



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1983823 B

(45) 授权公告日 2010.05.12

(21) 申请号 200610085079.8

栏一第 6 栏,说明书附图 1.

(22) 申请日 2006.05.31

审查员 李芳

(30) 优先权数据

2005-362340 2005.12.15 JP

(73) 专利权人 富士通株式会社

地址 日本神奈川县川崎市

(72) 发明人 金冈利知 森田俊彦

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 李辉

(51) Int. Cl.

H03M 13/11 (2006.01)

H03M 13/19 (2006.01)

G11B 20/18 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1564466 A, 2005.01.12, 全文.

CN 1614896 A, 2005.05.11, 全文.

US 6757122 B1, 2004.06.29, 说明书第 5

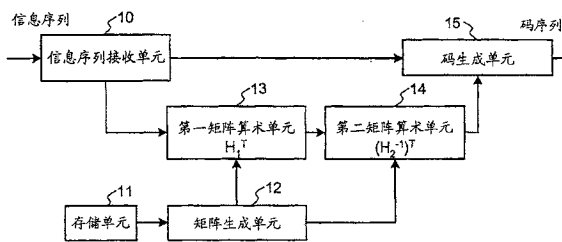
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 9 页

(54) 发明名称

编码器、解码器、以及编码和解码的方法

(57) 摘要

编码器、解码器、以及编码和解码的方法。使用低密度奇偶校验码将码长度为 N 的信息序列编码为码序列,其中 $N = K + M$, K 是信息长度, M 是奇偶长度。该低密度奇偶校验码是基于 M 行 N 列的矩阵 H 生成的。矩阵 H 包括校验矩阵 H_2 和校验矩阵 H_1 。校验矩阵 H_2 有 M 行 M 列,其为循环置换矩阵,校验矩阵 H_2 存在逆矩阵并且其列权为 3。校验矩阵 H_1 有 M 行 K 列。



1. 一种通过使用低密度奇偶校验码来将信息序列编码为码序列的编码器,该码序列的码长度为 N ,其中 $N = K+M$, K 是信息长度, M 是奇偶长度,该编码器包括:

信息获取单元,用于获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的低密度奇偶校验码的生成矩阵的信息,所述 M 行 N 列的校验矩阵是由 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成的,所述第一矩阵是列权为 3 的正则循环置换矩阵,其中关于生成矩阵的信息包括关于用于生成第二矩阵的循环置换矩阵中“1”的位置的信息、关于第一矩阵的逆矩阵的初始值列的信息、以及关于第一矩阵的逆矩阵和第二矩阵的行数和列数的信息;以及

编码单元,用于根据信息获取单元获取的信息将预定信息序列编码为码序列。

2. 根据权利要求 1 所述的编码器,其中,第一矩阵是列权为 3 的循环置换矩阵,其第一行上的第一列、第 $a+1$ 列和第 $b+1$ 列的元素为 1,第一行上的其他元素为 0,其中 $0 < a, b < M$ 且 $a < b$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的编码器,其中,第一矩阵的逆矩阵是列权为 3 的矩阵。

4. 根据权利要求 1 所述的编码器,其中,第一矩阵是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵。

5. 根据权利要求 4 所述的编码器,其中,出现长度为 4 的循环的条件是满足以下任何一项: $a = b-a$ 、 $b-a = M-b$ 、 $M-b = a$ 、 $b = M-b$ 、 $M-a = a$ 和 $M-b+a = b-a$ 。

6. 根据权利要求 4 所述的编码器,其中,第一矩阵的逆矩阵是列权为 5 的矩阵。

7. 根据权利要求 1 所述的编码器,其中,编码单元通过将奇偶序列添加到信息序列来将信息序列编码为低密度奇偶校验码,所述奇偶序列是通过计算信息序列与第二矩阵的转置矩阵的乘积,并然后将该乘积与第一矩阵的逆矩阵的转置矩阵相乘而生成的。

8. 根据权利要求 1 所述的编码器,其中,第二矩阵是通过从阵列码中的 P 行 Q 列的校验矩阵提取出 M 行 K 列的子矩阵而生成的矩阵,其中 $M < P$ 且 $K < Q$,并且 P 行 Q 列的校验矩阵是正则低密度奇偶校验码,而 M 行 K 列的子矩阵是非正则低密度奇偶校验码。

9. 一种使用阵列码将信息序列编码为码序列的编码器,该码序列的码长度为 N ,其中 $N = K+M$, K 是信息长度, M 是奇偶长度,该编码器包括:

信息获取单元,用于获取关于由第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵定义的生成矩阵的信息,该第一矩阵是列权为 3 的正则循环置换矩阵,该第二矩阵是通过从校验矩阵中提取出矩阵而形成的,所述校验矩阵是通过形成阵列码中的校验矩阵的循环置换矩阵中彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定的列而获得的;

编码单元,用于根据信息获取单元获取的信息将信息序列编码为码序列。

10. 根据权利要求 9 所述的编码器,进一步包括信息生成单元,所述信息生成单元通过计算如下两个矩阵的乘积来生成关于生成矩阵的信息:通过对形成阵列码中的校验矩阵的循环置换矩阵中彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定的列而获得的矩阵与该循环置换矩阵,其中

信息获取单元获取该信息生成单元生成的信息。

11. 一种解码器,用于对使用低密度奇偶校验码编码的码序列进行解码,该码序列的码长度为 N ,其中 $N = K+M$, K 是信息长度, M 是奇偶长度,该解码器包括:

信息获取单元,用于获取关于由 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵定义的低密度奇偶校验码的 M 行 N 列的校验矩阵的信息,所述第一矩阵是列权为 3 的正则循环置换

矩阵,其中关于校验矩阵的信息包括关于用于生成第二矩阵的循环置换矩阵中“1”的位置的信息、关于第一矩阵的逆矩阵的初始值列的信息、以及关于第一矩阵的逆矩阵和第二矩阵的行数和列数的信息;以及

解码单元,用于根据信息获取单元获取的信息对码序列进行解码。

12. 根据权利要求 11 所述的解码器,其中,第一矩阵是列权为 3 的循环置换矩阵,其第一行上的第一列、第 $a+1$ 列和第 $b+1$ 列的元素为 1,第一行上的其他元素为 0,其中 $0 < a, b < M$ 且 $a < b$ 。

13. 根据权利要求 12 所述的解码器,其中,第一矩阵的逆矩阵是列权为 3 的矩阵。

14. 根据权利要求 11 所述的解码器,其中,第一矩阵是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵。

15. 根据权利要求 14 所述的解码器,其中,出现长度为 4 的循环的条件是满足以下任何一项: $a = b-a$ 、 $b-a = M-b$ 、 $M-b = a$ 、 $b = M-b$ 、 $M-a = a$ 和 $M-b+a = b-a$ 。

16. 根据权利要求 14 所述的解码器,其中,第一矩阵的逆矩阵是列权为 5 的矩阵。

17. 根据权利要求 11 所述的解码器,其中,第二矩阵由通过对形成阵列码中的校验矩阵的循环置换矩阵中彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的矩阵形成。

18. 根据权利要求 11 所述的解码器,其中,第二矩阵是通过从阵列码中的 P 行 Q 列的校验矩阵提取出 M 行 K 列的子矩阵而生成的矩阵,其中 $M < P$ 且 $K < Q$,并且 P 行 Q 列的校验矩阵是正则低密度奇偶校验码,而 M 行 K 列的子矩阵是非正则低密度奇偶校验码。

19. 一种编码方法,包括向信息长度为 K 的预定信息序列添加奇偶长度为 M 的奇偶序列从而使用低密度奇偶校验码将该信息序列编码为码长度为 N 的码序列,其中 $N = K+M$,该方法包括以下步骤:

获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的低密度奇偶校验码的生成矩阵的信息,所述 M 行 N 列的校验矩阵是由 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成的,所述第一矩阵是列权为 3 的正则循环置换矩阵,其中关于生成矩阵的信息包括关于用于生成第二矩阵的循环置换矩阵中“1”的位置的信息、关于第一矩阵的逆矩阵的初始值列的信息、以及关于第一矩阵的逆矩阵和第二矩阵的行数和列数的信息;以及

根据在获取步骤获取的信息将预定信息序列编码为码序列。

20. 一种解码方法,用于对使用低密度奇偶校验码编码的码序列进行解码,该码序列的码长度为 N,其中 $N = K+M$,K 是信息长度,M 是奇偶长度,该方法包括以下步骤:

获取关于由 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵定义的低密度奇偶校验码的 M 行 N 列的校验矩阵的信息,所述第一矩阵是列权为 3 的正则循环置换矩阵,其中关于校验矩阵的信息包括关于用于生成第二矩阵的循环置换矩阵中“1”的位置的信息、关于第一矩阵的逆矩阵的初始值列的信息、以及关于第一矩阵的逆矩阵和第二矩阵的行数和列数的信息;以及

根据在获取步骤获取的信息对码序列进行解码。

编码器、解码器、以及编码和解码的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用低密度奇偶校验 (LDPC) 码对信息进行编码的编码器、以及使用 LDPC 码对编码信息进行解码的解码器。更具体地,本发明涉及一种使用阵列码对信息进行编码的编码器以及对编码信息进行解码的解码器。

背景技术

[0002] 作为纠错技术,低密度奇偶校验 (LDPC) 码引人注目。LDPC 码的优点在于其为在校验矩阵中“1”较少的线性码。因为码长度较大且码具有随机性,所以 LDPC 码比常规码具有显著较高的纠错能力。使用 LDPC 码,可以使用称为和积解码方法的迭代解码方法来有效地对码序列进行解码。

[0003] 将 LDPC 码应用于检测磁盘装置中的错误。可以用来检测磁盘装置中的错误的 LDPC 码例如需要具有令人满意的瀑布特性 (waterfallcharacteristic)、低错误基底 (error floor)、短奇偶长度、高编码率和短的码长度,并且其应该是系统码。此外,编码器和解码器的电路规模应该很小。仍然必须开发可以满足所有这些要求的 LDPC 码。

[0004] 系统码是通过从信息序列生成奇偶序列并将该奇偶序列添加到该信息序列而生成的码。图 6 是用于说明系统码的图。

[0005] 如图 6 所示,该系统码是通过向信息长度为 K 的信息序列添加奇偶长度为 M 的奇偶序列来产生码序列的码。该码序列的码长度是 $N(N = K+M)$ 。

[0006] 图 7 是使用常规 LDPC 码系统的磁盘装置的编码 / 解码部的功能构成的图。如图 7 所示,该编码 / 解码部包括 LDPC 编码器 1、部分响应 (PR) 通道 2、通道后验概率 (APP) 解码器 3、LDPC 解码器 4 和阈值判断单元 5。

[0007] LDPC 编码器 1 是将输入信息序列 u_k 编码为 LDPC 码序列 x_k 的编码器。PR 通道 2 是如下通道:根据部分响应系统将经 LDPC 编码器 1 编码的 LDPC 码序列 x_k 记录在磁盘中,再现磁盘中记录的信息 y_k ,并将再现的信息 y_k 输出到通道 APP 解码器 3。

[0008] 通道 APP 解码器 3 是对从 PR 通道 2 接收的信息 y_k 应用最大似然 (ML) 解码并将关于 LDPC 码序列 x_k 的外部信息 $\Lambda e(x_k')$ 作为对数似然比输出到 LDPC 解码器 4 的解码器。

[0009] LDPC 解码器 4 是如下的解码器:以外部信息 $\Lambda e(x_k')$ 作为先验概率进行可靠度传播运算,更新关于 LDPC 码序列 x_k 的外部信息 $\Lambda e(x_k')$,并根据外部信息 $\Lambda e(x_k')$ 计算关于信息序列 u_k 的估计值 u_k' 的后验概率 $\Lambda(u_k')$ 。

[0010] 该 LDPC 解码器 4 将更新的外部信息 $\Lambda e(x_k')$ 输出到通道 APP 解码器 3,从而将外部信息 $\Lambda e(x_k')$ 用作先验信息。LDPC 解码器 4 重复该处理预定次数,然后将关于后验概率 $\Lambda(u_k')$ 的信息输出到阈值判断单元 5。

[0011] 阈值判断单元 5 可以通过从 LDPC 解码器 4 获得关于后验概率 $\Lambda(u_k')$ 的信息并对后验概率 $\Lambda(u_k')$ 进行阈值判断,获得对信息序列 u_k 的估计值 u_k' 。

[0012] LDPC 码是线性块码,由校验矩阵 H 定义。图 8 是校验矩阵 H 的示例的图。当码长度为 N 且奇偶长度是 M 时,校验矩阵 H 为 M 行 N 列。

[0013] 校验矩阵 H 和码矩阵 x 的关系如下：

$$[0014] \quad Hx^T = 0$$

[0015] 其中, x 是 N 维向量, 0 是 N 维零向量, T 表示 x 的转置。

[0016] 当从信息序列 u 生成码序列 x 时, 使用下述的生成矩阵 G：

$$[0017] \quad x = uG$$

[0018] 其中, 信息序列 u 是 K 维向量, 生成矩阵 G 是 K 行 N 列的矩阵。

[0019] 生成矩阵 G 与信息序列 u、码序列 x 和校验矩阵 H 具有下述关系。

$$[0020] \quad HG^T = 0$$

[0021] 其中 0 是 M 行 K 列的零矩阵。

[0022] 如果在硬盘装置中包括的大规模集成电路 (LSI) 中的存储器内保存校验矩阵 H 和生成矩阵 G, 则 LSI 的电路规模变大。因此, 已经进行了试验以使得可以容易地在 LSI 中保存这些矩阵的结构或容易地生成这些矩阵。

[0023] 例如, 作为构成校验矩阵 H 的方法, 存在使用阵列码的方法。在通过将阵列码应用于 LDPC 码而获得的阵列 LDPC 码中, 使用循环置换矩阵来构造校验矩阵 H (例如参见 John L. Fan, "Array Codes as Low-Density Parity-Check Codes", in Proc. 2nd. Int. Symp. Turbo Codes, Brest, France, Sept. 2000, pp. 543-546)。

[0024] 下面示出阵列 LDPC 码的校验矩阵 H 的示例：

[0025]

$$H = \begin{bmatrix} I & I & I & \dots & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \dots & \sigma^{k-1} \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \dots & \sigma^{2(k-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I & \sigma^{j-1} & \sigma^{2(j-1)} & \dots & \sigma^{(j-1)(k-1)} \end{bmatrix}$$

[0026] 其中, I 是 p 行 p 列的单位矩阵 (p 为质数 : p = 1, 3, 5, 7, 11, …)。j 和 k 分别是校验矩阵 H 的行权和列权, 并满足关系 j, k ≤ p。

[0027] σ 是通过在行或列方向移动单位矩阵 I 的“1”而获得的 p 行 p 列循环置换矩阵。下面示出 σ 的示例：

$$[0028] \quad \sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0029] 阵列 LDPC 码具有如下特征：在 Tanner 图中没有长度为 4 的循环, 可以防止解码性能劣化并构造校验矩阵 H。然而, 生成矩阵 G 的缺点在于, 生成矩阵 G 通常不具有特定结构。

[0030] 因此, 也已经提出了使用结构化校验矩阵对信息序列递归地进行编码的方法。然而, 编码时的计算复杂度增加 (例如参见美国专利第 6895547 号的说明书)。

[0031] 也已经提出了抑制编码时的计算复杂度并实现低错误基底的不规则重复累积 (IRA)-LDPC 码 (例如参见 M. Yang, W. E. Ryan, and Y. Li, "Design of efficiently encodable moderate-length high-rate irregular LDPC codes", IEEE Trans. Comm.,

Vol. 52, No. 4, pp. 564-571, April 2004)。

[0032] 在该 IRA-LDPC 码中,将 M 行 N 列的校验矩阵 H 分为 M 行 M 列的方阵 H_2 和剩下的 M 行 K 列 ($K = N-M$) 的矩阵 H_1 。

$$[0033] \quad H = [H_1 \quad H_2]$$

[0034] 在这种情况下,生成矩阵 G 表示如下:

$$[0035] \quad G = [I(H_2^{-1} \quad H_1)^T]$$

[0036] 在 IRA-LDPC 码中,校验矩阵 H_1 是随机生成的矩阵(随机交织器),校验矩阵 H_2 具有如下表示的 $1+D$ (D 表示 1 延迟)的结构。

$$[0037] \quad H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0038] 其中,“+”是异或算符。

[0039] 图 9 是用于说明进行常规 IRA-LDPC 编码的编码器的图。如图 9 所示,该编码器将信息序列 u 乘以校验矩阵 H_1^T ,并对乘法的输出应用传递函数 $1/(1+D)$,由此从信息序列 u 生成奇偶序列 p 。

[0040] 然而,如果将常规 IRA-LDPC 码应用于允许码间干扰的装置(如使用部分响应系统的磁盘装置),那么,如果在校验矩阵 H 中存在连续“1”的部分,则错误率特性不令人满意。

[0041] 具体地,IRA-LDPC 码中的校验矩阵 H_2 的列权为 2。当存在码间干扰时,容易出现位间错误传播,纠错能力的下降不可避免。列权为 2 的 LDPC 码在错误基底特性方面很差是广为人知的。

[0042] 因此,需要一种在构造校验矩阵时可以控制错误率特性的劣化、减小与编码和解码相关的计算复杂度、并缩小编码电路和解码电路的电路规模的技术。

发明内容

[0043] 本发明的目的是至少解决常规技术的问题。

[0044] 根据本发明的一方面,一种通过使用低密度奇偶校验(LDPC)码来将码长度为 N ($N = K+M$,其中 K 是信息长度, M 是奇偶长度)的信息序列编码为码序列的编码器包括:信息获取单元,用于获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的 LDPC 码的生成矩阵的信息,所述 M 行 N 列的校验矩阵由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成;以及编码单元,用于根据信息获取单元获取的信息将预定的信息序列编码为码序列。

[0045] 根据本发明的另一方面,一种使用阵列码对信息序列进行编码的编码器包括:信息获取单元,用于获取关于由如下获得的矩阵形成的校验矩阵定义的生成矩阵的信息:对形成该阵列码中校验矩阵的循环置换矩阵中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定的列;编码单元,用于根据信息获取单元获取的信息将信息序列编码为码序列。

[0046] 根据本发明的另一方面,一种向信息长度为 K 的预定信息序列添加奇偶长度为 M 的奇偶序列从而对使用低密度奇偶校验 (LDPC) 码编码的码长度为 $N(N = K+M)$ 的码序列进行解码的解码器包括:信息获取单元,用于获取关于由 M 行 N 列校验矩阵定义的 LDPC 码的该校验矩阵的信息,所述 M 行 N 列校验矩阵由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成;以及解码单元,用于根据信息获取单元获取的信息对码序列进行解码。

[0047] 根据本发明的另一方面,一种包括向信息长度为 K 的预定信息序列添加奇偶长度为 M 的奇偶序列从而使用低密度奇偶校验 (LDPC) 码将该信息序列编码为码长度为 $N(N = K+M)$ 的码序列的编码方法包括以下步骤:获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的 LDPC 码的生成矩阵的信息,所述 M 行 N 列的校验矩阵由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成;以及根据在获取步骤获取的信息将预定信息序列编码为码序列。

[0048] 根据本发明的另一方面,一种包括向信息长度为 K 的预定信息序列添加奇偶长度为 M 的奇偶序列从而对使用低密度奇偶校验 (LDPC) 码编码的码长度为 $N(N = K+M)$ 的码序列进行解码的解码方法包括以下步骤:获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的低密度奇偶校验码的该校验矩阵的信息,所述校验矩阵是由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成的;以及根据在获取步骤获取的信息对码序列进行解码。

[0049] 结合附图来阅读以下对本发明当前优选实施例的详细说明,将更好地理解本发明的以上和其他目标、特征、优点以及技术和工业意义。

附图说明

[0050] 图 1 是用于说明根据本发明第一实施例的出现 4 循环的原因的图;

[0051] 图 2 是用于说明根据第一实施例的生成校验矩阵 H_1 的方法的图;

[0052] 图 3A 到 3D 是与各种奇偶长度对应的初始值列的图;

[0053] 图 4 是根据第一实施例的编码器的功能框图;

[0054] 图 5 是根据第一实施例的解码器的功能框图;

[0055] 图 6 是用于说明系统码的图;

[0056] 图 7 是常规的编码/解码部的功能框图;

[0057] 图 8 是校验矩阵 H 的示例的图;以及

[0058] 图 9 是常规编码器的图。

具体实施方式

[0059] 下面参照附图详细说明本发明的示例性实施例。

[0060] 在根据本发明第一实施例的 LDPC 码中, M 行 N 列的校验矩阵 H 如下所示地由两个矩阵形成,即,作为 M 行 M 列方阵的校验矩阵 H_2 和剩下的 M 行 K 列 ($K = N-M$) 的校验矩阵 H_1 :

[0061] $H = [H_1 \ H_2]$ 。

[0062] 可以如下表示生成矩阵 G :

[0063] $G = [I(H_2^{-1} \ H_1)^T]$ 。

[0064] 换言之，

[0065] $HG^T = [H_1 \ H_2][I(H_2^{-1} \ H_1)^T]^T$

[0066] $= H_1I + H_2(H_2^{-1} \ H_1)$

[0067] $= H_1 + H_1$

[0068] $= 0$ 。

[0069] “+”是异或算子。

[0070] 对校验矩阵 H_1 使用阵列码。在这种情况下，校验矩阵 H_1 表示如下。

[0071]

$$H_1 = \begin{bmatrix} I & I & I & \dots & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \dots & \sigma^{k-1} \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \dots & \sigma^{2(k-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I & \sigma^{j-1} & \sigma^{2(j-1)} & \dots & \sigma^{(j-1)(k-1)} \end{bmatrix}$$

[0072] 其中 I 是 p 行 p 列 (p 是质数: $p = 1, 3, 5, 7, 11, \dots$) 的单位矩阵。 j 和 k 分别是校验矩阵 H 的列权和行权, 并满足关系 $j, k \leq p$, σ 是通过沿行或列方向移动单位矩阵 I 的“1”而获得的 p 行 p 列循环置换矩阵。

[0073] 下面是沿行方向移动“1”的示例:

[0074] $\sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

[0075] 下面是沿行方向移动“1”的示例:

[0076] $\sigma = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

[0077] 在校验矩阵 H_1 中, 将左上角的元素设置为 $I (= \sigma^0)$ 。也可以将校验矩阵 H_1 的左上角的元素设置为任意元素 $\sigma^n (n \leq (j-1)(k-1))$, 并将通过使剩余的元素在行或列方向循环而获得的矩阵用作校验矩阵 H_1 。

[0078] 例如, 当 $\sigma (= \sigma^1)$ 是左上角的元素时, 使剩余的元素如下循环以生成校验矩阵 H_1 。

[0079]

$$H_1 = \begin{bmatrix} \sigma & \sigma^2 & \dots & \sigma^{k-1} & I \\ \sigma^2 & \sigma^4 & \dots & \sigma^{2(k-1)} & I \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \sigma^{j-1} & \sigma^{2(j-1)} & \dots & \sigma^{(j-1)(k-1)} & I \\ I & I & \dots & I & I \end{bmatrix}$$

[0080] 其中 p 是质数, 因为, 当 p 不是质数时, 校验矩阵 H₁ 中的循环置换矩阵的循环长度减小, 如果使用该循环置换矩阵创建校验矩阵 H₁ 则校验矩阵 H₁ 具有 4 循环。

[0081] 然而, 当 p 是质数且循环置换矩阵的循环长度大于校验矩阵 H₁ 的行数和列数时, 不出现 4 循环。将该条件表示为 j, k ≤ p (p 是质数)。图 1 是用于说明出现 4 循环原因的图。

[0082] 如图 1 所示, 发现虽然当 p 是质数 5 时在矩阵 H₁ 中不出现 4 循环, 但是当 p 是非质数 6 时, 循环置换矩阵的循环长度减小, 从而由于循环矩阵 I 而引起 4 循环。

[0083] 由 (j × p) 行 (k × p) 列、列权为 j 行权为 k 的校验矩阵 H₁ 定义的这种阵列码是正则 LDPC 码, 行数和列数有限。因此, 切出并使用校验矩阵 H₁ 的一部分, 从而消除行数和列数的限制并生成列权和行权不一致的非正则 LDPC 码。

[0084] 图 2 是用于说明生成校验矩阵 H₁ 的方法的图。图 2 示出了其中 p = 7、j = 3、k = 4 并且生成 16 行 24 列的校验矩阵 H₁ 的示例。当生成校验矩阵 H₁ 时, 首先, 使用 7 行 7 列的循环置换矩阵生成 21 行 28 列的阵列码的校验矩阵 H_{array}。从校验矩阵 H_{array} 切出 16 行 24 列的矩阵并将其设置为校验矩阵 H₁。

[0085] 另一方面, 校验矩阵 H₂ 是列权为 3 的循环置换矩阵。然而, 确定“1”的位置以使得不存在 4 循环且逆矩阵是稀疏的。稀疏矩阵表示“1”的数目极少且“0”的数目很大的矩阵。在本说明中, 选择列权为 5 的逆矩阵作为稀疏逆矩阵。

[0086] 下面示出的校验矩阵 H₂ 是奇偶长度为 16 且初始值列为 {0, 2, 6} 的示例。

[0087] $H_2 =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0088] 初始值列 $\{0, a, b\}$ ($0 < a, b < M$, 且 $a < b$) 是用于指定在列权为 3 的循环置换矩阵的第一行上 3 个“1”的位处于哪列的信息。具体地, 初始值列 $\{0, a, b\}$ 指出校验矩阵 H_2 的第一行上的第一列、第 $a+1$ 列和第 $b+1$ 列的元素为“1”, 其他元素为“0”。

[0089] 由于校验矩阵 H_2 是循环置换矩阵, 因此当确定了初始值列时, 可以根据初始值列确定校验矩阵 H_2 的所有元素。因此, 编码器不需要保存校验矩阵 H_2 的所有元素的值, 只需要保存关于初始值列的信息。这样, 可以实现电路规模的缩小。

[0090] 校验矩阵 H_2 的逆矩阵 H_2^{-1} 是:

$$[0091] \quad H_2^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0092] 这样, 当校验矩阵 H_2 是初始值列为 $\{0, 2, 6\}$ 的矩阵时, 逆矩阵 H_2^{-1} 的列权为 5。像校验矩阵 H_2 一样, 逆矩阵 H_2^{-1} 也是循环置换矩阵。因此, 编码器只需要保存关于初始值列的信息来生成逆矩阵 H_2^{-1} 。因此, 可以实现电路规模的缩小以及算术运算速度的提高。

[0093] 列权为 3、没有 4 循环、存在逆矩阵且逆矩阵的列权为 5 的循环置换矩阵 H_2 的初始值列取决于奇偶长度。通过计算机搜索可以容易地检查出满足条件的奇偶长度与初始值列之间的关系。

[0094] 当允许 4 循环时, 可以将逆矩阵的列权设置为小于 5。具体地, 可以将逆矩阵的列权减小到 3。通过由计算机搜索来检查其逆矩阵列权如此为 3 的循环置换矩阵 H_2 并使用该循环置换矩阵 H_2 , 可以使逆矩阵稀疏, 减小与编码相关的计算复杂度, 并缩小电路规模。

[0095] 下面说明计算机进行的对初始值列的搜索的结果。图 3A 到 3D 是对应于各种奇偶长度 M 的初始值列 $\{0, a, b\}$ 的图。在图 3A 到 3D 中, 省略了用于对初始值列 $\{0, a, b\}$ 的数字进行分界的逗号“,”。

[0096] 当满足下面条件中的任何一个时, 列权为 3、奇偶长度为 M 、初始值列为 $\{0, a, b\}$ 的循环置换矩阵 H_2 具有 4 循环:

[0097] (1) $a = b - a$

[0098] (2) $b - a = M - b$

[0099] (3) $M-b = a$

[0100] (4) $b = M-b$

[0101] (5) $M-a = a$

[0102] (6) $M-b+a = b-a$ 。

[0103] 因此,在搜索初始值列时,排除满足这种条件的初始值列。

[0104] 图 4 是根据本实施例的生成 LDPC 码的编码器的功能框图。该编码器对应于图 7 中所示的 LDPC 编码器 1。编码器包括信息序列接收单元 10、存储单元 11、矩阵生成单元 12、第一矩阵算术单元 13、第二矩阵算术单元 14 和码生成单元 15。

[0105] 信息序列接收单元 10 接收信息序列,并将接收的信息序列分别输出给第一矩阵算术单元 13 和码生成单元 15。存储单元 11 是诸如存储器的存储装置,并存储关于用于生成校验矩阵 H_1 的循环置换矩阵 σ 中“1”的位置的信息、关于校验矩阵 H_2 的逆矩阵 H_2^{-1} 的初始值列的信息、关于校验矩阵 H_1 和逆矩阵 H_2^{-1} 的行数和列数的信息等。

[0106] 矩阵生成单元 12 从存储单元 11 获取关于循环置换矩阵 σ 中“1”的位置的信息以及关于校验矩阵 H_1 的行数和列数的信息,根据参照图 2 说明的方法生成校验矩阵 H_1 ,并将生成的校验矩阵 H_1 的转置矩阵 H_1^T 输出到第一矩阵算术单元 13。

[0107] 矩阵生成单元 12 从存储单元 11 获取关于校验矩阵 H_2 的逆矩阵 H_2^{-1} 的初始值列的信息以及关于逆矩阵 H_2^{-1} 的行数和列数的信息,从初始值列生成校验矩阵 H_2 的逆矩阵 H_2^{-1} ,并将生成的逆矩阵 H_2^{-1} 的转置矩阵 $(H_2^{-1})^T$ 输出到第二矩阵算术单元 14。

[0108] 第一矩阵算术单元 13 计算从信息序列接收单元 10 获取的信息序列与从矩阵生成单元 12 获取的转置矩阵 H_1^T 的乘积,并将关于乘积的信息输出到第二矩阵算术单元 14。

[0109] 第二矩阵算术单元 14 从第一矩阵算术单元 13 获取关于乘积的信息,并计算所获取的乘积与从矩阵生成单元 12 获取的转置矩阵 $(H_2^{-1})^T$ 的乘积。该乘积是奇偶序列。第二矩阵算术单元 14 将该奇偶序列输出到码生成单元 15。

[0110] 码生成单元 15 将从第二矩阵算术单元 14 获取的奇偶序列添加到从信息序列接收单元 10 获取的信息序列,从而生成码序列并输出生成的码序列。

[0111] 图 5 是根据本实施例的对 LDPC 码进行解码的解码器的功能框图。该解码器对应于图 7 中所示的 LDPC 解码器 4。解码器包括外部信息接收单元 20、存储单元 21、矩阵生成单元 22 和解码处理单元 23。

[0112] 外部信息接收单元 20 从图 7 中所示的通道 APP 解码器 3 接收外部信息。存储单元 21 是诸如存储器的存储装置,并存储关于用于生成校验矩阵 H_1 的循环置换矩阵 σ 中“1”的位置的信息、关于校验矩阵 H_2 的初始值列的信息、以及关于校验矩阵 H_1 和校验矩阵 H_2 的行数和列数的信息等。

[0113] 矩阵生成单元 22 根据关于循环置换矩阵 σ 中“1”的位置的信息、关于校验矩阵 H_2 的初始值列的信息、以及关于校验矩阵 H_1 和校验矩阵 H_2 的行数和列数的信息而生成校验矩阵 H ,并将生成的校验矩阵 H 输出到解码处理单元 23。

[0114] 解码处理单元 23 根据通常使用的和积解码方法对 LDPC 码进行解码。具体地,解码处理单元 23 使用从矩阵生成单元 22 获取的校验矩阵 H ,用外部信息作为先验概率来进行可靠性传播运算,并更新关于 LDPC 码序列 x_k 的外部信息。

[0115] 解码处理单元 23 根据外部信息来计算对信息序列的估计值的后验概率。解码处

理单元 23 输出更新了的外部信息以将该外部信息用作先验信息。

[0116] 解码处理单元 23 重复处理预定次数,然后,将关于后验概率的信息输出到图 7 中示出的阈值判断单元 5。接收到该信息的阈值判断单元 5 可以通过对后验概率进行阈值判断来获取对信息序列的估计值。结果,进行了对 LDPC 码的解码。

[0117] 如上所述,在第一实施例中,编码器的第一矩阵算术单元 13 和第二矩阵算术单元 14 获取关于由 M 行 M 列的校验矩阵 H_2 (其为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵) 和 M 行 K 列的校验矩阵 H_1 形成的 M 行 N 列校验矩阵 H 定义的 LDPC 码的生成矩阵的信息,并根据获取的信息将预定的信息序列编码为码序列。这样,即使在存在码间干扰时也可以通过将列权设置为 3 来控制位之间的错误传播,改进错误基底特性以防止纠错能力的下降,通过构造第一矩阵来减小与编码相关的计算复杂度,并缩小电路规模。

[0118] 在第一实施例中,解码器的解码处理单元 23 获取关于由 M 行 M 列的校验矩阵 H_2 (其为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵) 和 M 行 K 列的校验矩阵 H_1 形成的 M 行 N 列校验矩阵 H 定义的 LDPC 码的该校验矩阵 H 的信息,并根据获取的信息对码序列进行解码。这样,即使在存在码间干扰时也可以通过将列权设置为 3 来控制位之间的错误传播,改进错误基底特性以防止纠错能力的下降,通过构造第一矩阵来减小与解码相关的计算复杂度,并缩小电路规模。

[0119] 在第一实施例中,当在 Tanner 图中允许出现长度为 4 的循环时,校验矩阵 H_2 的逆矩阵是列权为 3 的矩阵。这样,可以将逆矩阵设置为稀疏矩阵并减小与编码相关的计算复杂度。

[0120] 在第一实施例中,校验矩阵 H_2 是列权为 3 的循环置换矩阵,其第一行上的第一列、第 a+1 列和第 b+1 列 ($0 < a, b < M$, 且 $a < b$) 的元素是 1 而第一行的其他元素为 0。这样,仅仅存储第一行上的 1 元素的位置就可以生成第一矩阵,并且,因为不必存储第一矩阵的所有元素,所以可以缩小电路规模。

[0121] 在第一实施例中,校验矩阵 H_2 是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵。这样,可以防止解码性能的劣化。

[0122] 在第一实施例中,出现长度为 4 的循环的条件是满足以下任一项: $a = b-a$ 、 $b-a = M-b$ 、 $M-b = a$ 、 $b = M-b$ 、 $M-a = a$ 、以及 $M-b+a = b-a$ 。这样,通过生成不满足该条件的第一矩阵,可以有效地防止解码性能的劣化。

[0123] 在第一实施例中,当校验矩阵 H_2 是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵时,校验矩阵 H_2 的逆矩阵是列权为 5 的矩阵。这样,可以将逆矩阵设置为稀疏矩阵,并减小与编码相关的计算复杂度。

[0124] 在第一实施例中,第一矩阵算术单元 13 使用校验矩阵 H_1 对信息序列进行编码,然后第二矩阵算术单元 14 进一步使用校验矩阵 H_2 的逆矩阵对信息序列进行编码,从而生成奇偶序列。码生成单元 15 将生成的奇偶序列添加到信息序列,从而将预定信息序列编码为码序列。这样,可以使用形成 M 行 N 列校验矩阵的校验矩阵 H_2 和校验矩阵 H_1 来有效地对信息序列进行编码。

[0125] 在第一实施例中,校验矩阵 H_1 是通过从阵列码中的 P 行 Q 列 ($M < P$ 且 $K < Q$) 的校验矩阵 H_{array} 切出 M 行 K 列的矩阵而生成的矩阵。这样,可以将校验矩阵 H_1 设置为列权和行权不一致的非正则 LDPC 码。

[0126] 在第一实施例中,构造校验矩阵H。然而,如果简单地进行构造,则校验矩阵的随机性可能发生下降而使得难以改进纠错能力。

[0127] 作为用于改进校验矩阵的随机性的技术,存在随机交织器。然而,由于必须准备存储码序列的多个存储器,所以增大了电路规模。因此,在第二实施例中,在不增大电路规模的情况下改进校验矩阵的随机性。编码器和解码器的功能配置与图4和5中所示的情况相同。下面详细说明与第一实施例的不同。

[0128] 首先,说明根据第二实施例的校验矩阵H。如在第一实施例中一样,将M行N列的校验矩阵H分成作为M行M列方阵的校验矩阵 H_2 和剩余的M行K列($K = N-M$)的校验矩阵 H_1 ,如下所示:

$$[0129] \quad H = [H_1 \quad H_2].$$

[0130] 在第二实施例中,使用与第一实施例中的校验矩阵 H_2 相同的矩阵作为校验矩阵 H_2 。校验矩阵 H_1 是通过阵列码中的校验矩阵 H_{array} 的各个列块与由稍后说明的循环置换矩阵 ω 形成的 ω^m ($0 \leq m \leq k-1$)的乘积如下形成的。

[0131]

$$H_1 = \begin{bmatrix} I & I\omega & I\omega^2 & \cdots & I\omega^{k-1} \\ I & s\omega & s^2\omega^2 & \cdots & s^{k-1}\omega^{k-1} \\ I & s^2\omega & s^4\omega^2 & \cdots & s^{2(k-1)}\omega^{k-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I & s^{j-1}\omega & s^{2(j-1)}\omega^2 & \cdots & s^{(j-1)(k-1)}\omega^{k-1} \end{bmatrix}$$

[0132] 其中I是p行p列(p是质数:p=1,3,5,7,11,……)的单位矩阵。j和k分别是校验矩阵H的列权和行权,并满足关系 $j, k \leq p$ 。

[0133] 如以下示例所示, σ 是与第一实施例中形成阵列码的循环置换矩阵相同的p行p列循环置换矩阵。

$$[0134] \quad \sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0135] 循环置换矩阵 ω 是p行p列的矩阵,并且是通过对循环置换矩阵 σ 中彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获取的矩阵。例如,通过对彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔一列而获取的循环置换矩阵 ω 表示如下:

$$[0136] \quad \omega = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0137] 在第一实施例的循环置换矩阵 σ 中,“1”位于对角线上。然而,可以通过使用这

种伪随机循环置换矩阵 ω 来使位于对角线上的“1”分散,并模仿随机交织器。当如磁盘装置中的码那样存在码间干扰时,这对于改进纠错能力是有效的。如参照图 2 说明的,也可以切下校验矩阵 H_1 的任意部分并将该部分用作校验矩阵 H_1 。

[0138] 图 4 和 5 中示出的编码器和解码器使用与按该方式形成的校验矩阵 H 对应的生成矩阵 G 以及校验矩阵 H 来进行对信息序列的编码和对码序列的解码。

[0139] 这样,在第二实施例中,编码器的第一矩阵算术单元 13 和第二矩阵算术单元 14 获取关于由矩阵 ω 形成的校验矩阵 H 定义的生成矩阵的信息,并根据获取的信息将信息序列编码为码序列,所述矩阵 ω 是通过对形成阵列码中的校验矩阵 H_{array} 的循环置换矩阵 σ 中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的。这样,可以模仿随机交织器,即使存在码间干扰时也可以通过控制位之间的错误传播而防止纠错能力的下降,通过构造矩阵减小与编码相关的计算复杂度,并缩小电路规模。

[0140] 在第二实施例中,编码器的矩阵生成单元 12 通过计算矩阵 ω 与循环置换矩阵 σ 的乘积来产生关于生成矩阵的信息,矩阵 ω 是通过对形成阵列码中的校验矩阵 H_{array} 的循环置换矩阵 σ 中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的。第一矩阵算术单元 13 和第二矩阵算术单元 14 获取产生的信息。这样,可以不需要其中预先存储关于生成矩阵的信息的存储装置。

[0141] 已经说明了本发明的实施例。在本专利权利要求书而不是上述实施例中描述的技术思想的范围内,可以按各种不同实施例来执行本发明。例如,本发明不限于应用于对磁盘装置的纠错,还可以应用于对光盘存储装置和通信的纠错。

[0142] 在实施例中说明的各种处理中,被说明为自动执行的种类的处理的全部或者部分可以手动地执行。被说明为手动执行的种类的处理的全部或者部分可以根据公知方法而自动执行

[0143] 此外,除非特别地另行指示,否则就可以任意改变处理过程、控制过程、具体名称以及包括各种数据和参数的信息。

[0144] 图中示出的编码器和解码器的各个部件是功能性概念,并非总是需要物理构成为如图所示。换句话说,编码器和解码器的分散和整合的具体形式不限于如图中示出的形式。可以根据各种负载和使用状态等,按任意单位将装置的全部或者部分构成为功能地或物理地分散以及整合。

[0145] 此外,编码器和解码器中进行的各种处理功能的全部或者部分可以由 CPU 和 CPU 分析并执行的程序来实现,或者可以根据布线逻辑实现为硬件。

[0146] 根据本发明,编码器获取关于由 M 行 N 列的校验矩阵定义的 LDPC 码的生成矩阵的信息,并根据获取的信息将预定的信息序列编码为码序列,所述 M 行 N 列的校验矩阵由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成。这样,存在如下效果:即使存在码间干扰时也可以通过将列权设置为 3 来控制位之间的错误传播,改进错误基底特性以防止纠错能力的下降,通过构造第一矩阵减小与编码相关的计算复杂度,并缩小电路规模。

[0147] 根据本发明,解码器获取关于由作为存在逆矩阵且列权为 3 的循环置换矩阵的 M 行 M 列的第一矩阵和 M 行 K 列的第二矩阵形成的 M 行 N 列校验矩阵定义的 LDPC 码的该校验矩阵的信息,并根据获取的信息对码序列进行解码。这样,存在如下效果:即使存在码间

干扰时也可以通过将列权设置为 3 来控制位之间的错误传播,改进错误基底特性以防止纠错能力的下降,通过构造第一矩阵减小与解码相关的计算复杂度,并缩小电路规模。

[0148] 根据本发明,第一矩阵的逆矩阵是列权为 3 的矩阵。这样,存在如下效果:可以将逆矩阵设置为稀疏矩阵并减小与编码相关的计算复杂度。

[0149] 根据本发明,第一矩阵是列权为 3 的循环置换矩阵,其第一行上的第一列、第 $a+1$ 列和第 $b+1$ 列 ($0 < a, b < M$, 且 $a < b$) 的元素为 1,第一行其他元素为“0”。这样,存在如下效果:仅仅存储第一行上 1 元素的位置就可以生成第一矩阵,并且,因为不必存储第一矩阵的所有元素,所以可以缩小电路规模。

[0150] 根据本发明,第一矩阵是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵。这样,存在可以防止解码性能劣化的效果。

[0151] 根据本发明,出现长度为 4 的循环的条件是满足以下任何一项: $a = b-a$ 、 $b-a = M-b$ 、 $M-b = a$ 、 $b = M-b$ 、 $M-a = a$ 和 $M-b+a = b-a$ 。这样,存在如下效果:可以通过生成不满足该条件的第一矩阵来有效防止解码性能劣化。

[0152] 根据本发明,当第一矩阵是被形成为不满足在 Tanner 图中出现长度为 4 的循环的条件的矩阵时,第一矩阵的逆矩阵是列权为 5 的矩阵。这样,存在如下效果:可以将逆矩阵设置为稀疏矩阵并减小与编码相关的计算复杂度。

[0153] 根据本发明,在使用第二矩阵对信息序列进行编码之后,使用第一矩阵的逆矩阵进一步对该信息序列进行编码,从而生成奇偶序列,通过将生成的奇偶序列添加到信息序列而将预定信息序列编码为码序列。这样,存在如下效果:可以使用形成 M 行 N 列校验矩阵的第一矩阵和第二矩阵来有效地对信息序列进行编码。

[0154] 根据本发明,第二矩阵是由通过对形成阵列码中校验矩阵的循环置换矩阵中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的矩阵形成的。这样,存在如下效果:可以模仿随机交织器,即使当存在码间干扰时也可以通过控制位之间的错误传播来防止纠错能力下降。

[0155] 根据本发明,第二矩阵是通过从阵列码中的 P 行 Q 列的校验矩阵中切下 M 行 K 列 ($M < P$ 且 $K < Q$) 的矩阵而生成的矩阵。这样,存在如下效果:可以将第二矩阵设置为列权和行权不一致的非正则 LDPC 码。

[0156] 根据本发明,获取关于由校验矩阵定义的生成矩阵的信息,并根据获取的信息将信息序列编码为码序列,所述校验矩阵由通过对形成阵列码中校验矩阵的循环置换矩阵中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的矩阵形成。这样,存在如下效果:可以模仿随机交织器,即使当存在码间干扰时也可以通过控制位之间的错误传播来防止纠错能力下降,通过构造矩阵来减小与编码相关的计算复杂度,并减小电路规模。

[0157] 根据本发明,通过计算对形成阵列码中校验矩阵的循环置换矩阵中的彼此相邻行上的两个“1”进行行或列置换排列以使其排列为彼此间隔预定列而获得的矩阵与该循环置换矩阵的积来生成关于生成矩阵的信息,并获取生成的信息。这样,存在如下效果:可以不需要其中预先存储关于生成矩阵的信息的存储装置。

[0158] 虽然为完全和清楚的公开已经针对具体实施例说明了本发明,但是所附的权利要求书并不由此受限,而是应该被理解为包括本领域技术人员可以想到的落入在此阐述的基

本教导之内的所有修改和另选构造。

P 是质数 (P=5)

$$H_1 = \begin{bmatrix} I & I & I & I & I & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \sigma^3 & \sigma^4 & I \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^3 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^4 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^4 & \sigma^8 & \sigma^{12} & \sigma^{16} & I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & I & I & I & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \sigma^3 & \sigma^4 \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^3 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^4 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^4 & \sigma^8 & \sigma^{12} & \sigma^{16} \end{bmatrix}, \sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

P 是非质数 (P=6)

出现 4 循环 \Rightarrow

$$H_1 = \begin{bmatrix} I & I & I & I & I & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \sigma^3 & \sigma^4 & I \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^3 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^4 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 & I \\ I & \sigma^4 & \sigma^8 & \sigma^{12} & \sigma^{16} & I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & I & I & I & I \\ I & \sigma & \sigma^2 & \sigma^3 & \sigma^4 \\ I & \sigma^2 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^3 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^4 & \sigma^4 & \sigma^6 & \sigma^8 \\ I & \sigma^4 & \sigma^8 & \sigma^{12} & \sigma^{16} \end{bmatrix}, \sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

图 1

M=10	{ 0 1 3 }	{ 0 8 20 }	M=48	{ 0 12 54 }	{ 0 9 54 }	{ 0 36 63 }	{ 0 11 44 }	{ 0 60 72 }	{ 0 30 45 }
{ 0 1 4 }	{ 0 8 24 }	{ 0 6 16 }	{ 0 16 24 }	{ 0 18 24 }	{ 0 16 24 }	{ 0 45 54 }	{ 0 11 66 }	{ 0 60 96 }	{ 0 30 105 }
{ 0 1 7 }	{ 0 8 32 }	{ 0 6 36 }	{ 0 16 40 }	{ 0 18 32 }	{ 0 16 40 }	{ 0 45 72 }	{ 0 11 77 }	{ 0 72 84 }	{ 0 36 48 }
{ 0 1 8 }	{ 0 12 16 }	{ 0 12 18 }	{ 0 16 48 }	{ 0 36 42 }	{ 0 16 48 }	{ 0 54 72 }	{ 0 22 55 }	{ 0 72 96 }	{ 0 38 108 }
{ 0 2 3 }	{ 0 12 20 }	{ 0 12 42 }	{ 0 16 64 }	{ 0 36 54 }	{ 0 16 64 }	M=88	M=110	{ 0 84 96 }	{ 0 72 108 }
{ 0 2 9 }	{ 0 15 18 }	{ 0 30 36 }	{ 0 18 27 }	{ 0 42 48 }	{ 0 18 27 }	{ 0 11 33 }	{ 0 11 33 }	{ 0 84 96 }	{ 0 75 90 }
{ 0 3 4 }	{ 0 12 32 }	{ 0 30 42 }	{ 0 18 32 }	{ 0 42 54 }	{ 0 18 32 }	M=90	{ 0 33 44 }	{ 0 84 96 }	{ 0 84 108 }
{ 0 3 9 }	{ 0 16 24 }	M=90	{ 0 24 32 }	M=63	{ 0 24 32 }	{ 0 11 66 }	{ 0 33 55 }	M=126	
{ 0 6 7 }	{ 0 16 28 }	{ 0 5 15 }	{ 0 24 40 }	{ 0 7 21 }	{ 0 16 28 }	{ 0 22 33 }	{ 0 33 77 }		
{ 0 6 9 }	{ 0 20 24 }	{ 0 5 20 }	{ 0 24 40 }	{ 0 7 28 }	{ 0 20 24 }	{ 0 22 33 }	{ 0 33 88 }		
{ 0 7 8 }	{ 0 20 32 }	{ 0 5 35 }	{ 0 24 64 }	{ 0 7 42 }	{ 0 20 32 }	{ 0 55 66 }	{ 0 33 99 }		
{ 0 7 9 }	{ 0 24 28 }	{ 0 5 40 }	{ 0 32 48 }	{ 0 7 49 }	{ 0 24 28 }	{ 0 55 77 }	{ 0 44 68 }		
{ 0 7 9 }	{ 0 24 32 }	{ 0 10 15 }	{ 0 32 56 }	{ 0 14 21 }	{ 0 24 32 }	M=90	{ 0 44 77 }		
M=16	{ 0 4 12 }	{ 0 10 45 }	{ 0 40 48 }	{ 0 14 35 }	{ 0 40 48 }	{ 0 9 27 }	{ 0 55 66 }		
{ 0 2 6 }	{ 0 4 16 }	{ 0 15 20 }	{ 0 40 64 }	{ 0 14 42 }	{ 0 40 64 }	{ 0 9 36 }	{ 0 55 88 }		
{ 0 2 12 }	{ 0 4 28 }	{ 0 15 45 }	{ 0 45 63 }	{ 0 21 28 }	{ 0 45 63 }	{ 0 9 63 }	{ 0 66 99 }		
{ 0 4 6 }	{ 0 4 32 }	{ 0 30 35 }	{ 0 45 84 }	{ 0 21 35 }	{ 0 45 84 }	{ 0 9 72 }	{ 0 77 88 }		
{ 0 4 14 }	{ 0 5 15 }	{ 0 30 40 }	{ 0 48 56 }	{ 0 21 49 }	{ 0 48 56 }	{ 0 10 30 }	{ 0 77 99 }		
{ 0 10 12 }	{ 0 5 30 }	{ 0 35 40 }	M=80	{ 0 21 56 }	{ 0 5 30 }	{ 0 10 40 }	M=112		
{ 0 10 14 }	{ 0 8 12 }	{ 0 35 45 }	{ 0 8 24 }	{ 0 28 42 }	{ 0 8 12 }	{ 0 10 60 }	{ 0 14 42 }		
M=18	{ 0 2 6 }	{ 0 8 36 }	{ 0 8 32 }	{ 0 35 42 }	{ 0 8 32 }	{ 0 10 70 }	{ 0 14 84 }		
{ 0 2 8 }	{ 0 10 15 }	{ 0 6 18 }	{ 0 8 36 }	{ 0 35 56 }	{ 0 8 36 }	{ 0 10 80 }	{ 0 28 42 }		
{ 0 2 12 }	{ 0 10 35 }	{ 0 6 36 }	{ 0 8 64 }	{ 0 42 49 }	{ 0 8 64 }	{ 0 20 30 }	{ 0 28 98 }		
{ 0 4 6 }	{ 0 12 18 }	{ 0 6 42 }	{ 0 10 30 }	{ 0 42 56 }	{ 0 10 30 }	{ 0 20 60 }	{ 0 28 98 }		
{ 0 4 10 }	{ 0 12 36 }	{ 0 12 18 }	{ 0 16 24 }	M=64	{ 0 12 36 }	{ 0 20 80 }	M=117		
{ 0 4 10 }	{ 0 24 28 }	{ 0 12 30 }	{ 0 16 72 }	{ 0 8 24 }	{ 0 24 28 }	{ 0 27 81 }	{ 0 13 39 }		
{ 0 4 12 }	{ 0 24 36 }	{ 0 12 36 }	{ 0 20 70 }	{ 0 8 48 }	{ 0 24 36 }	{ 0 27 81 }	{ 0 13 52 }		
{ 0 4 16 }	{ 0 25 30 }	{ 0 12 48 }	{ 0 20 70 }	{ 0 16 24 }	{ 0 25 30 }	{ 0 30 40 }	{ 0 13 91 }		
{ 0 6 8 }	{ 0 25 35 }	{ 0 18 24 }	{ 0 24 32 }	{ 0 16 56 }	{ 0 25 35 }	{ 0 30 50 }	{ 0 26 65 }		
{ 0 6 10 }	{ 0 28 32 }	{ 0 18 30 }	{ 0 24 72 }	{ 0 40 48 }	{ 0 28 32 }	{ 0 30 70 }	{ 0 26 78 }		
{ 0 6 14 }	{ 0 28 36 }	{ 0 18 42 }	{ 0 48 56 }	{ 0 40 56 }	{ 0 28 36 }	{ 0 40 80 }	{ 0 26 104 }		
{ 0 6 16 }	M=45	{ 0 18 48 }	{ 0 48 72 }	M=70	M=45	{ 0 40 80 }	{ 0 39 52 }		
{ 0 8 12 }	{ 0 5 15 }	{ 0 24 36 }	{ 0 50 60 }	{ 0 7 21 }	{ 0 5 15 }	{ 0 50 80 }	{ 0 39 65 }		
{ 0 8 12 }	{ 0 5 20 }	{ 0 24 42 }	{ 0 50 70 }	{ 0 7 28 }	{ 0 5 20 }	{ 0 50 80 }	{ 0 39 81 }		
{ 0 8 14 }	{ 0 5 30 }	{ 0 30 36 }	{ 0 56 64 }	{ 0 7 49 }	{ 0 5 30 }	{ 0 54 63 }	{ 0 39 104 }		
{ 0 10 12 }	{ 0 5 35 }	{ 0 30 48 }	{ 0 56 72 }	{ 0 7 56 }	{ 0 5 35 }	{ 0 54 81 }	{ 0 52 78 }		
{ 0 10 16 }	{ 0 10 15 }	{ 0 36 42 }	M=81	{ 0 14 21 }	{ 0 10 15 }	{ 0 54 91 }	{ 0 52 81 }		
{ 0 12 14 }	{ 0 10 25 }	{ 0 36 48 }	{ 0 9 27 }	{ 0 14 63 }	{ 0 10 25 }	{ 0 60 70 }	{ 0 65 78 }		
{ 0 12 16 }	{ 0 10 30 }	M=56	{ 0 9 36 }	{ 0 14 63 }	{ 0 10 30 }	{ 0 60 80 }	{ 0 65 104 }		
M=20	{ 0 10 40 }	{ 0 7 21 }	{ 0 14 63 }	{ 0 21 28 }	{ 0 10 40 }	{ 0 63 72 }	{ 0 78 91 }		
{ 0 2 6 }	{ 0 15 20 }	{ 0 7 42 }	{ 0 21 28 }	{ 0 42 49 }	{ 0 15 20 }	{ 0 63 81 }	{ 0 78 104 }		
{ 0 2 8 }	{ 0 15 25 }	{ 0 14 21 }	{ 0 42 49 }	{ 0 42 53 }	{ 0 15 25 }	M=96	M=120		
{ 0 2 14 }	{ 0 15 35 }	{ 0 14 49 }	{ 0 49 56 }	{ 0 49 63 }	{ 0 15 35 }	{ 0 12 36 }	{ 0 12 36 }		
{ 0 4 6 }	{ 0 15 40 }	{ 0 35 42 }	{ 0 49 63 }	M=72	{ 0 15 40 }	{ 0 12 72 }	{ 0 12 48 }		
{ 0 4 18 }	{ 0 20 30 }	{ 0 35 49 }	{ 0 49 63 }	{ 0 8 24 }	{ 0 20 30 }	{ 0 24 36 }	{ 0 12 84 }		
{ 0 6 8 }	{ 0 20 35 }	M=90	{ 0 49 63 }	{ 0 27 45 }	{ 0 20 35 }	{ 0 27 36 }	{ 0 24 84 }		
{ 0 6 18 }	{ 0 25 30 }	{ 0 6 18 }	{ 0 6 24 }	{ 0 27 63 }	{ 0 25 30 }	{ 0 27 63 }	{ 0 36 84 }		
{ 0 12 14 }	{ 0 25 40 }	{ 0 6 42 }	{ 0 6 48 }	{ 0 27 72 }	{ 0 25 40 }	{ 0 36 84 }	{ 0 36 96 }		
{ 0 12 18 }	{ 0 30 35 }	{ 0 6 48 }	{ 0 6 56 }	{ 0 27 84 }	{ 0 30 35 }	{ 0 36 96 }	{ 0 48 72 }		
{ 0 14 18 }	{ 0 30 40 }	{ 0 8 18 }	{ 0 8 24 }	{ 0 27 96 }	{ 0 30 40 }	{ 0 48 72 }	{ 0 48 84 }		
{ 0 14 18 }	{ 0 8 12 }	{ 0 8 18 }	{ 0 8 24 }	{ 0 9 27 }	{ 0 8 12 }	{ 0 11 33 }	{ 0 48 84 }		

图 3A

{ 0 15 90 }	{ 0 48 128 }	{ 0 16 128 }	{ 0 119 136 }	{ 0 100 160 }	{ 0 120 168 }	{ 0 92 136 }	{ 0 22 66 }	{ 0 29 87 }	{ 0 54 162 }
{ 0 15 105 }	{ 0 64 96 }	{ 0 20 120 }	{ 0 119 153 }	{ 0 108 120 }	M=198	{ 0 92 161 }	{ 0 22 88 }	{ 0 29 87 }	{ 0 54 216 }
{ 0 30 45 }	{ 0 64 112 }	{ 0 32 48 }	M=171	{ 0 108 162 }	{ 0 22 88 }	{ 0 115 138 }	{ 0 22 98 }	{ 0 29 174 }	{ 0 81 108 }
{ 0 30 75 }	{ 0 80 96 }	{ 0 32 48 }	{ 0 19 57 }	{ 0 120 140 }	{ 0 22 88 }	{ 0 115 184 }	{ 0 22 154 }	{ 0 58 87 }	{ 0 81 135 }
{ 0 30 90 }	{ 0 80 128 }	{ 0 40 60 }	{ 0 19 76 }	{ 0 120 160 }	{ 0 22 132 }	{ 0 138 161 }	{ 0 22 178 }	{ 0 58 203 }	{ 0 81 189 }
{ 0 30 120 }	{ 0 80 128 }	{ 0 40 60 }	{ 0 19 114 }	{ 0 126 144 }	{ 0 22 154 }	{ 0 138 184 }	{ 0 44 86 }	{ 0 145 174 }	{ 0 81 216 }
{ 0 45 60 }	{ 0 90 126 }	{ 0 40 140 }	{ 0 19 133 }	{ 0 128 162 }	{ 0 44 66 }	M=208	{ 0 44 98 }	{ 0 145 203 }	{ 0 108 162 }
{ 0 45 75 }	{ 0 98 112 }	{ 0 48 84 }	{ 0 38 57 }	M=184	{ 0 44 110 }	{ 0 26 78 }	{ 0 66 88 }	{ 0 108 189 }	{ 0 108 189 }
{ 0 45 105 }	{ 0 98 128 }	{ 0 48 144 }	{ 0 38 95 }	{ 0 23 68 }	{ 0 44 132 }	{ 0 26 78 }	{ 0 66 88 }	{ 0 135 162 }	{ 0 135 162 }
{ 0 45 120 }	{ 0 98 128 }	{ 0 96 112 }	{ 0 38 114 }	{ 0 23 138 }	{ 0 44 178 }	{ 0 26 156 }	{ 0 66 198 }	{ 0 135 216 }	{ 0 135 216 }
{ 0 60 90 }	{ 0 15 45 }	{ 0 96 144 }	{ 0 38 152 }	{ 0 46 69 }	{ 0 66 88 }	{ 0 52 78 }	{ 0 132 198 }	{ 0 162 189 }	{ 0 162 189 }
{ 0 60 105 }	{ 0 15 60 }	{ 0 100 120 }	{ 0 46 81 }	{ 0 46 81 }	{ 0 66 110 }	{ 0 52 82 }	{ 0 154 176 }	{ 0 162 216 }	{ 0 162 216 }
{ 0 75 90 }	{ 0 15 105 }	{ 0 100 140 }	{ 0 57 95 }	{ 0 115 138 }	{ 0 66 154 }	{ 0 130 156 }	{ 0 154 176 }	M=248	{ 0 31 93 }
{ 0 75 120 }	{ 0 15 120 }	{ 0 112 128 }	{ 0 57 133 }	{ 0 115 161 }	{ 0 66 176 }	{ 0 130 182 }	{ 0 154 198 }	{ 0 31 166 }	{ 0 31 166 }
{ 0 90 105 }	{ 0 30 45 }	{ 0 112 144 }	{ 0 57 152 }	M=189	{ 0 68 132 }	M=210	{ 0 52 130 }	{ 0 62 93 }	{ 0 62 93 }
{ 0 90 120 }	{ 0 30 135 }	M=182	{ 0 76 114 }	{ 0 21 63 }	{ 0 88 154 }	{ 0 21 63 }	{ 0 52 156 }	{ 0 82 217 }	{ 0 82 217 }
M=136	{ 0 45 60 }	{ 0 18 54 }	{ 0 76 133 }	{ 0 21 84 }	{ 0 88 154 }	{ 0 21 84 }	{ 0 52 168 }	{ 0 155 186 }	{ 0 155 186 }
{ 0 17 51 }	{ 0 45 135 }	{ 0 18 72 }	{ 0 95 114 }	{ 0 21 84 }	{ 0 110 132 }	{ 0 21 84 }	{ 0 78 104 }	{ 0 155 217 }	{ 0 155 217 }
{ 0 17 102 }	{ 0 90 105 }	{ 0 18 108 }	{ 0 95 152 }	{ 0 21 126 }	{ 0 110 178 }	{ 0 21 168 }	{ 0 78 130 }	M=250	{ 0 25 75 }
{ 0 34 51 }	{ 0 90 135 }	{ 0 18 126 }	{ 0 114 133 }	{ 0 42 63 }	{ 0 132 154 }	{ 0 42 63 }	{ 0 78 182 }	{ 0 25 75 }	{ 0 25 75 }
{ 0 34 119 }	{ 0 105 120 }	{ 0 36 54 }	{ 0 114 152 }	{ 0 42 105 }	{ 0 132 176 }	{ 0 42 89 }	{ 0 78 208 }	{ 0 25 100 }	{ 0 25 100 }
{ 0 85 102 }	{ 0 105 135 }	{ 0 36 90 }	M=176	{ 0 42 126 }	{ 0 20 60 }	{ 0 63 84 }	{ 0 104 156 }	{ 0 25 175 }	{ 0 25 175 }
{ 0 85 119 }	{ 0 19 57 }	{ 0 36 108 }	{ 0 22 66 }	{ 0 42 168 }	{ 0 20 80 }	{ 0 63 189 }	{ 0 104 156 }	{ 0 25 200 }	{ 0 25 200 }
M=140	{ 0 19 114 }	{ 0 36 144 }	{ 0 22 132 }	{ 0 42 168 }	{ 0 20 140 }	{ 0 126 147 }	{ 0 130 156 }	{ 0 50 75 }	{ 0 50 75 }
{ 0 14 42 }	{ 0 38 57 }	{ 0 54 72 }	{ 0 44 66 }	{ 0 63 84 }	{ 0 20 160 }	{ 0 126 169 }	{ 0 130 208 }	{ 0 50 100 }	{ 0 50 100 }
{ 0 14 56 }	{ 0 38 90 }	{ 0 54 90 }	{ 0 44 154 }	{ 0 63 147 }	{ 0 25 75 }	{ 0 147 189 }	{ 0 156 182 }	{ 0 75 100 }	{ 0 75 100 }
{ 0 14 98 }	{ 0 95 114 }	{ 0 54 126 }	{ 0 110 132 }	{ 0 63 168 }	{ 0 25 150 }	M=216	{ 0 156 208 }	{ 0 75 225 }	{ 0 75 225 }
{ 0 14 112 }	{ 0 95 133 }	{ 0 54 144 }	{ 0 110 154 }	{ 0 84 147 }	{ 0 40 60 }	{ 0 24 72 }	{ 0 24 72 }	{ 0 150 175 }	{ 0 150 175 }
{ 0 28 42 }	{ 0 95 133 }	{ 0 72 108 }	M=180	{ 0 105 126 }	{ 0 50 75 }	{ 0 24 144 }	{ 0 24 168 }	{ 0 150 225 }	{ 0 150 225 }
{ 0 28 126 }	{ 0 17 51 }	{ 0 72 126 }	{ 0 18 54 }	{ 0 105 126 }	{ 0 60 80 }	{ 0 24 168 }	{ 0 24 192 }	{ 0 175 200 }	{ 0 175 200 }
{ 0 42 56 }	{ 0 17 68 }	{ 0 90 108 }	{ 0 18 72 }	{ 0 105 168 }	{ 0 60 80 }	{ 0 27 81 }	{ 0 30 90 }	M=252	{ 0 28 84 }
{ 0 42 126 }	{ 0 17 102 }	{ 0 90 144 }	{ 0 18 126 }	{ 0 126 147 }	{ 0 80 180 }	{ 0 27 81 }	{ 0 30 180 }	{ 0 28 112 }	{ 0 28 112 }
{ 0 84 98 }	{ 0 17 119 }	{ 0 108 126 }	{ 0 18 144 }	{ 0 126 188 }	{ 0 80 180 }	{ 0 27 81 }	{ 0 30 180 }	{ 0 28 168 }	{ 0 28 168 }
{ 0 84 126 }	{ 0 34 51 }	M=168	{ 0 108 144 }	{ 0 126 188 }	{ 0 120 140 }	{ 0 48 72 }	{ 0 48 72 }	{ 0 56 84 }	{ 0 56 84 }
{ 0 88 112 }	{ 0 34 85 }	{ 0 21 63 }	{ 0 21 63 }	M=190	{ 0 120 180 }	{ 0 48 72 }	{ 0 48 72 }	{ 0 56 140 }	{ 0 56 140 }
{ 0 88 128 }	{ 0 34 85 }	{ 0 21 126 }	{ 0 19 76 }	{ 0 19 57 }	{ 0 120 180 }	{ 0 48 120 }	{ 0 48 120 }	{ 0 56 168 }	{ 0 56 168 }
M=144	{ 0 34 136 }	{ 0 21 126 }	{ 0 19 133 }	{ 0 19 133 }	{ 0 125 150 }	{ 0 48 144 }	{ 0 60 90 }	{ 0 56 224 }	{ 0 56 224 }
{ 0 16 48 }	{ 0 34 136 }	{ 0 42 63 }	{ 0 36 54 }	{ 0 19 152 }	{ 0 125 175 }	{ 0 48 192 }	{ 0 60 210 }	{ 0 84 112 }	{ 0 84 112 }
{ 0 16 64 }	{ 0 51 68 }	{ 0 42 147 }	{ 0 36 162 }	{ 0 38 57 }	{ 0 140 180 }	{ 0 54 81 }	{ 0 72 96 }	{ 0 84 140 }	{ 0 84 140 }
{ 0 16 96 }	{ 0 51 85 }	{ 0 105 126 }	{ 0 40 100 }	{ 0 38 57 }	{ 0 140 180 }	{ 0 54 89 }	{ 0 72 96 }	{ 0 84 196 }	{ 0 84 196 }
{ 0 16 112 }	{ 0 51 119 }	{ 0 105 147 }	{ 0 40 100 }	{ 0 38 171 }	M=207	{ 0 54 89 }	{ 0 72 216 }	{ 0 84 224 }	{ 0 84 224 }
{ 0 18 54 }	{ 0 51 136 }	{ 0 105 147 }	{ 0 40 120 }	{ 0 38 171 }	{ 0 23 69 }	{ 0 54 89 }	{ 0 144 168 }	{ 0 112 168 }	{ 0 112 168 }
{ 0 18 108 }	{ 0 68 102 }	M=170	{ 0 40 120 }	{ 0 57 76 }	{ 0 23 92 }	{ 0 72 120 }	{ 0 144 168 }	{ 0 112 196 }	{ 0 112 196 }
{ 0 32 48 }	{ 0 68 119 }	{ 0 17 51 }	{ 0 40 180 }	{ 0 57 76 }	{ 0 23 92 }	{ 0 72 168 }	{ 0 150 160 }	{ 0 140 168 }	{ 0 140 168 }
{ 0 32 80 }	{ 0 85 102 }	{ 0 17 68 }	{ 0 54 72 }	{ 0 114 133 }	{ 0 23 138 }	{ 0 72 192 }	{ 0 150 210 }	{ 0 140 224 }	{ 0 140 224 }
{ 0 32 96 }	{ 0 85 136 }	{ 0 17 119 }	{ 0 54 162 }	{ 0 114 171 }	{ 0 23 161 }	{ 0 96 144 }	{ 0 168 192 }	{ 0 168 196 }	{ 0 168 196 }
{ 0 32 128 }	{ 0 102 119 }	{ 0 34 51 }	{ 0 60 80 }	{ 0 133 152 }	{ 0 46 89 }	{ 0 96 144 }	{ 0 168 216 }	{ 0 168 224 }	{ 0 168 224 }
{ 0 36 54 }	{ 0 102 136 }	{ 0 34 153 }	{ 0 60 100 }	{ 0 133 171 }	{ 0 46 115 }	{ 0 120 144 }	M=243	{ 0 54 81 }	{ 0 54 81 }
{ 0 36 126 }	M=160	{ 0 51 68 }	{ 0 60 100 }	M=192	{ 0 46 138 }	{ 0 120 192 }	{ 0 27 81 }	{ 0 54 135 }	{ 0 54 135 }
{ 0 48 64 }	{ 0 16 48 }	{ 0 51 68 }	{ 0 60 140 }	{ 0 24 72 }	{ 0 46 184 }	{ 0 135 162 }	{ 0 27 108 }	{ 0 161 184 }	{ 0 161 184 }
{ 0 48 80 }	{ 0 16 64 }	{ 0 51 153 }	{ 0 60 160 }	{ 0 24 144 }	{ 0 46 184 }	{ 0 135 162 }	{ 0 27 162 }	{ 0 161 207 }	{ 0 161 207 }
{ 0 48 96 }	{ 0 16 64 }	{ 0 102 119 }	{ 0 80 120 }	{ 0 48 168 }	{ 0 69 92 }	{ 0 144 168 }	{ 0 138 207 }	{ 0 161 207 }	{ 0 161 207 }
{ 0 48 112 }	{ 0 16 64 }	{ 0 102 153 }	{ 0 80 140 }	{ 0 48 168 }	{ 0 69 161 }	{ 0 144 192 }	{ 0 161 184 }	{ 0 161 207 }	{ 0 161 207 }
{ 0 48 128 }	{ 0 16 112 }	{ 0 102 153 }	{ 0 100 120 }	{ 0 120 144 }	{ 0 69 184 }	{ 0 144 192 }	{ 0 161 207 }	{ 0 161 207 }	{ 0 161 207 }

图 3B

M = 256	{ 0 30 120 }	M = 306	{ 0 140 210 }	M = 342	{ 0 156 234 }	M = 378	{ 0 46 276 }
{ 0 30 180 }	{ 0 34 102 }	{ 0 140 245 }	{ 0 38 99 }	{ 0 156 273 }	{ 0 41 123 }	{ 0 47 141 }	{ 0 92 138 }
{ 0 30 210 }	{ 0 34 136 }	{ 0 175 210 }	{ 0 33 132 }	{ 0 195 234 }	{ 0 44 164 }	{ 0 94 141 }	{ 0 92 322 }
{ 0 54 81 }	{ 0 34 204 }	{ 0 175 250 }	{ 0 33 132 }	{ 0 195 234 }	{ 0 44 284 }	{ 0 94 329 }	{ 0 230 276 }
{ 0 54 243 }	{ 0 34 238 }	{ 0 210 245 }	{ 0 33 264 }	{ 0 234 273 }	{ 0 88 308 }	{ 0 235 282 }	{ 0 230 322 }
{ 0 60 90 }	{ 0 68 102 }	M = 320	{ 0 68 99 }	{ 0 234 312 }	{ 0 220 264 }	M = 378	
{ 0 60 150 }	{ 0 68 170 }	{ 0 32 96 }	{ 0 66 297 }	M = 352	{ 0 40 120 }		
{ 0 60 180 }	{ 0 68 204 }	{ 0 32 128 }	{ 0 66 297 }	{ 0 44 132 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 60 240 }	{ 0 68 272 }	{ 0 32 152 }	{ 0 99 132 }	{ 0 44 164 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 81 108 }	{ 0 102 136 }	{ 0 32 224 }	{ 0 99 297 }	{ 0 88 308 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 81 243 }	{ 0 102 170 }	{ 0 32 256 }	{ 0 198 231 }	{ 0 88 308 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 90 120 }	{ 0 102 170 }	{ 0 40 120 }	{ 0 198 287 }	{ 0 220 264 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 90 150 }	{ 0 102 238 }	{ 0 40 240 }	{ 0 231 284 }	{ 0 220 264 }	{ 0 114 304 }		
{ 0 90 210 }	{ 0 102 272 }	{ 0 64 96 }	{ 0 231 297 }	M = 360	{ 0 152 228 }		
{ 0 90 240 }	{ 0 136 204 }	{ 0 64 128 }	M = 333	{ 0 152 228 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 120 180 }	{ 0 136 238 }	{ 0 80 120 }	{ 0 37 111 }	{ 0 152 228 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 120 210 }	{ 0 170 204 }	{ 0 80 120 }	{ 0 37 148 }	{ 0 36 108 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 150 180 }	{ 0 170 272 }	{ 0 80 280 }	{ 0 37 222 }	{ 0 36 144 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 150 240 }	{ 0 204 238 }	{ 0 96 128 }	{ 0 37 222 }	{ 0 36 252 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 182 208 }	{ 0 204 272 }	{ 0 96 288 }	{ 0 74 111 }	{ 0 40 120 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 182 234 }	{ 0 224 288 }	{ 0 192 224 }	{ 0 74 185 }	{ 0 40 160 }	{ 0 152 228 }		
M = 288	M = 310	{ 0 192 288 }	{ 0 74 222 }	{ 0 40 240 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 32 96 }	{ 0 31 93 }	{ 0 200 240 }	{ 0 74 222 }	{ 0 40 280 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 32 128 }	{ 0 31 124 }	{ 0 200 280 }	{ 0 74 296 }	{ 0 45 135 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 32 192 }	{ 0 31 152 }	{ 0 224 256 }	{ 0 111 148 }	{ 0 45 270 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 32 224 }	{ 0 31 248 }	{ 0 224 288 }	{ 0 111 185 }	{ 0 45 270 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 36 108 }	{ 0 62 93 }	M = 324	{ 0 111 259 }	{ 0 72 108 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 36 128 }	{ 0 62 279 }	{ 0 36 108 }	{ 0 111 259 }	{ 0 72 108 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 64 96 }	{ 0 83 124 }	{ 0 36 144 }	{ 0 148 222 }	{ 0 80 120 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 64 160 }	{ 0 83 152 }	{ 0 36 216 }	{ 0 148 259 }	{ 0 80 200 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 64 192 }	{ 0 99 132 }	{ 0 36 252 }	{ 0 185 222 }	{ 0 80 320 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 64 256 }	{ 0 99 165 }	{ 0 36 252 }	{ 0 185 259 }	{ 0 90 135 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 72 108 }	{ 0 99 284 }	{ 0 72 108 }	{ 0 222 259 }	{ 0 90 315 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 72 252 }	{ 0 132 198 }	{ 0 72 192 }	{ 0 222 296 }	{ 0 108 144 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 96 128 }	{ 0 132 231 }	{ 0 72 216 }	M = 336	{ 0 108 144 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 96 160 }	{ 0 165 198 }	{ 0 72 288 }	{ 0 42 128 }	{ 0 108 324 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 96 224 }	{ 0 165 216 }	{ 0 108 144 }	{ 0 42 252 }	{ 0 120 160 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 96 256 }	{ 0 188 279 }	{ 0 108 180 }	{ 0 84 126 }	{ 0 120 200 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 128 192 }	{ 0 188 279 }	{ 0 108 252 }	{ 0 84 294 }	{ 0 120 200 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 128 224 }	{ 0 217 248 }	{ 0 144 216 }	{ 0 210 252 }	{ 0 120 280 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 160 192 }	{ 0 217 279 }	{ 0 144 252 }	{ 0 210 294 }	{ 0 160 240 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 160 256 }	M = 312	{ 0 144 252 }	M = 340	{ 0 160 280 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 180 216 }	{ 0 39 117 }	{ 0 180 216 }	{ 0 34 102 }	{ 0 180 280 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 180 270 }	{ 0 39 234 }	{ 0 180 288 }	{ 0 34 138 }	{ 0 200 320 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 210 240 }	{ 0 78 117 }	{ 0 216 252 }	{ 0 39 234 }	{ 0 200 320 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 210 270 }	{ 0 78 273 }	{ 0 216 288 }	{ 0 39 273 }	{ 0 216 324 }	{ 0 152 228 }		
M = 304	{ 0 70 105 }	M = 328	{ 0 68 102 }	{ 0 216 324 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 29 87 }	{ 0 70 175 }	{ 0 41 123 }	{ 0 68 102 }	{ 0 229 270 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 29 116 }	{ 0 70 210 }	{ 0 41 246 }	{ 0 68 308 }	{ 0 229 315 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 29 203 }	{ 0 78 114 }	{ 0 82 123 }	{ 0 102 138 }	{ 0 229 315 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 28 232 }	{ 0 78 228 }	{ 0 82 287 }	{ 0 102 308 }	{ 0 240 280 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 58 87 }	{ 0 105 140 }	{ 0 105 175 }	{ 0 204 238 }	{ 0 240 320 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 58 261 }	{ 0 105 175 }	{ 0 205 246 }	{ 0 204 308 }	{ 0 252 288 }	{ 0 152 228 }		
{ 0 87 116 }	{ 0 105 245 }	{ 0 205 287 }	{ 0 238 272 }	{ 0 252 324 }	{ 0 152 228 }		
	{ 0 105 280 }		{ 0 238 306 }	M = 368	{ 0 46 138 }		

图 3C

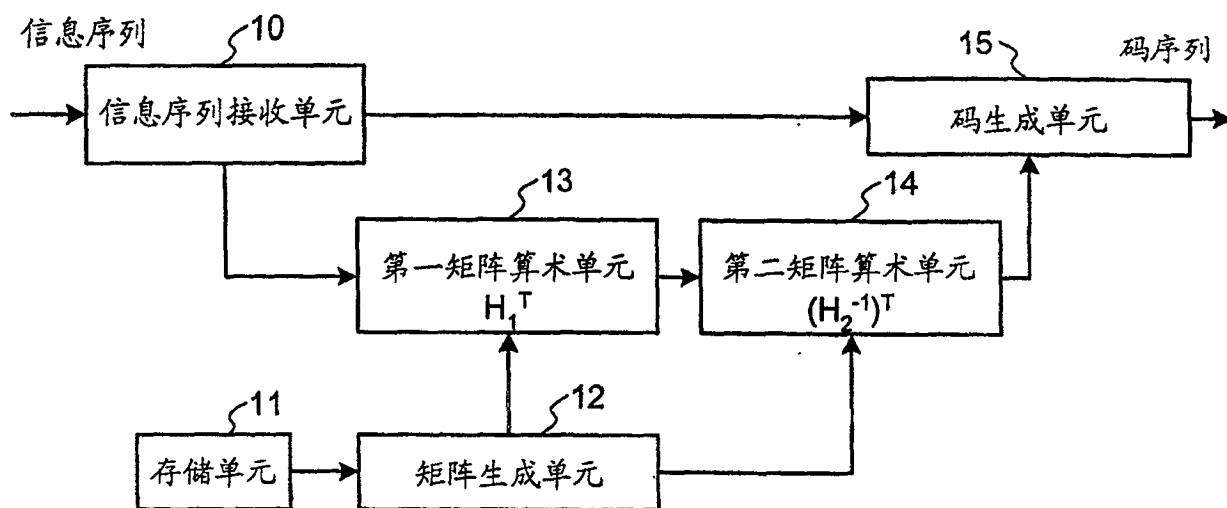


图 4

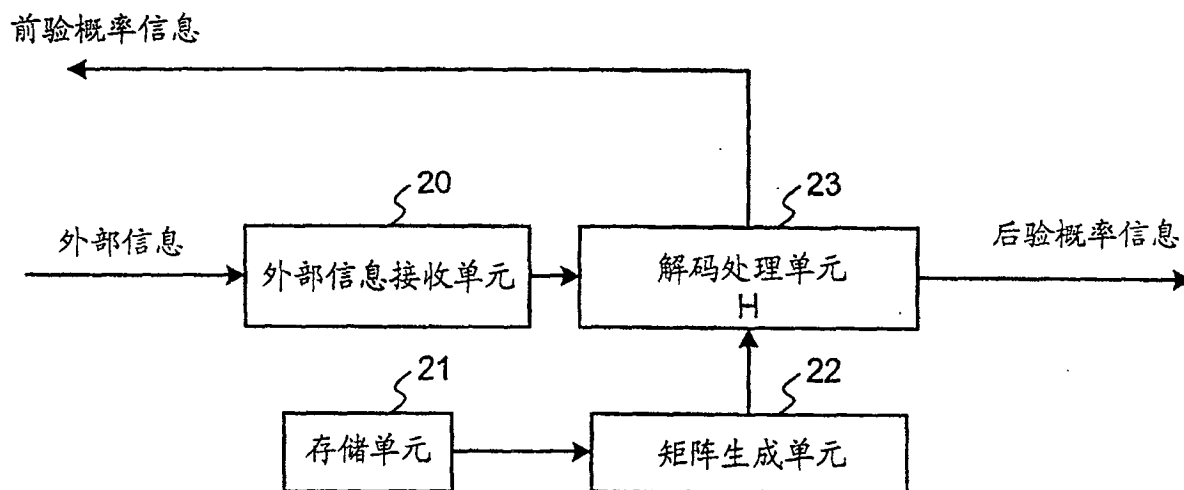


图 5

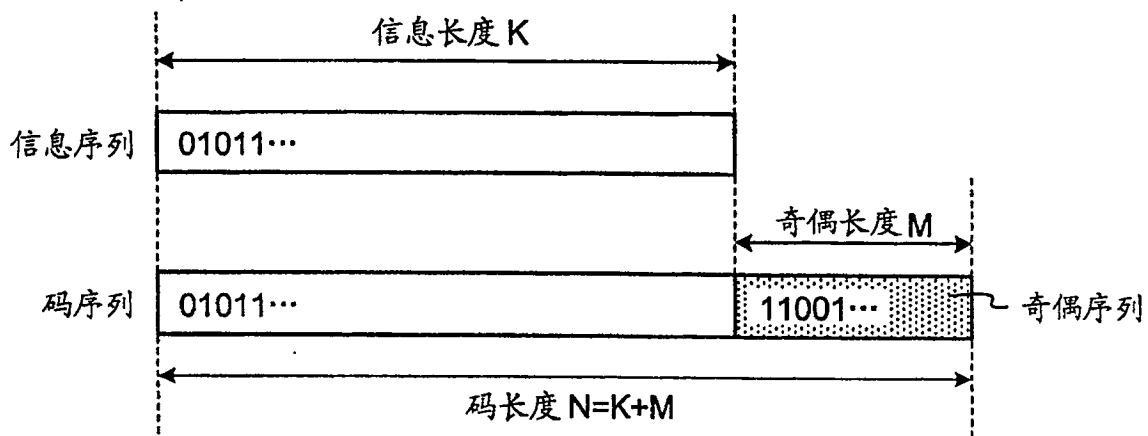


图 6

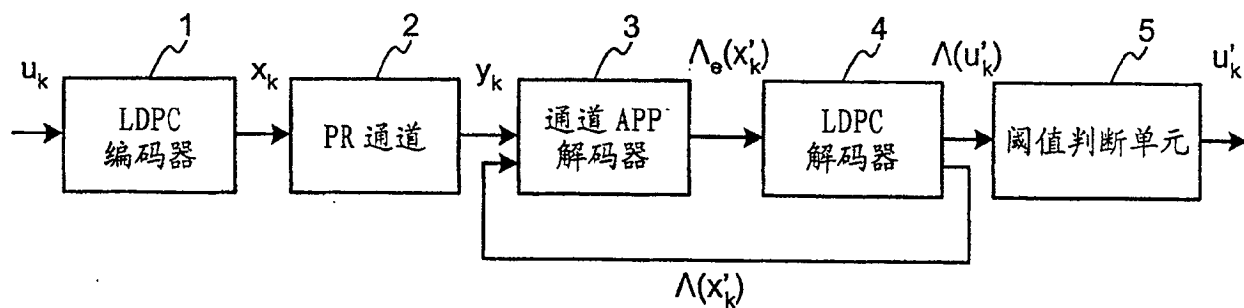


图 7

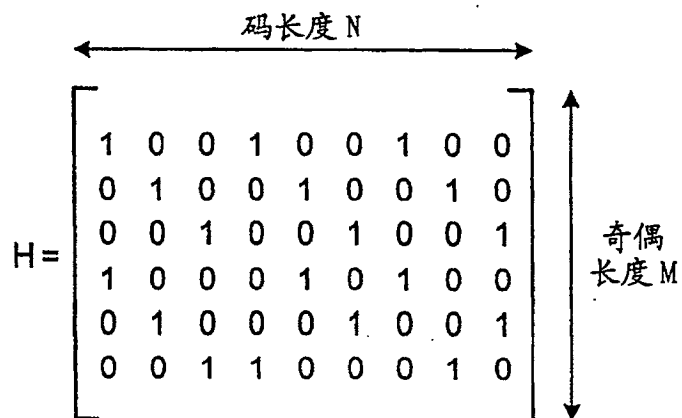


图 8

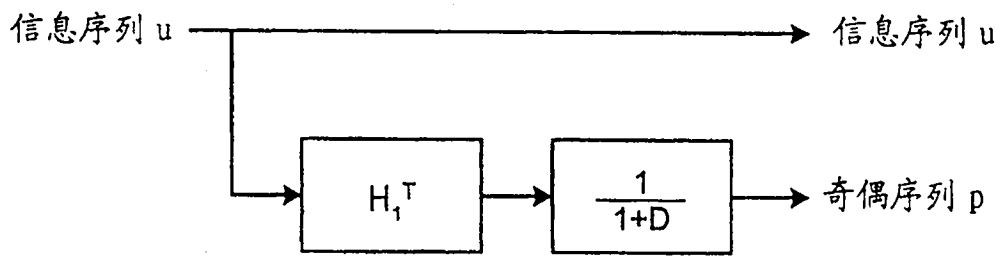


图 9