

基于整数小波变换的彩色图象检索技术的研究

田玉敏 乃学尚

(西安电子科技大学计算机外部设备研究所, 西安 710071)

摘要 提出了一种利用小波变换对图象进行多尺度检索的方法。这种方法首先对图象进行多尺度小波分解, 然后求出分解后尺度系数矩阵的各阶顺序子矩阵的F-范数, 用F-范数定义图象的特征向量和相似度, 再利用这种相似度进行图象检索。为了提高运算速度, 使用的只是一维整数小波变换。整数小波变换的优点是: 只需进行位内运算, 输入和输出都是整数, 存储量小, 适合图象处理; 用F-范数形成的特征向量维数低, 检索效率高。通过对200幅左右花卉和山水彩色图象数据库进行实验表明, 该算法能够较好地描述图象的尺度和颜色分布信息, 检索效果较好。

关键词 小波变换 图象检索 范数

中图分类号: TP391.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)02-0128-04

Research on the Integer-to-Integer WT-Based Color Image Retrieval Method

TIAN Yu-min, NAI Xue-shang

(Research Institute of Computer Peripherals, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract This paper presents a method of image multi-scale retrieval. That is by means of wavelet transform, which firstly decomposes an image in multi-scale, which yields a scalable coefficient matrix; secondly determines the F-norms of all the ordinal sub-matrixes of the scalable coefficient matrix; and then defines the features and similarities of images by the F-norms; finally uses these similarities index images. But in order to speed up the computation, this paper only deals with the Integer-to-Integer Wavelet Transform, the main advantages of which are: all the calculations can be done in-place; the input and output values are all integers; and only a small memory is required. Additionally, the feature vector based on F-norm is low in dimension, and efficient in retrieval. The experimental results of a database of about 200 color images of flower and mount show this algorithm can well capture the scale and color information of images and can lead to better results.

Keywords Wavelet transforms, Image retrieval, Norm

0 引言

基于内容的图象检索是当前国内外的一个研究热点, 常见的检索方法大多集中在基于颜色、形状以及纹理等图象特征方面。小波理论是80年代末发展起来的应用数学分支, 从多尺度、多分辨率的意义上说, 小波变换被人们称为“数学显微镜”^[1], 它在图象处理方面具有非常广阔的前景。本文采用小波变换方法, 对图象数据进行多尺度, 多分辨率, 多角度的

分析, 同时结合范数理论, 达到对特定图象进行检索的目的。

1 小波变换的有关概念

这里介绍一种普遍意义的二维连续小波变换^[1], 然后对其加以说明。

1.1 定义

设 $f(x_1, x_2)$ 表示一个二维信号, x_1, x_2 分别表示其横坐标和纵坐标; $\psi(x_1, x_2)$ 代表基本小波。则二

维连续小波变换可定义如下:

令 $\psi_{a,b_1,b_2}(x_1,x_2)$ 表示 $\psi(x_1,x_2)$ 的尺度伸缩和二维位移,即

$$\psi_{a,b_1,b_2}(x_1,x_2) = \frac{1}{a} \psi\left(\frac{x_1-b_1}{a}, \frac{x_2-b_2}{a}\right) \quad (1)$$

则二维小波变换的定义为

$$WT_f(a;b_1,b_2) = \langle f(x_1,x_2), \psi_{a,b_1,b_2}(x_1,x_2) \rangle = \frac{1}{a} \iint f(x_1,x_2) \psi\left(\frac{x_1-b_1}{a}, \frac{x_2-b_2}{a}\right) dx_1 dx_2 \quad (2)$$

式中的因子 $1/a$ 是为了保证小波伸缩前后,其能量不变而引入的归一因子,但该定义还不够完善,因此需进一步加以改进.二维小波变换的复杂之处在于:在尺度伸缩的同时还可以进行坐标旋转,也即 a 可

$$WT_f(a,\theta;b_1,b_2) = \frac{1}{a} \iint f(x_1,x_2) \psi\left[\frac{(x_1-b_1)\cos\theta - (x_2-b_2)\sin\theta}{a}, \frac{(x_1-b_1)\sin\theta + (x_2-b_2)\cos\theta}{a}\right] dx_1 dx_2$$

本文主要是利用小波研究图象的检索方法,因此对小波的反演变换不予介绍.

1.2 图象空间的小波分解

设 $p(x_1,x_2)$ 是一幅图象在点 (x_1,x_2) 处的象素值,则它经过一次二维小波分解,可分解为 4 部分,它们依次是:

$A_1 p(x_1,x_2) = \langle p(x_1,x_2), \varphi(x_1-n_1)\varphi(x_2-n_2) \rangle$, 沿水平方向和垂直方向的平滑逼近;

$D_1^{(1)} p(x_1,x_2) = \langle p(x_1,x_2), \varphi(x_1-n_1)\psi(x_2-n_2) \rangle$, 沿水平方向的平滑和垂直方向的细节;

$D_1^{(2)} p(x_1,x_2) = \langle p(x_1,x_2), \psi(x_1-n_1)\varphi(x_2-n_2) \rangle$, 沿水平方向的细节和垂直方向的平滑;

$D_1^{(3)} p(x_1,x_2) = \langle p(x_1,x_2), \psi(x_1-n_1)\psi(x_2-n_2) \rangle$, 沿水平方向的细节和垂直方向的细节.

第 1 部分 $A_1 f(x_1,x_2)$ 是图象的低频部分,也就是图象的平滑逼近.对这一部分可以重复进行多级小波分解,文献[1]给出了图象小波变换的多级分解方法.因为图象的大部分信息集中在低频部分^[2],所以本文提出的图象检索算法仅利用了低频部分的尺度系数.

2 算法介绍

2.1 图象分解算法

文献[3]给出了多种一维整数小波变换,通过比较,本文选择了其中的 9/7-M 整数小波变换,因为该变换适合提取图象的低频部分尺度系数,为了将该小波变换用于处理象素数目有限的图象,所以对

以改成矩阵表示

$$A = ar_\theta \quad (3)$$

式中, r_θ 是旋转因子.

$$r_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

因此比式(1)、式(2)更具一般性的表示是

$$\psi_{A,\bar{b}}(\bar{x}) = \frac{1}{|A|} \psi[A^{-1}(\bar{x}-\bar{b})] = \frac{1}{a} \psi\left[r_\theta^{-1}\left(\frac{\bar{x}-\bar{b}}{a}\right)\right] \quad (5)$$

$$WT_f(A,\bar{b}) = \langle f(\bar{x}), \psi_{A,\bar{b}}(\bar{x}) \rangle = \frac{1}{a} \int_{\mathbb{R}^2} f(\bar{x}) \psi\left(r_\theta^{-1} \frac{\bar{x}-\bar{b}}{a}\right) d\bar{x} \quad (6)$$

式中, $a = \det A$, $\bar{x} = [x_1, x_2]^T$, $\bar{b} = [b_1, b_2]^T$. 式(6)仅是数学上的简记表示,其具体含义是:

其进行了边沿延拓,并将其作为本文图象分解的算法,以下是算法的具体步骤.

假设 $x(i)$ 为输入图象的第 i 行或第 i 列, $h(i)$ 表示输出的高频部分, $l(i)$ 表示输出的低频部分, N 表示原图象的高度或宽度,则分解算法表示如下:

(1) 左(上)边沿延拓

$$h(-1) = x(0) + \left[\frac{1}{16}(x(2) - 17x(0)) + \frac{1}{2} \right]$$

$$h(0) = x(1) + \left[\frac{1}{16}(x(4) - x(0) - 9(x(2) + x(0))) + \frac{1}{2} \right]$$

$$h(1) = x(3) + \left[\frac{1}{16}(x(6) + x(0) - 9(x(4) + x(2))) + \frac{1}{2} \right]$$

$$l(0) = x(0) + \left[\frac{1}{4}(h(0) - h(-1)) + \frac{1}{2} \right]$$

$$l(1) = x(2) + \left[\frac{1}{4}(h(1) + h(0)) + \frac{1}{2} \right]$$

(2) 右(下)边沿延拓

当 $N \leq i \leq N+4$ 时, $x(i) = x(N-1)$.

当 $2 \leq i \leq \frac{N}{2}$ 时.

$$h(i) = x(2i+1) + \left[\frac{1}{16}(x(2i+4) + x(2i-2) - 9(x(2i+2) + x(2i))) + \frac{1}{2} \right]$$

$$l(i) = x(2i) + \left[\frac{1}{4}(h(i) + h(i-1)) + \frac{1}{2} \right]$$

其中 $[x]$ 表示不超过 x 的最大整数,即 $[x] \leq x$.

用上述方法先进行图象矩阵的行变换,再进行列变换,得到图象的一次小波分解.对图象的低频部分重复上述分解过程,可以对图象进行任意尺度的

分解。

2.2 图象匹配算法

经过多级分解后,图象的低频部分只有原图象大小的 $1/4^n$ (其中, n 是图象的分解次数), 而其概貌信息却基本保持不变. 显然, 利用分解后的低频尺度系数矩阵提取特征, 对图象进行相似匹配, 可以大大降低图象特征量的维数, 从而节省存储空间, 提高检索效率. 为了进行图象匹配, 在分解后的尺度系数矩阵上, 用 F-范数定义了图象的特征向量和相似度:

定义 1 设 A, B 是 n 阶方阵, $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是 A 的第 i 阶顺序子矩阵, 则定义 $\|A_i\|_F$ 是 A_i 的 F-范数. 令 $\Delta A_i = \|A_i\|_F - \|A_{i-1}\|_F$, 其中, $\|A_0\|_F = 0$, 定义

(1) $V_{AF} = \{\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_n\}$ 是矩阵 A 在 F-范数下的特征向量;

(2) 如果 $\Delta A_i \neq 0$ 或 $\Delta B_i \neq 0$, 令 $\alpha_i = \frac{\min(\Delta A_i, \Delta B_i)}{\max(\Delta A_i, \Delta B_i)}$, 如果 $\Delta A_i = \Delta B_i = 0$, 令 $\alpha_i = 1$, 称 α_i 为 ΔA_i 和 ΔB_i 在 F-范数下的相似度, 显然 $0 \leq \alpha_i \leq 1 (i=1, 2, \dots, n)$.

定义 2 定义 $\alpha = \sum_{i=1}^n c_i \alpha_i$ 为矩阵 A 和 B 在 F-范数下的相似度, 其中, $c_i = \frac{2i-1}{n^2}, i=1, 2, \dots, n$, $\sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n^2} = 1, n$ 是方阵的阶数, 显然 $0 \leq \alpha \leq 1$.

为了计算方便, 矩阵 A 的第 i 阶顺序子矩阵 A_i 的定义如下:

如果 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$, 那么 A 的第 i 阶顺序子矩阵 $A_i = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1i} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ii} \end{bmatrix}, (i=1, 2, \dots, n)$.

A_i 的 F-范数定义为 $\|A_i\|_F = \left(\sum_{k=1}^i \sum_{l=1}^i |a_{kl}|^2 \right)^{1/2}$.

3 实验及结果

依照上述算法, 建立了一个包含 200 幅图象的特征数据库, 并用大量的各种彩色图象进行了检索实验. 首先列出了鸟、花卉、人物和山水图象的原图与其不同尺度图之间的相似情况, 原图象如图 1 所示, 同一幅图象的不同尺度与原图的相似度如表 1 所示.

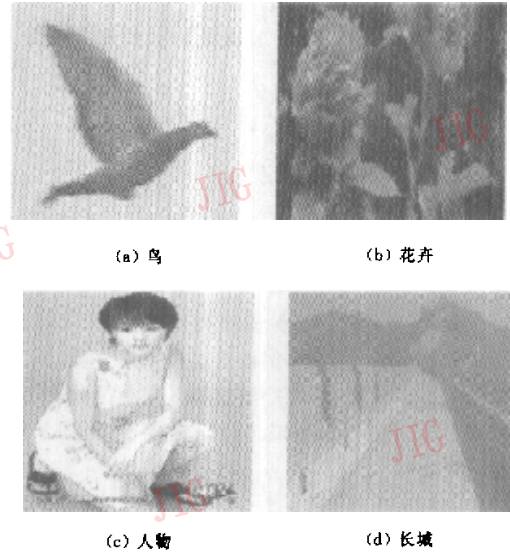


图 1 进行实验的原图象

表 1 同一幅图象不同尺度与原图的相似度 α

原图	1/4 原图	1/16 原图	1/64 原图
鸟	0.9948	0.9878	0.9839
花卉	0.9877	0.9743	0.9596
人物	0.9643	0.9293	0.9348
长城	0.9936	0.9849	0.9827

用上述图象的不同尺度图作为样本在图象特征数据库中检索, 得到这些样本与图象数据库中若干图象之间的相似度见表 2.

表 2 不同样本的不同尺度与其他图象相似度 α 的比较

数据库中 图象	尺度	样本			
		鸟	花卉	人物	长城
鸟	1	1	0.5538	0.7539	0.8601
	1/4	0.9948	0.5509	0.7521	0.8557
	1/16	0.9878	0.5472	0.7495	0.8496
	1/64	0.9839	0.5454	0.7491	0.8467
花卉	1	0.5538	1	0.7080	0.6451
	1/4	0.5605	0.9877	0.7140	0.6592
	1/16	0.5678	0.9743	0.7226	0.6614
	1/64	0.5763	0.9596	0.7312	0.6712
人物	1	0.7539	0.7080	1	0.8283
	1/4	0.7499	0.6957	0.9643	0.8214
	1/16	0.7659	0.7049	0.9293	0.8409
	1/64	0.7954	0.6763	0.9348	0.8515
长城	1	0.8601	0.6451	0.8283	1
	1/4	0.8656	0.6411	0.8265	0.9936
	1/16	0.8733	0.6356	0.8241	0.9849
	1/64	0.8752	0.6442	0.8232	0.9827

这里仅仅列出了几组典型的数据,用其他图象作为样本检索的结果与上表列出的结果类似,由上面的数据可以看出,同一幅图象在不同尺度下与原图的相似度均在 0.92 以上,有的时候可以接近 0.99,不同图象之间的相似度较低;图象的相同区域的色彩越接近,相似度越高,由此可以得出结论,用本文所提出的算法,能够保证检索结果正确,而且与目前文献所提出的算法相比,本文的算法简单易行,检索速度较快。

参 考 文 献

- 1 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社, 1999, 112~144.
- 2 马社祥,刘贵忠,曹召华. 基于多尺度均值和小波变换的 Internet 图象可分级压缩编码传输技术[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5A(11):942~947.
- 3 Michael D Adams, Faouzi Kossentini. Reversible integer-to-integer wavelet transforms for image compression: Performance evaluation and analysis [J]. In: IEEE Trans. on Image processing, 2000, 9(6):1010~1024.



田玉敏 1964 年生,1997 年获西安电子科技大学计算机系计算机应用专业硕士学位,现任西安电子科技大学计算机外部设备研究所副教授.主要研究方向为计算机图形图象处理、输入输出技术、模式识别.多次获省部级以上科研成果奖.

乃学尚 1971 年生,1994 年毕业于天水师范学院数学系,1994 年到 1999 年在白银市平川电信局工作,现为西安电子科技大学计算机专业硕士研究生.主要研究方向为计算机图形图象处理技术.

惠普工作站 c3650

惠普工作站 c3650 已于近期推出,它支持高速、高性能的处理器产品,拥有广泛的图形系统可供选择,为用户提供了处理计算密集型任务所需的应用性能。

惠普工作站 c3650 可以实现带宽的最大化,并具提升系统的效能.芯片内嵌 2.25MB 高速缓存,通过最小化延迟时间和最大化实现吞吐量,提高了系统的性能和应用程序的性能.四路组相联高速缓存,降低了指令和数据从磁盘到缓存的存取,同时降低了直接映射高速缓存的失败率.8GB SDRAM 的超大容量可以减少磁盘存取,支持与复杂 3D 设计和虚拟原型的交互操作。

在显示图形卡的应用方面,惠普 fxe 图形卡可以访问不同跨职能部门的各种类型数据;支持更快的显像及与最大 3D 模型的交互,为模拟和设计工作提供高速的 3D 图形性能。

惠普工作站 c3650 具有良好的集成性能,用户可以灵活地扩展系统,从而真正确保了工作站平滑过渡到惠普下一代高性能系统。

惠普工作站 c3650 的操作平台是基于 64 位操作系统的 hp-ux 11i,具有可用性、可扩展性和安全性,它可以轻松满足应用程序对大内存和大文件的要求;支持现有的 32 位系统和应用软件,并保证二进制兼容。

TCOE(技术计算操作环境)具有简洁、高效的特点,适用于技术计算的软件将大幅度地提高工作效率;新的无限用户许可证;与 Microsoft Windows 的互操作性;CIFS9000 允许 Windows 和 hp-ux 平台间文件服务;与 Linux 的互操作性确保了 Linux 与 hp-ux 之间的可移植性;2001 年提供的 GNOME 桌面环境允许系统在 Linux 上开发,在 hp-ux 上部署;提供检查源代码的工具;单系统,高可用性让核心参数可动态调节,核心模块可动态加载,快速重启功能可以对修改最频繁的核心参数进行动态优化,保持修改值,让系统重启更具计划性,减少管理工作。

hp-ux 11i 包括 4 个操作环境,其中 3 个专门用于商业用户,而另一个技术计算操作环境则适用于惠普工作站和技术服务器。