

## DC 恢复算法及其在图像压缩编码中的应用\*

查宣威, 岑峰

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

**摘要:** DC 恢复算法是一种基于离散余弦变换(DCT)的图像恢复算法,其能够应用于图像压缩编码中对 DC 系数的预测中。该方法利用了块分割图像在相邻块边缘区域的像素依然连续这一特点,利用周边块像素信息选择较为连续的相邻块对 DC 系数进行预测恢复。实验验证了其能对 DC 系数的进行更为准确的预测,从而达到提高图像压缩率的目的。

**关键词:** 压缩域; JPEG; 离散余弦变换

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)01-0037-03

## DC recovering algorithm and its application in the image compression

Zha Xuanwei, Cen Feng

(College of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** A DC recovering algorithm is an image recovering algorithm based on DCT. In this paper, it is applied to the image compression. The pixel values of the block-based image are continuous along the edge of blocks. DC recovering algorithm recovers DC coefficients by choosing the neighboring blocks with more continuous edges. The experimental results prove that DC coefficients are predicted more accurately in the image compression, and the image compression rate is improved.

**Key words:** compressed domain; JPEG; discrete cosine transform

离散余弦变换(DCT)作为图像视频压缩编码中的关键技术之一,是一种在信号和图像处理领域广泛应用的变换。许多图像视频标准都建立在 DCT 变换的基础上,诸如 JPEG、MPEG 和 H.264/AVC 等。为了降低复杂性,一般图像或图像帧被分割为  $N \times N$  块来进行变换。作为一种良好的去相关变换, DCT 变换将相同频率的成分表征为各种 DCT 系数。DCT 系数主要分为两个部分:直流分量系数(DC 系数)代表块内像素的平均值,拥有块像素的大多数能量;交流分量系数(AC 系数)则反映了块内像素的细节信息。

JPEG 图像压缩中对 DC 系数的压缩采用差分脉冲编码调制 DPCM (Differential Pulse Code Modulation) 方法,对块的 DC 系数进行预测,将当前 DC 系数与预测值作差,进而传输预测残差。

在图像无损压缩领域,针对 DPCM 方法, O'Neal<sup>[1]</sup>根据最小均方差准则对整幅图像求统计平均,得出最佳预测系数。MUSMANN 和 ERDMANN<sup>[2]</sup>应用视觉特性,由活

动函数和掩盖函数设计自适应量化器。GRAHAM<sup>[3]</sup>和 COHEN<sup>[4]</sup>先后提出按最小梯度方向作自适应的预测器。然而这些都是应用在图像无损压缩中的像素级预测方法,而针对 DCT 变换后 DC 系数的预测方式研究较少。

H.264/AVC 视频压缩编码中,帧内预测算法利用左块上块及右上块相邻像素形成最多 9 种方向的预测模式,其中 DC 模式用相邻像素的平均值作为本块的预测,即对本块的 DC 系数的预测。由于对视频编码实时性的要求,对帧内预测算法的研究重点集中在对预测模式的快速选择上,没有过多地论及单一预测模式,如 DC 预测模式的性能。

本文采用 UEHARA T 提出的一种利用图像特性恢复图像加密的 DC 系数的方法<sup>[5]</sup>对图像编解码过程中的 DC 系数进行预测,利用周边块边缘的像素值结合图像连续性的特点来预测 DC 系数,在图像压缩编码中取得良好的效果。

## 1 DC 恢复算法

UEHARA T 的 DC 恢复算法,即 USO 方法<sup>[6]</sup>,是针对

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(60972035)

DC 系数丢失的图像的恢复算法,其主要是利用基于 DCT 变换压缩传输数字图像的两种特性。(1)相邻像素之间的差值满足高斯分布,或者说自然图像是画面连续的(如图 1 所示);(2)数字图像的像素值需要被约束在 0~255 之间,而 AC 分量导致的像素值变化幅值较大时,必然对像素的均值产生限制,反之亦然。

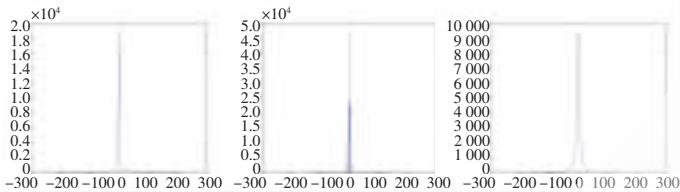


图 1 相邻像素之间的差值分布图

利用图像的像素连续性,相邻像素之间可以认为它们的像素值是相等的。而对于基于块分割编码的 JPEG 图像压缩编码、MPEG 及 H.264 视频压缩编码,则是相邻块边缘的像素值之间可以认为它们近似相等。

特性(1)可表述为:

令  $(B^i, B^{i+1})$  为两相邻  $N \times N$  块,  $(p^i, p^{i+1})$  为两块边缘处的像素点,  $(\rho^i, \rho^{i+1})$  为其块丢失 DC 系数后的边缘像素点。则有

$$\begin{aligned} \rho^i &= \rho^{i+1} \\ \rho^i + \frac{C_{0,0}^i}{N} &= \rho^{i+1} + \frac{C_{0,0}^{i+1}}{N} \\ C_{0,0}^{i+1} &= N(\rho^i - \rho^{i+1}) + C_{0,0}^i \end{aligned} \quad (1)$$

特性(1)使得在已知前一块的 DC 系数的情况下,通过式(1)近似地计算下一块的 DC 系数,逐块反复,整幅图像的 DC 系数都可以恢复。

特性(2)可表述为:

$B^i$  块  $p^i$  中像素值范围为  $(T_{\min}^i, T_{\max}^{i+1})$ ,  $\rho^i$  像素值范围为  $(\lambda_{\min}^i, \lambda_{\max}^{i+1})$ , 则

$$\begin{aligned} T_{\min}^i &\leq \rho^i \leq T_{\max}^i \\ T_{\min}^i &\leq \rho^i + \frac{C_{0,0}^i}{N} \leq T_{\max}^i \\ N(T_{\min}^i - \rho^i) &\leq C_{0,0}^i \leq N(T_{\max}^i - \rho^i) \end{aligned}$$

又  $\lambda_{\min}^i \leq \rho^i \leq \lambda_{\max}^i$ , 则有:

$$N(T_{\min}^i - \lambda_{\max}^i) \leq C_{0,0}^i \leq N(T_{\max}^i - \lambda_{\min}^i) \quad (2)$$

在实际数字图像传输过程中,  $(T_{\min}^i, T_{\max}^i)$  就为 (0, 255), 而  $N$  为 8, 这样就有了 DC 系数的范围。式(2)是特性(1)的补充, 由式(2)可以对那些超出 DC 系数范围

的 DC 值进行一定的修正。

## 2 JPEG 图像压缩编码下的 DC 预测算法

### 2.1 初始块的 DC 系数

由特性(1)可知,在恢复每个块的 DC 系数的过程中,都会用到前一 DC 块或上方块的 DC 系数,在初始化情况下,初始块的 DC 系数是未知的,利用式(2)对图像进行一定调整,以期初始块的 DC 系数能是正确的。

但在图像传输过程中,图像在编码端进行压缩过程中可以压缩一部分的 DC 系数,这部分 DC 系数可以在解码端优化恢复算法性能。因为 USO DC 恢复算法是从图像第一行第一块开始逐块逐行进行 DC 恢复,所以第一块 DC 系数的正确性就显得尤为重要。传输初始块的 DC 系数将是很好的选择,它能保证在 DC 恢复过程中,如果能保证图像块分割情况下块边缘是连续的话,每个块的 DC 系数将得到正确的恢复。

图 2 显示了在恢复算法中加入初始块的 DC 系数前后恢复图像的 PSNR 变化情况。相比于原算法,PSNR 得到了一定的提升。在原算法中,利用式(2)在保证图像像素值不溢出 0~255 区间范围内对图像的初始块进行估计会带来一定的偏差,并且在逐块恢复 DC 系数的过程中,由于初始块 DC 系数不准确,会带来一定的差错传播。由图 2 可知,正确的初始块 DC 系数能提高 DC 系数恢复的准确度,并一定程度上控制差错传播。

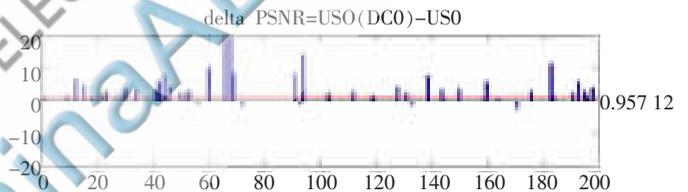


图 2 USO 恢复算法加入初始块 DC 系数前后 PSNR 的变化

在 JPEG 图像压缩中,初始块的 DC 系数是需要传输的,而且在预测 DC 系数过程中,待预测 DC 系数块左方与上方块的 DC 系数是也是已知的,而且与实际值相同,这对于 DC 恢复算法而言,将进一步提高 DC 系数预测的准确度。

### 2.2 JPEG 图像压缩编码中的 DC 系数预测

JPEG 图像压缩编码中对 DC 系数的预测采用的是 DPCM,即将上一块 DC 系数作为当前块的 DC 系数的预测值,然后与当前块的 DC 系数实际值作差,传输它们之间的差值。这样的方式是以块为单位利用图像的连续性,并且只是利用了当前块左方块的 DC 系数。

利用 DC 恢复算法进行 JPEG DC 系数预测前,在编码端要对当前块去除 DC 系数给块像素带来的均值,而在解码端要首先解码 AC 系数,以此来模仿 DC 系数丢失的情况。除初始块之外的块,DC 系数通过对 DC 系数的预测获得。

为了获得块边界处图像连续性更高的方向,首先要计算图 3 中 3 种模式下两块像素间均方差,其中均方差

更小的模式表明块边界像素在这个方向上更加连续。利用这些像素点的平均值,套用式(1)来预测本块的DC系数。

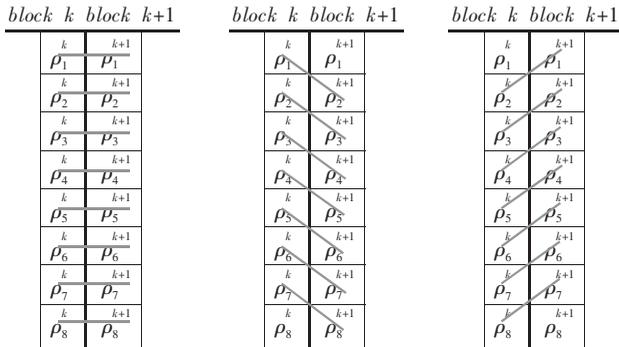


图3 水平相邻块像素的3种模式

实验对 2flowers (如图4所示)分别进行了 DPCM 预测与 DC 恢复算法预测。图5所示为它们的块差值分布,可见,DC 恢复算法预测的 DC 系数与原始 DC 系数作差后,每个块的偏差更小,DC 恢复算法能更有效地预测 DC 系数。



图4 2flower 图像

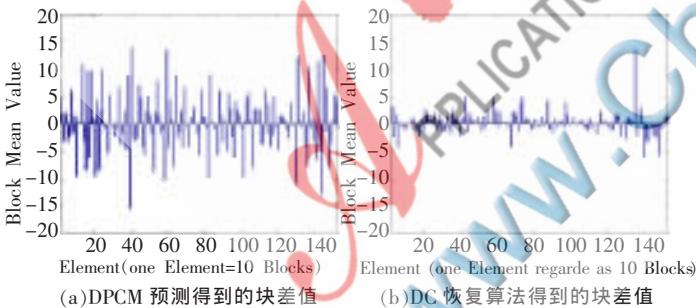


图5 预测得到的块差值分布

对 200 张图片进行实验,每张图片使用 DC 恢复算法和 DPCM 分别进行预测。图6中下部柱状代表每张图片中 DC 恢复算法预测块 DC 系数优于 DPCM 方法的块比例,而上部则是 DPCM 方法更优的块比例。统计平均下来,图片中 75% 的块使用 DC 恢复算法进行预测能得到优于 DPCM 的预测值。

利用 DC 恢复算法在 JPEG 图像压缩中能更准确地预测 DC 系数,使得 JPEG 图像压缩中需要传输的 DC 系数预测残差值更小,带来更高的图像压缩率。另外,对于

Block Ratio of DC Recovering and DPCM

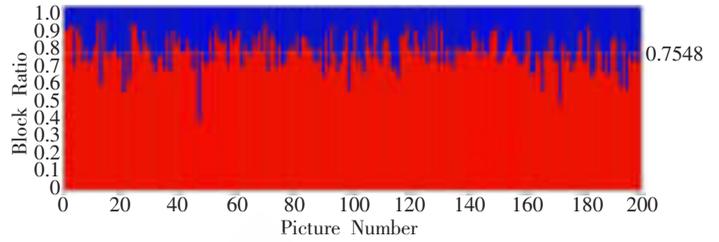


图6 DC 恢复算法预测优于 DPCM 方法的块比例

MPEG 及 H.264 视频压缩编码,其帧内预测模式中就有利用左上方块进行本块的 DC 预测,该方式与本文探讨的 DC 恢复算法在目的上有一定的相似性,如何将 DC 恢复算法应用于视频压缩编码中也是未来研究内容之一。

#### 参考文献

- [1] O'NEAL J B. Predictive quantizing differential pulse code modulation for the transmission of television signals [J]. Bell Syst. Tech. J., 1966,45(15):689-722.
- [2] MUSMANN H G. Predictive image coding. Image Transmission Techniques, Academic Press, New York, 1979:73-112.
- [3] GRAHAM R E. Predictive quantizing of television signals. IRE Wescon. Convention Record, 1958:147-157.
- [4] COHEN P, ADOUL J P. Adaptive differential coding of picture signals based on a local contour prediction [J]. NTC'76, 1976,1(6.1):1-5.
- [5] UEHARA T, SAFAVI -NAINI R, OGUNBONA P. Recovering DC coefficients in block-based DCT [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006,15 (11):3592-3596.
- [6] Li Shujun, AHMAD J J, SAUPE D, et al. An improved DC recovery method from AC coefficients of DCT-transformed images [J]. 2010 17th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2010:2085-2088.
- [7] The Independent JPEG Group. JPEG Software Release 8c (jpeg8c)[DB/OL]. <http://www.ijg.org>, 2012-10-01.

(收稿日期:2012-10-05)

#### 作者简介:

查宣威,男,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:电子与信息工程。

岑峰,男,1972年生,博士,教授,主要研究方向:视频编码技术。