

图像灰度级动态分段的无损压缩编码方法

高 健, 宋 奥, 陈 耀, 刘 万
(上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 文中提出了一种新的无损图像压缩编码方法. 通过对图像灰度值按四种情况进行动态分段编码压缩, 对于不同的图像会有不同的分段选择, 因而具有一定的自适应性. 实验证明, 这种压缩方法具有很好的压缩效果.

关键词: 无损图像压缩; 自适应; 动态分段; 灰度值

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)11-0014-04

A Sort of Lossless Image Compression Coding Method Based on Variable Length Strings

GAO Jian, SONG Ao, CHEN Yao, LIU Wan

(School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In this paper, a new sort of lossless image compression coding method is proposed. This algorithm increases the compression space by the image gray value differential procession. Meanwhile the algorithm will have appropriate length strings to different images, therefore it has certain self-adaptive. The results of the experiment proves the algorithm successful in image compression.

Key words: lossless image compression; adaptability; variable length; gray value

1 引言

随着计算机和信息技术的日新月异, 特别是多媒体技术和网络与移动通信的飞速发展, 使得图像通信和数字视频技术深入人们的日常生活. 与此同时硬件容量的不断增大和图像精度的不断提高使得信号数字化后的数据量太大, 频带太宽. 直接传输对信道利用很不经济, 甚至是现有信道所难以容纳的, 存储也需要巨大的存储容量^[1]. 因此对数字信息压缩算法的研究显得尤为重要.

图像压缩是数字信息处理领域中的一个重要内容. 现有的图像压缩算法有统计编码、预测编码、变换编码、子带编码、小波变换编码、分形编码、模型基图像编码和矢量量化编码等, 已经发展的很成熟, 制定了相关的国际标准, 新的算法也层出不穷.

文中基于信息论提出了一种新的无损图像压缩编码方法, 通过对图像像素分段处理重新编码达到

压缩图像的目的. 实验证明, 这种算法编解码效率高, 压缩效果好.

2 压缩算法

2.1 图像数据预处理

根据信息论理论, 信源发出某一符号的信息量可以用这一符号出现的不确定性描写. 如果一个符号的出现可以被比较准确地预测, 那么这个符号就只含有很小的信息量; 一个符号的出现很难预测, 则这个符号就具有较大的信息量.

如果要求一个离散、无记忆信源所发出的符号集中各符号的自信息量的统计平均值, 便可以得到信源符号集中一个符号所含的平均信息量即信源的熵 $H(U)$ 为^[2-3]:

$$\begin{aligned} H(U) &= \sum_{k=1}^K p(a_k) I(a_k) \\ &= - \sum_{k=1}^K p(a_k) \log_2 p(a_k) \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.1 数据的一阶差分处理

对于图像信号,由于相邻像素间具有较强的相关性,并非完全独立的符号集,所以会具有较小的平均熵,可以用更短的符号来表示^[4].通过一阶差分编码处理后,会使数据出现更多的等值序列,从而具有更强的相关性.

如图1所示为像素深度为8位的单分量图像,依上所述可通过一阶线性预测器对其进行预处理.

$$\hat{f}(x,y) = \alpha[f(x,y) - f(x,y-1)] \tag{2}$$



图1 测试图片

表1显示了根据式(1)令 $\alpha = 1$ 时,按顺时针对图1中四幅图像进行预处理后得到的数据信息的熵和原始图像的熵的比较,单位为比特/像素.

表1 原始图像和预测误差的熵

	灰度级	预测误差
lena	7.398 782	5.335 024
camera	6.961 965	4.963 854
house	6.466 661	4.406 049
finger	6.731 315	6.522 035

由表1可以看出,经过一次差分预测处理后,原始数据的信息熵均有所降低,这就为图像进一步的压缩提供了更大的空间.

2.1.2 扫描方法的选择

假设图像大小为 256×256 ,则此图像总共包含65 536个像素.

表2给出了图像前三行数据的位置表示.其中 $s_{i,j}$ 表示处于第 i 行第 j 列的像素的灰度值.一般的扫描方法为横向或纵向读取数据,即: $s_{0,0}, s_{0,1}, s_{0,2}, \dots, s_{0,255}, s_{1,0}, s_{1,1}, \dots, s_{255,255}$ 或者 $s_{0,0}, s_{1,0}, s_{2,0}, \dots,$

$s_{255,0}, s_{0,1}, s_{1,1}, \dots, s_{255,255}$,这种扫描方法只是考虑到了每行(列)之间的相关性,并没有考虑行与行之间的联系,当扫描完第一行($s_{0,255}$)后从第二行的第一个数据($s_{1,0}$)开始,由于 $s_{0,255}$ 和 $s_{1,0}$ 处于上下两行的两头,数据之间可能没有联系,则这样的走法就破坏了图像数据的相关性.考虑到像素点 $s_{0,255}$ 和像素点 $s_{1,255}$ 之间相近,则它们之间的有很大的相关性,则在扫描数据时,扫描完第一行后对第二行的数据从后往前扫描,扫描完第二行后对第三行再从前往后扫描,这样的话数据之间就不会有很大的跳跃,相关性就会很好,利于后面的压缩,这就是横向的Z字形数据扫描,其扫描后的数据为: $s_{0,0}, s_{0,1}, s_{0,2}, \dots, s_{0,255}, s_{1,254}, s_{1,253}, \dots, s_{1,0}, s_{2,0}, s_{2,1}, \dots, s_{255,255}$.

表2 图像前三行数据的位置表示

$s_{0,0}$	$s_{0,1}$	$s_{0,2}$	...	$s_{0,254}$	$s_{0,255}$
$s_{1,0}$	$s_{1,1}$	$s_{1,2}$	...	$s_{1,254}$	$s_{1,255}$
$s_{2,0}$	$s_{2,1}$	$s_{2,2}$	...	$s_{2,254}$	$s_{2,255}$

对于采用横向Z字形还是纵向Z字形,用统计图像相邻像素点的平均方差作为判断图像像素相关性的标准:平均方差越小,表示图像像素相关性好,反之则相关性差.如果图像像素横向相关性比较好,采用横向Z字形扫描;如果图像像素纵向相关性比较好,则采用纵向Z字形扫描.

2.2 压缩原理

根据图像像素值的分布特点,定义如下四种图像数据类型:等值序列、差值序列(不包含等值序列)、差值序列(包含等值序列)和孤立点^[5-6].

等值序列(长度 $L \geq 2$)是指图像数据序列中一串连续数值相同的像素值组成的子序列,如222222;差值序列(长度 $L \geq 2$)是指由图像数据序列中一串满足相邻点像素值大小相差在某一范围内的子序列,例如2435642,相邻点像素值大小都在范围 ± 2 以内;不属于前两种序列的点均称为孤立点.

依据上面的定义可以把原始图像数据分为动态不定长的一系列数据段,压缩工作就在这些数据段的基础上进行.

2.2.1 等值序列的编码方法

对于等值序列,采用传统的游程编码的方法对其进行编码.

设有连续等值序列 $g_k g_k \dots g_k g_k$,长度为 $n(n \geq 2)$,其编码方法为 $g_k \wedge 11 \dots 10$,其中1的个数为 $n-1$ 个,0为截止符号,1和0的个数和表示等值序列的长度.

2.2.2 差值序列(不包含等值序列) 编码方法

由前面的定义可知,差值序列是指图像数据序列中一串满足相邻点像素值大小相差在某一范围内的子序列,这样的一串序列可以通过开头的一个数以及相邻数据的差值来表示.

规定相邻数据之间的的差值不能超过 ± 2 , 由于此差值序列中不包含等值序列,则不存在差值为 0 的情况,那么数据之间的差值可以用 2bit 来表示,将相邻数据之间差值不超过 ± 2 的数据串称为差值长度为 2 的串,具体对应如表 3 所示.

表 3 差值长度为 2 的对应关系

-2	-1	1	2
01	00	10	11

所以有如下的编码方法: 设有差值序列 $g_k g_{k-2} g_{k-3} g_{k-5} g_{k-4} \cdots g_{k-4} g_{k-3}$ 长度为 $n(n \geq 2)$, 其对应的编码方法为 $g_k \wedge 11111 \cdots 10 \wedge 0 \wedge 01000110 \cdots 10$, 原始数据序列顺序表示成一个新像素值序列、对应的长度编码表、等值序列个数表和差值表. 其中长度编码表中 1 的个数为 $n-1$ 个, 0 为截止符号; 等值序列个数表为 0 表示没有等值序列, 差值表记录了相邻像素之间差值的对应码表, 其长度为 $n-1$, 每个差值的对应码表为 2 比特^[7].

2.2.3 差值序列(包含等值序列) 编码方法

当差值序列中包含等值序列时, 仍规定相邻数据之间的差值不能超过 ± 2 , 但是此时数据差值有 0、 ± 1 、 ± 2 等情况, 无法用 2bit 来表示, 故考虑用另一种结合了等值序列的数据形式来表示.

设有差值序列 $g_k g_k g_{k-2} g_{k-3} g_{k-3} g_{k-5} g_{k-4} g_{k-4} \cdots g_{k-4} g_{k-3}$ 长度为 $n(n \geq 2)$, 则其对应的编码方法为 $g_k \wedge 110010010 \cdots 001 \wedge 1110 \wedge 01000110 \cdots 10$, 原始数据序列顺序表示成一个新像素值序列、对应的分布编码表、等值序列个数表和差值表、其中分布编码表中第一个 1 为标志位, 后面 n 位为原始数据序列单游程的编码表, 最后一个 0 为截止符号; 等值序列 1 的个数本序列中等值序列的个数 n_1 , 最后一个 0 为截止符号; 差值表即记录了相邻像素之间差值的对应编码, 其长度为 $n-n_1-1$; 每个差值的对应编码为 2 比特, 这就是差值序列(包含等值序列) 的编码表示方法^[8].

2.2.4 孤立点的编码方法

对于孤立点 g_{k+1} , 其编码方法为 $g_{k+1} \wedge 0$.

通过以上的编码分析, 一幅图像数据按四种情况分段处理, 表示成一个新的像素序列、对应的分布

编码表、等值序列个数码表和差值码表. 通过新的表示方法实现了图像原始数据的压缩.

2.3 解码方法

对数据的解码按以下几个步骤进行:

- (1) 在像素序列中读出一个数据;
- (2) 查看分布码表, 如果是 0 则跳到第三步, 如果是 1 则跳到第四步;
- (3) 将在像素序列中读出的数据作为解码数据, 继续进行第一步;
- (4) 查看等值序列个数码表, 如果是 0 则跳到第五步, 如果是 1 则跳到第六步;
- (5) 读取差值码表, 按照一一对应的关系还原原始数据段, 继续进行第一步;
- (6) 读取差值码表, 如果为 0, 则根据差值序列个数码表中 1 的个数复制数据还原原始数据段, 如果不为 0, 则结合分布码表按照一一对应的关系还原原始数据, 继续进行第一步.

通过以上六个步骤的循环进行, 直到在像素序列中读到最后一个数据进行还原以后, 解码工作才算完成.

3 压缩实验与结果分析

3.1 实验结果

文中使用了 VC2008 将上述算法实现, 并选取了几幅图像做了压缩处理^[9].

对图像压缩质量的客观评价通常采用的是压缩比 CR 和峰值信噪比 PSNR 这两个指标来衡量, 而对于无损图像压缩是没有峰值信噪比 PSNR 这个指标的.

设图像尺寸大小为 $M \times N$, 每个像素点的深度为 Bp 比特, 压缩后总比特数为 Bc. 则有:

压缩比定义为: $CR = M \times N \times Bp / Bc$ (3)

平均码长定义为: $BR = Bp / Bc$ (4)

测试采用如图 1 所示的四幅图片. 依顺时针分别为 Lena、camera、house、finger, 规格均为 256×256 的深度为 8 位的灰度连续色调图像. 这里用平均码长 B_R 来表示实验结果, 单位是 bpp (bit per pixel). 将本算法的实验结果和 WinRAR 以及 WinZIP 对图像的压缩做了一个横向的比较, 结果如表 4 所示.

通过对这四个图的测试比照可以看出: 本算法的压缩效果均优于 WinZIP; 第一、二、四幅图的压缩率都是高于 RAR 的, 只有第三张 house 的压缩率略逊于 WinRAR. 实验结果表明这套算法对图像

压缩有很好的效果.

表 4 实验结果比较

	WinZIP	WinRAR	文中算法
Lena	6.572 3	5.476 8	4.905 6
Camera	5.944 6	5.292 0	5.216 0
House	5.796 9	4.553 6	4.626 4
Finger	6.880 0	6.584 8	4.945 6
平均值	6.298 5	5.476 8	4.923 4

3.2 算法改进

本算法还有可以改进的地方,数据的读入扫描还可以与分块扫描相结合,在对原始数据进行编码以后产生了大量的二值码表,在这些方面还有一些压缩空间有待进一步的挖掘.

4 结束语

文中针对图像无损压缩提出了新的算法,它利用图像数据的相关性和冗余性,把图像的原始灰度值数据按照差值的变化动态分段进行处理.算法中对扫描方法和差值的选择使得本算法有了一定的自适应性.与传统的压缩算法相比,文中提出了一种比较独特的思路.实验证明了本算法具有很好的压缩效果.

参考文献:

[1] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. 数字图像处理

[M]. 2 版. 阮秋琦,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社, 2007:326—364.

[2] 张春田,苏育挺,张静. 数字图像压缩编码[M]. 北京:清华大学出版社,2006.

[3] David S Taubman, Michael W Marcellin. JPEG2000 图像压缩基础、标准和实践[M]. 魏江力,柏正尧,译. 北京:电子工业出版社,2004.

[4] 王学武,石跃祥. 对图像灰度级分段的压缩编码[J]. 计算机工程与设计,2006,27(2):222—223.

[5] Tian Jun. Reversible data embedding using a difference expansion[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology,2003,13(8):890—896.

[6] 孙全党,高美真. 基于颜色空间分布熵的图像检索[J]. 微电子学与计算机,2009,26(10):134—136.

[7] 谢颢,范九伦. 一种基于位运算的数字图像加密算法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(12):117—120.

[8] 陈开英,胡永健,李建伟. 利用差值扩展进行可逆数据隐藏的新算法[J]. 计算机应用,2008,28(2):455—459.

[9] 孙鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社,2006.

作者简介:

高 健 男,(1961—),博士,副教授. 研究方向为图像处理、计算数学.

宋 奥 男,(1987—),硕士研究生. 研究方向为图像处理.

(上接第 13 页)

[8] 张磊,李鹏,冯晓东. 基于光纤通道的网关模块设计与实现[J]. 微电子学与计算机,2007,24(6):56—58.

作者简介:

张 磊 男,(1976—),硕士,工程师. 研究方向为民机航空

电子系统.

王卫东 男,(1963—),博士,研究员,硕士生导师. 研究方向为分布式计算系统.

惠晓强 男,(1978—),硕士,工程师. 研究方向为嵌入式计算机.