

# The Joint Source Channel Coding Technology Based on Real BCH Code\*

Rongman Gao, Xiaohong Huang

Department of Information, Hebei United University, Tangshan  
Email: g-rongman@163.com, tshxh@163.com

Received: Oct. 29<sup>th</sup>, 2013; revised: Oct. 31<sup>st</sup>, 2013; accepted: Nov. 2<sup>nd</sup>, 2013

Copyright © 2013 Rongman Gao, Xiaohong Huang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Joint source-channel coding system based on Real BCH is constructed in this paper. Considering the quantization and channel noise, the real physical channel (quantization, inverse quantization, and binary system channel) is modeled as Gaussian-Bernoulli-Gaussian (GBG) channel model. Image is transmitted in the joint source channel coding system based on Real BCH after wavelet decomposition. Image transmission effect is compared through Matlab simulation. PSNR is 39.5225 dB when the channel transmission probability is  $10^{-3}$ . Simulation results show that Real BCH code has better error correcting performance and joint source channel coding system based on Real BCH has better image transmission effect.

**Keywords:** Real BCH Coding; Joint Source-Channel Coding (JSCC); Wavelet Transform; Sub Band; Error Correcting

## 基于 Real BCH 码的联合信源信道编码技术\*

高荣蔓, 黄晓红

河北联合大学信息系, 唐山  
Email: g-rongman@163.com, tshxh@163.com

收稿日期: 2013 年 10 月 29 日; 修回日期: 2013 年 10 月 31 日; 录用日期: 2013 年 11 月 2 日

**摘要:** 构建了基于 Real BCH 的联合信源信道编码系统, 考虑量化噪声和信道噪声, 将由量化、给定转移概率的二进制对称信道、反量化构成的实际联合信道建模为 GBG (Gaussian background noise and Bernoulli Gaussian impulse noise)信道模型。图像经过小波子带分解后在基于 Real BCH 的联合信源信道编码系统中进行传输。Matlab 仿真比较了信道在不同的转移概率状况下图像的传输效果。当信道的转移概率为  $10^{-3}$  时, 峰值信噪比 PSNR 达到 39.5225 dB。仿真结果表明, 基于 Real BCH 码的联合信源信道编码具有较好的图像传输效果, Real BCH 编码具有较好的纠错性能。

**关键词:** Real BCH 编码; 联合信源信道编码(JSCC); 小波变换; 子带; 纠错

### 1. 引言

在无线信道中, 能够提供对多媒体业务支持已成为二十一世纪通信系统发展的必然趋势。但无线信道中总是存在噪声、干扰和多径衰落等影响<sup>[1]</sup>, 实际系

\*河北省教育厅基金项目: 过采样 DFT 滤波器组作为纠错码及其应用研究(Q2012029)。

统中信道解码器不能总是去掉信道引入的所有错误, 残留的错误会严重影响重构信号的质量<sup>[2]</sup>, 如何在延迟或复杂度有约束的条件下有效、可靠地传输图像和视频数据已成为重要的研究课题。采用联合信源信道(JSCC)的编码方法<sup>[3]</sup>, 综合考虑信源、信道的特性, 使之在信道时变或信源存在残留冗余时<sup>[4]</sup>, 可以达到

比根据香农信源信道分离设计更好的性能。

本文提出了基于 Real BCH 编码的联合信源信道编码技术在图像传输通信中的应用, BCH 码最早是由霍格姆(Hocquenghem)在 1959 年、博斯(Bose)和查德胡里(Chandhair)在 1960 年各自提出的,它是一类重要的循环码<sup>[5]</sup>,能纠正多个随机错误。BCH 码有严格的代数结构,是至今研究的最为详尽,取得成果最多的一类码。目前,BCH 码作为纠错码的研究已经很广泛,BCH 编码不仅可以纠正突发性错误,还能纠正随机差错,因此在通信系统中得到广泛的应用。Real BCH 码和 BCH 码的编码方法相似,只是码字的元素属于实数。本文首先将图像用小波分解成子带,然后对子带进行 Real BCH 编码,在 GBG (Gaussian background noise and Bernoulli Gaussian impulse noise)信道中传输。该方法实现了 Real BCH 编码用于图像传输通信,仿真结果表明该方法有较好的传输性能。

## 2. 基于 Real BCH 联合信源信道编码系统

构建基于 Real BCH 的联合信源信道编码系统框图如图 1 所示。

本系统中首先通过小波变化把原始图像分解成子带,这些子带中包含原始图像不同的信息,各个子带信号进行 Real BCH 编码,然后在联合信道中传输,联合信道包括量化、给定转移概率的二进制对称信道、反量化三部分,所以联合信道误差包括两种:量化误差和信道误差。在接收端经过反量化,解码等变换使子带信号重构输出图像。与传统的信源信道编码不同的是,此系统中加入冗余是在量化之前,即在 Real BCH 编码时加入的<sup>[6]</sup>。加入冗余的目的就是为了纠正正在传输过程中的错误数据<sup>[7]</sup>。

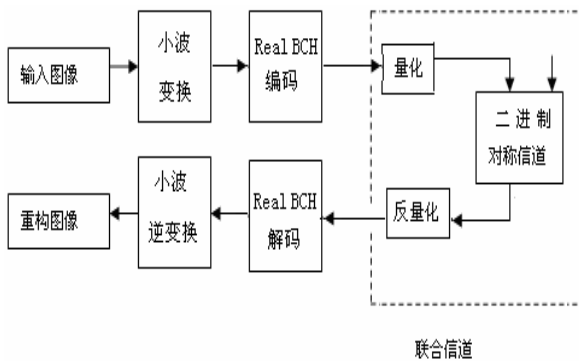


Figure 1 The joint source-channel coding system based on real BCH code

图 1. 基于 Real BCH 的联合信源信道编码系统

## 3. Real BCH 编码解码原理

Real BCH 编码公式可写为<sup>[5]</sup>:

$$c = W P W^{-1} X \quad (1)$$

其中输入码为  $X$ ,  $c$  是编码的输出矢量。 $W$ ,  $W$  是离散傅里叶变换矩阵, Real BCH 编码的输入码长为  $k$ , 输出码长是  $n$ 。零增加矩阵  $P$  为:

$$P = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $I$  代表单位矩阵,  $t$  为 Real BCH 编码的纠错能力, 表达式是  $t = \lfloor (n-k)/2 \rfloor$ , 这里的  $\lfloor a \rfloor$  表示向下取整, 取  $a$  的整数部分。Real BCH 编码的奇偶校验矩阵为:

$$H = R W^{-1} \quad (3)$$

其中,  $R = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$  为选择矩阵。

联合信源信道编码模式中主要有两种形式的噪声: 高斯噪声  $g$  和伯努利 - 高斯噪声  $\beta$ 。所以接收信号可以表示为  $r = c + g + \beta$ 。

校验子为:

$$P = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (4)$$

这里  $S_{n-k}$  代表校验子矢量的第  $n-k$  个元素。

Real BCH 解码的四个主要步骤是:

1) 估算接收到的错误脉冲个数;

Real BCH 解码的第一步就是估计错误脉冲的个数, 校验子矢量的平方为:

$$y \begin{pmatrix} r \\ (n-k,1) \end{pmatrix} = \left\| \begin{pmatrix} S \\ (n-k,1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ (n,1) \end{pmatrix} \right\|^2 \quad (5)$$

用上式的结果与阈值做比较来确定错误脉冲信号的个数, 我们用多重假设的贝叶斯检验(BMHT)来

确定阈值<sup>[8]</sup>。\$H\_v\$ 表示发生 \$v\$ 个错误的假设。为了简单，我们使 \$t = 2\$，那么判决空间就是二维的，发生错误的假设为 \$H\_0\$：有 0 个脉冲错误，\$H\_1\$：有一个脉冲错误，\$H\_2\$：有两个脉冲错误。似然比 \$\Theta\_1(y)\$，\$\Theta\_2(y)\$ 定义为：

$$\Theta_1(y) = \frac{p(y|H_1)}{p(y|H_2)} \quad (6)$$

$$\Theta_2(y) = \frac{p(y|H_2)}{p(y|H_0)} \quad (7)$$

三个假设检验的方程如下所示：

$$\begin{aligned} & \pi_1(C_{01} - C_{11})\Theta_1(y) \\ & \begin{matrix} H_1 \text{ or } H_2 \\ \geq \\ \leq \\ H_0 \text{ or } H_2 \end{matrix} \\ & \pi_0(C_{10} - C_{00}) + \pi_2(C_{12} - C_{02})\Theta_2(y) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \pi_2(C_{02} - C_{22})\Theta_2(y) \\ & \begin{matrix} H_2 \text{ or } H_1 \\ \geq \\ \leq \\ H_0 \text{ or } H_1 \end{matrix} \\ & \pi_0(C_{20} - C_{00}) + \pi_1(C_{21} - C_{01})\Theta_1(y) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \pi_2(C_{12} - C_{22})\Theta_2(y) \\ & \begin{matrix} H_2 \text{ or } H_0 \\ \geq \\ \leq \\ H_1 \text{ or } H_0 \end{matrix} \\ & \pi_0(C_{20} - C_{10}) + \pi_1(C_{21} - C_{11})\Theta_1(y) \end{aligned} \quad (10)$$

通过(9)式可以得到在 \$H\_0\$ 和 \$H\_1\$ 之间的临界值 \$T\_1\$，通过(10)式可以得到在 \$H\_1\$ 和 \$H\_2\$ 之间的临界值 \$T\_2\$。然后估算出接收信号的错误脉冲的个数 \$v\$。错误脉冲的个数应该小于或等于 Real BCH 码的纠错能力 \$t\$。

2) 用 PGZ 算法估算出误码的位置

误码的位置矢量定义为 \$\hat{\rho} = (\hat{\rho}\_1, \hat{\rho}\_2, \dots, \hat{\rho}\_v)\$，PGZ 算法的误码位置多项式为：

$$\Lambda(x) = 1 + \lambda_1 x + \dots + \lambda_v x^v \quad (11)$$

传统的 PGZ 算法忽略了高斯噪声，而 Real BCH 码解码采用的是修正后的 PGZ 算法，此算法考虑了由量化引入的高斯噪声<sup>[9,10]</sup>。\$\Lambda(x)\$ 的系数

$$\lambda_{(v,1)} = (\lambda_1, \dots, \lambda_v)^T$$

估计误码位置是通过计算误码位置多项式绝对值的最小值得到的，其中，\$\rho = 0, \dots, n-1\$。改善后的

PGZ 算法与传统的 PGZ 算法在考虑量化噪声的情况下，定位性能显著提高。

3) 极大似然估计(ML)估算出错误脉冲的幅度；  
通过上述两步，我们得到的接收到信号的错误个数 \$\hat{v}\$ 和错误脉冲的位置 \$\hat{\rho}\_{(1,v)}\$。

$$V_{(n-k,v)} = R_{(n-k,n)} [W_{\hat{\rho}_1}^T \dots W_{\hat{\rho}_v}^T]^T \quad (12)$$

这里的 \$W\_{\hat{\rho}}\$ 是 \$W^{-1}\$ 的第 \$\hat{\rho}\$ 行。校验子公式可以写成：

$$S_{(n-k,1)} \begin{pmatrix} r \\ (n,1) \end{pmatrix} = V_{(n-k,v)} \beta_{(v,1)} + R_{(n-k,n)} W_{(n,n)}^{-1} g_{(n,1)} \quad (13)$$

用最大似然估计来计算噪声脉冲的幅度，公式为：

$$\hat{\beta}_{(v,1)}^{ML} = \left( V_{(n-k,v)}^H V_{(n-k,v)} \right)^{-1} V_{(n-k,v)}^H s_{(n-k,1)} \begin{pmatrix} r \\ (n,1) \end{pmatrix} \quad (14)$$

4) 纠正错误。

通过上述三个步骤来纠正接收信号中的误码。首先，估计接收信号 \$r\_{(n,1)}\$ 中错误脉冲的个数，估计误码位置 \$\hat{\rho}\_{(1,v)}\$，然后估算错误脉冲的幅度 \$\hat{\beta}\_{(v,1)}^{ML}\$，最后在接收信号 \$r\_{(n,1)}\$ 中找到错误脉冲的位置 \$\hat{\rho}\_{(1,v)}\$ 减去脉冲的幅度 \$\hat{\beta}\_{(v,1)}^{ML}\$ 来纠正误码。纠错后的子带信号先通过信号重构，然后逆变换得到输出的重构信号。

#### 4. 基于 Real BCH 联合信源信道编码系统的图像传输性能

图像的 Real BCH 编码技术，是 BCH 编码的基础上取了信息值的实部，这方法使得复杂的编码变得简单。传输过程中要把信源信息分解成子带信号，信源图像经过三级小波变换分解成 10 个子带信号。BSC 作为物理信道，它的转移概率 \$\xi \in [10^{-5}, 10^{-1}]\$。根据每个子带的重要性，不同的子带分配不同的量化比特数，子带 1 为 7 比特，子带 2、3、4 为 5 比特；子带 5、6、7 为 3 比特；子带 8、9、10 为 1 比特。在 Real BCH 编码的联合信源信道编码系统中，信道的转移概率为 \$10^{-3}\$，分别对子带信道进行 Real BCH (19,15) 编码，Real BCH (19,15) 码的纠错能力 \$t = 2\$。

信道情况不同时，图像的传输质量不同。不同的信道转移概率时峰值信噪比，如图 2 所示。

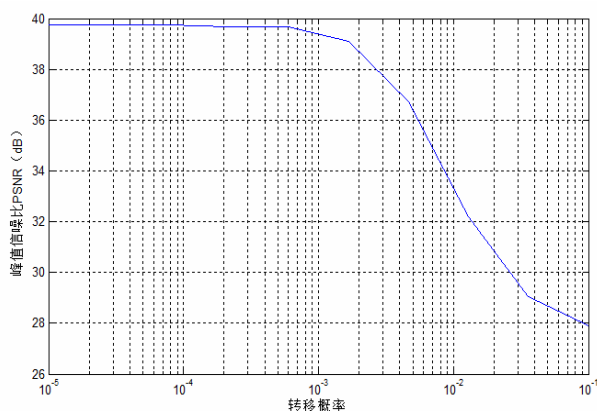


Figure 2. PSNR on different channel conditions  
图 2. 不同信道情况的峰值信噪比

转移概率为  $10^{-5}$  时 PSNR = 39.7663 dB, 转移概率为  $10^{-4}$  时 PSNR = 39.7601 dB, 转移概率为  $10^{-3}$  时 PSNR = 39.5225 dB, 转移概率为  $10^{-2}$  时 PSNR = 33.5829 dB, 转移概率为  $10^{-1}$  时 PSNR = 27.8453 dB。不同的信道情况, Real BCH 编码的纠错能力也是不同的。当转移概率小于  $10^{-3}$  时, 峰值信噪比变化平稳, PSNR 保持在 39 dB。当信道的转移概率大于  $10^{-3}$  时, 随着转移概率的增加, 峰值信噪比逐渐减小。当转移概率是  $10^{-1}$  时, 峰值信噪比减小为 27.8453 dB。输入信号分解成 10 个子带信号通过编码变换传输, 最后进行信号重构。通过原始图像和重构图像峰值信噪比的比较, 来分析 Real BCH 编码的联合信源信道编码系统的传输性能。

信道在不同的转移概率情况下系统输出的重构图像如图 3 所示。

仿真结果表明传输信号的质量随着信道状况的变坏而逐渐变差。由图 2 和图 3 可以知道当信道的转移概率小于  $10^{-3}$  时, 峰值信噪比变化平稳, 图像的传输质量很好。在接收端发生错误的数量小于纠错能力时, Real BCH 编码的 JSCC 技术明显优势。当信道环境很差的情况下, 错误脉冲的数量大于 Real BCH (19,15)码的纠错能力时, 信号的传输质量变差, 但是 Real BCH 编码仍能完成最大限度的纠错。

## 5. 结论

基于 Real BCH 编码的联合信源信道编码技术在图像传输方面有较好的传输效果, 当信道的转移概率较小信道状况良好时图像的传输质量很好。当信道情况变差, 图像的质量下降平缓。由于在量化之前, 即



(a) 转移概率  $P = 10^{-5}$  的重构图像



(b) 转移概率  $P = 10^{-4}$  的重构图像



(c) 转移概率  $P = 10^{-3}$  的重构图像



(d) 转移概率  $P = 10^{-2}$  的重构图像



(e) 转移概率  $P = 10^{-1}$  的重构图像

Figure 3. The comparison of reconstruction signal with different channel condition

图 3. 不同信道状况时重构信号的比较

Real BCH 编码过程中加入了冗余, 在一定程度上会减弱编码效率。本文中小波变换和 Real BCH 编码这两部分是独立进行的, 可以考虑一下用过采样滤波器组使信号的分解和冗余的加入一步完成。

## 6. 致谢

感谢河北省教育厅基金的支持, 感谢在学习研究过程中给与我们帮助的老师 and 同学们, 谢谢你们!

## 参考文献 (References)

- [1] Vembu, S., Verdu, S. and Steinberg, Y. (1995) The source channel separation theorem revisited. *IEEE Transactions on Information Theory*, **41**, 44-54.
- [2] 张宗橙 (2003) 纠错编码原理和应用. 电子工业出版社, 北京.
- [3] 肖嵩 (2004) 无线信道中的联合信源信道编码研究. 西安电子科技大学, 西安.
- [4] 刘军清 (2006) 无线图像传输中的联合信源信道编码研究. 上海交通大学, 上海.
- [5] Gabay, A., Duhamel, P. and Rioul, O. (2000) Real BCH codes as joint source channel code for satellite images coding. *GlobeCom*, **2**, 820-824.
- [6] 曾勇, 于聪梅, 宁云隆 (2009) BCH 纠错码的性能分析与仿真实验. *信息技术*, **13**, 9.
- [7] Labeau, F., Chiang, J.-C., Kieffer, M., et al. (2005) Oversampled filter banks as error correcting codes: Theory and impulse noise correction. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **53**, 4619-4630.
- [8] Abid Noor, A., Samad, S.A. and Hussain, A. (2009) Development of a background noise cancellation system using efficient oversampled DFT filter banks. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **3**, 1185-1197.
- [9] Akbari, M. and Labeau, F. (2011) Instantaneous erasures in oversampled filter banks: Conditions for output perfect reconstruction. *IEEE Transaction on Signal Processing*, **59**, 5800-5813.
- [10] Abidl, M., Kiefferl, M. and Pesquet-Popescul, B. (2011) Consistent reconstruction of the input of an oversampled filter bank from noisy subbands. *European Signal Processing Conference*, Barcelona, 29 August-2 September 2011, 844-848.