

由 $z \times z$ 个分块矩阵组成。改进的 H_P 矩阵具有准循环的结构,其前 r 列由奇数个 I_0 和若干个零方阵组成, I_0 的数目不大于系统比特节点的最大度数。改进结构的 H_P 矩阵具有准循环的形式,同时消除了对码的性能影响较大的度为 1 的列,使其度数变为奇数,目的是能够保持 RA 码线性复杂度编码的特性。具体的编码算法见下一节。

对于准循环结构 H_u 矩阵的设计,不能简单地由循环置换矩阵构成。LDPC 码的性能很大程度上由其最小环长(Girth)决定,通常最小环长越大的码性能越好,一般需要消除 4 环和 6 环。比特填充算法^[7,8]是消去短环的最佳算法之一,这里运用比特填充算法的变形来构造准循环形式的 H_u 矩阵。该算法在校验位对应的 H 矩阵 H_P 已知的条件下,增加了准循环约束条件,每次产生 Tanner 图中一组边的链接,以满足准循环结构的要求。经过一次扩展以后的矩阵称为“基矩阵”。一次扩展后得到的基矩阵的例子如图 1(码率 $R=1/2$),这里矩阵中的每个非零元素用点表示:

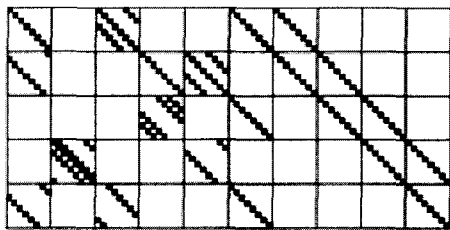


图 1 经过一次扩展后生成的“基矩阵”

3.2 二次扩展

在实践中,用二次扩展的方法能更好地避免低重码字的产生,得到比单次扩展性能更好的准循环码。具体的方法是在前面提到的一次扩展的基础上,再扩展一次,将一次扩展得到的“基矩阵”中,每个“1”用一个 $q \times q$ 循环置换矩阵代替,这里 q 称为二次扩展系数,扩展的原则还是尽量消去 H 矩阵中的短环,这里仍然利用比特填充算法的变形来实现。为了实现线性复杂度编码, H_P 矩阵中的每个“1”用单位矩阵代替,也就是说每个 I_0 被更大的一个单位矩阵来替换, H_P 矩阵的形式保持不变。而 H_u 矩阵还是根据比特填充算法的原则,尽可能消去短环。二次扩展后得到的矩阵称为“扩展矩阵”。二次扩展的方法如图 2 所示。

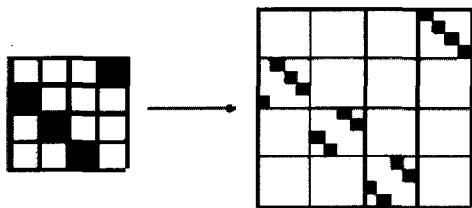


图 2 二次扩展的方法

根据上面介绍的二次扩展的方法,灵活选择一次扩展系数 r 、二次扩展系数 q 、 H_P 矩阵的分块矩阵数 z 及合适的码率 R ,可以灵活构造不同码长和码率参数的类 RA 码。

4 编码复杂度

假定信息位长度为 k ,表示为 $s=(s_0, \dots, s_{k-1})$,校验位长度为 m ,表示为 $p=(p_0, \dots, p_{m-1})$,码长为 n ,一次扩展系数为 r ,二次扩展系数为 q ,最终得到的分块矩阵的大小为 $rq \times rq$ 。将信息位 s 按每组 rq 比特长为 $k_b = n_b - m_b$ 组,分组后 s 表

示为 $u=[u(0)u(1)\dots u(k_b-1)]$, $u(i)$ 为 rq 维向量。将校验位 p 按每组 rq 比特长为 m_b 组,分组后 p 表示为 $v=[v(0)v(1)\dots v(m_b-1)]$, $v(i)$ 为 rq 维向量。“扩展矩阵” H 可表示为

$$H=[H_u | H_P]=\begin{bmatrix} P_{0,0} & \cdots & P_{0,k_b-1} & P_{0,k_b} & \cdots & P_{0,n_b-1} \\ P_{1,0} & \ddots & P_{1,k_b-1} & P_{1,k_b} & \ddots & P_{1,n_b-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m_b-1,0} & \cdots & P_{m_b-1,k_b-1} & P_{m_b-1,k_b} & \cdots & P_{m_b-1,n_b-1} \end{bmatrix}$$

这里 $P_{i,j}$ 为 $rq \times rq$ 矩阵。

编码算法分为两步:

(1)初始化,计算 $v(0)$ 。

利用 H_P 矩阵的特殊结构,将分块形式的“扩展矩阵”按行累加,也就是将 $(P_{i,k_b}, P_{i,k_b+1}, \dots, P_{i,n_b-1})$ 累加 $(0 \leq i \leq m_b-1)$,得到行块 $(I_0 \ 0 \ \dots \ 0)$ (因为分块矩阵第一列有奇数个 I_0 ,而其他列均有两个 I_0)。利用得到的行块很容易能计算出 $v(0)$ 。具体计算过程如下:

$$v(0)=\sum_{j=0}^{k_b-1} \sum_{i=0}^{m_b-1} P_{i,j} u(j)$$

(2)递归方法求校验位的值,由 $v(i)$ 计算得到 $v(i+1)$, $0 \leq i \leq m_b-2$ 。

因为 H_P 矩阵有类似于 RA 码的双对角结构,可以用递归的方法求得后面的校验位:

$$v(1)=\sum_{j=0}^{k_b-1} P_{i,j} u(j) + v(0)$$

$$v(i+1)=\sum_{j=0}^{k_b-1} P_{i,j} u(j) + P_{i,k_b} v(0) + v(i)$$

$$i=1, \dots, m_b-2$$

由以上的计算公式可以看出,该编码算法具有线性编码复杂度 $O(n)$ 。

5 仿真结果和分析

图 3 显示了基于二次扩展的类 RA 码和 Mackay 随机码使用 BPSK 调制在 AWGN 信道下的性能。

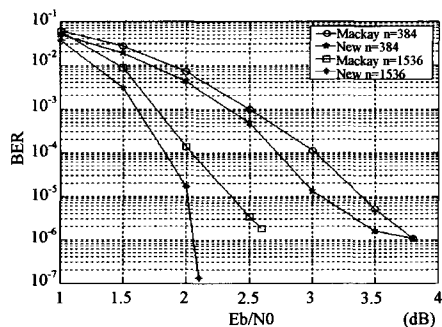


图 3 基于二次扩展的类 RA 码和 Mackay 随机码性能比较

这里选择码率 $R=1/2$,码长为 384 和 1536 的码进行仿真实验,运用 SPA 译码算法进行译码,实验分组数为 10000,最大迭代次数为 50。码长为 384 的类 RA 码,构造方法如下:选择一次扩展系数 $r=4$,二次扩展系数 $q=4$, H_P 矩阵由 $z \times z$ (12×12) 个分块矩阵组成, H_P 矩阵第一个列块度数为 3,系统比特节点的度数均为 4。码长为 1536 的类 RA 码,构造方法如下:选择一次扩展系数 $r=4$,二次扩展系数 $q=16$, H_P 矩

(下转第 224 页)

Quadtree的总数据量仍然是 TNAM 的 2 倍以上,效果还是十分明显的。显然,这些图像均证实了理论分析的结果,即当 $n=8$ 时,Quadtree 的总数据量至少是 TNAM 的总数据量的 1.35 倍以上。

因此,与流行的基于线性四元树的二值图像表示方法相比,基于 TNAM 的二值图像表示方法能够更有效地减少数据存储空间,是二值图像的一种较好的表示方法。

结束语 以分层数据结构表示为背景,以模式表示方法为研究对象,借助于三角形 Packing 问题的思想,提出了一种新的基于 TNAM 的二值图像表示方法。理论分析和实验结果均表明:与流行的线性四元树表示方法相比,基于 TNAM 的二值图像表示方法能够更有效地减少数据存储空间,是二值图像的一种较好的表示方法。这种方法可以应用于二值图像模式表示的各个方面,在降低存储空间、提高传输速度、加快处理过程等方面具有良好的理论参考意义和实际应用价值。

参 考 文 献

[1] Cline D, Egbert K P. Terrain Decimation through Quadtree Morphing. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, 2001,7(1): 62-69

[2] Laguardia J J, Cueto E, Doblare M. A Natural Neighbour Galerkin Method with Quadtree Structure. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2005, 63 (6): 789-812

[3] Minglun G, Yee-Hong Y. Quadtree-based Genetic Algorithm and its Applications to Computer Vision. *Pattern Recognition*, 2004, 37 (8): 1723-1733

[4] 甘祥超,武栓虎,谈正. 基于小波四叉树的图像去噪方法. *计算机研究与发展*, 2001,38(3):341-343

[5] Voronin V. Holographic Representation in Image Processing Tasks. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2001,11(1): 265-267

[6] Liu Y, Ranganath S, Zhou X. Wavelet-based Image Segment Representation. *Electronics Letters*, 2002,38(19):1091-1092

[7] Monasse P, Guichard F. Fast Computation of a Contrast-invariant Image Representation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000,9(5): 860-872

[8] Klinger A. Data Structure and Pattern Recognition//*Proceeding of IJCPR*. Washington, DC, USA, 1973:497-498

[9] Samet H. Region Representation: Quadtrees from Binary Arrays. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980,13 (1): 88-93

[10] Gargantini I. An Effective Way to Represent Quadtrees. *Comm. ACM*,1982,25(12):905-910

[11] Wang C L, Wu S C, Chang Y K. Quadtree and Statistical Model-based Lossless Binary Image Compression Method. *Imaging Science Journal*, 2005,53(2):95-103

[12] Laszlo M, Mukherjee S. A Genetic Algorithm Using Hyperquadrees for Low-dimensional k-means Clustering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28 (4):533-543

[13] 冀俊峰,李胜,刘学慧,等. 细节高度复杂表面模型的视点相关渐进传输. *软件学报*, 2006,17(10):2192-2198

[14] Chen S K. An Exact Closed - form Formula for d - dimensional Quadtree Decomposition of Arbitrary Hyperrectangles. *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, 2006, 18(6):784-798

[15] 郑运平,陈传波. 一种基于非对称逆布局模型的彩色图像表示方法研究. *软件学报*, 2007,18(11):2932-2941

[16] Zheng Y P, Chen C B, Huang W, et al. A new non-symmetry and anti-packing model with k-lines and its application to color image representation // *Proceedings of the 2007 International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition (ICCV'07)*. Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA, 2007:526-532

[17] Zheng Y P, Chen C B, Sarem M. A novel algorithm for triangle non-symmetry and anti-packing pattern representation model of gray images//*Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Computing ICIC'07*, LNCS 4681. Qingdao, China, August 2007:832-841

(上接第 99 页)

阵由 $z \times z (12 \times 12)$ 个分块矩阵组成, H_p 矩阵第一个列块度数为 3,系统比特节点的度数均为 4。码长为 384 时,基于二次扩展的类 RA 码的围线 (girth) 长为 6,性能比 Mackay 随机码略好。码长为 1536 时,基于二次扩展的类 RA 码的围线 (girth) 长为 8,错误平层 (error floor) 较深,性能优于 Mackay 随机码,在误码率为 1×10^{-5} 时,基于二次扩展的类 RA 码比 Mackay 随机码性能提高约 0.3dB。

结束语 本文提出了一种基于二次扩展的类 RA 码的构造方法,该方法设计的类 RA 码的码长和码率参数灵活可变,在 AWGN 信道下,与相同参数下的 Mackay 随机码性能相当。同时基于该码结构的特殊性,提出了编码复杂度与码长成线性关系的编码算法,该码具有准循环结构,节省校验矩阵存储空间,易于硬件实现,有望能成为能够实用的好码之一。

参 考 文 献

[1] Gallager R G. Low-density parity-check codes. *IRE Trans Inform Theory*, 1962, IT-8: 21-28

[2] Andrews K, Dolinar S, Thorpe J. Encoders for block-circulant LDPC codes//*Proc. IEEE ISIT*. New York; IEEE Press, 2005:

2300-2304

[3] Li Z, Kumar B. A class of good quasi-cyclic low-density parity check codes based on progressive edge growth graph//*Proc. IEEE SSC*. New York; IEEE Press, 2004:1990-1994

[4] IEEE-SA Standards Board. IEEE Std. 802. 16e-2005 and IEEE Std 802. 16-2004/Cor 1-2005 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. New York; IEEE, 2005

[5] Jin H. Analysis and design of Turbo-like codes[D]. California: California Institute of Technology, 2001

[6] Liva G, Song S, Lan L, et al. Design of LDPC Codes; A Survey and New Results. *Journal of Communication Software and Systems*, 2006, 2(3)

[7] Campello J, Modha D S, Rajagopalan S. Designing LDPC codes using bit-filling//*Proc. ICC 2001*. New York; IEEE Press, 2001: 55-59

[8] Campello J, Modha D S. Extended bit-filling and LDPC code design// *Proc. IEEE Globecom 2001*. New York; IEEE Press, 2001:985-989