

基于 DCT 压缩的 JPEG 图像检索算法

刘瑞祥¹, 赵 珊^{2,3}, 鲍 泓¹

(1. 北京联合大学信息学院, 北京 100101; 2. 河南理工大学计算机科学与技术学院, 焦作 454159;

3. 南京邮电大学江苏省图像处理与图像通信重点实验室, 南京 210003)

摘 要: 提出一种 JPEG 图像检索算法, 将熵解码后的 DC 系数差本地二值化, 提取 DC 差向量来体现原始图像中像素的灰度分布。考虑到每个 DCT 块中的 AC 系数对图像内容的表征能力, 针对每个 DCT 块选择前 9 个最大的 AC 系数, 构造 AC 系数特征向量用于检索。实验结果表明, 该算法具有较好的检索效果。

关键词: 图像检索; 离散余弦变换; DC 系数; AC 系数

JPEG Image Retrieval Algorithm Based on DCT Compression

LIU Rui-xiang¹, ZHAO Shan^{2,3}, BAO Hong¹

(1. Dept. of Information, Beijing Union University, Beijing 100101;

2. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454159;

3. Jiangsu Province Key Lab on Image Processing and Image Communication, Nanjing University of Posts and Communication, Nanjing 210003)

【Abstract】 This paper proposes a JPEG image retrieval algorithm. After entropy decoding, the difference of DC coefficients is becoming binary data. According to the character, the DC vector is introduced to embody the gray distribution of the original image. The AC coefficients of the distribution are taken into account and nine AC coefficients are chosen to extract the AC distribution vector. Experimental results show that the proposed method has a good performance in retrieval efficiency.

【Key words】 image retrieval; Discrete Cosine Transform(DCT); DC coefficient; AC coefficient

基于 JPEG 图像的检索是指通过挖掘图像压缩时的中间结果或最终码流中包含的信息, 力争在不解码或部分解码的情况下提取表征图像内容的特征, 并以其作为索引而实现基于内容的图像检索, 目前, 针对 JPEG 图像的检索方法已取得了一些研究成果^[1-5]。本文根据 JPEG 压缩标准的特点, 直接利用部分熵解码后的离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)系数构造特征向量, 用于图像内容的描述。

1 JPEG 压缩算法

JPEG 是一种目前最流行的数字图像有损压缩格式, 采用基于 DCT 变换的编码算法, 包含计算 DCT、量化和变长编码 3 个步骤。具体压缩流程如图 1 所示。

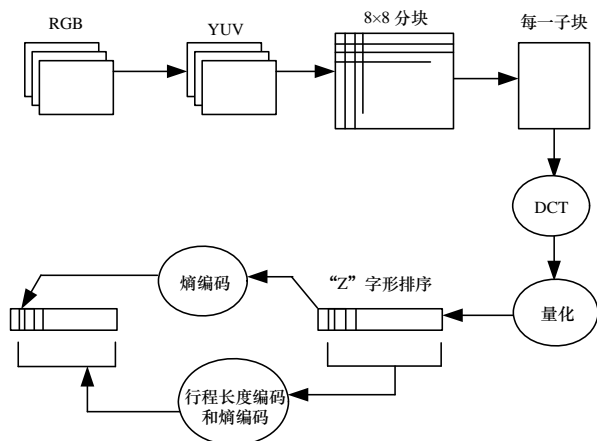


图 1 JPEG 压缩流程

在对图像进行 DCT 变换时, 先对图像进行 8×8 分块, 并分别对每块进行 DCT 变换。对于 8×8 的图像子块, 经 DCT 变换后, 每一个子块生成 1 个直流分量(DC 系数)和 63 个交流分量(AC 系数)。

DC 系数代表着块内像素密度均值, 低频 AC 系数中含有丰富的图像纹理和边缘信息, 而高频 AC 系数则包含图像的一些细节。图像的绝大部分能量经变换后集中在低频系数中, 反映了图像的主要内容, 通常具有较大的系数值, 而高频系数值较小。量化后, 低频系数非零值较多, 大部分高频系数为 0, 即图像的一些小细节被压缩了。通过对所有的系数进行 Zigzag 方式重新排序后, 会出现连续的零值, 采用 RLE 编码可有效地压缩零值区域, 熵编码则进一步压缩了图像数据。

2 特征提取

2.1 DC 系数向量的提取

本文根据当前 DCT 块和前一个 DCT 块的 DC 系数的差值来提取 DC 系数向量。假设原图像 I 的大小为 $M \times N$, JPEG

基金项目: 北京市教委基金资助项目(11101H3073); 河南省教育厅自然科学基金资助项目(2008B520015, 2009B520013); 河南理工大学博士基金资助项目(B2008-61, B2009-91); 南京邮电大学江苏省图像处理与图像通信重点实验室开放基金资助项目(ZK208002)

作者简介: 刘瑞祥(1963—), 男, 副教授, 主研方向: 移动计算, 软件工程; 赵 珊, 副教授、博士; 鲍 泓, 教授

收稿日期: 2009-08-03 **E-mail:** xxtruixiang@buu.com.cn

压缩图像采用 8×8 大小分块, 整幅图像共分子块数目为 $\frac{M}{8} \times \frac{N}{8}$, 用 DC_i 来标记第 i 个 DCT 块中的直流分量, 可以得到一个一维的差值向量:

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_{\frac{M}{8} \times \frac{N}{8}}) \quad (1)$$

其中,

$$V_i = \begin{cases} 1 & DC_i - DC_{i-1} > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

在进行图像编码时, DC 系数差的计算常常采用从左到右、从上到下的扫描顺序。在算法中, 考虑到相邻子图像块之间的相关性, 本文借鉴对 AC 系数编码时采用“Z”字形扫描方式, 在计算相邻 DCT 块之间的 DC 系数差时采用如图 2 所示的“之”字形扫描方式(图中的第 i 块表示原始图像中第 i 个 8×8 DCT 块中的 DC 系数)来进行特征提取, 从而可以最大程度地体现原始图像中的颜色差异。

这种提取方法不仅考虑了相邻 DCT 块中 DC 系数间的关系, 而且采用本地二进制模式进行特征矢量的提取, 简化了特征向量的表示方式。

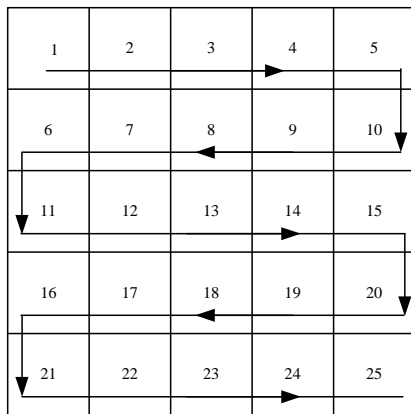


图 2 “之”字形扫描方式

2.2 AC系数向量的提取

设图像 I 的大小为 $M \times N$, 整幅图像可以得到 $\frac{M}{8} \times \frac{N}{8}$ 个 DCT 块。针对每个 DCT 块, 通过计算相邻 AC 系数的和, 在确定 2 个 AC 系数是否相邻时, 采用如图 3 所示的“Z”字形扫描方法得到前 9 个最大的 AC 系数。

$$Sum_i = AC_i + AC_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (2)$$

其中, AC_i 为当前的 AC 系数; AC_{i-1} 表示前一个 AC 系数。

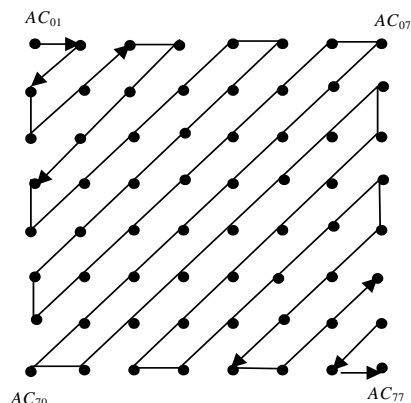


图 3 “Z”字形扫描方式

设定一个一维向量来表示 AC 系数所提取的特征向量:

$$m_i = \begin{cases} 0 & Sum_i < 0 \\ 1 & Sum_i > 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, 8 \quad (3)$$

对每一个 DCT 块来说, 可以得到一个由 0 和 1 组成二进制数。为计算方便, 用与这个二进制等值的十进制数来表示对应的 DCT 块。这样, 针对每个 DCT 块, 都可以得到一个位于 $[0, 255]$ 之间的一个数。统计整幅图像中所有这些数值的分布, 构造 AC 系数特征向量来表示图像的内容特征。为降低算法的复杂度, 利用信息熵的概念构造 AC 系数分布熵来表征图像的内容。

假设 h_i 表示 AC 分布值 i 在整幅图像中所占的百分比, 从而图像的 AC 系数分布熵可表示为

$$E(H) = -\sum_{i=1}^n h_i \lg(h_i) \quad (4)$$

3 相似性度量

设 2 幅 $M \times N$ 大小的图像 P 和 Q 提取的 DC 系数差的特征向量为 $P = (p_1, p_2, \dots, p_{\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}})$, $Q = (q_1, q_2, \dots, q_{\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}})$, 提取的 AC 系数分布熵特征向量分别为 $E(P)$ 和 $E(Q)$, 则 DC 系数差向量间的距离及 AC 分布特征之间的距离可表示为

$$D_{DC}(P, Q) = \sum_{i=1}^{\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}} \sum_{j=1}^{\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}} p_i \oplus q_j \quad (5)$$

$$D_{AC}(P, Q) = |E(P) - E(Q)| \quad (6)$$

其中, p_i, q_i 表示特征向量 P 和 Q 中第 i 个向量。

则 2 幅图像的全局相似性度量定义为

$$D(P, Q) = \alpha D_{DC}(P, Q) + \beta D_{AC}(P, Q) \quad (7)$$

其中, α, β 为子特征的权重, 用来控制图像所提取的 2 种特征在检索中的相对重要性, 并且满足 $\alpha + \beta = 1; \alpha, \beta \in [0, 1]$ 。

4 实验与分析

为了检验算法的性能, 本文采用由 5 000 幅种类不同的 JPEG 图像组成的图像库进行实验。采用 JPEG 格式中常用的 YCbCr 颜色空间的 Y 分量进行特征提取。实验运行环境为 Windows XP 操作系统, 系统配置为 PIV1.7 GHz CPU, 512 MB 主存。为了评价本文算法的检索性能, 采用精确度和检索率作为相似检索的评价准则。

为了验证算法的检索性能, 先将该算法同文献[2]、文献[4]算法进行对比实验, 在图像库中选取 8 类图像组成检索集, 从每类图像中选取 5 幅图像, 共组成 40 次查询, 取 40 次检索结果精确度和检索率的平均值作为算法的平均检索结果。

图 4 给出了本文算法同其他 2 种算法在精确度和检索率方面的对比曲线。可以看出, 由于本文算法既考虑了相邻 DCT 块中 DC 系数之间的差异, 又考虑了几个重要的 AC 系数对特征描述的影响, 因此检索效果明显优于其他 2 种算法。

为检验算法的复杂度, 在相同的软硬件环境下从特征提取时间复杂度和图像检索时间复杂度 2 个方面将本文算法同其他 2 种方法进行比较。在图像库中任意取 300 幅图像, 用 3 种算法进行特征提取。

从 1 000 幅图像中检索出与例子图像相似的前 20 幅图像并将显示的时间作为检索时间复杂度(图像的索引特征已保存在不同的文件中)。

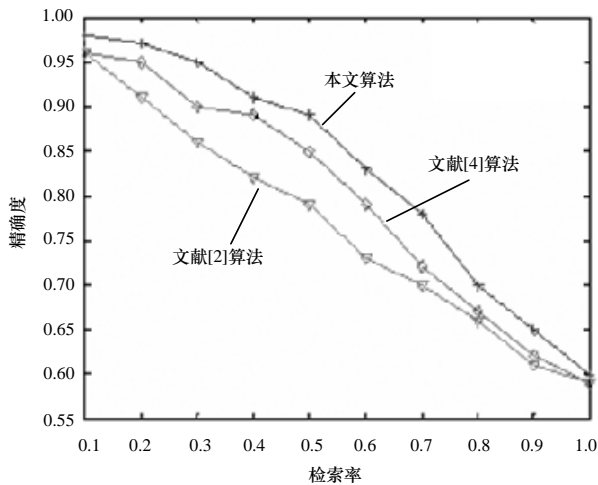


图4 3种算法检索率与精度的平均变化曲线

2种复杂度对比结果如表1所示。

表1 算法的2种复杂度对比结果

| 算法 | 特征提取时间复杂度/s | 检索时间复杂度/s |
|---------|-------------|-----------|
| 本文算法 | 12.83 | 2.105 |
| 文献[4]算法 | 12.58 | 2.488 |
| 文献[2]算法 | 13.17 | 3.257 |

可以看出,由于3种算法均利用DCT系数来提取图像特征,其特征提取复杂度都较小,但本文算法考虑了DC系数对图像内容的表征能力,因而其特征提取复杂度略高于文献[4]。在实际应用中,特征提取和图像检索往往是分开的,即事先提取图像的索引特征并保存到相应的数据库中,图像检索是根据图像特征库来进行的。

因此,本文算法虽然具有较高的特征提取复杂度,但对图像的检索速度不会造成影响。在相似的特征提取复杂度下,本文算法的检索时间复杂度小于其他2种算法的复杂度,因此,本文算法更有效。

5 结束语

本文提出一种JPEG图像的检索算法,实验结果表明该算法具有良好的检索性能,适合动态的JPEG图像库或基于Web的JPEG图像检索。在特征提取的过程中,考虑如何根据DCT系数的分布进一步组织特征,使其具有旋转不变性,以得到更高图像的检索效率是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] Smith J R, Chang S F. Transform Features for Texture Classification and Discrimination in Large Databases[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. [S. l.]: IEEE Press, 1994.
- [2] Lay J A, Ling G. Image Retrieval Based on Energy Histograms of the Low Frequency DCT Coefficients[C]//Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Phoenix, AZ, USA: IEEE Press, 1999.
- [3] 张问银, 吴尽昭. 一种快速JPEG图像检索方法[J]. 计算机工程, 2005, 31(10): 148-149.
- [4] 赵珊. DCT压缩域的图像检索[J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(6): 107-110.
- [5] 赵珊, 周利华. DCT压缩域中基于纹理和形状的图像检索算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2007, 34(3): 402-408.

编辑 顾姣健

(上接第224页)

可以看出,本文算法在有效滤噪的同时,提高了图像的视觉效果。由于本文算法利用子带内系数局部相关特性确定各子带邻域的最优阈值与最优滤噪窗口大小,因此,具有较强的细节保护能力。这一点由纹理信息较为丰富的Barbara图像滤噪结果可得到有效验证。

5 结束语

本文提出一种新的Contourlet变换域图像滤噪方法。该方法克服了现有Contourlet变换域滤噪算法没有充分利用子带内系数局部相关特性的弱点。实验表明,该算法与现有的Contourlet变换域滤噪算法相比,在有效滤除噪声的同时,具有较强的纹理细节保护能力。

参考文献

- [1] Chen Guangyi, Bui T D, Krzyzak A. Image Denoising with Neighbour Dependency and Customized Wavelet and Threshold[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(1): 115-124.
- [2] Zhang Xiaoping, Desai M D. Adaptive Denoising Based on SURE Risk[J]. IEEE Signal Processing Letters, 1998, 5(10): 265-267.

- [3] Wang Shengqian, Zhou Yuanhua, Zou Daowen. Adaptive Shrinkage Denoising Using Neighbourhood Characteristic[J]. IEEE Electronics Letters, 2002, 38(11): 502-503.
- [4] Duncan D Y, Do M N. Directional Multiscale Modeling of Images Using the Contourlet Transform[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2006, 15(6): 1610-1620.
- [5] Minh N D, Martin V. The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [6] 戴维, 于盛林, 孙栓. 基于Contourlet变换自适应阈值的图像去噪算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 1939-1943.
- [7] Jin W, Pan Y J. Window Shrink Contourlet Coefficients for Image Denoising[J]. Journal of Harbin Institute of Technology(New Series), 2005, 12(5): 540-543.
- [8] Stein C M. Estimation of the Mean of a Multivariate Normal Distribution[J]. The Annals of Statistics, 1981, 9(6): 1135-1151.

编辑 顾姣健