

基于量化的二维 DCT 优化算法研究

李永亭, 齐咏生, 肖志云

LI Yong-ting, QI Yong-sheng, XIAO Zhi-yun

内蒙古工业大学 信息工程学院, 呼和浩特 010051

College of Information Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, China

E-mail: liyongting1234@163.com

LI Yong-ting, QI Yong-sheng, XIAO Zhi-yun. Fast algorithm of 2-D discrete cosine transform based on quantization. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(2): 181-183.

Abstract: The Discrete Cosine Transform(DCT) has become more and more popular in practical digital image process. In general, the most useful coefficients of the DCT concentrate in the low frequency orders. It is consuming time and increasing calculation for the calculation of zero coefficients. According to the characteristic of the quantized coefficients, two new optimized algorithms are proposed for the computation of a 2-D discrete cosine transform in this paper. The calculation of coefficients of a 8×8 DCT only need 32 multiplications and 108 additions. The total number of multiplications is reduced 60%, and the total number of additions is reduced 77%. The results show that for practical situations, significant computation reductions can be achieved while causing negligible PSNR degradation.

Key words: Discrete Cosine Transform(DCT); quantization; image compression

摘要: DCT 变换广泛应用于图像压缩算法中, 在大多数情况下最有用的信息集中在 DCT 系数的低频序列中, 而对那些经过量化后为零的系数进行计算, 不但费时且计算量大幅增加。据此提出了两种新的二维 DCT 快速截取算法, 使得计算一个 8×8 的二维 DCT 变换所需的乘法运算次数减少了 60%, 加法运算次数减少了 77%。经过实验验证该算法在峰值信噪比 PSNR 值损失很少的情况下, 显著地降低了算法的复杂度。

关键词: 离散余弦变换; 量化; 图像压缩

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.02.054 **文章编号:** 1002-8331(2010)02-0181-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP274

1 引言

在许多电池供电的手持式设备和具有移动计算能力的无线网络设备中, 采用的处理器常常是那些低功耗处理器或廉价的、性能稍弱的处理器, 如用于野外生态环境监测的无线传感器网络中的拍照节点。在这样的设备中进行图像压缩, 关键问题之一是降低图像压缩算法的计算量。这不但可以使普通嵌入式处理器胜任原本只有 DSP 才能完成的工作; 同时也能降低处理器的工作休眠比, 达到节约电能, 延长电池使用寿命的目的。因而降低图像压缩算法的计算复杂度, 对于降低系统成本, 优化系统设计具有重要意义。

2 DCT 快速算法的发展概况

对于具有一阶平稳马尔可夫过程性质的大多数图像信号, 其 DCT 变换接近统计最佳变换(KL 变换), 并具有非常好的能量集中性。这使得 DCT 在数字信号处理的各个领域迅速得到

应用。

由于直接计算 DCT 变换运算量大, 乘法和加法次数多, 在过去的几十年间相继提出了很多 DCT 变换的快速算法。主要集中在减少一维和二维 DCT 变换所需要的乘法和加法次数上。1974 年 Ahmed 等人首先提出了 DCT 的概念, 最初的 DCT 快速算法基本上是在 FFT 的基础上进行改进的算法。1977 年 W.A.Chen 等人第一次提出了不通过 FFT 直接实现的 DCT 快速算法, 将计算 8 点 DCT 的运算量减少到了只需 16 次乘法和 26 次加法。1989 年 C.Loeffler^[1]提出了一种 DCT 快速算法, 计算一个 8 点的 DCT 变换的运算量只需 11 次乘法和 29 次加法。1988 年 AAN^[2]提出的 8 点 DCT 算法更具吸引力, 这个算法虽然使用了 13 次乘法, 但是其中的 8 次乘法运算能够转移到量化因子上, 结合量化因子进行, 因而实际计算量为 5 次乘法和 29 次加法。二维信号的 DCT 变换多采用将二维 DCT 变换转换成两个连续一维 DCT 变换, 并使用上述的快速算法来处理。但

基金项目: 内蒙古自然科学基金(the Natural Science Foundation of Inner Mongolia of China under Grant No.200711020810)。

作者简介: 李永亭(1975-), 女, 讲师, 主要从事信号处理方面的方法研究; 齐咏生(1975-), 男, 讲师, 主要研究方向复杂系统建模与控制; 肖志云(1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向图像处理、小波理论及应用。

收稿日期: 2008-07-28 **修回日期:** 2008-09-25

是即使采用基于 AAN 快速算法的 DCT 变换,对于一个 8×8 的像素块进行 DCT 变换也需 80 次乘法和 464 次加法,计算量仍然很大。然而在很多的实际应用中发现,最有用的信息往往集中在 DCT 系数的低频序列中,并且 DCT 变换后的系数经过量化处理,大部分的系数值变为零,对这些系数的计算不但费时且浪费计算能力。基于此提出了两种二维 DCT 快速截取算法,在采用 AANDCT 快速算法的基础上结合标量量化处理,使得计算一个 8×8 的二维 DCT 变换所需的运算量从 80 次乘法和 464 次加法减少到 32 次乘法和 108 次加法,从而大大地降低了图像压缩算法的计算量。

3 二维 DCT 快速截取算法

3.1 AANDCT 算法原理

采用的 DCT 快速算法是基于 AAN 提出的 ANNDCT 算法。对于一个 8 点的 DCT 运算需要 5 次乘法和 29 次加法,其基本原理如图 1 所示。对于一个 8×8 像素模块的 DCT 变换需要 80 次乘法和 464 次加法。

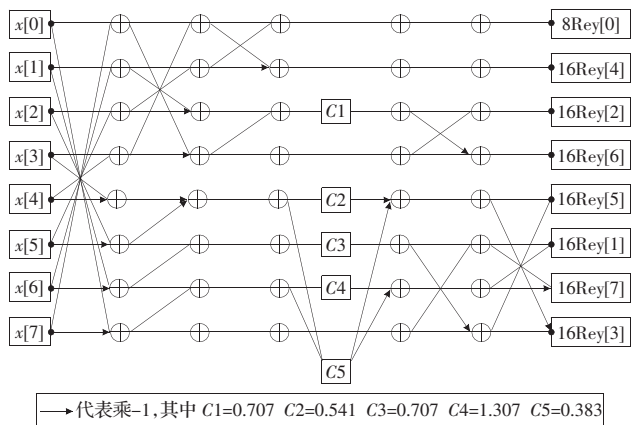


图 1 AAN 算法流程图

3.2 AAN 的算法改进

在实际的应用中,对于具有一阶平稳马尔可夫过程性质的大多数图像信号,经统计分析可知,在量化值为 30% 的条件下,量化后亮度层面(Y-plane)非零系数占模块所有系数的比例是在 8%~23% 之间,色彩层面(U/V-plane)非零系数所占的比例在 1.5%~3% 之间。大多数图像量化后非零系数的比例在 16% 左右,因而在提出的算法中取 16% 做为非零系数的比例,即在量化后的系数矩阵中有 10 个非零系数,其余的系数均置为零。

由于 DCT 变换使信号的能量集中在信号的低频部分。对于 8×8 的模块,量化后非零系数的典型分布如图 2 所示。其中阴影部分是非零系数,其余部分的系数均为零值。依据上述量化后 DCT 系数的性质,提出了两种优化算法。

算法 1 利用量化后 DCT 系数分布的特点进行二维 DCT 算法优化^[9]。即对一个 8×8 模块采用先行后列的 DCT 变换。对行的 DCT 变换中,如图 2 所示,每一行的后 4 个系数对列的 DCT 变换没有作用,所以只需计算每一行的前 4 个系数,这样一个 8 点的 DCT 变换所需运算量减少为 5 次乘法和 25 次加法。8 行 DCT 变换共需 40 次乘法和 200 次加法。对列的 DCT 变换,从第 4 列开始到第 8 列所有的系数都为零,这些系数对图像质

量的好坏不起作用,所以在计算过程中只需计算前 4 列元素的 DCT 变换即可,且只需计算第一列的前 4 个系数,第二列的前 3 个系数,第三列的前两个系数,第四列的第一个系数。可得计算前 4 列所需要的运算次数,如表 1 所示。

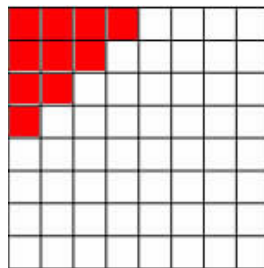


图 2 量化后非零系数的典型分布图

表 1 第一种 AAN 截取算法列运算所需要的乘法和加法次数

	第一列	第二列	第三列	第四列	总和
乘法次数	5	4	3	0	12
加法次数	25	22	18	7	72

综上所述,一个 8×8 模块的 DCT 变换所需要的运算次数从 80 次乘法和 464 次加法降低到了 52 次乘法和 272 次加法。这种算法在保证图像质量下降很小的情况下,大幅减少了运算量。

算法 2 根据图像相邻像素间变化不是很大的特点,对输入像素进行下采样处理来简化运算量。设 $d[0] \sim d[7]$ 是输入的信号, $y[0] \sim y[7]$ 是输出的信号,在计算每一行的 DCT 变换中,设定 $d[0]=d[1], d[2]=d[3], d[4]=d[5], d[6]=d[7]$,代入 AAN 的算法中简化每一行的计算次数。则计算一个 8 点 DCT 所需的运算次数从 5 次乘法和 29 次加法降为 5 次乘法和 19 次加法,再根据图 2 所示只需计算每一行的前 4 个系数,则每一行的计算量减为 5 次乘法和 16 次加法,最后只需计算第零、二、四、六行的系数,而第一、三、五、七行的系数分别用上述四行的系数代替。那么计算 8 行 DCT 变换的运算量从原来所需要的 40 次乘法和 232 次加法,降低到只需要 20 次乘法和 64 次加法,大大减少了运算量。列变换所需运算量如表 2 所示,对列的 DCT 运算只需 12 次乘法和 44 次加法。

表 2 第二种 ANN 截取算法列运算所需要的乘法和加法次数

	第一列	第二列	第三列	第四列	总和
乘法次数	5	4	3	0	12
加法次数	16	13	11	4	44

综上所述,一个 8×8 模块的 DCT 变换所需运算次数从 80 次乘法和 464 次加法降低到了 32 次乘法和 108 次加法。此方法本质上是以牺牲分辨率为代价的,因而图像的细节部分有一定的损失。

3.3 采用改进的 AANDCT 的快速算法实现 JPEG 图像压缩

所采用的 JPEG 压缩^[10]属于有损压缩,它利用了人的视觉系统的特性,使用量化和压缩编码技术相结合来去掉视觉冗余信息和数据本身的冗余信息。压缩编码过程的原理框图如图 3 所示。

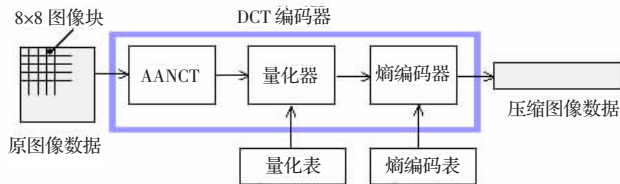


图3 JPEG 图像压缩系统图

在 JPEG 图像压缩系统中, 先对一个 8×8 的像素模块进行改进的 AANDCT 变换, 再对其进行标量量化, 由于在一个 8×8 的 DCT 变换系数矩阵中, 只有 10 个非零系数。系统量化处理一个 8×8 模块所需运算量也从 64 次乘法减少到 10 次乘法, 从而进一步降低了量化部分的运算量。对量化得到的系数矩阵进行 Z 扫描和熵编码, 最终获得压缩图像数据。

3.4 性能评价指标

目前图像压缩编码均以峰值信噪比 (PSNR) 作为客观评价标准^[9], 采用 PSNR 作为压缩图像重建的客观评价标准。设源图像的像素值是 $f(i, j)$, 重建图像的像素值是 $F(i, j)$ 。PSNR (dB) 的计算公式如式 (1):

$$PSNR = 20 \lg \left(\frac{255}{R_{MSE}} \right) \quad (1)$$

其中 R_{MSE} 是重建图像的均方根误差:

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{\sum [f(i, j) - F(i, j)]^2}{N^2}} \quad (2)$$

其中若图像大小为 640×480 , 则 $N^2 = 640 \times 480$ 。通常情况下, PSNR 值越大, 代表图像的失真越少; 反之, PSNR 值越小, 代表图像的失真越多。

4 实验结果分析

选取了三幅静态图像分别进行了全 DCT 压缩, 第一种改进 AANDCT 截取算法和第二种改进 AANDCT 截取算法实验。实验结果如图 4 所示, 其中 original.bmp 为原始图像, fullDCT.jpg 为全 DCT 压缩后重建的图像, AANDCT1.jpg 为第一种改进 AANDCT 截取算法压缩后重建的图像, AANDCT2.jpg 为第二种改进 AANDCT 截取算法压缩后重建的图像。

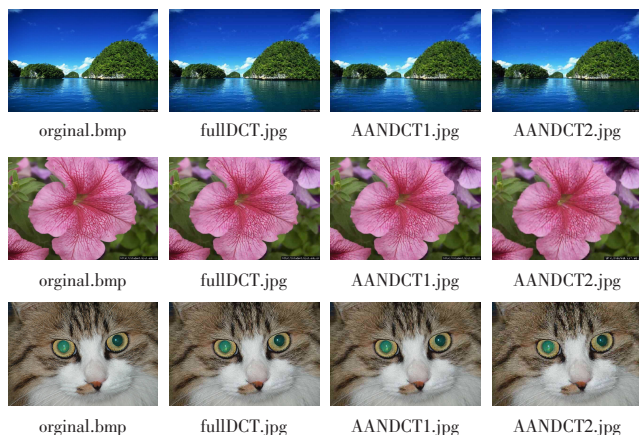


图4 采用不同算法压缩重建三种不同类型图像的对比图

通过以上三组不同特点的图像实验可以看出, 不同复杂度的图像经过压缩处理后, 其重建图像与源图像的 PSNR 值变化呈现一定的规律, 采用提出的第一种算法计算获得的 PSNR 值与全 DCT 变换计算获得 PSNR 值的差在 3 dB 左右; 第二种方法计算获得的 PSNR 值与第一种算法计算获得的 PSNR 值的差在 1~2 dB, 如表 3 所示。两种优化算法压缩得到的图像与全 DCT 压缩得到的图像相比, 由第一种算法压缩得到的图像, 其细节没有较大的损失; 对于图像纹理较复杂的图像, 第二种方法也能获得较好的压缩结果, 但是图像的细节有一定的损失。

表3 实验结果对比表

	全 DCT 压缩重建 图像与源图像的 PSNR 值/dB	第一种算法重建 图像与源图像的 PSNR 值/dB	第二种算法重建 图像与源图像的 PSNR 值/dB
实验 1	25.051 8	21.539 0	20.374 3
实验 2	26.764 5	23.306 4	21.312 1
实验 3	21.327 2	17.792 3	16.569 1

如表 4 所示, 在图像质量下降很少的条件下, DCT 变换所需要的运算量大幅减少。在该文提出的两种算法中, 第二种截取算法与第一种截取算法相比在 PSNR 下降不大的情况下, 运算量减少了约一半, 但在图像的细节上有一定的损失, 两种算法各有利弊, 可根据系统的实际要求来选择。

表4 三种算法的 DCT 运算量对比

	加法次数	乘法次数
全 DCT 压缩算法	464	80
该文的第一种算法	272	52
该文的第二种算法	108	32

5 结论

在 AANDCT 算法的基础上提出了两种基于量化的二维 DCT 截取算法, 分析了 DCT 运算所需要的加法和乘法次数, 并针对不同特点的图像进行了实验和分析。所提出的优化算法在 JPEG 压缩系统中得到了验证, 提高了压缩系统的性能, 而且获得了较好的图像质量。此算法适合于在嵌入式系统中应用, 具有一定的推广和实用价值。

参考文献:

- [1] Loeffler C, Ligtenberg A, Moschytz G. Practical fast 1-d dct algorithms with 11 multiplications[C]//ICASSP'89, 1989.
- [2] Arai Y, Agui T, Nakajima M. A fast DCT-SQ scheme for images[J]. Trans of the IEICE, 1988, E71(11):1095.
- [3] 王远征, 陶亮. 基于 DCT 的 2D 实值离散 Gabor 变换[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(8):37-39.
- [4] 贾荣. 一种改进的 DCT 图像压缩算法[J]. 电子技术, 2008(3).
- [5] 陈杰, 吴子文. DCT 域基于 PSNR 的水印强度的估计[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(18):54-56.