)的值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值。

[0491] 然而,在校验矩阵中,若存在“1”的位置具有规则性并且有随机性,则能够获得良好的纠错能力的可能性增大。在具有式(11-1)~式(11-3g)的奇偶校验多项式的时变周期 $3g(g=2,3,4,5,\dots)$ 且编码率为 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC中,除了<条件#3>以外还附加<条件#4>的条件而生成代码时,在校验矩阵中,能够使存在“1”的位置具有规则性而且赋予其随机性,所以能够获得良好的纠错能力的可能性增大。

[0492] 接着,考虑能够容易地进行编码而且使同一时刻的奇偶校验比特和数据比特具有关联性的、时变周期 $3g(g=2,3,4,5,\dots)$ 的LDPC-CC。此时,若使编码率为 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数),则LDPC-CC的奇偶校验多项式可以如下所示。

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

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

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

⋮
⋮
⋮

$$\begin{aligned} [0493] \quad & (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#k,2,1} + D^{a\#k,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#k,n-1,1} + D^{a\#k,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13-k)$$

⋮
⋮
⋮

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

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

$$\begin{aligned} [0494] \quad & (D^{a\#3g,1,1} + D^{a\#3g,1,2} + 1)X_1(D) + (D^{a\#3g,2,1} + D^{a\#3g,2,2} + 1)X_2(D) + \dots \\ & + (D^{a\#3g,n-1,1} + D^{a\#3g,n-1,2} + 1)X_{n-1}(D) + (D^{b\#3g,1} + D^{b\#3g,2} + 1)P(D) = 0 \end{aligned} \quad \dots (13 - 3g)$$

[0495] 此时, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\cdots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 是数据(信息) X_1 、 X_2 、 $\cdots$ 、 X_{n-1} 的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。另外, 在式(13-1)~式(13-3g)中, 设为 $X_2(D)$ 、 $\cdots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式, 并且 $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\cdots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 、 $P(D)$ 中存在 D^0 的项($k=1, 2, 3, \cdots, 3g$)。

[0496] 其中, 在时变周期 $3g$ 且编码率 $(n-1)/n$ (n 为 2 以上的整数) 的 LDPC-CC 中, 以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并以 $X_{i,1}$ 、 $X_{i,2}$ 、 $\cdots$ 、 $X_{i,n-1}$ 表示信息。此时, 若设为 $i \% 3g = k$ ($k=0, 1, 2, \cdots, 3g-1$), 则式(13-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如, 若设为 $i=2$, 则 $i \% 3g = 2$ ($k=2$), 所以式(14)成立。

$$[0497] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_{2,1} + (D^{a\#3,2,1} + D^{a\#3,2,2} + 1)X_{2,2} + \cdots \\ + (D^{a\#3,n-1,1} + D^{a\#3,n-1,2} + 1)X_{2,n-1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \quad \dots (14)$$

[0498] 此时, 若满足以下的条件(<条件#5>和<条件#6>), 则能够生成具有更高的纠错能力的代码的可能性增大。

[0499] <条件#5>

[0500] 在式(13-1)~式(13-3g)中, $X_1(D)$ 、 $X_2(D)$ 、 $\cdots$ 、 $X_{n-1}(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0501] $(a\#1,1,1 \% 3, a\#1,1,2 \% 3)$ 、

[0502] $(a\#1,2,1 \% 3, a\#1,2,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0503] $(a\#1,p,1 \% 3, a\#1,p,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0504] $(a\#1,n-1,1 \% 3, a\#1,n-1,2 \% 3)$

[0505] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1, 2, 3, \cdots, n-1$)。

[0506] 而且,

[0507] $(a\#2,1,1 \% 3, a\#2,1,2 \% 3)$ 、

[0508] $(a\#2,2,1 \% 3, a\#2,2,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0509] $(a\#2,p,1 \% 3, a\#2,p,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0510] $(a\#2,n-1,1 \% 3, a\#2,n-1,2 \% 3)$

[0511] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1, 2, 3, \cdots, n-1$)。

[0512] 而且,

[0513] $(a\#3,1,1 \% 3, a\#3,1,2 \% 3)$ 、

[0514] $(a\#3,2,1 \% 3, a\#3,2,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0515] $(a\#3,p,1 \% 3, a\#3,p,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0516] $(a\#3,n-1,1 \% 3, a\#3,n-1,2 \% 3)$

[0517] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1, 2, 3, \cdots, n-1$)。

[0518] 而且,

[0519] 而且,

[0520] $(a\#k,1,1 \% 3, a\#k,1,2 \% 3)$ 、

[0521] $(a\#k,2,1 \% 3, a\#k,2,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0522] $(a\#k,p,1 \% 3, a\#k,p,2 \% 3)$ 、 $\cdots$ 、

[0523] $(a\#k,n-1,1 \% 3, a\#k,n-1,2 \% 3)$

- [0524] 为(1,2)、(2,1)中的任一个, ($p=1,2,3,\dots,n-1$) (其中, $k=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0525] 而且,
- [0526] 而且,
- [0527] $(a_{3g-2,1,1} \% 3, a_{3g-2,1,2} \% 3)$ 、
- [0528] $(a_{3g-2,2,1} \% 3, a_{3g-2,2,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0529] $(a_{3g-2,p,1} \% 3, a_{3g-2,p,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0530] $(a_{3g-2,n-1,1} \% 3, a_{3g-2,n-1,2} \% 3)$
- [0531] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0532] 而且,
- [0533] $(a_{3g-1,1,1} \% 3, a_{3g-1,1,2} \% 3)$ 、
- [0534] $(a_{3g-1,2,1} \% 3, a_{3g-1,2,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0535] $(a_{3g-1,p,1} \% 3, a_{3g-1,p,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0536] $(a_{3g-1,n-1,1} \% 3, a_{3g-1,n-1,2} \% 3)$
- [0537] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0538] 而且,
- [0539] $(a_{3g,1,1} \% 3, a_{3g,1,2} \% 3)$ 、
- [0540] $(a_{3g,2,1} \% 3, a_{3g,2,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0541] $(a_{3g,p,1} \% 3, a_{3g,p,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0542] $(a_{3g,n-1,1} \% 3, a_{3g,n-1,2} \% 3)$
- [0543] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($p=1,2,3,\dots,n-1$)。
- [0544] 除此之外,在式(13-1)~式(13-3g)中, $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。
- [0545] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3)$ 、
- [0546] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3)$ 、
- [0547] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0548] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0549] $(b_{3g-2,1} \% 3, b_{3g-2,2} \% 3)$ 、
- [0550] $(b_{3g-1,1} \% 3, b_{3g-1,2} \% 3)$ 、
- [0551] $(b_{3g,1} \% 3, b_{3g,2} \% 3)$
- [0552] 为(1,2)、(2,1)中的任一个($k=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0553] 对于式(13-1)~式(13-3g)的<条件#5>与对于式(9-1)~式(9-3g)的<条件#2>为同样的关系。对于式(13-1)~式(13-3g),若除了<条件#5>之外,还附加以下的条件(<条件#6>),则能够生成具有高纠错能力的LDPC-CC的可能性增加。
- [0554] <条件#6>
- [0555] 在式(13-1)~式(13-3g)的 $X1(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0556] 在 $(a_{\#1,1,1} \% 3g, a_{\#1,1,2} \% 3g)$ 、
- [0557] $(a_{\#2,1,1} \% 3g, a_{\#2,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0558] $(a_{\#p,1,1} \% 3g, a_{\#p,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0559] $(a_{3g,1,1} \% 3g, a_{3g,1,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、 $\dots$ 、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、 $\dots$ 、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1,2$ 、

3、……、 $3g$)。

[0560] 而且，

[0561] 在式(13-1)～式(13- $3g$)的 $X_2(D)$ 的次数中，满足以下的条件。

[0562] 在($a_{\#1,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,2,2} \% 3g$)、

[0563] ($a_{\#2,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,2,2} \% 3g$)、……、

[0564] ($a_{\#p,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,2,2} \% 3g$)、……、

[0565] ($a_{\#3g,2,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,2,2} \% 3g$)的 $6g$ 个的值中，存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即，0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)。

[0566] 而且，在式(13-1)～式(13- $3g$)的 $X_3(D)$ 的次数中，满足以下的条件。

[0567] 在($a_{\#1,3,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,3,2} \% 3g$)、

[0568] ($a_{\#2,3,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,3,2} \% 3g$)、……、

[0569] ($a_{\#p,3,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,3,2} \% 3g$)、……、

[0570] ($a_{\#3g,3,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,3,2} \% 3g$)的 $6g$ 个的值中，存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即，0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)。

[0571] 而且，

[0572] 而且，在式(13-1)～式(13- $3g$)的 $X_k(D)$ 的次数中，满足以下的条件。

[0573] 在($a_{\#1,k,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,k,2} \% 3g$)、

[0574] ($a_{\#2,k,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,k,2} \% 3g$)、……、

[0575] ($a_{\#p,k,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,k,2} \% 3g$)、……、

[0576] ($a_{\#3g,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3g$)的 $6g$ 个的值中，存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即，0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)($k=1、2、3、……、n-1$)。

[0577] 而且，

[0578] 而且，在式(13-1)～式(13- $3g$)的 $X_{n-1}(D)$ 的次数中，满足以下的条件。

[0579] 在($a_{\#1,n-1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,n-1,2} \% 3g$)、

[0580] ($a_{\#2,n-1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,n-1,2} \% 3g$)、……、

[0581] ($a_{\#p,n-1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,n-1,2} \% 3g$)、……、

[0582] ($a_{\#3g,n-1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,n-1,2} \% 3g$)的 $6g$ 个值中，存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即，0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)。

[0583] 而且，在式(13-1)～式(13- $3g$)的 $P(D)$ 的次数中，满足以下的条件。

[0584] 在($b_{\#1,1} \% 3g$ 、 $b_{\#1,2} \% 3g$)、

[0585] ($b_{\#2,1} \% 3g$ 、 $b_{\#2,2} \% 3g$)、

[0586] ($b_{\#3,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3,2} \% 3g$)、……、

[0587] ($b_{\#k,1} \% 3g$ 、 $b_{\#k,2} \% 3g$)、……、

[0588] ($b_{\#3g-2,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-2,2} \% 3g$)、

[0589] ($b_{\#3g-1,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-1,2} \% 3g$)、

[0590] $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个值中, 存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 中的、 3 的倍数(即, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 以外的值的所有值($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)。

[0591] 然而, 在校验矩阵中, 若存在“1”的位置具有规则性并且有随机性, 则能够获得良好的纠错能力的可能性大。在具有式(13-1)~式(13-3g)的奇偶校验多项式的时变周期 $3g$ ($g=2, 3, 4, 5, \dots$) 且编码率为 $(n-1)/n$ (n 为 2 以上的整数) 的 LDPC-CC 中, 除了<条件#5>以外还附加<条件#6>的条件而生成代码时, 在校验矩阵中, 能够使存在“1”的位置具有规则性而且赋予其随机性, 所以能够获得更良好的纠错能力的可能性增大。

[0592] 另外, 即使使用<条件#6'>来代替<条件#6>、即、除了<条件#5>以外还附加<条件#6'>而生成代码, 能够生成具有更高的纠错能力的 LDPC-CC 的可能性也增大。

[0593] <条件#6'>

[0594] 在式(13-1)~式(13-3g)的 $X1(D)$ 的次数中, 满足以下的条件。

[0595] 在 $(a_{\#1,1,1} \% 3g, a_{\#1,1,2} \% 3g)$ 、

[0596] $(a_{\#2,1,1} \% 3g, a_{\#2,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0597] $(a_{\#p,1,1} \% 3g, a_{\#p,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0598] $(a_{\#3g,1,1} \% 3g, a_{\#3g,1,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中, 存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 中的、 3 的倍数(即, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 以外的值的所有值($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)。

[0599] 或者, 在式(13-1)~式(13-3g)的 $X2(D)$ 的次数中, 满足以下的条件。

[0600] 在 $(a_{\#1,2,1} \% 3g, a_{\#1,2,2} \% 3g)$ 、

[0601] $(a_{\#2,2,1} \% 3g, a_{\#2,2,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0602] $(a_{\#p,2,1} \% 3g, a_{\#p,2,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0603] $(a_{\#3g,2,1} \% 3g, a_{\#3g,2,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中, 存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 中的、 3 的倍数(即, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 以外的值的所有值($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)。

[0604] 或者, 在式(13-1)~式(13-3g)的 $X3(D)$ 的次数中, 满足以下的条件。

[0605] 在 $(a_{\#1,3,1} \% 3g, a_{\#1,3,2} \% 3g)$ 、

[0606] $(a_{\#2,3,1} \% 3g, a_{\#2,3,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0607] $(a_{\#p,3,1} \% 3g, a_{\#p,3,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0608] $(a_{\#3g,3,1} \% 3g, a_{\#3g,3,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中, 存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 中的、 3 的倍数(即, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 以外的值的所有值($p=1, 2, 3, \dots, 3g$)。

[0609] 或者,

[0610] 或者, 在式(13-1)~式(13-3g)的 $Xk(D)$ 的次数中, 满足以下的条件。

[0611] 在 $(a_{\#1,k,1} \% 3g, a_{\#1,k,2} \% 3g)$ 、

[0612] $(a_{\#2,k,1} \% 3g, a_{\#2,k,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0613] $(a_{\#p,k,1} \% 3g, a_{\#p,k,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0614] $(a_{\#3g,k,1} \% 3g, a_{\#3g,k,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中, 存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0, 1, 2, 3, 4, \dots, 3g-2, 3g-1)$ 中的、 3 的倍数(即, $0, 3, 6, \dots, 3g-3$) 以外的值的所有值($p=1, 2, 3, \dots, 3g$) ($k=1, 2, 3, \dots, n-1$)。

- [0615] 或者,
- [0616] 或者,在式(13-1)~式(13-3g)的 $X_{n-1}(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0617] 在 $(a_{\#1,n-1,1} \% 3g, a_{\#1,n-1,2} \% 3g)$ 、
- [0618] $(a_{\#2,n-1,1} \% 3g, a_{\#2,n-1,2} \% 3g)$ 、……、
- [0619] $(a_{\#p,n-1,1} \% 3g, a_{\#p,n-1,2} \% 3g)$ 、……、
- [0620] $(a_{\#3g,n-1,1} \% 3g, a_{\#3g,n-1,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)。
- [0621] 或者,在式(13-1)~式(13-3g)的 $P(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0622] 在 $(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、
- [0623] $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、
- [0624] $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、……、
- [0625] $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、……、
- [0626] $(b_{\#3g-2,1} \% 3g, b_{\#3g-2,2} \% 3g)$ 、
- [0627] $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、
- [0628] $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($k=1、2、3、……、3g$)。
- [0629] 以上,说明了时变周期3且编码率 $(n-1)/n$ (n 为2以上的整数)的LDPC-CC。以下,说明时变周期 $3g$ 且编码率 $1/2$ ($n=2$)的LDPC-CC的奇偶校验多项式的次数的条件。
- [0630] 考虑式(15-1)~式(15-3g)作为时变周期为 $3g$ ($g=1、2、3、4、……$)且编码率 $1/2$ ($n=2$)的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

$$(D^{a\#1,1,1} + D^{a\#1,1,2} + D^{a\#1,1,3})X(D) + (D^{b\#1,1} + D^{b\#1,2} + D^{b\#1,3})P(D) = 0 \quad \dots (15-1)$$

$$(D^{a\#2,1,1} + D^{a\#2,1,2} + D^{a\#2,1,3})X(D) + (D^{b\#2,1} + D^{b\#2,2} + D^{b\#2,3})P(D) = 0 \quad \dots (15-2)$$

$$(D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X(D) + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P(D) = 0 \quad \dots (15-3)$$

▪

▪

▪

$$(D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + D^{b\#k,3})P(D) = 0 \quad \dots (15-k)$$

[0631]

▪

▪

▪

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

$$\dots (15 - (3g - 2))$$

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

$$\dots (15 - (3g - 1))$$

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

$$\dots (15 - 3g)$$

[0632] 此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里, 在式(15-1)~式(15-3g)中, 设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。

[0633] 与时变周期3的LDPC-CC和时变周期6的LDPC-CC同样地考虑, 在以式(15-1)~式(15-3g)的奇偶校验多项式表达式的时变周期3g且编码率1/2($n=2$)的LDPC-CC中, 若满足以下的条件(<条件#2-1>), 则能够获得更高的纠错能力的可能性增加。

[0634] 但是, 在时变周期3g且编码率1/2($n=2$)的LDPC-CC中, 以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并且以 $X_{i,1}$ 表示信息。此时, 若设为 $i \% 3g = k$ ($k=0, 1, 2, \dots, 3g-1$), 则式(15-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如, 若设为 $i=2$, 则 $i \% 3g = 2$ ($k=2$), 所以式(16)成立。

$$[0635] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + D^{b\#3,3})P_2 = 0 \dots (16)$$

[0636] 另外, 在式(15-1)~式(15-3g)中, $a_{\#k,1,1}$ 、 $a_{\#k,1,2}$ 、 $a_{\#k,1,3}$ 为整数(其中, $a_{\#k,1,1} \neq a_{\#k,1,2} \neq a_{\#k,1,3}$) ($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)。另外, $b_{\#k,1}$ 、 $b_{\#k,2}$ 、 $b_{\#k,3}$ 为整数(其中, $b_{\#k,1} \neq b_{\#k,2} \neq b_{\#k,3}$)。将式(15- k)的奇偶校验多项式($k=1, 2, 3, \dots, 3g$)称为“校验式# k ”, 将基于式(15- k)的奇偶校验多项式的子矩阵设为第 k 子矩阵 H_k 。另外, 考虑从第1子矩阵 H_1 、第2子矩阵 H_2 、

第3子矩阵 H_3 、……、第 $3g$ 子矩阵 H_{3g} 生成的时变周期 $3g$ 的LDPC-CC。

[0637] <条件#2-1>

[0638] 在式(15-1)~式(15-3g)中, $X_1(D)$ 以及 $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0639] $(a_{\#1,1,1} \% 3, a_{\#1,1,2} \% 3, a_{\#1,1,3} \% 3)$ 、

[0640] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3, b_{\#1,3} \% 3)$

[0641] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0642] 而且,

[0643] $(a_{\#2,1,1} \% 3, a_{\#2,1,2} \% 3, a_{\#2,1,3} \% 3)$ 、

[0644] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3, b_{\#2,3} \% 3)$

[0645] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0646] 而且,

[0647] $(a_{\#3,1,1} \% 3, a_{\#3,1,2} \% 3, a_{\#3,1,3} \% 3)$ 、

[0648] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3, b_{\#3,3} \% 3)$

[0649] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0650] 而且,

[0651] 而且,

[0652] $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3, a_{\#k,1,3} \% 3)$ 、

[0653] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3, b_{\#k,3} \% 3)$

[0654] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个(其中, $k=1,2,3,\dots,3g$)。

[0655] 而且,

[0656] 而且,

[0657] $(a_{\#3g-2,1,1} \% 3, a_{\#3g-2,1,2} \% 3, a_{\#3g-2,1,3} \% 3)$ 、

[0658] $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3, b_{\#3g-2,3} \% 3)$

[0659] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0660] 而且,

[0661] $(a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3, a_{\#3g-1,1,3} \% 3)$ 、

[0662] $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3, b_{\#3g-1,3} \% 3)$

[0663] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0664] 而且,

[0665] $(a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3, a_{\#3g,1,3} \% 3)$ 、

[0666] $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3, b_{\#3g,3} \% 3)$

[0667] 为(0,1,2)、(0,2,1)、(1,0,2)、(1,2,0)、(2,0,1)、(2,1,0)中的任一个。

[0668] 但是,若考虑容易地进行编码的方面,则在式(15-1)~式(15-3g)中, $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3, b_{\#k,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”即可(其中, $k=1,2,\dots,3g$)。这是因为,此时具有下述特征,即,只要存在 $D^0=1$ 且 $b_{\#k,1}, b_{\#k,2}, b_{\#k,3}$ 为0以上的整数,就能够逐次求奇偶校验 P 。

[0669] 另外,为了使同一时刻的奇偶校验比特和数据比特具有关联性且容易地搜索具有高纠错能力的代码, $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3, a_{\#k,1,3} \% 3)$ 三个中存在一个“0”即可(其中, $k=1,2,\dots,3g$)。

[0670] 接着,考虑有关考虑了容易地进行编码的方面的时变周期 $3g(g=2,3,4,5,\dots)$ 的LDPC-CC。此时,若使编码率为 $1/2(n=2)$,则LDPC-CC的奇偶校验多项式可以如下所示。

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

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

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

⋮

⋮

⋮

$$[0671] \quad (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + D^{a\#k,1,3})X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (17-k)$$

⋮

⋮

⋮

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

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

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

[0672] 此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。这里,在式(17-1)~式(17-3g)中,设为 X 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式。但是,在时变周期 $3g$ 且编码率 $1/2(n=2)$ 的LDPC-CC中,以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并且以 $X_{i,1}$ 表示信息。此时,若设为 $i \% 3g = k(k=0,1,2,\dots,3g-1)$,则式(17-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如,若设为 $i=2$,则 $i \% 3g = 2(k=2)$,所以式(18)成立。

$$[0673] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + D^{a\#3,1,3})X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \dots (18)$$

[0674] 此时,若满足<条件#3-1>和<条件#4-1>,则能够生成具有更高纠错能力的代码的可能性增大。

[0675] <条件#3-1>

[0676] 在式(17-1)~式(17-3g)中, $X(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0677] $(a\#1,1,1 \% 3, a\#1,1,2 \% 3, a\#1,1,3 \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0678] 而且,

[0679] $(a\#2,1,1 \% 3, a\#2,1,2 \% 3, a\#2,1,3 \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0680] 而且,

[0681] $(a\#3,1,1 \% 3, a\#3,1,2 \% 3, a\#3,1,3 \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0682] 而且,

[0683] 而且,

[0684] $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3, a_{\#k,1,3} \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个 (其中, $k=1,2,3,\dots,3g$)。

[0685] 而且,

[0686] 而且,

[0687] $(a_{\#3g-2,1,1} \% 3, a_{\#3g-2,1,2} \% 3, a_{\#3g-2,1,3} \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0688] 而且,

[0689] $(a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3, a_{\#3g-1,1,3} \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0690] 而且,

[0691] $(a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3, a_{\#3g,1,3} \% 3)$ 为 $(0,1,2)$ 、 $(0,2,1)$ 、 $(1,0,2)$ 、 $(1,2,0)$ 、 $(2,0,1)$ 、 $(2,1,0)$ 中的任一个。

[0692] 除此之外,在式(17-1)~式(17-3g)中, $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0693] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3)$ 、

[0694] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3)$ 、

[0695] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、

[0696] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、

[0697] $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3)$ 、

[0698] $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3)$ 、

[0699] $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3)$

[0700] 为 $(1,2)$ 、 $(2,1)$ 中的任一个 ($k=1,2,3,\dots,3g$)。

[0701] 对于式(17-1)~式(17-3g)的<条件#3-1>与对于式(15-1)~式(15-3g)的<条件#2-1>为同样的关系。对于式(17-1)~式(17-3g),若除了<条件#3-1>之外,还附加以下的条件(<条件#4-1>),则能够生成具有更高纠错能力的LDPC-CC的可能性增大。

[0702] <条件#4-1>

[0703] 在式(17-1)~式(17-3g)的 $P(D)$ 的次数中,满足以下的条件。

[0704] 在 $(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、

[0705] $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、

[0706] $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0707] $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、

[0708] $(b_{\#3g-2,1} \% 3g, b_{\#3g-2,2} \% 3g)$ 、

[0709] $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、

[0710] $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个值中,存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 $(0,1,2,3,4,\dots,3g-2,3g-1)$ 中的、 3 的倍数 (即, $0,3,6,\dots,3g-3$) 以外的值的所有值。

[0711] 然而,在校验矩阵中,若存在“1”的位置具有规则性并且有随机性,则能够获得良好的纠错能力的可能性大。在具有式(17-1)~式(17-3g)的奇偶校验多项式的时变周期 $3g$ ($g=2,3,4,5,\dots$) 且编码率为 $1/2$ ($n=2$) 的LDPC-CC中,除了<条件#3-1>以外还附加<条件#4-1>的条件而生成代码时,在校验矩阵中,能够使存在“1”的位置具有规则性而且赋予

其随机性,所以能够获得更良好的纠错能力的可能性增大。

[0712] 接着,考虑能够容易地进行编码而且使同一时刻的奇偶校验比特和数据比特具有关联性的、时变周期 $3g(g=2,3,4,5,\dots)$ 的LDPC-CC。此时,若使编码率为 $1/2(n=2)$,则LDPC-CC的奇偶校验多项式可以如下所示。

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

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

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

⋮
⋮
⋮

$$[0713] \quad (D^{a\#k,1,1} + D^{a\#k,1,2} + 1)X(D) + (D^{b\#k,1} + D^{b\#k,2} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (19-k)$$

⋮
⋮
⋮

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

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

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

[0714] 此时, $X(D)$ 是数据(信息)的多项式表达式, $P(D)$ 是奇偶校验的多项式表达式。另外,在式(19-1)~式(19-3g)中,设为 $X(D)$ 、 $P(D)$ 分别存在三个项的奇偶校验多项式, $X(D)$ 、 $P(D)$ 中存在 D^0 的项($k=1,2,3,\dots,3g$)。

[0715] 但是,在时变周期 $3g$ 且编码率 $1/2(n=2)$ 的LDPC-CC中,以 P_i 表示时刻 i 的奇偶校验并且以 $X_{i,1}$ 表示信息。此时,若设为 $i \% 3g = k(k=0,1,2,\dots,3g-1)$,则式(19-($k+1$))的奇偶校验多项式成立。例如,若设为 $i=2$,则 $i \% 3g = 2(k=2)$,所以式(20)成立。

$$[0716] \quad (D^{a\#3,1,1} + D^{a\#3,1,2} + 1)X_{2,1} + (D^{b\#3,1} + D^{b\#3,2} + 1)P_2 = 0 \dots (20)$$

[0717] 此时,若满足以下的条件(<条件#5-1>和<条件#6-1>),则能够生成具有更高的纠错能力的代码的可能性增大。

[0718] <条件#5-1>

[0719] 在式(19-1)~式(19-3g)中, $X(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。

[0720] $(a\#1,1,1 \% 3, a\#1,1,2 \% 3)$ 为(1,2)、(2,1)中的任一个。

[0721] 而且,

[0722] $(a\#2,1,1 \% 3, a\#2,1,2 \% 3)$ 为(1,2)、(2,1)中的任一个。

[0723] 而且,

[0724] $(a\#3,1,1 \% 3, a\#3,1,2 \% 3)$ 为(1,2)、(2,1)中的任一个。

- [0725] 而且，
- [0726] 而且，
- [0727] $(a_{\#k,1,1} \% 3, a_{\#k,1,2} \% 3)$ 为 (1,2)、(2,1) 中的任一个 (其中, $k=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0728] 而且，
- [0729] 而且，
- [0730] $(a_{\#3g-2,1,1} \% 3, a_{\#3g-2,1,2} \% 3)$ 为 (1,2)、(2,1) 中的任一个。
- [0731] 而且，
- [0732] $(a_{\#3g-1,1,1} \% 3, a_{\#3g-1,1,2} \% 3)$ 为 (1,2)、(2,1) 中的任一个。
- [0733] 而且，
- [0734] $(a_{\#3g,1,1} \% 3, a_{\#3g,1,2} \% 3)$ 为 (1,2)、(2,1) 中的任一个。
- [0735] 除此之外,在式(19-1)~式(19-3g)中, $P(D)$ 的次数的组合满足以下的条件。
- [0736] $(b_{\#1,1} \% 3, b_{\#1,2} \% 3)$ 、
- [0737] $(b_{\#2,1} \% 3, b_{\#2,2} \% 3)$ 、
- [0738] $(b_{\#3,1} \% 3, b_{\#3,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0739] $(b_{\#k,1} \% 3, b_{\#k,2} \% 3)$ 、 $\dots$ 、
- [0740] $(b_{\#3g-2,1} \% 3, b_{\#3g-2,2} \% 3)$ 、
- [0741] $(b_{\#3g-1,1} \% 3, b_{\#3g-1,2} \% 3)$ 、
- [0742] $(b_{\#3g,1} \% 3, b_{\#3g,2} \% 3)$
- [0743] 为 (1,2)、(2,1) 中的任一个 ($k=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0744] 对于式(19-1)~式(19-3g)的<条件#5-1>与对于式(15-1)~式(15-3g)的<条件#2-1>为同样的关系。对于式(19-1)~式(19-3g),若除了<条件#5-1>之外,还附加以下的条件(<条件#6-1>),则能够生成具有更高的纠错能力的LDPC-CC的可能性增大。
- [0745] <条件#6-1>
- [0746] 在式(19-1)~式(19-3g)的 $X(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0747] 在 $(a_{\#1,1,1} \% 3g, a_{\#1,1,2} \% 3g)$ 、
- [0748] $(a_{\#2,1,1} \% 3g, a_{\#2,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0749] $(a_{\#p,1,1} \% 3g, a_{\#p,1,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0750] $(a_{\#3g,1,1} \% 3g, a_{\#3g,1,2} \% 3g)$ 的 $6g$ 个的值中,存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 (0、1、2、3、4、 $\dots$ 、 $3g-2$ 、 $3g-1$) 中的、3 的倍数 (即, 0、3、6、 $\dots$ 、 $3g-3$) 以外的值的所有值 ($p=1,2,3,\dots,3g$)。
- [0751] 而且，
- [0752] 在式(19-1)~式(19-3g)的 $P(D)$ 的次数中,满足以下的条件。
- [0753] 在 $(b_{\#1,1} \% 3g, b_{\#1,2} \% 3g)$ 、
- [0754] $(b_{\#2,1} \% 3g, b_{\#2,2} \% 3g)$ 、
- [0755] $(b_{\#3,1} \% 3g, b_{\#3,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0756] $(b_{\#k,1} \% 3g, b_{\#k,2} \% 3g)$ 、 $\dots$ 、
- [0757] $(b_{\#3g-2,1} \% 3g, b_{\#3g-2,2} \% 3g)$ 、
- [0758] $(b_{\#3g-1,1} \% 3g, b_{\#3g-1,2} \% 3g)$ 、
- [0759] $(b_{\#3g,1} \% 3g, b_{\#3g,2} \% 3g)$ 的 $6g(3g \times 2)$ 个值中,存在从 0 至 $3g-1$ 的整数 (0、1、2、3、

4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($k=1、2、3、……、3g$)。

[0760] 然而,在校验矩阵中,若存在“1”的位置具有规则性并且有随机性,则能够获得良好的纠错能力的可能性大。在具有式(19-1)~式(19-3g)的奇偶校验多项式的时变周期 $3g$ ($g=2、3、4、5、……$)且编码率为 $1/2$ 的LDPC-CC中,除了<条件#5-1>以外还附加<条件#6-1>的条件而生成代码时,在校验矩阵中,能够使存在“1”的位置具有规则性而且赋予其随机性,所以能够获得更良好的纠错能力的可能性增大。

[0761] 另外,即使使用<条件#6'-1>来代替<条件#6-1>,即,除了<条件#5-1>以外还附加<条件#6'-1>而生成代码,能够生成具有更高的纠错能力的LDPC-CC的可能性也增大。

[0762] <条件#6'-1>

[0763] 在式(19-1)~式(19-3g)的 $X(D)$ 的次数中,满足以下的条件。

[0764] 在($a_{\#1,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#1,1,2} \% 3g$)、

[0765] ($a_{\#2,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#2,1,2} \% 3g$)、……、

[0766] ($a_{\#p,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#p,1,2} \% 3g$)、……、

[0767] ($a_{\#3g,1,1} \% 3g$ 、 $a_{\#3g,1,2} \% 3g$)的 $6g$ 个的值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($p=1、2、3、……、3g$)。

[0768] 或者,在式(19-1)~式(19-3g)的 $P(D)$ 的次数中,满足以下的条件。

[0769] 在($b_{\#1,1} \% 3g$ 、 $b_{\#1,2} \% 3g$)、

[0770] ($b_{\#2,1} \% 3g$ 、 $b_{\#2,2} \% 3g$)、

[0771] ($b_{\#3,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3,2} \% 3g$)、……、

[0772] ($b_{\#k,1} \% 3g$ 、 $b_{\#k,2} \% 3g$)、……、

[0773] ($b_{\#3g-2,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-2,2} \% 3g$)、

[0774] ($b_{\#3g-1,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g-1,2} \% 3g$)、

[0775] ($b_{\#3g,1} \% 3g$ 、 $b_{\#3g,2} \% 3g$)的 $6g$ 个值中,存在从0至 $3g-1$ 的整数(0、1、2、3、4、……、 $3g-2$ 、 $3g-1$)中的、3的倍数(即,0、3、6、……、 $3g-3$)以外的值的所有值($k=1、2、3、……、3g$)。

[0776] 作为一个例子,表4列出具有良好的纠错能力的、编码率 $1/2$ 且时变周期6的LDPC-CC。

[0777] (表4)

代码	奇偶校验多项式
[0778] 时变周期 6 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#1	“校验多项式#1”: $(D^{328}+D^{317}+1)X(D)+(D^{589}+D^{434}+1)P(D)=0$
	“校验多项式#2”: $(D^{596}+D^{553}+1)X(D)+(D^{586}+D^{461}+1)P(D)=0$
	“校验多项式#3”: $(D^{550}+D^{143}+1)X(D)+(D^{470}+D^{448}+1)P(D)=0$
	“校验多项式#4”: $(D^{470}+D^{223}+1)X(D)+(D^{256}+D^{41}+1)P(D)=0$
	“校验多项式#5”: $(D^{89}+D^{40}+1)X(D)+(D^{316}+D^{71}+1)P(D)=0$

	“校验多项式#6”: $(D^{320}+D^{190}+1)X(D)+(D^{575}+D^{136}+1)P(D)=0$
[0779] 时变周期 6 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#2	“校验多项式#1”: $(D^{524}+D^{511}+1)X(D)+(D^{215}+D^{103}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{547}+D^{287}+1)X(D)+(D^{467}+D^1+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{289}+D^{62}+1)X(D)+(D^{503}+D^{502}+1)P(D)=0$ “校验多项式#4”: $(D^{401}+D^{55}+1)X(D)+(D^{443}+D^{106}+1)P(D)=0$ “校验多项式#5”: $(D^{433}+D^{395}+1)X(D)+(D^{404}+D^{100}+1)P(D)=0$ “校验多项式#6”: $(D^{136}+D^{59}+1)X(D)+(D^{599}+D^{559}+1)P(D)=0$
时变周期 6 且编码率 1/2 的 LDPC-CC#3	“校验多项式#1”: $(D^{253}+D^{44}+1)X(D)+(D^{473}+D^{256}+1)P(D)=0$ “校验多项式#2”: $(D^{595}+D^{143}+1)X(D)+(D^{598}+D^{95}+1)P(D)=0$ “校验多项式#3”: $(D^{97}+D^{11}+1)X(D)+(D^{592}+D^{491}+1)P(D)=0$ “校验多项式#4”: $(D^{50}+D^{10}+1)X(D)+(D^{368}+D^{112}+1)P(D)=0$ “校验多项式#5”: $(D^{286}+D^{221}+1)X(D)+(D^{517}+D^{359}+1)P(D)=0$ “校验多项式#6”: $(D^{407}+D^{322}+1)X(D)+(D^{283}+D^{257}+1)P(D)=0$

[0780] 以上,说明了特性良好的时变周期g的LDPC-CC。另外,LDPC-CC通过对信息矢量n乘以生成矩阵G,能够获得编码数据(代码字)。也就是说,能够将编码数据(代码字)c表示为 $c=n \times G$ 。这里,生成矩阵G为对应于预先设计出的校验矩阵H而求得的矩阵。具体而言,生成矩阵G是满足 $G \times H^T=0$ 的矩阵。

[0781] 例如,可以考虑以编码率1/2且生成多项式 $G=[1 \ G_1(D)/G_0(D)]$ 的卷积码为例。此时, G_1 表示前馈多项式, G_0 表示反馈多项式。信息序列(数据)的多项式表达式(polynomial representation)为 $X(D)$ 且奇偶序列的多项式表达式为 $P(D)$ 的奇偶校验多项式如以下的式(21)所示。

$$[0782] \quad G_1(D)X(D)+G_0(D)P(D)=0 \cdots (21)$$

[0783] 其中,D是延迟运算符。

[0784] 图5中记载与(7,5)的卷积码有关的信息。(7,5)卷积码的生成矩阵表示为 $G=[1 \ (D^2+1)/(D^2+D+1)]$ 。因此,奇偶校验多项式为以下的式(22)。

$$[0785] \quad (D^2+1)X(D)+(D^2+D+1)P(D)=0 \cdots (22)$$

[0786] 这里,将时刻i的数据表示为 X_i 并将奇偶校验表示为 P_i ,发送序列表示为 $W_i=(X_i, P_i)$ 。另外,将发送矢量表示为 $w=(X_1, P_1, X_2, P_2, \dots, X_i, P_i, \dots)^T$ 。于是,根据式(22),校验矩阵H可以如图5所示。此时,以下的式(23)的关系式成立。

$$[0787] \quad Hw=0 \cdots (23)$$

[0788] 因此,在解码端,能够使用校验矩阵H,进行利用了非专利文献5、非专利文献6以及非专利文献9中所示的BP(Belief Propagation)(置信传播)解码、近似于BP解码的min-sum(最小和)解码、offset BP解码、Normalized BP解码、shuffled BP解码等的置信传播的解

码。

[0789] (基于卷积码的非时变/时变LDPC-CC(编码率 $(n-1)/n$)(n :自然数))

[0790] 以下,叙述基于卷积码的非时变/时变LDPC-CC的概要。

[0791] 将编码率 $R=(n-1)/n$ 的信息 $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$ 的多项式表达式设为 $X_1(D), X_2(D), \dots, X_{n-1}(D)$ 并且将奇偶校验 P 的多项式表达式设为 $P(D)$,考虑如式(24)所示的奇偶校验多项式。

$$\begin{aligned}
 & (D^{a_{1,1}} + D^{a_{1,2}} + \dots + D^{a_{1,r1}} + 1)X_1(D) + (D^{a_{2,1}} + D^{a_{2,2}} + \dots + D^{a_{2,r2}} + 1)X_2(D) \\
 [0792] \quad & + \dots + (D^{a_{n-1,1}} + D^{a_{n-1,2}} + \dots + D^{a_{n-1,rn-1}} + 1)X_{n-1}(D) \quad \dots (24) \\
 & + (D^{b_1} + D^{b_2} + \dots + D^{b_s} + 1)P(D) = 0
 \end{aligned}$$

[0793] 在式(24)中,此时 $a_{p,p}$ ($p=1, 2, \dots, n-1; q=1, 2, \dots, r_p$)例如为自然数而且满足 $a_{p,1} \neq a_{p,2} \neq \dots \neq a_{p,r_p}$ 。另外, b_q ($q=1, 2, \dots, s$)是自然数且满足 $b_1 \neq b_2 \neq \dots \neq b_s$ 。此时,将以基于式(24)的奇偶校验多项式的校验矩阵定义的代码在这里称为非时变LDPC-CC。

[0794] 准备 m 个基于式(24)的不同的奇偶校验多项式(m 为2以上的整数)。该奇偶校验多项式如下所示。

$$\begin{aligned}
 [0795] \quad & A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + \dots \\
 & + A_{Xn-1,i}(D)X_{n-1}(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (25)
 \end{aligned}$$

[0796] 其中, $i=0, 1, \dots, m-1$ 。

[0797] 另外,将时刻 j 的信息 $X_1, X_2, \dots, X_{n-1}$ 表示为 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$,将时刻 j 的奇偶校验 P 表示为 P_j ,并且设为 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}, P_j)^T$ 。此时,时刻 j 的信息 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{n-1,j}$ 以及奇偶校验 P_j 满足式(26)的奇偶校验多项式。

$$\begin{aligned}
 [0798] \quad & A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots \\
 & + A_{Xn-1,k}(D)X_{n-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \dots (26)
 \end{aligned}$$

[0799] 这里, $[j \bmod m]$ 是 j 除以 m 所得的余数。

[0800] 将以基于式(26)的校验多项式的校验矩阵定义的代码在这里称为时变LDPC-CC。此时,以式(24)的奇偶校验多项式定义的非时变LDPC-CC和以式(26)的奇偶校验多项式定义的时变LDPC-CC具有下述的特征,即,能够以寄存器和“异或”逐次地简单求奇偶校验。

[0801] 例如,图6表示编码率 $2/3$ 且基于式(24)~式(26)的时变周期2的LDPC-CC的校验矩阵 H 的结构。将基于式(26)的时变周期2的两个不同的校验多项式称为“校验式#1”和“校验式#2”。在图6中,($H_a, 111$)是相当于“校验式#1”的部分,($H_c, 111$)是相当于“校验式#2”的部分。以下,将($H_a, 111$)和($H_c, 111$)定义为子矩阵。

[0802] 这样,能够通过表示“校验式#1”的奇偶校验多项式的第1子矩阵和表示“校验式#2”的奇偶校验多项式的第2子矩阵,定义本方案的时变周期2的LDPC-CC的校验矩阵 H 。具体而言,在校验矩阵 H 中,第1子矩阵和第2子矩阵在行方向上被交替地配置。另外,在编码率 $2/3$ 时,如图6所示为下述结构,在第 i 行和第 $i+1$ 行之间子矩阵向右移位了三列。

[0803] 另外,在时变周期2的时变LDPC-CC的情况下,第 i 行的子矩阵与第 $i+1$ 行的子矩阵为不同的子矩阵。也就是说,子矩阵($H_a, 111$)和($H_c, 111$)中的任一方向为第1子矩阵,另一方为第2子矩阵。若将发送矢量 u 设为 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$,则 $Hu=0$ 成立(参照式(23))。

[0804] 接着,在编码率 $2/3$ 时,考虑时变周期设为 m 的LDPC-CC。与时变周期 2 的情况同样,准备 m 个以式(24)表示的奇偶校验多项式。另外,准备以式(24)表示的“校验式#1”。同样,准备以式(24)表示的“校验式#2”至“校验式# m ”。将时刻 $mi+1$ 的数据 X 和奇偶校验 P 分别表示为 X_{mi+1} 、 P_{mi+1} ,将时刻 $mi+2$ 的数据 X 和奇偶校验 P 分别表示为 X_{mi+2} 、 P_{mi+2} ,……,将时刻 $mi+m$ 的数据 X 和奇偶校验 P 分别表示为 X_{mi+m} 、 P_{mi+m} (i :整数)。

[0805] 此时,考虑使用“校验式#1”求时刻 $mi+1$ 的奇偶校验 P_{mi+1} 的、使用“校验式#2”求时刻 $mi+2$ 的奇偶校验 P_{mi+2} 的、……、使用“校验式# m ”求时刻 $mi+m$ 的奇偶校验 P_{mi+m} 的LDPC-CC。这样的LDPC-CC码具有下述优点:

[0806] • 能够简单地构成编码器,而且能够逐次地求奇偶校验;

[0807] • 削减终端比特、提高终端时的删截时的接收质量。

[0808] 图7是表示上述的编码率 $2/3$ 且时变周期 m 的LDPC-CC的校验矩阵的结构。在图7中, $(H_1, 111)$ 是相当于“校验式#1”的部分, $(H_2, 111)$ 是相当于“校验式#2”的部分、……、 $(H_m, 111)$ 是相当于“校验式# m ”的部分。以下,将 $(H_1, 111)$ 定义为第1子矩阵,将 $(H_2, 111)$ 定义为第2子矩阵、将 $(H_m, 111)$ 定义为第 m 子矩阵。

[0809] 这样,能够通过表示“校验式#1”的奇偶校验多项式的第1子矩阵、表示“校验式#2”的奇偶校验多项式的第2子矩阵、……、以及表示“校验式# m ”的奇偶校验多项式的第 m 子矩阵,定义本发明的时变周期 m 的LDPC-CC的校验矩阵 H 。具体而言,在校验矩阵 H 中,第1子矩阵至第 m 子矩阵为止在行方向上周期性地被配置(参照图7)。另外,在编码率 $2/3$ 时为下述结构,在第 i 行和第 $i+1$ 行之间子矩阵向右移位了三列(参照图7)。

[0810] 若将发送矢量 u 设为 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, P_k, \dots)^T$,则 $Hu = 0$ 成立(参照式(23))。

[0811] 在上述说明中,作为基于编码率 $(n-1)/n$ 的卷积码的非时变/时变LDPC-CC的一个例子,以编码率 $2/3$ 的情况为例进行了说明,但是通过同样地考虑,能够生成基于编码率 $(n-1)/n$ 的卷积码的非时变/时变LDPC-CC的奇偶校验矩阵。

[0812] 也就是说,在编码率 $2/3$ 时,在图7中, $(H_1, 111)$ 是相当于“校验式#1”的部分(第1子矩阵)、 $(H_2, 111)$ 是相当于“校验式#2”的部分(第2子矩阵)、……、 $(H_m, 111)$ 是相当于“校验式# m ”的部分(第 m 子矩阵),相对与此,在编码率 $(n-1)/n$ 时,如图8所示。也就是说,以 $(H_1, 11 \dots 1)$ 表示相当于“校验式#1”的部分(第1子矩阵),以 $(H_k, 11 \dots 1)$ 表示相当于“校验式# k ”($k=2, 3, \dots, m$)的部分(第 k 子矩阵)。此时,在第 k 子矩阵中,去除 H_k 的部分的“1”的个数为 $n-1$ 个。另外,在校验矩阵 H 中为下述结构,在第 i 行和第 $i+1$ 行之间子矩阵向右移位了 $n-1$ 列(参照图8)。

[0813] 若将发送矢量 u 设为 $u = (X_{1,0}, X_{2,0}, \dots, X_{n-1,0}, P_0, X_{1,1}, X_{2,1}, \dots, X_{n-1,1}, P_1, \dots, X_{1,k}, X_{2,k}, \dots, X_{n-1,k}, P_k, \dots)^T$,则 $Hu = 0$ 成立(参照式(23))。

[0814] 另外,作为一例,图9表示编码率 $R=1/2$ 时的LDPC-CC编码器的结构例。如图9所示, LDPC-CC编码器100主要包括:数据运算单元110、奇偶运算单元120、权重控制单元130以及mod2运算(“异或”运算)器140。

[0815] 数据运算单元110包括:移位寄存器111-1~111- M 和权重乘法器112-0~112- M 。

[0816] 奇偶运算单元120包括:移位寄存器121-1~121- M 和权重乘法器122-0~122- M 。

[0817] 移位寄存器111-1~111- M 和移位寄存器121-1~121- M 是分别保持 $v_{1,t-i}, v_{2,t-i}$ (i

$=0, \dots, M)$ 的寄存器,在下一输入进来的定时,将保持的值输出到右边相邻的移位寄存器,新保持从左边相邻的移位寄存器输出的值。另外,移位寄存器的初始状态都为“0”。

[0818] 权重乘法器112-0~112-M、122-0~122-M根据从权重控制单元130输出的控制信号,将 $h_1^{(m)}, h_2^{(m)}$ 的值切换为0/1。

[0819] 权重控制单元130基于保持在内部的校验矩阵,输出该定时的 $h_1^{(m)}, h_2^{(m)}$ 的值,并将其提供给权重乘法器112-0~112-M以及权重乘法器122-0~122-M。

[0820] mod2加法器140将权重乘法器112-0~112-M,122-0~122-M的输出全部相加而输出mod2的计算结果,计算 $v_{2,t}$ 。

[0821] 通过采用这样的结构,LDPC-CC编码器100能够进行基于校验矩阵的LDPC-CC的编码。

[0822] 另外,权重控制单元130所保持的校验矩阵的各行的排列在每行不同时,LDPC-CC编码单元100成为时变(time varying)卷积编码器。另外,在编码率 $(q-1)/q$ 的LDPC-CC的情况下,采用下述结构即可,即,设置 $(q-1)$ 个数据运算单元110,对各个权重乘法器的输出进行mod2加法运算(“异或”运算)。

[0823] (实施方式1)

[0824] 接着,在本实施方式中说明:在编码器/解码器中,能够以小运算规模对应多种编码率的LDPC-CC的搜索方法。使用通过以下说明的方法搜索出的LDPC-CC,从而能够在解码器中实现高的数据接收质量。

[0825] 本实施方式的LDPC-CC的搜索方法,例如,基于上述的特性良好的LDPC-CC中的、编码率 $1/2$ 的LDPC-CC,依次搜索编码率 $2/3, 3/4, 4/5, \dots, (q-1)/q$ 的LDPC-CC。由此,在编码和解码处理中,通过准备最高编码率 $(q-1)/q$ 时的编码器、解码器,能够进行比最高编码率 $(q-1)/q$ 低的编码率 $(s-1)/s$ ($s=2, 3, \dots, q-1$)的编码和解码。

[0826] 另外,以下作为一例,使用时变周期3的LDPC-CC进行说明。如上所述,时变周期3的LDPC-CC具有非常好的纠错能力。

[0827] (LDPC-CC的搜索方法)

[0828] (1)编码率 $1/2$

[0829] 首先,选择编码率 $1/2$ 的LDPC-CC作为基础的LDPC-CC。作为基础的编码率 $1/2$ 的LDPC-CC,选择上述那样的特性良好的LDPC-CC。

[0830] 以下,说明选择了以式(27-1)~式(27-3)表示的奇偶校验多项式作为基础的编码率 $1/2$ 的LDPC-CC的奇偶校验多项式的情况。(在式(27-1)~式(27-3)的例子中以与上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)同样的形式进行表示,所以能够以三个奇偶校验多项式定义时变周期3的LDPC-CC。)

[0831] $(D^{373}+D^{56}+1)X_1(D)+(D^{406}+D^{218}+1)P(D)=0 \dots (27-1)$

[0832] $(D^{457}+D^{197}+1)X_1(D)+(D^{491}+D^{22}+1)P(D)=0 \dots (27-2)$

[0833] $(D^{485}+D^{70}+1)X_1(D)+(D^{236}+D^{181}+1)P(D)=0 \dots (27-3)$

[0834] 如表3所记载,式(27-1)~式(27-3)是一例特性良好的时变周期3且编码率 $1/2$ 的LDPC-CC的奇偶校验多项式。另外,如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了说明,将时刻j的信息 X_1 表示为 $X_{1,j}$,将时刻j的奇偶校验P表示为 P_j ,并设为 $u_j=(X_{1,j}, P_j)^T$ 。此时,时刻j的信息 $X_{1,j}$ 和奇偶校验 P_j

[0835] “在 $j \bmod 3 = 0$ 时, 满足式(27-1)的奇偶校验多项式”;

[0836] “在 $j \bmod 3 = 1$ 时, 满足式(27-2)的奇偶校验多项式”;

[0837] “在 $i \bmod 3 = 2$ 时, 满足式(27-3)的奇偶校验多项式”。

[0838] 此时, 奇偶校验多项式和校验矩阵的关系与在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)说明了的情况相同。

[0839] (2)编码率2/3

[0840] 接着, 基于特性良好的编码率1/2的奇偶校验多项式, 生成编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式。具体而言, 采用的结构为, 编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式包含作为基础的编码率1/2的奇偶校验多项式。

[0841] 能够如式(28-1)~式(28-3)那样表示对基础的编码率1/2的LDPC-CC使用式(27-1)~式(27-3)时的编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

$$[0842] \quad (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 1} + D^{\beta 1} + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0 \cdots (28-1)$$

$$[0843] \quad (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 2} + D^{\beta 2} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \cdots (28-2)$$

$$[0844] \quad (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 3} + D^{\beta 3} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0 \cdots (28-3)$$

[0845] 式(28-1)~式(28-3)所示的奇偶校验多项式采用对式(27-1)~式(27-3)分别追加了 $X_2(D)$ 的项的结构。使用式(28-1)~式(28-3)的编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式成为后述的编码率3/4的奇偶校验多项式的基础。

[0846] 另外, 在式(28-1)~式(28-3)中, 若将 $X_2(D)$ 的各个次数 $(\alpha 1, \beta 1)$ 、 $(\alpha 2, \beta 2)$ 、 $(\alpha 3, \beta 3)$ 设定为满足上述的条件(<条件#1>~<条件#6>等), 则在编码率2/3的情况下也能够获得特性良好的LDPC-CC。

[0847] 另外, 如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了说明, 将时刻j的信息 X_1 、 X_2 表示为 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$, 将时刻j的奇偶校验P表示为 P_j , 并设为 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, P_j)^T$ 。此时, 时刻j的信息 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 和奇偶校验 P_j

[0848] “在 $j \bmod 3 = 0$ 时, 满足式(28-1)的奇偶校验多项式”;

[0849] “在 $j \bmod 3 = 1$ 时, 满足式(28-2)的奇偶校验多项式”;

[0850] “在 $j \bmod 3 = 2$ 时, 满足式(28-3)的奇偶校验多项式”。

[0851] 此时, 奇偶校验多项式和校验矩阵的关系与在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)说明了的情况相同。

[0852] (3)编码率3/4

[0853] 接着, 基于上述的编码率2/3的奇偶校验多项式, 生成编码率3/4的LDPC-CC的奇偶校验多项式。具体而言, 采用的结构为, 编码率3/4的LDPC-CC的奇偶校验多项式包含作为基础的编码率2/3的奇偶校验多项式。

[0854] 式(29-1)~式(29-3)表示对基础的编码率2/3的LDPC-CC使用式(28-1)~式(28-3)时的编码率3/4的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

$$[0855] \quad \begin{aligned} & (D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 1} + D^{\beta 1} + 1)X_2(D) \\ & + (D^{\gamma 1} + D^{\delta 1} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (29-1) \end{aligned}$$

$$[0856] \quad \begin{aligned} & (D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 2} + D^{\beta 2} + 1)X_2(D) \\ & + (D^{\gamma 2} + D^{\delta 2} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0 \quad \cdots (29-2) \end{aligned}$$

$$[0857] \quad (D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{\alpha 3} + D^{\beta 3} + 1)X_2(D) + (D^{\gamma 3} + D^{\delta 3} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0 \quad \dots (29-3)$$

[0858] 式(29-1)~式(29-3)所示的奇偶校验多项式采用对式(28-1)~式(28-3)分别追加了 $X_3(D)$ 的项的结构。另外,在式(29-1)~式(29-3)中,若将 $X_3(D)$ 的各个次数 $(\gamma 1, \delta 1)$ 、 $(\gamma 2, \delta 2)$ 、 $(\gamma 3, \delta 3)$ 设定为满足特性良好的LDPC-CC的次数的条件(<条件#1>~<条件#6>等),则在编码率3/4的情况下也能够获得特性良好的LDPC-CC。

[0859] 另外,如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了的说明,将时刻j的信息 X_1 、 X_2 、 X_3 表示为 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、 $X_{3,j}$,将时刻j的奇偶校验P表示为 P_j ,并设为 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, X_{3,j}, P_j)^T$ 。此时,时刻j的信息 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、 $X_{3,j}$ 和奇偶校验 P_j

[0860] “在 $j \bmod 3 = 0$ 时,满足式(29-1)的奇偶校验多项式”;

[0861] “在 $j \bmod 3 = 1$ 时,满足式(29-2)的奇偶校验多项式”;

[0862] “在 $j \bmod 3 = 2$ 时,满足式(29-3)的奇偶校验多项式”。

[0863] 此时,奇偶校验多项式和校验矩阵的关系与在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)说明了的情况相同。

[0864] 式(30-1)~式(30-(q-1))表示如上述那样进行了搜索时的时变周期g的LDPC-CC的奇偶校验多项式的通式。

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (30-1)$$

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (30-2)$$

$$[0865] \quad A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + A_{X3,k}(D)X_3(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (30-3)$$

·
·
·

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots + A_{Xq-1,k}(D)X_{q-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \quad \dots (30 - (q-1))$$

[0866] 但是,式(30-1)以通式来表示,所以进行式(30-1)那样的表示,但如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了的说明,实际上,时变周期为g,因此以g个奇偶校验多项式表达式(30-1)。与(如本实施方式进行了的说明那样,例如,在时变周期3的情况下,像式(27-1)~式(27-3)那样用三个奇偶校验多项式表达式)式(30-1)同样,由于式(30-2)~式(30-(q-1))中的各个式子的时变周期为g,所以用g个奇偶校验多项式表达式。

[0867] 这里,将式(30-1)的g个奇偶校验多项式表达式为式(30-1-0)、式(30-1-1)、式(30-1-2)、……、式(30-1-(g-2))、式(30-1-(g-1))。

[0868] 同样,式(30-w)用g个奇偶校验多项式来表示($w = 2, 3, \dots, q-1$)。这里,将式(30-

w)的g个奇偶校验多项式表达式为式(30-w-0)、式(30-w-1)、式(30-w-2)、……、式(30-w-(g-2))、式(30-w-(g-1))。

[0869] 另外,在式(30-1)~式(30-(q-1))中, $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 、……、 $X_{q-1,i}$ 表示时刻i的信息 X_1 、 X_2 、……、 X_{q-1} , P_i 表示时刻i的奇偶校验P。另外, $A_{Xr,k}(D)$ 是设为编码率 $(r-1)/r$ ($r=2,3,\dots,q$ (q 为3以上的自然数))的时刻i且 $k=i \bmod g$ 而求出的k的奇偶校验多项式中的 $X_r(D)$ 的项。另外, $B_k(D)$ 是设为编码率 $(r-1)/r$ 的时刻i且 $k=i \bmod g$ 而求出的k的奇偶校验多项式中的 $P(D)$ 的项。另外,“ $j \bmod g$ ”是i除以g所得的余数。

[0870] 也就是说,式(30-1)是对应编码率1/2的时变周期g的LDPC-CC的奇偶校验多项式,式(30-2)是对应编码率2/3的时变周期g的LDPC-CC的奇偶校验多项式、…、式(30-(q-1))是对应编码率 $(q-1)/q$ 的时变周期g的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

[0871] 这样,以特性良好的编码率1/2的LDPC-CC的奇偶校验多项式即式(30-1)为基础,生成编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式(30-2)。

[0872] 进而,以编码率2/3的LDPC-CC的奇偶校验多项式(30-2)为基础,生成编码率3/4的LDPC-CC的奇偶校验多项式(30-3)。以下也同样,以编码率 $(r-1)/r$ 的LDPC-CC为基础,生成编码率 $r/(r+1)$ 的LDPC-CC的奇偶校验多项式。

[0873] 对以上的奇偶校验多项式的构成方法进行另外的表示。考虑编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期g的LDPC-CC和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期g的LDPC-CC。但是,假设:实现编码器的电路的共用和解码器的电路的共用的编码率中最大的编码率为 $(q-1)/q$;g为2以上的整数,y为2以上的整数,z为2以上的整数; $y < z \leq q$ 的关系成立。另外,所谓编码器的电路的共用是指编码器内部的电路的共用,不是编码器和解码器的电路的共用。

[0874] 此时,表示了式(30-1)~式(30-(q-1))的说明时叙述过的g个奇偶校验多项式的式(30-w-0)、式(30-w-1)、式(30-w-2)、……、式(30-w-(g-2))、式(30-w-(g-1))中,以式(31-1)~式(31-g)表示设为 $w=y-1$ 时的g个奇偶校验多项式。

$$A_{X1,0}(D)X_1(D) + A_{X2,0}(D)X_2(D) + \dots + A_{X_{y-1},0}(D)X_{y-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0 \quad (\theta = i \bmod g) \dots (31-1)$$

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

$$A_{X1,1}(D)X_1(D) + A_{X2,1}(D)X_2(D) + \dots + A_{X_{y-1},1}(D)X_{y-1}(D) + B_1(D)P(D) = 0 \quad (l = i \bmod g) \dots (31-2)$$

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

·
·
·

[0875]

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots + A_{X_{y-1},k}(D)X_{y-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k = i \bmod g) \dots (31-(k+1))$$

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

·
·
·

$$A_{X1,g-1}(D)X_1(D) + A_{X2,g-1}(D)X_2(D) + \dots + A_{X_{y-1},g-1}(D)X_{y-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0 \quad (g-l = i \bmod g) \dots (31-g)$$

$$[0876] \quad B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,g-1}(D)X_r(D) = 0 \quad (g-l = i \bmod g) \dots (31-g')$$

[0877] 在式(31-1)~式(31-g)中,式(31-w)和式(31-w')是等价式,也可以将以下记载为式(31-w)之处置换为式(31-w')(w=1、2、……、g)。

[0878] 另外,如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了说明,将时刻j的信息 X_1 、 X_2 、……、 X_{y-1} 表示为 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、……、 $X_{y-1,j}$,将时刻j的奇偶校验P表示为 P_j ,并设为 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, P_j)^T$ 。此时,时刻j的信息 $X_{1,j}$ 、 $X_{2,j}$ 、……、 $X_{y-1,j}$ 和奇偶校验 P_j

[0879] “在 $j \bmod g = 0$ 时,满足式(31-1)的奇偶校验多项式”;

[0880] “在 $j \bmod g = 1$ 时,满足式(31-2)的奇偶校验多项式”;

[0881] “在 $j \bmod g = 2$ 时,满足式(31-3)的奇偶校验多项式”;

[0882] “在 $j \bmod g = k$ 时,满足式(31-(k+1))的奇偶校验多项式”;

[0883] “在 $j \bmod g = g-1$ 时,满足式(31-g)的奇偶校验多项式”。

[0884] 此时,奇偶校验多项式和校验矩阵的关系与在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)说明了的情况相同。

[0885] 接着,表示了式(30-1)~式(30-(q-1))的说明时叙述过的g个奇偶校验多项式的式(30-w-0)、式(30-w-1)、式(30-w-2)、……、式(30-w-(g-2))、式(30-w-(g-1))中,以式(32-1)~式(32-g)表示设为w=z-1时的g个奇偶校验多项式(根据 $y < z \leq q$ 的关系,能够表示为式(32-1)~式(32-g))。

$$A_{X1,0}(D)X_1(D) + A_{X2,0}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{Xy-1,0}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{Xs,0}(D)X_s(D) + \dots + A_{Xz-1,0}(D)X_{z-1}(D) + B_0(D)P(D) = 0$$

[0886]

$$(0 = i \bmod g) \dots (32-1)$$

$$B_0(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,0}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,0}(D)X_s(D) = 0$$

$$(0 = i \bmod g) \dots (32-1')$$

$$A_{X1,l}(D)X_1(D) + A_{X2,l}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{Xy-1,l}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{Xs,l}(D)X_s(D) + \dots + A_{Xz-1,l}(D)X_{z-1}(D) + B_l(D)P(D) = 0$$

$$(l = i \bmod g) \dots (32-2)$$

$$B_l(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,l}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,l}(D)X_s(D) = 0$$

$$(l = i \bmod g) \dots (32-2')$$

⋮
⋮
⋮

$$A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{Xy-1,k}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{Xs,k}(D)X_s(D) + \dots + A_{Xz-1,k}(D)X_{z-1}(D) + B_k(D)P(D) = 0$$

[0887]

$$(k = i \bmod g) \dots (32 - (k+1))$$

$$B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,k}(D)X_s(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \dots (32 - (k+1)')$$

⋮
⋮
⋮

$$A_{X1,g-1}(D)X_1(D) + A_{X2,g-1}(D)X_2(D) + \dots \\ + A_{Xy-1,g-1}(D)X_{y-1}(D) + \dots + A_{Xs,g-1}(D)X_s(D) + \dots + A_{Xz-1,g-1}(D)X_{z-1}(D) + B_{g-1}(D)P(D) = 0$$

$$(g-l = i \bmod g) \dots (32-g)$$

$$B_{g-1}(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,g-1}(D)X_r(D) + \sum_{s=y}^{z-1} A_{Xs,g-1}(D)X_s(D) = 0$$

$$(g-l = i \bmod g) \dots (32-g')$$

[0888] 在式(32-1)~式(32-g)中,式(32-w)和式(32-w')是等价式,也可以将以下记载为式(32-w)之处置换为式(32-w')(w=1、2、……、g)。

[0889] 另外,如在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)进行了说明,将时刻j中的信息 $X_1, X_2, \dots, X_{y-1}, \dots, X_s, \dots, X_{z-1}$ 表示为 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}$,将时刻j的奇偶校验P表示为 P_j ,并设为 $u_j = (X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}, P_j)^T$ (因此,根据 $y < z \leq q$ 的关系, $s = y, y+1, y+2, y+3, \dots, z-3, z-2, z-1$)。此时,时刻j的信息 $X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{y-1,j}, \dots, X_{s,j}, \dots, X_{z-1,j}$ 和奇偶校验 P_j

[0890] “在 $j \bmod g = 0$ 时,满足式(32-1)的奇偶校验多项式”;

[0891] “在 $j \bmod g = 1$ 时,满足式(32-2)的奇偶校验多项式”;

[0892] “在 $j \bmod g = 2$ 时,满足式(32-3)的奇偶校验多项式”;

[0893] “在 $j \bmod g = k$ 时,满足式(32-(k+1))的奇偶校验多项式”;

[0894] “在 $j \bmod g = g-1$ 时,满足式(32-g)的奇偶校验多项式”。此时,奇偶校验多项式和校验矩阵的关系与在上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)说明了的情况相同。

[0895] 在上述关系成立的情况下,编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期g的LDPC-CC和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期g的LDPC-CC中,以下的条件成立时,编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期g的LDPC-CC的编码器和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期g的LDPC-CC的编码器能够共用电路,而且编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期g的LDPC-CC的解码器和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期g的LDPC-CC的解码器能够共用电路。该条件如下所示。

[0896] 首先,在式(31-1)和式(32-1)中成立以下的关系。

[0897] “式(31-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 和式(32-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 之间等号成立”;

[0898] “式(31-1)的 $A_{Xf,0}(D)$ 和式(32-1)的 $A_{Xf,0}(D)$ 之间等号成立”;

[0899] “式(31-1)的 $A_{Xy-1,0}(D)$ 和式(32-1)的 $A_{Xy-1,0}(D)$ 之间等号成立”。

[0900] 也就是说,上述关系在 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 时成立。

[0901] 另外,对于奇偶校验而言,以下的关系也成立。

[0902] “式(31-1)的 $B_0(D)$ 和式(32-1)的 $B_0(D)$ 之间等号成立”。

[0903] 同样,在式(31-2)和式(32-2)中成立以下的关系。

[0904] “式(31-2)的 $A_{X1,1}(D)$ 和式(32-2)的 $A_{X1,1}(D)$ 之间等号成立”;

[0905] “式(31-2)的 $A_{Xf,1}(D)$ 和式(32-2)的 $A_{Xf,1}(D)$ 之间等号成立”;

[0906] “式(31-2)的 $A_{Xy-1,1}(D)$ 和式(32-2)的 $A_{Xy-1,1}(D)$ 之间等号成立”。

[0907] 也就是说,上述关系在 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 时成立。

[0908] 另外,对于奇偶校验而言,以下的关系也成立。

[0909] “式(31-2)的 $B_1(D)$ 和式(32-2)的 $B_1(D)$ 之间等号成立”。

[0910] (省略)

[0911] 同样,在式(31-h)和式(32-h)中成立以下的关系。

[0912] “式(31-h)的 $A_{X1,h-1}(D)$ 和式(32-h)的 $A_{X1,h-1}(D)$ 之间等号成立”;

[0913] “式(31-h)的 $A_{Xf,h-1}(D)$ 和式(32-h)的 $A_{Xf,h-1}(D)$ 之间等号成立”;

[0914] “式(31-h)的 $A_{Xy-1,h-1}(D)$ 和式(32-h)的 $A_{Xy-1,h-1}(D)$ 之间等号成立”。

[0915] 也就是说,上述关系在 $f=1, 2, 3, \dots, y-1$ 时成立。

[0916] 另外,对于奇偶校验而言,以下的关系也成立。

[0917] “式(31-h)的 $B_{h-1}(D)$ 和式(32-h)的 $B_{h-1}(D)$ 之间等号成立”。

[0918] (省略)

[0919] 同样,在式(31-g)和式(32-g)中成立以下的关系。

[0920] “式(31-g)的 $A_{X1,g-1}(D)$ 和式(32-g)的 $A_{X1,g-1}(D)$ 之间等号成立”;

[0921] “式(31-g)的 $A_{Xf,g-1}(D)$ 和式(32-g)的 $A_{Xf,g-1}(D)$ 之间等号成立”;

[0922] “式(31-g)的 $A_{Xy-1,g-1}(D)$ 和式(32-g)的 $A_{Xy-1,g-1}(D)$ 之间等号成立”。

[0923] 也就是说,上述关系在 $f=1,2,3,\dots,y-1$ 时成立。

[0924] 另外,对于奇偶校验而言,以下的关系也成立。

[0925] “式(31-g)的 $B_{g-1}(D)$ 和式(32-g)的 $B_{g-1}(D)$ 之间等号成立”(其中, $h=1,2,3,\dots,g-2,g-1,g$)。

[0926] 在上述的关系成立时,编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码器和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码器能够共用电路,而且,编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的解码器和编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的解码器能够共用电路。但是,对于编码器的电路的共用方法以及解码器的电路的共用方法,在下面的(编码器、解码器的结构)中详细说明。

[0927] 表5表示一例满足了上述条件的、时变周期3且对应的编码率为 $1/2,2/3,3/4,5/6$ 的LDPC-CC的奇偶校验多项式。但是,奇偶校验多项式的形式以与表3的形式同样的形式来表示。由此,发送装置和接收装置在编码率对应了 $1/2,2/3,3/4,5/6$ 时(或者,发送装置和接收装置对应了四个编码率中的两个以上的编码率时),能够降低运算规模(电路规模)(由于是分布码(Distributed codes)而且编码器能够共用电路以及解码器能够共用电路,所以能够降低电路规模)以及接收装置能够获得高的数据接收质量。

[0928] (表5)

代码	奇偶校验多项式
[0929] 时变周期3 且编码率 1/2 的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$

[0930]

时变周期3 且编码率 2/3的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$
时变周期3 且编码率 3/4的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$
时变周期3 且编码率 5/6的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{373} + D^{56} + 1)X_1(D) + (D^{86} + D^4 + 1)X_2(D) + (D^{388} + D^{134} + 1)X_3(D) + (D^{250} + D^{197} + 1)X_4(D) + (D^{295} + D^{113} + 1)X_5(D) + (D^{406} + D^{218} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{457} + D^{197} + 1)X_1(D) + (D^{368} + D^{295} + 1)X_2(D) + (D^{155} + D^{136} + 1)X_3(D) + (D^{220} + D^{146} + 1)X_4(D) + (D^{311} + D^{115} + 1)X_5(D) + (D^{491} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{485} + D^{70} + 1)X_1(D) + (D^{475} + D^{398} + 1)X_2(D) + (D^{493} + D^{77} + 1)X_3(D) + (D^{490} + D^{239} + 1)X_4(D) + (D^{394} + D^{278} + 1)X_5(D) + (D^{236} + D^{181} + 1)P(D) = 0$

[0931] 说明表5的时变周期3的LDPC-CC满足上述条件的情况。例如,考虑表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC和表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC。也就是说,在式(31-1)~式(31-g)中 $y=2$,在式(32-1)~式(32-g)中 $z=3$ 。

[0932] 于是,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,式(31-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 变为 $D^{373} + D^{56} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,式(32-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 变为 $D^{373} + D^{56} + 1$,“式(31-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 和式(32-1)的 $A_{X1,0}(D)$ 之间等号成立”。

[0933] 另外,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,式(31-1)的 $B_0(D)$ 变为 $D^{406} + D^{218} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,变为式(32-1)的 $B_0(D) = D^{406} + D^{218} + 1$,“式(31-1)的 $B_0(D)$ 和式(32-1)的 $B_0(D)$ 之间等号成立”。

[0934] 同样,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,变为式(31-2)的 $A_{X1,1}(D) = D^{457} + D^{197} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,变为式(32-2)的 $A_{X1,1}(D) = D^{457} + D^{197} + 1$,“式(31-2)的 $A_{X1,1}(D)$ 和式(32-2)的 $A_{X1,1}(D)$ 之间等号成立”。

[0935] 另外,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,式(31-2)的 $B_1(D)$ 变为 $D^{491} + D^{22} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,变为式(32-2)的 $B_1(D) = D^{491} + D^{22} + 1$,“式(31-2)的 $B_1(D)$ 和式(32-2)的 $B_1(D)$ 之间等号成立”。

[0936] 同样,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,式(31-3)的 $A_{X1,2}(D)$ 变为 $D^{485} + D^{70} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,变为式(32-3)的 $A_{X1,2}(D) = D^{485} + D^{70} + 1$,“式(31-3)的 $A_{X1,2}(D)$ 和式(32-3)的 $A_{X1,2}(D)$ 之间等号成立”。

[0937] 另外,根据表5的编码率1/2的时变周期3的LDPC-CC,式(31-3)的 $B_2(D)$ 变为 $D^{236} + D^{181} + 1$,根据表5的编码率2/3的时变周期3的LDPC-CC,式(32-3)的 $B_2(D)$ 变为 $D^{236} + D^{181} + 1$,“式

(31-3)的 $B_2(D)$ 和式(32-3)的 $B_2(D)$ 之间等号成立”。

[0938] 从以上可知,能够确认表5的编码率 $1/2$ 的时变周期3的LDPC-CC和表5的编码率 $2/3$ 的时变周期3的LDPC-CC满足上述的条件。

[0939] 若与以上相同,在表5的时变周期3的LDPC-CC中,选择编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ 中的、两个不同编码率的时变周期3的LDPC-CC,并进行是否满足上述的条件验证,则无论是哪一种选择图案(pattern),都能够确认满足上述的条件。

[0940] 另外,由于LDPC-CC是卷积码的一种,所以为了确保信息比特的解码中的置信度,需要进行终止(termination)或截尾(tail biting)。这里,考虑下述情况,即进行将数据(信息) X 的状态设为零(以下称为“信息零终止(Information-zero-termination)”)的方法的情况。

[0941] 图10是表示“信息零终止”的方法的图。如图10所示,发送的信息序列中最后发送的信息比特(最终的发送比特)是 $X_n(110)$ 。随着该最终的信息比特 $X_n(110)$,发送装置仅发送直至由编码器生成的奇偶校验比特为止的数据时,在接收装置进行解码的情况下,信息的接收质量大幅劣化。为了解决该问题,将最终的信息比特 $X_n(110)$ 以后的信息比特(称为“虚拟的信息比特”)假定为“0”并对其进行编码,生成奇偶校验比特(130)。

[0942] 此时,由于接收装置知道虚拟的信息比特(120)为“0”,所以发送装置不发送虚拟的信息比特(120),仅发送由虚拟的信息比特(120)生成的奇偶校验比特(130)(该奇偶校验比特为必须发送的冗余比特,因此,将该奇偶校验比特称为冗余比特)。于是,作为新的课题,为了兼顾提高数据的传输效率和确保数据的接收质量,需要确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特(120)生成的奇偶校验比特(130)的数尽量少。

[0943] 此时,为了确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶比特位的数尽量少,通过模拟确认出与奇偶校验多项式的奇偶校验有关的项具有重要的作用。

[0944] 作为一例,以时变周期 m (m 为整数且 $m \geq 2$)且编码率 $1/2$ 时的LDPC-CC为例进行说明。用下式表示时变周期 m 时所需的 m 个的奇偶校验多项式。

$$[0945] \quad A_{X1,i}(D)X_1(D)+B_i(D)P(D)=0 \cdots (33)$$

[0946] 其中, $i=0,1,\dots,m-1$ 。另外,假设 $A_{X1,i}(D)$ 中存在的 D 的次数仅存在“0”以上的整数(例如,如 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 那样,对于 D 而言,存在的次数为15、3、0,全部由“0”以上的次数构成),并且 $B_i(D)$ 中存在的 D 的次数也仅存在“0”以上的次数(例如,如 $B_i(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 那样,对 D 而言,存在的次数为18、4、0,全部由“0”以上的次数构成)。

[0947] 此时,在时刻 j 中,下式的奇偶校验多项式成立。

$$[0948] \quad A_{X1,k}(D)X_1(D)+B_k(D)P(D)=0(k=j \bmod m) \cdots (34)$$

[0949] 另外,在 $X_1(D)$ 中,将 $A_{X1,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 α_1 (例如,若设为 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_1=15$)、将 $A_{X1,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 α_2 、 $\dots$ 、将 $A_{X1,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 α_i 、 $\dots$ 、 $A_{X1,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 α_{m-1} 。另外,在 $\alpha_i(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 α 。

[0950] 另一方面,在 $P(D)$ 中,将 $B_1(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_1 、将 $B_2(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_2 、 $\dots$ 、将 $B_i(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_i 、 $\dots$ 、将 $B_{m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_{m-1} 。另外,在 $\beta_i(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 β 。

[0951] 于是,为了确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的

数尽量少,使 β 为 α 的1/2以下即可。

[0952] 这里,虽然对于编码率1/2的情况,但对于1/2以上的编码率的情况,也能够同样地考虑。此时,特别是编码率4/5以上的情况,存在下述倾向,即,用于确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的数尽量少的条件所需的冗余比特非常大,与上述同样地考虑了的条件对于为了确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的数尽量少是重要的。

[0953] 作为一例,以时变周期 m (m 为整数且 $m \geq 2$)且编码率4/5时的LDPC-CC为例进行说明。用下式表示时变周期 m 时所需的 m 个的奇偶校验多项式。

$$[0954] \quad A_{X1,i}(D)X_1(D) + A_{X2,i}(D)X_2(D) + A_{X3,i}(D)X_3(D) + A_{X4,i}(D)X_4(D) + B_i(D)P(D) = 0 \quad \dots (35)$$

[0955] 其中,设为 $i=0,1,\dots,m-1$ 。另外假设: $A_{X1,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数(例如,如 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 那样,对于 D 而言存在的次数为15、3、0,全部由0以上的次数构成),同样地, $A_{X2,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $A_{X3,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $A_{X4,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $B_i(D)$ 中存在的 D 的次数也只存在0以上的整数(例如,如 $B_i(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 那样,对于 D 而言存在的次数为18、4、0,全部由0以上的次数构成)。

[0956] 此时,在时刻 j 中,下式的奇偶校验多项式成立。

$$[0957] \quad A_{X1,k}(D)X_1(D) + A_{X2,k}(D)X_2(D) + A_{X3,k}(D)X_3(D) + A_{X4,k}(D)X_4(D) + B_k(D)P(D) = 0 \quad (k=j \bmod m) \quad \dots (36)$$

[0958] 另外,在 $X_1(D)$ 中,将 $A_{X1,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,1}$ (例如,若设为 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{1,1}=15$)、将 $A_{X1,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X1,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X1,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{1,i}$ ($i=0,1,2,\dots,m-1$)中将最大值设为 α_1 。

[0959] 在 $X_2(D)$ 中,将 $A_{X2,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,1}$ (例如,若设为 $A_{X2,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{2,1}=15$)、将 $A_{X2,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X2,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X2,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{2,i}$ ($i=0,1,2,\dots,m-1$)中将最大值设为 α_2 。

[0960] 在 $X_3(D)$ 中,将 $A_{X3,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{3,1}$ (例如,若设为 $A_{X3,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{3,1}=15$)、将 $A_{X3,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{3,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X3,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{3,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X3,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{3,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{3,i}$ ($i=0,1,2,\dots,m-1$)中将最大值设为 α_3 。

[0961] 在 $X_4(D)$ 中,将 $A_{X4,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{4,1}$ (例如,若设为 $A_{X4,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{4,1}=15$)、将 $A_{X4,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{4,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X4,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{4,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X4,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{4,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{4,i}$ ($i=0,1,2,\dots,m-1$)中将最大值设为 α_4 。

[0962] 在 $P(D)$ 中,将 $B_1(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_1 、将 $B_2(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_2 、 $\dots$ 、将 $B_i(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_i 、 $\dots$ 、将 $B_{m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_{m-1} 。另外,在 β_i 中($i=0,1,2,\dots,m-1$)将最大值设为 β 。

[0963] 于是,为了确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的

数尽量少,

[0964] “使 β 为 α_1 的1/2以下,使 β 为 α_2 的1/2以下、使 β 为 α_3 的1/2以下,而且使 β 为 α_4 的1/2以下”

[0965] 即可,特别是,能够确保良好的数据的接收质量的可能性高。

[0966] 另外,即使

[0967] “使 β 为 α_1 的1/2以下、使 β 为 α_2 的1/2以下、使 β 为 α_3 的1/2以下、或者使 β 为 α_4 的1/2以下”,

[0968] 也能够确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的数尽量少,但稍稍存在导致数据的接收质量的下降的可能性(但是,不一定导致数据的接收质量下降)。

[0969] 因此,时变周期 m (m 为整数,而且 $m \geq 2$)而且编码率为 $(n-1)/n$ 时的LDPC-CC情况下,能够如以下那样进行考虑。

[0970] 用下式表示时变周期 m 时所需的 m 个的奇偶校验多项式。

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

[0972] 其中,设为 $i=0,1,\dots,m-1$ 。另外假设: $A_{X1,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数(例如,如 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$ 那样,对于 D 而言存在的次数为15、3、0,全部由0以上的次数构成),同样地, $A_{X2,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $A_{X3,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $A_{X4,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $\dots$, $A_{Xu,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $\dots$, $A_{Xn-1,i}(D)$ 中存在的 D 的次数只存在0以上的整数, $B_i(D)$ 中存在的 D 的次数也只存在0以上的次数(例如,如 $B_i(D)=D^{18}+D^4+D^0$ 那样,对于 D 而言存在的次数为18、4、0,全部由0以上的次数构成)($u=1,2,3,\dots,n-2,n-1$)。

[0973] 此时,在时刻 i 中,下式的奇偶校验多项式成立。

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

[0975] 另外,在 $X_1(D)$ 中,将 $A_{X1,1}(D)$ 中的 D 的最高次数为 $\alpha_{1,1}$ (例如,若设为 $A_{X1,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{1,1}=15$)、将 $A_{X1,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X1,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X1,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{1,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{1,i}(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 α_1 。

[0976] 在 $X_2(D)$ 中,将 $A_{X2,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,1}$ (例如,若设为 $A_{X2,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{2,1}=15$)、将 $A_{X2,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X2,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{X2,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{2,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{2,i}(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 α_2 。

[0977] 在 $X_u(D)$ 中,将 $A_{Xu,1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{u,1}$ (例如,若设为 $A_{Xu,1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{u,1}=15$)、将 $A_{Xu,2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{u,2}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{Xu,i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{u,i}$ 、 $\dots$ 、将 $A_{Xu,m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{u,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{u,i}(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 α_u ($u=1,2,3,\dots,n-2,n-1$)。

[0978] 在 $X_{n-1}(D)$ 中,将 $A_{X_{n-1},1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{n-1,1}$ (例如,若设为 $A_{X_{n-1},1}(D)=D^{15}+D^3+D^0$,则对于 D 而言存在次数15、次数3、次数0, D 的最高次数为 $\alpha_{n-1,1}=15$ 。)、将 $A_{X_{n-1},2}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{n-1,2}$ 、……、将 $A_{X_{n-1},i}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{n-1,i}$ 、……、将 $A_{X_{n-1},m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 $\alpha_{n-1,m-1}$ 。另外,在 $\alpha_{n-1,i}(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 α_{n-1} 。

[0979] 在 $P(D)$ 中,将 $B_1(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_1 、 $B_2(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_2 、……、将 $B_i(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_i 、……、将 $B_{m-1}(D)$ 中的 D 的最高次数设为 β_{m-1} 。另外,在 $\beta_i(i=0,1,2,\dots,m-1)$ 中将最大值设为 β 。

[0980] 于是,为了确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的数尽量少,

[0981] “使 β 为 α_1 的1/2以下、使 β 为 α_2 的1/2以下、……、而且使 β 为 α_u 的1/2以下、……、而且使 β 为 α_{n-1} 的1/2以下($u=1,2,3,\dots,n-2,n-1$)”

[0982] 即可,特别是,能够确保良好的数据的接收质量的可能性高。

[0983] 而且,即使

[0984] “ β 为 α_1 的1/2以下、 β 为 α_2 的1/2以下、……、或者 β 为 α_u 的1/2以下、……、或者 β 为 α_{n-1} 的1/2以下($u=1,2,3,\dots,n-2,n-1$)”,

[0985] 也能够确保数据的接收质量而且使由虚拟的信息比特生成的奇偶校验比特的数尽量少,但稍稍存在导致数据的接收质量的下降的可能性(但是,不一定导致数据的接收质量下降)。

[0986] 表6表示一例能够确保数据的接收质量而且使冗余比特少的时变周期3、编码率为1/2、2/3、3/4、4/5的LDPC-CC的奇偶校验多项式。如果在表6的时变周期3的LDPC-CC中,选择了编码率1/2、2/3、3/4、4/5中的、两个不同的编码率的时变周期3的LDPC-CC时,验证是否满足已说明了的共用编码器和解码器的条件,则能够确认下述事实,即,无论在某一选择图案中,都与表5的时变周期3的LDPC-CC同样,满足能够共用编码器和解码器的条件。

[0987] 另外,能够确认下述事实,即,在表5的编码率5/6时,冗余比特需要1000比特以上,但在表6的编码率4/5时,冗余比特为500比特以下。

[0988] 另外,在表6的代码中,对每个编码率为不同的数的冗余比特(用于“信息零终止(Information-zero-termination)”而附加的冗余比特)。此时,存在随着编码率变大而冗余比特的数变多的倾向。也就是说,在如表5、表6那样生成了代码时,在有编码率 $(n-1)/n$ 的代码和编码率 $(m-1)/m$ 的代码时($n>m$),编码率 $(n-1)/n$ 的代码所需的冗余比特(用于“信息零终止”而附加的冗余比特)的数多于编码率 $(m-1)/m$ 的代码所需的冗余比特(用于“信息零终止”而附加的冗余比特)的数。

[0989] (表6)

代码	奇偶校验多项式
[0990] 时变周期3且编码率1/2的LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$
	“校验多项式#2”: $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$
	“校验多项式#3”: $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$

[0991]

时变周期 3 且编码 率 2/3 的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$
时变周期 3 且编码 率 3/4 的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$
时变周期 3 且编码 率 4/5 的 LDPC-CC	“校验多项式#1”: $(D^{268} + D^{164} + 1)X_1(D) + (D^{385} + D^{242} + 1)X_2(D) + (D^{343} + D^{284} + 1)X_3(D) + (D^{310} + D^{113} + 1)X_4(D) + (D^{92} + D^7 + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#2”: $(D^{370} + D^{317} + 1)X_1(D) + (D^{125} + D^{103} + 1)X_2(D) + (D^{259} + D^{14} + 1)X_3(D) + (D^{394} + D^{188} + 1)X_4(D) + (D^{95} + D^{22} + 1)P(D) = 0$ “校验多项式#3”: $(D^{346} + D^{86} + 1)X_1(D) + (D^{319} + D^{290} + 1)X_2(D) + (D^{145} + D^{11} + 1)X_3(D) + (D^{239} + D^{67} + 1)X_4(D) + (D^{88} + D^{26} + 1)P(D) = 0$

[0992] 以上,说明了在实现编码器的电路的共用和解码器的电路的共用的编码率中最大的编码率设为 $(q-1)/q$ 而且编码率 $(r-1)/r$ ($r=2,3,\dots,q$ (q 为3以上的自然数))的时变周期 g 的LDPC-CC的奇偶校验多项式(g 为2以上的整数)。

[0993] 这里,说明了能够降低至少具备编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC-CC及编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码器的发送装置($y \neq z$)和至少具备编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC和编码率及编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的解码器的接收装置的运算规模(电路规模)的时变周期 g 的LDPC-CC的奇偶校验多项式的生成方法、以及奇偶校验多项式的特征。

[0994] 这里,发送装置是至少能够生成用于传输编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码序列的调制信号,或者生成用于传输编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码序列的调制信号的任一调制信号的发送装置。

[0995] 另外,接收装置是至少将包含编码率 $(y-1)/y$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码序列的接收信号,或者将包含编码率 $(z-1)/z$ 的时变周期 g 的LDPC-CC的编码序列的接收信号的任一接收信号进行解调并解码的接收装置。

[0996] 通过使用本发明提出的时变周期 g 的LDPC-CC,具有下述效果,即,能够降低具备编码器的发送装置和具备解码器的接收装置的运算规模(电路规模)(能够进行电路的共用)。

[0997] 进而,通过使用本发明提出的时变周期 g 的LDPC-CC,具有下述效果,即,对于任何编码率,接收装置都能够获得高的数据接收质量。另外,以下详细地说明编码器的结构、解码器的结构以及其动作。

[0998] 另外,在式(30-1)~式(30-(q-1))中,说明了编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、……、 $(q-1)/q$ 的情况下的时变周期 g 的LDPC-CC,具备编码器的发送装置及具备解码器的接收装置无需支持所有的编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、……、 $(q-1)/q$,只要支持至少两个以上的不同的编码率,就能够获得下述效果,即,降低发送装置及接收装置的运算规模(编码器、解码器的电路的共用),及接收装置能够获得高的数据接收质量。

[0999] 另外,发送接收装置(编码器/解码器)支持的编码率全部是基于本实施方式中叙述了的方法的代码的情况下,通过具有支持的编码率中最高的编码率的编码器/解码器,能够容易地对应所有的编码率的编码、解码,此时,运算规模削减的效果非常大。

[1000] 另外,在本实施方式中,以上述的(具有良好的特性的LDPC-CC)的代码为基础进行了说明,但不一定必须满足上述(具有良好的特性的LDPC-CC)中说明了的条件,只要是基于在上述(具有良好的特性的LDPC-CC)中叙述了的形式奇偶校验多项式的时变周期 g 的LDPC-CC,就能够同样地实施本实施方式(g 为2以上的整数)。对此,根据式(31-1)~式(31- g)和式(32-1)~式(32- g)之间的关系,该情况一目了然。

[1001] 当然,例如,发送接收装置(编码器/解码器)对应编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$,编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 使用基于上述的正则LDPC-CC,编码率 $5/6$ 使用了不基于上述正则代码的情况下,编码器/解码器对于编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 能够电路共用,而对于编码率 $5/6$,难以电路共用。

[1002] (实施方式2)

[1003] 本实施方式中,详细地说明使用实施方式1中说明了搜索方法而形成的LDPC-CC的编码器的电路的共用方法和解码器的电路的共用方法。

[1004] 首先,说明将本发明的实现编码器的电路的共用和解码器的电路的共用的编码率中最高的编码率设为 $(q-1)/q$ (例如,在将发送接收装置对应的编码率设为 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ 时,假设编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 的代码在编码器/解码器中共用电路,编码率 $5/6$ 在编码器/解码器中不将电路作为共用对象。此时,上述的最高编码率 $(q-1)/q$ 为 $3/4$),并且生成可对应多种编码率 $(r-1)/r$ (r 为2以上 q 以下的整数)的时变周期 g (g 为自然数)的LDPC-CC的编码器。

[1005] 图11是表示一例本实施方式的编码器的主要结构的方框图。另外,图11所示的编码器200是能够对应编码率 $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 的编码器。图11的编码器200主要包括:信息生成单元210、第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2、第3信息运算单元220-3、奇偶运算单元230、加法单元240、编码率设定单元250以及权重控制单元260。

[1006] 信息生成单元210根据编码率设定单元250指定的编码率,设定时刻 i 的信息 $X_{1,i}$ 、信息 $X_{2,i}$ 以及信息 $X_{3,i}$ 。例如,在编码率设定单元250将编码率设定为 $1/2$ 时,信息生成单元210对时刻 i 的信息 $X_{1,i}$ 设定输入信息数据 S_j ,对时刻 i 的信息 $X_{2,i}$ 及时刻 i 的信息 $X_{3,i}$ 设定0。

[1007] 另外,在编码率 $2/3$ 时,信息生成单元210对时刻 i 的信息 $X_{1,i}$ 设定输入信息数据 S_j ,对时刻 i 的信息 $X_{2,i}$ 设定输入信息数据 S_{j+1} ,对时刻 i 的信息 $X_{3,i}$ 设定0。

[1008] 另外,在编码率 $3/4$ 时,信息生成单元210对时刻 i 的信息 $X_{1,i}$ 设定输入信息数据 S_j ,对时刻 i 的信息 $X_{2,i}$ 设定输入信息数据 S_{j+1} ,对时刻 i 的信息 $X_{3,i}$ 设定输入信息数据 S_{j+2} 。

[1009] 这样,信息生成单元210根据由编码率设定单元250设定的编码率,将输入信息数据设定为时刻 i 的信息 $X_{1,i}$ 、信息 $X_{2,i}$ 、信息 $X_{3,i}$,并将设定后的信息 $X_{1,i}$ 输出到第1信息运算单

元220-1,将设定后的信息 $X_{2,i}$ 输出到第2信息运算单元220-2,并将设定后的信息 $X_{3,i}$ 输出到第3信息运算单元220-3。

[1010] 第1信息运算单元220-1根据式(30-1)的 $A_{X1,k}(D)$,计算 $X_1(D)$ 。同样,第2信息运算单元220-2根据式(30-2)的 $A_{X2,k}(D)$,计算 $X_2(D)$ 。同样,第3信息运算单元220-3根据式(30-3)的 $A_{X3,k}(D)$,计算 $X_3(D)$ 。

[1011] 此时,如实施方式1说明地那样,从在式(31-1)~式(31-g)和式(32-1)~式(32-g)中满足的条件,即使切换编码率,也无需变更第1信息运算单元220-1的结构,同样也无需变更第2信息运算单元220-2的结构,而且也无需变更第3信息运算单元220-3的结构。

[1012] 因此,在对应多种编码率时,以编码器的电路可共用的编码率中最高的编码率的编码器的结构为基础,进行上述那样的操作,能够对应其他的编码率。也就是说,在实施方式1中说明了LDPC-CC具有下述优点,即,作为编码器的主要部分的第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2以及第3信息运算单元220-3无论编码率如何都能够实现共用。另外,例如,表5所示的LDPC-CC具有无论编码率如何,都提供良好的数据接收质量的优点。

[1013] 图12表示第1信息运算单元220-1的内部结构。图12的第1信息运算单元220-1包括:移位寄存器221-1~221-M、权重乘法器222-0~222-M以及加法单元223。

[1014] 移位寄存器221-1~221-M是分别保持 $X_{1,i-t}(t=0,\dots,M-1)$ 的寄存器,在下一输入进来的定时,将保持的值输出到右邻的移位寄存器,保持从左邻的移位寄存器输出来的值。

[1015] 权重乘法器222-0~222-M根据从权重控制单元260输出的控制信号,将 $h_1^{(m)}$ 的值切换为“0”或“1”。

[1016] 加法单元223对权重乘法器222-0~222-M的输出,进行“异或”运算,计算运算结果 $Y_{1,i}$,并将计算出的 $Y_{1,i}$ 输出到图11的加法单元240。

[1017] 另外,第2信息运算单元220-2和第3信息运算单元220-3的内部结构与第1信息运算单元220-1同样,所以省略其说明。第2信息运算单元220-2与第1信息运算单元220-1同样,计算运算结果 $Y_{2,i}$,并将计算出的 $Y_{2,i}$ 输出到加法单元240。第3信息运算单元220-3与第1信息运算单元220-1同样,计算运算结果 $Y_{3,i}$,并将计算出的 $Y_{3,i}$ 输出到图11的加法单元240。

[1018] 图11的奇偶运算单元230根据式(30-1)~式(30-3)的 $B_k(D)$,计算 $P(D)$ 。

[1019] 图13表示图11的奇偶运算单元230的内部结构。图13的奇偶运算单元230包括:移位寄存器231-1~231-M、权重乘法器232-0~232-M以及加法单元233。

[1020] 移位寄存器231-1~231-M是分别保持 $P_{i-t}(t=0,\dots,M-1)$ 的寄存器,在下一输入进来的定时,将保持的值输出到右邻的移位寄存器,保持从左邻的移位寄存器输出来的值。

[1021] 权重乘法器232-0~232-M根据从权重控制单元260输出的控制信号,将 $h_2^{(m)}$ 的值切换为“0”或“1”。

[1022] 加法单元233对权重乘法器232-0~232-M的输出,进行“异或”运算,计算运算结果 Z_i ,并将计算出的 Z_i 输出到图11的加法单元240。

[1023] 再次,返回到图11,加法单元240进行从第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2、第3信息运算单元220-3和奇偶运算单元230输出的运算结果 $Y_{1,i}$ 、 $Y_{2,i}$ 、 $Y_{3,i}$ 、 Z_i 的“异或”运算,获得时刻i的奇偶校验 P_i ,将其输出。加法单元240也将时刻i的奇偶校验 P_i 输出到奇偶运算单元230。

[1024] 编码率设定单元250设定编码器200的编码率,将编码率的信息输出到信息生成单元210。

[1025] 权重控制单元260基于权重控制单元260内保持的与式(30-1)~式(30-3)对应的校验矩阵,将基于式(30-1)~式(30-3)的奇偶校验多项式的时刻 i 中的 $h_1^{(m)}$ 的值输出到第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2、第3信息运算单元220-3以及奇偶运算单元230。另外,权重控制单元260基于权重控制单元260内保持的与式(30-1)~式(30-3)对应的校验矩阵,将该定时的 $h_2^{(m)}$ 的值输出到232-0~232-M。

[1026] 另外,图14表示本实施方式的编码器的另外的结构例。在图14的编码器中,对于与图11的编码器共同的结构部分,附加与图11相同的标号。图14的编码器200与图11的编码器200的不同之处在于,编码率设定单元250将编码率的信息输出给第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2、第3信息运算单元220-3以及奇偶运算单元230。

[1027] 第2信息运算单元220-2在编码率为1/2时不进行运算处理,将“0”作为运算结果 $Y_{2,i}$ 输出到加法单元240。另外,第3信息运算单元220-3在编码率为1/2或2/3时不进行运算处理,将“0”作为运算结果 $Y_{3,i}$ 输出到加法单元240。

[1028] 另外,在图11的编码器200中,信息生成单元210根据编码率,将时刻 i 的信息 $X_{2,i}$ 、信息 $X_{3,i}$ 设为“0”,与此相对,在图14的编码器200中,第2信息运算单元220-2和第3信息运算单元220-3根据编码率,停止运算处理,输出“0”作为运算结果 $Y_{2,i}$ 、 $Y_{3,i}$,所以获得的运算结果与图11的编码器200相同。

[1029] 这样,在图14的编码器200中,第2信息运算单元220-2和第3信息运算单元220-3根据编码率,停止运算处理,所以与图11的编码器200相比能够降低运算处理。

[1030] 接着,详细说明在实施方式1中叙述了的LDPC-CC的解码器的电路的共用方法。

[1031] 图15是表示本实施方式的解码器的主要结构的方框图。另外,图15所示的解码器300是能够对应编码率1/2、2/3、3/4的解码器。图14的解码器300主要包括对数似然比设定单元310和行列处理运算单元320。

[1032] 对数似然比设定单元310输入由未图示的对数似然比运算单元计算的接收对数似然比和编码率,根据编码率,将已知的对数似然比插入接收对数似然比。

[1033] 例如,在编码率为1/2时,在编码器200中,相当于发送“0”作为 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$,所以对数似然比设定单元310插入与已知比特“0”对应的固定的对数似然比作为 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ 的对数似然比,并将插入后的对数似然比输出到行列处理运算单元320。以下,使用图16进行说明。

[1034] 如图16所示,在编码率1/2时,对数似然比设定单元310将与 $X_{1,i}$ 及 P_i 对应的接收对数似然比 $LLR_{X1,i}$ 、 LLR_{P_i} 作为输入。因此,对数似然比设定单元310插入与 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ 对应的接收对数似然比 $LLR_{X2,i}$ 、 $LLR_{3,i}$ 。在图16中,用虚线的圆包围的接收对数似然比表示由对数似然比设定单元310插入的接收对数似然比 $LLR_{X2,i}$ 、 $LLR_{3,i}$ 。对数似然比设定单元310插入固定值的对数似然比作为接收对数似然比 $LLR_{X2,i}$ 、 $LLR_{3,i}$ 。

[1035] 另外,在编码率为2/3时,编码器200相当于发送“0”作为 $X_{3,i}$,所以对数似然比设定单元310插入与已知比特“0”对应的固定的对数似然比作为 $X_{3,i}$ 的对数似然比,并将插入后的对数似然比输出到行列处理运算单元320。以下,使用图17进行说明。

[1036] 如图17所示,在编码率2/3时,对数似然比设定单元310将与 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 及 P_i 对应的接收对数似然比 $LLR_{X1,i}$ 、 $LLR_{X2,i}$ 、 LLR_{P_i} 作为输入。因此,对数似然比设定单元310插入与 $X_{3,i}$ 对

应的接收对数似然比 $LLR_{3,i}$ 。在图17中,用虚线的圆包围的接收对数似然比表示由对数似然比设定单元310插入的接收对数似然比 $LLR_{3,i}$ 。对数似然比设定单元310插入固定值的对数似然比作为接收对数似然比 $LLR_{3,i}$ 。

[1037] 图15的行处理运算单元320包括:存储单元321、行处理运算单元322以及列处理运算单元323。

[1038] 存储单元321保持接收对数似然比、通过行处理获得的外部值 α_{mn} 以及通过列处理获得的预先值 β_{mn} 。

[1039] 行处理运算单元322保持编码器200支持的编码率中最大的编码率3/4的LDPC-CC的校验矩阵H的行方向的权重图案。行处理运算单元322根据该行方向的权重图案,从存储单元321读入需要的预先值 β_{mn} (priori value),进行行处理运算。

[1040] 在行处理运算单元中,行处理运算单元322使用预先值 β_{mn} ,进行单一奇偶校验码的解码,求外部值 α_{mn} (external value)。

[1041] 说明第m行的行处理。其中,设为将2维 $M \times N$ 矩阵 $H = \{H_{mn}\}$ 作为解码对象的LDPC码的校验矩阵。对于满足 $H_{mn} = 1$ 的所有的组(m,n),利用以下的更新式更新外部值 α_{mn} 。

$$[1042] \quad \alpha_{mn} = \left(\prod_{n' \in A(m) \setminus n} \text{sign}(\beta_{mn'}) \right) \Phi \left(\sum_{n' \in A(m) \setminus n} \Phi(|\beta_{mn'}|) \right) \quad \dots (39)$$

[1043] 这里,将 $\Phi(x)$ 称为Gallager的f函数,用下式来定义。

$$[1044] \quad \Phi(x) = \ln \frac{\exp(x) + 1}{\exp(x) - 1} \quad \dots (40)$$

[1045] 列处理运算单元323保持编码器200支持的编码率中最大的编码率3/4的LDPC-CC的校验矩阵H的列方向的权重图案。列处理运算单元323根据该列方向的权重图案,从存储单元321读入需要的外部值 α_{mn} ,求预先值 β_{mn} 。

[1046] 在列处理运算中,列处理运算单元323通过使用输入对数似然比 λ_n 和外部值 α_{mn} 进行重复解码,求预先值 β_{mn} 。

[1047] 说明第m列的列处理。

[1048] 对于满足 $H_{mn} = 1$ 的所有的组(m,n),利用以下的更新式将 α_{mn} 更新。但是,仅在 $q = 1$ 时,计算为 $\alpha_{mn} = 0$ 。

$$[1049] \quad \beta_{mn} = \lambda_n + \sum_{m' \in B(n) \setminus m} \alpha_{m'n} \quad \dots (41)$$

[1050] 解码器300通过重复进行规定次数的上述的行处理和列处理,获得事后对数似然比(posteriori log likelihood ratio)。

[1051] 如上所述,在本实施方式中,将可对应的编码率中的最高编码率设为 $(q-1)/q$,编码率设定单元250在将编码率设定为 $(s-1)/s$ 时,信息生成单元210将从所述信息 $X_{s,i}$ 至所述信息 $X_{q-1,i}$ 为止的信息设定为零。例如,对应的编码率为 $1/2, 2/3, 3/4$ ($q=4$)时,第1信息运算单元220-1输入时刻i的信息 $X_{1,i}$,计算式(30-1)的 $X_1(D)$ 项。另外,第2信息运算单元220-2输入时刻i的信息 $X_{2,i}$,计算式(30-2)的 $X_2(D)$ 项。另外,第3信息运算单元220-3输入时刻i的信息 $X_{3,i}$,计算式(30-3)的 $X_3(D)$ 项。另外,奇偶运算单元230输入时刻i-1的奇偶校验 P_{i-1} ,计算式(30-1)~式(30-3)的 $P(D)$ 项。另外,加法单元240获得第1信息运算单元220-1、第2信息运算单元220-2、第3信息运算单元220-3的运算结果和奇偶运算单元230的运算结果的“异或”

作为时刻 i 的奇偶校验 P_i 。

[1052] 根据该结构,在生成对应了不同的编码率的LDPC-CC时,也能够实现本发明中的信息运算单元的结构共用,所以能够提供以小运算规模可对应多种编码率的LDPC-CC的编码器和解码器。

[1053] 另外,在 $A_{X1,k}(D) \sim A_{X_{q-1},k}(D)$ 设定为满足上述的“具有良好的特性的LDPC-CC”中叙述了的<条件#1>~<条件#6>等时,能够提供以小运算规模可对应不同的编码率的编码器和解码器,而且接收机能够获得良好的数据接收质量。但是,如实施方式1说明地那样,LDPC-CC的生成方法并不限于上述的“具有良好特性的LDPC-CC”。

[1054] 另外,图15的解码器300,通过在与能够共用解码器的电路的编码率中最大的编码率对应的解码器的结构中,追加对数似然比设定单元310,从而能够对应多种编码率进行解码。另外,对数似然比设定单元310根据编码率,将对应于从时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ 至信息 $X_{q-1,i}$ 为止的 $(q-2)$ 个的信息的对数似然比设定为既定值。

[1055] 另外,在以上的说明中,说明了编码器200支持的最大的编码率为 $3/4$ 的情况,但所支持的最大编码率并不限于此,在支持编码率 $(q-1)/q$ (q 为5以上的整数)时,也能够适用(当然最大编码率也可以是 $2/3$)。这种情况下,编码器200采用的结构包括第1~第 $(q-1)$ 信息运算单元,加法单元240获得第1~第 $(q-1)$ 信息运算单元的运算结果和奇偶运算单元230的运算结果的“异或”作为时刻 i 的奇偶校验 P_i 即可。

[1056] 另外,在发送接收装置(编码器/解码器)支持的编码率全部是基于上述的实施方式1中叙述了的方法的代码的情况下,通过具有所支持的编码率中最高的编码率的编码器/解码器,能够对应多种编码率的编码和解码,此时,运算规模削减的效果非常大。

[1057] 另外,在上述中,作为解码方式的例子以sum-product解码为例进行了说明,但解码方法并不限于此,如果利用非专利文献5、非专利文献6以及非专利文献9所示的、例如min-sum解码、Normalized BP(Belief Propagation)解码、Shuffled BP解码、Offset BP解码等的、使用了message-passing算法的解码方法(BP解码),也能够同样地实施。

[1058] 接着,说明将本发明适用于根据通信状况而自适应地切换编码率的通信装置时的方式。另外,以下,以将本发明适用于无线通信装置的情况为例进行说明,但并不限于此,也可以适用于电力线通信(PLC:Power Line Communication)装置、可视光通信装置或者光通信装置。

[1059] 图18表示自适应地切换编码率的通信装置400的结构。图18的通信装置400的编码率决定单元410将从通信对方的通信装置发送的接收信号(例如,通信对方发送的反馈信息)作为输入,对接收信号进行接收处理等。另外,编码率决定单元410获得与通信对方的通信装置之间的通信状况的信息、例如、比特差错率、分组差错率、帧差错率、接收电场强度的信息(例如,从反馈信息),根据与通信对方的通信装置之间的通信状况的信息决定编码率和调制方式。另外,编码率决定单元410将决定了的编码率和调制方式输出到编码器200和调制单元420作为控制信号。

[1060] 编码率决定单元410例如使用图19所示的发送格式,使控制信息码元包含编码率的信息,从而将编码器200使用的编码率通知给通信对方的通信装置。但是,虽然图19中没有图示,但假设包含通信对方为了进行解调或信道估计所需的、例如已知的信号(前置码、导频码元、参考码元等)。

[1061] 这样,编码率决定单元410接收通信对方的通信装置500发送了的调制信号,并基于该通信状况,决定要发送的调制信号的编码率,从而自适应地切换编码率。编码器200基于由控制信号指定的编码率,按照上述的顺序进行LDPC-CC编码。调制单元420使用由控制信号指定了的调制方式,对编码后的序列进行调制。

[1062] 图20表示与通信装置400进行通信的通信对方的通信装置的结构例。图20的通信装置500的控制信息生成单元530从基带信号所包含的控制信息码元中提取控制信息。控制信息码元中包含编码率的信息。控制信息生成单元530将提取出的编码率的信息输出到对数似然比生成单元520和解码器300作为控制信号。

[1063] 接收单元510对于与从通信装置400发送的调制信号对应的接收信号进行变频、正交解调等处理而获得基带信号,将基带信号输出到对数似然比生成单元520。另外,接收单元510使用基带信号所包含的已知信号,估计通信装置400和通信装置500之间的(例如,无线)传输路径中的信道变动,并将估计出的信道估计信号输出到对数似然比生成单元520。

[1064] 另外,接收单元510使用基带信号所包含的已知信号,估计通信装置400和通信装置500之间的(例如,无线)传输路径中的信道变动,生成可进行传播路径的状况的判断的反馈信息(信道变动本身例如信道状态信息(Channel State Information)为其一例)并将其输出。该反馈信息通过未图示的发送装置发送给通信对方(通信装置400)作为控制信息的一部分。对数似然比生成单元520使用基带信号,求各个发送序列的对数似然比,并将获得的对数似然比输出到解码器300。

[1065] 如上所述,解码器300根据控制信号所示的编码率 $(s-1)/s$,将对应于从时刻 i 的信息 $X_{s,i}$ 至信息 $X_{s-1,i}$ 为止的信息的对数似然比设定为既定值,使用与解码器中进行了电路的共用的编码率中的、最大编码率对应的LDPC-CC的校验矩阵,进行BP解码。

[1066] 这样,适用了本发明的通信装置400和通信对方的通信装置500的编码率能够根据通信状况而自适应地变更。

[1067] 另外,编码率的变更方法并不限于此,作为通信对方的通信装置500包括编码率决定单元410,也可以指定所希望的编码率。另外,根据通信装置500发送了的调制信号,通信装置400估计传输路径的变动,也可以决定编码率。此时,不需要上述的反馈信息。

[1068] (实施方式3)

[1069] 在本实施方式中,说明使用实施方式1中说明了的搜索方法而形成了LDPC-CC码中的混合ARQ(Automatic Repeat reQuest:自动重发请求)。

[1070] 图21表示进行混合ARQ的通信装置#1(例如,基站装置)发送的调制信号的帧结构例。在图21的帧结构中,重发信息码元是用于对通信对方(例如,终端装置)通知是重发数据还是新数据的信息的码元。编码率信息码元是用于将编码率通知给通信对方的码元。调制方式信息码元是用于将调制方式传输给通信对方的码元。

[1071] 其他的控制信息码元,例如是用于通知数据长度等的控制信息的码元。另外,用于传输信息的码元(以下称为“数据码元”)例如是用于传输通过对数据(信息)进行LDPC-CC编码而获得的编码数据(代码字)(作为一例,信息和奇偶校验)的码元。假设在数据码元中包含用于检测帧差错的数据,例如,CRC(Cyclic Redundancy Check)。

[1072] 图22表示作为通信装置#1的通信对方的通信装置#2(例如,终端装置)发送的调制信号的帧结构例。在图22的帧结构中,重发请求码元是表示重发请求的有无的码元。通信装

置#2检查在解码数据中是否发生了差错,在有差错时,请求重发,在无差错时,不请求重发。重发请求码元是用于通知有无该重发请求的码元。

[1073] 其他的控制信息码元例如是用于向通信对方的通信装置#1传输调制方式、使用的代码、编码率、数据长度等的控制信息的码元。用于传输信息的码元是用于传输向通信对方的通信装置#1发送的数据(信息)的码元。

[1074] 图23表示一例着眼于混合ARQ时的、本实施方式的通信装置#1和通信装置#2发送的帧的流的图。另外,下面以通信装置#1和通信装置#2支持编码率 $1/2, 2/3, 3/4$ 的情况为例进行说明。

[1075] 图23[1]:最初,通信装置#1发送帧#1的调制信号。此时,在帧#1的数据码元区域发送的数据是对新数据进行编码率 $3/4$ 的编码所得的代码字。

[1076] 图23[2]:通信装置#2接收帧#1的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于没有发生差错,所以不对通信装置#1请求重发。

[1077] 图23[3]:通信装置#1发送帧#2的调制信号。另外,在帧#2的数据码元区域发送的数据是对新数据进行编码率 $3/4$ 的编码所得的代码字。

[1078] 图23[4]:通信装置#2接收帧#2的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于发生了差错,所以对通信装置#1请求重发。

[1079] 图23[5]:通信装置#2请求了通信装置#1进行重发,所以通信装置#1发送对应于帧#2的帧#2'。具体而言,通信装置#1使用比获得以帧#2发送的代码字时使用的编码率 $3/4$ 小的编码率 $2/3$,对数据(信息)的一部分进行编码,并以帧#2'仅发送获得了的代码字中的奇偶校验。

[1080] 这里,使用图24,说明帧#2和帧#2'中发送的数据。

[1081] 初次发送时,在帧#2中,将信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 和对信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i}$ 进行编码率 $3/4$ 的LDPC-CC编码所得的奇偶校验 $P_{3/4,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 发送。

[1082] 从通信装置#2向通信装置#1请求帧#2的重发时,在通信装置#1中使用比初次发送时利用的编码率 $3/4$ 小的编码率 $2/3$,对以帧#2发送了的信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 中的 $X_{1,i}, X_{2,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行编码,生成奇偶校验 $P_{2/3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。

[1083] 另外,在帧#2'中,仅发送该奇偶校验 $P_{2/3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。

[1084] 此时,特别是在将通信装置#1所具备的编码器如实施方式2那样构成时,能够使用同一编码器进行初次发送时的编码率 $3/4$ 的编码和重发时的编码率 $2/3$ 的编码双方。也就是说,即使在通过混合ARQ进行重发时,也能够使用在进行初次发送时的编码时利用的编码器,进行重发时的编码,而不用追加用于混合ARQ的新编码器。

[1085] 这样,在进行混合ARQ时,能够使用与在进行初次发送时的编码时利用的编码器相同的编码器,编码器支持多种编码率,并且与该多种编码率对应的奇偶校验多项式是实施方式1中叙述了的LDPC-CC。

[1086] 图23[6]:通信装置#2接收在重发时发送的帧#2'的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查(check)。

[1087] 使用图25说明图23[6]的动作(重发时的数据的解码方法)。重发时,使用先前接收到的帧#2的解码结果,对帧#2'进行解码。

[1088] 具体而言,首先,作为重发时的最初的解码(第1步骤),使用先前在帧#2接收到的

信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR(Log Likelihood Ratio:对数似然比)和在帧#2'接收到的编码率 $2/3$ 的奇偶校验 $P_{2/3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR,对信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)进行解码(即,进行编码率 $2/3$ 的LDPC-CC的解码处理)。

[1089] 在帧#2'中,使其编码率比帧#2小,所以编码增益提高,能够对信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)进行解码的可能性高,可以确保重发时的接收质量。另外,重发的数据仅是奇偶校验,所以数据的传输效率良好。

[1090] 接着,作为重发时的第二次解码(第二步骤),在第1步骤中获得信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的估计值,所以使用该估计值生成信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 的LLR(例如,在估计为“0”时,给予相当于充分高的置信度的“0”的LLR,在估计为“1”时,给予相当于充分高的置信度的“1”的LLR),使用这些LLR、先前在帧#2接收到的信息 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR以及先前在帧#2接收到的奇偶校验 $P_{3/4,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR,进行编码率 $3/4$ 的LDPC-CC的解码,获得信息 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)。

[1091] 这样,通信装置#2使用通过混合ARQ重发了的帧#2',对在初次发送时被发送了的帧#2进行解码。此时,特别是在将通信装置#2所具备的解码器如实施方式2那样构成了时,能够使用同一解码器进行初次发送时的解码和重发时的解码(第1和第2步骤的解码)双方。

[1092] 也就是说,即使在通过混合ARQ进行重发时,也能够使用在进行初次发送时的解码时利用的解码器,进行重发时的解码(第1和第2步骤的解码),而不用追加用于混合ARQ的新解码器。

[1093] 这样,在进行混合ARQ时,能够使用与在进行初次发送时的解码时利用的解码器相同的解码器,通信对方的通信装置#1所具备的编码器支持多种编码率,并且与该多种编码率对应的奇偶校验多项式是实施方式1中叙述了的LDPC-CC。

[1094] 这样,通信装置#2接收帧#2'的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于没有发生差错,所以不对通信装置#1请求重发。

[1095] 图23[7]:通信装置#1发送帧#3的调制信号。此时,在帧#3的数据码元区域发送的数据是对新数据进行编码率 $3/4$ 的编码所得的代码字。

[1096] 图23[8]:通信装置#2接收帧#3的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于没有发生差错,所以不对通信装置#1请求重发。

[1097] 图26表示着眼于混合ARQ时的、本实施方式的通信装置#1和通信装置#2发送的帧的流的另外一例。与图23所示的帧的流的不同点在于,在图26中将重发时的编码率设为 $1/2$ 以及对应于帧#2,除了重发帧#2'以外,还重发帧#2"作为第二次重发。另外,下面以通信装置#1和通信装置#2支持编码率 $1/2, 2/3, 3/4$ 的情况为例进行说明。

[1098] 图26[1]:最初,通信装置#1发送帧#1的调制信号。此时,在帧#1的数据码元区域发送的数据是对新数据进行编码率 $3/4$ 的编码所得的代码字。

[1099] 图26[2]:通信装置#2接收帧#1的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于没有发生差错,所以不对通信装置#1请求重发。

[1100] 图26[3]:通信装置#1发送帧#2的调制信号。另外,在帧#2的数据码元区域发送的数据是对新数据进行编码率 $3/4$ 的编码所得的代码字。

[1101] 图26[4]:通信装置#2接收帧#2的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。其结果,由于发生了差错,所以对通信装置#1请求重发。

[1102] 图26[5]:通信装置#2请求了通信装置#1进行重发,所以通信装置#1发送对应于帧#2的帧#2'。具体而言,通信装置#1使用比获得以帧#2发送了的代码字时利用的编码率 $3/4$ 小的编码率 $1/2$,对数据(信息)的一部分(或全部)进行编码,并以帧#2'仅发送获得了的代码字中的奇偶校验。

[1103] 另外,使重发时使用的编码率小于初次发送时使用的编码率 $3/4$ 即可,在小于初次发送时使用的编码率的编码率有多个时,例如,也可以根据通信装置#1和通信装置#2之间的传播路径的状况,从多种编码率中设定最合适的编码率。

[1104] 这里,使用图27,说明帧#2和帧#2'中发送的数据。

[1105] 初次发送时,在帧#2中,将信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 和对信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i}$ 进行编码率 $3/4$ 的LDPC-CC编码所得的奇偶校验 $P_{3/4,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 发送。

[1106] 从通信装置#2向通信装置#1请求帧#2的重发时,在通信装置#1中使用比初次发送时利用的编码率 $3/4$ 小的编码率 $1/2$,对以帧#2发送了的信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 中的、 $X_{1,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行编码,生成奇偶校验 $P_{1/2,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。

[1107] 另外,在帧#2'中,仅发送该奇偶校验 $P_{1/2,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。

[1108] 此时,特别是在将通信装置#1具备的编码器如实施方式2那样构成时,能够使用同一编码器进行初次发送时的编码率 $3/4$ 的编码和重发时的编码率 $1/2$ 的编码双方。也就是说,即使在通过混合ARQ进行重发时,也能够使用在进行初次发送时的编码时利用的编码器,进行重发时的编码,而不用追加用于混合ARQ的新编码器。造成其的理由在于,将与编码器支持的多种编码率对应的奇偶校验多项式设为实施方式1中叙述了的LDPC-CC。

[1109] 图26[6]:通信装置#2接收在重发时发送的帧#2'的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。

[1110] 使用图28,说明重发时(第1次重发时)的解码方法。在第1次重发时,通信装置#2使用先前接收到的帧#2的解码结果,对帧#2'进行解码。

[1111] 具体而言,首先,作为第1次重发时的最初的解码(第1步骤),通信装置#2使用先前在帧#2接收到的信息 $X_{1,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的LLR和在帧#2'接收到的编码率 $1/2$ 的奇偶校验 $P_{1/2,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的LLR,对信息 $X_{1,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行解码(即,进行编码率 $1/2$ 的LDPC-CC的解码处理)。

[1112] 在帧#2'中,使其编码率比帧#2小,所以编码增益提高,能够对信息 $X_{1,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行解码的可能性高,可以确保重发时的接收质量。另外,重发的数据仅是奇偶校验,所以数据的传输效率较好。

[1113] 接着,作为第1次重发时的第2次的解码(第2步骤),通信装置#2在第1步骤中获得信息 $X_{1,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的估计值,所以使用该估计值生成信息 $X_{1,i}$ 的LLR(例如,在估计为“0”时,给予相当于充分高的置信度的“0”的LLR,在估计为“1”时,给予相当于充分高的置信度的“1”的LLR)。

[1114] 通信装置#2使用下述LLR,即:利用估计值生成了的信息 $X_{1,i}$ 的LLR、先前在帧#2接收到的信息的 $X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的LLR以及先前在帧#2接收到的奇偶校验 $P_{3/4,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的LLR,进行编码率 $3/4$ 的LDPC-CC的解码而获得信息 $X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 。

[1115] 这样,通信装置#2使用通过混合ARQ在重发时发送了的帧#2',对在初次发送时发送了的帧#2进行解码。

[1116] 通信装置#2对帧#2的解码结果,进行CRC检查。其结果,由于发生了差错,所以对通信装置#1请求再次重发。

[1117] 图26[7]:通信装置#2请求了通信装置#1进行第2次重发,所以通信装置#1发送对应于帧#2的帧#2”。具体而言,通信装置#1再次使用比获得以帧#2发送了的代码字时使用的编码率 $3/4$ 小的编码率 $1/2$,对第1次重发时未被编码的数据(信息)的一部分(或全部)进行编码,并以帧#2”仅发送在获得了的代码字中的奇偶校验。

[1118] 这里,使用图29,说明帧#2”中发送的数据。

[1119] 如上所述,在第1次重发时,使用比初次发送时的编码率 $3/4$ 小的编码率 $1/2$,对以帧#2发送了的信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)中的、 $X_{1,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)进行编码率 $1/2$ 的LDPC-CC的编码,生成奇偶校验 $P_{1/2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$) (参照图27)。另外,在第1次的重发时的帧#2”中,仅发送了该奇偶校验 $P_{1/2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$) (参照图27)。

[1120] 在第2次重发时,使用比初次发送时的编码率 $3/4$ 小的编码率 $1/2$ (这里作为一例为 $1/2$),对以帧#2发送了的信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 、 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)中的、第1次重发时未被编码的 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)例如进行编码率 $1/2$ 的LDPC-CC的编码,生成奇偶校验 $P_{1/2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$) (参照图29)。另外,在第2次的重发时的帧#2”中,仅发送该奇偶校验 $P_{1/2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$) (参照图29)。

[1121] 另外,使在第2次的重发时,以编码率 $1/2$ 进行编码时使用的LDPC-CC的奇偶校验多项式与在第1次重发时以相同编码率 $1/2$ 进行编码时使用的LDPC-CC的奇偶校验多项式相同(即,仅编码时的输入不同,编码时使用的代码相同)。

[1122] 这样,在初次发送时与第1次重发时,除了能够使用同一编码器生成代码字以外,也能够使用同一编码器生成第2次重发时的代码字。由此,无需追加新的编码器,能够实现本实施方式的混合ARQ。

[1123] 在图29所示的例子中,第2次重发时发送了下述代码字,即,对第1次重发时进行了编码的信息 $X_{1,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)以外的信息 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$),利用在第1次重发时的编码中使用的奇偶校验多项式进行编码所得的代码字。

[1124] 这样,在有多个重发请求时,在第 n (n 为2以上的整数)次的重发时,若重发将 $(n-1)$ 次以前的重发时进行了编码的信息以外的信息优先地进行编码所得的代码字,则构成帧#2的各个信息的对数似然比的准确性逐步提高,所以能够在解码端对帧#2更准确地进行解码。

[1125] 另外,在有多个重发请求时,也可以在第 n (n 为2以上的整数)次的重发时,重发与在第 $(n-1)$ 次以前的重发时重发了的数据相同的数据。另外,在有多个重发请求时,也可以与追踪合并等其他的ARQ方式组合。另外,在进行多次重发时,在各次重发时编码率也可以不同。

[1126] 图26[8]:通信装置#2接收再次重发(第2次重发)了的帧#2”的调制信号,进行解调、解码以及CRC检查。

[1127] 使用图30,说明第2次的重发时的解码方法。在第2次的重发时,通信装置#2使用先前接收到的帧#2的解码结果,对帧#2”进行解码。

[1128] 具体而言,首先,作为第2次的重发时的最初的解码(第1步骤),通信装置#2使用先前在帧#2接收到的信息 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR和在帧#2”接收到的编码率 $1/2$ 的奇偶校验

$P_{1/2,i}(i=1,2,\dots,m)$ 的LLR,对信息 $X_{2,i}(i=1,2,\dots,m)$ 进行解码(即,进行编码率1/2的LDPC-CC的解码处理)。

[1129] 在帧#2”中,使其编码率比帧#2小,所以编码增益提高,能够对信息 $X_{2,i}(i=1,2,\dots,m)$ 进行解码的可能性高,可以确保重发时的接收质量。另外,重发的数据仅是奇偶校验,所以数据的传输效率较好。

[1130] 接着,作为第2次的重发时的第2次的解码(第2步骤),通信装置#2在第1步骤中获得信息 $X_{2,i}(i=1,2,\dots,m)$ 的估计值,所以使用该估计值生成信息 $X_{2,i}$ 的LLR(例如,在估计为“0”时,给予相当于充分高的置信度的“0”的LLR,在估计为“1”时,给予相当于充分高的置信度的“1”的LLR)。

[1131] 通信装置#2使用LLR,进行编码率3/4的LDPC-CC的解码,获得信息 $X_{3,i}(i=1,2,\dots,m)$,所述LLR为利用估计值生成的信息 $X_{2,i}$ 的LLR、先前在帧#2接收到的信息 $X_{3,i}(i=1,2,\dots,m)$ 、奇偶校验 $P_{3/4,i}(i=1,2,\dots,m)$ 的LLR以及利用第1次的重发时的解码(第1及第2步骤)中估计出的信息 $X_{1,i}(i=1,2,\dots,m)$ 的估计值生成的信息 $X_{1,i}$ 的LLR。

[1132] 这样,通信装置#2使用通过混合ARQ重发了的帧#2’及帧#2”,对在初次发送时发送了的帧#2进行解码。

[1133] 通信装置#2对帧#2进行了解码后,进行CRC检查。其结果,由于没有发生差错,所以不对通信装置#1请求重发。

[1134] 图31表示本实施方式的进行混合ARQ的通信装置#1的结构。图31的通信装置600例如搭载于基站装置。

[1135] 图31的通信装置600的接收/解调单元610接收从通信对方发送的采用图22的帧结构的调制信号而取得接收信号,对接收信号进行变频、解调、解码等接收处理,从而提取重发请求码元。接收/解调单元610将重发请求码元输出到重发请求判定单元620。

[1136] 重发请求判定单元620从重发请求码元判定有无重发请求,将判定结果输出到切换单元640作为重发请求信息。另外,重发请求判定单元620根据有无重发请求,将指示信号输出到编码单元650及缓冲器630。

[1137] 具体而言,重发请求判定单元620在无重发请求时,对编码单元650输出指示信号,以使编码单元650使用作为初次发送时使用的编码率而设定了的编码率进行编码。另一方面,重发请求判定单元620在有重发请求时,对编码单元650输出指示信号,以使编码单元650在选择了混合ARQ时,在重发时使用比在初次发送时利用的编码率小的编码率进行编码(但是,在未选择混合ARQ时,例如在选择了追踪合并时,并不限于选择比初次发送时使用的编码率小的编码率)。另外,重发请求判定单元620在有重发请求时,对缓冲器630输出指示信号,以使缓冲器630将所存储的数据(信息)S20输出到切换单元640。

[1138] 缓冲器630经由切换单元640存储被输出到编码单元650的数据(信息)S10,根据来自重发请求判定单元620的指示信息,将数据(信息)S20输出到切换单元640。

[1139] 切换单元640根据重发请求信息,将数据(信息)S10和缓冲器630所存储的数据(信息)S20中的任一数据输出到编码单元650。具体而言,在重发请求信息表示无重发请求时,切换单元640将还未被编码的数据(信息)S10输出到编码单元650作为新数据。另一方面,在重发请求信息表示有重发请求时,切换单元640将存储在缓冲器630中的数据(信息)S20输出到编码单元650作为重发数据。

[1140] 编码单元650包括实施方式2所示的编码器200,根据从重发请求判定单元620指示的编码率,对输入数据进行LDPC-CC编码,取得LDPC-CC代码字。

[1141] 例如,在初次发送时,在发送图23[3]的帧#2时,编码单元650根据从重发请求判定单元620通知的指示信号,使用编码率3/4,对信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行编码,生成奇偶校验 $P_{3/4,i} (i=1, 2, \dots, m)$ (参照图24)。

[1142] 另外,编码单元650将信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 以及奇偶校验 $P_{3/4,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 作为LDPC-CC代码字而将其输出到调制/发送单元660。

[1143] 另外,例如在第一次重发时,在发送图23[5]的帧#2'时,编码单元650根据从重发请求判定单元620通知的指示信号,将编码率从3/4切换为2/3,对以帧#2发送了的信息 $X_{1,i}, X_{2,i}, X_{3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 中的 $X_{1,i}, X_{2,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 进行编码,生成奇偶校验 $P_{2/3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ (参照图24)。

[1144] 这里,重要的是:编码单元650包含实施方式2中说明了的编码器200。也就是说,编码器200在进行可对应编码率 $(y-1)/y$ 和 $(z-1)/z (y < z)$ 的时变周期 $g (g$ 为自然数)的LDPC-CC编码时,编码单元650在初次发送时,使用奇偶校验多项式(42)生成LDPC-CC代码字,在有重发请求的情况下,在重发时使用奇偶校验多项式(43)生成LDPC-CC代码字。

$$[1145] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (42)$$

[1146] 在式(42)中, D 是延迟运算符。另外, $k=0, 1, 2, \dots$ 。

$$[1147] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (43)$$

[1148] 在式(43)中, D 是延迟运算符。 $k=0, 1, 2, \dots$ 。另外,式(42)的 $A_{Xf,k}(D)$ 和式(43)的 $A_{Xf,k}(D)$ 之间等号成立($f=1, 2, 3, \dots, y-1$),式(42)的 $B_k(D)$ 和式(43)的 $B_k(D)$ 之间等号成立。

[1149] 由此,即使在通过混合ARQ进行重发时,也能够使用在进行初次发送时的编码时利用的编码器,进行重发时的编码,而不用追加用于混合ARQ的新编码器。

[1150] 另外,编码单元仅将该奇偶校验 $P_{2/3,i} (i=1, 2, \dots, m)$ 作为LDPC-CC代码字输出到调制/发送单元660。

[1151] 调制/发送单元660对LDPC-CC代码字进行调制、变频等发送处理,经由未图示的天线发送给通信对方的通信装置#2。

[1152] 图32表示作为通信装置#1的通信对方的通信装置#2的主要结构例。图32的通信装置700例如搭载于终端装置。

[1153] 图32的通信装置700的接收/解调单元710输入经由未图示的天线接收到的接收信号,并对接收信号进行变频等无线处理,从而获得采用图21所示的帧结构的接收信号。接收/解调单元710从接收信号提取重发信息码元、编码率信息码元、调制方式信息码元等控制信息码元,将这些控制信息码元输出到控制信息解析单元720。另外,接收/解调单元710从接收信号中提取数据码元,将其作为接收数据输出到对数似然比生成单元730。

[1154] 控制信息解析单元720从控制信息码元中提取是重发数据还是新数据的信息、编码率、调制方式的控制信息,并将这些控制信息输出到解码单元740。

[1155] 对数似然比生成单元730计算接收数据的对数似然比。对数似然比生成单元730将对数似然比输出到解码单元740。

[1156] 解码单元740包括图15的解码器300,使用从控制信息解析单元720通知的控制信息,对接收数据的对数似然比进行解码,将接收数据的对数似然比更新。

[1157] 例如,在接收初次发送时发送了的、图23[3]的帧#2时,解码单元740根据从控制信息解析单元720通知的指示信号,将编码率设定为3/4,进行解码,获得接收数据的解码处理后的对数似然比。

[1158] 另外,例如,在接收重发时发送了的、图23[5]的帧#2'时,解码单元740根据从控制信息解析单元720通知的指示信号,从编码率3/4切换为编码率2/3,进行解码,获得接收数据的解码处理后的对数似然比。另外,在重发时,解码单元740以多个步骤进行解码。下面,以接收图23[3]的帧#2和图23[5]的帧#2'时的情况为例进行说明。

[1159] 具体而言,首先,作为重发时的最初的解码(第1步骤),解码单元740使用先前在帧#2接收到的信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR(LogLikelihood Ratio:对数似然比)和在帧#2'接收到的编码率2/3的奇偶校验 $P_{2/3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR,对信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)进行解码(即,进行编码率2/3的LDPC-CC的解码处理)。

[1160] 在帧#2'中,使其编码率比帧#2小,所以编码增益提高,能够对信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)进行解码的可能性高,可以确保重发时的接收质量。另外,重发的数据仅是奇偶校验,所以数据的传输效率较好。

[1161] 接着,作为重发时的第2次的解码(第2步骤),解码单元740在第1步骤中获得信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的估计值,所以使用该估计值生成信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 的LLR(例如,在估计为“0”时,给予相当于充分高的置信度的“0”的LLR,在估计为“1”时,给予相当于充分高的置信度的“1”的LLR)。

[1162] 解码单元740使用LLR,进行编码率3/4的LDPC-CC的解码,获得信息 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$),所述LLR为利用估计值生成的信息 $X_{1,i}$ 、 $X_{2,i}$ 的LLR、先前在帧#2接收到的信息的 $X_{3,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR以及先前在帧#2接收到的奇偶校验 $P_{3/4,i}$ ($i=1,2,\dots,m$)的LLR。

[1163] 这里,重要的是:解码单元740包含实施方式2中说明了的解码器300。也就是说,解码器300在进行可对应编码率 $(y-1)/y$ 和 $(z-1)/z$ ($y < z$)的时变周期 g (g 是自然数)的LDPC-CC解码时,解码单元740在初次发送时的解码中,使用奇偶校验多项式(42)对LDPC-CC码字进行解码,在重发时的最初解码(第1步骤)中,使用奇偶校验多项式(43)对LDPC-CC码字进行解码,在重发时的第二次解码(第2步骤)中,使用奇偶校验多项式(42)对LDPC-CC码字进行解码。

[1164] 由此,即使在通过混合ARQ进行重发时,也能够使用在进行初次发送时的解码时利用的解码器,进行重发时的解码(第1和第2步骤的解码),而不用追加用于混合ARQ的新解码器。

[1165] 解码单元740将解码处理后的接收数据的对数似然比输出到判定单元750。

[1166] 判定单元750基于从解码单元740输入的对数似然比来估计数据,由此获得解码数据。判定单元750将解码数据输出到重发请求单元760。

[1167] 重发请求单元760通过对解码数据进行CRC检查等而进行差错检测,根据有无差错,形成重发请求信息,并将重发请求信息输出到调制/发送单元770。

[1168] 调制/解调单元770输入数据(信息)及重发请求信息,对这些信息进行编码、调制、变频等处理,从而获得调制信号,经由未图示的天线将调制信号发送到通信对方的通信装置#1。

[1169] 这样,能够通过图31及图32的结构,进行本实施方式的混合ARQ。由此,能够使用在进行初次发送时的编码时利用的编码器,进行重发时的编码,而不用追加用于混合ARQ的新编码器。另外,能够使用同一解码器进行初次发送时的解码和重发时的解码(第1及第2步骤的解码)的双方。也就是说,能够使用在进行初次发送时的解码时利用的解码器,进行重发时的解码(第1和第2步骤的解码),而不用追加用于混合ARQ的新解码器。

[1170] 本发明的编码器的一种形态是使用编码率 $(q-1)/q$ (q 为3以上的整数)的奇偶校验多项式(44),生成时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes),所述编码器采用的结构包括:编码率设定单元,设定编码率 $(s-1)/s$ ($s \leq q$);第 r 运算单元,输入时刻 i 的信息 $X_{r,i}$ ($r=1,2,\dots,q-1$),输出式(44)的 $A_{Xr,k}(D)X_i(D)$ 的运算结果;奇偶运算单元,输入时刻 $i-1$ 的奇偶校验 P_{i-1} ,输出式(44)的 $B_k(D)P(D)$ 的运算结果;加法单元,获得所述第1至第 $(q-1)$ 运算单元的运算结果和所述奇偶运算单元的运算结果的“异或”作为时刻 i 的奇偶校验 P_i ;以及信息生成单元,将从所述信息 $X_{s,i}$ 至所述信息 $X_{q-1,i}$ 设定为零。

$$[1171] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{s-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{r=s}^{q-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (44)$$

[1172] 在式(44)中, D 是延迟运算符。另外, $k=0,1,2,\dots$ 。

[1173] 本发明的解码器的一种形态是具备以编码率 $(q-1)/q$ (q 为3以上的整数)的奇偶校验多项式(45)为基准的校验矩阵,利用置信传播(BP:BeliefPropagation)对时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes)进行解码,所述解码器采用的结构包括:对数似然比设定单元,根据所设定的编码率 $(s-1)/s$ ($s \leq q$),将与时刻 i (i 为整数)的信息 $X_{s,i}$ 至信息 $X_{q-1,i}$ 对应的对数似然比设定为既定值;以及运算处理单元,使用所述对数似然比,根据以式(45)的奇偶校验多项式为基准的校验矩阵,进行行处理运算和列处理0运算。

$$[1174] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{s-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{r=s}^{q-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (45)$$

[1175] 在式(45)中, D 是延迟运算符。另外, $k=0,1,2,\dots$ 。

[1176] 本发明的编码方法的一种形态为可以对应编码率 $(y-1)/y$ 及 $(z-1)/z$ ($y < z$)的时变周期 g (g 为自然数)的低密度奇偶校验卷积码(LDPC-CC:Low-Density Parity-Check Convolutional Codes)的编码方法,使用奇偶校验多项式(46)生成编码率 $(z-1)/z$ 的低密度奇偶校验卷积码,使用奇偶校验多项式(47)生成编码率 $(y-1)/y$ 的低密度奇偶校验卷积码。

$$[1177] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (46)$$

[1178] 在式(46)中,D是延迟运算符。另外, $k=0,1,2\cdots$ 。

$$[1179] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{p-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (47)$$

[1180] 在式(47)中,D是延迟运算符。 $k=0,1,2\cdots$ 。另外,式(46)的 $A_{Xf,k}(D)$ 和式(47)的 $A_{Xf,k}(D)$ 之间等号成立($f=1,2,3,\cdots,y-1$),式(46)的 $B_k(D)$ 和式(47)的 $B_k(D)$ 之间等号成立。

[1181] 另外,本发明并不限于上述的所有实施方式,可进行各种变更来实施。例如,在上述的实施方式中,主要说明了通过编码器及解码器来实现的情况,但并不限于此,在通过电力线通信装置实现的情况下也可以适用。

[1182] 另外,也可以通过软件实现该编码方法及解码方法。例如,也可以预先将执行上述编码方法及通信方法的程序存储在ROM(只读存储器)中,由CPU(中央处理单元)执行该程序。

[1183] 另外,也可以将执行上述编码方法和解码方法的程序存储在计算机可读存储媒体中,将存储在存储媒体中的程序记录到计算机的RAM(随机访问存储器)中,依据该程序使计算机动作。

[1184] 另外,本发明并不限于无线通信,不言而喻在电力线通信(PLC:Power Line Communication)、可视光通信、光通信中也极为有用。

[1185] 本发明的实施例提供了编码器,使用编码率 $(q-1)/q$ 的奇偶校验多项式(1),生成时变周期g的低密度奇偶校验卷积码,其中,q为3以上的整数,g为自然数,所述编码器包括:编码率设定单元,设定编码率 $(s-1)/s$,其中, $s \leq q$;第r运算单元,输入时刻i的信息 $X_{r,i}$,输出式(1)的 $A_{Xr,k}(D)X_i(D)$ 的运算结果,其中, $r=1,2,\cdots,q-1$;奇偶运算单元,输入时刻i-1的奇偶校验 P_{i-1} ,输出式(1)的 $B_k(D)P(D)$ 的运算结果;加法单元,获得所述第1至第 $(q-1)$ 运算单元的运算结果和所述奇偶运算单元的运算结果的“异或”作为时刻i的奇偶校验 P_i ;以及信息生成单元,将从所述信息 $X_{s,i}$ 至所述信息 $X_{q-1,i}$ 设定为零,所述式(1)为

$$[1186] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{s-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{r=s}^{q-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (1)$$

[1187] 在式(1)中,D是延迟运算符, $k=0,1,2\cdots$ 。

[1188] 本发明的实施例还提供了解码器,具备以编码率 $(q-1)/q$ 的奇偶校验多项式(2)为基准的校验矩阵,利用置信传播对时变周期g的低密度奇偶校验卷积码进行解码,其中,q为3以上的整数,g为自然数,所述解码器包括:对数似然比设定单元,根据设定的编码率 $(s-1)/s$,将与时刻i的信息 $X_{s,i}$ 至信息 $X_{q-1,i}$ 对应的对数似然比设定为既定值,其中, $s \leq q$,i为整数;以及运算处理单元,使用所述对数似然比,根据以式(2)的奇偶校验多项式为基准的校验矩阵,进行行处理运算和列处理运算,所述式(2)为

$$[1189] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{s-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) + \sum_{r=s}^{q-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (2)$$

[1190] 在式(2)中,D是延迟运算符, $k=0,1,2\cdots$ 。

[1191] 本发明的实施例还提供了编码方法,能够对应编码率 $(y-1)/y$ 及 $(z-1)/z$ 的时变周

期g的低密度奇偶校验卷积码,其中, $y < z$,g为自然数,所述编码方法包括:使用奇偶校验多项式(3)生成编码率 $(z-1)/z$ 的低密度奇偶校验卷积码;以及使用奇偶校验多项式(4)生成编码率 $(y-1)/y$ 的低密度奇偶校验卷积码,所述奇偶校验多项式(3)为

$$[1192] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{z-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (3)$$

[1193] 在式(3)中,D是延迟运算符, $k=0,1,2,\dots$,所述奇偶校验多项式(4)为

$$[1194] \quad B_k(D)P(D) + \sum_{r=1}^{y-1} A_{Xr,k}(D)X_r(D) = 0$$

$$(k = i \bmod g) \quad \dots (4)$$

[1195] 在式(4)中,D是延迟运算符, $k=0,1,2,\dots$,另外,式(3)的 $A_{Xf,k}(D)$ 和式(4)的 $A_{Xf,k}(D)$ 之间等号成立,其中f为从1至y-1的整数,式(3)的 $B_k(D)$ 和式(4)的 $B_k(D)$ 之间等号成立。

[1196] 根据本发明的实施例的编码方法,在所述奇偶校验多项式(3)中, $B_k(D)$ 的次数的最大值在 $A_{Xy,k}(D)$ 的次数的最大值的1/2以下。

[1197] 根据本发明的实施例的编码方法,在初次发送时使用所述奇偶校验多项式(3)生成所述低密度奇偶校验卷积码,在有重发请求的情况下,在重发时,使用所述奇偶校验多项式(4)生成所述低密度奇偶校验卷积码。

[1198] 2008年7月9日提交的日本专利申请第2008-179636号及2008年9月4日提交的日本专利申请第2008-227505号所包含的说明书、附图及说明书摘要的公开内容,全部引用于本申请。

[1199] 工业实用性

[1200] 本发明的编码器、解码器及编码方法在使用了LDPC-CC的编码器及解码器中,能够以小电路规模实现多种编码率并且获得高的数据接收质量。

$$\mathbf{H}_{[0:n]} = \begin{pmatrix} h_1^{(0)}(0) & h_1^{(1)}(1) & \cdots & h_1^{(M)}(M) & 0 & \cdots & 0 \\ h_2^{(0)}(0) & h_2^{(1)}(1) & \cdots & h_2^{(0)}(M) & 0 & & \\ 0 & h_1^{(0)}(1) & \cdots & \vdots & h_1^{(M)}(M+1) & & \cdots \\ & h_2^{(0)}(1) & \cdots & & h_2^{(M)}(M+1) & & \\ & 0 & \ddots & & \vdots & & 0 \\ & & \ddots & & & & h_1^{(M)}(n) \\ & & & & & & h_2^{(M)}(n) \\ & & & & & & \vdots \\ & & & & & 0 & h_2^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

图1

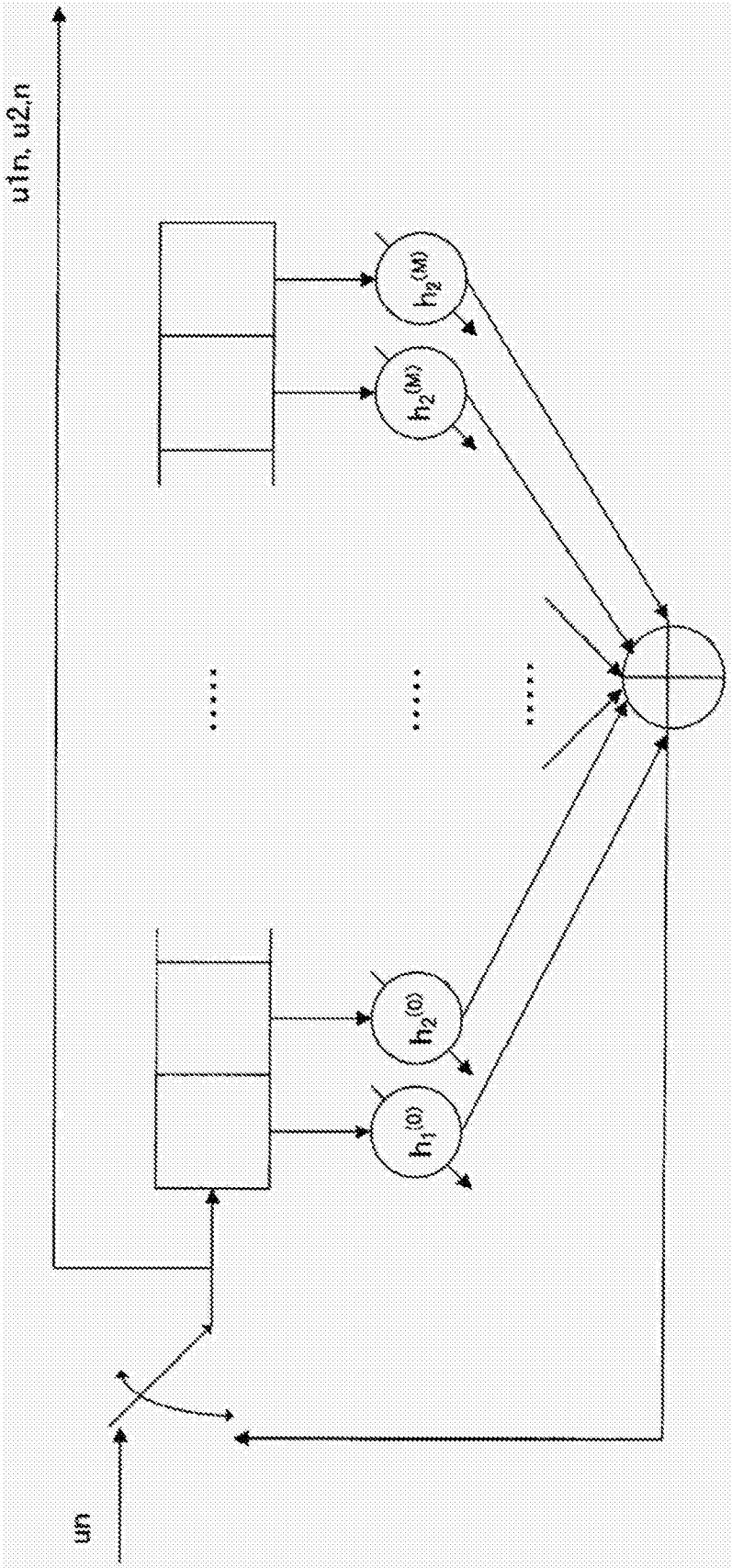


图2

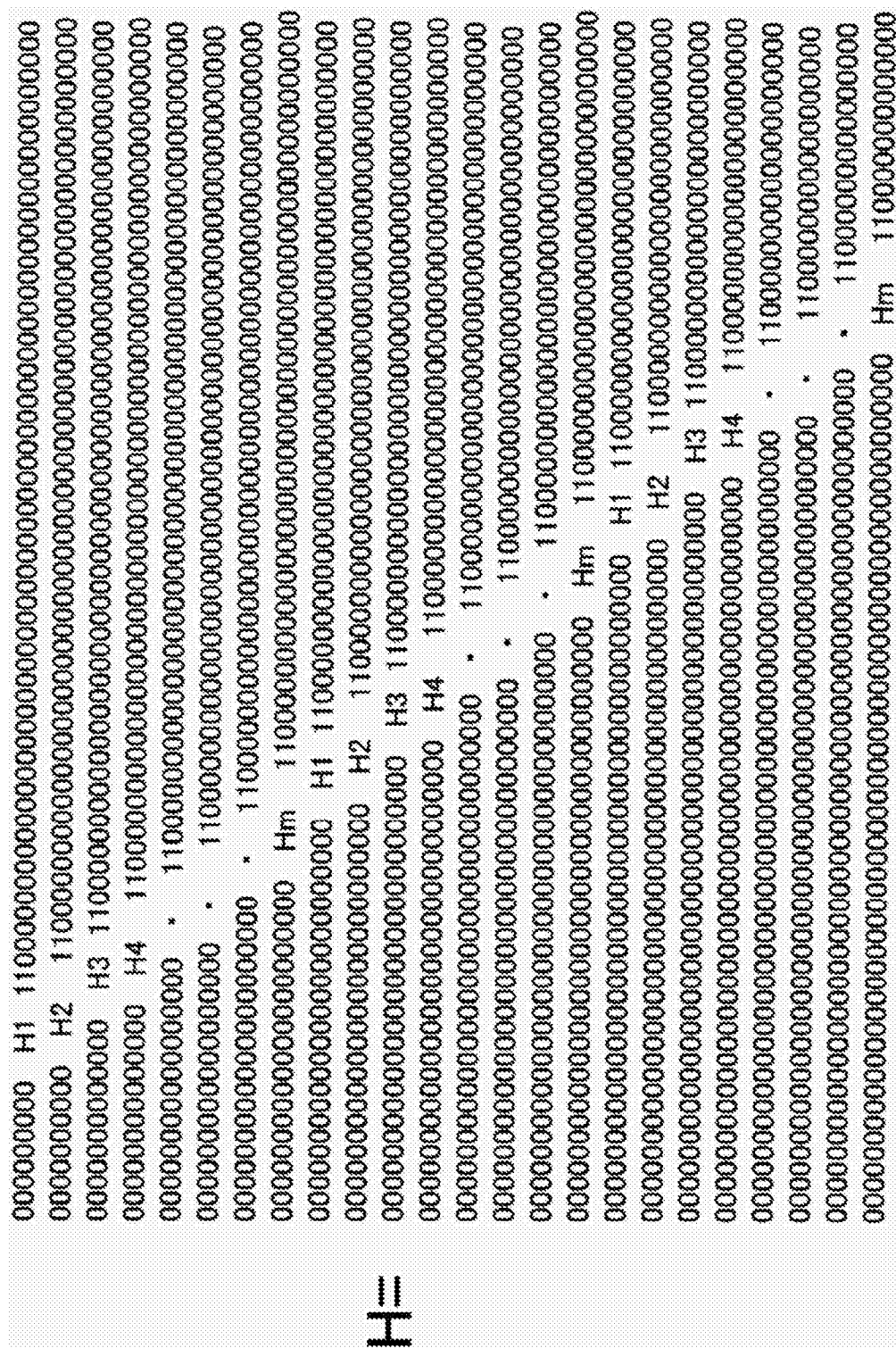
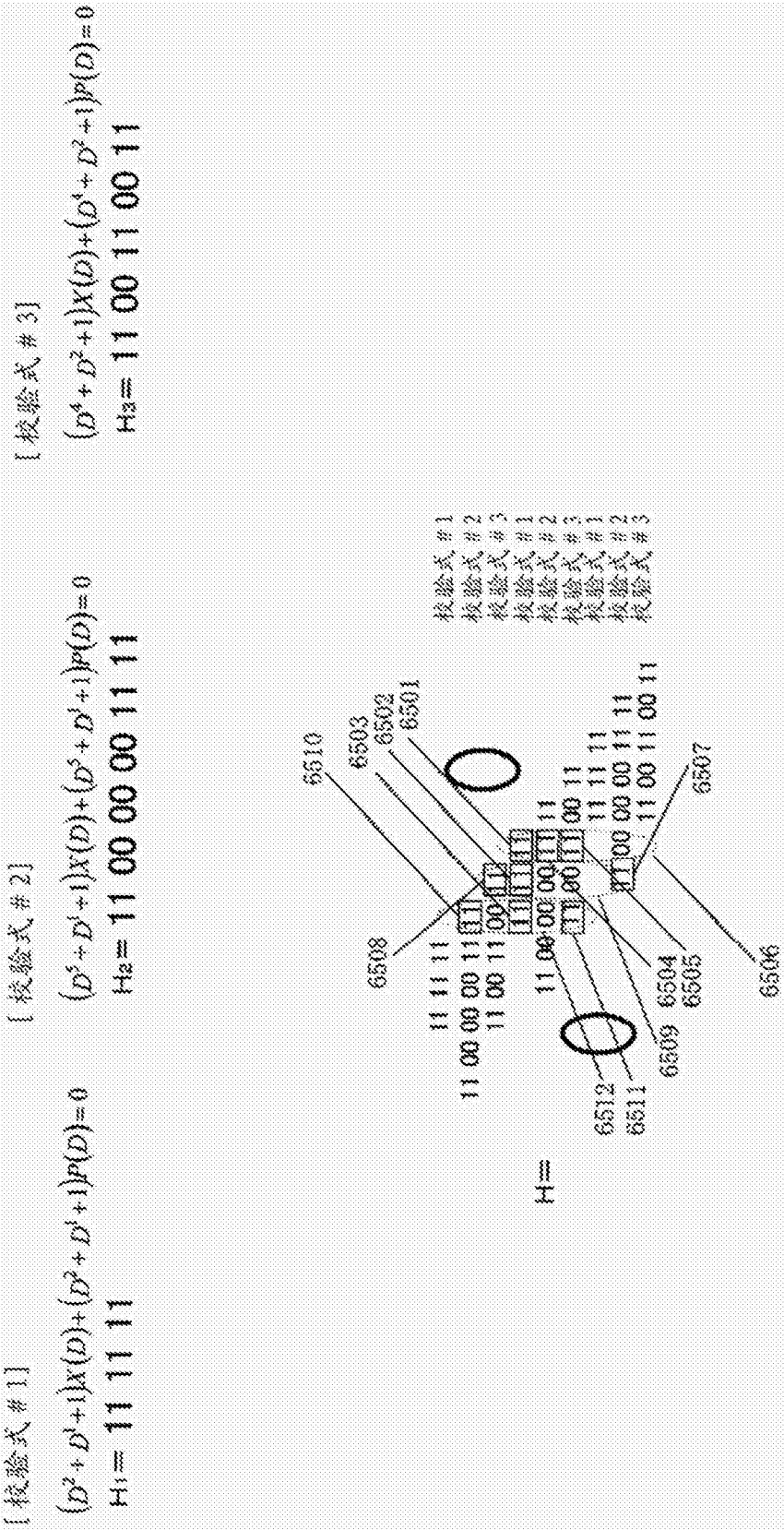


图3



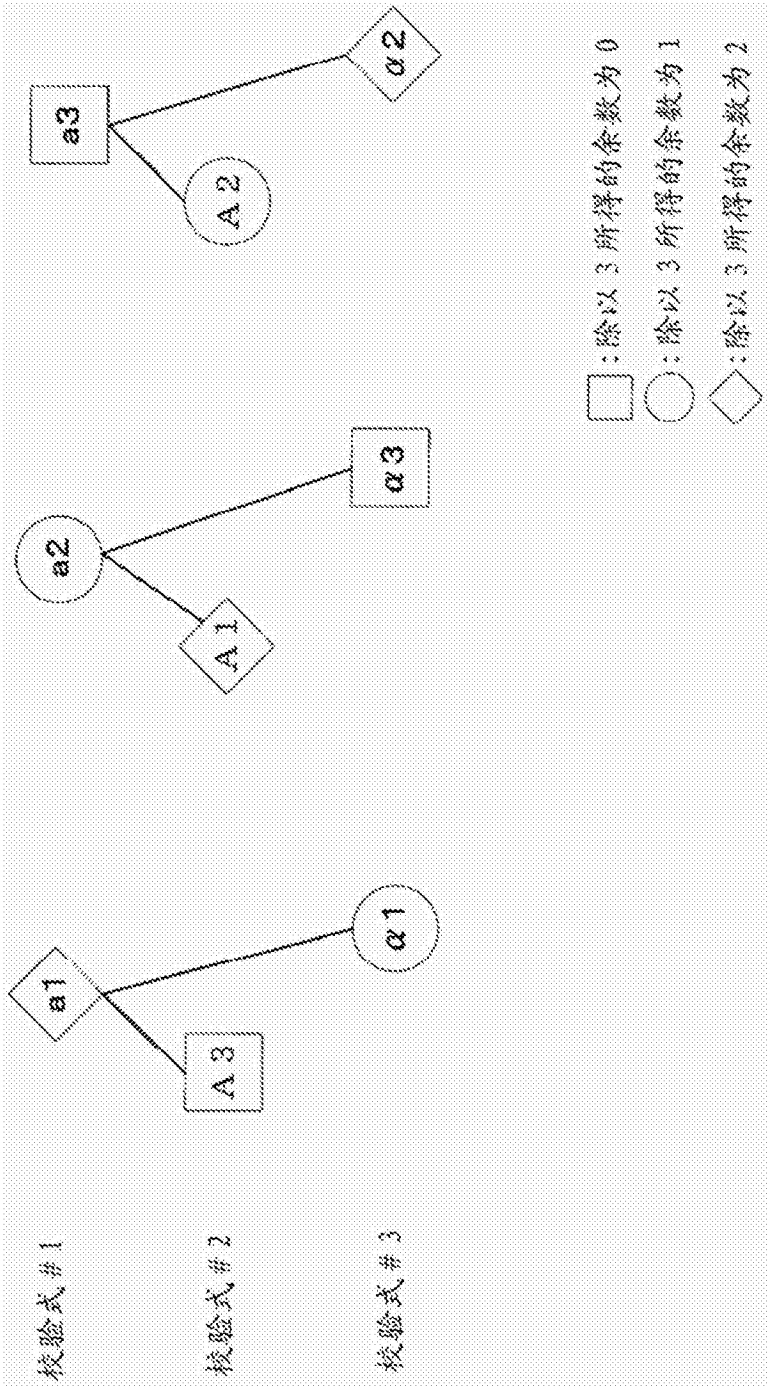


图4B

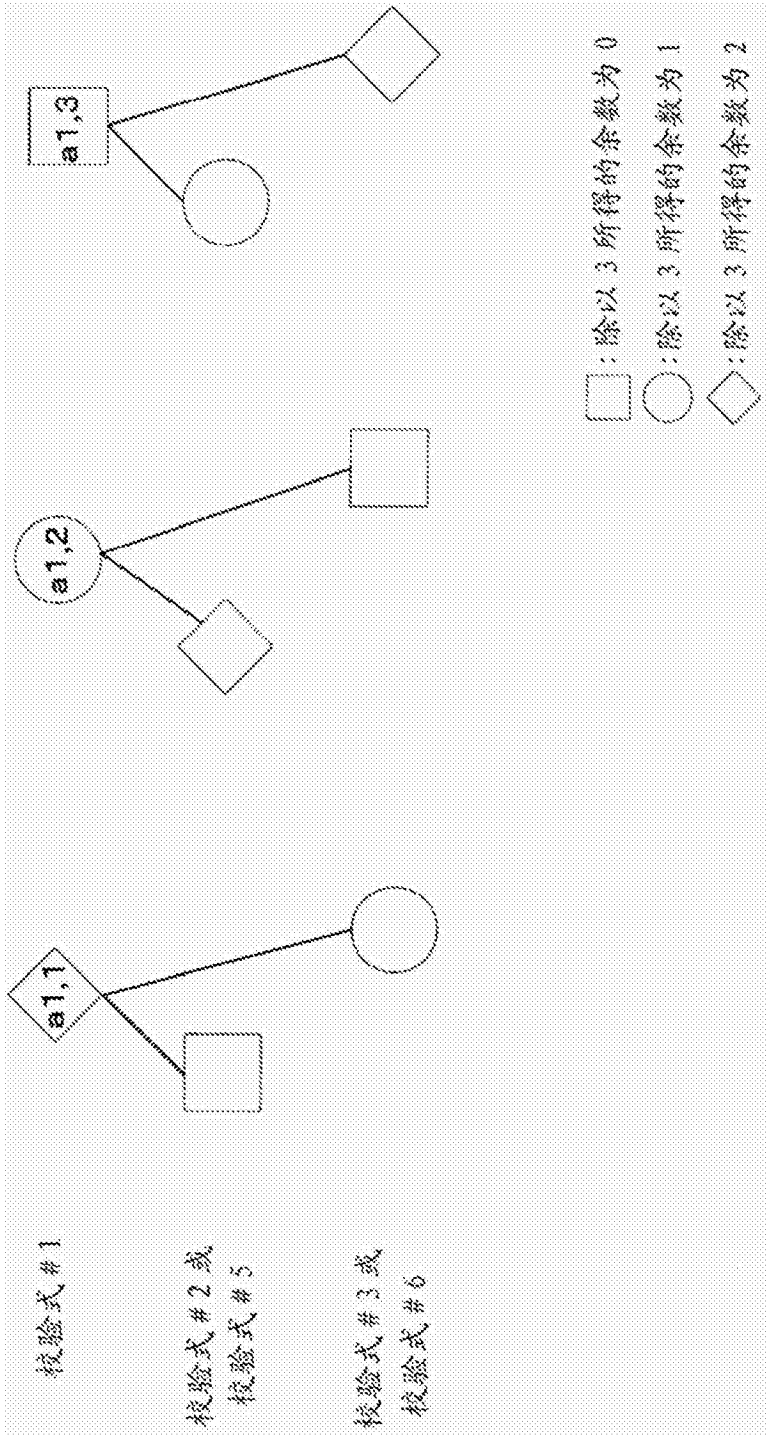


图4C

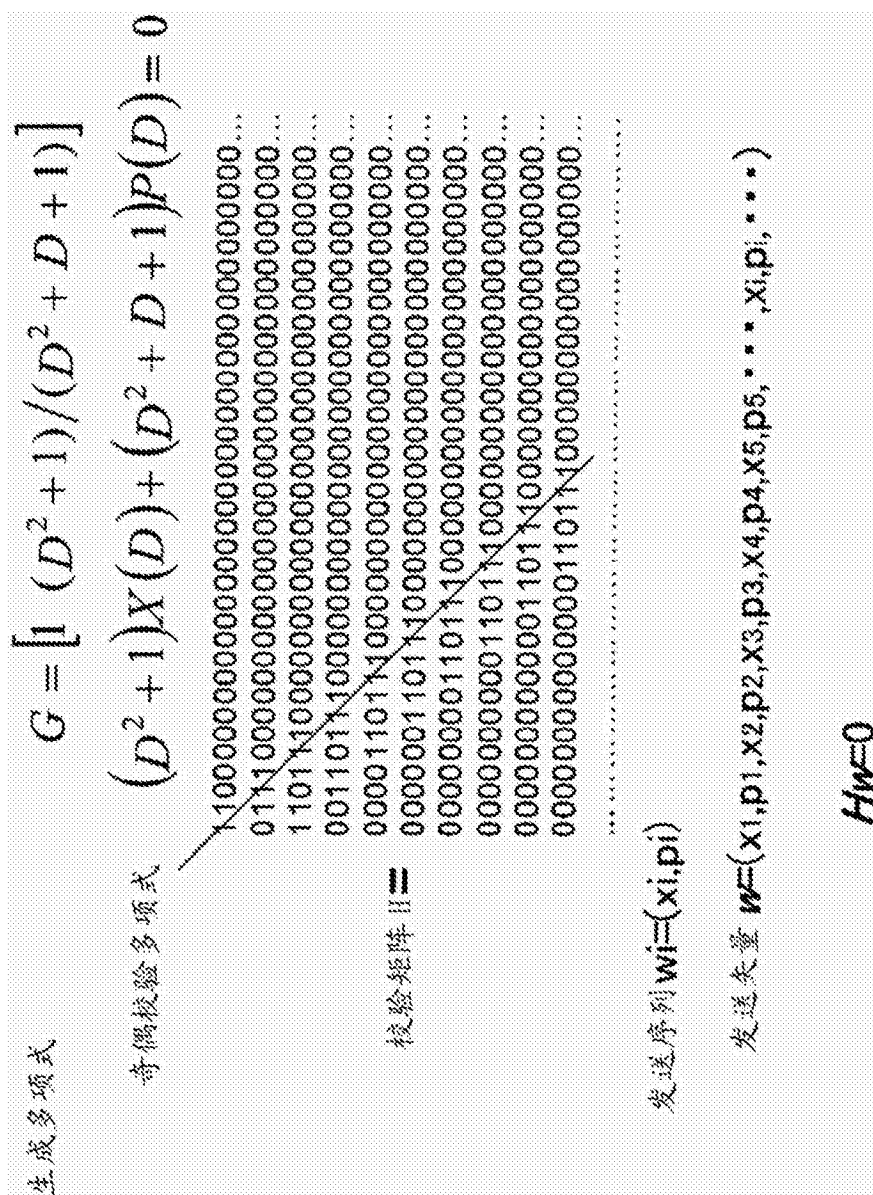


图5

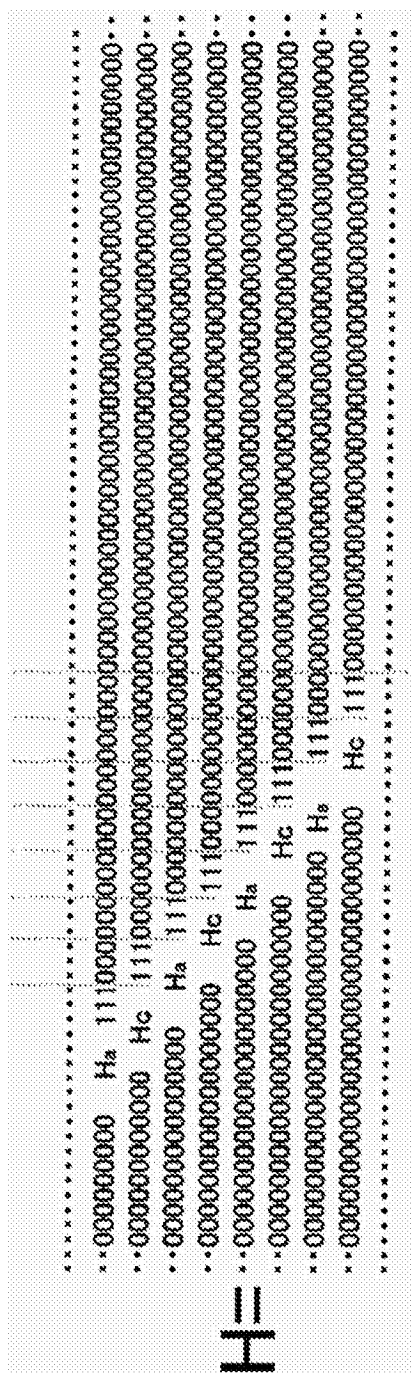


图6

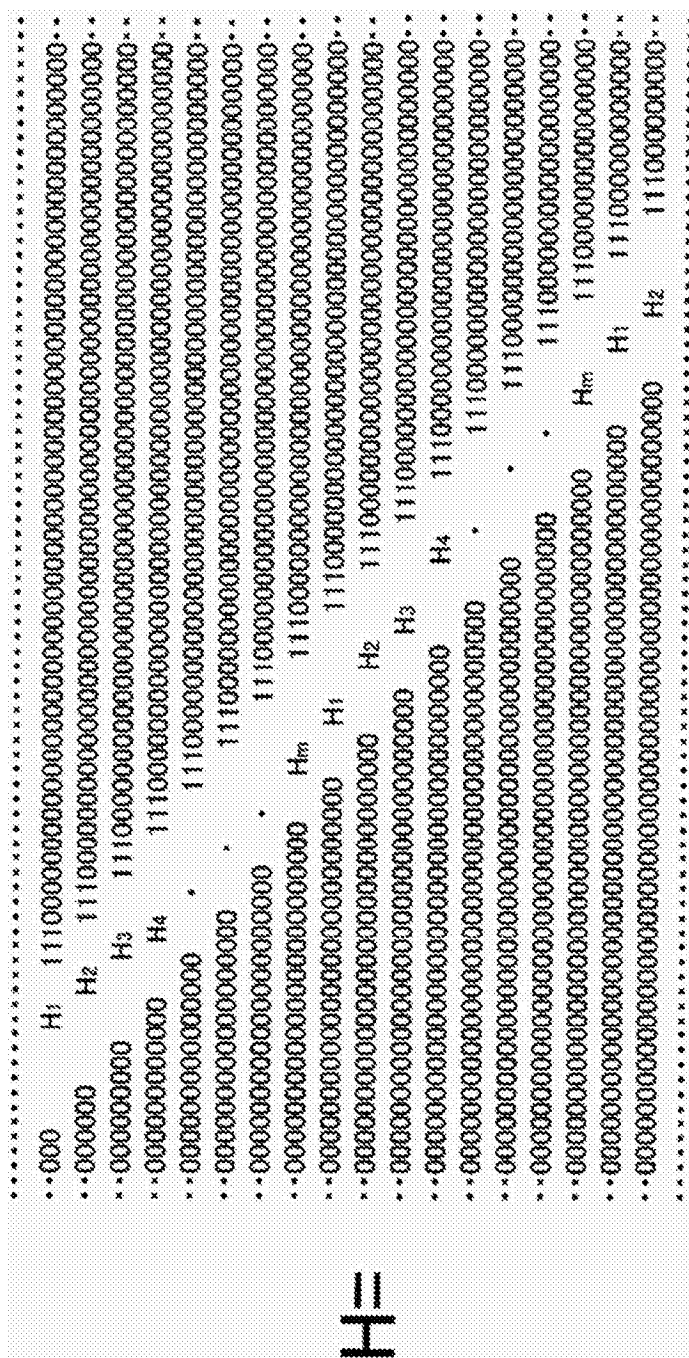


图7

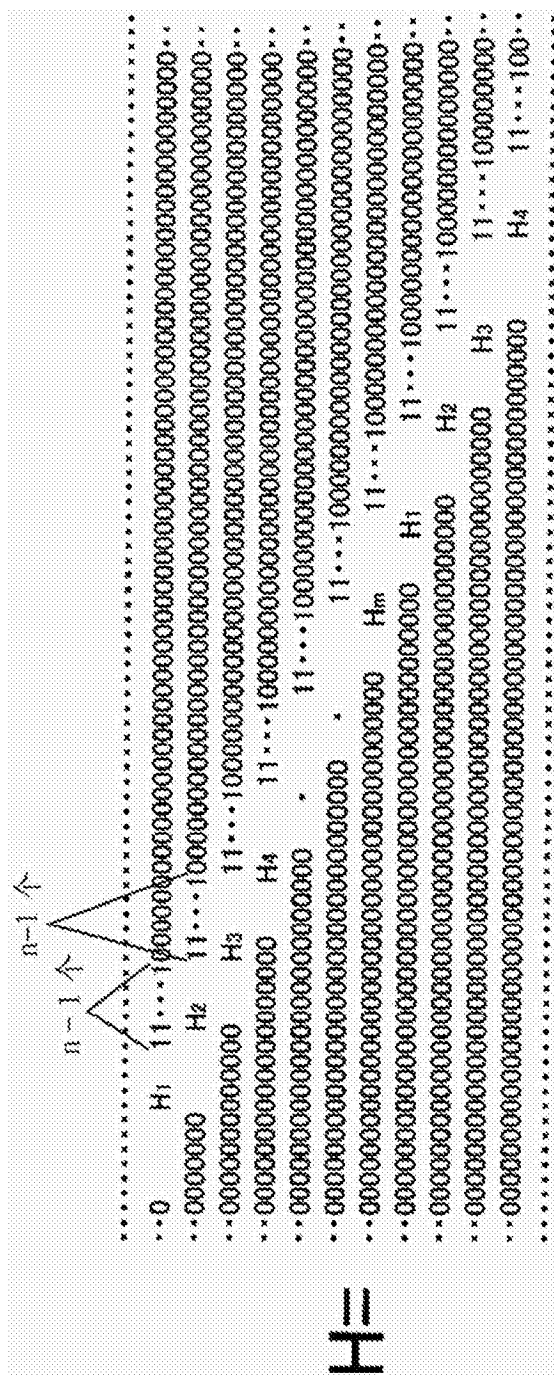


图8

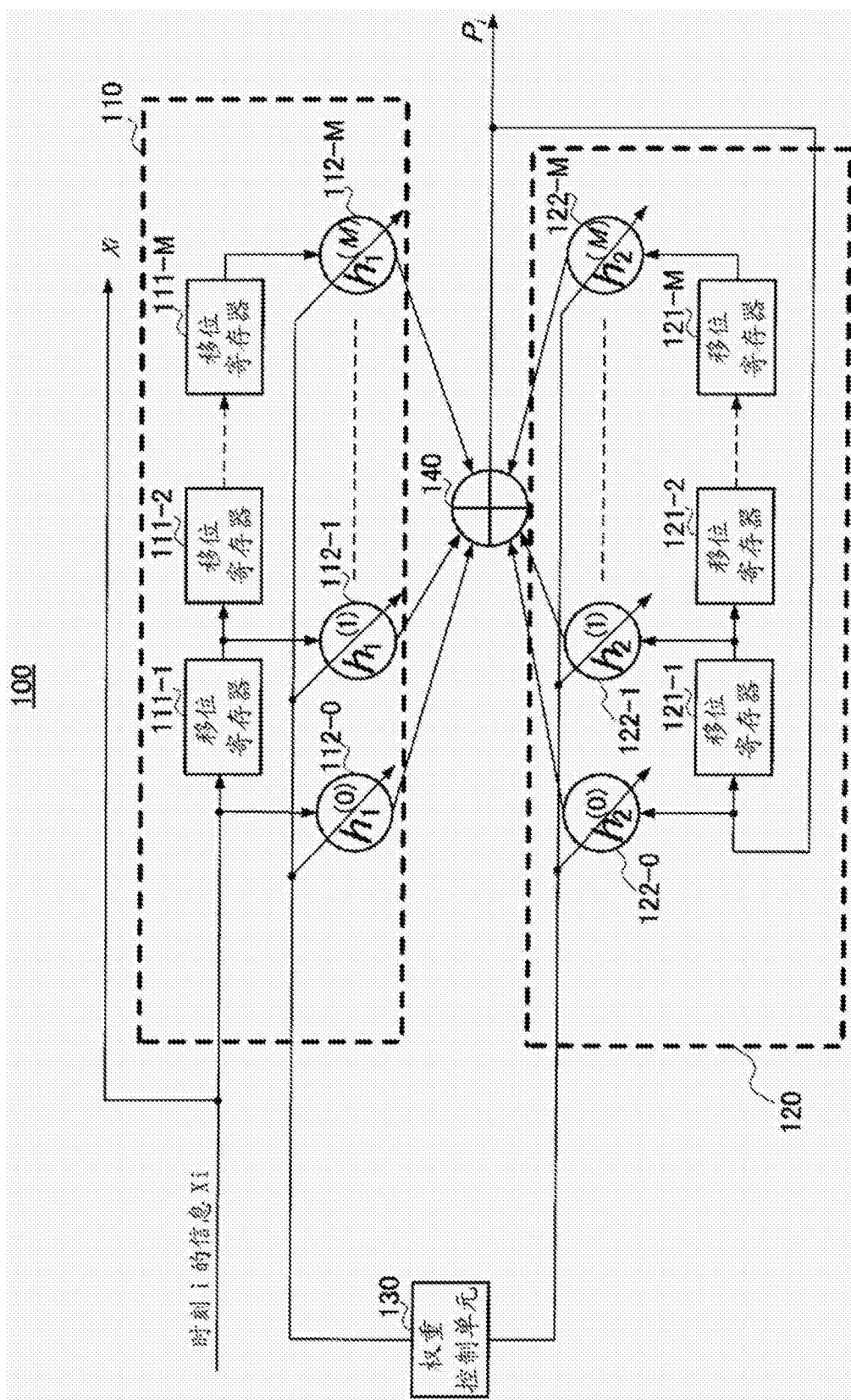


图9

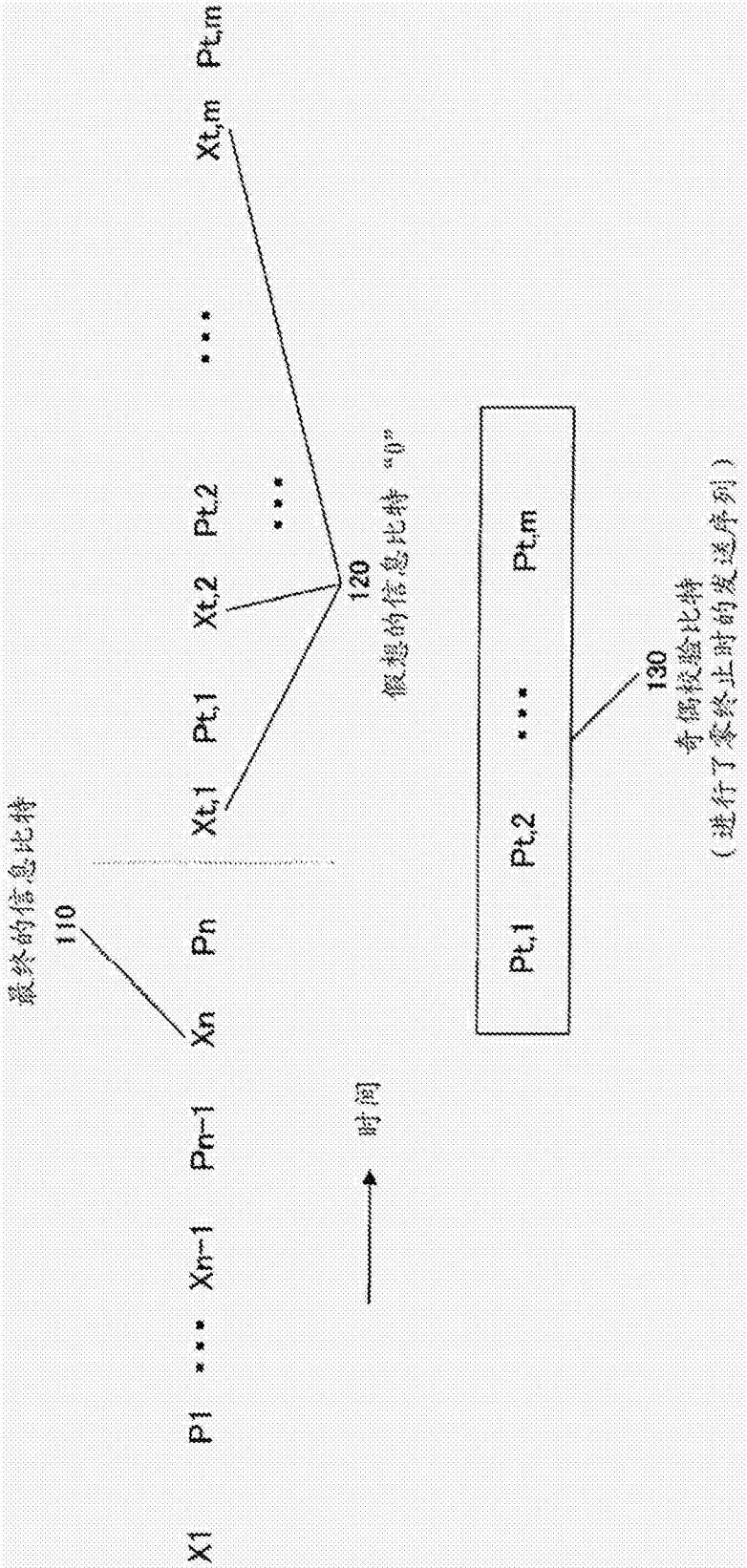


图10

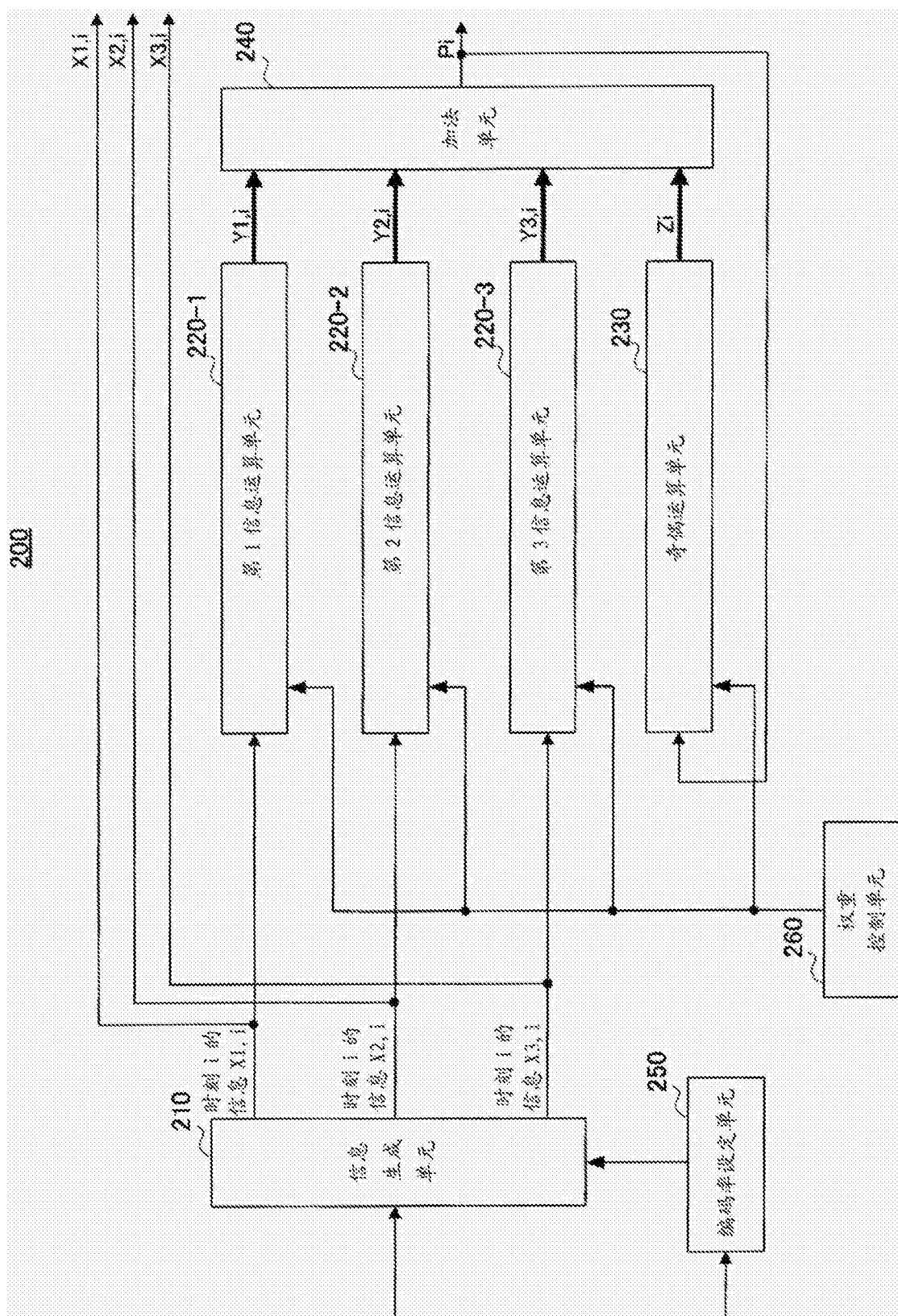


图11

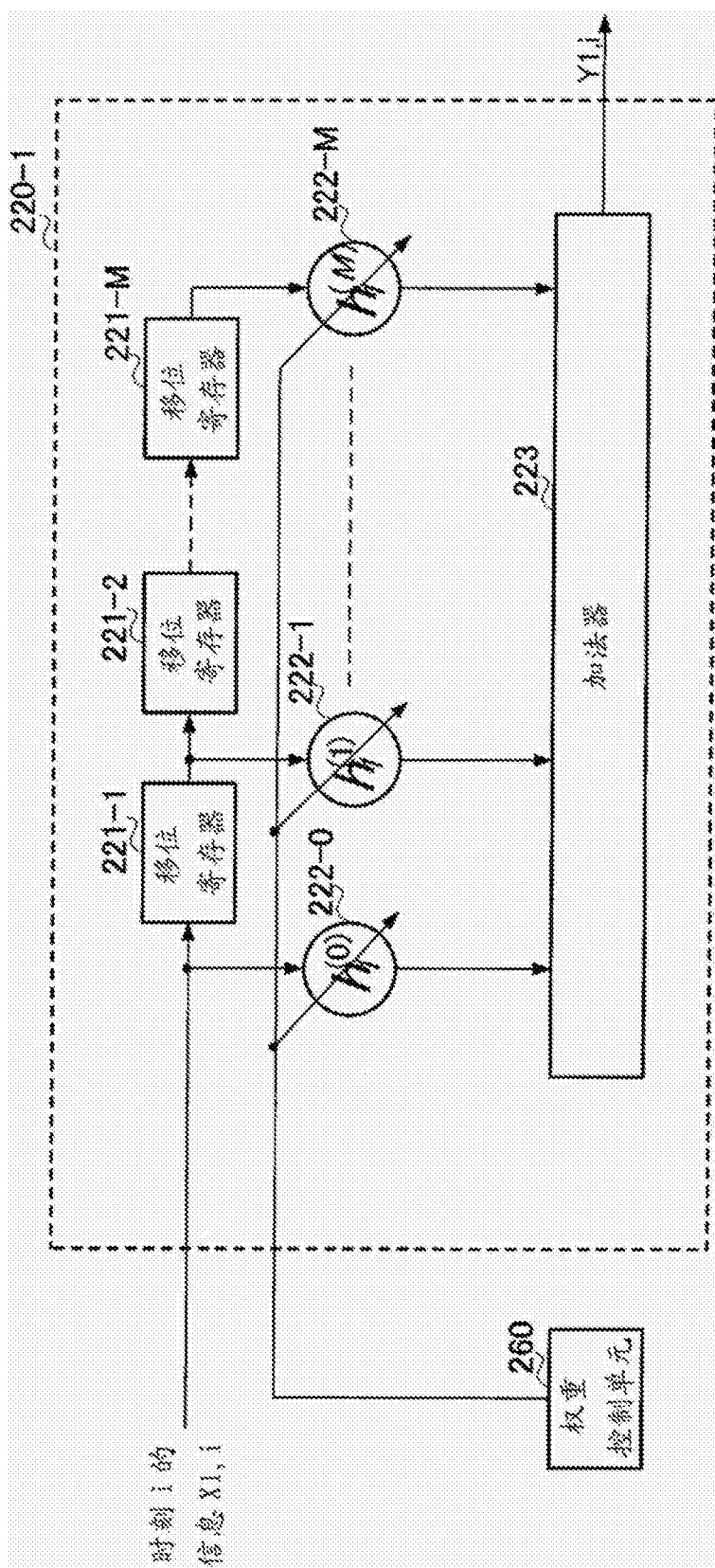


图12

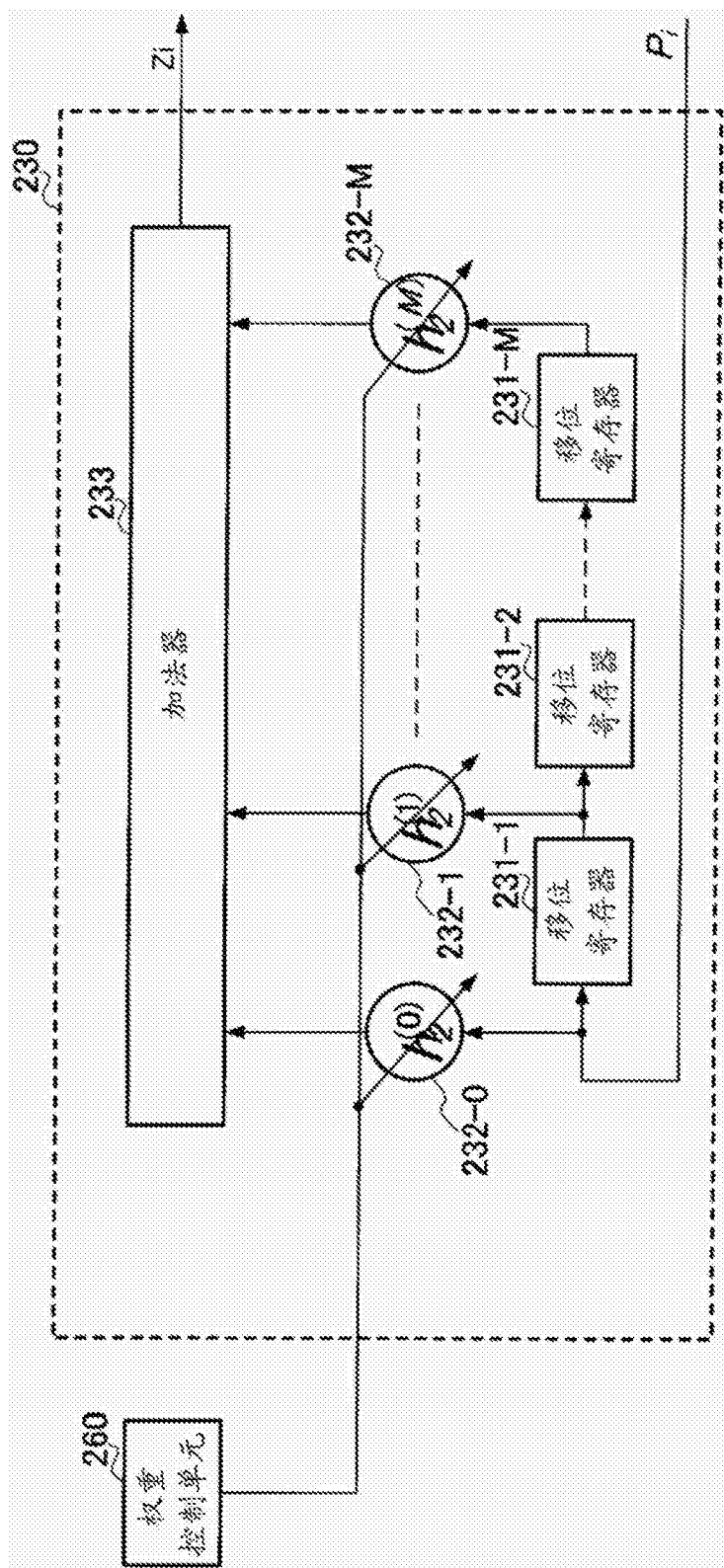


图13

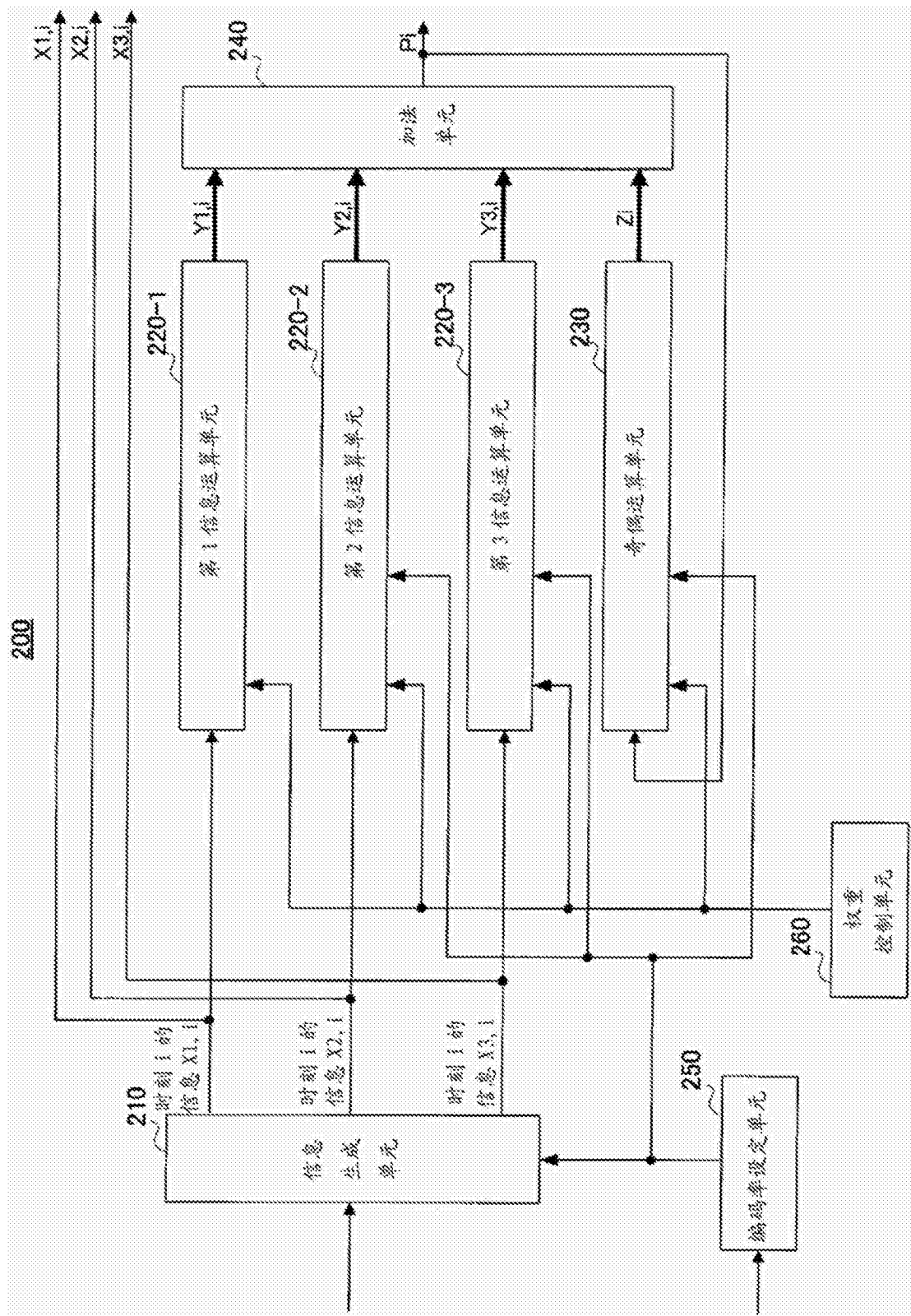


图14

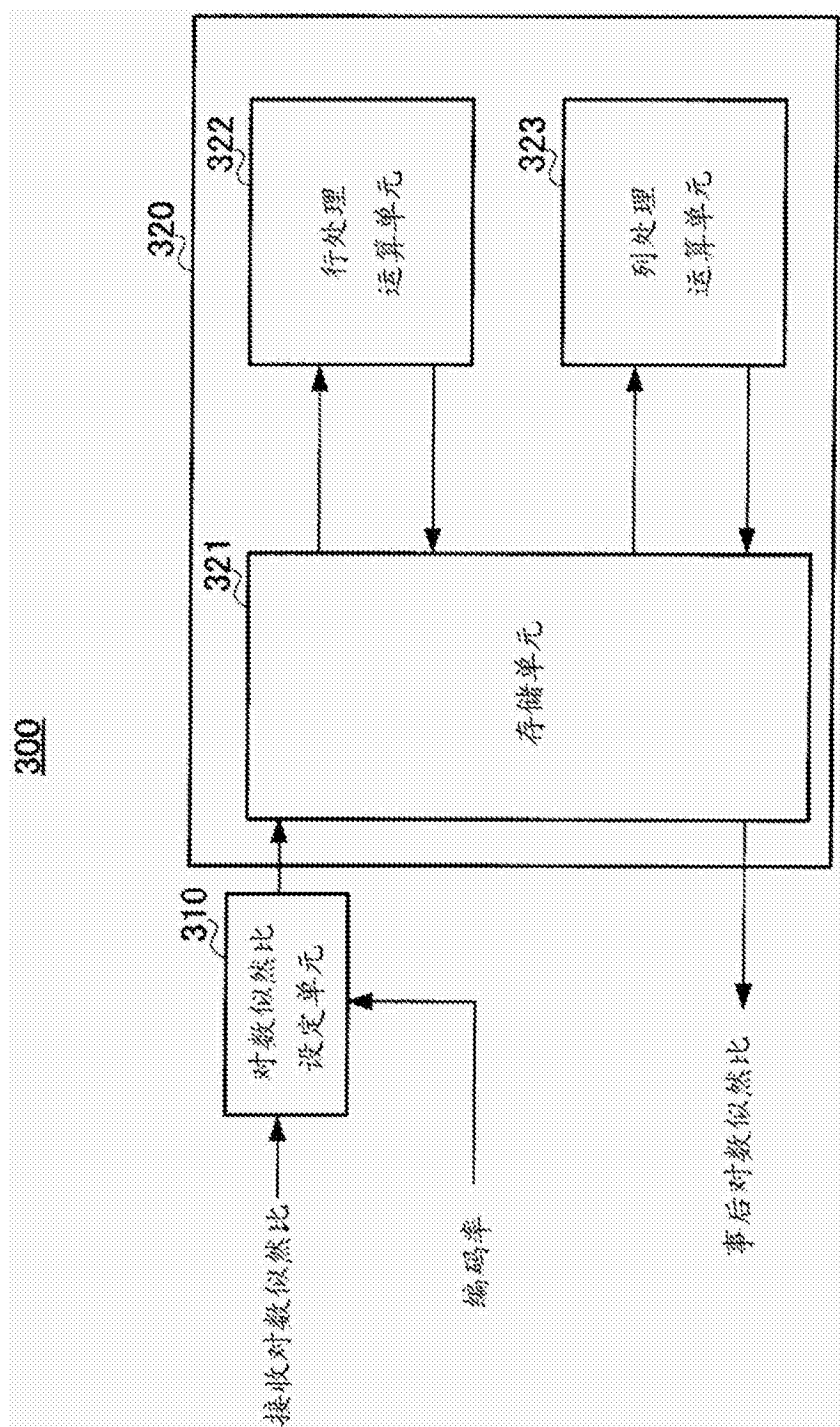


图15

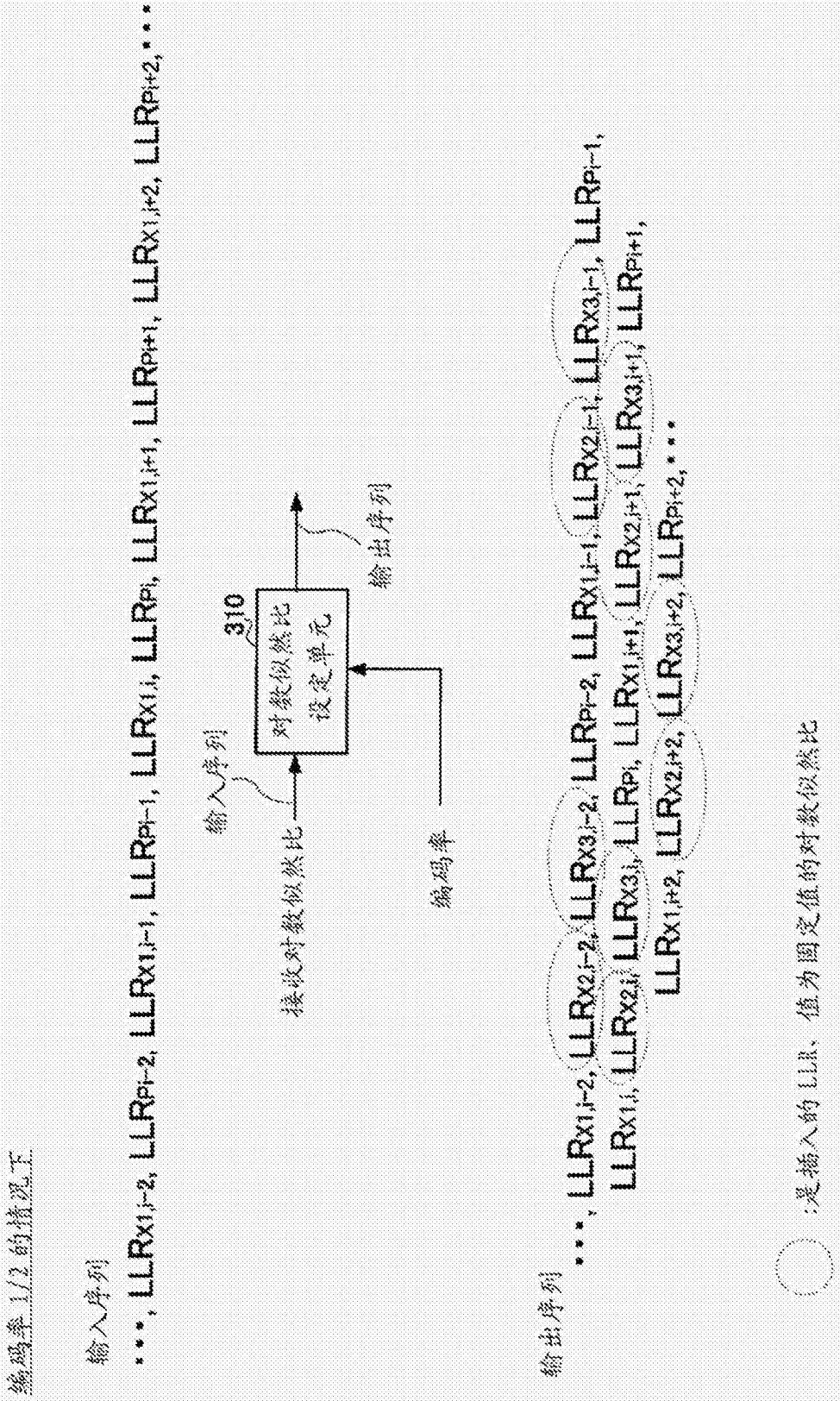


图16

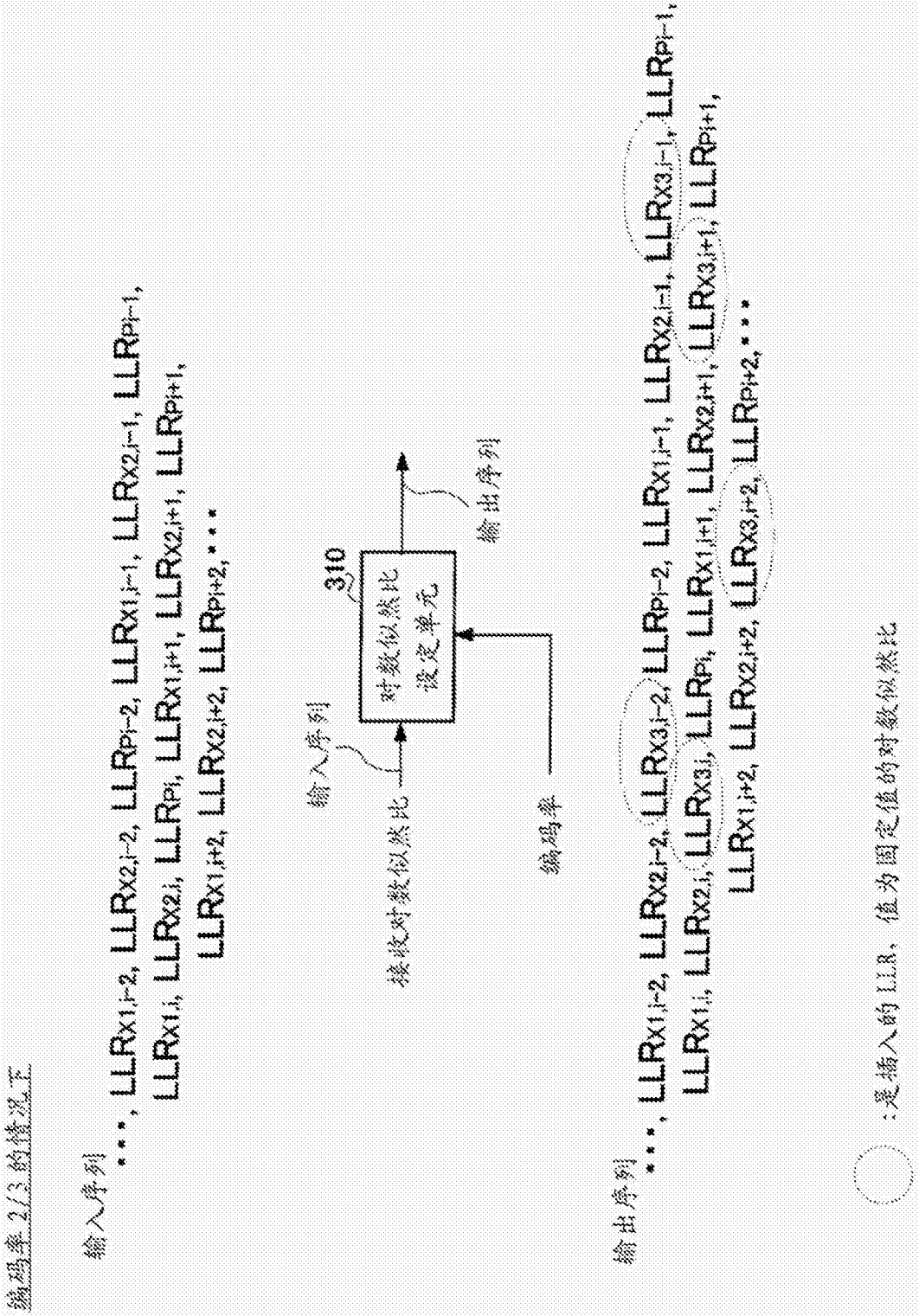


图17

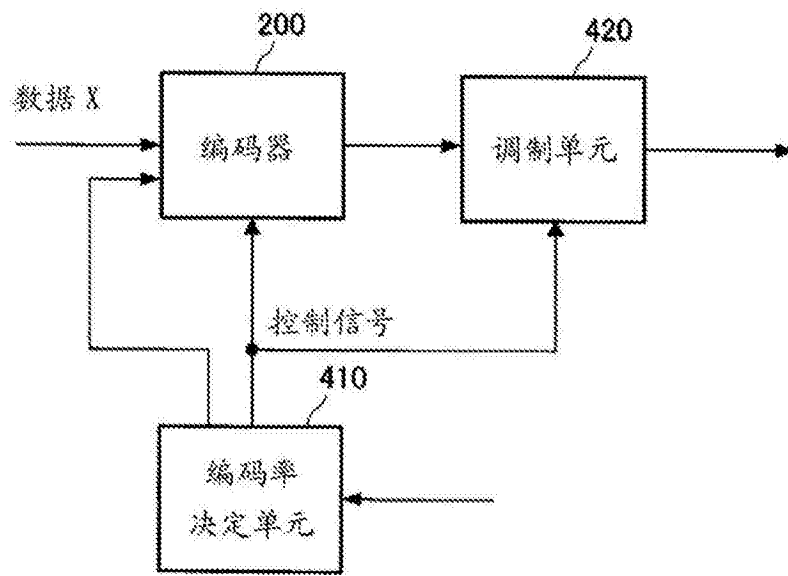
400

图18

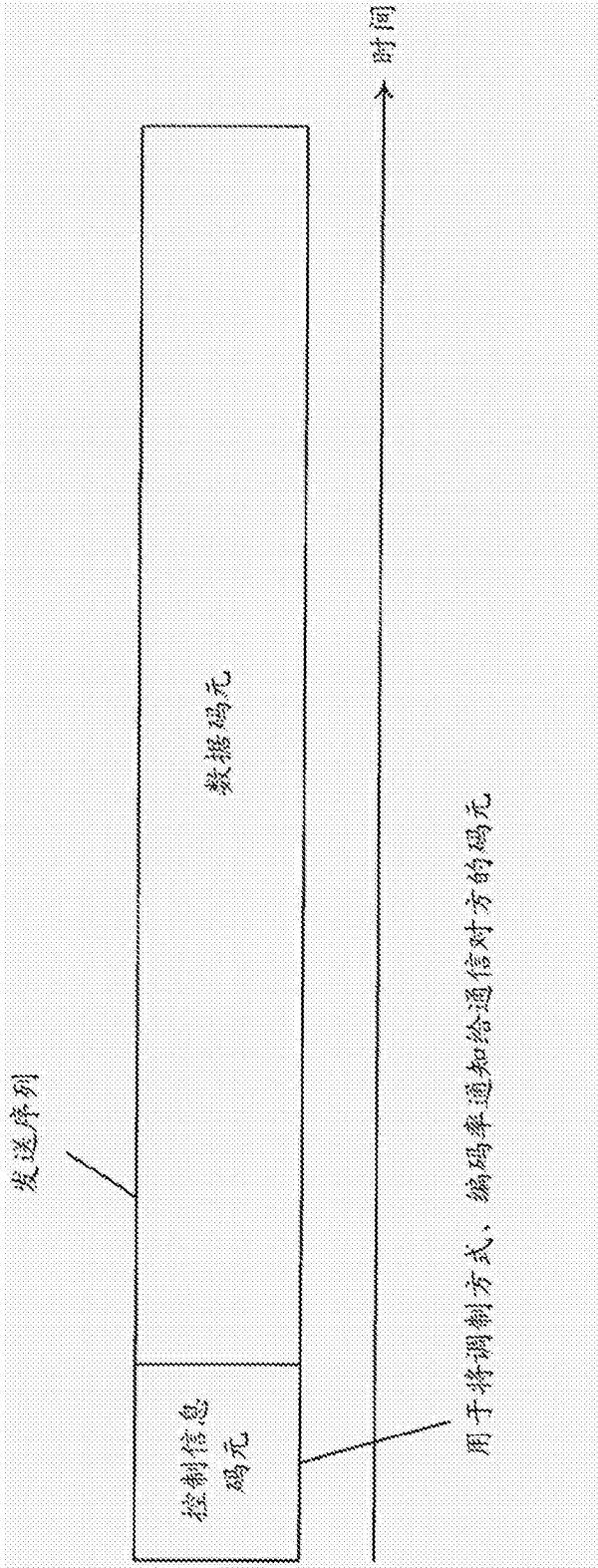


图19

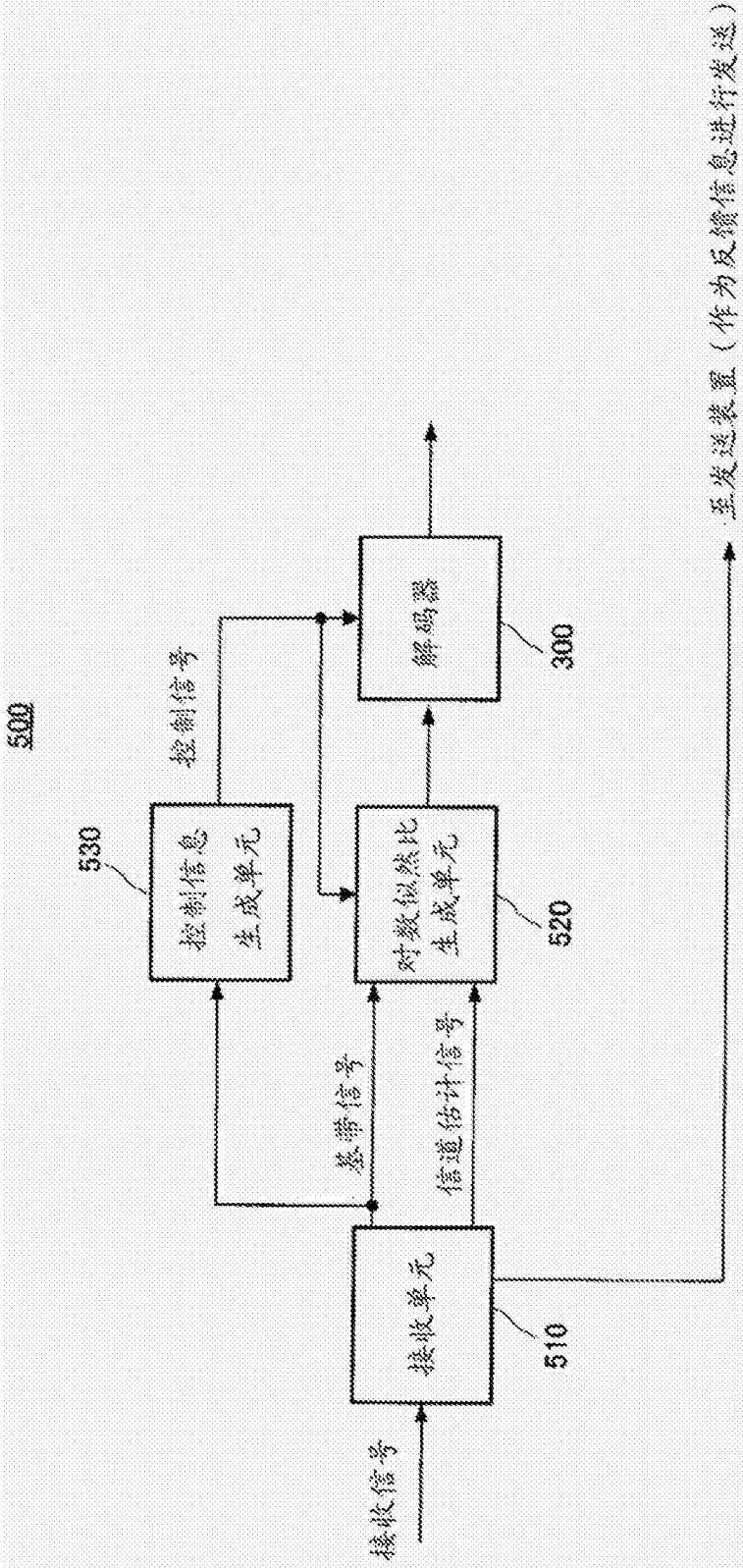


图20

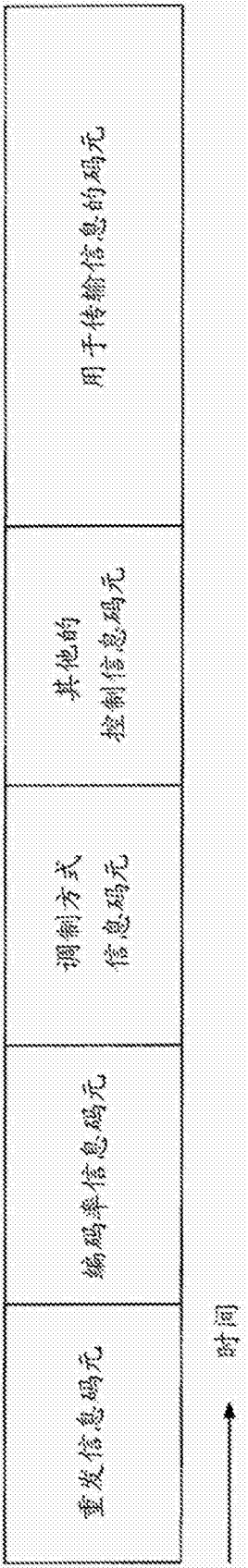


图21

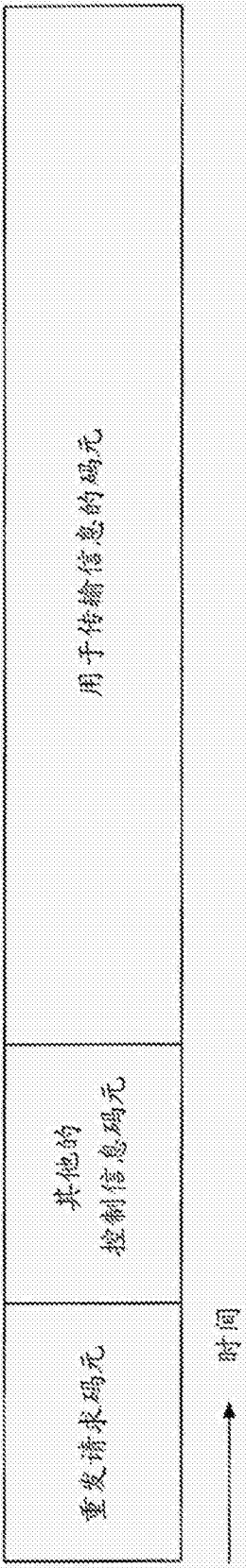


图22

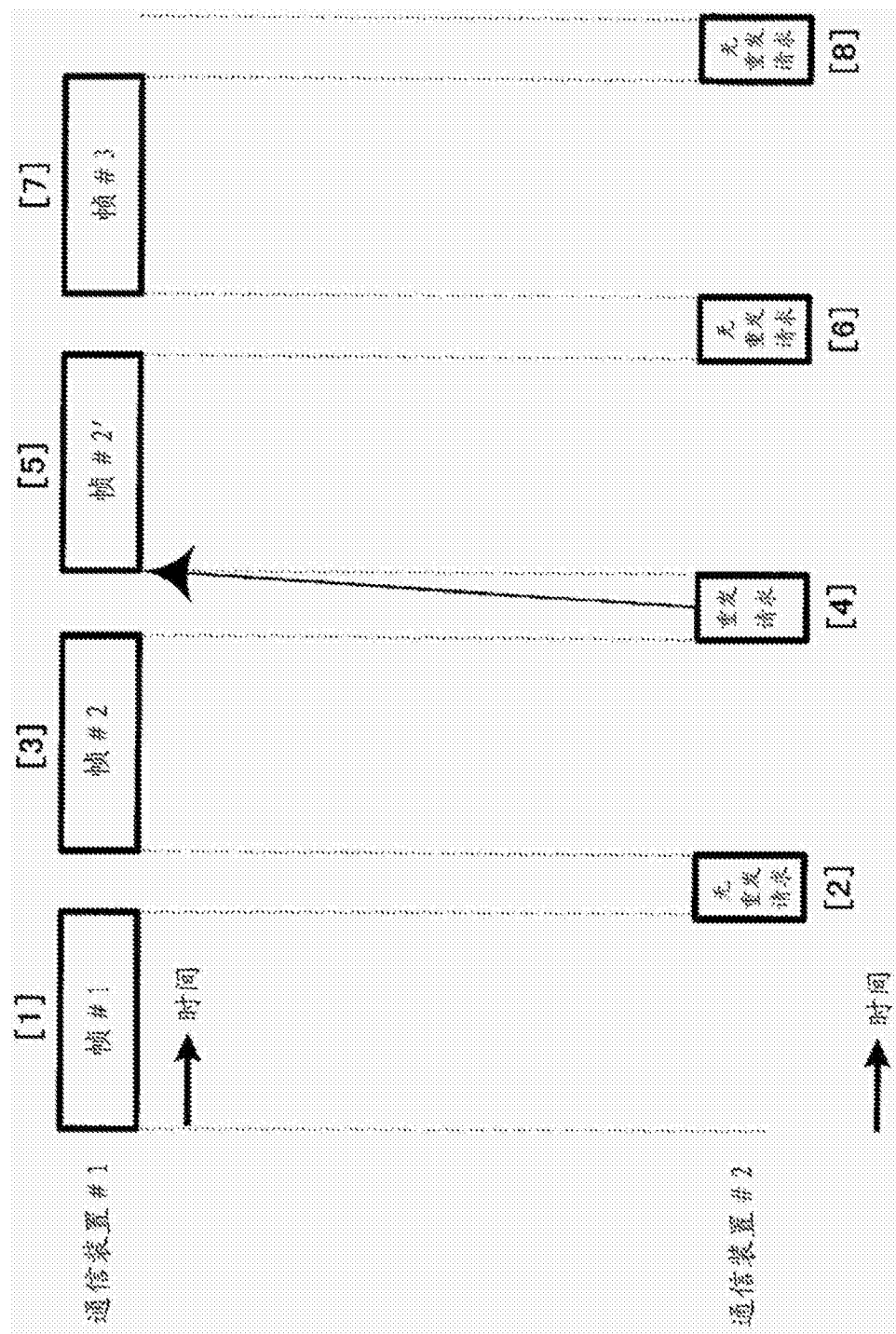


图23

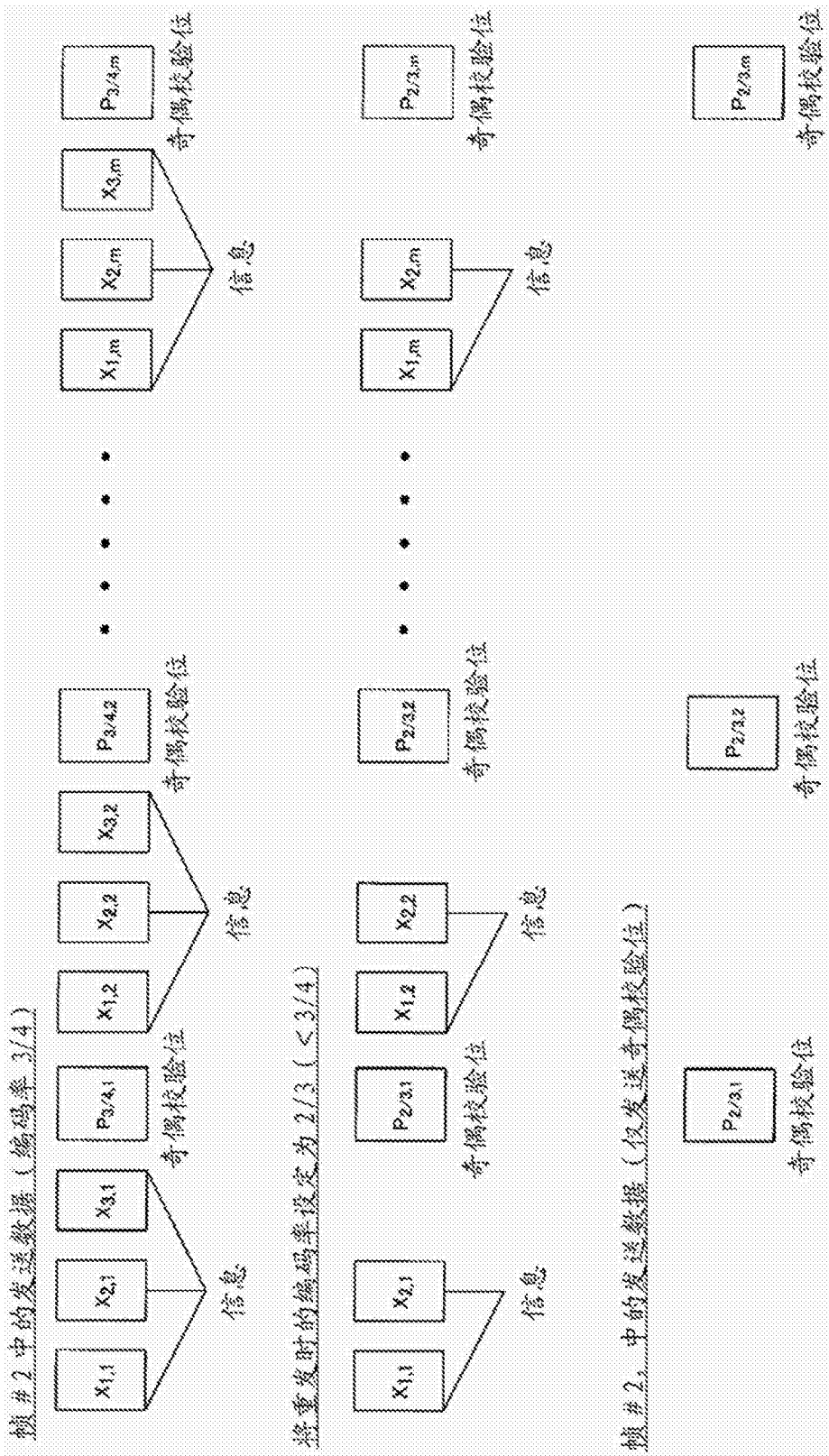


图24

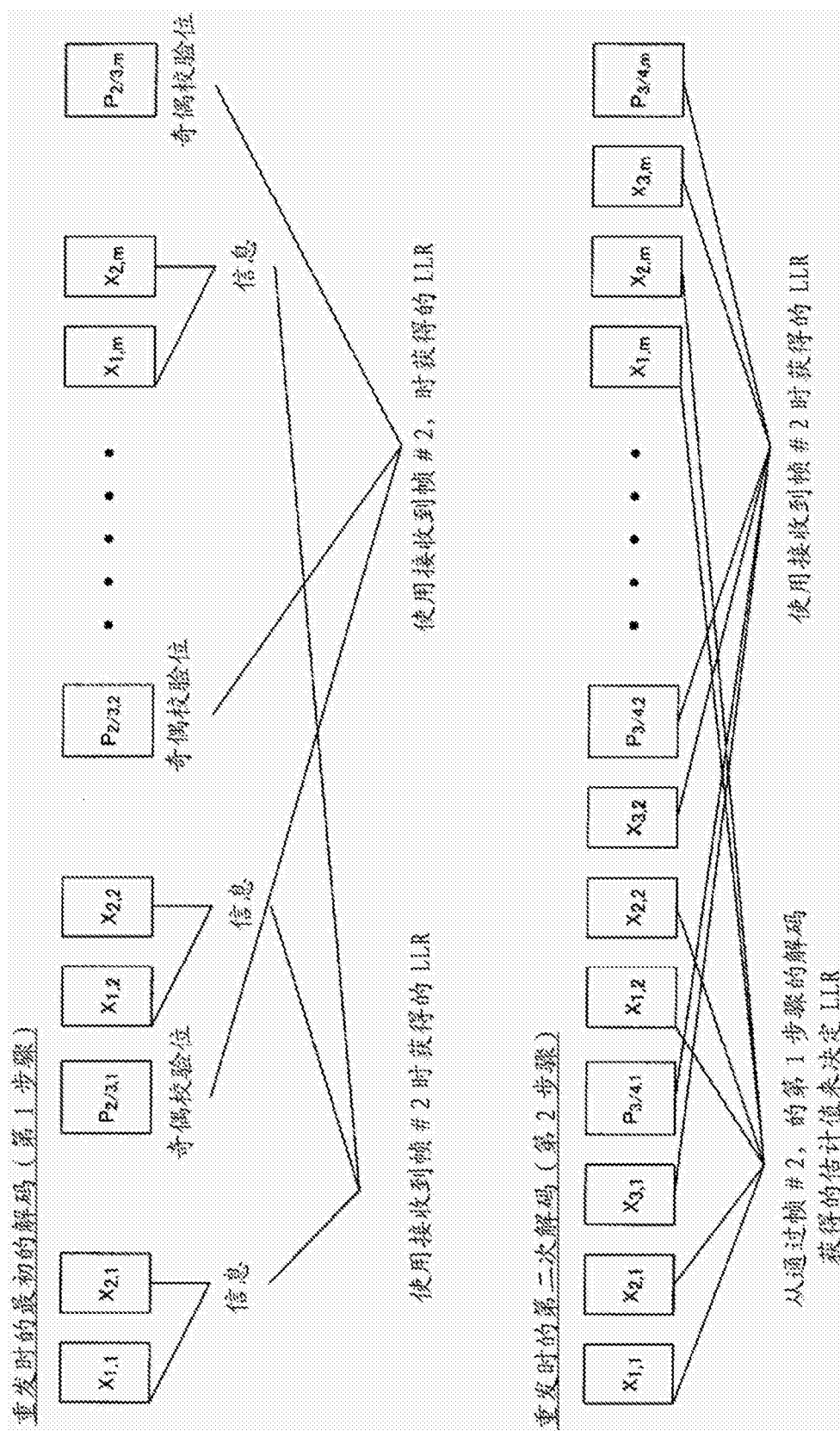


图25

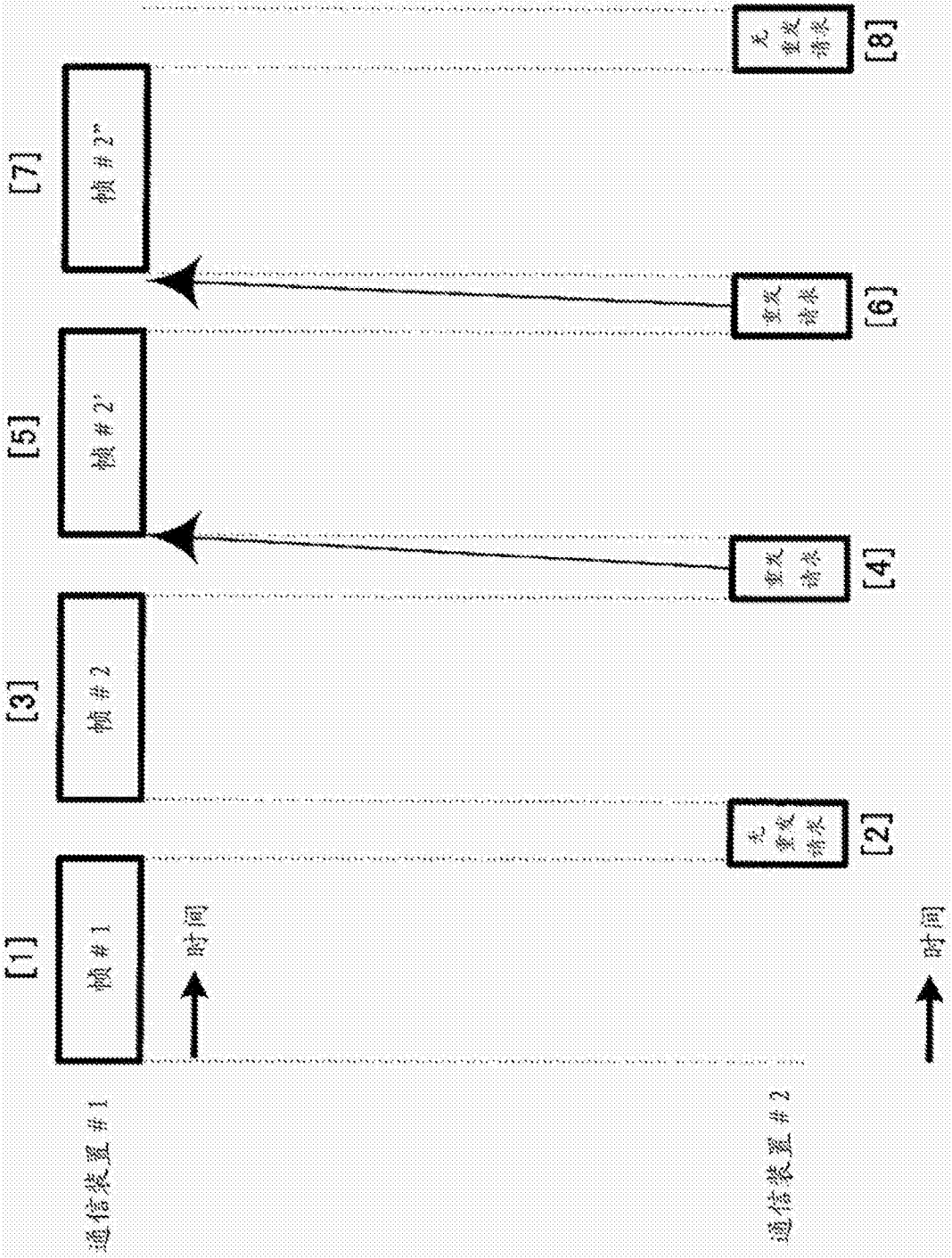


图26

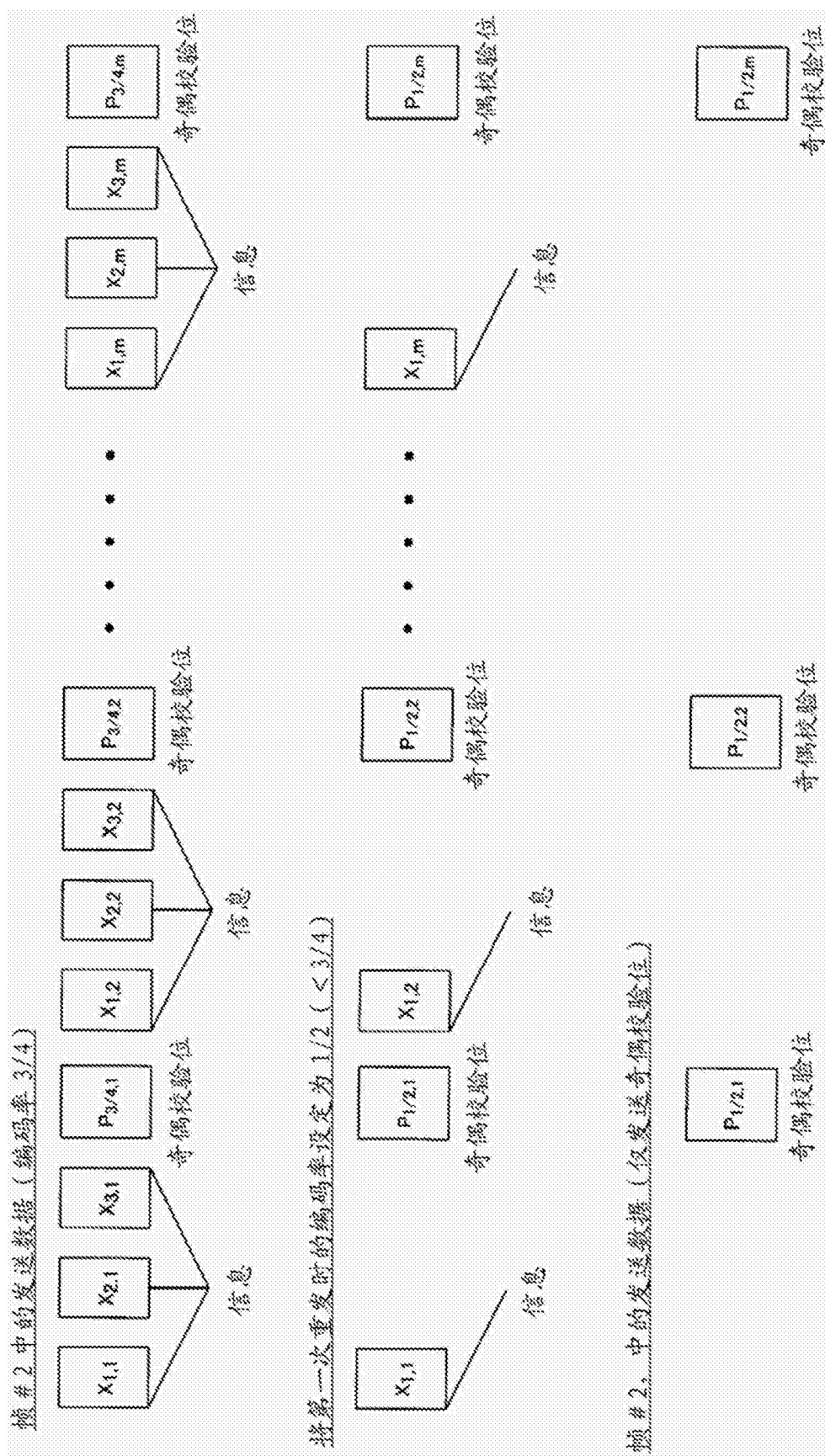


图27

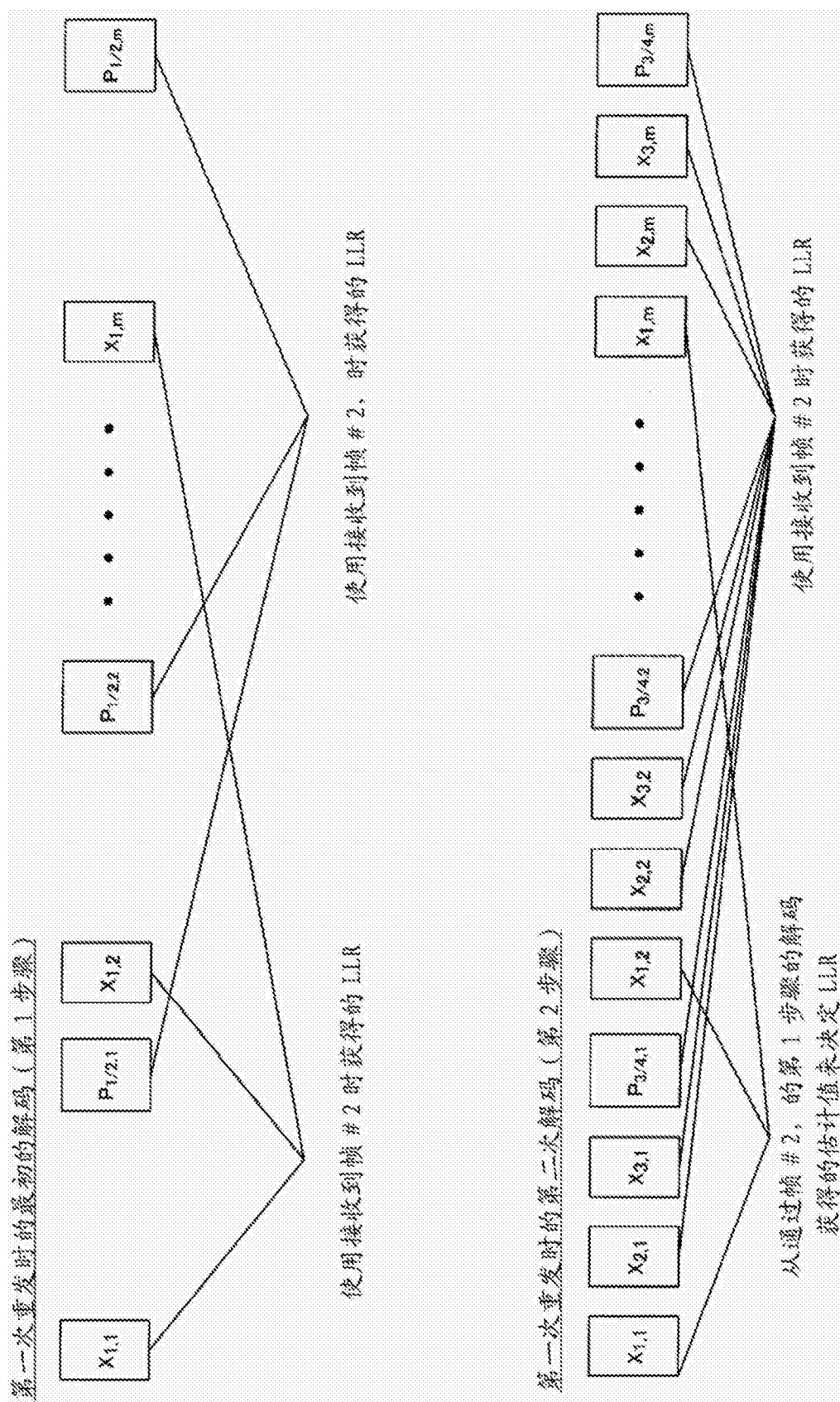


图28

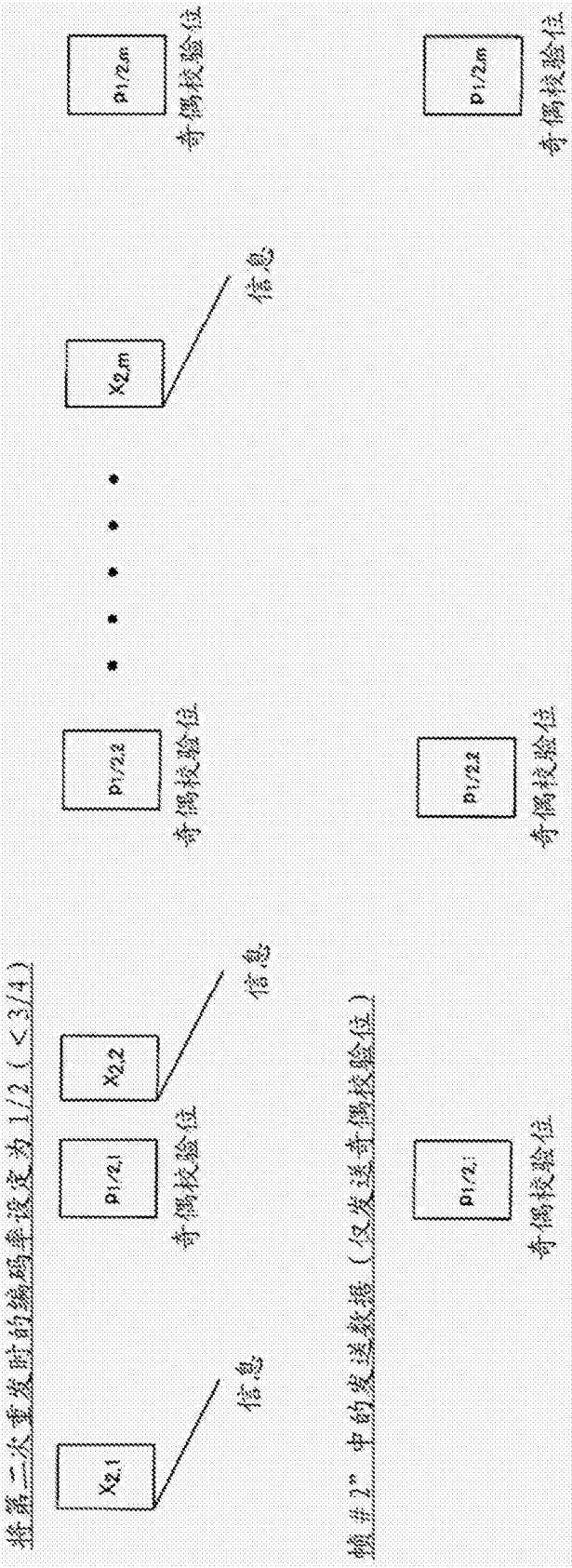


图29

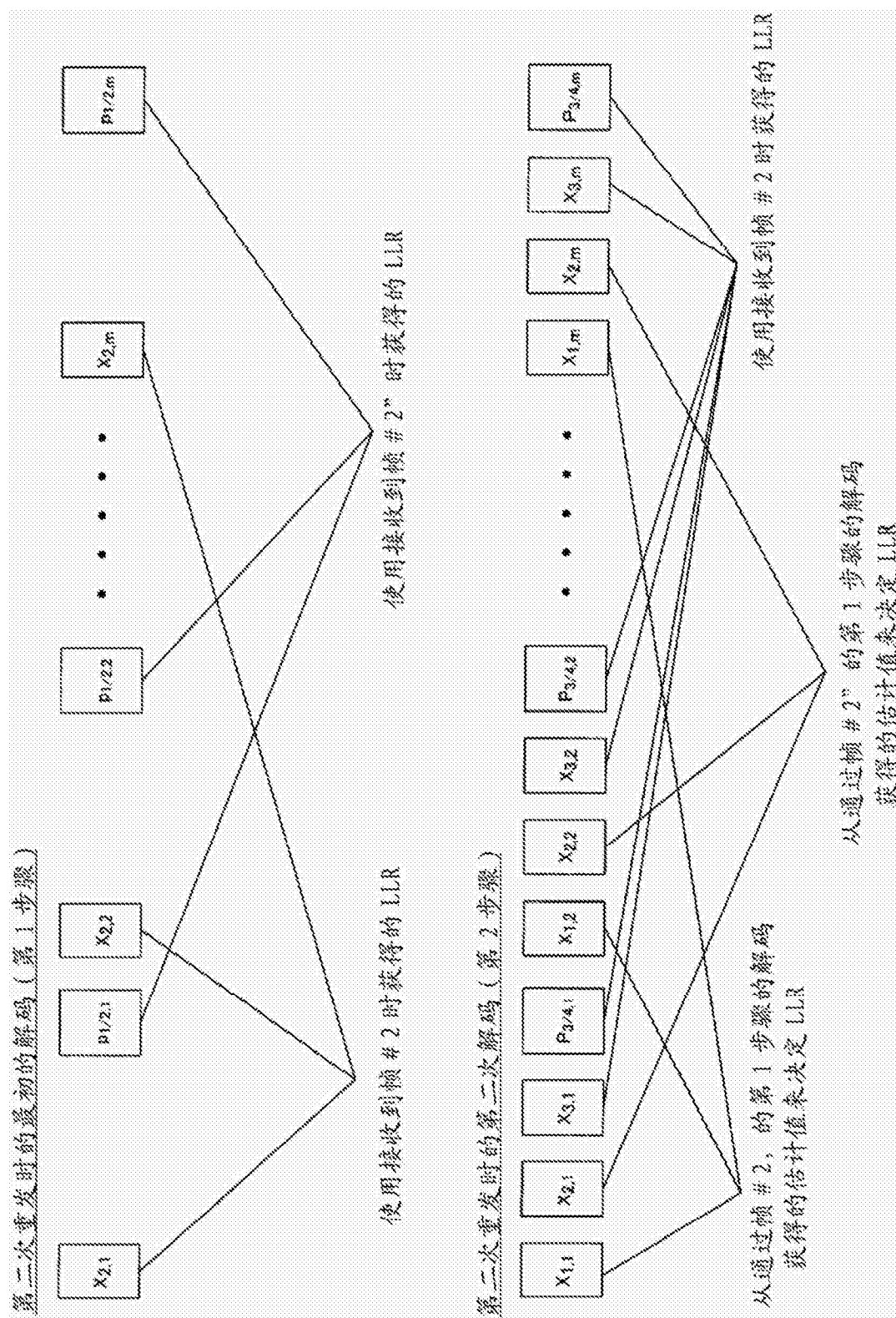


图30

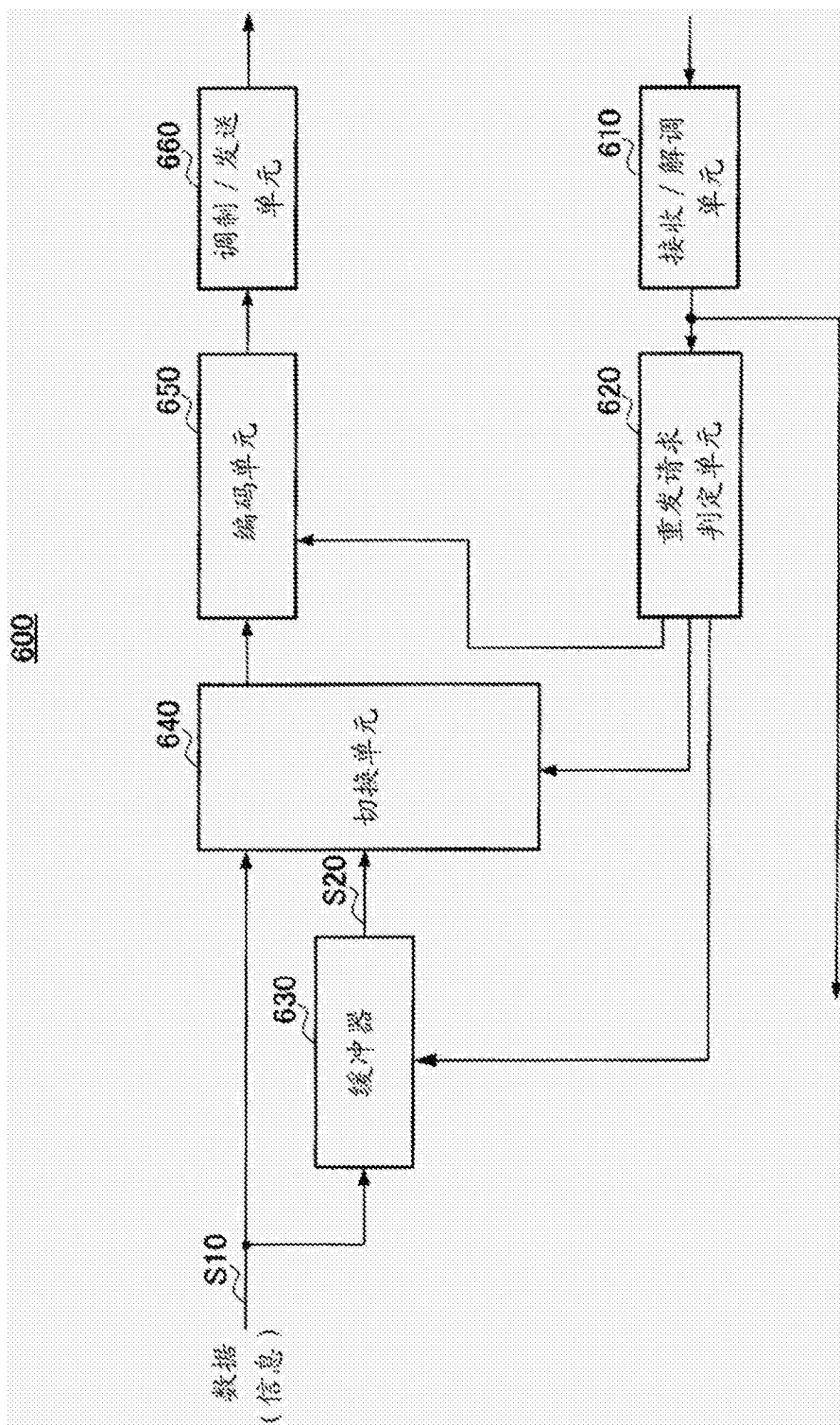


图31

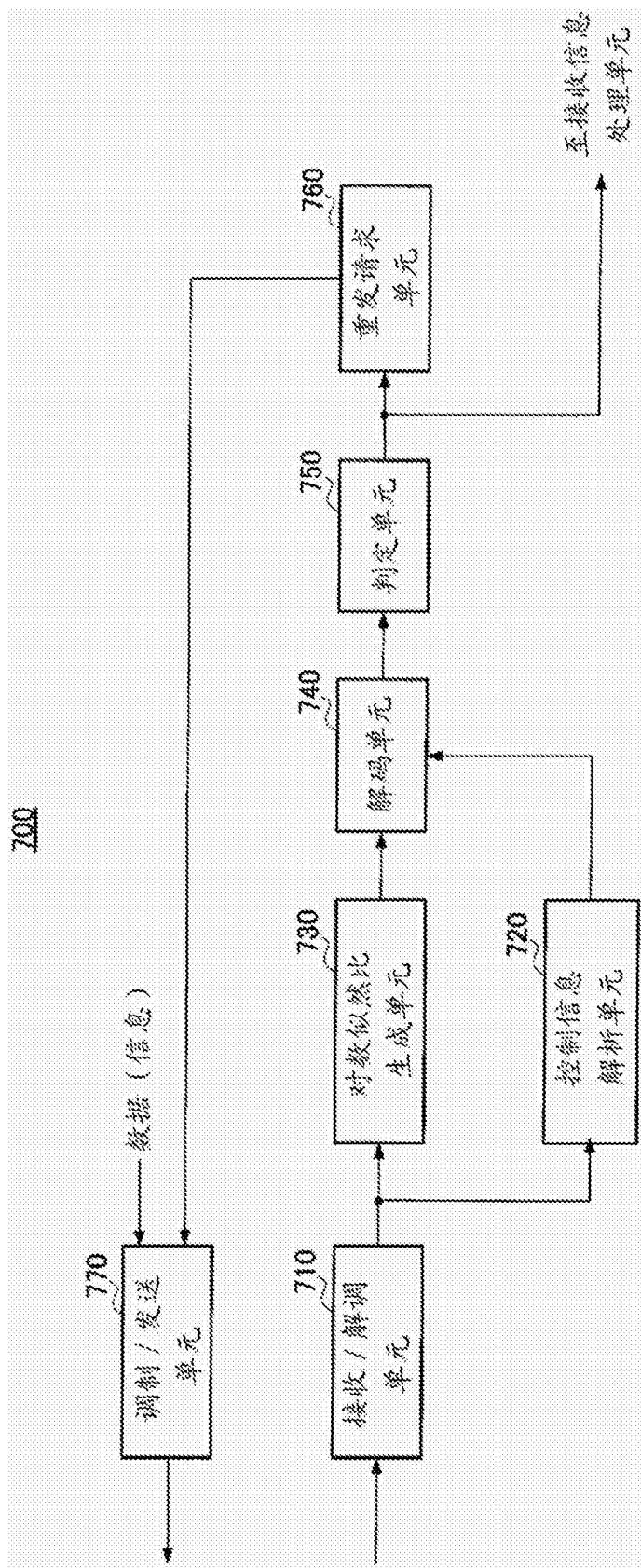


图32