

# 一种基于RCPT码的渐进图像传输方法

王红星<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 孙海珍<sup>3</sup>

(1. 北京航空航天大学电子信息工程学院 北京 100083;

2. 海军航空工程学院电子工程系 山东 烟台 264001; 3. 烟台市芝罘区教育局 山东 烟台 264001)

**【摘要】**将等级树中的集分割编码器输出的码流分组,根据输出的分组数据对重建图像重要性的不同,传输前采用纠错能力不同的RCPT码保护。在总的码率限制下,采用遗传算法从有限码率集中选择每组数据的RCPT码码率,使接收端恢复的图像失真最小。将等误差保护码率作为遗传算法的初始种群,减少了最优码率集的搜索时间。在二进制对称信道上的仿真结果表明,该渐进图像传输方法实现简单,在高误码率信道条件下恢复图像仍能得到很高的峰值信噪比。

**关键词** 渐进图像; SPIHT编码器; RCPT码; 遗传算法  
中图分类号 TN919.83 文献标识码 A

## Progressive Image Transmission Using RCPT Codes

WANG Hong-xing<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, SUN Hai-zhen<sup>3</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, BUAA Beijing 100083;

2. Department of Electronic Engineering, NAEI Shandong Yantai 264001; 3. Education Bureau of Zhifu District Shandong Yantai 264001)

**Abstract** The bit stream from the set partitioning in hierarchical trees coder is divided into packets, which are protected by RCPT codes of different error-correcting capability before transmission according to their effect to the reconstruction of image. The genetic algorithms are developed for selecting optimal RCPT codes rates from the finite rates set in order to minimize the end-to-end distortion. The time for searching the optimal rate set is reduced when using the channel code rates for equal error protection as the initial condition of the genetic algorithms. Simulation results in binary symmetric channel show that this transmission scheme for progressive image is easy to perform and able to achieve high peak signal-to-noise ratio even in high bit error rate channel.

**Key words** progressive image; SPIHT coder; RCPT codes; genetic algorithms

渐进图像编码器使接收端选择不同的分辨率显示图像,每个(组)接收数据用于改善当前恢复图像的质量,即正确接收的比特数越多,恢复图像质量越好。当图像达到输出设备所用的分辨率时,译码器即可停止解压缩。这种特性在因特网浏览和新一代无线多媒体通信中有着广泛的应用前景。

等级树中的集分割(SPIHT)编码器是当前广泛采用的一种渐进编码器<sup>[1]</sup>,它是为最佳渐进图像传输和压缩设计的,其重要特点是在图像解码的任意时刻,所显示的图像质量都是当时解码器输入位数所能获得的最佳者。但是在噪声信道中,SPIHT的嵌入式特性会给比特流的传输带来灾难性的后果,若接收端接收到一个错误比特,则其后传输的所有比特对图像恢复都是不可用的。为避免这种错误出现在译码端,并在信道总码率限制下,尽可能多的接收正确的信源编码数据,通常将压缩输出数据分组传输,当检测到某组数据发生错误时停止译码,采用码率兼容的删除卷积(RCPC)码对各分组数据提供最有效的保护<sup>[2]</sup>。Turbo码的出现为编码理论和技术的发展开辟了道路,人们在此基础上发展了码率兼容删除Turbo码-RCPT码并将其应用于渐进图像传输<sup>[3]</sup>,实现了高信道码率下图像数据可靠通信。本文将讨论一种基于RCPT码的渐进图像传输方法。

## 1 RCPT码

RCPT码由基本的Turbo码经过删除之后得到。本文Turbo码采用并行级联卷积码PCCC(Parallel

Concatenated Convolutional Code)方案,将其输出按不同的方式进行删除,即可得到不同码率的RCPT码。

选取码率为1/3的Turbo码,它由两个码率1/2的递归系统卷积(RSC)编码器和一个Turbo内交织器级联而成。对于每一个输入比特 $X$ ,有三个输出比特 $X$ 、 $Y$ 及 $Y'$ 形成, $Y$ 和 $Y'$ 为两个RSC编码器输出的校验比特。将输出比特以一定的删除方式和删除周期 $p$ 进行删除,获得所需的RCPT码。对于码率 $1/n$ 的编码器,删除方式可以用 $n \times p$ 阶矩阵表示,称为删除矩阵。若选取删除周期 $p$ 为8,删除矩阵为:[11111111;00010111;00001111]。对于每个输入产生的3个输出比特,按照周期规律,在对应的矩阵列的位置上,如果矩阵数据为零,则将该数据从输出码流中删除;如果数据为1,则保留相应的编码数据。译码端以相应的规律在对应的位置上补零后译码。由该删除矩阵可知,8 bit输入数据经过码率1/3的Turbo码编码器产生24 bit输出码,删除器删除其中8 bit数据,最终生成为码率为1/2的RCPT码。根据删除矩阵中零的个数不同,可以产生码率不同的RCPT码。低码率的删除矩阵中增加0的数量即产生高码率的编码,当高码率的编码不能满足系统要求时,只要适当传送一些附加位置的数据即可获得较低码率的编码,保证了码率的兼容性。相同码率条件下,可以根据一定的规则选择最佳的矩阵形式(即零的位置),使RCPT码的纠错性能最优<sup>[3]</sup>。

## 2 基于RCPT码的图像编码传输结构

编码系统采用SPIHT编码器、循环冗余校验(CRC)和RCPT码串联的编码结构,它与文献[2]采用RCPC码的编码结构类似。SPIHT输出比特流被分割为数据组,各组数据采用不同码率的信道码保护。每组信源编码数据长度由信道码率决定,经信道编码后输出为长度固定的数据组,这种固定信道输出长度的分组方法符合实际信道和传输协议的要求<sup>[4]</sup>,编码码组在二进制对称信道(BSC)上传输,系统结构如图1所示。如果一个码组被正确译出,即循环冗余校验检测没有错误,则考虑下一个码组,否则停止译码,信源译码器根据已正确译码的码组重建图像(假定循环冗余校验能检测所有的传输错误)。

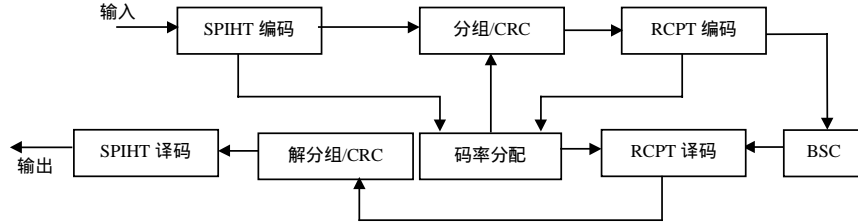


图1 编码系统结构图

对于给定的RCPT码编码器, $\mathcal{R}$ 为相应的码率集, $\mathcal{R} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ ,  $r_1 < r_2 < \dots < r_m$ 。 $p(r_i)$ 表示采用码率为 $r_i$ 的信道码时,在码组内出现一个译码错误的概率,对于码率兼容的编码器,有 $p(r_1) < p(r_2) < \dots < p(r_m)$ 。如果信源输出为 $N$ 组码流,第 $i$ 组采用码率为 $r_{k_i}$ 的信道码保护, $r_{k_i} \in \mathcal{R}$ ,则不等误差保护方案选择最优的码率集 $\hat{\mathbf{R}} = (\hat{r}_{k_1}, \hat{r}_{k_2}, \dots, \hat{r}_{k_N})$ ,使系统的性能最佳。显然,等误差保护是不等误差保护的特例,即当 $r_{k_1} = r_{k_2} = \dots = r_{k_N}$ 时,编码采用相同的信道码保护所有的信源输出码流。对于任一码率集 $\mathbf{R} = (r_{k_1}, r_{k_2}, \dots, r_{k_N})$ ,如果 $P_i(\mathbf{R})$ 表示前 $i$ 组码流译码无错,第 $i+1$ 组数据发生错误的概率,则 $P_i(\mathbf{R})$ 可计算为:

$$P_i(\mathbf{R}) = \begin{cases} p(r_{k_1}), i = 0 \\ \prod_{j=1}^i (1 - p(r_{k_j})) p(r_{k_{i+1}}) & i = 1, 2, \dots, N-1 \\ \prod_{j=1}^N (1 - p(r_{k_j})) & i = N \end{cases} \quad (1)$$

且有 $\sum_{i=0}^N P_i(\mathbf{R}) = 1$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ 。设信道输出码流的长度固定为 $L$ ,循环冗余校验位的长度为 $C$ ,如果选择信道码率为 $r_i$ ,则信源比特的长度 $V_i(\mathbf{R}) = (L - C) \times r_i$ 。对于 $n \times n$ 的图像,总的码率限制为 $R_T$ 时,信道码流的分组数 $N$ 应满足:

$$N \quad N \quad (R_T \times n \times n / L)$$

对于码率集为  $R$  的不等误差保护方案, 编码系统的失真期望值为:

$$E_N[d](R) = \sum_{i=0}^N P_i(R) d_i(R) \quad (2)$$

式中  $d_0(R) = \delta_x^2$  为图像信源的方差, 对所有的  $i \geq 1$ ;  $d_i(R)$  表示根据前  $i$  个码组重建图像产生的失真。因此, 在总的码率限制下, 最优的RCPT码码率集  $\hat{R} \in \mathcal{R}^N$  为:

$$\hat{R} = \min_R (E_N[d](R))$$

### 3 采用遗传算法的码率选择

最优码率选择是在总的码率限制下, 即在码流组数  $N$  的限制下, 选择最优的码率集  $\hat{R} = (\hat{r}_{k_1}, \hat{r}_{k_2}, \dots, \hat{r}_{k_N})$ 。

当  $N$  小时, 可以采用遍历搜索的方法得到  $\hat{R}$ , 但当分组数较大时, 遍历搜索往往很难实现, 本文采用遗传算法搜索  $\hat{R}$  [5]。遗传算法是一种基于群体进化的全局优化算法, 主要选择三个算子: 选择、交叉和变异, 使得整个进化阶段维持群体的多样性, 增强了全局搜索的能力。根据RCPT码的误码率、图像的失真率函数以及系统端对端失真期望构造遗传算法的相关参数。

首先, 构建个体的编码方式。在总码率  $R_T$  的限制下, 码流被分为  $N$  组, 将  $R = (r_{k_1}, r_{k_2}, \dots, r_{k_N})$  作为一个个体,  $r_{k_i} \in \mathcal{R}$ , 总的个体数为  $m^N$ 。每个个体由  $N$  个基因片段组成, 第  $i$  个基因片段表示第  $i$  个码组选用的码率  $r_{k_i}$ , 如果选用二进制编码, 那么每个基因片段可以用  $k = \lfloor \lg m + 1 \rfloor$  位二进制表示,  $\lfloor x \rfloor$  表示不大于  $x$  的整数。

其次, 对适应度函数进行选择 and 量化评价。根据编码系统的失真期望, 将  $f_N[d](R) = d_{\max} - E_N[d](R)$  作为适应度函数,  $d_{\max}$  为设定的失真最大值。显然适应度函数越大, 个体越优秀。

然后, 确定诸如群体规模、选择算子、交叉算子、变异算子等运行参数。群体规模用  $M$  表示 ( $M = m^N$ ), 随机产生  $M$  个种群, 本文将等误差保护的码率集作为初始种群, 这样进化的起点是最优的等误差保护的码率集, 减少运算时间, 并保证在失真意义下不等误差保护方法优于等误差保护方法。选择算子使用适应度比例方法, 设个体  $j$  的适应度为  $f_N(R_j)$ , 则  $j$  被选中的概率为:

$$p_j = f_N(R_j) / \sum_{i=1}^M f_N(R_i)$$

显然概率  $p_j$  反应了个体  $j$  的适应度在整个群体的个体适应度总和中所占的比例, 个体适应度越高, 其选中的概率越大, 个体越优秀。总群的所有个体按“自然选择, 优胜劣汰”的繁殖规律产生后代, 用适应度函数评价个体的优劣度, 按一定的规律(本文采用轮盘赌法)决定遗传机会的大小, 性能优秀的码率集以更大的概率进入下一代继续进化。为防止进化过程中的某一代的最优解选去, 结合使用最佳个体保留的方法, 即把适应度最高的个体直接复制给下一代。交叉算子随机选取交叉位, 两点交叉。变异算子以一定概率随机选取个体, 对二进制编码个体, 采用0, 1互换的方法即可实现变异。经过交叉, 变异后, 产生的  $M$  个体作为新的种群, 进行下一轮繁殖、进化。最后, 当进化达到系统性能要求时, 停止进化, 得出最优的RCPT码码率集  $\hat{R} = (\hat{r}_{k_1}, \hat{r}_{k_2}, \dots, \hat{r}_{k_N})$ 。

### 4 仿真结果

仿真采用  $512 \times 512$  Lena 图像, BSC 的交叉概率为  $p_0 = 10^{-1}$ 。Turbo 码码率为  $1/3$ , RSC 码的生成多项式为  $(31, 27)$  (八进制), 删除周期为 8, 可选码率集为  $r_c = \{8/24, 8/23, \dots, 8/9\}$ , 对应的删除矩阵选用文献[3]的数据, 译码采用 Log-MAP 算法。信道编码输出长度为 512, 采用生成多项式为  $320227$  (八进制) 的循环冗余校验。

仿真结果表明, 交叉概率为  $p_0 = 10^{-1}$  的 BSC 信道条件下, 码率小于  $8/21$  的 RCPT 码能纠正所有的误码, 码率大于  $8/18$  的 RCPT 码出现很高的误码率, 不宜在图像传输中采用。因此将码率集选为  $\mathcal{R} = \{8/21, 8/20, 8/19, 8/18\}$ 。图2给出了 10 000 次蒙特卡洛仿真得出这四种码率的 RCPT 码在  $p_0 = 10^{-1}$  条件下单组数据发生错误的概率  $p(r_i)$ , 以及在相同信道和分组长度条件下 RCPC 码 [6] 的误码率曲线。RCPC 码的生成多项式为  $(147, 163, 135, 135)$  (八进制), 删除周期为 8, 可选码率集为  $r_c = \{8/32, 8/31, \dots, 8/9\}$ 。由图2可见, 在相同的码率和信道条件下, RCPT 码的纠错能力明显优于 RCPC 码。

Lena图像的失真模型选为<sup>[7]</sup>:  $D_1(R_s) = 45.51e^{-2.98R_s} + 2.87$ 。SPIHT算法实现来自文献[8],该算法未加入算术编码。Lena图像峰值信噪比与每像素比特率的关系曲线绘于图3,码率限制 $R_T$ 为0.10 bit/像素到0.90 bit/像素。图中绘出了 $p_0 = 10^{-1}$ 信道条件下,采用RCPC码和RCPT码保护信源编码码流后得出的图像峰值信噪比与总码率限制 $R_T$ 的关系曲线。两种信道编码的分组码率均采用遗传算法选择,初始总群选择为等误差保护条件,因此在失真意义下,该误差保护方法的性能优于等误差保护的编码系统。由图3可见,在相同条件下,采用RCPT码的编码系统的图像峰值信噪比高出RCPC码系统2 dB左右。

## 5 结束语

本文讨论了一种基于RCPT码的渐进图像传输方法,根据信源编码数据对恢复图像质量的影响不同,传输时采用纠错性能不同RCPT码保护,在节省信道资源的同时提高图像的传输质量。这种不等误差保护方法以图像的失真率函数和信道编码的误码率建立数学模型,采用遗传算法计算最优的各分组数据的信道码率。RCPT码和不等误差保护优化算法的采用提高了编码系统的效率,仿真结果表明这种渐进图像传输方法在高误码信道条件下仍可达到好的性能。

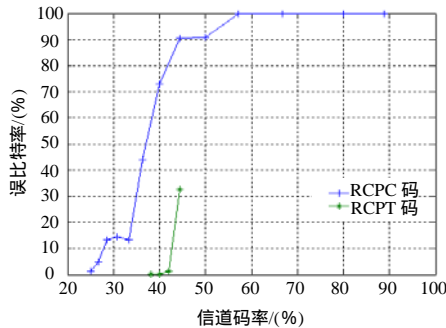


图2 RCPC和RCPT码的误比特率

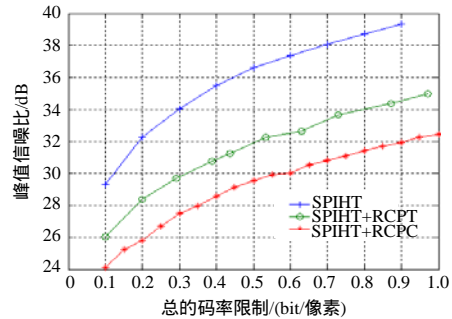


图3 编码算法的峰值信噪比(PSNR)

## 参 考 文 献

- [1] Said A, Pearlman W A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits System Video Technology, 1996, 6(6): 243-250.
- [2] Sherwood P G, Zeger K. Progressive image coding on noisy channels [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1997, 4(7): 189-191.
- [3] Douglas N R, Laurence B M. On the performance of hybrid FEC/ARQ systems using rate compatible punctured Turbo (RCPT) codes[J]. IEEE Transactions on Communication, 2000, 48(6): 948-959.
- [4] Banister A, Belzer B, Fischer R. Robust image transmission using JPEG2000 and Turbo-codes[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9 (4): 117-119.
- [5] 王小平, 曹立明. 遗传算法—理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [6] Hagenauer J. Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications[J]. IEEE Transactions on Communication, 1988, 36(4): 389-400.
- [7] Appadwedula A, Jones D L, Ramchandran K. Joint source channel matching for a wireless communication link[C] // Proceeding IEEE ICC'98, Atlanta, 1998: 482-486.
- [8] Tian J. Implementation of SPIHT [EB/OL]. [2004-06-14]http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadfile.do?objectId=4808&object Type =file.

编辑 徐安玉