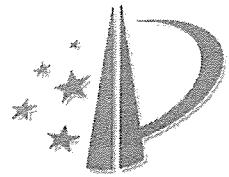


证书号第 1277505 号



# 发明 专利 证书

发明名称：对数据进行编码及解码的方法和系统

发明人：谭伟文；刘重明；谢智刚

专利号：ZL 2010 1 0165252.1

专利申请日：2010 年 05 月 07 日

专利权人：香港理工大学

授权公告日：2013 年 09 月 25 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书，并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 05 月 07 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长

田力普





## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102035556 B

(45) 授权公告日 2013.09.25

(21) 申请号 201010165252.1

审查员 陈毅强

(22) 申请日 2010.05.07

## (30) 优先权数据

12/573,577 2009.10.05 US

(73) 专利权人 香港理工大学

地址 中国香港九龙红磡

(72) 发明人 谭伟文 刘重明 谢智刚

(74) 专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理

有限公司 44217

代理人 郭伟刚 纪媛媛

(51) Int. Cl.

H03M 13/11 (2006.01)

H04L 1/00 (2006.01)

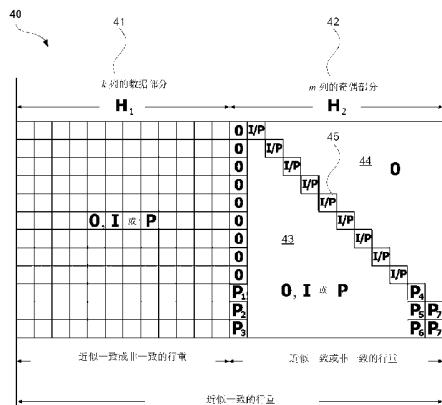
权利要求书5页 说明书12页 附图7页

## (54) 发明名称

对数据进行编码及解码的方法和系统

## (57) 摘要

本发明涉及对数据进行编码及解码的方法和系统。编码方法包括：基于奇偶校验矩阵(40)从k个数据比特中创建m个奇偶比特，奇偶校验矩阵(40)包括数据部分(41)和奇偶部分(42)。所述奇偶部分由分块子矩阵所组成，且每一分块子矩阵可为以下任意一种：零矩阵、单位矩阵和置换矩阵；其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线，且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵，而所述上对角线上方的分块子矩阵(44)则为零矩阵；所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线(45)下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵。



1. 一种对低密度奇偶校验码进行编码的方法,所述方法包括:

基于奇偶校验矩阵(H)从k个数据比特中创建m个奇偶比特,所述奇偶校验矩阵(H)包括数据部分(H<sub>1</sub>)和奇偶部分(H<sub>2</sub>);所述奇偶部分(H<sub>2</sub>)由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;以及

构造一个由k个数据比特及其创建的m个奇偶比特所组成的码字;

其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>)为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵(P<sub>4</sub>)等于倒数第二个分块子矩阵(P<sub>5</sub>)且最后一个分块子矩阵(P<sub>6</sub>)为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵(P<sub>4</sub>)等于最后一个分块子矩阵(P<sub>6</sub>)且倒数第二个分块子矩阵(P<sub>5</sub>)为零矩阵;以及

所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵(P<sub>7</sub>)相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述置换矩阵为循环右移单位矩阵。

4. 一种在对低密度奇偶校验码进行编码时,使用代表k个数据比特的向量d<sub>0</sub>, d<sub>1</sub>, ..., d<sub>k<sub>b</sub>-1</sub>和奇偶校验矩阵(H)来计算代表m个奇偶比特的向量p<sub>0</sub>, p<sub>1</sub>, ..., p<sub>m<sub>b</sub>-1</sub>的方法,其中向量d<sub>0</sub>, d<sub>1</sub>, ..., d<sub>k<sub>b</sub>-1</sub>以及向量p<sub>0</sub>, p<sub>1</sub>, ..., p<sub>m<sub>b</sub>-1</sub>中的每一个向量的长度都为z,m<sub>b</sub>等于m除以z,k<sub>b</sub>等于k除以z;所述奇偶校验矩阵(H)包括数据部分(H<sub>1</sub>)和奇偶部分(H<sub>2</sub>),且奇偶校验矩阵(H)具有以下结构:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{0,0} & \mathbf{h}_{0,1} & \cdots & \mathbf{h}_{0,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{0,k_b+1} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{1,0} & \mathbf{h}_{1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{1,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{1,k_b+1} & \mathbf{h}_{1,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{2,0} & \mathbf{h}_{2,1} & \cdots & \mathbf{h}_{2,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{2,k_b+1} & \mathbf{h}_{2,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{h}_{m_b-4,0} & \mathbf{h}_{m_b-4,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+m_b-3} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{m_b-3,0} & \mathbf{h}_{m_b-3,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b-1} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_4 & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{m_b-2,0} & \mathbf{h}_{m_b-2,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b-1} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_5 & \mathbf{P}_7 \\ \mathbf{h}_{m_b-1,0} & \mathbf{h}_{m_b-1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b-1} & \mathbf{P}_3 & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_6 & \mathbf{P}_7 \end{bmatrix}$$

所述方法包括:

使用以下等式计算p<sub>1</sub>:

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{0,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{0,k_b+1} \mathbf{p}_1 = \mathbf{0};$$

使用以下等式计算  $\mathbf{p}_2$ :

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{1,k_b+1} \mathbf{p}_1 + \mathbf{h}_{1,k_b+2} \mathbf{p}_2 = \mathbf{0};$$

使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{i+1}$  ( $2 \leq i \leq m_b - 4$ ):

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+i} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{h}_{i,k_b+i+1} \mathbf{p}_{i+1} = \mathbf{0};$$

使用以下等式计算  $\mathbf{p}_0$ :

$$\sum_{i=m_b-3}^{m_b-1} \left( \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} \right) + (\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 + \mathbf{P}_3) \mathbf{p}_0 + (\mathbf{P}_4 + \mathbf{P}_5 + \mathbf{P}_6) \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0};$$

使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{m_b-2}$ :

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_1 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_4 \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0}; \text{ 以及}$$

使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{m_b-1}$ :

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_2 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_5 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0};$$

其中所述奇偶校验矩阵中的每一个元素是一个大小为  $z \times z$  的分块子矩阵, 且为以下任意一种: 零矩阵、单位矩阵和置换矩阵; 所述数据部分( $H_1$ )包括所述奇偶校验矩阵( $H$ )的前  $k_b$  列, 而所述奇偶部分( $H_2$ )则包括所述奇偶校验矩阵( $H$ )的其余  $m_b$  列;

定义上对角线为所述奇偶部分( $H_2$ )中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线, 且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵, 而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵; 以及

所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵, 且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

5. 根据权利要求 4 所述的方法, 其特征在于, 使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{m_b-1}$ :

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_3 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_6 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}.$$

6. 根据权利要求 4 所述的方法, 其特征在于, 所述奇偶校验矩阵( $H$ )通过以下方式构建:

指定所述奇偶部分( $H_2$ )第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵, 且最后三个分块子矩阵中至少有两个是相同的;

指定所述奇偶部分( $H_2$ )上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵;

指定所述奇偶部分( $H_2$ )上对角线下方从第二列至倒数第三列中的每一列至少有一个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵;

指定所述奇偶部分( $H_2$ )倒数第二列的最后三个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵, 使

得所述倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于所述倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且所述最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者使得所述倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于所述最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且所述倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

指定所述奇偶部分( $H_2$ )最后一列的最后一个分块子矩阵等于倒数第二个分块子矩阵;以及

指定所述奇偶部分( $H_2$ )的其余所有分块子矩阵为零矩阵;以及

指定所述数据部分( $H_1$ )中每一分块子矩阵为零矩阵、单位矩阵或置换矩阵。

7. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述奇偶部分( $H_2$ )从第二列至倒数第三列中的每一列在上对角线下方仅有一个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵。

8. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述置换矩阵为循环右移单位矩阵。

9. 一种对低密度奇偶校验码进行解码的方法,所述方法包括:

接收代表一个长为  $k+m$  个比特的码字的信号;

使用奇偶校验矩阵( $H$ )对  $k$  个数据比特进行解码,所述奇偶校验矩阵包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;

其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

11. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述置换矩阵为循环右移单位矩阵。

12. 一种对低密度奇偶校验码进行编码的系统,所述系统包括:

编码器,用于基于奇偶校验矩阵( $H$ )去构造一个由  $k$  个数据比特及其创建的  $m$  个奇偶比特所组成的码字;所述奇偶校验矩阵( $H$ )包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;

其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵

阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, -P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

13. 根据权利要求 12 所述的系统,其特征在于,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

14. 根据权利要求 12 所述的系统,其特征在于,所述置换矩阵为循环右移单位矩阵。

15. 根据权利要求 12 所述的系统,其特征在于,进一步包括解码器,用于基于所接收的代表一个长为  $k+m$  个比特的码字的信号来估计  $k$  个数据比特。

16. 一种对低密度奇偶校验码进行解码的系统,所述系统包括:

解码器,用于基于所接收的代表一个长为  $k+m$  个比特的码字的信号和奇偶校验矩阵( $H$ )估计出  $k$  个数据比特,所述奇偶校验矩阵( $H$ )包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;

其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

17. 根据权利要求 16 所述的系统,其特征在于,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

18. 根据权利要求 16 所述的系统,其特征在于,所述置换矩阵为循环右移单位矩阵。

19. 根据权利要求 16 所述的系统，其特征在于，进一步包括编码器，用于构造一个由  $k$  个数据比特及其创建的  $m$  个奇偶比特所组成的码字。

## 对数据进行编码及解码的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术，特别涉及一种对低密度奇偶校验(low-density-parity-check, LDPC)码进行编码及解码的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 在典型的无线通信系统中，一般通过引入纠错来解决通信信道所引起的失真问题。低密度奇偶校验码(low-density-parity-check, LDPC)是一类纠错码，由于其逼近香农(Shannon)极限的特性，LDPC码已成为现有及未来无线系统中大有前途的一种纠错码。例如，LDPC码已分别被无线局域网(WLAN)、无线城域网(WMAN)、IEEE802.11n协议的卫星电视、IEEE802.16e(WiMAX)和DVB-S2等标准所采用。此外，LDPC码还可用于数据存储的编码和解码中。

[0003] 图1示出了一个使用LDPC码的基本通信系统。k个数据比特 $\{d_0, d_1, \dots, d_{k-1}\}$ 首先被传送到LDPC编码器10。对于给定的 $m \times n$ 奇偶校验矩阵 $H_{11}$ ，编码器将根据数据比特估计出m个冗余比特 $\{p_0, p_1, \dots, p_{m-1}\}$ 作为奇偶校验比特，并将k个数据比特和这m个奇偶比特合并成一个长度为n( $n=k+m$ )个比特的码字c。随后，在数据经由通信信道13发送出去之前，调制器将会对数据进行调制12。解调14后，LDPC解码器15基于所接收的信号通过查找符合公式 $H\hat{c}^T = \mathbf{0}$ 的码字 $\hat{c}$ 估计出数据比特，其中T代表行列互换的转置操作符。转置后，原矩阵中第i行和第j列的元素将变为新矩阵中第i列和第j行的元素。

[0004] 参考图1所示，LDPC编码系统的设计涉及到奇偶校验矩阵 $H_{11}$ 的构建以及编码器10和解码器15的实现。如果没有硬件约束，构建一个稀疏奇偶校验矩阵H最简单的方法就是随机且稀疏地将“1”设置到H中。然而，为了估计生成矩阵G，使得 $GH^T = \mathbf{0}$ ，需要执行高斯消元法(Gaussian elimination)，从而将H转换为系统化形式 $H_{sys} = [Q | I]$ ，其中Q是一个 $m \times k$ 矩阵，I是一个 $m \times m$ 单位矩阵，矩阵I对角线上的元素为1，其余全为0，以便得到生成矩阵 $G = [I | Q^T]$ 。因此，如果H是随机构建的，变换后得到的矩阵 $H_{sys}$ 将失去原奇偶校验矩阵H的稀疏性。还有，矩阵 $H_{sys}$ 中不一定存在有m行线性无关。为克服这些问题，H常常以某种特定的形式来直接构建。例如，刊登在《电子快报(Electronics Letters)》1999年1月第35卷第1期第38-39页上题目为“具有半随机奇偶校验矩阵的低密度奇偶校验码(Low density parity checkcodes with semi-random parity check matrix)”的文章中，H分为两个稀疏矩阵 $H_1$ 和 $H_2$ ，即 $H = [H_1 | H_2]$ ，其中 $H_1$ 是一个对应于码字中数据比特的 $m \times k$ 矩阵， $H_2$ 是一个对应于奇偶比特的 $m \times m$ 满秩矩阵。编码器中用于生成冗余比特的系统化生成矩阵由 $G_{sys} = [I | H_1 H_2^{-T}]$ 得到。由于 $G_{sys}$ 不是稀疏的，直接使用 $G_{sys}$ 来估计冗余比特将涉及很多计算。一种可选的方法是以下三角的形式去构建矩阵 $H_2$ ，那么码字中的奇偶部分 $p_1, 1 = 0, 1, \dots, m-1$ ，就会递归得解，这样就没有必要再去估计生成矩阵 $G_{sys}$ 。因此，一般选取双对角线矩阵(dual-diagonalmatrix)作为 $H_2$ ，其特点是双对角线上为非零元素，而其余地方全为零，且 $H_2$ 由下式表示：

[0005]

$$\mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

[0006] 列重(column weight)定义为列中非零元素的数量。在等式(1)所示的矩阵  $\mathbf{H}_2$  中,除了最后一列的权重为 1 外,其余所有列的权重为 2。为了更易于实现编码器和解码器,实际应用中通常采用具有分块结构的 LDPC 码(block-structured LDPC code),该码由基础奇偶校验矩阵(base parity-checkmatrix)  $\mathbf{H}_b$  表示,其中每一个元素都是一个大小为  $z \times z$  的方阵,且  $z$  是一个整数,并定义为扩展因子。与奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}$  相比,基础奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}_b$  具有较小的尺寸(减少  $z \times z$ ),因此需要较少的记忆空间来存储。而且,基础矩阵  $\mathbf{H}_b$  能够通过选用大小恰当的分块子矩阵简便且灵活地扩展至不同码长(code length)的奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}$ 。

[0007] 参考图 2,所示的是一个由分块子矩阵所组成的 LDPC 码的结构。每一分块子矩阵是一个大小为  $z \times z$  的方阵。对于奇偶校验矩阵的数据部分  $\mathbf{H}_1$ ,每一分块子矩阵可为零矩阵 0、单位矩阵 I 或置换矩阵 P。对于奇偶校验矩阵的奇偶部分  $\mathbf{H}_2$ ,每一分块子矩阵的下三角区域 20 为零矩阵 0、单位矩阵 I 或置换矩阵 P,而不在下三角区域 20 的分块子矩阵 21 必须为零矩阵 0。 $\mathbf{H}_2$  对角线 22 上的所有分块子矩阵为单位矩阵 I。除了最后的分块列 23 仅包含一个非零分块子矩阵外,  $\mathbf{H}_2$  其余分块列中的每一列都包含有两个或多个非零分块子矩阵。当分块子矩阵由“0”和“1”替代时即可得到全扩展矩阵(fully-expanded matrix)  $\mathbf{H}_2$ 。全扩展矩阵  $\mathbf{H}_2$  中最后  $z$  列的权重为 1,这是不期望的。特别是对于  $z$  值较大的情况来说,因为列重为 1 的数量越大,LDPC 码的纠错能力就越差。为了避免全扩展矩阵  $\mathbf{H}_2$  中出现较多权重为 1 的列,应当对图 2 中  $\mathbf{H}_2$  的结构作出修改。

[0008] 参考图 3,所示的是一个由分块子矩阵所组成的 LDPC 码的另一结构。 $\mathbf{H}_2$  的双对角线 30 结构由分块子矩阵所组成,除了第一分块列包含有三个非零分块子矩阵 31 (当  $\mathbf{H}_2$  全扩展时,第一分块列中单独每一列的权重都为 3) 外,其余所有分块列都包含有两个非零分块子矩阵(当  $\mathbf{H}_2$  全扩展时,这些分块列中单独每一列的权重都为 2)。对于包含有两个非零分块子矩阵的分块列来说,非零分块子矩阵位于  $\mathbf{H}_2$  的双对角线 30 处(如图 3 所示),且通常设置为单位矩阵 I。

[0009] 根据奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}$  的权重是一致(uniform)(常量(constant))或非一致(非常量),LDPC 码被分类为规则码或非规则码。规则码具有常量列重和常量行重,而非规则码则具有不等的列重和 / 或不等的行重。

[0010] 在现有技术中,若从误码性能方面去考虑的话,最佳的列重应为非一致,而行重应近似一致且具有两至三个连续的权重值。因此,为了获得较低的误码率,应优先选用具有非

一致列重和近似一致行重的奇偶校验矩阵 H。考虑在 H 表示成  $H = [H_1 | H_2]$  的情况下,  $H_1$  和 / 或  $H_2$  的列重应当为非一致的, 或者当  $H_1$  和  $H_2$  的列重都为一致的时候, 那么它们应当是不相等的。而且, 通常  $H_1$ 、 $H_2$  和 H 的行重都尽可能设置为一致。图 3 示出了具有这些特性的 LDPC 码的一个例子, 该码用于 IEEE802.16e 标准中。图 3 中,  $H_1$  的列重为非一致, 而  $H_2$  的列重为近似一致, 且  $H_1$ 、 $H_2$  和  $H = [H_1 | H_2]$  的行重都近似一致。同样在图 3 中, 奇偶校验矩阵的奇偶部分 32 中所有列重为 2 的列都是完全确定的。

## 发明内容

[0011] 一方面, 本发明提供了一种对低密度奇偶校验码进行编码的方法, 所述方法包括:

[0012] 基于奇偶校验矩阵 (H) 从 k 个数据比特中创建 m 个奇偶比特, 所述奇偶校验矩阵 (H) 包括数据部分 ( $H_1$ ) 和奇偶部分 ( $H_2$ ); 所述奇偶部分 ( $H_2$ ) 由分块子矩阵所组成, 且每一分块子矩阵可为以下任意一种: 零矩阵 (zeromatrix)、单位矩阵 (identity matrix) 和置换矩阵 (permutation matrix); 以及

[0013] 构造一个由 k 个数据比特及其创建的 m 个奇偶比特所组成的码字;

[0014] 其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线, 且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵, 而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

[0015] 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵, 且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0016] 所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵 ( $P_1, P_2, P_3$ ) 为单位矩阵或置换矩阵, 且这三个矩阵中至少有两个是相同的, 以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0017] 所述奇偶部分的倒数第二列中, 倒数第三个分块子矩阵 ( $P_4$ ) 等于倒数第二个分块子矩阵 ( $P_5$ ) 且最后一个分块子矩阵 ( $P_6$ ) 为零矩阵, 或者倒数第三个分块子矩阵 ( $P_4$ ) 等于最后一个分块子矩阵 ( $P_6$ ) 且倒数第二个分块子矩阵 ( $P_5$ ) 为零矩阵; 以及

[0018] 所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵 ( $P_7$ ) 相同, 且为单位矩阵或置换矩阵。

[0019] 进一步地, 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列的每一列在所述上对角线下方可以仅包含一个单位矩阵或置换矩阵, 且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

[0020] 进一步地, 所述置换矩阵可为循环右移单位矩阵 (cyclic-right-shifted identity matrix)。

[0021] 另一方面, 本发明提供了一种在对低密度奇偶校验码进行编码时, 使用代表 k 个数据比特的向量  $d_0, d_1, \dots, d_{k_b-1}$  和奇偶校验矩阵 (H) 来计算代表 m 个奇偶比特的向量  $p_0, p_1, \dots, p_{m_b-1}$  的方法, 其中向量  $d_0, d_1, \dots, d_{k_b-1}$  以及向量  $p_0, p_1, \dots, p_{m_b-1}$  中的每一个向量的长度都为 z,  $m_b$  等于 m 除以 z,  $k_b$  等于 k 除以 z; 所述奇偶校验矩阵 (H) 包括数据部分 ( $H_1$ )

和奇偶部分( $H_2$ )，且奇偶校验矩阵( $H$ )具有以下结构：

[0022]

$$H = \begin{bmatrix} h_{0,0} & h_{0,1} & \cdots & h_{0,k_b-1} & \mathbf{0} & h_{0,k_b+1} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ h_{1,0} & h_{1,1} & \cdots & h_{1,k_b-1} & \mathbf{0} & h_{1,k_b+1} & h_{1,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ h_{2,0} & h_{2,1} & \cdots & h_{2,k_b-1} & \mathbf{0} & h_{2,k_b+1} & h_{2,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{m_b-4,0} & h_{m_b-4,1} & \cdots & h_{m_b-4,k_b-1} & \mathbf{0} & h_{m_b-4,k_b+1} & h_{m_b-4,k_b+2} & \cdots & h_{m_b-4,k_b+m_b-3} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ h_{m_b-3,0} & h_{m_b-3,1} & \cdots & h_{m_b-3,k_b-1} & P_1 & h_{m_b-3,k_b+1} & h_{m_b-3,k_b+2} & \cdots & h_{m_b-3,k_b+m_b-3} & P_4 & \mathbf{0} \\ h_{m_b-2,0} & h_{m_b-2,1} & \cdots & h_{m_b-2,k_b-1} & P_2 & h_{m_b-2,k_b+1} & h_{m_b-2,k_b+2} & \cdots & h_{m_b-2,k_b+m_b-3} & P_5 & P_7 \\ h_{m_b-1,0} & h_{m_b-1,1} & \cdots & h_{m_b-1,k_b-1} & P_3 & h_{m_b-1,k_b+1} & h_{m_b-1,k_b+2} & \cdots & h_{m_b-1,k_b+m_b-3} & P_6 & P_7 \end{bmatrix}$$

[0023] 所述方法包括：

[0024] 使用以下等式计算  $p_1$ :

$$[0025] \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{0,j} \mathbf{d}_j + h_{0,k_b+1} \mathbf{p}_1 = \mathbf{0};$$

[0026] 使用以下等式计算  $p_2$ :

$$[0027] \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{1,j} \mathbf{d}_j + h_{1,k_b+1} \mathbf{p}_1 + h_{1,k_b+2} \mathbf{p}_2 = \mathbf{0};$$

[0028] 使用以下等式计算  $p_{i+1}$  ( $2 \leq i \leq m_b-4$ ):

$$[0029] \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+i} h_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + h_{i,k_b+i+1} \mathbf{p}_{i+1} = \mathbf{0};$$

[0030] 使用以下等式计算  $p_0$ :

$$[0031] \sum_{i=m_b-3}^{m_b-1} \left( \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} h_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} \right) + (\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 + \mathbf{P}_3) \mathbf{p}_0 + (\mathbf{P}_4 + \mathbf{P}_5 + \mathbf{P}_6) \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0};$$

[0032] 使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{m_b-2}$ :

$$[0033] \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{m_b-3,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_1 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} h_{m_b-3,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_4 \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0}; \text{以及}$$

[0034] 使用以下等式计算  $\mathbf{p}_{m_b-1}$ :

$$[0035] \sum_{j=0}^{k_b-1} h_{m_b-2,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_2 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} h_{m_b-2,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_5 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0};$$

[0036] 其中所述奇偶校验矩阵中的每一个元素是大小为  $z \times z$  的分块子矩阵，且为以下任意一种：零矩阵、单位矩阵和置换矩阵；所述数据部分( $H_1$ )包括所述奇偶校验矩阵( $H$ )的前  $k_b$  列，而所述奇偶部分( $H_2$ )则包括所述奇偶校验矩阵( $H$ )的其余  $m_b$  列；

[0037] 定义上对角线为所述奇偶部分( $H_2$ )中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线，且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵，而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵；以及

[0038] 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有

一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

[0039] 进一步地,可使用以下等式计算  $\mathbf{P}_{m_b-1}$ :

$$[0040] \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_3 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_6 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}$$

[0041] 进一步地,所述奇偶校验矩阵( $H$ )可通过以下方式构建:

[0042] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且最后三个分块子矩阵中至少有两个是相同的;

[0043] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵;

[0044] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )上对角线下方从第二列至倒数第三列中的每一列至少有一个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵;

[0045] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )倒数第二列的最后三个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,使得所述倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于所述倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且所述最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者使得所述倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于所述最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且所述倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

[0046] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )最后一列的最后一个分块子矩阵等于倒数第二个分块子矩阵;以及

[0047] 指定所述奇偶部分( $H_2$ )的其余所有分块子矩阵为零矩阵;以及

[0048] 指定所述数据部分( $H_1$ )中每一分块子矩阵为零矩阵、单位矩阵或置换矩阵。

[0049] 进一步地,可以指定所述奇偶部分( $H_2$ )从第二列至倒数第三列的每一列在上对角线下方仅仅一个分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵。

[0050] 进一步地,所述置换矩阵可为循环右移单位矩阵。

[0051] 另一方面,本发明提供了一种对低密度奇偶校验码进行解码的方法,所述方法包括:

[0052] 接收代表一个长为  $k+m$  个比特的码字的信号;

[0053] 使用奇偶校验矩阵( $H$ )对  $k$  个数据比特进行解码,所述奇偶校验矩阵包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;

[0054] 其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

[0055] 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0056] 所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0057] 所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块

子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

[0058] 所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

[0059] 进一步地,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列的每一列在所述上对角线下方可以仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

[0060] 进一步地,所述置换矩阵可为循环右移单位矩阵。

[0061] 再一方面,本发明提供了一种对低密度奇偶校验码进行编码的系统,所述系统包括:

[0062] 编码器,用于基于奇偶校验矩阵( $H$ )去构造一个由 $k$ 个数据比特及其创建的 $m$ 个奇偶比特所组成的码字;所述奇偶校验矩阵( $H$ )包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位矩阵和置换矩阵;

[0063] 其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线,且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵,而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵;

[0064] 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0065] 所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵,且这三个矩阵中至少有两个是相同的,以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵;

[0066] 所述奇偶部分的倒数第二列中,倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵,或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵;以及

[0067] 所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同,且为单位矩阵或置换矩阵。

[0068] 进一步地,所述奇偶部分从第二列至倒数第三列的每一列在所述上对角线下方可以仅包含一个单位矩阵或置换矩阵,且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

[0069] 进一步地,所述置换矩阵可为循环右移单位矩阵。

[0070] 进一步地,所述系统还可以包括解码器,用于基于所接收的代表一个长为 $k+m$ 个比特的码字的信号来估计 $k$ 个数据比特。

[0071] 再一方面,本发明还提供了一种对低密度奇偶校验码进行解码的系统,所述系统包括:

[0072] 解码器,用于基于所接收的代表一个长为 $k+m$ 个比特的码字的信号和奇偶校验矩阵( $H$ )估计出 $k$ 个数据比特,所述奇偶校验矩阵( $H$ )包括数据部分( $H_1$ )和奇偶部分( $H_2$ ),所述奇偶部分( $H_2$ )由分块子矩阵所组成,且每一分块子矩阵可为以下任意一种:零矩阵、单位

矩阵和置换矩阵；

[0073] 其中定义上对角线为所述奇偶部分中从第二列的第一分块子矩阵延伸至最后一列的倒数第二个分块子矩阵的连线，且所述上对角线上的每一分块子矩阵为单位矩阵或置换矩阵，而所述上对角线上方的分块子矩阵则为零矩阵；

[0074] 所述奇偶部分从第二列至倒数第三列中的每一列在所述上对角线下方都包含有一个或多个单位矩阵或置换矩阵，且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵；

[0075] 所述奇偶部分第一列的最后三个分块子矩阵( $P_1, P_2, P_3$ )为单位矩阵或置换矩阵，且这三个矩阵中至少有两个是相同的，以及所述奇偶部分第一列的其余分块子矩阵均为零矩阵；

[0076] 所述奇偶部分的倒数第二列中，倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )且最后一个分块子矩阵( $P_6$ )为零矩阵，或者倒数第三个分块子矩阵( $P_4$ )等于最后一个分块子矩阵( $P_6$ )且倒数第二个分块子矩阵( $P_5$ )为零矩阵；以及

[0077] 所述奇偶部分最后一列的最后两个分块子矩阵( $P_7$ )相同，且为单位矩阵或置换矩阵。

[0078] 进一步地，所述奇偶部分从第二列至倒数第三列的每一列在所述上对角线下方可以仅包含一个单位矩阵或置换矩阵，且同一列中在所述上对角线下方的其余分块子矩阵均为零矩阵。

[0079] 进一步地，所述置换矩阵可为循环右移单位矩阵。

[0080] 进一步地，所述系统还可以包括编码器，用于构造一个由 $k$ 个数据比特及其创建的 $m$ 个奇偶比特所组成的码字。

## 附图说明

[0081] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明，附图中：

[0082] 图1是一个使用LDPC码的基本通信系统的结构示意图；

[0083] 图2是一个由分块子矩阵所组成的LDPC码的结构示意图，该码以奇偶校验矩阵 $H = [H_1 | H_2]$ 表示，0、I和P分别表示零矩阵、单位矩阵和置换矩阵；

[0084] 图3是IEEE802.16e标准所使用之奇偶校验矩阵 $H = [H_1 | H_2]$ 的结构示意图；0、I和P分别表示零矩阵、单位矩阵和置换矩阵；

[0085] 图4是本发明一实施例之奇偶校验矩阵 $H$ 的结构示意图，0、I和P分别表示零矩阵、单位矩阵和置换矩阵； $P_1$ 至 $P_4$ 以及 $P_7$ 可以是单位矩阵或置换矩阵， $P_5$ 至 $P_6$ 为零矩阵、单位矩阵或置换矩阵；

[0086] 图5是本发明一实施例之特定形式的奇偶校验矩阵 $H$ 的结构示意图；

[0087] 图6是用于构建码率为1/2之A码和B码基础奇偶校验矩阵 $H_b$ 的列重以及在IEEE802.16e标准中所使用之码率为1/2的LDPC码 $H_b$ 列重的示意表格；

[0088] 图7是图6所示A码中矩阵 $H_{b1}$ 、 $H_{b2}$ 和 $H_b$ 行重的示意表格；

[0089] 图8是在IEEE802.16e标准中所使用之码率为1/2的LDPC码矩阵 $H_{b1}$ 、 $H_{b2}$ 和 $H_b$ 行重的示意表格；

[0090] 图9是图6所示A码和B码的误帧率(BLER)和误比特率(BER)与IEEE802.16e码

相比较的示意图；

- [0091] 图 10 是根据本发明一实施例采用有效编码方法之应用实例的示意表格；
- [0092] 图 11 是编码中模 2 加法操作的示意图；
- [0093] 图 12 是编码中模 2 乘法操作的示意图；
- [0094] 图 13 是根据本发明一实施例构建之 A 码的基础奇偶校验矩阵示意图；以及
- [0095] 图 14 是根据本发明一实施例构建之 B 码的基础奇偶校验矩阵示意图。

### 具体实施方式

[0096] 参考图 4, 所示奇偶校验矩阵  $H_{40}$  包括数据部分  $H_{141}$  和奇偶部分  $H_{242}$ , 其中数据部分  $H_{141}$  由  $k$  列组成, 以及奇偶部分  $H_{242}$  由  $m$  列组成。0、I 和 P 分别表示零矩阵、单位矩阵和置换矩阵。置换矩阵可以是循环右移单位矩阵。奇偶部分  $H_2$  中第一分块列的权重为 3, 而其最后两个分块列的权重为 2。奇偶部分从第二列至倒数第三列中每一分块列的权重至少为 2。 $P_1$  至  $P_3$  为奇偶部分  $H_{242}$  中第一分块列的最后三个分块子矩阵。 $P_4$  至  $P_6$  为奇偶部分  $H_{242}$  中倒数第二分块列的最后三个分块子矩阵。 $P_7$  为奇偶部分  $H_{242}$  中最后一个分块列的最后两个分块子矩阵。 $P_1$  至  $P_4$  和  $P_7$  为单位矩阵 I 或置换矩阵 P。矩阵  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  中至少有两个是相同的。且  $P_4=P_5$  以及  $P_6=0$ , 或者  $P_4=P_6$  以及  $P_5=0$ 。 $H_2$  下三角  $H_{34}$  中的所有分块子矩阵可指定为零矩阵 0、单位矩阵 I 和置换矩阵 P, 因此允许  $H_2$  的行重是一致的或非一致的。奇偶部分  $H_{242}$  上三角  $H_{44}$  中的所有分块子矩阵均指定为零矩阵 0。依照奇偶部分  $H_{242}$  的行重是近似一致或非一致, 数据部分  $H_{141}$  的行重也跟随是近似一致的或非一致的, 从而使得奇偶校验矩阵  $H_{40}$  的行重总是保持为近似一致。本发明提供了一类低密度奇偶校验(LDPC)码, 与图 3 所示的结构相比具有更好的性能。而且, 所提供的 LDPC 码具有低编码复杂度。

[0097] 参考图 5, 所示奇偶校验矩阵 H 是图 4 的特定形式。为了方便起见, 一些分块子矩阵设置为单位矩阵 I。与图 4 相比变化在于  $P_2$  为单位矩阵,  $P_3$  等于  $P_1$ , 且  $P_4$ 、 $P_5$  和  $P_7$  为单位矩阵, 而  $P_6$  为零矩阵。

[0098] 以下给出一个赋予数值的例子, 码长设置为  $n=2304$ , 且扩展因子(expansion factor)(分块子矩阵的列数)设置为  $z=96$ 。对于一个码率为  $1/2$  的 LDPC 码(rate1/2code), 其基础奇偶校验矩阵将包含 12 行 24 列。由此构建两个 LDPC 码, 分别称为 A 码和 B 码。

[0099] 参考图 6, 用于构建 A 码和 B 码基础奇偶校验矩阵  $H_b$  的列重以表格的形式列出。IEEE802.16e 标准中所使用之码率为  $1/2$  的 LDPC 码的列重也在同一表格的最后一行中示出。A 码所选取的列重及其顺序与码率为  $1/2$  的 IEEE802.16e 码是完全相同的。

[0100] 参考图 7, A 码中矩阵  $H_{b1}$ 、 $H_{b2}$  和  $H_b$  的行重以表格的形式列出, 其中  $H_b=[H_{b1} | H_{b2}]$ ,  $H_{b1}$  为数据部分, 以及  $H_{b2}$  为奇偶部分。为了进行对比, 码率为  $1/2$  之 IEEE802.16e 码的行重也在图 8 中列表示出。图 8 中, IEEE802.16e 码中矩阵  $H_{b1}$ 、 $H_{b2}$  和  $H_b$  的行重是近似一致的(nearly uniform), 且对于矩阵  $H_{b1}$ 、 $H_{b2}$  和  $H_b$  中的每一个矩阵来说, 行重仅有两个值。相反, A 码中  $H_{b1}$  的行重等于 1、3、4、5 或 6, 视为非一致的。类似地, A 码中  $H_{b2}$  行重的范围是 1 至 5, 也视为非一致的。然而, A 码中  $H_b$  仅有两个行重值:其中有 8 行的行重为 6, 其余 4 行的行重为 7, 因此这些行重接近一致。尽管对应于 A 码中  $H_b$  行重的顺序与对应于 IEEE802.16e 码的不同, 两种码行重的分布都是一样的。

[0101] 参考图 9, 针对加性白高斯噪声信道, 图 6 所示 A 码和 B 码的误码性能将与码率为

1/2 的 IEEE802.16e 码进行比较。为了公平起见, 仿真将选用同一组噪声采样。A 码、B 码和 IEEE802.16e 码的误帧率(block error rate, 简称 BLER)和误比特率(bit error rate, 简称 BER)以跟随比特能量 / 噪声功率谱密度比率(bit-energy-to-noise-power-spectral-density ratio, 简称  $E_b/N_0$ ) 变化的形式示出。虽然 A 码与 IEEE802.16e 码具有相同的列重和行重分布, 然而因 A 码具有非一致的  $H_{b1}$  行重和非一致的  $H_{b2}$  行重, 所以胜过 IEEE802.16e 码。与 A 码和 IEEE802.16e 码相比, B 码拥有不同的列重分布, 可见 B 码的误码性能优于 A 码和 IEEE802.16e 码。

[0102] 本发明提供一类低密度奇偶校验(LDPC)码及其编码技术可应用于 IEEE802.16e 和 IEEE802.11n 标准中的计算机通信和无线通信的纠错中, 从而获取较低的误码率。随着无线接入日益增长的需求, 人们期望可实现更快速且更可靠的通信。本发明提供的 LDPC 码具有良好的误码性能和低编码复杂度, 因此将有可能用作 IEEE802.16 和 IEEE802.11 标准以及任何其他无线或有线通信标准的纠错码。

[0103] 本发明所提供的 LDPC 码的其中一个优势是比 IEEE802.16e 和 IEEE802.11n 标准所采用的现有技术具有更好的误帧率和误比特率性能。本发明为奇偶校验矩阵 40 提供了一种新的近似下三角结构, 此结构允许低编码复杂度, 且奇偶校验矩阵 40 的奇偶部分 42 是半确定的(semi-deterministic)。在数学领域上, 对角线从第一列的第一个元素延伸至最后一列的最后一个元素, 而上对角线 45 表示在对角线元素正上方的元素。对于奇偶部分 42 从第二列至倒数第三列中的每一列, 上对角线 45 上的分块子矩阵为单位或置换分块子矩阵。且对于奇偶部分 42 从第二列至倒数第三列中的每一列, 在上对角线 45 下方的分块子矩阵 43 中至少有一个为单位或置换分块子矩阵。且同一列中在上对角线 45 下方的其余分块子矩阵均为零分块子矩阵。与典型的双对角线结构相比, 本发明增加了奇偶校验矩阵 40 设计的灵活性。在编码复杂度相类似的情况下, 本发明还可获得比双对角线结构较低的误码率。

[0104] 在另一示例中, 可以设想, 对于奇偶部分 42 从第二列至倒数第三列中的每一列来说, 上对角线 45 上的分块子矩阵和上对角线 45 下方仅仅一个分块子矩阵 43 为单位或置换分块子矩阵, 而同一列中其余所有分块子矩阵均为零分块子矩阵。

[0105] 若从行重分布的角度来考虑本发明所提供的结构, 奇偶校验矩阵 H 优选的行重为近似一致。在传统技术中, 对于具有分块结构的 LDPC 码,  $H_1$  和  $H_2$  的行重设计为近似一致, 类似于奇偶校验矩阵 H 的行重。然而在本发明中, 允许矩阵  $H_1$  和  $H_2$  具有非一致的行重, 而奇偶校验矩阵 H 的行重却保持为近似一致。因此, 设计变得更加灵活。

[0106] 本发明提供了一种有效的编码方法。一个长度为 n 的码字向量 c 由 k 个数据比特和 m 个奇偶比特所组成, 由下式表示:

[0107]  $(c)_n = [(d)_k | (p)_m]$

[0108] 其中  $d = [d_0, d_1, \dots, d_{k-1}]$ ,  $p = [p_0, p_1, \dots, p_{m-1}]$ , 分别表示数据比特和奇偶比特。

[0109]  $m \times n$  奇偶校验矩阵 H 可表示为:

[0110]  $(H)_{m \times n} = [(H_1)_{m \times k} | (H_2)_{m \times m}]$

[0111] 其中  $H_1$  为对应于码字中数据比特的  $m \times k$  矩阵,  $H_2$  为对应于奇偶比特的  $m \times m$  矩阵。

[0112] 由分块子矩阵所组成的奇偶校验矩阵 H 可表示为:

[0113]

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{0,0} & \mathbf{h}_{0,1} & \cdots & \mathbf{h}_{0,k_b-1} & \mathbf{h}_{0,k_b} & \cdots & \mathbf{h}_{0,n_b-1} \\ \mathbf{h}_{1,0} & \mathbf{h}_{1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{1,k_b-1} & \mathbf{h}_{1,k_b} & \cdots & \mathbf{h}_{1,n_b-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{h}_{m_b-1,0} & \mathbf{h}_{m_b-1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b-1} & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,n_b-1} \end{bmatrix}$$

[0114] 其中  $z$  为扩展因子,  $n_b = n/z$ ,  $k_b = k/z$  和  $m_b = m/z$ ,  $\mathbf{h}_{i,j}$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, m_b-1$ ,  $j=0, 1, 2, \dots, n_b-1$ ) 是一个  $z \times z$  方阵, 可为零矩阵、单位矩阵或置换矩阵。这样, 码字向量可写为:

$$[0115] \quad \mathbf{c} = [\mathbf{d}_0 \ \mathbf{d}_1 \cdots \mathbf{d}_{k_b-1} \mid \mathbf{p}_0 \ \mathbf{p}_1 \cdots \mathbf{p}_{m_b-1}]$$

[0116] 其中  $\mathbf{d}_i$  和  $\mathbf{p}_i$  表示长度为  $z$  的向量, 分别由  $\mathbf{d}_i = [d_{iz} \ d_{iz+1} \ \dots \ d_{iz+z-1}]$  和  $\mathbf{p}_i = [p_{iz} \ p_{iz+1} \ \dots \ p_{iz+z-1}]$  给出。

[0117] 本发明所建议的奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}$  可表示为:

[0118]

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_{0,0} & \mathbf{h}_{0,1} & \cdots & \mathbf{h}_{0,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{0,k_b+1} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{1,0} & \mathbf{h}_{1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{1,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{1,k_b+1} & \mathbf{h}_{1,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{2,0} & \mathbf{h}_{2,1} & \cdots & \mathbf{h}_{2,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{2,k_b+1} & \mathbf{h}_{2,k_b+2} & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{h}_{m_b-4,0} & \mathbf{h}_{m_b-4,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b-1} & \mathbf{0} & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-4,k_b+m_b-3} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{m_b-3,0} & \mathbf{h}_{m_b-3,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b-1} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-3,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_4 & \mathbf{0} \\ \mathbf{h}_{m_b-2,0} & \mathbf{h}_{m_b-2,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b-1} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-2,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_5 & \mathbf{P}_7 \\ \mathbf{h}_{m_b-1,0} & \mathbf{h}_{m_b-1,1} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b-1} & \mathbf{P}_3 & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+1} & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+2} & \cdots & \mathbf{h}_{m_b-1,k_b+m_b-3} & \mathbf{P}_6 & \mathbf{P}_7 \end{bmatrix}$$

[0119] 编码的操作是基于向量  $\mathbf{d}_0, \mathbf{d}_1, \dots, \mathbf{d}_{k_b-1}$  和奇偶校验矩阵  $\mathbf{H}$  来寻找向量  $\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_{m_b-1}$ 。由于  $\mathbf{H}\mathbf{c}^T = \mathbf{0}$ , 对应于矩阵  $\mathbf{H}$  的每一行, 可以得到以下等式:

[0120] 行 0 :

$$[0121] \quad \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{0,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{0,k_b+1} \mathbf{p}_1 = \mathbf{0}$$

[0122] 行 1 :

$$[0123] \quad \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{1,k_b+1} \mathbf{p}_1 + \mathbf{h}_{1,k_b+2} \mathbf{p}_2 = \mathbf{0}$$

[0124] •

[0125] •

[0126] •

[0127] 行  $i$ ,  $2 \leq i \leq m_b-4$ :

$$[0128] \quad \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+i} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{h}_{i,k_b+i+1} \mathbf{p}_{i+1} = \mathbf{0}$$

[0129] 行  $m_b-3$ :

[0130]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_1 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_4 \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0}$

[0131] 行  $m_b-2$  :

[0132]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_2 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_5 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}$

[0133] 行  $m_b-1$  :

[0134]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_3 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_6 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}$

[0135] 首先, 使用  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{0,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{0,k_b+1} \mathbf{p}_1 = \mathbf{0}$  来计算  $\mathbf{p}_1$ 。接着, 将  $\mathbf{p}_1$  代入以下公式计算出  $\mathbf{p}_2$  :

$$\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{h}_{1,k_b+1} \mathbf{p}_1 + \mathbf{h}_{1,k_b+2} \mathbf{p}_2 = \mathbf{0}.$$

[0136] 已知  $\mathbf{p}_1$  至  $\mathbf{p}_i$  ( $i = 2, 3, \dots, m_b-4$ ), 便可以使用以下公式来计算  $\mathbf{p}_{i+1}$  :

[0137]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+i} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{h}_{i,k_b+i+1} \mathbf{p}_{i+1} = \mathbf{0}.$

[0138] 再将最后 3 行的各项相加, 由下式可得到  $\mathbf{p}_0$  :

[0139]  $\sum_{i=m_b-3}^{m_b-1} \left( \sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{d}_j + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{i,j} \mathbf{p}_{j-k_b} \right) + (\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 + \mathbf{P}_3) \mathbf{p}_0 + (\mathbf{P}_4 + \mathbf{P}_5 + \mathbf{P}_6) \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0}$

[0140] 最后, 已知  $\mathbf{p}_0$  至  $\mathbf{p}_{m_b-3}$ , 使用下式可计算出  $\mathbf{p}_{m_b-2}$  :

[0141]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_1 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-3,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_4 \mathbf{p}_{m_b-2} = \mathbf{0};$

[0142] 以及使用以下任一式子计算出  $\mathbf{p}_{m_b-1}$  :

[0143]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_2 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-2,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_5 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}$  或

[0144]  $\sum_{j=0}^{k_b-1} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{d}_j + \mathbf{P}_3 \mathbf{p}_0 + \sum_{j=k_b+1}^{k_b+m_b-3} \mathbf{h}_{m_b-1,j} \mathbf{p}_{j-k_b} + \mathbf{P}_6 \mathbf{p}_{m_b-2} + \mathbf{P}_7 \mathbf{p}_{m_b-1} = \mathbf{0}.$

[0145] 图 10 示出了一个应用实例。 $\mathbf{p}_1$  至  $\mathbf{p}_3$  可直接由下式得到 :

[0146]  $\mathbf{p}_1 = \mathbf{h}_{0,0} \mathbf{d}_0 + \mathbf{h}_{0,3} \mathbf{d}_3$  (行 0)

[0147]  $\mathbf{p}_2 = \mathbf{h}_{1,4} \mathbf{d}_4 + \mathbf{h}_{1,5} \mathbf{d}_5$  (行 1)

[0148]  $\mathbf{p}_3 = \mathbf{h}_{2,0} \mathbf{d}_0 + \mathbf{h}_{2,2} \mathbf{d}_2 + \mathbf{h}_{2,7} \mathbf{p}_1$  (行 2)

[0149] 再将 H 中行 3 至行 5 的各项相加, 可得到 :

[0150]  $(\mathbf{h}_{3,1} \mathbf{d}_1 + \mathbf{h}_{3,3} \mathbf{d}_3 + \mathbf{P} \mathbf{p}_0 + \mathbf{p}_4) + (\mathbf{h}_{4,2} \mathbf{d}_2 + \mathbf{p}_0 + \mathbf{h}_{4,9} \mathbf{p}_3 + \mathbf{p}_4 + \mathbf{p}_5) + (\mathbf{h}_{5,5} \mathbf{d}_5 + \mathbf{P} \mathbf{p}_0 + \mathbf{h}_{5,8} \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_5) = 0$

[0151] 化简后,  $\mathbf{p}_0$  可由下式计算 :

[0152]  $\mathbf{p}_0 = (\mathbf{h}_{3,1} \mathbf{d}_1 + \mathbf{h}_{3,3} \mathbf{d}_3) + (\mathbf{h}_{4,2} \mathbf{d}_2 + \mathbf{h}_{4,9} \mathbf{p}_3) + (\mathbf{h}_{5,5} \mathbf{d}_5 + \mathbf{h}_{5,8} \mathbf{p}_2)$

[0153] 最后,  $\mathbf{p}_4$  和  $\mathbf{p}_5$  由下式计算 :

[0154]  $\mathbf{p}_4 = \mathbf{h}_{3,1} \mathbf{d}_1 + \mathbf{h}_{3,3} \mathbf{d}_3 + \mathbf{P} \mathbf{p}_0$  (行 3)

[0155]  $p_5 = h_{5,5}d_5 + Pp_0 + h_{5,8}p_2$  (行 5)

[0156] 因此,通过以上计算,最终可得到  $p_0$  至  $p_5$  的所有值。

[0157] 参考图 11 和 12,上述等式中所有加法和乘法都是使用模 2 操作来进行运算的。在图 11 中,2 个相同比特 {0, 0} 或 {1, 1} 相加为 0,而两个不同比特 {0, 1} 和 {1, 0} 相加为 1。在图 12 中,除了两个比特 {1, 1} 相乘为 1 外,其余三种情况相乘结果全为零。

[0158] 参考图 13 和 14,所示为图 6 中 A 码和 B 码的基础矩阵的具体内容。基础矩阵中的“-1”对应于零矩阵,“0”对应于单位矩阵,而其余所有非零值则表示不同的置换矩阵“P”。

[0159] 在不脱离本发明范围或精神的情况下,熟悉本领域的技术人员可以根据本发明作出多种变化和 / 或修改作为广泛的描述,正如所示实施例一样。因此,本发明不受此处所公开的具体实施例的限制,所有落入本申请权利要求范围内的实施例都属于本发明的保护范围。

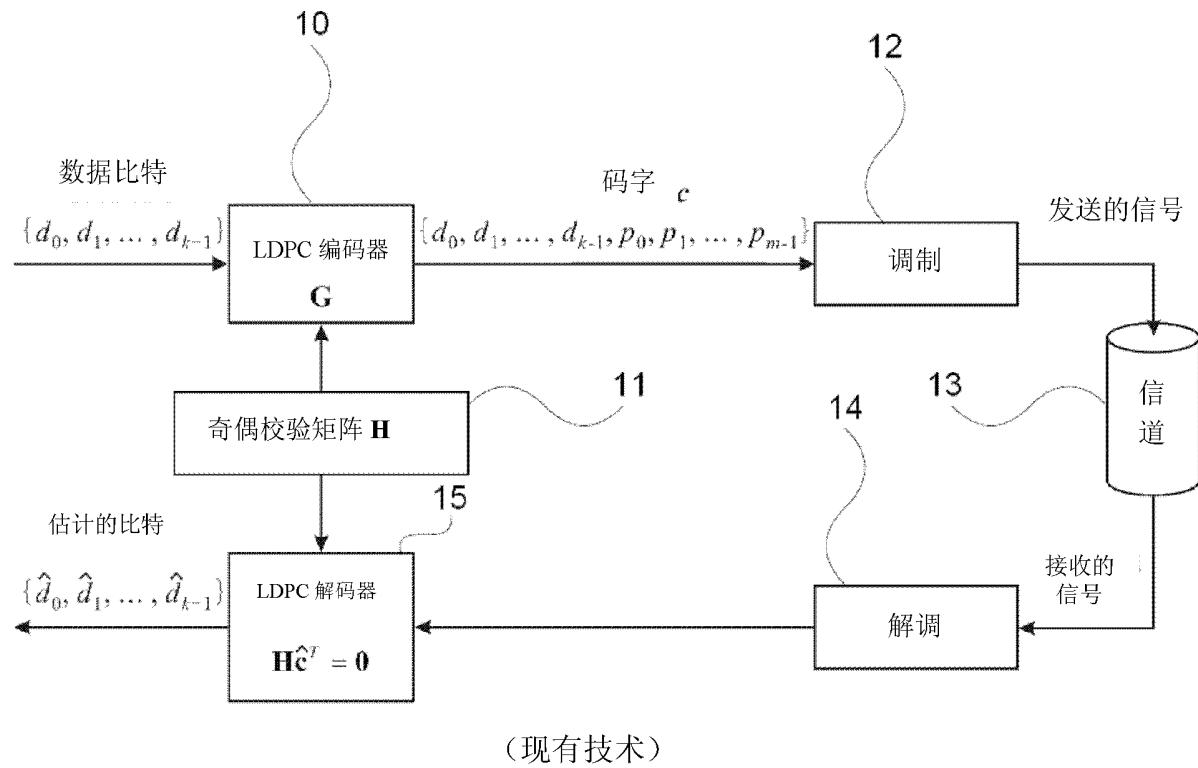


图 1

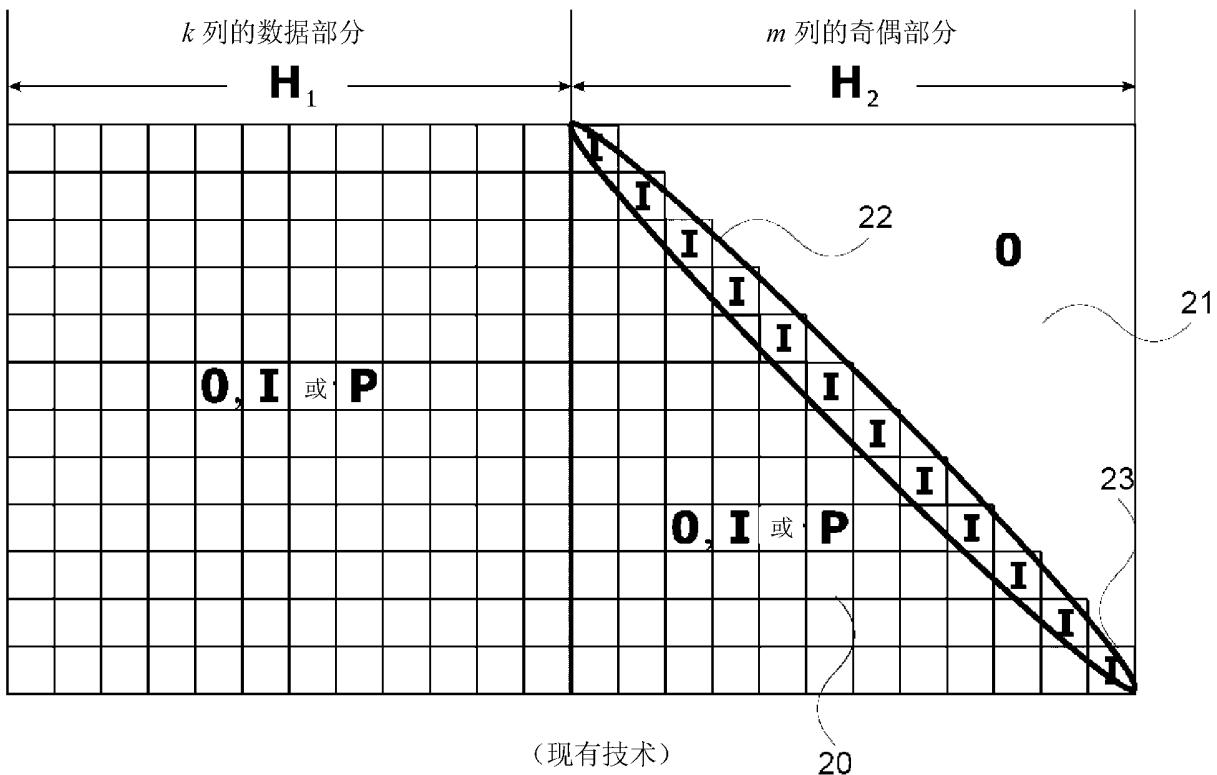


图 2

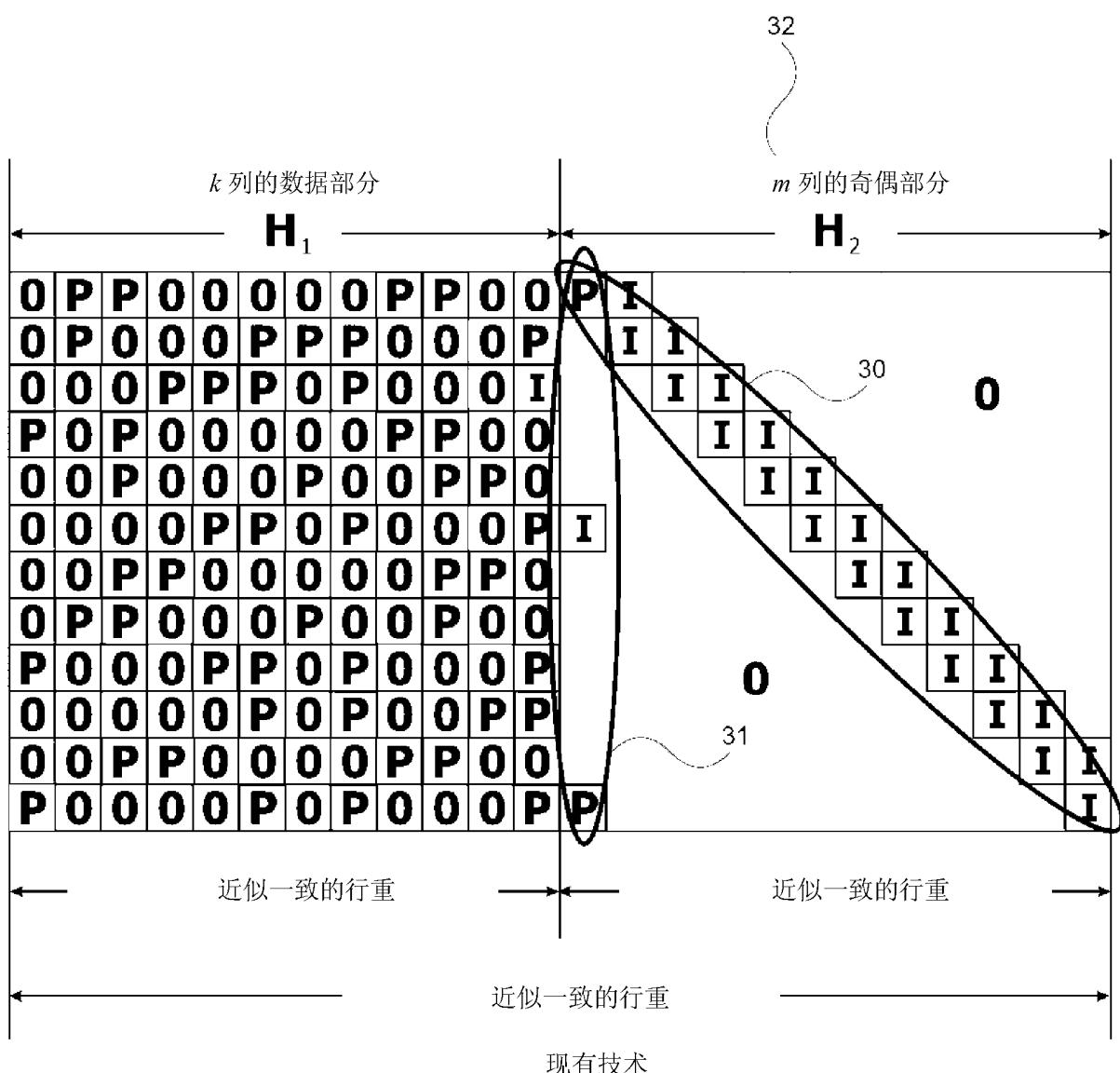


图 3

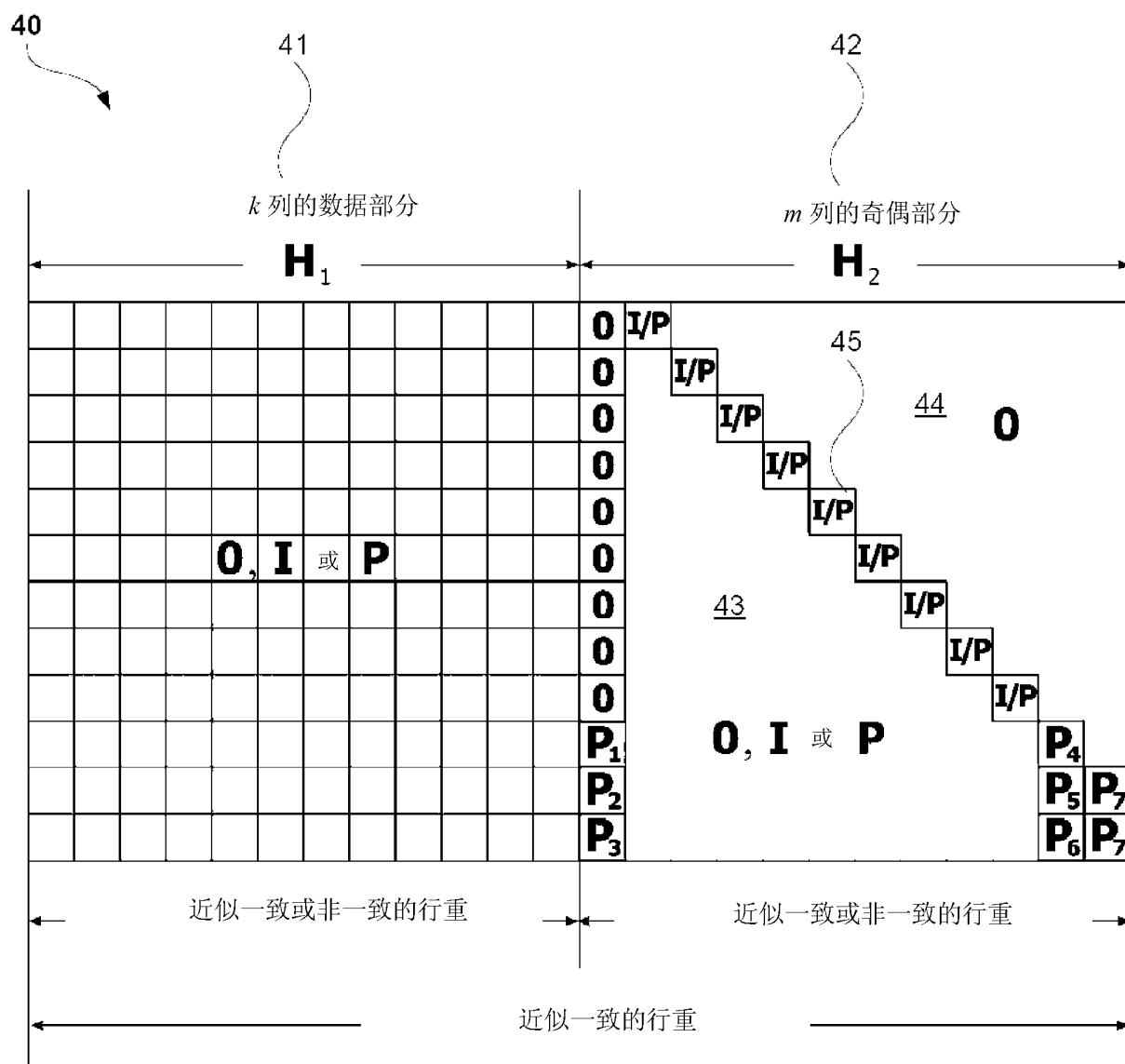
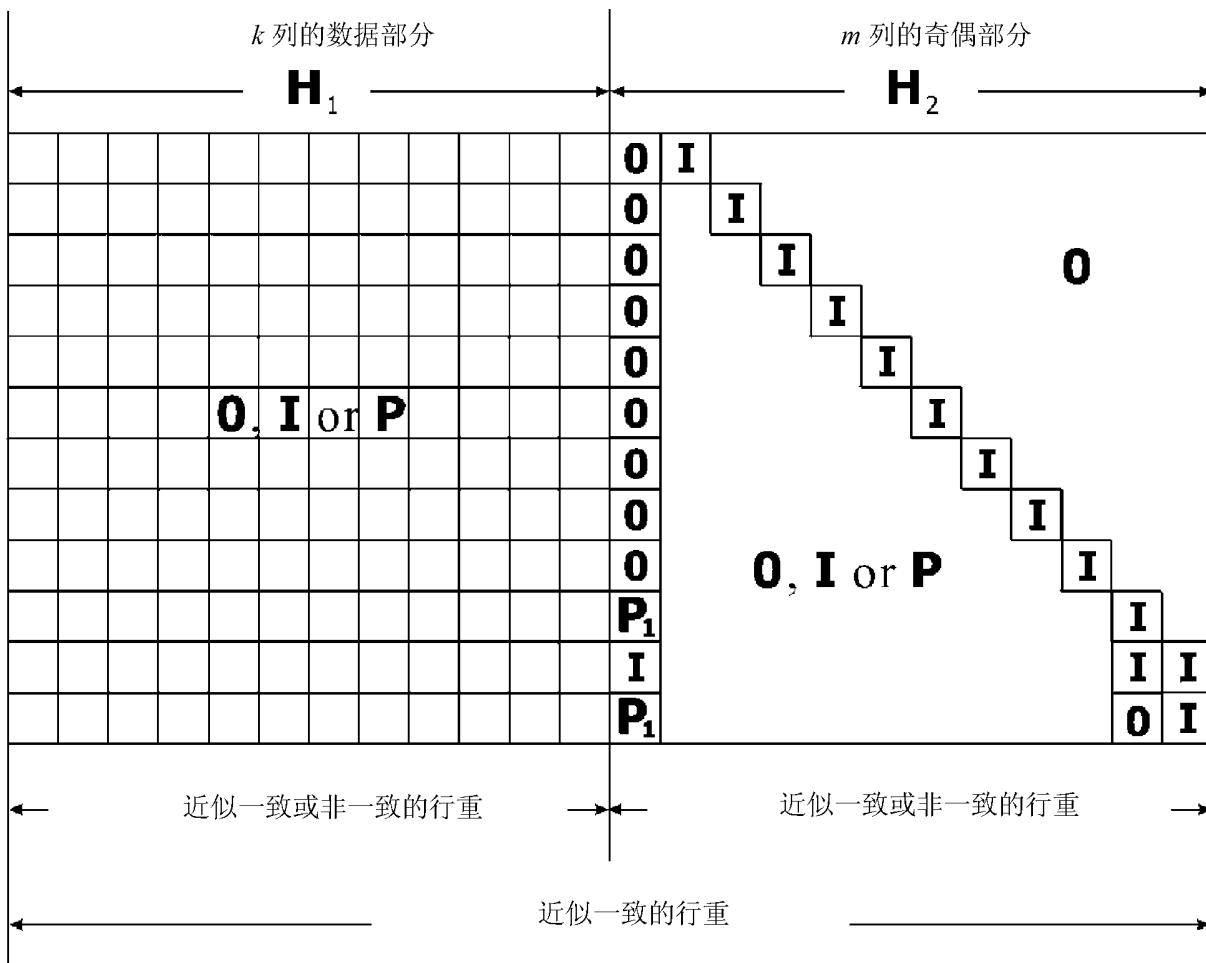


图 4



| 列号             | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| A 码            | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3  | 6  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |
| B 码            | 3 | 3 | 8 | 3 | 3 | 8 | 3 | 8 | 3 | 8 | 3  | 8  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |
| IEEE 802.16e 码 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3 | 6 | 3  | 6  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |    |

图 6

| 行号       | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |         |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|---------|
| $H_{b1}$ | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3  | 1  | 非一致的行重  |
| $H_{b2}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4  | 5  | 非一致的行重  |
| $H_b$    | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7  | 6  | 近似一致的行重 |

图 7

| 行号       | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |         |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|---------|
| $H_{b1}$ | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4  | 4  | 近似一致的行重 |
| $H_{b2}$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 近似一致的行重 |
| $H_b$    | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6  | 6  | 近似一致的行重 |

图 8

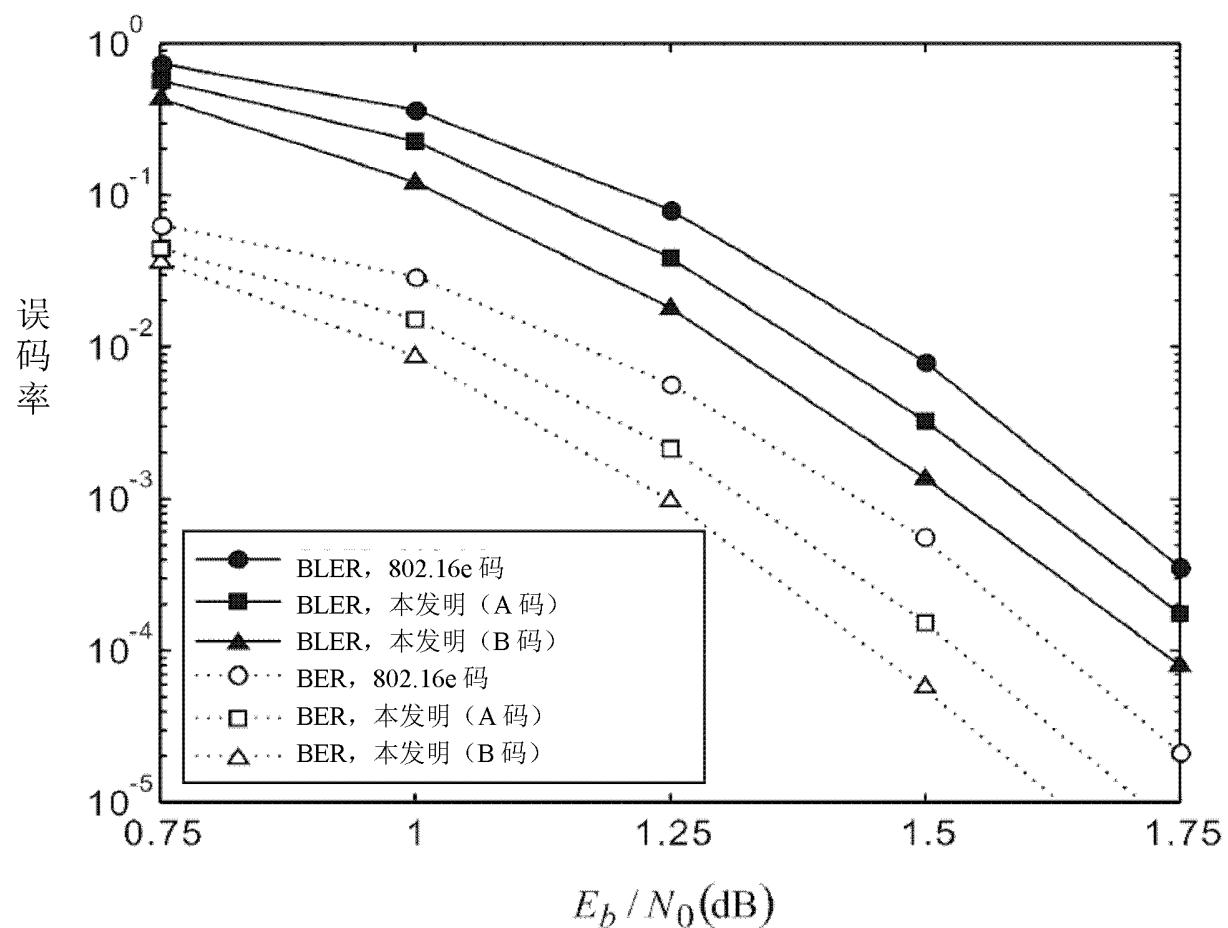


图 9

| 码字<br>索引 | d0<br>0 | d1<br>1 | d2<br>2 | d3<br>3 | d4<br>4 | d5<br>5 | p0<br>6 | p1<br>7 | p2<br>8 | p3<br>9 | p4<br>10 | p5<br>11 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| 0        | h00     |         |         | h03     |         |         |         | I       |         |         |          |          |
| 1        |         |         |         |         | h14     | h15     |         |         | I       |         |          |          |
| 2        | h20     |         | h22     |         |         |         |         | h27     |         | I       |          |          |
| 3        |         | h31     |         | h33     |         |         | P       |         |         |         | I        |          |
| 4        |         |         | h42     |         |         |         | I       |         |         | h49     | I        | I        |
| 5        |         |         |         |         |         | h55     | P       |         | h58     |         |          | I        |

图 10

|    |  |   |   |
|----|--|---|---|
| 加法 |  | 0 | 1 |
| 0  |  | 0 | 1 |
| 1  |  | 1 | 0 |

图 11

|    |  |   |   |
|----|--|---|---|
| 乘法 |  | 0 | 1 |
| 0  |  | 0 | 0 |
| 1  |  | 0 | 1 |

图 12

| A 码<br>索引 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0         | -1 | -1 | 35 | -1 | -1 | 70 | -1 | 9  | -1 | 32 | -1 | 39 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 1         | -1 | 23 | 17 | 64 | -1 | -1 | -1 | -1 | 15 | 87 | -1 | 14 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 2         | -1 | -1 | 6  | -1 | 12 | -1 | -1 | 83 | 73 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 3         | 17 | 25 | -1 | -1 | 90 | -1 | 27 | 64 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 4         | -1 | -1 | 21 | 86 | -1 | -1 | 83 | 14 | -1 | 20 | 67 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 5         | 20 | -1 | -1 | 0  | -1 | 11 | -1 | -1 | -1 | 10 | -1 | 54 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |    |
| 6         | 52 | -1 | -1 | -1 | -1 | 93 | -1 | -1 | 18 | -1 | 58 | -1 | -1 | -1 | -1 | 44 | -1 | 14 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 7         | -1 | -1 | 45 | -1 | -1 | 29 | 63 | -1 | -1 | -1 | 19 | -1 | -1 | -1 | -1 | 78 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 8         | -1 | -1 | 34 | -1 | -1 | 52 | -1 | 18 | -1 | 83 | -1 | -1 | -1 | 2  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 |    |
| 9         | -1 | -1 | -1 | -1 | 80 | 36 | -1 | -1 | -1 | -1 | 80 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 29 | 0  | -1 |    |
| 10        | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 16 | 50 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | 48 | -1 | -1 | -1 | 0  | 0  |    |
| 11        | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 72 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 78 | -1 | -1 | -1 | -1 | 21 | 13 | -1 | -1 |    |

图 13

| B 码<br>索引 | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0         | -1 | -1 | 53 | 86 | -1 | 81 | -1 | 55 | -1 | -1 | 48 | 95 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 1         | -1 | 19 | 23 | 85 | -1 | -1 | 45 | -1 | -1 | 51 | -1 | 35 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 2         | -1 | -1 | 80 | -1 | 74 | 13 | 26 | 40 | -1 | 92 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 3         | -1 | -1 | 19 | -1 | -1 | 70 | -1 | 28 | -1 | 4  | 5  | 66 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 4         | 42 | 71 | -1 | -1 | -1 | 29 | -1 | -1 | -1 | 31 | -1 | -1 | -1 | -1 | 26 | 50 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 5         | 37 | -1 | 10 | -1 | -1 | -1 | -1 | 88 | 82 | 53 | -1 | 90 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 6         | -1 | -1 | 67 | -1 | -1 | 25 | -1 | 39 | -1 | 94 | 48 | 29 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 7         | -1 | -1 | 92 | -1 | -1 | 31 | 0  | 16 | -1 | 64 | -1 | 10 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 8         | -1 | -1 | 83 | -1 | 89 | 3  | -1 | 34 | -1 | -1 | -1 | 3  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 72 | -1 | -1 | -1 | 0  | -1 | -1 |
| 9         | -1 | -1 | -1 | 67 | -1 | 24 | -1 | -1 | 68 | -1 | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 65 | -1 | -1 | 45 | 0  | -1 | -1 |
| 10        | 79 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 61 | 8  | -1 | -1 | 71 | 0  | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0  | 0  | 0  |
| 11        | -1 | 90 | -1 | -1 | 30 | -1 | -1 | -1 | 24 | -1 | -1 | 1  | 91 | -1 | -1 | 57 | -1 | -1 | 73 | 77 | -1 | -1 | 0  | 0  |

图 14