

一种高效的抗误码能力强的 图像编码方案*

顾炜 胡波 凌燮亭 张立明

(复旦大学电子工程系计算机辅助测试室, 上海, 200433)

摘要 提出了一种新的图像编码方案, 对子波变换后的系数进行变系数定长编码, 由符号概率表生成字典, 并用类似算术编码的方法进行符号串和字典中码字的映射, 同时采用一系列的纠错方法以进一步提高方案的抗误码能力. 模拟结果表明, 该方案与其他方案相比, 具有压缩比高, 抗误码能力强等优点.

关键词 变系数定长(VCFL)编码, 子波变换, 算术编码.

AN EFFICIENT AND ROBUST SCHEME OF IMAGE-CODING *

GU Wei HU Bo LING Xie-Ting ZHANG Li-Ming

(DAT Laboratory, Dept. of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract A new wavelet-based image-coding scheme was proposed. The Variable-Coefficient Fixed-Length (VCFL) Coding method was used to code the wavelet subband coefficients of the image. The codebook was obtained from symbol probability. By a way similar to Arithmetic Coding, a bunch of symbols was mapped to the code in the codebook. Several error-concealment methods were also adopted to improve the robustness. Simulation results show that our new scheme has higher compression ratio and robustness.

Key words variable-coefficient fixed-length(VCFL) coding, wavelet transform, arithmetic coding.

引言

目前大多数图像压缩方案都是先对图像进行变换编码(如 DCT、子波变换等), 然后对变换后的系数量化并用变长编码(VLC)方法(如 Huffman 编码、算术编码等)进行编码. 这些方案虽然能取得较大的压缩比, 但在编码数据经过信道传输并存在误码的情况下, 解码质量严重下降, 原因在于变长编码后表示每个符号的码的长度可变, 对误码非常敏感, 一个比特的错误可能造成在解码时一个码分裂成几个码或者几个码合并为一个码. 为了提高图像压缩方法的抗误码能力, 许多学者提出了各种方法: 如采用前向、后向两种方式进行解码的可逆变长编码(RVLC)^[1,2], 采用定长编码也是一种有效的方法, 如变系数定长(VCFL)编码方案^[3]采用改进的LZW

算法、及文献[4]中采用矢量量化(VQ)等方法.

本文提出了一种基于统计特性的 VCFL 编码方法, 并采用加奇偶校验位、分段处理、双向解码等一系列纠错方法, 结果表明新的图像编码方案具有压缩比高、抗误码能力强的特点.

1 基于统计特性的 VCFL 编码

变系数定长(VCFL)编码的基本过程是产生一个字典, 字典中每一项表示不同长度的符号串, 在编码时要编码的符号流分割成一个一个符号串, 对每个符号串查找字典, 用长度固定的字典索引来表示, 在解码时, 根据已知的字典将字典索引转换回字符串, 并最终合成解码符号流. 应用 VCFL 编码方法要解决两个主要问题: 第一个是如何在编码时产生字典, 文献[3]中采用改进的LZW 算法; 第二是如

* 复旦大学科学技术青年基金(编号 EX86301)资助项目
稿件收到日期 2000-10-24, 修改稿收到日期 2000-12-28

* The project supported by the Science and Technology Youth Foundation of Fudan Univ. (No. EX86301)
Received 2000-10-24, revised 2000-12-28

何提高压缩比,影响 VCFL 编码压缩比的主要因素是字典的容量,字典容量大,表示同一个符号流所需的字典索引少,但由于字典本身大,压缩比不高,而字典容量小,表示同一个符号流所需的字典索引就多,压缩比同样不高,文献[3]中采用的方法是字典中一部分项取为固定的发生频率高的项,其他项则在编码时动态产生,保存字典时仅需保存不固定项,以提高压缩比。

基于统计特性的 VCFL 编码方法的基本思想是由符号概率表按一定规则直接生成字典,编解码时,用类似算术编码的方法在符号串和字典中的项之间建立对应关系,新方法的优点在于由一个很小的概率表可以自动生成容量很大的字典,可以使表示同一个符号流所需的字典索引少,并且不需保存整个字典,仅需保存很小的概率表,大大提高了编码的压缩比。在编解码时,不需要显式地生成字典,大大节省算法所需的内存,类似算术编码的编解码方法也相对比较简单。

1.1 由符号概率表生成字典

本文提出的基于统计特性 VCFL 编码方法首先对要编码的符号流进行统计得到其发生概率表 $P(x_i), i=1, 2, \dots$, 然后根据该概率表我们可以得到一个码长为 B 比特的字典,字典容量为 $(2^B - 1)$ 项(索引为 0 的项不用),每一项所表示的符号串的长度与其包含的符号的发生概率有关,包含的符号的发生概率大,则符号串长,反之则符号串短,生成字典的原则是尽量使每一项所表示的符号串的发生概率相同,从而使定长编码达到最高效率。

我们举例说明如何由符号概率表生成字典,如图 1 所示,设 4 个符号 A、B、C、D 的发生概率为

$$p(A) = \frac{1}{2} p(B) = \frac{1}{4},$$

$$p(C) = \frac{1}{8} p(D) = \frac{1}{8}.$$

第一步,对字典中 $(2^B - 1)$ 个项按概率划分为 4 段,如 A* 段包含 $1/2$ 数目的项,这些项表示的符号串均以符号 A 开头,同样 B* 段包含 $1/4$ 数目的项,表示的符号串均以符号 B 开头。第二步,对第一步中的每一段继续进行分割,如对 A* 段,将索引最小的项分给符号串 A,将其他项再按概率划分为 4 段,如 AA* 段包含的数目为其他项数目的 $1/2$,表示的符号串均以符号 AA 开头,若分段所包含项的数目小于 2,则此段所包含的项不使用。第三步,对包含的数目大于 2 的段继续按第二步中的方法进行分割,

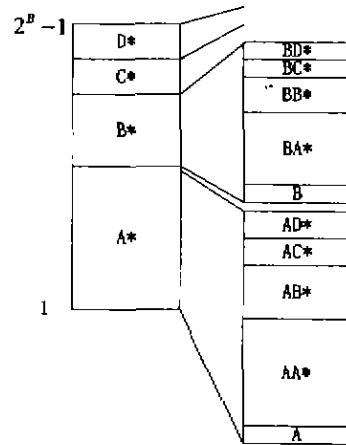


图 1 字典的生成

Fig. 1 Generation of dictionary

直到所有段的项数不大于 2,这样就由概率表最终产生了字典。

由上面的产生过程看,当字典容量很大时,可以使每一项所表示的符号串的发生概率接近相同。

1.2 符号串和字典中项的映射方法

根据由概率表产生的字典,在编解码时要完成符号串和定长的字典索引之间的相互转换,在实际的编解码过程中,我们不需要显式地生成这个字典,可以用类似算术编码的方法直接在符号串和字典索引之间建立对应关系,可减少算法所需的内存,具体编码算法(流程图见图 2)步骤如下:(1)对要编码的符号进行统计得到其发生概率表 $p(x_i), i=1, 2, \dots$,根据该概率表我们可以得到一个码长 B 比特的字典。(2)初始化 $H_n = 2^B - 1; L_n = 0; n = 0$ 。(3)取下一个要编码的符号 x_n ,若已无符号,则保存编码结果并结束编码。(4)用类似算术编码的方法计算 H_{n+1} 和 L_{n+1} ,在计算 L_{n+1} 时,我们增加了 +1 这一项,目的是使字典中的码只与一个符号串对应,而算术编码中同一个码可解出不同长度的符号串。(5)若 $H_{n+1} - L_{n+1} \leq 2$,则已找到字典中对应的码,否则转步骤(3)继续编码。(6)若 $H_{n+1} \leq L_{n+1}$,表明 x_n 不能编入码 L_{n+1} ,退回符号 x_n ,并保存结果 L_n ,否则,保存结果 L_{n+1} ,转步骤(2),重新初始化,开始下一个码的编码。

2 差错控制

用我们的方法进行编码得到的结果是由 B 比特的码组成,每个码代表不同长度的符号串,在存在误码的情况下,由有错误的码解码得到的符号串的长度可能与正确的符号串长度不同,从而会造成

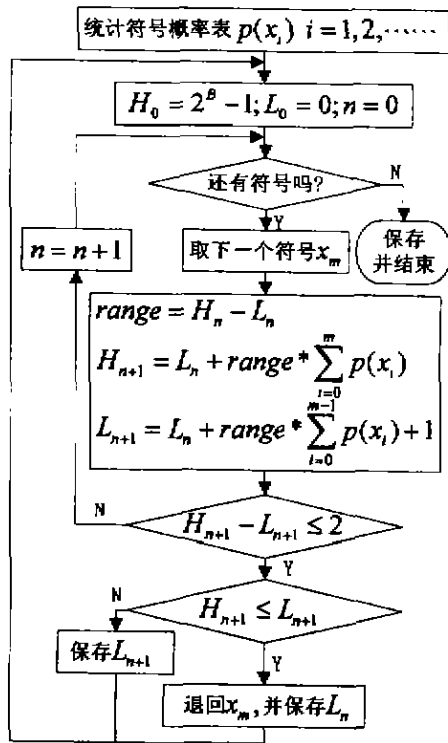


图2 VCFL 编码流程图
Fig. 2 Flow chart of VCFL coding

后续的所有解码符号串发生位移,使图像质量严重下降。针对这些情况,我们采用以下纠错方法,以达到提高整个方案抗误码能力的目的。

2.1 加奇偶校验位

对每个码附加一位奇偶校验位,使我们可以检测出码的奇数个比特的错误。

2.2 分段处理

将由 $B+1$ 比特的码(包含奇偶校验位)组成的码流分成一段一段进行处理,对每一段我们记录其所包含的符号数目。通过适当选择一段中所包含的码的个数,可以假设在非突发性误码的情况下,一段码中仅有一个比特误码,从而可以对每一个误码进行分别处理。

2.3 双向解码

由于我们对码流进行了分段处理,我们可以在解码时通过双向解码来避免由于误码可能引起的符号串整个位移。如图3所示,其中实线代表正确解码,虚线代表错误解码,假设我们解码一个由8个码组成的一段码流,第3个码出现误码,单向解码时,由第4~8个码解出的符号串会发生整个位移,解码图像质量会严重恶化,而双向解码时,由于这段码所包含的符号总数已知,可以由这段码的最后一个码

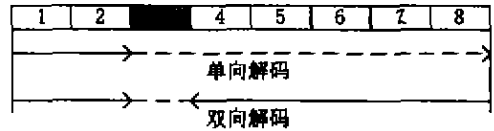


图3 双向解码
Fig. 3 Forward and backward decoding

开始反向解码,即按8、7、6、5、4的顺序进行解码,解出的符号依次从后向前添入解码符号流中,从而避免了符号串的整体位移,在我们的编码方案中以16个码为一段。

2.4 差错码的恢复

在经过双向解码后,我们可以得到有错的码所对应的符号个数,在整个图像压缩方案中,由于采用在子波域进行压缩,而图像经过子波分解后高频域中系数大都集中于0附近,因此对于有错的码,可以在解码符号流中相应的位置处填入符号表中概率最大的符号。

3 总体编码方案

综合前面的内容,我们的编码过程如下:(1)图像经过5阶子波变换分解为16个子带并分别进行均匀量化,子波变换采用Antonini的7/9抽头滤波器^[5];(2)对最低频率的子带系数,不再进一步编码,直接加以保存;(3)对其他的各个子带,分别运用前两节的方法加以编码并保存。

编码过程中各子带的量化比特数由一种优化算法根据要求的压缩比优化得到,编码后的数据由端信息(side info)和数据两部分组成,端信息是描述编码参数的数据,一旦有错解码结果不可预料,因此假设无误码,包括图像的大小、各子带量化比特数、符号概率表等信息,数据部分是编码结果,在传输过程中存在误码。

4 模拟结果

我们对512 * 512 lena像进行了的模拟试验,并与对子带系数采用算术编码(非自适应方式)的方法进行了比较,模拟结果如下。

4.1 码字长度B对解码图像质量、压缩比影响

我们分别用算术编码、码字长度B不同的方案对图像进行了压缩,压缩比从10到100变化,并假设无误码,结果如图4所示,从图中可以看出当B减小时,压缩效率随之下降;当B增大时,压缩效率也提高并接近算术编码的效率。

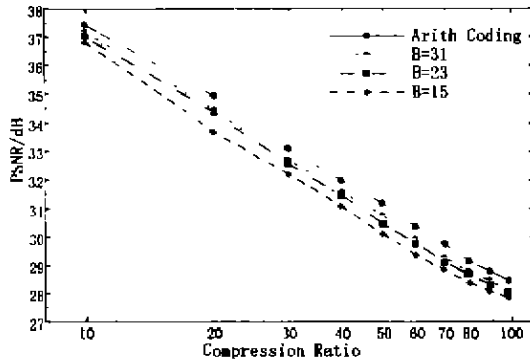


图4 RSNR 与压缩比的关系
Fig. 4 PSNR vs compression ratio

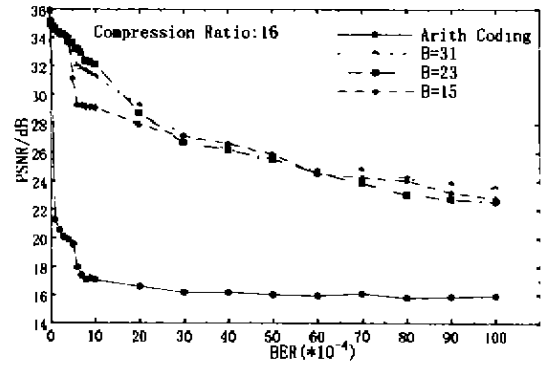


图5 PSNR 与误码率的关系
Fig. 5 PSNR vs BER (Bit error rate)

4.2 误码率对解码图像质量的影响

我们将压缩比固定为 16, 分别用算术编码、码字长度 B 不同的方案对图像进行压缩, 对压缩结果分别以不同的误码率加上误码, 解码结果如图 5 所示, 从图中可以看出, 一般的算术编码对误码非常敏感, 一有误码, 解码图像的质量就显著下降, 而我们的图像编码方案对误码不太敏感, 随着误码率变大

解码图像的质量缓慢下降, 不同码字长度对应的曲线基本重合, 部分解码图像见图 6, 可以看出算术编码时误码会扩散造成图像大面积差错, 主观效果很差, 而我们的编码方案在误码率较大时仅在局部造成可视差错。

4.3 与其他方法比较

表 1 给出了比较结果, 其中 VCFL 为文献[3]

表 1 各种方法的比较

Table 1 Comparison of various methods

方法	VCFL	VCFL	JPEG ^[3]	JPEG ^[2]	算术编码	B=31	B=31	B=31	B=31
误码率(10^{-4})	0.96	1.93	1.03	2.05	0.93	0.96	2.00	9.99	19.99
Bpp	0.554	0.554	0.554	0.558	0.502	0.501	0.501	0.501	0.501
PSNR	31.17	30.41	19.66	25.54	21.29	34.41	34.30	31.26	29.26

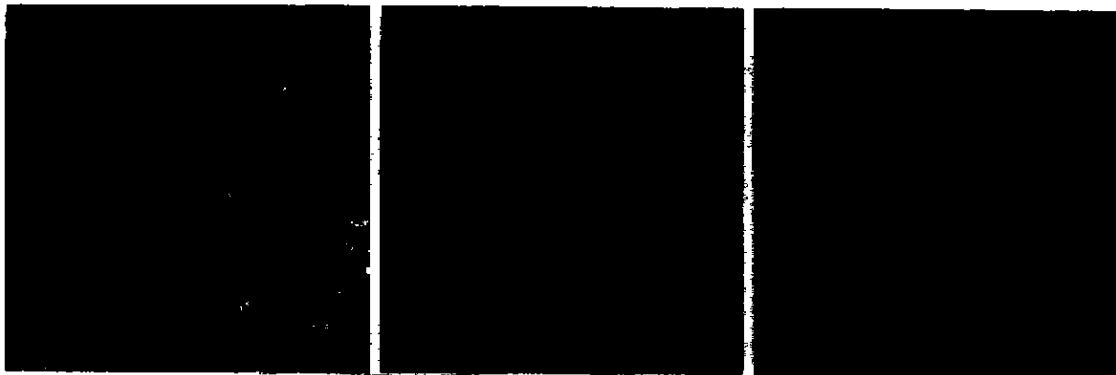


图 6 解码图像(压缩比均为 16)

- (a) 算术编码, 误码率 0.93×10^{-4} , 12bit 错码, PSNR 为 21.29;
- (b) 我们的方案(B=31), 误码率 0.96×10^{-4} , 12bit 错码, PSNR 为 34.41;
- (c) 我们的方案(B=31), 误码率 19.99×10^{-4} , 250bit 错码, PSNR 为 29.26

Fig. 6 Decoded images (Compression ratio is 16)

- (a) arithmetic coding, BER is 0.93×10^{-4} , 12 error bits, PSNR is 21.29;
- (b) our scheme(B=31) BER is 0.96×10^{-4} , 12 error bits, PSNR is 34.41;
- (c) our scheme(B=31) BER is 19.99×10^{-4} , 250 error bits, PSNR is 29.26

中的方法, JPEG¹为 JPEG 编码中每行加一个同步码, JPEG²为 JPEG 编码中每 4 个块加一个同步码。从表中可以看出[3]中 VCFL 方法在抗误码方面明显优于加同步码的 JPEG 和算术编码, 在相同压缩比和相同的误码率的情况下, 解码图像的 PSNR 要高许多; 而我们的方案具有更强的抗误能力, 在误码率为 1×10^{-1} 和 2×10^{-1} 时, PSNR 分别高出 3.27 dB 和 3.89 dB, 我们的方案在误码率为 1×10^{-5} 时的 PSNR 大致与文献[3]中 VCFL 方法在误码率为 1×10^{-1} 时的 PSNR 相同。

5 结语

本文提出了一种新的图像编码方案, 对图像经子波变换后的子带进行 VCFL 编码, 由符号概率表直接生成字典, 并用类似算术编码的方法进行符号串和字典中码字的映射, 由于仅需保存概率表, 无需保存很大的字典, 其压缩比相对算术编码下降不多, 同时采用一系列的纠错方法以进一步提高方案的抗误码能力。模拟结果表明, 我们的方案压缩比高并具

有很强的抗误码能力。

REFERENCES

- [1] Takishima Y, Wada M, Murakami H. Reversible variable length codes. *IEEE Transactions on Communications*, 1995, **43**(2/3/4): 158—162
- [2] Jiangtao, Villasenor John D. Reversible variable length codes for efficient and robust image and video coding. *Proc.*, 1998, *IEEE Data Compression Conf.*, Snowbird, Utah, 1998: 471—480
- [3] CHEN Chang-Wen, SUN Zhao-hui. Image transmission over channels with variable-coefficient fixed-length coding scheme. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1999, **9**(5): 680—682
- [4] Zheng Haitao, Liu K, J Ray. The subband modulation: a joint power and rate allocation framework for subband image and video transmission. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1999, **9**(5): 823—838
- [5] Antonini M, Barlaud M, Mathieu P. Image coding using wavelet transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1992, **1**: 205—220