

# 基于自适应预测模型的静止图像数据无损压缩方法

高敬惠 (河北工业大学计算机系 300130)

魏世泽 (河北科技大学计算中心 050018)

**摘要:**本文扼要介绍了 JPEG 标准的算法,并对其中的无损压缩方法进行了改进。采用自适应预测模型实现了图像数据的无损压缩,预测模型根据前一点的预测误差进行自适应调整,使后一点的预测模型尽可能接近最优。

**关键词:**图像压缩 无损压缩 自适应预测

目前,图像数据压缩的方案很多,大多数方案属有损压缩技术,在保证一定质量的恢复图像的情况下,损失一部分图像信息,得到较高的压缩比。但在许多实际应用中,对图像质量要求较高,且需反复存储,这就需要对图像进行无损压缩,以保证不丢失源图像中有价值的信息。JPEG 标准算法为图像压缩提供极大的方便,但许多方面还可以进一步的改进完善。

本文对 JPEG 标准中的无损压缩方案进行了改进,图像中每一点的预测模型不再采用固定模型,而是采用自适应预测模型,把下一点的预测模型与上一点的预测误差关联起来。

## 一、JPEG 标准及相关的方法原理介绍

JPEG(Joint Photographic Expert Group)是联合摄影专家组的缩写,JPEG 标准是该委员会经过反复测试和评价后制定的主要应用于连续色调的彩色和灰度静止图像的标准算法,后来应用对象扩展到彩色传真、电话会议、印刷机新闻图片的传送。

该算法包含两种方式:空间方法(可逆编码)和 DCT 方式(不可逆编码)。可逆编码能精确地恢复源图像,但压缩比较小;不可逆编码不能完全精确恢复图像,但压缩比较大,可以用较少的比特数得到较好品质的恢复图像。下面就一幅  $256 \times 256$  象素的 RGB 图像(24 位真彩色图像)扼要说明其算法。

数字 RGB 图像中每一象素值是由 RGB(即红绿兰)三个分量各占的百分比来描述的,这种表示方法不适合压缩,需转换为 YUV 分量表示,Y 表示图像的亮度,提供图像的灰度表示;UV 表示色度,提供将图像转换成彩色图像的额外信息。转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.3316 & 0.500 \\ 0.500 & -0.4186 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

### 1. 可逆压缩

空间方法是以二维空间 DPCM 为基础的空间方式。DPCM 是差分脉冲编码调制(Differential Pulse Code Mod

ulation)的缩写。其原理就图像而言,是根据某一模型利用前面的一些像素的样本值对于新像素样本值进行预测,然后将样本的实际值与其预测值相减得到一个误差值,再对这一误差进行编码。如果模型比较好且像素之间的相关性比较好,其预测误差会远远小于原始信号,可以用较少的存储空间来存储。JPEG采用的DPCM预测器如下,像素Y的预测值与周围的ABC三点有关。

C	B
A	Y

像素Y由 $(A + (B - C)/2)$ 预测,在第一行中由A预测,在第一列中由B预测。

为了便于编码,先对预测误差值(像素样本值和预测值的差分)进行分组。分组方法见表1:

每一组所含元素的个数由组号决定,即若组号为*i*,则第*i*组包含 $2i$ 个元素,其中 $2i - 1$ 个为正,另外 $2i - 1$ 个为负。第*i*组内的元素值由附加的*i*个比特位来标识,即每一个差值由组号和标识位唯一确定。附加位直接以二进制的形式存储传输,组号用熵编码器编码。

信源的符号之间存在着相关性,因此包含的信息量小于其所拥有的数据,其信息量是用“熵”来描述的,熵就是平均信息量,是无损压缩的理论极限。熵编码器的工作原理就是根据信源符号的概率大小顺序排列,概率大的分配较短的码字长度,概率小的分配较长的码字长度。符号的重复次数愈多,编码的效率愈高。常用的如Huffman编码、算术编码等。

表1 分组表

组号	元素值	标识位
0	0	0
1	-1, 1	1
2	-3, -2, 2, 3	2
3	-7...-4, 4...7	3
4	-15...-8, 8...15	4
5	-31...-16, 16...31	5
6	-63...-32, 32...63	6
7	-127...-64, 64...127	7
8	-255...-128, 128...255	8
9	-511...-256, 256...511	9
.	.	.
.	.	.

## 2. 不可逆压缩

DCT算法是JPEG中的基础算法,压缩比为16:1左右时,恢复图像质量很好。

(1)考虑到运算量,首先将图像矩阵进行分块,一般分为 $8 \times 8$ 的系数块,  $256 \times 256$ 的图像实际被分为1024块。每一块分别进行DCT变换, DCT变换即离散余弦变换,是正交变换的一种。二维矩阵 $f(i, j)$ 的DCT公式如下:

$$F(u, v) = 0.25c(u)c(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \quad (\text{DCT变换})$$

$$F(i, j) = 0.25 \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} c(u)c(v) F(u, v) \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \quad (\text{逆DCT变换})$$

其中,当 $w=0$ 时,  $c(w) = 1/\sqrt{2}$ , 否则  $c(w) = 1$ ,  $F(u, v)$ 是变换后的系数。

DCT变换后,  $8 \times 8$ 系数块的左上角,集中了图像的大部分信息,即DC系数,表示的是图像的低频成分也就是直流分量。其余的63个系数,体现了图像的边缘和细节变化,是图像的高频部分也就是交流分量,即AC系数,这是人眼不敏感的部分,量化时可以比较粗糙。

(2)随后对DC和AC系数进行量化,量化过程是某一段区间上的所有值,输出一个相同的值,这样一幅图像的输出值变为跳跃的和有限的。JPEG中采用均匀量化器,量化公式如下:

$$C(U, V) = \frac{[F(U, V) \pm Q(U, V)/2]}{Q(U, V)}$$

式中 $C(U, V)$ 量化器的输出,  $F(U, V)$ 是量化器的输入,  $Q(U, V)$ 是量化器的步长, JPEG由推荐的量化表决定每一位置的步长。

当 $F(U, V)$ 是正数时,取“+”;当 $F(U, V)$ 是负数时,取“-”。可以看到,当输入处于 $(-Q(U, V)/2, Q(U, V)/2)$ 时,输出为0,当输入在 $(Q(U, V)/2, 3/2 Q(U, V))$ 时,输出为1,依此类推。恢复图像时逆量化公式如下:

$$F(U, V) = C(U, V) \times Q(U, V)$$

式中 $C(U, V)$ 是逆量化的输入。

(3)量化后的DC系数和前一块的DC系数作差分,然后采用前面的分组方法进行分组,量化的AC系数直接分组,组号采用熵编码器编码。

0 1 5 6 14 15 27 28  
 2 4 7 13 16 26 29 42  
 3 8 12 17 25 30 41 43  
 9 11 18 24 31 40 44 53  
 10 19 23 32 39 45 52 54  
 20 22 33 38 46 51 55 60  
 21 34 37 47 50 56 59 61  
 35 36 48 49 57 58 62 63

图 1 DCT 系数的之字形排列

## 二、基于自适应预测模型的图像数据无损压缩方案

本方案的压缩流程图如图 2 所示:

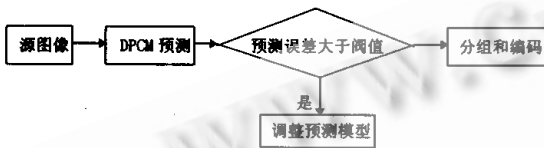


图 2

### 1. 预测模型

本文中用到的预测模型共有五种,这五种模型在试验中效果都比较好,且计算简单,易于硬件实现。预测点 X 的预测值 X' 主要和前一行的周围三点 BCD 和上一点 A 有关,文中用到的预测公式如下<sup>[1][2]</sup>:

- (1)  $X' = A$
- (2)  $X' = C$
- (3)  $X' = A + (C - B) / 2$
- (4)  $X' = C + (A - B) / 2$

B	C	D
A	X	

- (5)  $X' = A + C - B$
- (6)  $X' = (B + C) / 2$
- (7)  $X' = (A + (D + C) / 2) / 2$

的图像或者同一幅图像中不同的区域,内容是不同的,由于其内容不同,应用某一预测模型的效果常常比应用其他模型的效果好。如果能根据图像的变化相应的调整预测模型,预测效果总体上会比较接近实际值。本方案中根据上一点的预测误差对下一点的预测模型进行调

整,这种自适应的调整,必然使图像中大多数点的预测值尽可能的接近了实际值。

本方案中,图像的第一行象素用其左侧的点来预测,第一列的象素用其上一行的点预测。其他象素,先给定一个预测模型,计算其预测误差,如果预测误差超过某一阈值,则在上述五种模型中寻找一中效果最好的,对下一点进行预测时使用,其他点的计算过程类似。这种自适应的调整必然比对所有的象素运用一种固定的预测模型效率要高的多。

### 2. 分组和编码

预测误差的分组方案同 JPEG 方案,组号采用算术编码或 Huffman 编码。本文实验中采用的是算术编码。

### 3. 实验结果

本文对上述方案进行了实验,下面是两幅 RGB 图像的实验结果。实验表明,这种压缩方案比标准 JPEG 无损压缩的压缩比大约提高 40% 以上。



JPEG 无损压缩压缩比 2.38

本方案压缩比 3.41

JPEG 无损压缩压缩比 1.13

本方案压缩比 1.60

### 参考文献

- [1] 吴乐南 编著,数据压缩的原理及应用,电子工业出版社
- [2] Willam B. Pennebaker Joanl. Mitcher 著, JPEG 静止图像数据压缩标准,学苑出版社

(来稿时间:1998年3月)